

ISBN 978-623-7736-98-1

Prosiding

6th
ACE | **ANDALAS
CIVIL
ENGINEERING
CONFERENCE**
CONFERENCE 2019

SEMINAR NASIONAL

**Menuju Pembangunan Infrastruktur
Yang Ramah Bencana dan Berkelanjutan
di Era Revolusi Industri 4.0**

Padang, 29 Oktober 2019

Penyelenggara :
Kolaborasi Jurusan Teknik Sipil
UNAND, UPI YPTK, UBH, ITP, UNIDHA,
UMSB, STTP, PNP, UNRI, dan UNIB



PROSIDING

6TH ACE CONFERENCE

JURUSAN TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS ANDALAS

Tema:

Menuju Pembangunan Infrastruktur yang Ramah Bencana dan
Berkelanjutan di Era Revolusi 4.0

**Diterbitkan oleh
Jurusan Teknik Sipil
Universitas Andalas
MARET, 2020**

EDITOR :

Titi Kurniati, MT

Rina Yuliet, MT

Riza Aryanti, MT

Yervi Hesna, MT

Aryadi Sujana Tanjung

ISBN : 978-623-7736-98-1

PENYELENGGARA:

Kolaborasi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas dengan :
Universitas Putra Indonesia YPTK Padang (UPI YPTK)
Universitas Bung Hatta (UBH)
Institut Teknologi Padang (ITP)
Universitas Dharma Andalas (UNIDHA)
Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat (UMSB)
Sekola Tinggi Teknologi Payakumbuh (STT Payakumbuh)
Politeknik Negeri Padang (PNP)
Universitas Riau (UNRI)
Universitas Bengkulu (UNIB)

SUSUNAN PANITIA ACE-6

PEMBINA :

Dekan Fakultas Teknik Universitas Andalas
Rektor Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang

: Ir. Insannul Kamil, PhD
: Prof. DR. H. Sarjon Defit, S.Kom.,
M.Sc

PENGARAH:

Ketua Jurusan Teknik Sipil UNAND
Ketua Jurusan Teknik Sipil UPI YPTK
Ketua Jurusan Teknik Sipil UNRI
Ketua Program Studi Teknik Sipil UNIB
Ketua Jurusan Teknik Sipil UBH
Ketua Jurusan Teknik Sipil UNIDHA
Ketua Jurusan Teknik Sipil ITP
Ketua Program Studi Teknik Sipil UMSB
Ketua Jurusan Teknik Sipil STT Payakumbuh
Ketua Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang
Prof. Dr. Bambang Istijono,
ME. Benny Hidayat, Ph.D

: Taufika Ophiyandri, PhD
: Jihan Melasari, MT
: Dr. Manyuk Fauzi, MT
: Besperi, ST, MT
: Dr. Rini Mulyani, MSc.Eng
: Jati Sunaryati, Ph.D
: Herman, ST, MT
: Deddy Kurniawan, ST, MT
: Elvi Syamsuir, ST. MT
: Aguskamar, ST, M.Eng

KETUA PELAKSANA

: Yervi Hesna, MT
(Universitas Andalas)

SEKRETARIS

: Utami Dewi Arman, MT
(UPI YPTK)

BENDAHARA

: Elsa Eka Putri, Ph.D
(Universitas Andalas)

SEKSI ACARA :

Riza Aryanti, MT (Koordinator)
Widyawati Purba, ST, MM
Meri Sufina, SPd, M.PdT
Yessy Yusnita, M.Si
Muhammad Ridwan, Dr.Eng
Veronika ST, MT
Ronny Junnaidy ST, MT
Sutria Desman ST, MT
Andy Hendri, MT
Mukhlis Islam, ST, MT

(Universitas Andalas)
(UPI YPTK)
(UPI YPTK)
(Institut Teknologi Padang)
(Institut Teknologi Padang)
(Universitas Bung Hatta)
(STT Payakumbuh)
(STT Payakumbuh)
(Universitas Riau)
(Universitas Bengkulu)

SEKSI PUBLIKASI DAN WEB :

Titi Kurniati, MT (Koordinator)
Jihan Melasari, MT
Bayu Budi Irawan, MT
Andi Syukri, ST, M.Sc
Dr. Nurdin

(Universitas Andalas)
(Universitas Putra Indonesia)
(Universitas Dharma Andalas)
(Politeknik Negeri Padang)
(Universitas Riau)

SEKSI PERLENGKAPAN :

Rina Yuliet, MT (Koordinator) (Universitas Andalas)
Maiyozzi Chairi, SPd, MT (UPI YPTK)

SEKSI TRANSPORTASI :

Ridho Aidil Fitrah MT (Koordinator) (Universitas Dharma Andalas)
Ilham Armi, MT (Institut Teknologi Padang)
Deni Irda Mazni, MT (Universitas Dharma Andalas)

SEKSI KONSUMSI :

Rita Nasmirayanti, MT (Koordinator) (UPI YPTK)
Nadra Arsyad, MT (UPI YPTK)
Helga Yermadona S.Pd,MT (UMSB)
Febrimen Herista ST,MT (UMSB)

SEKSI DOKUMENTASI :

Eko Prayitno, ST, MSc (Koordinator) (Universitas Bung Hatta)
Rita Anggraini ST,MT (Universitas Bung Hatta)
Evince Oktarina, ST,MT (Universitas Bung Hatta)
Elvi Syamsuir ST,MT (STT Payakumbuh)
Hanifah Asnur ST,MT (STT Payakumbuh)
Ir. Ermiyati, MT (Universitas Riau)

SEKSI PAMERAN DAN POSTER :

Mukhlis, ST., MT.(Koordinator) (Politeknik Negeri Padang)
Dr. Imam Suprayoga (Universitas Riau)
Lusyana, ST., MT. (Politeknik Negeri Padang)

DIBANTU OLEH :

Syahri Nur Rezki (Universitas Andalas)
Aryadi Sujana Tanjung (Universitas Andalas)
Salmanir (Universitas Andalas)
Suci Sukrina (Universitas Andalas)
Muhammad Pangeran Yusuf (Universitas Andalas)
Fanny Rahma Octavia (Universitas Andalas)
Sa'adah Khairunnisak (Universitas Andalas)
Fauzi Jauhari (Universitas Andalas)
Muhammad Rafky Kautsar (Universitas Andalas)
Willy Kurniawan (Universitas Andalas)
Afifah Khairani Arsal (Universitas Andalas)
Eldha Annisa Rafif (Universitas Andalas)
Rizki Okta Sriwahyuni (Universitas Andalas)
Roja Resqullah (Universitas Andalas)
N Rifqi Maulana M (Universitas Andalas)
Hafiz Oktaufiq (Universitas Andalas)

Jilian Dharma	(Universitas Andalas)
March Yandri	(Universitas Andalas)
Lifia Novianti	(UPI YPTK)
Monica Lestari	(UPI YPTK)
Syahfitri	(UPI YPTK)
Elsa Fitria	(UPI YPTK)
Alfiqri Adam	(UPI YPTK)
Dimas Wicahyadi	(UPI YPTK)
Yogi Anggara Maza Putra	(UPI YPTK)
Dimas Fathul Rahman	(UPI YPTK)
Muhammad Fauzan	(UPI YPTK)
Afif Okriwa	(UPI YPTK)
Adrian Fitra Maulana	(UPI YPTK)
Dimas Alif Saputra	(UPI YPTK)

REVIEWER :

Prof. Abdul Hakam	(Universitas Andalas)
Purnawan, Ph.D	(Universitas Andalas)
Mas Mera, Ph.D	(Universitas Andalas)
Taufika Ophyandri, Ph.D	(Universitas Andalas)
Yosritzal, Ph.D	(Universitas Andalas)
Elsa Eka Putri, Ph.D	(Universitas Andalas)
Benny Hidayat, Ph.D	(Universitas Andalas)
Dr. Masrilayanti	(Universitas Andalas)
Dr. Andriani	(Universitas Andalas)
Dr. Nurhamidah	(Universitas Andalas)
Titi Kurniati, MT	(Universitas Andalas)
Rafki Imani, MT	(UPI YPTK)
Dr. Gusta Gunawan	(Universitas Bengkulu)
Maidiawati, Dr. Eng	(Institut Teknologi Padang)
Dr. Astuti Masdar	(STT Payakumbuh)
Dr. Noviyarti	(STT Payakumbuh)
Gusni Vitri, MT	(Universitas Dharma Andalas)
Dr. Zahrul Umar	(Universitas Bung Hatta)
Bayu Budi Irawan, MT	(Universitas Dharma Andalas)
Dr. Lita Darmayanti, MT	(Universitas Riau)

KEYNOTE SPEAKER

1. Dr. Ir. Suprayoga Hadi, MCP (Perencanaan Ahli Utama Kementerian PPN/Bappenas)
2. Sidiq Purnomo (Direktur Teknik dan Pengembangan PT Wika Beton Tbk)
3. Taufika Ophiyandri, Ph.D (Dosen Teknik Sipil Universitas Andalas)
4. Dr. Ir. Sumijan, M.Sc (Dosen Sistim Informasi UPI YPTK Padang)

SUSUNAN ACARA 6TH ACE CONFERENCE JURUSAN TEKNIK SIPIL UNAND

Jam	Kegiatan	PIC
08.00 –08.30	Registrasi	Mahasiswa UNAND
08.30 –08.35	Acara Pembukaan	MC
08.35– 08.45	Sholawat Bersama	MC
08.45–08.55	Membacakan Al-Qur'an	Mahasiswa UPI
08.55–09.05	Asmaul Husna	Mahasiswa UPI
09.05–09.10	Pembacaan Do'a	Mahasiswa UPI
09.10–09.15	Menyanyikan Lagu Indonesia Raya	Mahasiswa UPI
09.15–09.25	Tari Pasambahan	Mahasiswa UPI
09.25–09.30	Laporan Ketua Panitia ACE 6	YerviHesna, MT
09.30–09.35	Sambutan Ketua Kolaborasi diwakili Ketua Jurusan Teknik Sipil UNAND	Taufika Ophiyandri, Ph.D
09.35–09.40	Sambutan Dekan Fakultas Teknik UNAND	Ir. InsannulKamil, Ph.D
09.40–09.45	Sambutan dan pembukaan oleh Rektor UPI YPTK	Prof. Dr. H. Sarjon Defit, S.Kom, M.Sc
09.45 – 10.00	Foto Bersama	MC
10.00 –10.15	Coffee Break	
10.15 -10.35	Keynote speaker 1 : Dr. Ir. Suprayoga Hadi, MCP (Perencanaan Ahli Utama Kementrian PPN/Bappenas)	
10.35 -10.55	Keynote Speaker 2 : Sidiq Purnomo (Direktur Teknik dan Pengembangan PT Wika Beton Tbk)	Moderator Jihan Melasari, ST, MT
10.55 – 11.15	Keynote Speaker 3 : Taufika Ophiyandri, Ph.D (Dosen Teknik Sipil Universitas Andalas)	
11.15 – 11.35	Keynote Speaker 4 : Dr. Ir. Sumijan, M.Sc (Dosen Sistim Informasi UPI YPTK Padang)	
11.35–12.00	Question & Answer	
12.00 – 13.00	ISHOMA	
13.00 – 15.00	Sesi Paralel 1	Moderator
15.00 – 15.30	ISHOMA/Coffee break	
15.30 – 17.00	Sesi Paralel 2	Moderator
17.00-17.10	Penutupan oleh Rektor UPI	Rektor UPI
17.10-17.20	Pengumuman Best Presenter	MC
17.20- 17.30	Foto Bersama	MC

PEMBAGIAN SESI PARALEL
6TH ACE 2019

SESI PARALEL 1 : STRUKTUR
TEMPAT : RUANGAN 1
WAKTU : 13.00 – 15.00
MODERATOR : MASRILAYANTI, Ph.D

No	No. ID	Judul>Nama Penulis
1	1082	DETERMINATION OF TUNED LIQUID COLUMN DAMPER FREQUENCY AND DAMPING RATIO USING PENDULUM VIBRATION SYSTEM <i>Masayu Rannie Safitri, Lovely Son dan Mulyadi Bur</i>
2	1097	PERBANDINGAN ANALISIS STRUKTUR RANGKA ATAP PADA BANGUNAN GEDUNG A BLOK TIMUR PASAR ATAS KOTA PAYAKUMBUH <i>Dini andrela, Astuti Masdar dan Fatma Ira Wahyuni</i>
3	1101	PENGARUH PENAMBAHAN SUPERPLASTICIZER TERHADAP KUAT TEKAN BETON <i>Sri Umiati, Rendy Thamrin dan Neli Harti</i>
4	1102	KAJI EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN PEREDAM DINAMIK TLCD BERBENTUK V DENGAN PENAMPANG BERVARIASI PADA MODEL STRUKTUR RUANG DUA LANTAI <i>Nurul Intan Ridelfa, Mulyadi Bur dan Lovely Son</i>
5	1108	ANALISIS KAPASITAS GIRDER PCU (PRESTRESSED CONCRETE TYPE U) PADA JEMBATAN GUNUNG NAGO KECAMATAN PAUH KOTA PADANG SUMATERA BARAT <i>Desi Fitria, Mukhlis dan Andi Syukri</i>
6	1110	PERENCANAAN BOX GIRDER BAJA MELENGKUNG HORIZONTAL PADA MASA LAYAN MENGGUNAKAN STANDAR AASHTO LRFD 2012 <i>Zulfira Mirani, Liliwanti, Lukman Murdiansyah, Mukhlis dan Rahmad Hakiki</i>
7	1116	ANALISIS JEMBATAN LENGKUNG HORIZONTAL DENGAN I-GIRDER BAJA MENGGUNAKAN STANDAR AASHTO LRFD 2012 (PADA JALAN TOL JORR II RUAS KUNCIRAN-CENGKARENG SEKSI-4 RAMP3) <i>Desmon Hamid, Mukhlis dan Rifki Muchni</i>
8	1128	PENGARUH POSISI SHEAR WALL DAN X-BRACING TERHADAP RESPON STRUKTUR GEDUNG <i>Maiyozzi Chairi dan Afrilda sari</i>
9	1129	PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG PUSAT PERDAGANGAN KULINER KOTA BUKITTINGGI <i>Khairul Anwar</i>
10	1143	PEMBUATAN CMC (CARBOXY METHYL CELLULOSE) MENGGUNAKAN REAKTOR SEMI CONTINUE <i>Renny Futeri</i>
11	1148	PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI MEMBRAN SELULOSA ASETAT DARI LIMBAH KULIT KAKAO (THEOBROMACACAO L.) DENGAN METODE INVERSI FASA UNTUK ADSORPSI LOGAM TIMBAL <i>Pevi Riani</i>

SESI PARALEL 1 : STRUKTUR
TEMPAT : RUANGAN 2
WAKTU : 13.00 – 15.00
MODERATOR : JATI SUNARYATI, Ph.D

No	No. ID	Judul>Nama Penulis
1	1158	PENGARUH VARIASI VISKOSITAS PADA RECTANGULAR WATER TANK TUNED LIQUID DAMPER TERHADAP RESPONS DINAMIK STRUKTUR <i>Gita Zakiah Putri</i>
2	1163	PENGARUH DIAMETER BAUT TERHADAP KUAT TUMPU PELAT SAMBUNG PAPAN LAMINASI BAMBU PETUNG (DENDROCOLAMUS ASPER) <i>Astuti Masdar</i>
3	1172	PEMANFAATAN PENAMBAHAN SERAT BAJA BAN BEKAS (RECYLED TYRE STEEL FIBER) PADA BETON MUTU TINGGI UNTUK ANALISIS PCI GIRDER JEMBATAN BERDASARKAN AASHTO 2012 <i>Findo Eka Sada Sitepu, Andi Syukri dan Etri Suhelmidawati</i>
4	1182	PERFORMANCE EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BY PUSHOVER ANALYSIS (CASE STUDY : THE BUILDING OF FISIP UNJANI CIMAHI) <i>Asri Yuda Trinanda, Widiawati Purba dan Pebrian Hayat</i>
5	1187	EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN “Study Kasus Jembatan Sungai Dareh Dharmasraya” <i>Zakpar Siregar, Jihan Melasari dan Pindho Noor Fatoni</i>
6	1193	PERKUATAN SAMBUNGAN BALOK-KOLOM BETON BERTULANG DENGAN VARIASI T-PLAT BAJA <i>Hafiz Maulana</i>
7	1199	KAPASITAS SEISMIK GEDUNG BETON BERTULANG KOTA PALU, SULAWESI TENGAH DENGAN METODE PUSHOVER <i>Silsia Nur Afifah, Maidiawati dan Jafril Tanjung</i>
8	1219	EVALUASI KINERJA STRUKTUR BAJA GEDUNG BERTINGKAT BERATURAN TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1729 2015 <i>Appriilya Destiyani, Iskandar Romey Sitompul, Reni Suryanita dan Indra Kuswoyo</i>
9	1228	UJI MUTU PENGERINGAN CEPAT PAPAN SAWIT MENGGUNAKAN OVEN SUHU TINGGI DAN PEMANASAN MICROWAVE <i>Haji Gussyafri, Fakhri dan Hasyim Mustakim</i>
10	1232	UJI KUAT GESER LAMINASI KAYU AKASIA MANGIUM (ACACIA MANGIUM) MENGGUNAKAN RESIN EPOXY <i>Fakhri, Haji Gussyafri dan Eko Riyawan</i>
11	1244	PENGARUH PENAMBAHAN SAMPAH PLASTIK PET DAN LDPE TERHADAP KUAT TEKAN PAVING BLOCK <i>Rani Fahmi Zakaria dan Fauzan</i>

SESI PARALEL 1 : STRUKTUR
TEMPAT : RUANGAN 3
WAKTU : 13.00 - 15.00
MODERATOR : Dr. ASTUTI MASDAR, ST, MT

No	No. ID	Judul>Nama Penulis
1	1251	OPTIMALISASI VOUTE PADA BALOK BENTANG PANJANG <i>Muhammad Ridwan dan Definda Helka Septiawan</i>
2	1252	OPTIMALISASI KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI DENGAN SUBSTITUSI PARSIAL LIMBAH LAS KARBIT <i>Emilia Kadreni, Nofid Rahman Hadi Lubis dan Torang Sitorus</i>
3	1256	ANALISIS JARAK DILATASI BANGUNAN BER-LAYOUT L DAN PERHITUNGAN PENULANGAN ELEMEN BALOK DAN KOLOM DISEKITAR DILATASI <i>Jati Sunaryati dan Suci Lestari</i>
4	1257	STUDI NUMERIK PENGARUH VARIASI BENTUK PENAMPANG BRESING TERHADAP PERILAKU STRUKTUR PORTAL BAJA KONSENTRIK AKIBAT PEMBEBANAN SIKLIK <i>Nidiasari, Sabril Haris dan Muhammad Arrigo Iqbal</i>
5	1259	STUDI PENAMBAHAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH TERHADAP NILAI CBR DAN SWELLING POTENTIAL PADA TANAH LEMPUNG <i>M. Khadafi Lembasy, Soewignojo Agus Nugroho dan Ferry Fatmanta</i>
6	1261	KAJIAN DYNAMIC AMPLIFICATION FACTOR PADA RANGKA JEMBATAN AKIBAT BEBAN GEMPA DENGAN METODE RESPON SPEKTRUM <i>Suci Nadiatul, Masrilayanti dan Riza Aryanti</i>
7	1267	PENGGUNAAN BAHAN ADITIF SILICA FUME DAN FLY ASH TERHADAP KUAT TEKAN BATA CLC (CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE) <i>Harnedi Maizir, Yon Subagiono, Dimas Arief Wicaksono, Dede Eldi Kurniawan dan Abrar Rifqi Pratama</i>
8	1271	PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH KANTONG PLASTIK SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS PADA KUAT TEKAN BETON <i>Wina Tri Anelda, Zaidir dan Sri Umiati</i>
9	1272	PENGARUH PENGGUNAAN BOTOL PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS PADA BETON <i>Yosi Juliana Nadeak, Zaidir dan Sri Umiati</i>
10	1273	PENGARUH PENGGUNAAN BOTOL PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) SEBAGAI TAMBAHAN SERAT TERHADAP KEKUATAN BETON <i>Elsi Modesta dan Zaidir</i>

SESI PARALEL 2 : TRANSPORTASI
TEMPAT : RUANGAN 1
WAKTU : 15.30 – 17.00
MODERATOR : YOSRITZAL, Ph.D

No	No. ID	Judul>Nama Penulis
1	1075	ANALISA ARUS LALU LINTAS MENERUS ZONA KOMERSIL <i>Aditya Mahatidanar Hidayat, Tiara Noviri Kristin dan Dian Anggraini</i>
2	1084	STUDI KOMPARASI AKSESIBILITAS DAERAH WISATA DI KABUPATEN PASAMAN <i>Endang Susumaningsih, Purnawan dan Yossyafra</i>
3	1096	CLUSTER ANALYSIS IBUKOTA – IBUKOTA PROPINSI DI INDONESIA BERDASARKAN FAKTOR PENYEBAB KEMACETAN <i>Lusita Lusi Putri dan Purnawan</i>
4	1098	PENGARUH BAHAN TAMBAH LATEKS TERHADAP KEKAKUAN ASPAL <i>Elsa Eka Putri dan Ikfal Lukfi</i>
5	1103	MODEL OF DISTRIBUTION TIME HEADWAY AGGRESSIVE AND NON AGGRESSIVE DRIVER <i>Yolla Rahmasari dan Purnawan</i>
6	1104	ANALISIS KINERJA JALAN PERKOTAAN AKIBAT PERUBAHAN GEOMETRIK JALAN (STUDI KASUS JL HR. SUBRANTAS KM 14 PANAM PEKANBARU) <i>Benny Hamdi Rhoma Putra</i>
7	1105	PENGARUH LAMA PERENDAMAN TERHADAP NILAI KUAT TEKAN PADA CAMPURAN AC-WC DENGAN MENGGUNAKAN ASPAL MODIFIKASI ELASTOMER <i>Edi Yusuf Adiman</i>
8	1106	PENGARUH PENAMBAHAN STYROFOAM TERHADAP DURABILITAS AC-WC DAN HRS-BASE <i>Elsa Eka Putri dan Fajri Kurnia Illahi</i>
9	1115	PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU RUAS JALAN DUKU UTARA, KECAMATAN KOTO XI TARUSAN, SUMATERA BARAT (Sta 1+000- Sta6+000) MENGGUNAKAN METODE Pd T – 14 DAN METODE MDP 2017 <i>Gusri Yaldi, Apwiddhal dan Abdi Dwi Setiawan</i>
10	1118	PEMANFAATAN CANGKANG SAWIT TERHADAP NILAI INDEKS KEKUATAN SISA PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE (AC-BC) <i>Syaifullah Ali, Mukhlis, Lusyana dan Claudia Agnes Siboro</i>
11	1120	PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN JALAN KAKU MENGGUNAKAN METODE AASHTO 1993 DAN MDP 2017 PADA RUAS JALAN BANDAR BUAT-INDARUNG KOTA PADANG <i>Fauna Adibroto, Silvia Nengsih dan Nilam Nadita Suhendra</i>
12	1270	STUDI KECEPATAN OPERASI KENDARAAN PADA JALAN ARTERI (PRIMER DAN SEKUNDER) MENGGUNAKAN METODE PERSENTIL 85 <i>Muhammad Ravi Yuvhendmindo, Sri Ramayanti dan Bayu Martanto Adji</i>

SESI PARALEL 2 : TRANSPORTASI
TEMPAT : RUANGAN 2
WAKTU : 15.30 - 17.00
MODERATOR : MUKHLIS, ST, MT

No	No. ID	Judul>Nama Penulis
1	1135	PERENCANAAN KONSTRUKSI PERKERASAN KAKU MENGGUNAKAN METODA Pd T – 14 – 2003 dan METODA AASHTO 1993 PADA RUAS JL. RAYA LUBUK BEGALUNG - BANDAR BUAT <i>Ira Yohana, Apwidhal dan Gusri Yaldi</i>
2	1137	SISTEM INFORMASI KEPADATAN LALULINTAS MENGGUNAKAN JARINGAN IVC BERBASIS ZIGBEE, GPS DAN ARDUINO <i>Zulfahmi Islami dan Meuthia Khairani</i>
3	1141	EVALUASI DAN DESAIN ULANG SIMPANG PARIK KOTA PAYAKUMBUH UNTUK ANTISIPASI VOLUME LALU LINTAS <i>Sidratul Muntaha, Astuti Masdar dan Ridha Sari</i>
4	1154	KAJIAN NILAI MARSHALL CAMPURAN BETON ASPAL (AC) DENGAN MENGGUNAKAN RETONA BLEND 55 SEBAGAI BAHAN ADDITIVE <i>Ishak, Ambiyar, Agus Rahmad Timor dan Jufri</i>
5	1157	PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN LENTUR MENGGUNAKAN METODE MAK 2002 DAN MDP 2017 PADA RUAS JALAN SUNGAI DAREH – SIKABAU KABUPATEN DHARMASRAYA <i>Nadira Sastri, Saifullah Ali dan Fauna Adibroto</i>
6	1159	PENGARUH PENAMBAHAN ZAT ADITIF LATEKS (GETAH KARET) TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN LAPISAN ASHPALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC) <i>Muhammad Aminsyah dan Diila Ameliya Putri</i>
7	1162	PENGARUH PENAMBAHAN SELULOSA ASETAT PADA FILTER ROKOK TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN ASPAL AC-WC (ASHPALT CONCRETE – WEARING COURSE) <i>Muhammad Aminsyah dan Faizul Abdi</i>
8	1165	PENGARUH PENAMBAHAN LATEKS PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC) <i>Muhammad Aminsyah dan Rahma Septika Syahid</i>
9	1166	PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU DENGAN METODA PERENCANAAN PERKERASAN JALAN BETON SEMEN (PD T-14-2003) DAN MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN 2017, PADA RUAS JALAN PADANG – BUKITTINGGI, BATANGANAI <i>Lusyana, Syaifullah Ali dan Firdaus Putra</i>
10	1168	ANALISA NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) UNTUK PERENCANAAN TEBAL LAPISAN PERKERASAN LENTUR (STUDI KASUS PADA RUAS JALAN PANTI -TALU) <i>Dwina Archenita, Liliwanti, Syaifullah Ali dan Hadi Darma Safutra</i>
11	1175	ANALISA EVALUASI PENGGUNAAN LAHAN PARKIR (STUDY KASUS : BASKO GRAND MALL PADANG) <i>Afrilda Sari, Utami Dewi Arman, Rafky Imani dan Rita Nasmirayanti</i>

SESI PARALEL 2 : TRANSPORTASI
TEMPAT : RUANGAN 3
WAKTU : 15.30 - 17.00
MODERATOR : ANGELALIA ROZA, M.Eng.Sc

No	No. ID	Judul>Nama Penulis
1	1194	STUDI POTENSI PENGAPLIKASIAN JALUR KHUSUS SEPEDA MOTOR <i>Intan Rizki Oktavia, Titi Kurniati dan Yosritzal</i>
2	1196	KEBUTUHAN INTEGRASI ANGKUTAN UMUM DI ZONA WISATA SUMATERA BARAT <i>Jihan Melasari dan Purnawan</i>
3	1202	ANALISIS PITA PENGGADUH (RUMBLE STRIPS) DALAM MEREDUKSI KECEPATAN KENDARAAN PADA KAWASAN ZOSS KOTA PADANG PANJANG <i>Helga Yermadona, Deddy Kurniawan dan Mira Meilisa</i>
4	1210	EVALUASI PEMASANGAN RAMBU PADA AKSES JALAN WISATA PANTAI AIR MANIS <i>Muhammad Ridwan, Bayu Budi Irawan, Hazmal Herman dan Uci Mardiani</i>
5	1224	PENGARUH PENAMBAHAN KALSIMUM HIDROKSIDA (Ca(OH) ₂) PADA KARAKTERISTIK ASPAL <i>Tiara Fahreza, Hendri Warman dan Zufrimar</i>
6	1226	HUBUNGAN VOLUME, KECEPATAN DAN KEPADATAN (RUAS JALAN JHONI ANWAR, SIMPANG TINJU - SJS PLAZA, LAPAI, KOTA PADANG) <i>Eko Prayitno dan Veronika</i>
7	1229	ANALISIS KINERJA CAMPURAN BERASPAL DENGAN SUBSTITUSI PLASTIK <i>Aris Firman Wijaya, Taufik, Rini Mulyani dan Veronika</i>
8	1247	FAKTOR WAKTU DAN LUAS KAWASAN AKTIFITAS KERJA SERTA KEPEMILIKAN KENDARAAN SEBAGAI PARAMETER TAMBAHAN DALAM PERHITUNGAN KAPASITAS RUAS JALAN EVAKUASI TSUNAMI DI PERKOTAAN INDONESIA <i>Yossyafra dan Nurhuda Fitri</i>
9	1249	ANALISIS NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) PADA TANAH DASAR (SUBGRADE) JALAN RAYA <i>Liliwanti, Dwina Achenita dan Yudhi Marlyanto</i>
10	1266	ANALISIS KEPUASAN DAN KEPENTINGAN FASILITAS DAN LAYANAN ANGKUTAN BERBASIS ONLINE DI KOTA PADANG <i>Titi Kurniati dan Khairun Nisya</i>
11	1268	OPTIMALISASI KINERJA LALU LINTAS MELALUI PENERAPAN PENGATURAN SIMPANG TAK BESINYAL DENGAN METODALocal Area TrafficManagement – STUDI KASUS – KAWASAN ULAK KARANG <i>Dian Alfi Rahmi dan Yosritzal</i>
12	1274	ANALISIS KARAKTERISTIK, TARIKAN DAN BANGKITAN PERGERAKAN DARI PENGUNJUNG DAN PEDAGANG DI PASAR SERIKAT PARIAMAN <i>Yossyafra dan Nadia Milla Hanifah</i>

SESI PARALEL 1 : SUMBER-DAYA AIR
TEMPAT : RUANGAN 4
WAKTU : 13.00 - 15.00
MODERATOR : Dr. JOLEHA

No	No. ID	Judul>Nama Penulis
1	1078	KOLAM RETENSI SEBAGAI UPAYA MITIGASI BANJIR BERBASIS KONSERVASI DAERAH ALIRAN SUNGAI BATANG AIR DINGIN <i>Nurhamidah, Ahmad Junaidi dan Diky Perdana</i>
2	1079	PEMODELAN TRANSPOR SEDIMEN TAPAK PADRI KOTA BENGKULU <i>Besperi, Gusta Gunawan, Mawardi dan Okta Dwi Karsa</i>
3	1091	HUBUNGAN LAJU INFILTRASI TERHADAP KEPADATAN TANAH DI KAWASAN PEMUKIMAN <i>Totoh Andayono dan Mas Mera</i>
4	1092	PENGENDALIAN KERUSAKAN AKIBAT SUNGAI DAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI <i>Andy Ikhvan dan Mas Mera</i>
5	1100	ANALISIS INDEKS KEKERINGAN METODE KEETCH BYRAM DROUGHT INDEX (KBDI), STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI), DAN TEORI RUN DI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) KAMPAR PROVINSI RIAU <i>Novreta Ersyi Darfia dan Widdya Rahmalina</i>
6	1124	ANALISIS EFEKTIFITAS BANGUNAN PENGAMAN PANTAI TERHADAP ABRASI (STUDI KASUS PANTAI KOTA PADANG) <i>Muhammad Fauzi dan Nelvi Andesi</i>
7	1125	SEDIMENT TRANSPORT PHENOMENA IN BENGAWAN SOLO RIVER WITH RESPECT TO THE FLOW CIRCUMSTANCES <i>Mahendra Andiek Maulana dan Ria Asih Aryani Soemitro</i>
8	1132	STATE OF THE ART SISTEM DRAINASE KOTA MEDAN MASA KOLONIAL 1921 <i>Saedi Saputra Siagian, Kuswandi, Yudha Hanova dan Hermansyah</i>
9	1133	EVALUASI KINERJA DAERAH PENGALIRAN SUNGAI AIR BENGKULU MELALUI PENDEKATAN DEBIT PUNCAK MENGGUNAKAN HIDROGRAF SATUAN <i>Gusta Gunawan, Besperi, Putri Ersi Mareta, Oki Kurniawan dan Rulintan</i>
10	1139	PERENCANAAN TUBUH BENDUNGAN TARAM KAB. LIMA PULUH KOTA <i>Rival Tri Putra, Elvi Syamsuir, Ridha Saridan Astuti Masdar</i>

SESI PARALEL 2 : SUMBER-DAYA AIR
TEMPAT : RUANGAN 4
WAKTU : 15.30 - 17.00
MODERATOR : Dr. GUSTA GUNAWAN

No	No. ID	Judul>Nama Penulis
1	1174	SIMULASI DEBIT BANJIR PADA SUNGAI BATANG MAHAT MENGGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK DAN DATA HUJAN SATELIT <i>Ansa Pamungkas Sukiman, Angga Syahputra, Dalrino dan Aguskar</i>
2	1177	OPTIMASI EMBUNG MENGGUNAKAN PROGRAM LINEAR (STUDI KASUS EMBUNG LEPANG BESAR KABUPATEN LAMPUNG UTARA) <i>Aprizal dan Orbit Mutiara Febrian</i>
3	1195	ANALISIS KEMAMPUAN PENAMPANG MELINTANG SUNGAI BATANG ARAU DALAM MENGALIRKAN DEBIT BANJIR <i>Zerha Fajserly, Zahrul Umar, Hartati dan Dalrino</i>
4	1213	TINJAUAN GERUSAN LOKAL DI HILIR BENDUNG KOTO TUO SUNGAI BATANG AIR DINGIN KOTA PADANG <i>Ath Thaariq, Muhammad Hisyam, Dalrino dan Aguskar</i>
5	1216	KOMPARASI MODEL PERAMALAN DEBIT SUNGAI MENGGUNAKAN ANN, WAVELET- ANN UNTUK Mendukung SISTEM DETEKSI DINI BANJIR DI SUNGAI SIAK <i>Imam Suprayogi, Joleha, Manyuk Fauzi, Alfian dan Suprasman</i>
6	1217	ANALISIS PREDIKSI KESEIMBANGAN AIR PADA BENDUNG BATANG SAMO UNTUK PENGEMBANGAN SEKTOR PERIKANAN DI KABUPATEN ROKAN HULU <i>Joleha, Imam Suprayogi, Ermiyati, Nurdin dan Gussyafri</i>
7	1218	APLIKASI PROGRAM LINIER UNTUK KEBUTUHAN OPTIMASI ALOKASI AIR DAERAH IRIGASI OKAK SAMO KAITI KABUPATEN ROKAN HULU <i>Bochhari, Joleha, Imam Suprayogi, Nurdin dan Gussyafri</i>
8	1235	PENILAIAN INDEKS KINERJA DAERAH IRIGASI SIMANDOLAK-PANGEAN <i>Manyuk Fauzi, Siswanto dan Ermiyati</i>
9	1238	OPTIMALISASI PENGGUNAAN LAHAN POLA AGROFORESTRI DI WADUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR KOTO PANJANG MENGGUNAKAN PROGRAM LINIER <i>Nurdin, Imam Suprayogi dan Joleha</i>
10	1242	ANALISIS USAHA TANI PADI DI KECAMATAN BUNGA RAYA KABUPATEN SIAK <i>Siswanto, Rian Tri Komara dan Windy Wahyuni</i>

SESI PARALEL 1 : MANAJEMEN REKAYASA KONSTRUKSI
TEMPAT : RUANGAN 5
WAKTU : 13.00 - 15.00
MODERATOR : LOLI HONESTY, Ph.D

No	No. ID	Judul/ Nama Penulis
1	1065	PERSEPSI PELAKU INDUSTRI KONSTRUKSI TERHADAP KEBERLAJUTAN DAN KONSTRUKSI HIJAU <i>Annisa Fitria Edriani</i>
2	1086	FUZZYANALYTICALHIERARCHYPROCESS (F-AHP) FOR RISKASSESSMENT IN INFRASTRUCTURE INVESTMENT <i>Lisherly Reginancy Debataraja, Akhmad Suraji dan Taufika Ophiyandri</i>
3	1088	IMPLEMENTASI SISTEM MANAJEMEN MUTU ISO 9001:2008 PADA PEKERJAAN BETON BRIDGE CONVEYOR (BC), TRANSFER STATION & HOPPER PROYEK INDRAMUG VI KOTA PADANG <i>Utami Dewi Arman, Rafki Imani dan Afrilda Sari dan Widyawati Purba</i>
4	1107	PRELIMINARYREFLECTIONON PERFORMANCE INDICATORAND PERFORMANCE FACTORFOR INFRASTRUCTURE ASSETMANAGEMENT <i>Hitapriya Suprayitno, Ria Asih Aryani Soemitro, Mahendra Andiek Maulana dan Yervi Hesna</i>
5	1111	PENERAPAN METODADURATIONCOSTTRADEOFF DENGAN MENGUNAKAN MICROSOFTPROJECT (STUDI KASUS: PROYEK JEMBATAN SIJOKJOK KEPULAUAN MENTAWAI TAHUN 2018) <i>Riswandi, Mukhlis, Yan Parta Wijaya, Jajang Atmaja dan Shalvia Nabilla Daffa</i>
6	1112	ANALISIS DAN EVALUASI KINERJA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG SHELTER SD N 27 LENGAYANG PESISIR SELATAN DENGAN METODAEARNEDVALUE <i>Merly Misriani, Monika Natalia dan Nadia Hidayah</i>
7	1114	ANALISA KETERLAMBATAN PROYEK GEDUNG DENGAN EARNEDVALUEANALYSIS DAN CRASHDURATION <i>Rahmi Hidayati, Mukhlis dan Muhammad Feli Nugraha,</i>
8	1138	PENILAIAN RISIKO DAN PENANGANAN KERUSAKAN RUAS JALAN NASIONAL PADANG-SOLOK-SAWAH LUNTO <i>Eva Rita, Rusdianto Augusta dan Nasfryzal Carlo</i>

SESI PARALEL 2 : MANAJEMEN REKAYASA KONSTRUKSI
TEMPAT : RUANGAN 5
WAKTU : 15.30 - 17.00
MODERATOR : EVINCE OKTARINA, ST, MT

No	No. ID	Judul/ Nama Penulis
1	1156	SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN CERDAS PADA MODEL RANTAI PASOK INDUSTRI KONSTRUKSI BERKELANJUTAN: STUDI LITERATURE <i>Putranesia, Taufika Ophiyandri, Benny Hidayat dan Meilizar</i>
2	1173	ANALISA PERSEPSI KONTRAKTOR TERHADAP PENGGUNAAN METODE PELACAKAN IKLIM DALAM PERENCANAAN JADWAL PELAKSANAAN PROYEK <i>Helny Lalan</i>
3	1184	ANALISA RESIKO KETERLAMBATAN PELAKSANAAN PROYEK GEDUNG DI SUMATERA BARAT DENGAN PENDEKATAN RISK MANAGEMENT <i>Mediana Desfita</i>
4	1192	STATISTICAL QUALITATIVE MODEL TO VALUATE THE RISK OF EARTHQUAKE RESISTANCE HOUSING <i>Muhammad Rilly Aka Yogi</i>
5	1206	PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN MUTU (SMM) DI LINGKUNGAN BALAI JASA KONSTRUKSI WILAYAH I BANDA ACEH <i>Febrimen Herista</i>
6	1208	ANALISA KAPASITAS DAN METODA KONSTRUKSI PADA SHELTER MANDIRI DI KELURAHAN PASIE NAN TIGO <i>Febrin Anas Ismail, Taufika Ophiyandri dan Dicky Kurnia Adha</i>
7	1221	PERANCANGAN DAN ANALISIS OPERASI KONSTRUKSI UNTUK PEKERJAAN PENGASPALAN JALAN MENGGUNAKAN <i>Dyla Midya Octavia, Nasrul dan Revil Yohanda</i>
8	1240	PERSEPSI MASYARAKAT MENGENAI PRIORITAS PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR DESA BERBASIS MITIGASI BENCANA <i>Anggraini Rasadi, Benny Hidayat dan Taufika Ophiyandri</i>

SESI PARALEL 1 : KEBENCANAAN, LINGKUNGAN DAN GEOTEKNIK
TEMPAT : RUANGAN 6
WAKTU : 13.00 - 15.00
MODERATOR : Dr. ANDRIANI, ST, MT

No	No. ID	Judul>Nama Penulis
1	1072	ANALISIS RESPON SEISMIC AREA SENTRAL DI KOTA BENGKULU <i>Sintia Agustina, Putri Widia Anggraini, Muharram Nur Fikri dan Lindung Zalbuin Mase</i>
2	1074	SEBARAN DAN KARAKTERISTIK TUMPAHAN CPO DI TELUK BAYUR SERTA DAMPAKNYA TERHADAP KUALITAS AIR <i>Herdiana Mutmainah</i>
3	1081	SIMULASI GENANGAN TSUNAMI DI TELUK LAGUNDRI NIAS SELATAN <i>Elvin Charles Mendrofa dan Kuswandi</i>
4	1083	KAJIAN DAYA DUKUNG PERMUKIMAN BERDASARKAN FAKTOR KEBENCANAAN DI KECAMATAN PARIAMAN TENGAH <i>Haryani dan Fernandito</i>
5	1094	ANALISIS DAERAH GENANGAN DAN BAHAYA BANJIR DI SUNGAI KAMPAR KECAMATAN KAMPAR UTARA <i>Rahmatul Irfan, Bambang Sujatmoko dan Siswanto Siswanto</i>
6	1095	ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN SHEET PILE <i>Afif Apriansyah, Nanda, Wendi Boy, Rafki Imani dan Widiawati Purba</i>
7	1122	SEISMIC DAMAGE ASSESSMENT OF RESIDENTIAL FUNCTION ZONE IN JAKARTA CITY <i>Delfebriyadi, Masyhur Irsyam, Bigman M. Hutapea, Iswandi Imran and M. Asrurifak</i>
8	1134	BIOREMEDIASI DENGAN METODE KOMPOSTING UNTUK BIODEGRADASI PESTISIDA PADA TANAH <i>Tivany Edwin dan Mas Mera</i>
9	1150	PREFERENSI MASYARAKAT MELAKUKAN EVAKUASI JIKA TERJADI BENCANA TSUNAMI DI KOTA PADANG <i>Fitra Rifwan, Purnawan dan Prima Zola</i>
10	1151	PEMANFAATAN LAHAN DI ATAS TANAH DENGAN KEMIRINGAN YANG MEMPERTIMBANGKAN STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN METODE PERMODELAN DAN OPTIMASI <i>Julita Andrini Repadi, Abdul Hakam dan Bambang Istijono</i>
11	1153	PENYELESAIAN PERMASALAHAN DINDING PENAHAN TANAH DENGAN METODE OPTIMASI <i>Fathol Bari, Abdul Hakam dan Bambang Istijono</i>

SESI PARALEL 2 : KEBENCANAAN, LINGKUNGAN DAN GEOTEKNIK

TEMPAT : RUANGAN 6

WAKTU : 15.30 - 17.00

MODERATOR : DENI IRDA MAZNI, ST, MT

No	No. ID	Judul>Nama Penulis
1	1155	STUDI PENAMBAHAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH TERHADAP NILAI CBR DAN SWELLING POTENTIAL PADA TANAH LEMPUNG <i>M. Khadafi Lembasy, Soewignjo Agus Nugroho dan Ferry Fatnanta</i>
2	1178	DAMPAK RESIKO DAN BENCANA TAMBANG EMAS ILEGAL <i>Jon Hafnil</i>
3	1180	PERBANDINGAN SISTEM PENYIMPANAN DENGAN SISTEM DISTRIBUSI LOGISTIK DI DAERAH BENCANA <i>Robino Indan</i>
4	1190	SOLIDIFIKASI/STABILISASI SAMPAH PLASTIK HDPE BEKAS KEMASAN LIMBAH B3 DALAM PEMBUATAN PAVING BLOCK <i>Yenni Ruslinda, Rahmadila dan Prima Puspa Diani</i>
5	1191	ANALISIS PERHITUNGAN DAYA DUKUNG PONDASI BORED PILE DAN PENURUNAN PADA BANGUNAN GEDUNG APARTEMENT 48BEKASI UTARA(STUDIKASUS PEMBANGUNAN) <i>Rita Nasmirayanti, Meri Sufina, Afrilda Sari dan Nurlaili Lubis</i>
6	1201	SISTEM MANAJEMEN EVAKUASI PADA SHELTER MANDIRI DI KELURAHAN PASIE NAN TIGO <i>Febrin Anas Ismail, Taufika Ophiyandri dan Afdilla Yofianda</i>
7	1207	PENGARUH GENANGAN TERHADAP KECEPATAN TSUNAMI <i>Any Nurhasanah, Susilowati dan Andika Wibisono</i>
8	1233	PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH TIPE KANTILEVER PADA KAWASAN TANAH BERPASIR <i>Deni Irda Mazni, Ridho Aidil Fitrah dan Sellvi Rahmadani</i>
9	1236	KARAKTERISTIK NILAI CBR TANAH CL-ML DISTABILISASI DENGAN SEMEN DAN KAPUR TERHADAP SIKLUS PEMBASAHAN PENGERINGAN <i>Abdul Hadi, Ferry Fatnanta dan Gunawan Wibisono</i>
10	1269	TINJAUAN ULANG STRUKTUR BANGUNAN RUMAH SUSUN SEWA EMPAT LANTAI DAN PERKIRAAN POTENSI LIKUIFAKSINYA <i>Rina Yuliet dan Padli Wahyu Septiawan</i>

KATA SAMBUTAN KETUA JURUSAN TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS ANDALAS

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan izin Nya kita dapat menyelenggarakan suatu konferensi nasional yaitu 6th ACE-National Conference 2019 yang bertemakan 'Menuju Pembangunan Infrastruktur yang Ramah Bencana dan Berkelanjutan di Era Revolusi Industri 4.0'. Taklupa sholawat dan salam kita kirimkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW. ACE-National Conference merupakan salah satu agenda tahunan Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas yang diselenggarakan sejak tahun 2014. Pada tahun ke-enam ini, kami mencoba untuk berkolaborasi dalam penyelenggaraannya dengan berbagai Jurusan Teknik Sipil diberbagai universitas di Pulau Sumatera, yakni Universitas Putra Indonesia YPTK, Universitas Riau, Universitas Bengkulu, Universitas Dharma Andalas, Universitas Bung Hatta, Institut Teknologi Padang, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Sekolah Tinggi Teknik Payakumbuh, dan Politeknik Negeri Padang. Harapan kami, kolaborasi ini nantinya tidak hanya terbatas pada kegiatan ini saja, namun ini merupakan suatu langkah awal untuk dapat berkolaborasi pada kegiatan yang lebih luas, seperti riset bersama, penyelenggaraan pelatihan dan workshop, pengabdian masyarakat bersama, dan kuliah tamu.

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Sipil yang telah bersedia berkolaborasi untuk menyelenggarakan konferensi nasional ini, dan teristimewa kepada UPI YPTK yang telah bersedia menjadi tuan rumah. Ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada seluruh panitia 6th ACE-National Conference 2019 yang telah bekerja keras dan penuh semangat mempersiapkan segala sesuatunya demi terselenggaranya acara ini. Selanjutnya, kami mengucapkan selamat datang di ACE-National Conference yang ke-enam tahun 2019 kepada seluruh peserta dan undangan. Semoga acara ini berlangsung dengan lancar dan memberikan banyak manfaat untuk kita semua.

Selamat Berkonferensi!

Wabilahi taufik walhidayah, Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh...

Padang, 29 Oktober 2019

Taufika Ophiyandri, Ph.D

Ketua Jurusan Teknik Sipil Fak. Teknik Univ. Andalas Padang

KATA PENGANTAR KETUA PANITIA

Dengan penuh rasa syukur kami ucapkan selamat dan sukses pada penyelenggaraan 6th ACE-National Conference 2019. Konferensi tahun 2019 ini merupakan pelaksanaan keenam dari Andalas Civil Engineering (ACE) conference yang sedianya setiap tahun diadakan di Universitas Andalas.

Namun pada 6th ACE-National Conference yang lalu, kami ingin mengangkat bahwa branding ACE bukan hanya milik Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas. Kami punya semangat bahwa ruang lingkup penggunaan namanya meluas hingga menjangkau jurusan-jurusan Teknik Sipil universitas-universitas di Pulau Sumatera.

Untuk itu 6th ACE-National Conference 2019 merupakan sebuah kolaborasi Universitas Andalas, Universitas Putra Indonesia YPIK, Universitas Riau, Universitas Bengkulu, Universitas Dharma Andalas, Universitas Bung Hatta, Institut Teknologi Padang, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Sekolah Tinggi Teknik Payakumbuh dan Politeknik Negeri Padang.

Sebagaimana infrastruktur masih menjadi primadona pemerintah, konferensi ACE 2019 ini mengusung tema utama: Menuju Pembangunan Infrastruktur Yang Ramah Bencana dan Berkelanjutan di Era Revolusi Industri 4.0, yang dibagi kedalam berbagai sub tema konferensi. Panitia menerima lebih dari seratus sepuluh makalah yang akan dipresentasikan dalam konferensi ACE 2019 ini. Prosiding dari pelaksanaan konferensi ini juga bisa diakses di website konferensi ACE 2019. Diharapkan prosiding dari konferensi ini menjadi media bertukar informasi dan ide antar peneliti serta sarana untuk memperluas dan memperkuat jaringan.

Padang, 2 Februari 2020

Yervi Hesna, MT
Ketua Panitia

DAFTAR ISI

SUSUNAN PANITIA ACE-6.....	i
KEYNOTE SPEAKER	iv
SUSUNAN ACARA 6TH ACE CONFERENCE TEKNIK SIPIL UNAND.....	v
KATA SAMBUTAN KETUA JURUSAN TEKNIK SIPIL UNAND	xix
KATA PENGANTAR KETUA PANITIA	xx
DAFTAR ISI	xxi
STRUKTUR DAN MATERIAL.....	1
PENENTUAN FREKUENSI DAN RASIO REDAMAN DARI TUNED LIQUID COLUMN DAMPER MENGGUNAKAN SISTEM GETARAN PENDULUM.....	2
PERBANDINGA ANALISIS STRUKTUR RANGKA ATAP PADA BANGUNAN GEDUNG A BLOK TIMUR PASAR ATAS KOTA PAYAKUMBUH	11
PENGARUH PENAMBAHAN SUPERPLASTICIZIER TERHADAP KUAT TEKAN BETON.....	22
KAJI EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN PEREDAM DINAMIK TLCD BERBENTUK V DENGAN PENAMPANG BERVARIASI PADA MODEL STRUKTUR RUANG DUA LANTAI	34
ANALISIS KAPASITAS GIRDER PCU (PRESTRESSED CONCRETE TYPE U) PADA JEMBATAN GUNUNG NAGO KECAMATAN PAUH KOTA PADANG SUMATERA BARAT.....	48
PERENCANAAN BOX GIRDER BAJA MELENGKUNG HORIZONTAL PADA MASA LAYAN MENGGUNAKAN STANDAR AASHTO LRFS 2012.....	57
ANALISIS JEMBATAN LENGKUNG HORIZONTAL DENGAN <i>I-GIRDER</i> BAJA MENGGUNAKAN STANDAR AASHTO LRFD 2012 (PADA JALAN TOL JORR II RUAS KUNCIRAN-CENKARENG SEKSI- RAMP-3).....	67
PENGARUH POSISI SHEAR WALL DAN X BRACING TERHADAP RESPON STRUKTUR GEDUNG	78

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG PUSAT PERDAGANGAN KULINER KOTA BUKITTINGGI.....	88
PENGARUH DIAMETER BAUT TERHADAP KUAT TUMPU PELAT SAMBUNG PAPAN LAMINASI BAMBU PETUNG (DENDROCOLAMUS ASPER).....	100
EVALUASI KINERJA STRUKTUR BETN BERTULANG DENGAN ANALISIS PUSHOVER (STUDI KASUS GEDUNG FISIP UNJANI CIMAHI)	106
EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN “STUDY KASUS JEMBATAN SUNGAI DAREH DHARMASRAYA”	115
PERKUATAN SAMBUNGAN BALOK-KOLOM BETON BERTULANG DENGAN VARIASU T-PLAT BAJA.....	125
KAPASITAS SEISMIK GEDUNG BETON BERTULANG KTA PALU, SULAWESI TENGAH DENGAN METODE PUSHOVER	133
EVALUASI KINERJA STRUKTUR BAJA GEDUNG BERTINGKAT BERATURAN TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1729 2015.....	143
UJI MUTU PENGERINGAN CEPAT PAPAN SAWIT MENGGUNAKAN OVEN SUHU TINGGI DAN PEMANASAN <i>MICROWAVE</i>	154
UJI KUAT GESER LAMINASI KAYU AKASIA MANGIUM (<i>ACACIA MANGIUM</i>) MENGGUNAKAN RESIN EPOXY	164
STUDI NUMERIK PENGARUH VARIASI BENTUK PENAMPANG BRESING TERHADAP PERILAKU STRUKTUR PORTAL BAJA KONSENTRIK AKIBAT PEMBEBANAN SIKLIK	171
PENGARUH PENAMBAHAN SAMPAH PLASTIK PET DAN LDPE TERHADAP KUAT TEKAN PAVING BLOCK.....	179
OPTIMALISASI VOUTE PADA BALOK BENTANG PANJANG.....	188
OPTIMALISASI KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI DENGAN SUBSTITUSI PARSIAL LIMBAH LAS KARBIT	196
ANALISIS KINERJA STRUKTUR DENGAN BATA SEBAGAI PENGAKU	203

ANALISIS JARAK DILATASI BANGUNAN BER-LAYOUT L DAN PERHITUNGAN PENULANGAN ELEMEN BALOK DAN KOLOM DISEKITAR DILATASI.....	215
KAJIAN <i>DYNAMIC AMPLIFICATION FACTOR</i> PADA RANGKA JEMBATAN AKIBAT BEBAN GEMPA DENGAN RESPON SPEKTRUM.....	239
PENGARUH VARIASI VISKOSITAS PADA RECTANGULAR WATER TANK TUNED LIQUID DAMPER TERHADAP RESPON DINAMIK STRUKTUR	247
PENGARUH PENGGUNAAN BOTOL PLASTIK <i>POLYRTHYLENE TEREPHTHALATE</i> (PET) SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT BETON.....	260
PENGARUH PENGGUNAAN BOTOL PLASTIK <i>POLYRTHYLENE TEREPHTHALATE</i> (PET) SEBAGAI TAMBAHAN SERAT TERHADAP KEKUATAN BETON.....	267
TRANSPORTASI	275
FAKTOR WAKTU KERJA DAN AKTIFITAS KAWASAN SEBAGAI PARAMETER DALAM PERHITUNGAN VOLUME RUAS JALAN EVAKUASI TSUNAMI DI KAWASAN PERKOTAAN.....	276
ANALISA ARUS LALU LINTAS MENERUS ZONA KOMERSIL (STUDI KASUS : JL. RADIN INTAN KOTA BANDAR LAMPUNG).....	284
STUDI KOMPARASI AKSESIBILITAS DAERAH WISATA DI KABUPATEN PASAMAN.....	290
<i>CLUSTER ANALYSIS</i> IBUKOTA –IBUKOTA PROPINSI DI INDONESIA BERDASARKAN FAKTOR PENYEBAB KEMACETAN	299
PENGARUH BAHAN TAMBAH LATEKS TERHADAP KEKAKUAN ASPAL.....	307
PERMODELAN DISTRIBUSI TIME HEADWAY PENGEMUDI AGGRESSIVE DAN NON AGGRESSIVE.....	317
ANALISIS KINERJA JALAN PERKOTAAN AKIBAT PERUBAHAN GEOMETRIK JALAN (STUDI KASUS JL. HR. SUBRANTAS KM 14 PANAM PEKANBARU)	332
PENGARUH LAMA PERBEDAAN PEREDAMAN TERHADAP NILAI KUAT TEKAN PADA CAMPURAN AC-WC DENGAN MENGGUNAKAN ASPAL MODIFIKASI ELASTOMER.....	343

PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU RUAS JALAN DUKU UTARA, KECAMATAN KOT XI TARUSAN, SUMATERA BARAT (STA 1+000 – STA6+000) MENGGUNAKAN METODE PD T – 14 DAN METODE MDP 2017.....	352
PEMANFAATAN CANGKANG SAWIT TERHADAP NILAI INDEKS KEKUATAN SISA PADA CAMPURAN ASPHALT CONCETE-BINDER COURSE (AC-BC)	387
PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN JALAN KAKU MENGGUAKAN METODE AASHT 1993 DAN MDP 2017 PADA RUAS JALAN BANDAR BUAT-INDARUNG KOTA PADANG	397
PERENCANAAN KONSTRUKSI PERKERASAN KAKU MENGGUNAKAN METODA Pd T-14-2003 DAN METODE AASHTO 1993 PADA RUAS JL. RAYA LUBUK BEGALUNG – BANDAR BUAT.....	411
EVALUASI DAN DESAIN ULANG SIMPANG PARIK UNTUK ANTISIPASI VOLUME LALU LINTAS	421
PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN LENTUR MENGGUNAKAN METODE MAK 2002 DAN MDP 2017 PADA RUAS JALAN SUNGAI DAREH – SIKABAU KABUPATEN DHARMASRAYA.....	431
PENGARUH PENAMBAHAN ZAT ADITIF LATEKS (GETAH KARET) TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN LAPISAN ASHPALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC).....	442
PENGARUH PENAMBAHAN SELULOSA ASETAT PADA FILTER ROKOK TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN ASPAL AC-WC (ASHPALT CONCRETE – WEARING COURSE).....	453
PENGARUH PENAMBAHAN LATEKS PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)	464
PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU DENGAN METODA PERENCANAAN PERKERASAN JALAN BETON SEMEN (PD T-14-2003) DAN MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN 2017, PADA RUAS JALAN PADANG – BUKITTINGGI, BATANG ANAI	474
ANALISA NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) UNTUK PERENCANAAN TEBAL LAPISAN PERKERASAN LENTUR (STUDI KASUS PADA RUAS JALAN PANTI -TALU).....	485
STUDI POTENSI PENGAPLIKASIAN JALUR KHUSUS SEPEDA MOTOR	495

KEBUTUHAN INTEGRASI ANGKUTAN UMUM DI ZONA WISATA SUMATERA BARAT.....	504
ANALISIS PITA PENGADUH (RUMBLE STRIPS) DALAM MEREDUKSI KECEPATAN KENDARAAN PADA KAWASAN ZOSS KOTA PADANG PANJANG.....	514
EVALUASI PEMASANGAN RAMBU PADA AKSES JALAN WISATA PANTAI AIR MANIS	524
PENGARUH PENAMBAHAN KALSIUM HIDROKSIDA (Ca(OH) ₂) PADA KARAKTERISTIK ASPAL.....	539
HUBUNGAN VOLUME, KECEPATAN DAN KEPADATAN (Ruas Jalan Jhoni Anwar, Simpang Tinju - SJS Plaza, Lapai, Kota Padang)	549
ANALISIS KINERJA CAMPURAN BERASPAL DENGAN SUBSTITUSI PLASTIK	557
SUMBER DAYA AIR	569
KOLAM RETENSI SEBAGAI UPAYA MITIGASI BANJIR BERBASIS KONSERVASI DAERAH ALIRAN SUNGAI BATANG AIR DINGIN	570
PEMODELAN TRANSPOR SEDIMEN TAPAK PADRI KOTA BENGKULU	583
HUBUNGAN LAJU INFILTRASI TERHADAP KEPADATAN TANAH DI KAWASAN PEMUKIMAN	593
PENGENDALIAN KERUSAKAN AKIBAT SUNGAI DAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI	603
ANALISIS INDEKS KEKERINGAN METODE KEETCH BYRAM DROUGHT INDEX (KBDI), STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI), DAN TEORI RUN DI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) KAMPAR PROVINSI RIAU.....	612
ANALISIS EFEKTIFITAS BANGUNAN PENGAMAN PANTAI TERHADAP ABRASI (STUDI KASUS PANTAI KOTA PADANG)	621

EVALUASI KINERJA DAERAH PENGALIRAN SUNGAI AIR BENGKULU MELALUI PENDEKATAN DEBIT PUNCAK MENGGUNAKAN HIDROGRAF SATUAN.....	630
STUDI PERUBAHAN TINGGI MUKA AIR AKIBAT PENGARUH FLOODWAY (Studi Kasus Sungai Batang Kandis, Padang).....	640
PERENCANAAN TUBUH BENDUNGAN TARAM KAB. LIMA PULUH KOTA.....	656
SIMULASI DEBIT BANJIR PADA SUNGAI BATANG MAHAT MENGGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK DAN DATA HUJAN SATELIT	664
OPTIMASI EMBUNG MENGGUNAKAN PROGRAM LINEAR (STUDI KASUS EMBUNG LEPANG BESAR KABUPATEN LAMPUNG UTARA).....	675
ANALISIS KEMAMPUAN PENAMPANG MELINTANG SUNGAI BATANG ARAU DALAM MENGALIRKAN DEBIT BANJIR.....	696
TINJAUAN GERUSAN LOKAL DI HILIR BENDUNG KOTO TUO SUNGAI BATANG AIR DINGIN KOTA PADANG.....	707
ANALISIS EFEKTIFITAS MODEL KONSEPTUAL GR4J UNTUK KETERSEDIAAN AIR DI DAS KAMPAR	717
KOMPARASI MODEL PERAMALAN DEBIT SUNGAI MENGGUNAKAN ANN, WAVELET- ANN UNTUK MENDUKUNG SISTEM DETEKSI DINI BANJIR DI SUNGAI SIAK.....	733
ANALISIS PREDIKSI KESEIMBANGAN AIR PADA BENDUNG BATANG SAMO UNTUK PENGEMBANGAN SEKTOR PERIKANAN DI KABUPATEN ROKAN HULU.....	745
APLIKASI PROGRAM LINIER UNTUK KEBUTUHAN OPTIMASI ALOKASI AIR DAERAH IRIGASI OKAK SAMO KAITI KABUPATEN ROKAN HULU	754
PENILAIAN INDEKS KINERJA DAERAH IRIGASI SIMANDOLAK-PANGEAN.....	764
OPTIMALISASI PENGGUNAAN LAHAN POLA AGROFORESTRI DI WADUK PEMBAGIKT LISTRIK TENAGA AIR KOTO PANJANG MENGGUNAKAN PROGRAM LINIER	771

ANALISIS USAHA TANI PADI DI KECAMATAN BUNGA RAYA KABUPATEN SIAK.....	781
APLIKASI DRAINASE PERMUKAAN DAN BAWAH PERMUKAAN PADA PERENCANAAN SISTEM DRAINASE LAPANGAN OLAHRAGA KAMPUS UPI YPTK.....	790
MANAJEMEN DAN REKAYASA KONSTRUKSI	800
PERSEPSI PELAKU INDUSTRI KONSTRUKSI TERHADAP KEBERLANJUTAN DAN KONSTRUKSI HIJAU.....	801
IMPLEMENTASI SISTEM MANAJEMEN MUTU ISO 9001:2008 PADA PEKERJAAN BETON BRIDGE CONVEYOR (BC), TRANSFER STATION & HOPPER PROYEK INDRAMUGI VI KOTA PADANG	809
PENILAIAN RISIKO DAN PENANGANAN KERUSAKAN RUAS JALAN NASIONAL PADANG-SOLOK-SAWAH LUNTO.....	821
SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN CERDAS PADA MODEL RANTAI PASOK INDUSTRI KONSTRUKSI BERKELANJUTAN: STUDI LITERATURE.....	831
ANALISA PERSEPSI KONTRAKTOR TERHADAP PENGGUNAAN METODE PELACAKAN IKLIM DALAM PERENCANAAN JADWAL PELAKSANAAN PROYEK	842
ANALISA RESIKO KETERLAMBATAN PELAKSANAAN PROYEK GEDUNG DI SUMATERA BARAT DENGAN PENDEKATAN RISK MANAGEMENT.....	852
MODEL STATISTIK KUALITATIF VALUASI RESIKO PROYEK RUMAH TAHAN GEMPA (RTG)	862
PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN MUTU (SMM) DI LINGKUNGAN BALAI JASA KONSTRUKSI WILAYAH I BANDA ACEH.....	873
PERANCANGAN DAN ANALISIS OPERASI KONSTRUKSI UNTUK PEKERJAAN PENGASPALAN JALAN MENGGUNAKAN SIMULASI CYCLONE..	880
KEBENCANAAN.....	892

ANALISIS RESPON SEISMIC AREA SENTRAL DI KOTA BENGKULU	893
KAJIAN DAYA DUKUNG PERMUKIMAN BERDASARKAN FAKTOR KEBENCANAAN DI KECAMATAN PARIAMAN TENGAH	904
ANALISIS DAERAH GENANGAN DAN BAHAYA BANJIR DI SUNGAI KAMPAR KECAMATAN KAMPAR UTARA.....	914
SEISMIC DAMAGE ASSESSMENT OF RESIDENTIAL FUNCTION ZONE IN JAKARTA CITY.....	925
PREFERENSI MASYARAKAT MELAKUKAN EVAKUASI JIKA TERJADI BENCANA TSUNAMI DI KOTA PADANG.....	935
DAMPAK RESIKO DAN BENCANA TAMBANG EMAS ILEGAL.....	947
PERBANDINGAN SISTEM PENYIMPANAN DENGAN SISTEM DISTRIBUSI LOGISTIK DI DAERAH BENCANA	960
SISTEM MANAJEMEN EVAKUASI PADA SHELTER MANDIRI DI KELURAHAN PASIE NAN TIGO	967
PENGARUH GENANGAN TERHADAP KECEPATAN TSUNAMI	981
ANALISA KAPASITAS DAN METODA KONSTRUKSI PADA SHELTER MANDIRI DI KELURAHAN PASIE NAN TIGO	989
LINGKUNGAN	1000
SEBARAN DAN KARAKTERISTIK TUMPAHAN CPO DI TELUK BAYUR SERTA DAMPAKNYA TERHADAP KUALITAS AIR	1001
BIOREMEDIASI DENGAN METODE KOMPOSTING UNTUK BIODEGRADASI PESTISIDA PADA TANAH	1011
PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI MEMBRAN SELULOSA ASETAT DARI LIMBAH KULIT KAKAO (THEOBROMA CACAO L.) DENGAN METODE INVERSI FASA UNTUK ADSORPSI LOGAM TIMBAL.....	1020
SOLIDIFIKASI/STABILISASI SAMPAH PLASTIK HDPE BEKAS KEMASAN LIMBAH B3 DALAM PEMBUATAN PAVING BLOCK	1030
KAJIAN AWAL PENGOLAHAN SAMPAH KAWASAN WISATA MINANG FANTASI WATERPARK (MIFAN) DAN WISATA PUSAT DOKUMENTASI INFORMASI KEBUDAYAAN MINANGKABAU (PDIKM) KOTA PADANG PANJANG	1040

PEMBUATAN CMC (CARBOXY METHYL CELLULOSE) DARI LIMBAH AMPAS TEBU MENGGUNAKAN REAKTOR SEMI CONTINUE	1049
GEOTEKNIK	1060
ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN SHEET PILE	1061
PEMANFAATAN LAHAN DI ATAS TANAH DENGAN KEMIRINGAN YANG MEMPERTIMBANGKAN STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN METODE PERMODELAN DAN OPTIMASI	1070
PENYELESAIAN PERMASALAHAN DINDING PENAHAN TANAH DENGAN METODE OPTIMASI.....	1077
KARAKTERISTIK NILAI CBR TANAH CL-ML DISTABILISASI DENGAN SEMEN DAN KAPUR TERHADAP SIKLUS PEMBASAHAN PENGERINGAN	1085
ANALISIS NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) PADA TANAH DASAR (SUBGRADE) JALAN RAYA	1100
KARAKTERISTIK NILAI CBR TANAH CL-ML DISTABILISASI DENGAN SEMEN DAN KAPUR TERHADAP SIKLUS PEMBASAHAN PENGERINGAN	1110
STUDI PENAMBAHAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH TERHADAP NILAI CBR DAN SWELLING POTENTIAL PADA TANAH LEMPUNG.....	1120
TINJAUAN ULANG STRUKTUR BANGUNAN RUMAH SUSUN SEWA EMPAT LANTAI DAN PERKIRAAN POTENSI LIKUIFAKSINYA	1131

STRUKTUR DAN MATERIAL

PENENTUAN FREKUENSI DAN RASIO REDAMAN DARI TUNED LIQUID COLUMN DAMPER MENGGUNAKAN SISTEM GETARAN PENDULUM

Masayu Rannie Safitri¹, Lovely Son², Mulyadi Bur³

¹Mahasiswa sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: masayu.rannie1049@gmail.com

²Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: lovelyson@ft.unand.ac.id

³Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: mulyadibur@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

Nowadays, one of the most popular dynamic vibration absorbers is TLCD (Tuned Liquid Column Damper). TLCD is a passive vibration control system that does not need external energy to suppress the vibration response. TLCD can absorb the vibration of the structure by transferring the energy of vibration to the movement of liquid inside TLCD. TLCD can simply use for any type of structural design and its application does not need to change the existing structural design. To use this absorber, some parameter, such as natural frequency and damping ratio of TLCD must be determined. This research is conducted to determine TLCD natural frequency and damping ratio using pendulum vibration system. Simulation study is performed to determine TLCD parameters. From known natural frequency of the dynamic pendulum with TLCD system, natural frequency and damping ratio of TLCD can be predicted and those parameters can be proved by calculations. The simulation result shows that the TLCD predicted parameters from natural frequency of dynamic system and simulation parameters of TLCD is approaching. It proves that the natural frequency and damping ratio of TLCD can be determined from natural frequency of the pendulum system.

Keywords : TLCD, simulation study, natural frequency, damping ratio, pendulum system.

ABSTRAK

Salah satu peredam dinamik yang banyak digunakan pada saat ini adalah TLCD (*Tuned Liquid Column Damper*). TLCD adalah salah satu sistem pengendali getaran pasif, yang tidak membutuhkan energi luar untuk mengurangi respon getaran suatu struktur. TLCD mengurangi respon getaran struktur dengan memindahkan sebagian energi getaran struktur ke bentuk gerakan fluida di dalam TLCD. TLCD dapat dengan mudah digunakan untuk semua desain struktur dan pengaplikasiannya tidak mengubah desain yang ada. Untuk menggunakan peredam ini, dibutuhkan beberapa parameter, seperti frekuensi pribadi dan rasio redaman. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan frekuensi pribadi dan rasio redaman dari TLCD menggunakan prinsip sistem getaran pendulum. Pada penelitian ini, simulasi dilakukan untuk menentukan parameter-parameter TLCD. Dari data frekuensi pribadi sistem pendulum dinamis-TLCD, frekuensi pribadi dan rasio redaman TLCD dapat diprediksi dan parameter-parameter hasil prediksi tersebut akan dibuktikan dengan perhitungan. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa parameter-parameter TLCD hasil prediksi dari frekuensi pribadi sistem pendulum dinamis mendekati

parameter-parameter TLCD hasil perhitungan. Hal tersebut membuktikan bahwa frekuensi pribadi dan rasio redaman TLCD dapat ditentukan dari frekuensi pribadi dari sistem pendulum dinamis-TLCD.

Kata Kunci : TLCD, simulasi, frekuensi pribadi, rasio redaman, sistem pendulum.

1. PENDAHULUAN

Salah satu penyebab kegagalan suatu struktur adalah pembebanan dinamik yang bekerja pada struktur tersebut. Untuk mengurangi kegagalan tersebut, tahanan struktur terhadap pembebanan dinamik harus ditingkatkan. Salah satu cara untuk mencapai kondisi ini adalah dengan meningkatkan redaman pada struktur (Son et al., 2018). Karakteristik redaman adalah parameter yang sangat penting pada struktur, yang dapat menekan respon getaran struktur terhadap pembebanan dinamik (Wu et al., 2009).

Salah satu peredam dinamik yang banyak digunakan adalah *Tuned Liquid Column Damper* (TLCD). TLCD menggunakan fluida pada kolom TLCD untuk mengurangi getaran pada suatu struktur (Furtmüller et al., 2019). TLCD adalah peredam dengan sistem control pasif yang tidak membutuhkan sumber energi luar untuk mengurangi getaran (Altunişik et al., 2018).

Pada pengaplikasian TLCD, energi dari getaran struktur dipindahkan kepada TLCD dengan memanfaatkan gerakan dari fluida di dalam TLCD. Jadi, respon getaran sistem diubah menjadi gaya reaksi berdasarkan gerakan fluida dalam TLCD, dan pengurangan energi getaran disebabkan oleh kekentalan fluida yang berkontak dengan dinding TLCD (Adam et al., 2017).

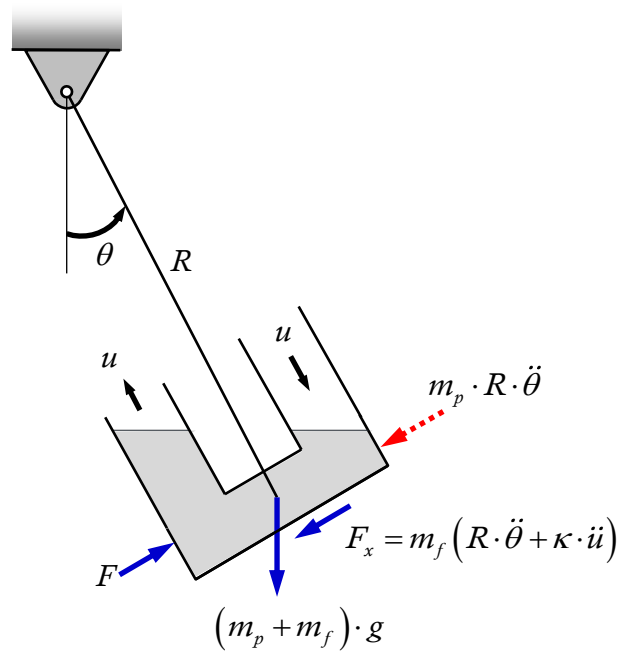
Penerapan TLCD relatif mudah dilakukan dan tidak mengubah desain struktur (Di Matteo et al., 2016), sehingga, banyak penelitian membuktikan bahwa TLCD secara efektif digunakan sebagai struktur peredam, baik secara eksperimen maupun analitik. Untuk aplikasi TLCD, beberapa parameter diperlukan. Dalam penelitian sebelumnya, A. Farshidianfar, dkk melakukan penelitian mengenai penentuan optimum parameter desain TLCD, seperti rasio panjang dan rasio massa dalam performansi dari TLCD dalam pengendalian respon struktur menggunakan eksitasi harmonik berupa gempa (Farshidianfar & Oliazadeh, 2009).

Dalam penelitian ini, dilakukan penentuan parameter TLCD, seperti frekuensi pribadi dan rasio redaman dengan cara yang relative sederhana, menggunakan sistem getaran pada pendulum. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan metoda alternatif dalam penentuan frekuensi pribadi dan rasio redaman TLCD secara simulasi menggunakan sistem getaran pendulum dan respon percepatan sistem, serta memvalidasi respon Pendulum-TLCD menggunakan hasil kalkulasi frekuensi pribadi dan rasio redaman dari TLCD.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Permodelan Sistem

TLCD digantung dengan tali, yang massanya dapat diabaikan, seperti sistem getaran pada pendulum. Gambar 1 merupakan diagram benda bebas dari sistem getaran pendulum dengan TLCD. Berdasarkan diagram benda bebas sistem pendulum dengan TLCD, didapatkan Pers. 1 merupakan persamaan diferensial gerak dari pendulum dan Pers. 2 merupakan persamaan diferensial gerak dari TLCD (Son, 2018).



Gambar 1. Diagram Benda Bebas Sistem Pendulum dengan TLCD

$$(m_p + m_f)R\ddot{\theta} + (m_p + m_f)g\theta + m_f\kappa\ddot{u} = F \quad (1)$$

$$\kappa R\ddot{\theta} + \ddot{u} + 2\zeta_A\omega_A\dot{u} + \omega_A^2u = 0 \quad (2)$$

Pers.1 dan Pers. 2 dapat dituliskan dalam bentuk matriks, seperti berikut:

$$\begin{bmatrix} (m_f + m_p)R & m_f\kappa \\ \kappa R & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{u} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 2\zeta_A\omega_A \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{u} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (m_p + m_f)g & 0 \\ 0 & \omega_A^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta \\ u \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

2.2 Permodelan Program Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *State-Space Modelling*. Untuk sebuah sistem struktur, *state* variabel merupakan perpindahan dan kecepatan. Untuk struktur dengan persamaan gerak n derajat kebebasan, persamaan orde kedua dapat dipecah menjadi

persamaan 2n orde pertama (Luis et al., 1996). Persamaan differensial gerak sistem getaran n derajat kebebasan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$[m]\{\ddot{x}\} + [c]\{\dot{x}\} + [k]\{x\} = \{f\} \quad (4)$$

Dengan kondisi awal sebagai berikut:

$$x(0) = x_0, \dot{x}(0) = \dot{x}_0$$

Persamaan dirumuskan ke dalam bentuk *state-space* dengan menyatakan dua vektor $n \times 1$ menjadi $x_1 = x$ dan $x_2 = \dot{x}$, sehingga Pers. 4 menjadi (Gyu, 2003):

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bf \quad (5)$$

dimana,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -m^{-1}k & -m^{-1}c \end{bmatrix} \text{ and } B = \begin{bmatrix} 0 \\ m^{-1}b_f \end{bmatrix}$$

Untuk keluaran dari sistem dinyatakan sebagai berikut:

$$y(t) = Cx(t) + Df \quad (6)$$

Dengan matriks keluaran C mempunyai jumlah baris yang sama dengan jumlah keluaran yang dibutuhkan dan mempunyai jumlah kolom yang sama dengan jumlah pernyataan. Sedangkan matriks D memiliki jumlah kolom sama dengan matriks masukan B dan memiliki jumlah baris sama dengan keluaran pada matriks C.

2.3 Tabel dan Gambar

Untuk perhitungan respon getaran suatu sistem, persamaan diferensial gerak sistem, Pers. 3 diubah ke bentuk transformasi *Laplace* menjadi:

$$\begin{bmatrix} (m_p + m_f)Rs^2 + (m_p + m_f)g & \kappa s^2 \\ \kappa Rs^2 & s^2 + 2\zeta_A \omega_A s + \omega_A^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta \\ u \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

Sehingga respon sistem dalam bentuk $\frac{\theta}{F}$ dalam transformasi *Laplace* adalah:

$$\frac{\theta(s)}{F(s)} = \frac{s^2 + 2\zeta_A \omega_A s + \omega_A^2}{a_1 s^4 + a_2 s^3 + a_3 s^2 + a_4 s + a_5} \quad (8)$$

dengan

$$a_1 = (m_p + m_f - m_f \kappa^2) R$$

$$a_2 = 2(m_p + m_f) R \zeta_A \omega_A$$

$$a_3 = (m_p + m_f) (R \omega_A^2 + g)$$

$$a_4 = 2(m_p + m_f) g \zeta_A \omega_A$$

$$a_5 = (m_p + m_f) g \omega_A^2$$

Untuk menentukan respon sistem, $s = j\omega$, sehingga

$$\frac{\theta(j\omega)}{F(j\omega)} = \frac{A + j \cdot B}{C + j \cdot D} \quad (9)$$

dengan

$$A = (-\omega + \omega_A^2)$$

$$B = (2\zeta_A \omega_A \omega)$$

$$C = (m_p + m_f + m_f \kappa^2) R \omega^4 - (m_p + m_f) (R \omega_A^2 + g) \omega^2 + (m_p + m_f) g \omega_A^2$$

$$D = 2(m_p + m_f) R \zeta_A \omega_A \omega^3 - 2(m_p + m_f) g \zeta_A \omega_A \omega$$

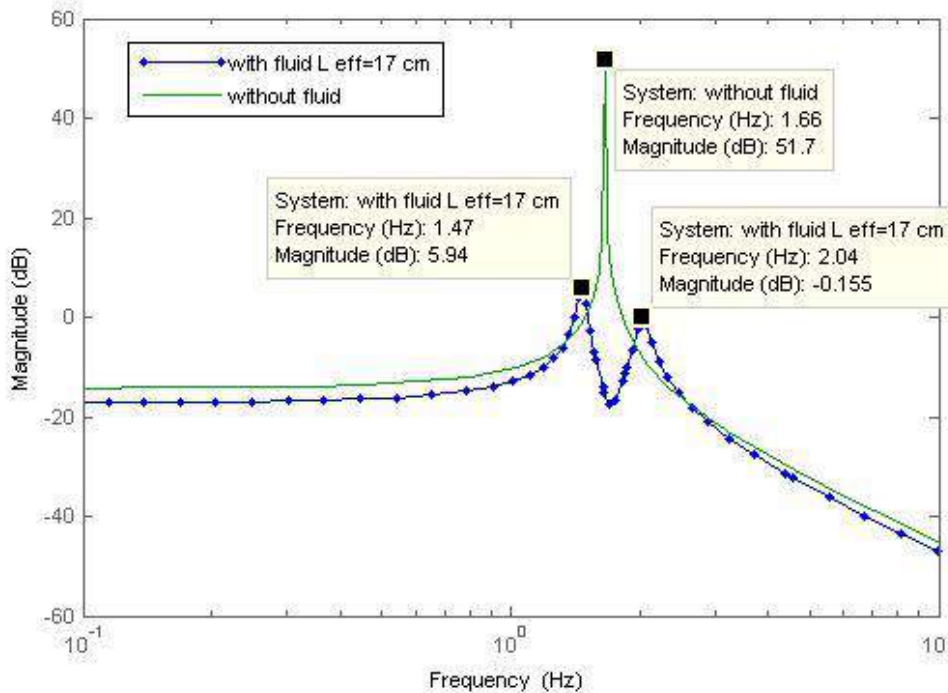
Untuk nilai absolut dari respon sistem menjadi:

$$\left| \frac{U(j\omega)}{F(j\omega)} \right| = \sqrt{\frac{A^2 + B^2}{C^2 + D^2}} \quad (10)$$

Dari nilai absolut hasil perhitungan respon struktur dan dua puncak respon pada grafik FRF, maka frekuensi pribadi (ω_A) dan rasio redaman (ζ_A) dapat ditentukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pendulum- TLCD dengan air dan tanpa air akan dibandingkan. Perbandingan hasil respon frekuensi ditunjukkan pada Gambar 2.



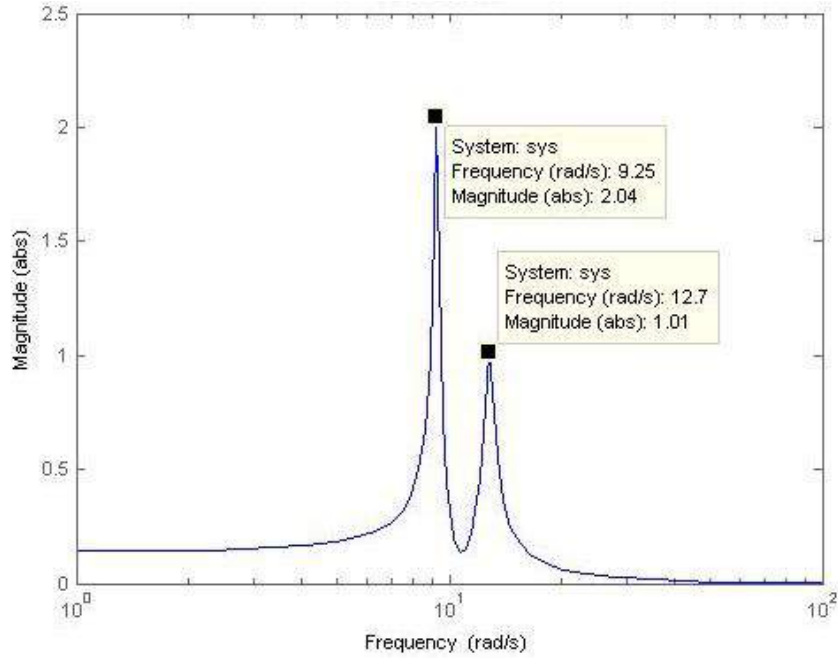
Gambar 2. Perbandingan Sistem Pendulum-TLCD tanpa Fluida dan dengan Fluida

Berdasarkan hasil simulasi dengan parameter prediksi frekuensi pribadi dan rasio redaman dari TLCD sebesar 10,743 rad/ dan 0,05, menunjukkan hasil bahwa penambahan fluida pada TLCD dapat menurunkan respon getaran senilai 45,5 dB atau sebesar 88,5 %. Sistem pendulum tanpa fluida di dalam TLCD membentuk satu puncak respon dengan nilai respon tinggi, sedangkan pada sistem pendulum dengan fluida di dalam TLCD membentuk dua puncak respon dengan nilai respon rendah. Hal ini disebabkan karena sebagian energi pada sistem berpindah ke TLCD, sehingga terbentuk dua puncak respon pada sistem.

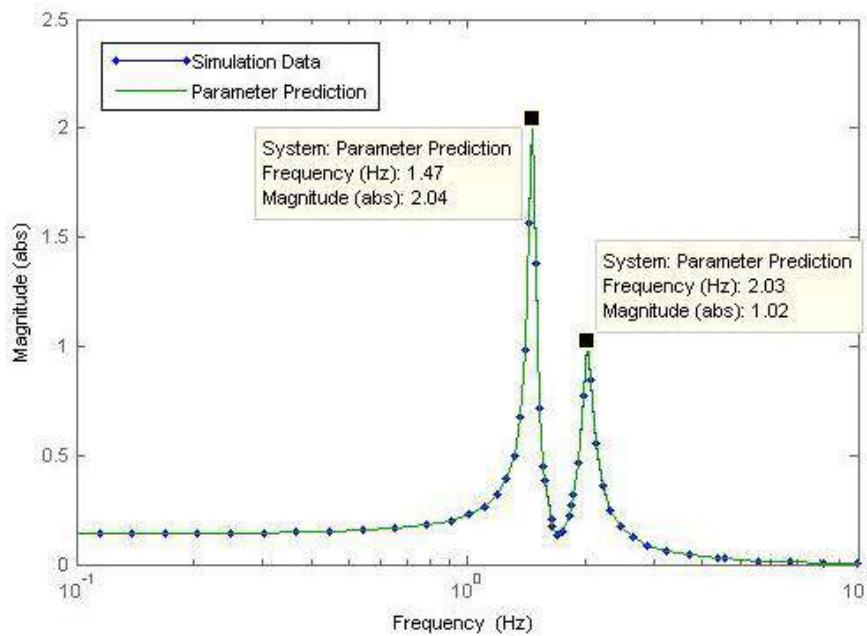
Dengan parameter prediksi frekuensi pribadi TLCD, $\omega_A = 10,743$ rad/s dan rasio redaman TLCD, $\zeta_A = 0,05$. Akan dilakukan pembuktian parameter dengan mengambil dua puncak respon pada simulasi. Gambar 3 menunjukkan respon sistem berdasarkan parameter prediksi dari TLCD yang telah disebutkan.

Setelah didapatkan data dua puncak respon sistem, dilakukan perhitungan untuk membuktikan parameter tersebut menggunakan Pers. 7-9. Puncak respon pertama menunjukkan data frekuensi 9,25 rad/s atau sama dengan 1,47 Hz dan nilai respon 2,04 rad/N. Puncak respon kedua menunjukkan data frekuensi 12,7 rad/s atau sama dengan 2,03 Hz dan nilai respon 1,01 rad/N. Perhitungan parameter dengan *software* numerik konvensional mendapatkan hasil frekuensi pribadi dan rasio redaman dari TLCD yang tidak jauh berbeda dari parameter prediksi, yaitu sebesar 10,734 rad/s untuk frekuensi pribadi dan 0,0497 untuk rasio redaman. Sehingga, jika diplot kembali dengan

parameter tersebut dan dibandingkan, grafik frekuensi respon antara parameter prediksi dan pembuktian parameter berdempet. Dapat dikatakan bahwa, penentuan parameter melalui simulasi berhasil dan dapat digunakan. Gambar 4 menunjukkan perbandingan grafik kedua data parameter.



Gambar 2. Respon Sistem dengan Parameter Prediksi



Gambar 2. Perbandingan Respon Sistem antara Parameter Prediksi dan Validasi Parameter

4. KESIMPULAN

Simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penambahan fluida pada TLCD dapat menurunkan respon getaran suatu sistem. Dengan menggunakan prinsip sistem getaran pendulum, parameter TLCD, seperti frekuensi pribadi dan rasio redaman dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip sistem getaran pendulum.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adam, C., Matteo, A. Di, Furtmüller, T., & Pirrotta, A. (2017). Earthquake Excited Base-Isolated Structures Protected by Tuned Liquid Column Dampers: Design Approach and Experimental Verification. *Procedia Engineering*, 199, 1574–1579. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.060>
- Altunişik, A. C., Yetişken, A., & Kahya, V. (2018). Experimental study on control performance of tuned liquid column dampers considering different excitation directions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 102, 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2017.09.021>
- Di Matteo, A., Di Paola, M., & Pirrotta, A. (2016). Innovative modeling of tuned liquid column damper controlled structures. *Smart Structures and Systems*, 18(1), 117–138. <https://doi.org/10.12989/sss.2016.18.1.117>
- Farshidianfar, A., & Oliyazadeh, P. (2009). *Closed form optimal solution of a tuned liquid column damper responding to earthquake*. 1–6.
- Furtmüller, T., Di Matteo, A., Adam, C., & Pirrotta, A. (2019). Base-isolated structure equipped with tuned liquid column damper: An experimental study. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 116, 816–831. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2018.06.048>
- Gyu, J. (2003). *Vibration simulation using matlab*. May.
- Luis, J., Zabala, M., All, M., Connor, J. J., Sussman, J. M., Luis, J., & Zabala, M. (1996). *State-Space Formulation for Structural Dynamics*. 1994.
- Son, L. (2018). *The influence of TLCD junction angle on the structure response with TLCD*. July. <https://doi.org/10.1063/1.5046248>
- Son, L., Bur, M., & Satria, E. (2018). *Vibration Response Suppression of Space Structure using Two U-Shaped Water Container*. January 2019. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.6.7195>
- Wu, J. C., Chang, C. H., & Lin, Y. Y. (2009). Optimal designs for non-uniform tuned liquid column dampers in horizontal motion. *Journal of Sound and Vibration*, 326(1–2), 104–122. <https://doi.org/10.1016/j.jvb.2003.12.001>

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, yang telah membantu pendanaan dalam penyelesaian makalah ini.

PERBANDINGAN ANALISIS STRUKTUR RANGKA ATAP PADA BANGUNAN GEDUNG A BLOK TIMUR PASAR ATAS KOTA PAYAKUMBUH

Dini Andrela¹, Astuti Masdar², dan Fatma Ira Wahyuni³

¹Mahasiswa Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh. Email:
diniandrela97@gmail.com

²Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh. Email:
astuti_masdar@yahoo.com

³Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh. Email:
fatmairawahyuni01@gmail.com

ABSTRACT

The roof truss on the building functions to carry the burden of the building roof. Placement of the load on the roof truss structure is at the gusset point which is the meeting point between the member. But in practice, not all members meet at one gusset point, although in the analysis conducted it is always modeled that the member meet at one gusset point. This also happened in Gedung A Blok Timur Pasar Atas Payakumbuh City, where there are two member of the roof truss structure that do not meet at the gusset point. Therefore an analysis is carried out to compare the 2 conditions in the structure of the roof truss structure namely the roof truss structure where the member meets at one gusset point and the truss structure where the member does not meet at one gusset point to find out the difference between the characteristics of the truss structure model with existing conditions in the field. From the results of the analysis of the roof truss structure of Gedung A Blok Timur Pasar Atas Payakumbuh city, obtained a significant difference in σ_{axial} for each type of truss, and also the difference in deflection that occurs for each type of roof truss structure. The results of the analysis show differences in σ_{axial} for these two conditions with the magnitude of the σ_{axial} differences that occur due to dead load, live load, and wind load on the roof truss structure are 26.989%, 45.824%, and 312.432%, respectively. Meanwhile the horizontal displacement that occurs in the member that do not meet at one gusset point is greater than that which occurs at the member that meet at one point, while the vertical displacement in the two types there is no difference.

Keywords : analysis, structure, roof truss, gusset, displacement

ABSTRAK

Rangka atap pada bangunan berfungsi memikul beban atap bangunan. Penempatan beban pada struktur rangka atap berada pada titik buhul yaitu titik pertemuan antar batang. Tetapi pada pelaksanaannya tidak semua batang bertemu pada satu titik kumpul meskipun dalam analisis yang dilakukan selalu dimodelkan bahwa batang-batang tersebut bertemu pada satu titik kumpul. Hal ini terjadi pula pada Gedung A Blok Timur Pasar Atas Kota Payakumbuh, dimana terdapat dua batang dari struktur rangka atap yang tidak bertemu di titik buhul. Oleh karena itu dilakukan analisis untuk membandingkan 2 kondisi pada struktur struktur rangka atap yaitu struktur rangka atap yang batangnya bertemu pada satu titik buhul dan struktur rangka atap yang batangnya tidak bertemu pada satu titik buhul untuk mengetahui perbedaan antara karakteristik model struktur rangka atap dengan

kondisi yang ada di lapangan. Dari hasil analisis struktur rangka atap Gedung A Blok Timur Pasar Atas Kota Payakumbuh, didapatkan perbedaan yang signifikan terhadap σ_{aksial} tiap tipe rangka batang, dan juga perbedaan pada lendutan yang terjadi untuk setiap tipe struktur rangka atap. Hasil analisis menunjukkan perbedaan pada σ_{aksial} untuk dua kondisi tersebut dengan besarnya perbedaan σ_{aksial} yang terjadi akibat beban mati, beban hidup, dan beban angin pada struktur rangka atap masing-masing adalah 26,989%, 45,824%, dan 312,432%. Sementara itu *displacement* horizontal yang terjadi pada batang yang tidak bertemu pada satu titik buhul lebih besar dari pada yang terjadi pada batang yang bertemu pada satu titik, sedangkan pada *displacement* vertikal pada kedua tipe tidak terdapat perbedaan.

Kata Kunci : analisis, struktur, rangka atap, titik buhul, *displacement*

1. PENDAHULUAN

Struktur rangka atap rangka adalah suatu konstruksi yang berfungsi sebagai penahan beban penutup atap, yang melindungi penghuninya dari panas matahari, angin dan air hujan. Material pada struktur rangka atap biasanya adalah kayu dan bambu. Seiring dengan perkembangan teknologi struktur rangka atap dapat terbuat dari berbagai macam material yang salah satunya adalah dari baja ringan,

Bangunan-bangunan lama biasanya menggunakan material kayu sebagai bahan untuk rangka atap. Kayu yang biasa digunakan adalah kayu Bangkirai, Merbau, Keruing, Meranti, Kamper, Jati, Sonokeling dan beberapa jenis kayu lainnya. Kelebihan penggunaan kayu sebagai bahan bangunan, antara lain secara arsitektur memiliki keindahan yang menjadi ciri khasnya. Penggunaan material kayu akan menimbulkan kesan hangat dalam ruangan. Kayu relatif mudah untuk dibentuk dan diproses/dikerjakan untuk berbagai macam desain yang diinginkan. Sementara itu kekurangan penggunaan kayu sebagai bahan bangunan, antara lain memerlukan pengeringan yang sempurna karena material kayu sangat dipengaruhi oleh kadar air dan sifat muai susut. Kayu kurang memiliki ketahanan terhadap serangan rayap. Kayu kurang memiliki ketahanan terhadap serangan api/ mudah terbakar. Kayu memiliki sifat tidak seragam/homogen dan kadang terdapat cacat seperti permukaan yang retak dan mata kayu. Untuk beberapa jenis kayu yang mulai langka, harganya relatif mahal.

Sistem sambungan elemen pada struktur rangka batang seperti rangka atap sangat mempengaruhi kekuatan strukturnya. Pada Asessmen yang dilakukan terhadap struktur rangka atap bangunan Gedung A Blok Timur Pasar Atas Payakumbuh ditemukan beberapa batang yang tidak bertemu pada suatu titik buhul. Sedangkan dalam perencanaan struktur rangka batang ini biasanya dimodelkan bertemu pada suatu titik buhul dan gaya yang diterima oleh batang tersebut didistribukan ketitik buhulnya.

Berdasarkan hal ini dilakukan analisis struktur pada dua kondisi yaitu batang yang bertemu pada suatu titik buhul dengan batang yang tidak bertemu pada suatu titik buhul dengan tujuan diketahui perilaku yang yang terjadi pada masing-masing kondisi ini. Dengan diketahui perilaku masing-masing kondisi yaitu batang yang bertemu pada suatu titik buhul dengan batang yang tidak bertemu pada suatu titik buhul diharapkan dapat dijadikan pertimbangan dalam perancangan struktur rangka atap sehingga

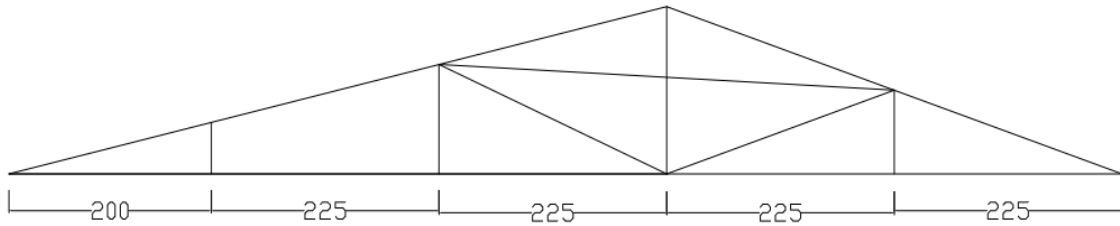
kesalahan yang terjadi dapat diminimalisir dan didapatkan desain struktur yang betul-betul mewakili kondisi sesungguhnya.

2. STRUKTUR RANGKA ATAP DAN PEMBEBANAN

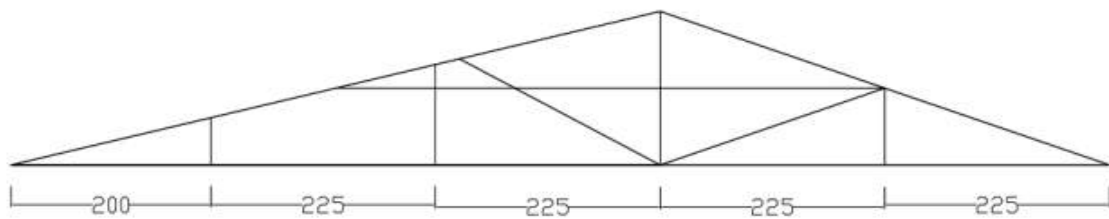
Kuda-kuda atap adalah struktur rangka atap yang terdiri dari batang yang menerima gaya Tarik dan batang yang menerima gaya tekan (Iswanto, 2007). Konstruksi kuda-kuda adalah susunan rangka batang yang berfungsi mendukung beban atap termasuk juga berat sendiri sekaligus dapat memberikan bentuk pada atap. Kuda-kuda merupakan penyangga utama pada struktur atap. Kuda-kuda kayu digunakan sebagai pendukung atap dengan bentang maksimal sekitar 12 m.

Bentuk struktur kuda - kuda terdiri dari rangkaian batang yang selalu berbentuk segitiga. Susunan batang dengan bentuk segitiga ini merupakan satu kesatuan bentuk yang kokoh mampu memikul beban yang bekerja tanpa mengalami perubahan.

Beban-beban yang diperhitungkan dalam struktur rangka atap dalam hal ini struktur kuda-kuda adalah beban mati yaitu berat penutup atap, reng, usuk, gording, kuda-kuda, plafon termasuk instalasi listrik dan instalasi lain yang berada diatas plafon dengan posisi menggantung serta beban hidup seperti beban angin, air hujan, orang pada saat memasang/memperbaiki atap pada stuktur kuda-kuda tersebut.



Gambar 1. Struktur rangka tipe a (bertemu di titik buhul)



Gambar 2. Struktur rangka tipe b (tidak bertemu di titik buhul)

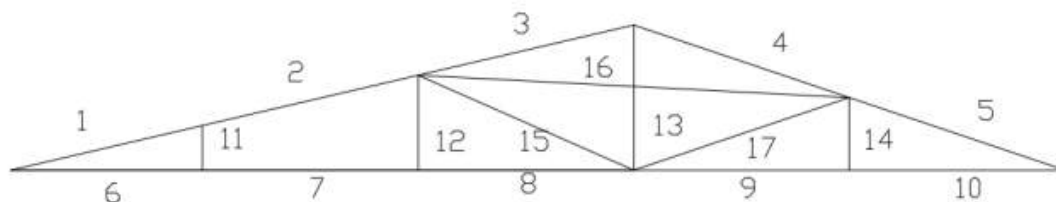
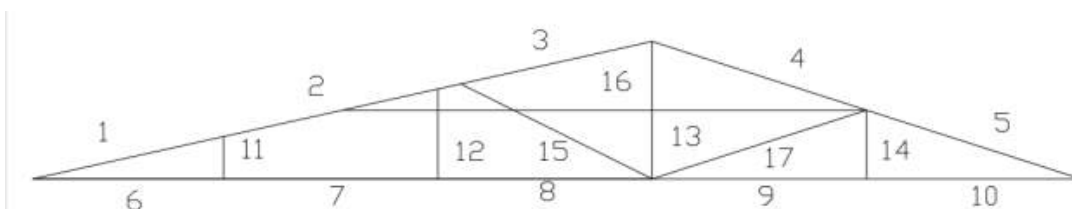
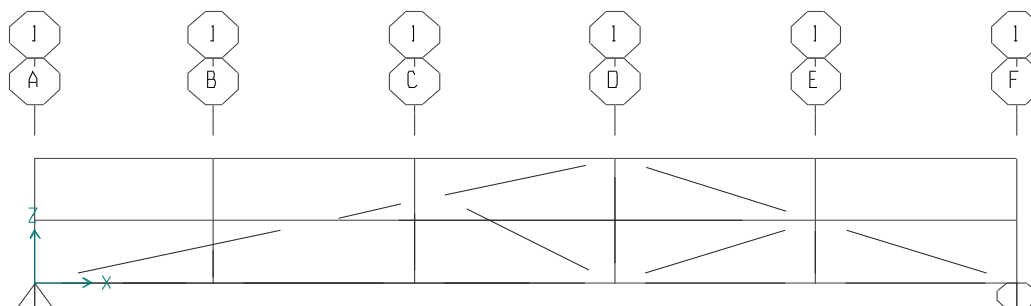
Tabel 1. Beban untuk masing-masing kondisi

Beban	F_{x1}	F_{y1}	F_{x2}	F_{y2}	F_{x3}	F_{y3}	F_{x4}	F_{y4}	F_{x5}	F_{y5}	F_{x6}	F_{y6}
Mati	-	26,33	-	52,67	-	52,67	-	52,67	-	52,67	-	26,33
Hidup	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
Angin	2,5	-11	5	-22	5	-22	31,5	16	85	27	42,50	13,50

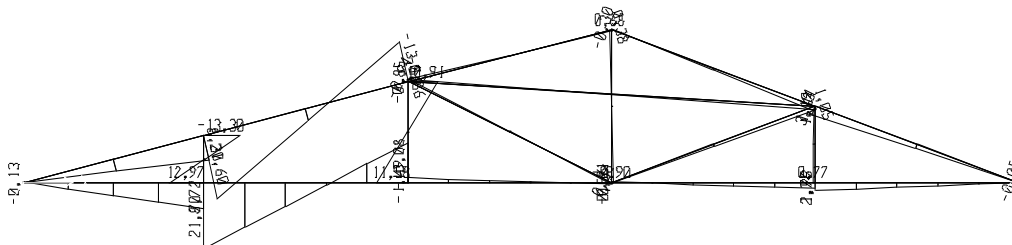
Struktur rangka atap yang ditinjau merupakan struktur rangka atap dengan bentang 11 m. Atap menggunakan penutup atap jenis seng bergelombang.

3. PERBANDINGAN ANALISA STRUKTUR RANGKA BATANG

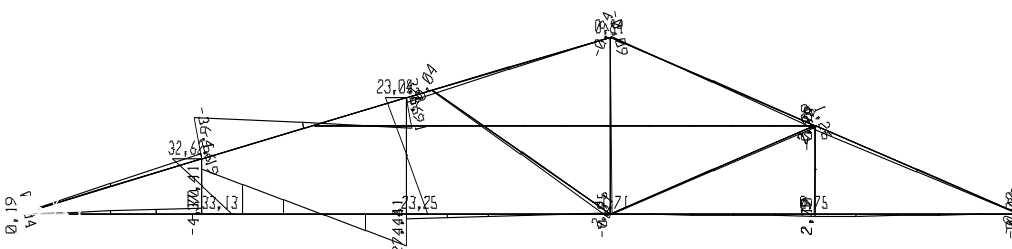
Analisa struktur rangka batang kuda-kuda kayu yang terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 dengan perbedaan pada batang-batang yang bertemu di titik buhul (tipe A) dan batang yang tidak bertemu di titik buhul (tipe B). Hubungan pada batang struktur rangka batang kuda-kuda yang tidak bertemu di titik buhul (tipe B) didefinisikan dengan melakukan *release* pada elemen struktur tersebut, yang terlihat pada Gambar 5.

**Gambar 3. Nomor batang untuk struktur rangka batang tipe a****Gambar 4. Nomor batang untuk struktur rangka batang tipe b****Gambar 5. Struktur rangka batang tipe b yang di release**

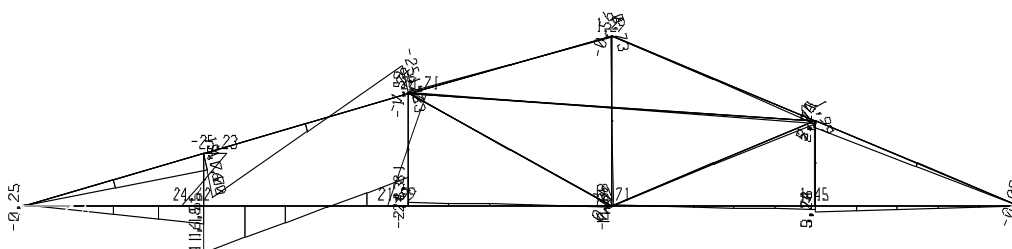
Setelah dimasukkan beban-beban untuk masing-masing kondisi seperti pada Tabel 1, dan dilakukan analisis struktur, maka didapatkan gaya dalam yang berbeda-beda pada masing-masing struktur rangka batang, seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



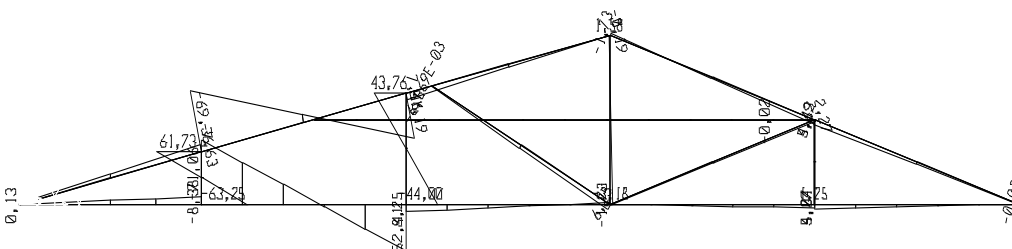
Gambar 6. Diagram momen untuk beban mati (tipe a)



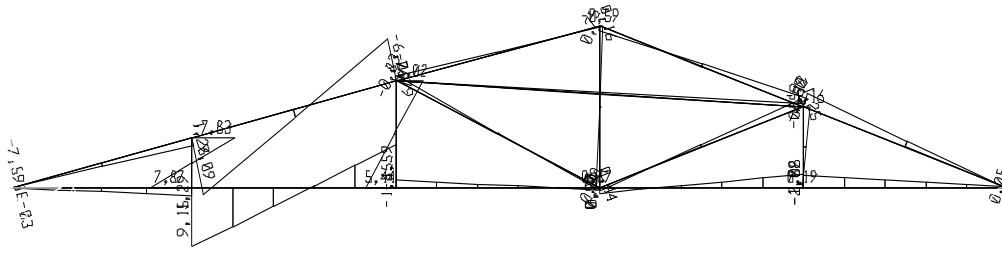
Gambar 7. Diagram momen untuk beban mati (tipe b)



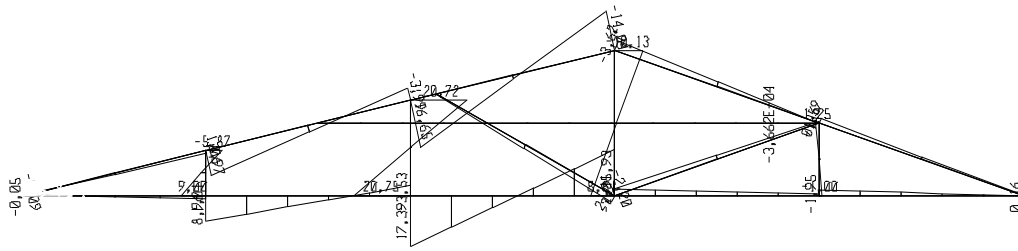
Gambar 8. Diagram momen untuk beban hidup (tipe a)



Gambar 9. Diagram momen untuk beban hidup (tipe b)



Gambar 10. Diagram momen untuk beban angin (tipe a)



Gambar 11. Diagram momen untuk beban angin (tipe b)

Tabel 2. Perbandingan nilai analisis rangka atap untuk tipe a dan tipe b

Beban	Batang	Tipe A				Tipe B			
		Nsd (kg)	Vsd (kg)	Msd (kgm)	σ aksial (Mpa)	Nsd (kg)	Vsd (kg)	Msd (kgm)	σ aksial (Mpa)
Mati	1	-439,7	3,98	8,3	-0,6108	-12	-2,06	-4,19	-0,017
	2	-377,2	-15,23	21,6	-0,5239	-166	27,48	-36,6	-0,231
	3	-159,5	0,54	-0,86	-0,2215	-210	-1,72	3,86	-0,292
	4	-164,7	0,74	1,44	-0,2287	-220	1,32	2,19	-0,306
	5	-318	-1,34	3,13	-0,4416	-310	-1,27	2,98	-0,431
	6	427,43	-4,43	8,72	1,1873	16	2,45	-4,7	0,0444
	7	370,89	15,46	21,7	1,0303	158	-28,8	-37,4	0,4389
	8	348,11	-0,92	-1,49	0,967	206	2,39	4,41	0,5722
	9	301,52	-0,98	1,99	0,8376	296	-0,88	2,1	0,8222
	10	301,23	1,21	2,76	0,8368	298	1,25	2,79	0,8278
	11	-19,87	56,55	-13,3	-0,0276	-128	-142	-33,1	-0,178
	12	16,38	22,78	11,58	0,0228	0,005	-46,9	-23,3	7E-06
	13	34,64	1,05	-0,9	0,0481	48	1,7	-1,71	0,0667
	14	-2,17	0,29	0,77	-0,003	16	0,5	0,75	0,0222
	15	-71,38	0,53	-0,94	-0,0991	4,01	1,51	3,31	0,0056
	16	-127,3	0,46	1,19	-0,3536	0	-0,03	-0,09	0

	17	-19,01	-0,35	1,05	-0,0264	-93	-0,28	1,26	-0,129
Hidup	1	-834,3	7,55	15,76	-1,1588	-40	-3,63	-7,63	-0,056
	2	-715,7	-28,88	41	-0,994	-320	52,19	-69,4	-0,444
	3	-302,6	1,02	-1,63	-0,4202	-396	-3,31	7,46	-0,55
	4	-312,4	1,39	2,73	-0,4338	-412	2,47	4,13	-0,572
	5	-603,2	-2,54	5,94	-0,8378	-584	-2,41	5,69	-0,811
	6	-811	-8,4	16,55	-2,2527	36	4,25	-8,38	0,1
	7	703,66	29,33	41,18	1,9546	296	-54,9	-71,1	0,8222
	8	660,42	-1,73	-2,83	1,8345	396	4,44	8,25	1,1
	9	572	-1,86	3,78	1,5889	564	-1,66	4,04	1,5667
	10	571,46	2,29	5,24	1,5874	564	2,34	5,27	1,5667
	11	-37,73	107,32	-25,23	-0,0524	-128	-269	-63,3	-0,178
	12	31,06	43,24	21,99	0,0431	0	-88,9	-44	0
	13	65,66	2	-1,71	0,0912	112	3,17	-3,18	0,1556
	14	-4,14	0,54	1,45	-0,0058	32	0,5	1,25	0,0444
	15	-135,4	1,01	-1,79	-0,1881	-8	2,81	6,25	-0,011
	16	-241,5	0,86	2,27	-0,6709	0	0	-0,02	0
		17	-36,06	-0,65	1,99	-0,0501	-171	-0,47	2,27
Angin	1	20,75	0,62	1,26	0,0288	16	0,56	1,06	0,0222
	2	52,03	-6,86	9,09	0,0723	32	-5,61	8,97	0,0444
	3	80,79	0,41	-0,79	0,1122	56	-13,3	16,65	0,0778
	4	66,84	-0,95	-1,5	0,0928	88	1,59	-3,62	0,1222
	5	212,92	0,94	-2,19	0,2957	240	0,63	-1,59	0,3333
	6	46,15	-0,64	1,29	0,1282	16	-0,53	1,01	0,0444
	7	12,37	6,99	9,15	0,0344	-32	5,55	8,96	-0,089
	8	1,78	-0,68	-1,15	0,0049	-80	14,81	17,39	-0,222
	9	-186,4	1,33	-2,08	-0,5178	-160	-0,74	-2,21	-0,444
	10	-188,2	-0,82	-1,89	-0,5228	-176	-0,94	-1,95	-0,489
	11	-7,63	33,78	7,87	-0,0106	-10	32	9	-0,014
	12	7,67	10,59	5,44	0,0107	-9	42	20,75	-0,013
	13	-6,28	-0,84	0,67	-0,0087	-21,5	-12,6	-10,1	-0,03
	14	2,15	1,8	-1,16	0,003	0,5	-3	1,25	0,0007
	15	-83,83	0,46	-0,83	-0,1164	0	1,11	2,47	0
	16	52,87	-0,1	-0,59	0,1469	0	0	-0	0
		17	116,59	0,71	-1,25	0,1619	112	-0,75	-2,2

Peningkatan tegangan (σ) yang signifikan terjadi pada tipe A dan tipe B, dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Persentase peningkatan σ aksial terhadap stuktur rangka tipe a dan tipe b

Beban	Batang	σaksial (Mpa)		Peningkatan (%)
		Type A	Type B	
Mati	1	-0,611	-0,017	97,271
	2	-0,524	-0,231	55,996
	3	-0,222	-0,292	-31,678
	4	-0,229	-0,306	-33,617
	5	-0,442	-0,431	2,507
	6	1,1873	0,0444	96,257
	7	1,0303	0,4389	57,400
	8	0,967	0,5722	40,823
	9	0,8376	0,8222	1,831
	10	0,8368	0,8278	1,072
	11	-0,028	-0,178	-544,187
	12	0,0228	7E-06	99,969
	13	0,0481	0,0667	-38,568
	14	-0,003	0,0222	837,327
	15	-0,099	0,0056	105,618
	16	-0,354	0	100,000
	17	-0,026	-0,129	-389,216
Rata-Rata Persentase				26,989
Hidup	1	-1,159	-0,056	95,206
	2	-0,994	-0,444	55,289
	3	-0,42	-0,55	-30,883
	4	-0,434	-0,572	-31,899
	5	-0,838	-0,811	3,186
	6	-2,253	0,1	104,439
	7	1,9546	0,8222	57,934
	8	1,8345	1,1	40,038
	9	1,5889	1,5667	1,399
	10	1,5874	1,5667	1,305
	11	-0,052	-0,178	-239,253
	12	0,0431	0	100,000
	13	0,0912	0,1556	-70,576
	14	-0,006	0,0444	872,947
	15	-0,188	-0,011	94,093
	16	-0,671	0	100,000
	17	-0,05	-0,238	-374,210
Rata-Rata Persentase				45,824
Angin	1	0,0288	0,0222	22,892

2	0,0723	0,0444	38,497
3	0,1122	0,0778	30,684
4	0,0928	0,1222	-31,658
5	0,2957	0,3333	-12,718
6	0,1282	0,0444	65,330
7	0,0344	-0,089	358,690
8	0,0049	-0,222	4594,382
9	-0,518	-0,444	14,158
10	-0,523	-0,489	6,477
11	-0,011	-0,014	-31,062
12	0,0107	-0,013	217,340
13	-0,009	-0,03	-242,357
14	0,003	0,0007	76,744
15	-0,116	0	100,000
16	0,1469	0	100,000
17	0,1619	0,1556	3,937
Rata-Rata Persentase			312,432

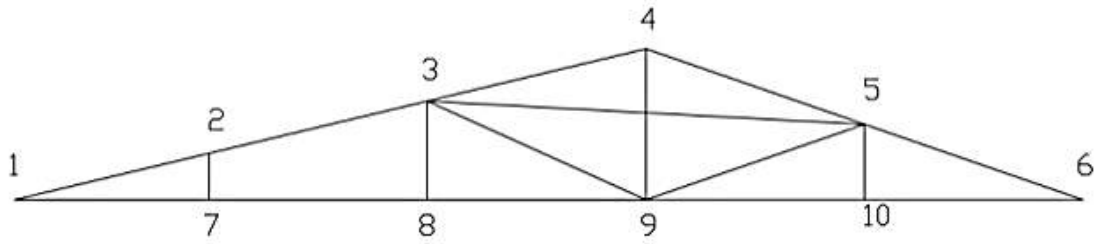
Dari tabel di atas, diketahui perbandingan persentase kenaikan dan penurunan dari nilai maksimum masing-masing gaya dalam dan tegangan aksial (σ aksial) yang terjadi pada struktur rangka atap. Pada batang yang dibebani secara aksial akan timbul tegangan. Apabila tegangan terdistribusi merata, maka besarnya tegangan dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$\sigma = F / A \quad (1)$$

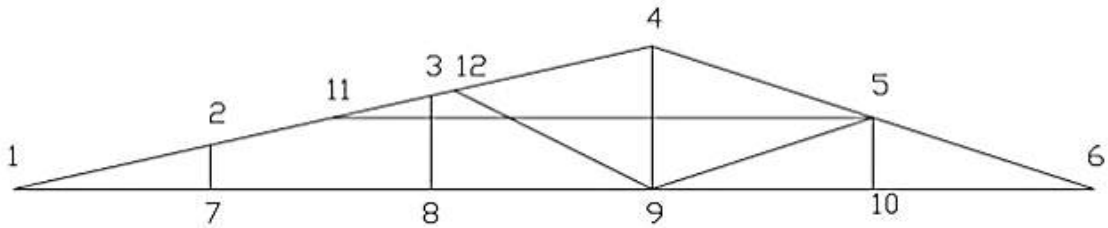
dengan σ = tegangan, F = gaya aksial, dan A = luas penampang.

Perbedaan terlihat jelas pada hasil analisa yang dapat disimpulkan bahwa secara umum kenaikan dari σ aksial pada struktur rangka batang tipe A dan tipe B akibat beban mati yaitu sebesar 26,989%, akibat beban hidup sebesar 45,824%, dan akibat beban angin sebesar 312,432%.

Selain melakukan perbandingan terhadap tegangan (σ aksial), dalam penelitian ini juga dilakukan perbandingan terhadap lendutan maksimum yang terjadi pada join pada rangka batang yang dapat dilihat pada tabel 3.



Gambar 12. Nomor joint untuk rangka batang tipe a



Gambar 13. Nomor joint untuk rangka batang tipe b

Tabel 4. Perbandingan lendutan maksimum pada struktur rangka atap

Tipe Rangka	Joint	U ₁ (m)	U ₂ (m)
Tipe A	1	0	0
	2	0,00002897	0
	3	0,00001143	0
	4	5,298E-06	0
	5	9,448E-06	0
	6	0,00002608	0
	7	5,823E-06	0
	8	0,00001151	0
	9	0,00001684	0
	10	0,00002146	0
Tipe B	1	193314071	0
	2	113341824	0
	3	23335434,4	0
	4	-64886288	0
	5	64213891,4	0
	6	193314071	0
	7	193314071	0
	8	193314071	0

9	193314071	0
10	193314071	0
11	64213891,4	0
12	13079603,2	0

Lendutan maksimum terjadi pada masing-masing rangka batang dengan perbedaan yang signifikan antara tipe A dan tipe B, hal ini disebabkan oleh adanya batang-batang pada tipe B yang tidak bertemu di satu titik joint sehingga terjadinya peningkatan lendutan (*displacement*) horizontal (U1) ,sedangkan tidak adanya perbedaan *displacement* vertikal (U2) pada kedua tipe karena *displacement* vertikal (U2) yang dihasilkan adalah sebesar 0 (nol).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Tulisan ini melakukan analisis terhadap dua tipe struktur rangka atap kuda-kuda kayu, yaitu struktur rangka atap dengan batang yang bertemu di titik buhul (tipe A), dan struktur rangka atap yang salah satu batangnya tidak bertemu di titik buhul (tipe B). Hasil analisa menunjukkan perbedaan hasil aksial yang terjadi akibat beban mati, beban hidup, dan beban angin pada struktur rangka atap masing-masing yaitu sebesar 26,989% untuk beban mati, akibat beban hidup sebesar 45,824%, dan akibat beban angin sebesar 312,432%. Sedangkan untuk persentase peningkatan lendutan, lendutan maksimum terjadi pada masing-masing rangka batang dengan perbedaan yang signifikan antara tipe A dan tipe B, hal ini disebabkan oleh adanya batang-batang pada tipe B yang tidak bertemu di satu titik joint sehingga terjadinya peningkatan lendutan (*displacement*) horizontal (U1) ,sedangkan tidak adanya perbedaan *displacement* vertikal (U2) pada kedua tipe karena *displacement* vertikal (U2) yang dihasilkan adalah sebesar 0 (nol).

Disarankan dalam melakukan analisa struktur suatu bangunan, sebaiknya analisa struktur terhadap struktur rangka atap juga diperhatikan agar hasil analisa struktur yang dilakukan betul-betul mendekati kondisi yang sebenarnya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Iswanto, D. 2007. Kajian Terhadap Struktur Rangka Atap Kayu Rumah Tahan Gempa Bantuan P2KP. *ENCLOSURE*. Volume 6 No. 1.
- Masdar, A. 2012. Perbandingan Analisis Struktur Rangka Atap Bambu. *Simposium Nasional Rekayasa dan Budidaya Bambu I*. FT-UGM, Yogyakarta. Indonesia.
- Puri, W. A. 2013. Red Bricks And Light Bricks Cost Analysis For Walls And Mild Steel And Wood For Roof Truss (BPN office construction case study in Mojokerto regency). *Extrapolasi Jurnal Teknik Sipil Untag Surabaya*. Volume 6 No. 1 hal : 108-117.
- PPIUG 1983. 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung. Yayasan Penyelidikan Masalah Pembangunan. Bandung.

PENGARUH PENAMBAHAN SUPERPLASTICIZER TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Sri Umiati¹, Rendy Thamrin², Neli Harti³

¹ Teknik Sipil Universitas Andalas Padang

² Teknik Sipil Universitas Andalas Padang

³ Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Andalas Padang

ABSTRACT

Dalam dunia konstruksi saat ini, penggunaan Superplasticizer tidak lagi menjadi hal baru, terutama untuk konstruksi yang mensyaratkan mutu beton yang tinggi. Beton mutu tinggi pada dasarnya memiliki faktor air semen (*water/cement ratio*) yang rendah sehingga adukan menjadi kental dan proses pengisian campuran beton segar ke dalam cetakan atau bekisting terutama untuk beton ready mix yang dicurahkan melewati concrete pump menjadi sulit. Superplasticizer adalah bahan tambah yang dimasukkan kedalam beton segar yang berfungsi meningkatkan slump, sehingga memudahkan pengerjaannya (*workability*). Super Plasticizer juga dapat meningkatkan mutu beton, akibat pengurangan air faktor air semen menjadi lebih rendah dengan slump yang meningkat. Pada penelitian ini Super Plasticizer yang dipakai adalah dengan merek Sika Viscocrete-10 sebanyak 1 % dari berat semen. Mutu beton yang dicoba pada penelitian adalah $fc' 30$ MPa, $fc' 35$ MPa, $fc' 40$ MPa, $fc' 50$ MPa. Slump beton segar sebesar 18 ± 3 cm. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa Super Plasticizer yang dimasukkan kedalam adukan beton segar, meningkatkan slump sehingga tercapai 18 cm pada adukan beton segar $fc' 30$ MPa, 20 cm pada $fc' 35$ MPa, 18 cm pada $fc' 40$ MPa dan 18 cm pada $fc' 50$ MPa. Pengurangan air adukan sebesar 16,1% untuk beton $fc' 30$ MPa, 23% untuk beton $fc' 35$ MPa, 31% untuk beton $fc' 40$ MPa dan 32,8% untuk beton $fc' 50$ MPa. Kekuatan beton meningkat dibandingkan dengan beton tanpa penambahan *Super Plasticizer*. Peningkatan kuat tekan sebesar 14.16 % untuk $fc' 30$ MPa, sebesar 41.74 % untuk $fc' 35$ MPa, sebesar 53.68 % untuk $fc' 40$ MPa; dan sebesar 43.53 % untuk $fc' 50$ MPa.

Kata Kunci: Superplasticizer, Semen PCC, Kuat Tekan Beton

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia konstruksi saat ini, penggunaan *Superplasticizer* tidak lagi menjadi hal baru, terutama untuk konstruksi yang mensyaratkan mutu beton yang tinggi. Beton mutu tinggi pada dasarnya memiliki faktor air semen (*water/cement ratio*) yang rendah sehingga adukan menjadi kental dan proses pengisian campuran beton ke dalam cetakan atau bekisting menjadi sulit. Superplasticizer adalah bahan tambah yang dimasukkan kedalam beton segar yang berfungsi dapat meningkatkan nilai slump untuk memudahkan *workability*. Super Plasticizer juga dapat meningkatkan mutu beton akibat pengurangan pemakaian air sehingga faktor air semen menjadi lebih rendah dengan slump yang meningkat. Faktor air semen yang merupakan faktor utama penentu mutu beton. Penggunaan Viscocrete-10 dapat meminimalkan faktor air semen sekecil

mungkin, hingga air yang diperlukan hanya untuk reaksi hidrasi semen saja. Superplasticizer yang digunakan pada penelitian ini adalah Viscocrete-10. Menurut Handi Pajitno, Sika Viscocrete adalah bahan tambah yang dimasukkan kedalam adukan beton segar yang berfungsi mengurangi pemakaian air, meningkatkan kelecakan, meningkatkan mutu beton, dan memudahkan beton segar mengalir dan memadat sendiri tanpa harus digetarkan dengan vibrator. Dengan rendahnya faktor air semen dapat meningkatkan kuat tekan beton.

1.2 Tujuan Penelitian

- a. Untuk mengetahui pengaruh superplastisizer terhadap kuat tekan beton dengan cara membandingkan kuat tekan yang ditambahkan SP dan yang tidak ditambahkan SP untuk mutu beton K-300, K-350, K-400, dan K-500.
- b. Untuk mengetahui kadar air yang dapat dikurangi dalam campuran beton yang ditambah superplastisizer dengan slump rencana 18 ± 3 cm, Percobaan slump beton bertujuan untuk mengukur nilai *slump* (kelecakan) sehingga mencapai *slump* rencana.

2. DATA PENGUJIAN DAN ANALISA

2.1 Bahan dan Peralatan yang Digunakan

- a) Bahan-bahan yang digunakan dalam perencanaan campuran beton antar lain:
Semen PCC produksi PT Semen Padang
Agregat kasar (kerikil) ukuran 5/10 dan 10/20
Agregat halus (pasir).
Air bersih.
Super Plasticizer dengan merek *Sika Viscocrete-10* yang di produksi oleh PT Sika.
Material yang akan digunakan dilakukan pengujian sifat fisiknya: kadar air, berat volume, analisa saringan, *specific gravity*, kadar lumpur dan kadar zat organik yang memenuhi untuk campuran beton
- b) Peralatan yang digunakan :
Beberapa peralatan yang digunakan selama pengujian material antara lain: timbangan, alat-alat pemeriksaan agregat, oven, mesin aduk beton (molen) alat *slump test*, cetakan silinder, tongkat penumbuk, mesin uji tekan. meja getar, mistar pengukur.
- c) Lokasi Pengujian
Segala pengujian mulai dari pengujian material sampai pengujian kuat tekan beton dilakukan di Laboratorium Aplikasi Semen dan Beton, PT Semen Padang

2.2 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton menggunakan metoda ACI (*American Concrete Insitute*) dengan mutu rencana beton adalah K-300, K-350, K-400 dan K-500.

- a. Perbandingan campuran untuk satu M³ adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Perbandingan campuran beton per M³ beton yang direncanakan

No	URAIAN DATA	Satuan	K-300	K-350	K-400	K-500
I	RENCANA					
1	Mutu Beton yang direncanakan	kg/cm ²	300	350	400	500
2	Workability (Slump) beton tambah SP	Cm	18±3	18±3	18±3	18±3
3	Workability (Slump) beton tanpa SP	Cm	8+2	8+2	8+2	8+2
II	KOMPOSISI					
1	Faktor air semen (WC) ratio		0,54	0,48	0,47	0,45
2	Jumlah Semen per m ³	Kg	359	417	436	488
3	Air Pengaduk	Liter	194	200	205	205
4	Jumlah Agregat Halus (pasir)	Kg	733	707	698	677
5	Jumlah Agregat Kasar (Bt pecah 5/10)	Kg	286	276	273	264
6	Jumlah Agregat Kasar (Bt pecah 10/20)	Kg	813	785	775	751
7	Superplasticizer Sika Viscocrete-10	Kg	3,59	4,17	4,36	4,88

- b. Perbandingan campuran untuk 0,03 M³ adalah sebagai berikut

Tabel 2. Komposisi Perbandingan Campuran untuk 0,03 M³ Beton

No	URAIAN DATA	Satuan	MUTU BETON			
			K-300	K-350	K-400	K-500
1	Semen	kg	10,77	12,51	13,08	14,64
2	Air	kg	7,168	6,649	7,19	7,22
3	Pasir	kg	21,481	21,194	20,64	19,922
4	Agregat 5 - 10	kg	8,355	8,093	7,98	7,74
5	Agregat 10-20	kg	23,776	23,104	22,71	22,028
6	Sika Viscocrete-10	cc	107,7	124,1	130,8	146,4

Komposisi campuran beton segar diaduk dengan volume sebanyak 0,03 M³ sesuai dengan kebutuhan beton segar untuk membuat sampel penelitian

2.3 Benda Uji

Benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, sebanyak 80 buah benda uji. Kuat tekan beton yang direncanakan sebesar 300 kg/cm², 350 kg/cm², 400 kg/cm², dan 500 kg/cm². Pengujian kuat tekan benda uji dilakukan pada hari ke 7, 14, 21, 28 dan 56.

2.4 Pengujian Slump Beton

Nilai *slump* beton segar direncanakan setinggi 18 ± 3 cm. Tinggi ini direncanakan sebagai beton yang dicurahkan melewati *concrete pump* untuk beton *ready mix*. Penggunaan *Super Plasticizer Sika Viscocrete-10* sebanyak 1% dari berat semen.

SikaViscocrete terjadi pengurangan air sesuai dengan fungsi *Super Plasticizer* yang mampu mengurangi pemakaian air sampai 30 %. Pengurangan air ini tentunya merubah faktor air semen menjadi lebih kecil dan meningkatkan mutu beton. Berikut ini besar pengurangan air yang terjadi akibat penambahan *Super Plasticizer, Sika Viscocrete – 10* dengan dosis 1 % dari berat semen:

Tabel 3. Besar pengurangan air akibat penambahan Sika Viscocrete – 10

No	URAIAN	Satuan	MUTU BETON			
			K-300	K-350	K-400	K-500
1	W/C Ratio		0,54	0,48	0,47	0,45
2	Semen PCC	kg	10,17	12,51	13,08	14,64
3	Air Rencana	kg	5,82	6,00	6,15	6,15
4	Sika Viscocrete-10	cc	3,59	4,17	4,36	4,88
5	Pengurangan Air	kg	0,935	1,42	1,9	2,02
	% Pengurangan air	%	16,1	23,1	31,1	32,8

Dari data yang diperoleh, dapat dilihat akibat penambahan *Super Plasticizer Sika Viscocrete-10*, terjadi pengurangan pemakaian air dari komposisi rencana. Bahkan persentase pengurangan pemakaian air semakin besar untuk mutu beton yang lebih tinggi. Hal ini berarti telah terjadi perubahan faktor air/ semen dari perencanaan.

Selain berfungsi mengurangi pemakaian air sehingga dapat meningkatkan mutu beton, *Super Plasticizer* juga berfungsi meningkatkan kemudahan dalam pengerjaan beton (*workability*). Hal ini dapat dilihat dari nilai *slump* yang dihasilkan. Jika dengan komposisi campuran beton di atas dapat dihasilkan beton dengan nilai *slump* 8 – 10 cm,



Gambar 1 : Sika Viscocrete-10

Gambar 2. Test Slump beton segar.

Tabel di bawah ini dapat dilihat *slump* yang dihasilkan karena penambahan *Super Plasticizer, Sika Viscocrete – 10*.

Tabel 4. Slump beton segar akibat penambahan Superplasticizer Sika Viscocrete-10

No	URAIAN DATA	SAT	K-300	K-350	K-400	K-500
I	RENCANA					
1	Mutu Beton yang direncanakan	kg/cm ²	300	350	400	500
2	Workability (Slump) beton tambah SP	cm	18±3	18±3	18±3	18±3
3	Workability (Slump) beton tanpa SP	cm	8+2	8+2	8+2	8+2
II	KOMPOSISI					
1	Faktor air semen (WC) ratio		0,54	0,47	0,42	0,32
2	Jumlah Semen per m ³	kg	359	417	436	488
3	Air Pengaduk	Liter	194	200	205	205
4	Jumlah Agregat Halus (pasir)	kg	733	707	698	677
5	Jumlah Agregat Kasar (Bt pecah 5/10)	kg	286	276	273	264
6	Jumlah Agregat Kasar (Bt pecah 10/20)	kg	813	785	775	751
7	Superplasticizer Sika Viscocrete-10	kg	3,59	4,17	4,36	4,88
III	DATA TRIAL MIX					
1	Slump dengan penambahan Superplasticizer	cm	18.04	20	18.05	18
2	Pengurangan Air penambahan SP	cc	935	1420	1900	2020
3	Slump tanpa Superplasticizer	cm	8,2	9	8,2	8

Dari data di atas, terlihat bahwa walaupun dilakukan pengurangan air, dengan penambahan *Super Plasticizer*, *slump* beton mampu mencapai nilai yang cukup tinggi. Perubahan nilai *slump* menjadi besar ini perlu diperhatikan pengaruhnya terhadap kuat tekan beton. Dengan nilai *slump* yang cukup tinggi beton bisa menjadi padat tanpa menggunakan alat penggetar. Pada beton tanpa penambahan Superplasticizer, *slump* yang dicapai hanya sekitar 8-10 cm. tinggi berarti faktor air/ semen besar, dan kuat tekan beton akan lebih rendah.

2.5 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm dilakukan pada umur beton 7, 14, 21, 28 dan 56 hari. Untuk setiap jenis benda uji dibuat sebanyak 2 buah sampel.

Tabel 5, Perbandingan Kuat Tekan Beton Tanpa penambahan dan dengan penambahan Superplasticizer Sika Viscocrete-10.

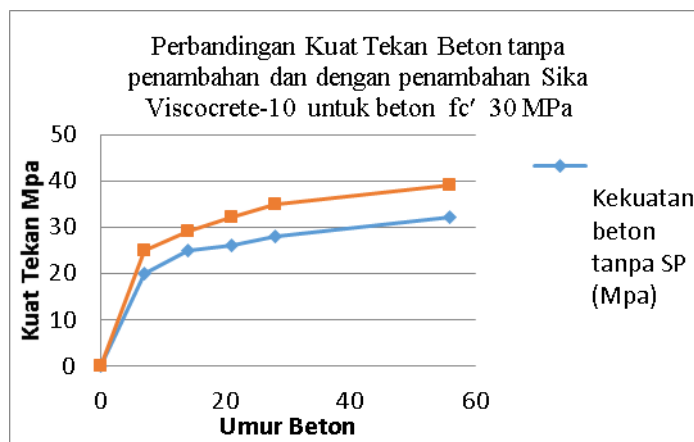
No	URAIAN DATA			Kuat Tekan Beton tanpa penambahan Sika Viscocrete -10				Kuat Tekan Beton dengan penambahan Sika viscocrete-10			
				30 Mpa	35 Mpa	40 Mpa	50 Mpa	30 Mpa	35 Mpa	40 Mpa	50 Mpa
1	Umur	Sampel1	kg/cm	208	262	290	327	243	405	508	524
	7hari	Sampel2	kg/cm	208	242	297	349	260	392	521	525
		Rata-rata	kg/cm	208	252	293	338	252	398	514	524
Rata rata dalam Mpa				20	25	29	33	25	39	51	52
2	Umur	Sampel1	kg/cm	237	311	341	362	290	417	535	573
	14hari	Sampel2	kg/cm	274	284	339	364	279	450	535	573
		Rata-rata	kg/cm	255	297	340	363	285	434	535	573
Rata rata dalam Mpa				25	29	34	36	28	43	53	57
3	Umur	Sampel1	kg/cm	265	335	387	397	290	450	580	589
	21hari	Sampel2	kg/cm	260	319	390	392	311	468	576	581
		Rata-rata	kg/cm	262	327	388	394	301	476	578	585
Rata rata dalam Mpa				26	32	38	39	30	47	57	58
4	Umur	Sampel1	kg/cm	296	344	405	438	294	497	569	592
	28hari	Sampel2	kg/cm	271	372	401	437	310	494	599	599
		Rata-rata	kg/cm	283	358	403	438	302	496	584	596
Rata rata dalam Mpa				28	35	40	43	30	49	58	59
5	Umur	Sampel1	kg/cm	321	406	420	510	382	510	620	592
	56hari	Sampel2	kg/cm	326	382	423	484	382	512	636	632

	Rata-rata	kg/cm	323	394	421	497	382	511	628	637
Rata rata dalam Mpa			32	39	42	49	38	51	62	63

Pengujian kuat tekan beton menggunakan *Compressive Test Machine* dilakukan di Laboratorium Aplikasi Semen dan Beton, PT Semen Padang.

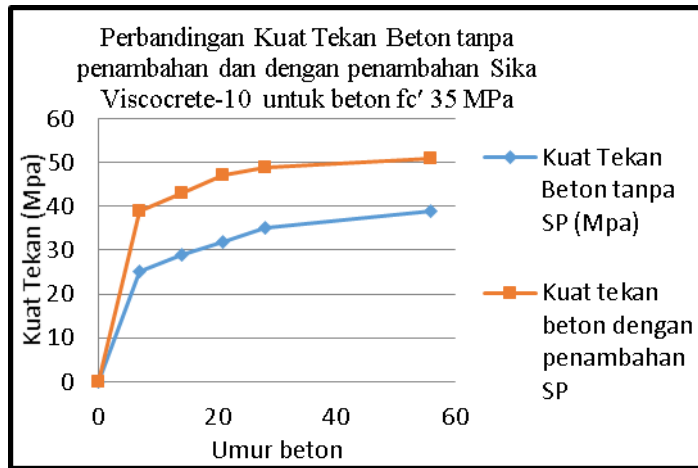
3. ANALISA KUAT TEKAN BETON.

Dari tabel 5 diatas dapat dijelaskan perbandingan kuat tekan beton tanpa penambahan dan yang ditambah Superplasticizer Sika Viscocrete dapat dilihat dari gambar dibawah:



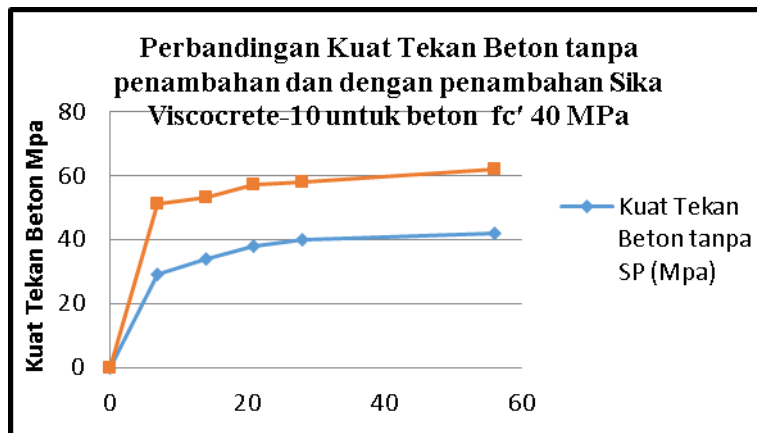
Gambar 1. Perbandingan Kuat Tekan Beton tanpa penambahan dan dengan penambahan Sika Viscocrete-10 untuk beton rencana f_c' 30 MPa

Penambahan Super Plasticizer Sika Viscocrete-10 pada beton segar, rata rata meningkatkan kuat tekan beton. Terlihat pada gambar diatas untuk beton f_c' 30 MPa, peningkatan kuat tekan beton pada umur 7 hari sebesar 5 Mpa atau 25% dari kekuatan beton tanpa penambahan SP, seterusnya pada umur 14 hari meningkat 3 Mpa atau sebesar 12%, pada umur 21 hari meningkat 4 MPa atau 15%, pada umur 28 hari meningkat 2 MPa atau 7%, umur 56 hari meningkat 6 MPa atau sebesar 18 %.



Gambar 3. Perbandingan Kuat Tekan Beton tanpa penambahan dan dengan penambahan Sika Viscocrete-10 untuk beton rencana f_c' 35 MPa

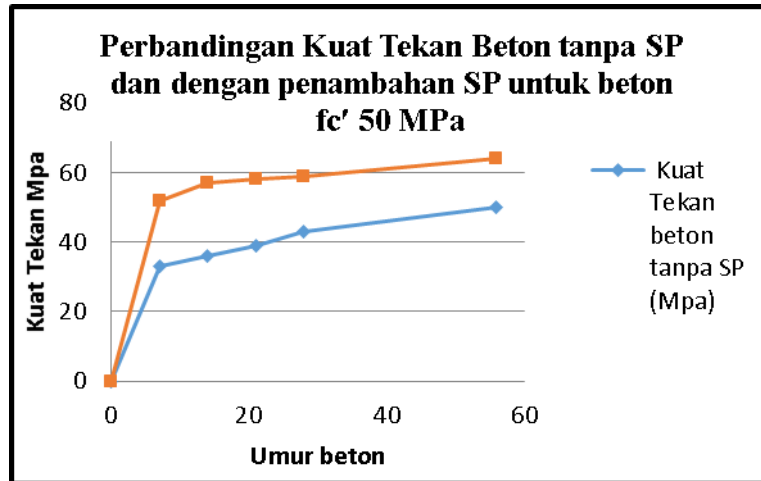
Penambahan Super Plasticizer Sika Viscocrete-10 pada beton segar, rata rata meningkatkan kuat tekan beton. Terlihat pada gambar diatas untuk beton f_c' 35 MPa pada umur 7 hari peningkatan sebesar 14 Mpa atau 56% dari kekuatan beton tanpa penambahan SP, seterusnya pada umur 14 hari meningkat 14 Mpa atau sebesar 48 %, pada umur 21 hari meningkat 15 MPa atau 46 %, pada umur 28 hari meningkat 14 MPa atau 40 %, umur 56 hari meningkat 12 MPa atau sebesar 30 %.



Gambar 4. Perbandingan Kuat Tekan Beton tanpa penambahan dan dengan penambahan Sika Viscocrete-10 untuk beton rencana f_c' 40 MPa

Penambahan Super Plasticizer Sika Viscocrete-10 pada beton segar, rata rata meningkatkan kuat tekan beton. Terlihat pada gambar diatas untuk beton rencana f_c' 40 MPa, peningkatan kuat tekan beton pada umur 7 hari sebesar 22 Mpa atau 75 % dari kekuatan beton tanpa penambahan SP, seterusnya pada umur 14 hari meningkat 15

Mpa atau sebesar 44 %, pada umur 21 hari meningkat 19 MPa atau 50 %, pada umur 28 hari meningkat 18 MPa atau 45 %, umur 56 hari meningkat 21MPa atau sebesar 50 %.



Gambar 5. Perbandingan Kuat Tekan Beton tanpa penambahan dan dengan penambahan Sika Viscocrete-10 untuk beton f_c' 50 MPa

Penambahan Super Plasticizer Sika Viscocrete-10 pada beton segar, rata rata meningkatkan kuat tekan beton. Terlihat pada gambar diatas untuk beton f_c' 50 MPa, peningkatan kuat tekan beton pada umur 7 hari sebesar 19 Mpa atau 57 % dari kekuatan beton tanpa penambahan SP, seterusnya pada umur 14 hari meningkat 21Mpa atau sebesar 58 %, pada umur 21 hari meningkat 19 MPa atau 48 %, pada umur 28 hari meningkat 16 MPa atau 37 %, umur 56 hari meningkat 15 MPa atau sebesar 30 %.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pencampuran beton segar dan pengujian kuat tekan pada umur 28 hari dapat disimpulkan pengaruh penambahan *Super Plasticizer* adalah:

1. Dengan penambahan *Super Plasticizer, Sika Viscocrete-10* sebesar 1 % dari berat semen PCC, terjadi pengurangan pemakaian air dari komposisi rencana sebesar 16.1 % untuk K-300, 23.1 % untuk K-350, 31.1 % untuk K-400 dan 32.8 % untuk K-500. untuk *slump* sebesar 18.4 cm untuk K-300, 20 cm untuk K-350, 18.5 cm untuk K-400 dan 18 cm untuk K-500.
2. Kuat Tekan beton yang ditambah Superplasticizer Sika Viscocrete-10 meningkat dibandingkan dengan beton tanpa penambahan *Super Plasticizer*, beton yang menggunakan semen PCC dengan penambahan *Super Plasticizer* terjadi

peningkatan kuat tekan. Pada umur pengujian 28 hari untuk mutu $f_c' 30$ MPa terjadi peningkatan sebesar 7 %. Untuk mutu, $f_c'35$ MPa sebesar 35 %, mutu $f_c'40$ MPa sebesar 45 % dan mutu $f_c'50$ MPa sebesar 37 %.

3. Peningkatan Kuat Tekan beton yang ditambahkan Super Plasticizer Sika Viscocrete-10 terlihat lebih besar pada beton yang lebih tinggi. Ini disebabkan jumlah pemakaian semen pada beton yang lebih tinggi lebih banyak, sementara penambahan SuperPlasticizer ini diambil sebesar 1% dari berat semen.

5. SARAN

1. Jumlah sampel yang terbatas untuk tiap variabel pengujian beton, sebaiknya sampel lebih banyak sehingga data lebih akurat;
2. Kondisi lingkungan seperti cuaca panas atau hujan sangat mempengaruhi kadar air agregat kasar atau kadar air agregat halus. Sehingga pengukuran kadar air untuk menghasilkan slump beton segar sesuai rencana harus lebih teliti untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih tepat.
3. Perlakuan harus benar benar sama dan dengan ketelitian untuk setiap sampel, seperti urutan dan waktu pencampuran material, pengecoran beton agar kesalahan pengukuran kecil.

6. DAFTAR PUSTAKA

Hernando, Fandhi. Perencanaan Campuran Beton Mutu Tinggi dengan Penambahan Superplasticizer dan Pengaruh Penggantian Sebagian Semen dengan Fly Ash, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2009.

Jurnal rekayasa sipil / Volume 2, No.3 – 2008 ISSN 1978 – 5658

George Ilinoiu, Concrete Mix Design Optimized Approach, Faculty of Civil, Industrial and Agricultural Constructions Technical University of Civil Engineering of Bucharest, Romania, 2004.

Prajitno, Handi, Sika viscocrete sebagai dispersan untuk self compacting concrete. Konferensi nasional teknik sipil. 2007.

Standar Nasional Indonesia 15-2049-2004. Semen Portland.

Standar Nasional Indonesia 15-7064-2004. Semen Portland Komposit.

Mulyono, Tri. MT, Teknologi Beton. Andi, Yogyakarta, 2003.

Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.

ACI, Material and General Properties Concrete, ACI Manual Concrete Practice Part I, Detroit, 1995.

Antono, A, Teknologi Beton, Penerbit Universitas Atma Jaya, Yogyakarta, 1995.

- Antono, A, Bahan Konstruksi Teknik Sipil, Penerbit Universitas Atma Jaya, Yogyakarta, 1995.
- ASTM C 192, Practice for making and curing concrete test specimens in laboratory, 1995.
- Tjokrodimulyo, Kardiyono, Teknologi Beton, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta, 1995.
- Aman Subakti, Teknologi Beton Dalam Praktek, Jurusan Teknik Sipil FTSP Institut Sepuluh Nopember, Surabaya, 1994.
- Dipohusodo, Istimawan. Struktur Beton Bertulang, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1994.
- ASTM C 78, Concrete And Agregates, 1993.
- McGregor, G. James, Reinforced Concrete Mechanics And Design, New Jersey: Prentice Hall, 1986.
- Murdock, L.J. & K.M. Brook, Bahan dan Praktek Beton terjemahan oleh Stephanus Hendarko, Edisi keempat, Jakarta: Penerbit Erlangga, 1986.

KAJI EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN PEREDAM DINAMIK TLCD BERBENTUK V DENGAN PENAMPANG BERVARIASI PADA MODEL STRUKTUR RUANG DUA LANTAI

Nurul Intan Ridelfa¹, Lovely Son², Mulyadi Bur³

¹Mahasiswa magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: nurulintanridelfa@gmail.com

²Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: lovelyson@ft.unand.ac.id

³Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: mulyadibur@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

Abstract. Vibration in the structure of building due to external forces can be overcome by using a dynamic damper that serves to reduce the vibration response to the structure of building. Dynamic dampers work by absorbing some vibrational energy from the structure so that vibrations occur in the main structure will be reduced. In previous studies, U-shape and TMD (Tuned Mass Damper) dynamic TLCD (Tuned Liquid Column Damper) absorbers were used to reduce the response of structures whose vibrations occur in x-z plane. In this research, V-shaped TLCD with varied cross-section was developed in a two-floor building structure to reduce vibration responses in x-z and y-z fields. Experiment is done by varying the volume of water in TLCD. From the test, the optimum condition of dynamic dampers performance is obtained by looking at the magnitude of vibration response that can be reduced by dynamic dampers. The results of the test showed that optimum conditions of the x-z TLCD field were 295 ml in water volume and the y-z TLCD conditions at 240 ml volume. The result of structural dynamic response to time shows that the addition of TLCD dynamic dampers can reduce the vibration response in a two-floor building structure.

Keywords : vibration, structure, dynamic dampers, TLCD

ABSTRAK

Getaran pada struktur ruang akibat gaya dari luar dapat diatasi dengan menggunakan peredam dinamik yang berfungsi untuk mengurangi respon getaran pada struktur ruang. Peredam dinamik bekerja dengan cara menyerap sebagian energi getaran dari struktur sehingga getaran yang terjadi pada struktur utama akan berkurang. Pada penelitian sebelumnya, peredam dinamik TLCD (Tuned Liquid Column Damper) bentuk U dan TMD (Tuned Mass Damper) digunakan untuk mengurangi respon struktur yang getarannya terjadi pada satu bidang x-z. Dalam penelitian ini dikembangkan penggunaan peredam dinamik TLCD berbentuk V dengan penampang bervariasi pada struktur ruang dua lantai untuk mengurangi respon getaran pada bidang x-z dan y-z. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan volume air pada TLCD. Dari pengujian didapatkan kondisi optimum dari kinerja peredam dinamik dengan melihat besarnya respon getaran yang

dapat direduksi oleh peredam dinamik tersebut. Hasil dari pengujian didapatkan kondisi optimum TLCD bidang x-z yaitu pada volume air 295 ml, dan TLCD bidang y-z pada volume 240 ml. Hasil respon dinamik struktur terhadap waktu menunjukkan bahwa penambahan peredam dinamik TLCD dapat mengurangi respon getaran pada struktur ruang dua lantai.

Kata Kunci : getaran, struktur, peredam dinamik, TLCD

1. PENDAHULUAN

Gedung bertingkat pada umumnya mudah mengalami getaran akibat beban dinamik seperti gempa bumi. Berdasarkan kondisi ini, perancangan sebuah struktur perlu diperhatikan beberapa faktor, salah satunya faktor keamanan akibat pembebanan dinamik. Salah satu penyebab timbulnya kegagalan pada struktur disebabkan oleh fenomena resonansi. Struktur akan mengalami resonansi apabila frekuensi gangguan bernilai sama dengan frekuensi pribadi struktur. Pada peristiwa resonansi, terjadi penyerapan energi oleh sistem yang mengakibatkan amplitudo getaran semakin besar sehingga dapat mengakibatkan kegagalan struktur [1]. Frekuensi pribadi dan modus getar merupakan parameter utama yang sangat menentukan perancangan struktur bangunan yang mengalami pembebanan dinamik [2].

Salah satu cara untuk mengatasi kegagalan struktur akibat pembebanan dinamik yaitu dengan menggunakan peredam dinamik yang berfungsi untuk mengurangi respon getaran pada struktur. Peredam dinamik bekerja dengan cara memindahkan sebagian energi getaran yang terjadi pada struktur ke sistem peredam dinamik sehingga dapat mengurangi respon getaran struktur. Ada beberapa jenis peredam dinamik yang telah dikembangkan oleh para peneliti sebelumnya. Salah satu peredam dinamik yang digunakan adalah TLCD (Tuned Liquid Column Damper). TLCD merupakan peredam dinamik pasif yang menggunakan fluida cair sebagai media untuk mengurangi respon getaran [3]. Pada aplikasinya TLCD dipasang pada lantai atas struktur bangunan bertingkat dan bisa digunakan sebagai kolam renang di atas atap bangunan.

Pada penelitian ini, TLCD menggunakan wadah kolom bentuk V dengan penampang bervariasi sebagai wadah fluida cair digunakan untuk mengurangi getaran struktur ruang yang memiliki modus getar dominan pada dua buah bidang yaitu pada bidang x-z dan bidang y-z. Kaji eksperimental dilakukan untuk melihat efektivitas dari peredam dinamik TLCD pada struktur ruang dua lantai. Model struktur yang digunakan memiliki modus getar yang dominan pada dua bidang yaitu pada bidang x-z dan bidang y-z, dimana menggunakan 2 buah TLCD yang dipasang pada bagian atas struktur ruang. Kondisi optimum dari kinerja peredam dinamik yang digunakan diperoleh dengan memvariasikan volume air pada TLCD.

Adapun tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan kondisi kerja yang optimum dari peredam dinamik TLCD berbentuk V dengan penampang bervariasi pada struktur ruang dengan cara memvariasikan volume air pada TLCD. TLCD yang digunakan dalam penelitian ini merupakan TLCD berbentuk V dengan penampang bervariasi dan jenis fluida cair yang digunakan pada TLCD adalah air. Peredam dinamik yang dirancang

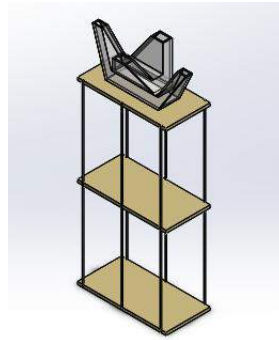
hanya untuk mengurangi getaran pada modulus bending pertama struktur pada bidang x-z dan bidang y-z, dengan sistem getaran bersifat linear.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem 2 DOF dengan *Tuned Liquid Column Damper (TLCD)*

Tuned Liquid Column Damper (TLCD) merupakan salah satu jenis peredam getaran dinamik berbentuk V dengan penampang bervariasi yang berisi fluida cair. Prinsip kerja TLCD yaitu dengan menyerap sebagian energi getaran dari struktur sehingga getaran yang terjadi pada struktur utama akan berkurang.

Pada penelitian ini, struktur ruang dua lantai dirancang memiliki dua modulus getar bending pertama yang dominan dalam bidang (x-z) dan (y-z). Peredam dinamik yang dirancang memiliki frekuensi pribadi yang sama dengan kedua frekuensi pribadi modulus getar bending pertama dari struktur uji sehingga TLCD dapat meredam getaran pada kedua frekuensi pribadi struktur tersebut. Model struktur ruang dua lantai dan TLCD dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 2 Struktur Ruang Dua Lantai dengan TLCD

Untuk mendapatkan persamaan gerak dari struktur dengan TLCD, struktur dibuat dengan model menggunakan sistem getaran dua derajat kebebasan. Persamaan gerak struktur dengan TLCD diperoleh dengan mendefinisikan semua gaya yang bekerja pada struktur. Pada Gambar 2 diperlihatkan gaya interaksi antara struktur dan TLCD, gaya reaksi dari TLCD yang bekerja di lantai atas struktur dihitung dari kekekalan momentum massa cairan m_f di dalam TLCD. Bagian horizontal dari gaya reaksi [5] dinyatakan dengan:

$$F_{x1} = m_f (\ddot{x}_0 + \ddot{x}_2 + \kappa \dot{u}) \quad (1)$$

Dimana

$$m_f = \rho(2HA_H + BA_B) = \rho A_H L_{eff}, \quad \kappa = \frac{B + 2H \cos \beta}{L_{eff}} \quad (2)$$

Persamaan untuk gerak fluida dalam TLCD [5] adalah :

$$\ddot{u} + 2\zeta_A \omega_a \dot{u} + \omega_a^2 u = -\kappa(\ddot{x}_0 + \ddot{x}_2) \quad (3)$$

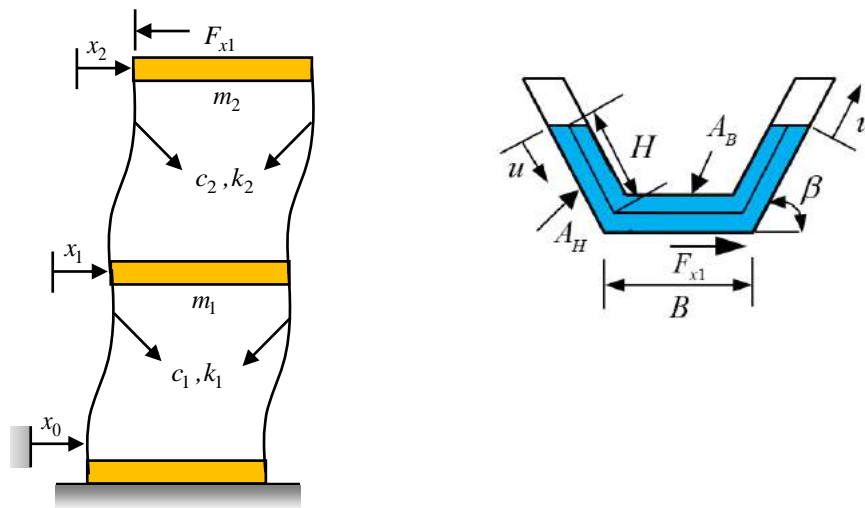
Dimana

$$L_{eff} = 2H + \frac{A_H}{A_B} B, \quad \zeta_A = \frac{4U_0 \delta_L}{3\pi} \quad (4)$$

Pada persamaan (3), u, \dot{u}, \ddot{u} menyatakan simpangan, kecepatan dan percepatan fluida, sedangkan κ dan δ_L adalah faktor geometri dan koefisien rugi aliran fluida. Pada persamaan (4) L_{eff}, H, B merupakan panjang efektif dari fluida dalam TLCD, panjang vertikal dan panjang horizontal fluida pada TLCD.

Frekuensi pribadi dari TLCD dapat dihitung dengan rumus [5]:

$$\omega_a = \sqrt{\frac{2g \sin \beta}{L_{eff}}} \quad (5)$$



Gambar 3 Diagram Benda Bebas dari Struktur Dua Derajat Kebebasan dengan TLCD
 Pada Gambar 2 persamaan diferensial struktur dengan TLCD dapat dihitung dengan:

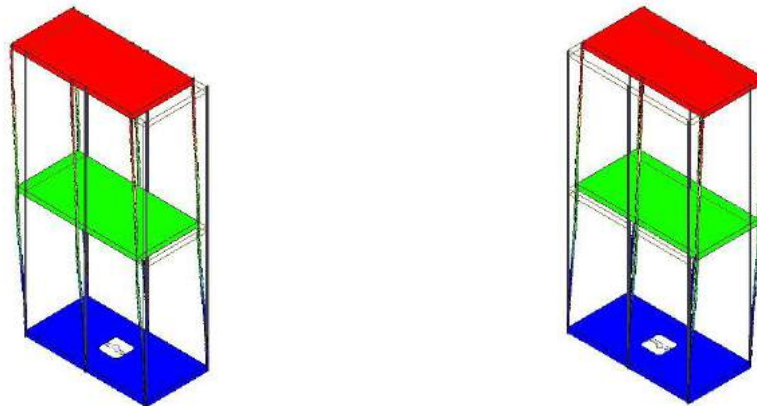
$$\begin{aligned}
 m_1(\ddot{x}_0 + \ddot{x}_1) + c_1\dot{x}_1 + k_1x_1 + c_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_2(x_1 - x_2) &= 0 \\
 m_2(\ddot{x}_0 + \ddot{x}_2) - c_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_2(x_1 - x_2) + F_{x1} &= 0
 \end{aligned} \tag{6}$$

Dengan menggabungkan Persamaan (1) - (6), maka persamaan gerak struktur dengan TLCD dinyatakan dalam bentuk matriks sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 + m_f & m_f \bar{k} \\ 0 & \kappa & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{u} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & 2\zeta_A \omega_A \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{u} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 & 0 \\ 0 & 0 & \omega_A^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ u \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} m_1 \\ m_2 + m_f \\ k \end{Bmatrix} \ddot{x}_0 \tag{7}$$

Perancangan peredam dinamik. Pada penelitian ini, struktur uji terdiri dari model bangunan dua lantai skala laboratorium yang dirancang memiliki dua buah modus getar yang dominan, yaitu modus bending pertama pada bidang x-z dan modus bending pertama pada bidang y-z, modus getar dari struktur uji diperoleh dari simulasi menggunakan *software* Ansys. Hasil simulasi modus getar bending pertama bidang x-z dan y-z pada struktur uji dapat dilihat pada Gambar 5.



a. Modus getar bending 1 dalam arah x
($f_1 = 1.56$ Hz)

b. Modus getar bending 1 dalam arah y
($f_1 = 2.58$ Hz)

Gambar 4 Bentuk Modus Getar Bending Pertama pada Struktur Uji

Selanjutnya dirancang peredam dinamik yang memiliki frekuensi pribadi yang sama dengan kedua frekuensi pribadi modus bending pertama dari struktur uji. Peredam dinamik yang dirancang yaitu TLCD berbentuk V dengan penampang bervariasi yang diletakkan searah sumbu x dan y pada lantai paling atas dari struktur. Dalam hal ini, TLCD yang digunakan berjumlah dua buah yang masing-masingnya dirancang memiliki frekuensi pribadi yang sama dengan frekuensi pribadi pada kedua modus bending pertama dari struktur. TLCD yang dirancang ini dapat meredam getaran pada kedua frekuensi pribadi struktur tersebut.

Struktur bangunan 2 lantai terdiri dari bagian lantai dan bagian rangka. Bagian lantai terbuat dari pelat kuningan dengan massa 2,1 kg dan bagian rangka terbuat dari pelat aluminium dengan dimensi 2 mm x 3 mm x 500 mm. Dalam perancangan TLCD, frekuensi pribadi TLCD dihitung berdasarkan parameter panjang efektif dari TLCD (L_{eff}) yang didapat dengan perhitungan berikut :

$$f_1 = 1.5 \text{ Hz}, \quad \omega_a = \sqrt{\frac{2g \sin \beta}{L_{eff}}}$$

$$\omega_{n1} = \omega_a \rightarrow 2\pi f_1 = \sqrt{\frac{2g \sin \beta}{L_{eff}}}$$

$$2\pi (1.5 \text{ Hz}) = \sqrt{\frac{2g \sin 60}{L_{eff}}} \quad L_{eff} = 191 \text{ mm}$$

$$f_2 = 2.5 \text{ Hz}, \quad \omega_a = \sqrt{\frac{2g \sin \beta}{L_{eff}}}$$

$$\omega_{n2} = \omega_a \rightarrow 2\pi f_2 = \sqrt{\frac{2g \sin \beta}{L_{eff}}}$$

$$2\pi (2.5 \text{ Hz}) = \sqrt{\frac{2g \sin 60}{L_{eff}}} \quad L_{eff} = 68.9 \text{ mm}$$

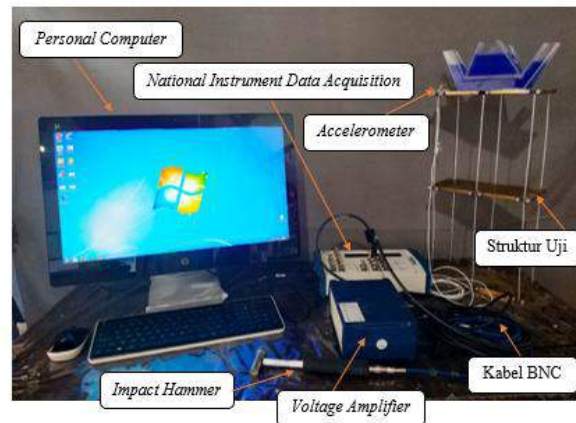
Dari perhitungan di atas diperoleh panjang efektif TLCD (L_{eff}) adalah 191 mm dan 68.9 mm untuk menghasilkan frekuensi pribadi yang sama dengan frekuensi pribadi pada kedua modus bending pertama struktur, yaitu sebesar $f_1 = 2.5 \text{ Hz}$ dan $f_2 = 1.5 \text{ Hz}$. Peredam dinamik berupa TLCD dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5 Peredam Dinamik

Eksperimen. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan kondisi kerja yang optimum dari penggunaan peredam dinamik TLCD. Data pengujian akan diperoleh berdasarkan faktor, respon, dan variabel pengujian. Faktor dalam pengujian adalah gaya gangguan yang diberikan pada struktur uji, sehingga akan diperoleh respon berupa FRF (Frequency Response Function), variabel pengujian adalah variasi volume air pada TLCD.

Konfigurasi dari peralatan yang digunakan dalam pengujian struktur ruang dua lantai dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6 Perangkat Pengujian

Percobaan dilakukan dengan memberikan gaya gangguan ke lantai atas struktur menggunakan *impact hammer*. *Accelerometer* akan membaca data respon getaran berupa percepatan struktur, sinyal dari *impact hammer* dan *accelerometer* diperkuat oleh *voltage amplifier*. Selanjutnya sinyal tersebut diolah oleh *National Instrument Data Acquisition*, data dikirim ke PC lalu dilakukan analisis sinyal getaran berdasarkan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) yang diolah untuk mendapatkan *Frequency Respon Function* (FRF).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Respon Frekuensi Struktur dengan Variasi Volume Air TLCD pada Bidang X-Z

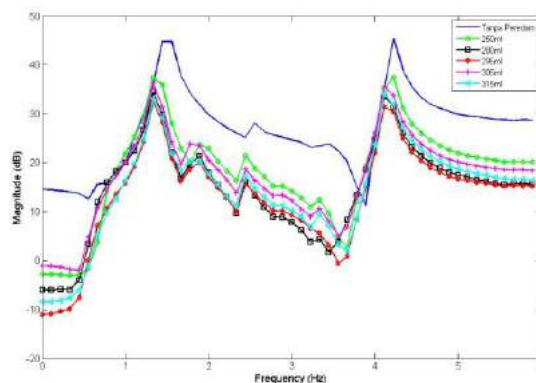
Pengujian respon frekuensi struktur dilakukan dengan memukul struktur menggunakan *impact hammer* pada lantai dua struktur dalam arah sumbu x dan sumbu y. Pengujian dilakukan dengan mem-variasikan volume air pada TLCD dalam bidang x-z, sedangkan TLCD bidang y-z tidak diisi air. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum dari beberapa variasi volume air pada TLCD. Dalam pengujian, variasi volume air ditentukan berdasarkan kenaikan H setiap 5 mm yang kemudian dikonversikan ke ml dengan nilai awal H adalah 10 mm. Variasi volume air pada TLCD bidang x-z dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2. Variasi volume air pada TLCD dalam bidang x-z

No.	Volume Air X-Z
1	250 ml
2	280 ml
3	295 ml
4	305 ml
5	315 ml

Hasil dari pengujian variasi volume air pada TLCD dalam bidang x-z dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan gambar tersebut terdapat dua buah puncak, puncak respon struktur dengan frekuensi 1.56 Hz merupakan modulus bending pertama struktur dan puncak respon struktur dengan frekuensi 4.22 Hz merupakan modulus bending kedua struktur. Dalam penelitian ini peredam dinamik yang dirancang hanya untuk mengurangi getaran pada modulus bending pertama struktur.

Dari Gambar 6 dapat diketahui perubahan respon struktur pada struktur ruang dua lantai dengan atau tanpa redaman pada frekuensi pribadi modulus bending pertama struktur. Struktur tanpa redaman memiliki nilai puncak respon struktur yang lebih besar dari pada struktur dengan redaman. Struktur dengan redaman membentuk dua buah puncak respon struktur karena sebagian energi getaran yang terjadi pada struktur diserap oleh peredam dinamik, sehingga amplitudo getaran struktur menurun. Dapat diketahui bahwa struktur dengan redaman pada volume air TLCD sebesar 295 ml membentuk dua puncak respon dengan nilai puncak respon terendah diantara variasi volume air lainnya, yaitu sebesar 32.53 dB dan 20.09 dB. Sedangkan pada struktur tanpa redaman memiliki nilai puncak respon sebesar 44.74 dB, sehingga dapat disimpulkan bahwa peredam dengan volume air 295 ml merupakan kondisi optimum dari penggunaan peredam dinamik karena paling baik dalam meredam getaran.



Gambar 7 Respon Frekuensi Struktur dengan Variasi Volume Air TLCD pada Bidang x-z

Pada Gambar 8 diperoleh unjuk kerja dari variasi volume air TLCD dalam meredam respon getaran, unjuk kerja dari variasi volume air pada TLCD dapat dilihat Tabel 2. Pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa saat volume air 295 ml dapat meredam getaran sebesar 27.29 %, sehingga dapat disimpulkan pada volume air 295 ml paling baik dalam meredam getaran di antara volume air lainnya.

Tabel 3. Unjuk kerja dari volume air pada TLCD bidang x-z

No.	Volume Air X-Z	Unjuk Kerja
-----	----------------	-------------

		TLCD
1	250 ml	16.65 %
2	280 ml	22.91 %
3	295 ml	27.29 %
4	305 ml	18.78 %
5	315 ml	26.04 %

3.2 Respon Frekuensi Struktur dengan Variasi Volume Air TLC D pada Bidang Y-Z

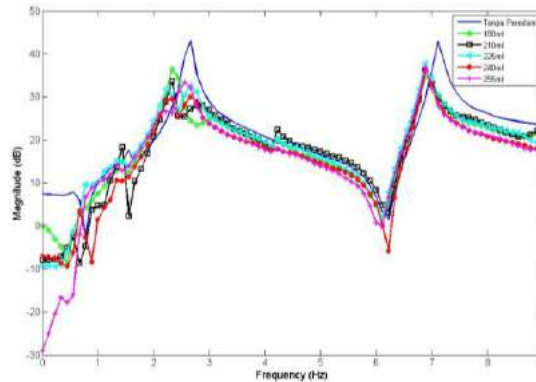
Pengujian respon frekuensi struktur dilakukan dengan memukul struktur menggunakan *impact hammer* pada lantai dua struktur dalam arah sumbu x dan arah sumbu y. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan volume air pada TLC D dalam bidang y-z, sedangkan TLC D bidang x-z tidak diisi air, pengujian dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum dari beberapa variasi volume air pada TLC D. Dalam pengujian, variasi volume air ditentukan berdasarkan kenaikan H setiap 5 mm yang kemudian dikonversikan ke ml dengan nilai awal H adalah 10 mm. Variasi volume air pada TLC D bidang y-z dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 4. Variasi volume air pada TLC D dalam bidang y-z

No.	Volume Air X-Z
1	180 ml
2	210 ml
3	225 ml
4	240 ml
5	255 ml

Hasil dari pengujian variasi volume air pada TLC D dalam bidang x-z dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan gambar tersebut terdapat dua buah puncak, puncak respon struktur dengan frekuensi 2.58 Hz merupakan modulus bending pertama struktur dan puncak respon struktur dengan frekuensi 7.11 Hz merupakan modulus bending kedua struktur. Dalam penelitian ini peredam dinamik yang dirancang hanya untuk mengurangi getaran pada modulus bending pertama struktur.

Dari Gambar 7 dapat diketahui perubahan respon struktur pada struktur ruang dua lantai dengan atau tanpa redaman pada frekuensi pribadi modulus bending pertama struktur. Struktur tanpa redaman memiliki nilai puncak respon struktur yang lebih besar dari pada struktur dengan redaman. Struktur dengan redaman membentuk dua buah puncak respon struktur karena sebagian energi getaran yang terjadi pada struktur diserap oleh peredam dinamik, sehingga amplitudo getaran struktur menurun. Dapat diketahui bahwa struktur tanpa redaman memiliki puncak respon sebesar 43.1 dB, sedangkan struktur dengan redaman pada volume air TLC D sebesar 240 ml membentuk dua puncak respon dengan nilai puncak respon terendah di antara variasi volume air lainnya, yaitu sebesar 29.33 dB dan 30 dB. Sehingga dapat disimpulkan bahwa peredam dengan volume air 240 ml merupakan kondisi optimum dari penggunaan peredam dinamik karena paling baik dalam meredam getaran.



Gambar 8 Respon Frekuensi Struktur dengan Variasi Volume Air TLCD pada Bidang y-z

Pada Gambar 7 didapatkan unjuk kerja dari variasi volume air TLCD dalam meredam respon getaran, unjuk kerja dari variasi volume air pada TLCD dapat dilihat Tabel 4. Pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa saat volume air 240 ml dapat meredam getaran sebesar 30.39 %, sehingga dapat disimpulkan pada volume air 240 ml paling baik dalam meredam getaran diantara volume air lainnya.

Tabel 5. Unjuk kerja dari volume air TLCD bidang y-z

No.	Volume Air X-Z	Unjuk Kerja TLCD
1	180 ml	15.22 %
2	210 ml	22.32 %
3	225 ml	24.29 %
4	240 ml	30.39 %
5	255 ml	22.60 %

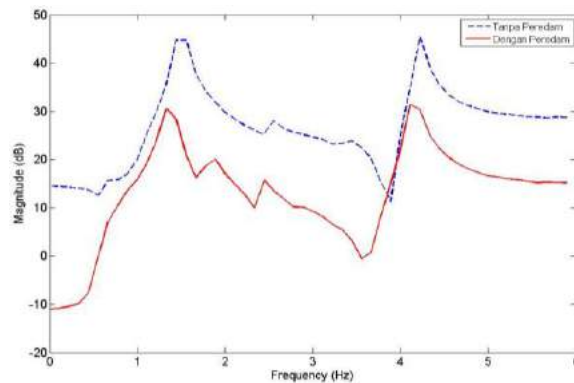
3.3 Respon Frekuensi Struktur dengan Kondisi Optimum TLCD pada Bidang X-Z dan Y-Z.

Setelah mendapatkan kondisi optimum dari volume air TLCD pada bidang x-z dan bidang y-z, selanjutnya dilakukan pengujian dengan kondisi optimum dari kedua TLCD. Pengujian yang dilakukan sama dengan pengujian sebelumnya, yaitu dengan memukul struktur menggunakan *impact hammer* pada lantai dua struktur dalam arah sumbu x dan arah sumbu y.

Hasil pengujian dengan kedua kondisi optimum TLCD pada bidang x-z dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan gambar tersebut terdapat dua buah puncak, puncak respon struktur dengan frekuensi 1.56 Hz merupakan modulus bending pertama struktur dan puncak respon struktur dengan frekuensi 4.22 Hz merupakan modulus bending kedua struktur. Dalam penelitian ini peredam dinamik yang dirancang hanya untuk mengurangi getaran pada modulus bending pertama struktur.

Dari Gambar 8 dapat diketahui perubahan respon struktur pada struktur ruang dua lantai dengan atau tanpa redaman pada frekuensi pribadi modulus bending pertama struktur. Struktur tanpa redaman memiliki nilai puncak respon struktur yang lebih besar dari pada

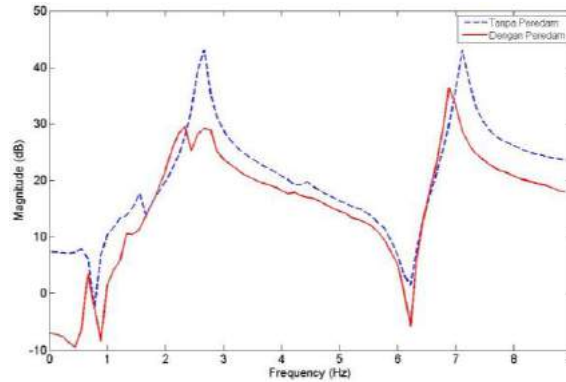
struktur dengan redaman. Struktur dengan redaman membentuk dua buah puncak respon struktur karena sebagian energi getaran yang terjadi pada struktur diserap oleh peredam dinamik, sehingga amplitudo getaran struktur menurun. Dapat diketahui struktur tanpa redaman memiliki puncak respon struktur sebesar 44.74 dB, sedangkan struktur dengan kedua kondisi optimum TLCD memiliki nilai puncak respon sebesar 30.58 dB dan 20.09 dB. Sehingga dapat disimpulkan pada kondisi ini TLCD dapat meredam getaran sebesar 31.65 %.



Gambar 9 Respon Frekuensi Struktur dengan Kondisi Optimum TLCD pada Bidang x-z

Hasil pengujian dengan kedua kondisi optimum TLCD pada bidang y-z dapat dilihat pada Gambar 9. Berdasarkan gambar tersebut terdapat dua buah puncak, puncak respon struktur dengan frekuensi 2.58 Hz merupakan modus bending pertama struktur dan puncak respon struktur dengan frekuensi 7.11 Hz merupakan modus bending kedua struktur. Dalam penelitian ini peredam dinamik yang dirancang hanya untuk mengurangi getaran pada modus bending pertama struktur.

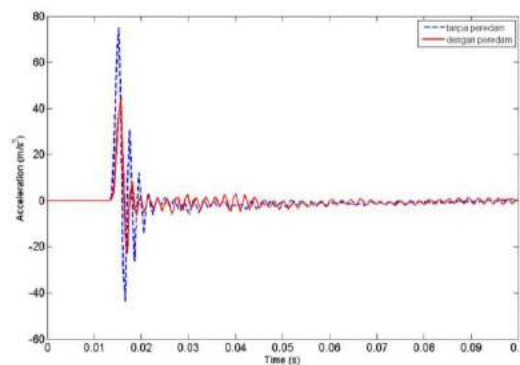
Dari gambar 9 dapat diketahui perubahan respon struktur pada struktur ruang dua lantai dengan atau tanpa redaman pada frekuensi pribadi modus bending pertama struktur. Struktur tanpa redaman memiliki nilai puncak respon struktur yang lebih besar dari pada struktur dengan redaman. Struktur dengan redaman membentuk dua buah puncak respon struktur karena sebagian energi getaran yang terjadi pada struktur diserap oleh peredam dinamik, sehingga amplitudo getaran struktur menurun. Dapat diketahui struktur tanpa redaman memiliki puncak respon struktur sebesar 43.1 dB, sedangkan struktur dengan kedua kondisi optimum TLCD memiliki nilai puncak respon sebesar 29.43 dB dan 29.17 dB. Sehingga dapat disimpulkan pada kondisi ini TLCD dapat meredam getaran sebesar 31.72 %.



Gambar 10 Respon Frekuensi Struktur dengan Kondisi Optimum TLCD pada Bidang y-z

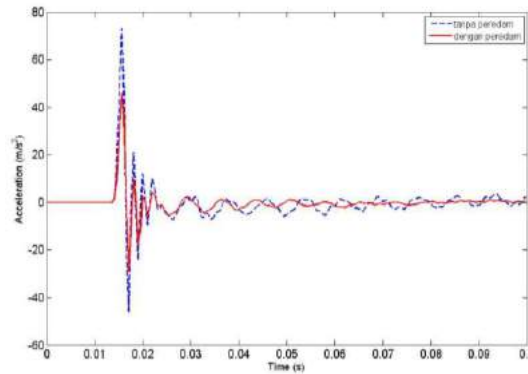
3.4 Respon Dinamik Struktur terhadap Waktu

Setelah mendapatkan kondisi optimum dari volume air TLCD pada bidang x-z dan bidang y-z, selanjutnya dilakukan pengujian untuk mendapatkan respon dinamik struktur terhadap waktu. Pengujian dilakukan dengan memberikan getaran bebas pada struktur yaitu dengan memberikan simpangan awal pada struktur sebesar 1 cm. Pada Gambar 10 diperlihatkan respon dinamik struktur terhadap waktu tanpa peredam dan dengan peredam kondisi optimum pada bidang x-z. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa struktur tanpa peredam memiliki respon dinamik yang lebih besar dari pada struktur dengan peredam kondisi optimum.



Gambar 11 Respon Dinamik Struktur terhadap Waktu pada Bidang x-z

Hasil pengujian respon dinamik struktur terhadap waktu pada bidang y-z dapat dilihat pada Gambar 11, dari gambar tersebut dapat dilihat perubahan respon struktur tanpa peredam dan dengan peredam kondisi optimum. Dapat diketahui struktur tanpa peredam memiliki puncak respon struktur yang lebih besar dari pada struktur dengan peredam. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan peredam dinamik dapat mengurangi respon getaran yang diterima struktur, yang dapat dilihat dengan berkurangnya puncak respon struktur setelah menggunakan peredam dinamik.



Gambar 12 Respon Dinamik Struktur terhadap Waktu pada Bidang y-z

4. KESIMPULAN

Telah didapatkan kondisi optimum volume air TLCD dalam mereduksi getaran pada frekuensi pribadi modus bending pertama dari struktur uji. Untuk getaran pada bidang x-z, volume air TLCD 295 ml merupakan kondisi optimum dari peredam dinamik yang dapat meredam respon getaran sebesar 31.65 % pada bidang x-z dibanding volume air 250 ml, 280 ml, 305 ml dan 320 ml. Untuk getaran pada bidang y-z, volume air TLCD 240 ml merupakan kondisi optimum dari peredam dinamik yang mengurangi respon getaran sebesar 31.72 % dibanding 180 ml, 210 ml, 225 ml dan 260 ml.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bur, M., 2016. *Dasar-Dasar Getaran Mekanik*. Padang: 2016.
- Son, L., Bur, M., & Rusli, M., 2016. *Design of Double Dynamic Vibration Absorbers for Reduction of Two DOF System*. Struct. Eng. and Mech., 57(1), pp. 161-178.
- Husein, A., 2017. *Kaji Eksperimental Pengaruh Sudut Wadah TLCD terhadap Respon Struktur yang Menggunakan Peredam Dinamik*. Padang: Andalas University.
- ‘Aini, Y., 2017. *Experimental Evaluation of Tuned Liquid Column Damper and Tubed Mass Damper For Reducing The Seismic Response of Vibration*. Padang: Andalas University.
- Son, L., Husein, A., & Bur, M., 2018. *The Influence of TLCD Junction Angle on The Structure Response with TLCD*.
- Kusuma, F., 2017. *Penentuan Posisi Retak Plat 2 Dimensi Melalui Analisis Kurva Modus Getar*. Padang: Andalas University.
- Marshal., 2017. *Evaluation of TLCD Damping Factor Using FRF Measurement due to Variation of Orifice Blocking Ratio*. Padang: Andalas University.
- Son, L., Marshal, & Bur, M., 2018. *Empirical Evaluation of Variation of Orifice Blocking Ratio in a Tuned Liquid Column Damper Using Frequency Response Function Measurement*. International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology, vol.8(2), pp.489-494.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas yang telah membantu dalam penyelesaian penulisan jurnal ini.

ANALISIS KAPASITAS GIRDER PCU (PRESTRESSED CONCRETE TYPE U) PADA JEMBATAN GUNUNG NAGO KECAMATAN PAUH KOTA PADANG SUMATERA BARAT

Desi Fitria¹, Mukhlis², Andi Syukri³

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: fitriadesi96@gmail.com

²Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: palito_alam@yahoo.com

³Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: andisyukri@pnp.ac.id

ABSTRACT

Analysis on the bridge at Gunung Nago, District Pauh, Padang City, West Sumatera using a cross section of PCU (Prestressed Concrete Type U) girder. Calculated analysis is section analysis, moment capacity, moment flexural, loss of prestress, and stress analysis. The purpose of this analysis is to determine the span combination that will be used on the bridge. The analytical methods used AAHSTO 2012 standars, SNI 1725: 2016, SNI T-12-2004. Analysis of the external load moment, moment capacity, and moment flexural span combination is span 25 meters high 1,4 meters, anda span 40 meters high 1,85 meters. After that analys loss of prestressed and cross-section stress to determine the feasibility of the girders. From analysis obtained the stress in cross section didn't satisfy the allowed stress at bottom flange and top flange, so the conclusion is the girder can't be used at Gunung Nago Bridge.

Keywords : Bridges Prestressed PCU Girder

ABSTRAK

Analisis dilakukan pada jembatan Gunung Nago, Kecamatan Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat dengan menggunakan penampang *girder PCU (Prestressed Concrete Type U)*. Analisis yang dilakukan adalah, analisis penampang girder, analisis momen kapasitas, momen lentur, analisis kehilangan gaya prategang, dan analisis tegangan. Tujuan dari analisis ini untuk mengetahui kombinasi bentang yang akan digunakan pada jembatan tersebut. Metode analisis menggunakan standar AASHTO 2012, SNI 1725:2016, dan SNI T-12-2004. Berdasarkan analisis momen beban luar, momen kapasitas penampang, dan momen lentur didapatkan kombinasi bentang, yaitu bentang 25 meter tinggi 1,4 meter, dan bentang 40 meter tinggi 1,85 meter. Setelah itu, dianalisis kehilangan gaya prategang dan tegangan penampang untuk menentukan kelayakan dari *girder*. Sehingga dari analisis tegangan penampangnya tidak memenuhi batas izin serat bawah dan serat atas *girder*, maka girder tersebut tidak dapat digunakan pada Jembatan Gunung Nago.

Kata kunci: Jembatan, *Prestressed PCU Girder*

1. PENDAHULUAN

Analisis *PCU girder* yang akan dilakukan adalah analisis penampang girder, analisis momen kapasitas penampang, analisis kehilangan gaya prategang, dan analisis tegangan pada *girder* tersebut. Analisis penampang *girder* serta momen kapasitas penampang yang akan dihubungkan dengan momen beban luar berdasarkan pabrikasi dari PT. Wijaya Karya Beton, Tbk dari *Brochure The Precast Concrete Manufactory* (Januari, 2017). Untuk menentukan bentang yang akan dikombinasikan berdasarkan panjang bentang jembatan yang ditinjau. Setelah itu, dilakukan analisis kehilangan prategang berdasarkan AASHTO 2012, dan analisis tegangan pada *girder* tersebut untuk mengetahui tegangan izin serat atas dan serat bawah penampang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan PCU Girder

Jembatan *girder PCU (Prestressed Concrete Type U)* bagian dari jembatan beton prategang. *PCU girder* merupakan modifikasi *box girder* dengan bentuk dan ukuran yang lebih kecil. Jika dibandingkan dengan *PCI girder* yang langsing, *PCU girder* memiliki badan yang lebih lebar namun pada bagian tengah bentang penampangnya langsing. (Mansul, 2009)

2.2 Pembebanan

Beban yang bekerja pada jembatan ditung berdasarkan SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Jembatan. Beban yang bekerja dihitung adalah beban permanen dan beban aksi lingkungan. Beban permanen terdiri berat sendiri, beban mati tambahan, beban lajur D, beban truk, gaya rem, dan pejalan kaki. Sedangkan beban aksi lingkungan terdiri dari beban angin dan beban gempa.

2.3 Material Beton Prategang

2.3.1 Beton

Seperti telah diketahui bahwa beton adalah campuran dari semen, agregat kasar (split), agregat halus (pasir), air, dan bahan tambahan yang lain. Perbandingan berat campuran beton pada umumnya semen 18%, agregat kasar 44%, agregat halus 31%, dan air 7%. Kuat tekan karakteristik adalah tegangan yang melampaui 95% dari pengukuran kuat tekan uniaksial yang diambil dari tes penekanan contoh (sample) beton dengan ukuran kubus 150×150 mm atau silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. (Soetoyo, 2002)

2.3.2 Baja Prategang

Didalam praktek baja prategang (tendon) yang dipergunakan ada 3 (tiga) macam, yaitu: (Soetoyo, 2002)

1. Kawat tunggal (*wire*)

Kawat tunggal ini biasanya dipergunakan dalam beton prategang dengan sistem pra-tarik (*pretension method*).

2. Untaian kawat (*strand*)

Untaian kawat biasanya dipergunakan dalam beton prategang dengan sistem pasca-tarik (*post-tension*).

3. Kawat batangan (*bar*)

Kawat batangan ini biasanya dipergunakan untuk beton prategang dengan sistem pra-tarik (*pretension*).

2.4 Analisis Penampang PCU Girder

Analisis penampang girder meliputi analisis sebelum girder komposit, yaitu sebagai berikut:

1. Titik berat penampang beton (\bar{y})

$$\bar{y} = \frac{\sum A \times \bar{y}_i}{\sum A}$$

2. Inersia bagian penampang (I_{xi})

$$I_{xi} = \frac{1}{12} bh^3 \text{ (untuk bagian balok)}$$

$$I_{xi} = \frac{1}{36} bh^3 \text{ (untuk bagian segitiga), maka inersia gabungan adalah:}$$

$$I_x = \sum I_{xi} + A(y_i - \bar{y})^2$$

2.5 Analisis Kapasitas Penampang (Mn)

Menentukan nilai momen nominal (Mn) berdasarkan AASHTO 2012 5.7.3.2.2-1, sebagai berikut:

$$Mn = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s f_y \left(d_s - \frac{a}{2} \right) - A_s' f_y \left(d_s' - \frac{a}{2} \right) + 0,85 f'c (b - b_w) h_f \left(\frac{a}{2} - \frac{h_f}{2} \right)$$

2.6 Analisis Momen Lentur

Analisis momen lentur berdasarkan variasi dari SNI 1725:2016 pasal 8.3.2, untuk mengetahui nilai maksimum dari variasi dalam satu model kombinasi bentang rencana.

2.7 Analisis Kehilangan Gaya Prategang

2.7.1 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Friksi (Gesekan)

Kehilangan karena friksi antara tendon prategang *internal* dan dinding saluran dapat dihitung dengan persamaan AASHTO 2012 (5.9.5.2.2b-1):

$$\Delta f_{pF} = f_{pj}(1 - e^{-(Kx + \mu\alpha)})$$

2.7.2 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Pengangkuran

Jika Δ_A adalah besar gelincir, L adalah panjang tendon, dan E_{PS} adalah modulus kawat prategang, maka kehilangan prategang akibat gelincir angker menjadi:

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta_A}{L} E_{PS}$$

2.7.3 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis

Kehilangan karena perpendekan elastis dengan *post-tensioned* dapat dihitung dengan persamaan AASHTO 2012 (5.9.5.2.3b-1):

$$\Delta f_{pES} = \frac{N-1}{2N} \frac{E_p}{E_{ci}} f_{cgp}$$

2.7.4 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Relaksasi, Creep, dan Susut

Nilai tegangan baja prategang karena kehilangan waktu (*time-dependent*), Δf_{pLT} harus ditentukan sebagai berikut AASHTO (5.9.5.4.1-1):

$$\Delta f_{pLT} = (\Delta f_{pSR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pR1})id + (\Delta f_{pSD} + \Delta f_{pCD} + \Delta f_{pR2} - \Delta f_{pSS})df$$

2.8 Analisis Tegangan

Analisis tegangan penampang dilakukan pada girder non komposit, yaitu sebagai berikut:

1. Tegangan pada Saat Transfer

$$\sigma_t = -\frac{P_i}{A} + \frac{P_i e y_t}{I} - \frac{M y_t}{I} < f_{ti}$$

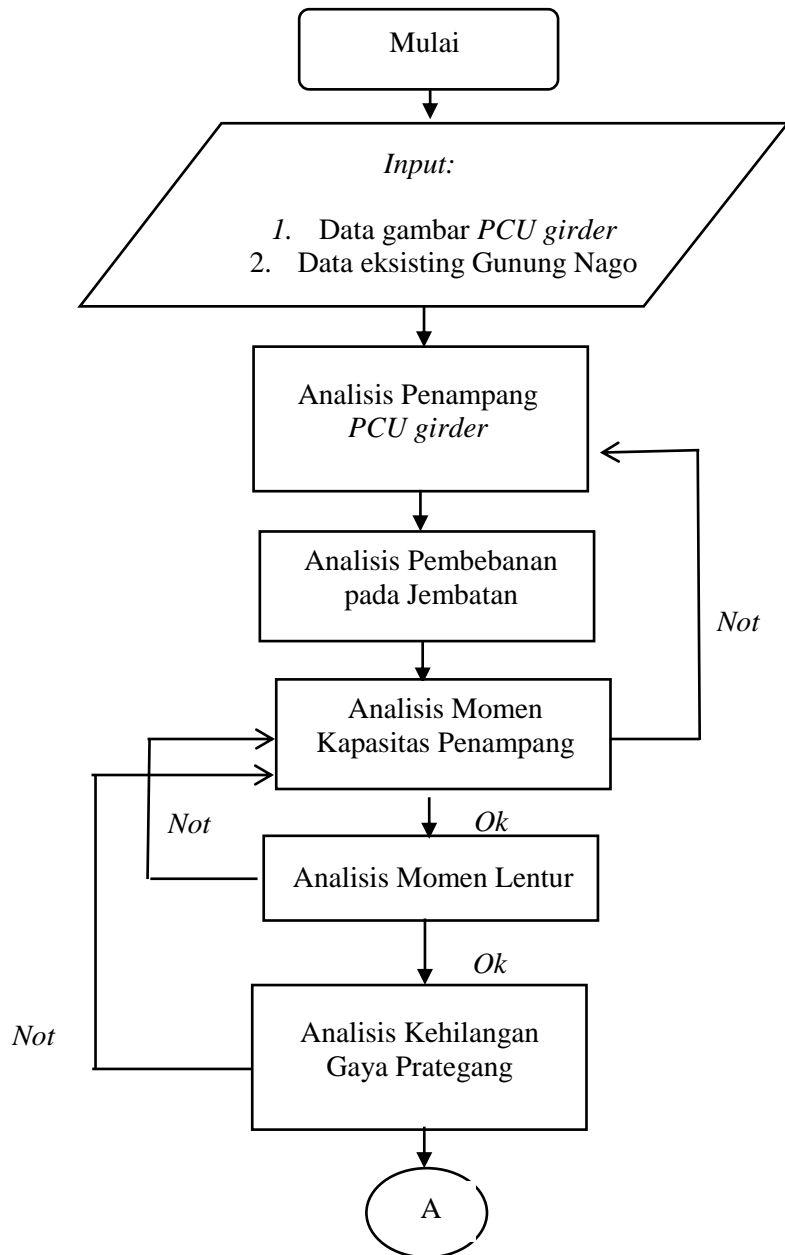
$$\sigma_b = -\frac{P_i}{A} - \frac{P_i e y_b}{I} + \frac{M y_b}{I} < f_{ci}$$

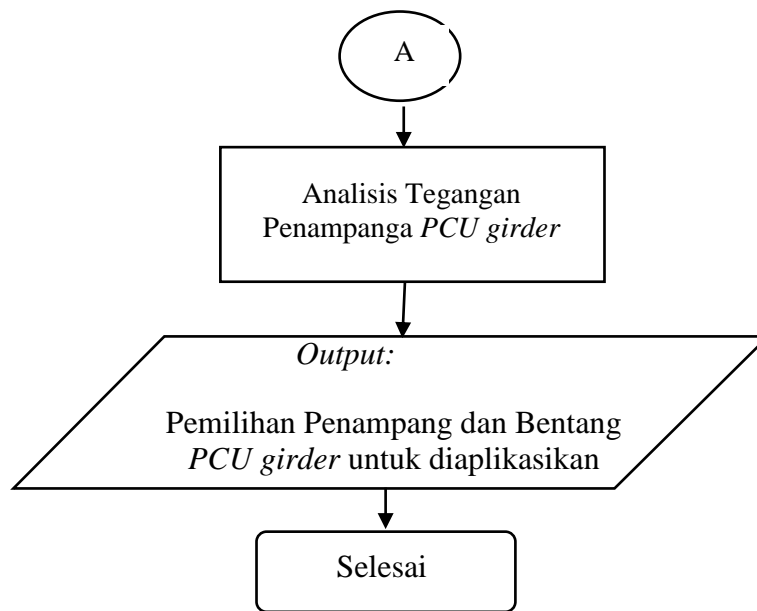
2. Tegangan pada Saat Service

$$\sigma_t = -\frac{P_e}{A} + \frac{P_e e y_t}{I} - \frac{M y_t}{I} < f_c$$

$$\sigma_b = -\frac{P_e}{A} - \frac{P_e e y_b}{I} + \frac{M y_b}{I} \leq f_t$$

3. METODOLOGI PENELITIAN





4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Penampang

Analisis penampang dilakukan pada penampang *non* komposit terhadap penampang *PCU girder* dari pabrikasi PT. Wijaya Karya Beton, Tbk. Analisis penampang untuk mengetahui nilai luas, inersia, dan titik berat penampang.

Tabel 4.1 Tabulasi Perhitungan Propertis Penampang

Tinggi (meter)	Luas (cm ²)	Inersia (cm ⁴)	y_{tob} (cm)	y_{btm} (cm)
1,2	9356	12685599,255	64,0191	55,9809
1,4	10516	19700786,906	74,6066	65,3934
1,65	12236	31582249,489	87,6584	77,3416
1,85	13396	43691328,234	98,2224	86,7776

4.2 Analisisi Pembebanan

Beban yang bekerja beban yang terdiri dari beban permanen dan beban aksi lingkungan dengan kombinasi beban untuk menentukan nilai maksimum momen setiap bentang.

4.3 Analisisi Kapasitas Penampang (Mn)

Pada analisis ini dapat menentukan nilai momen kapasitas berdasarkan tinggi penampang *PCU girder*. Nilai momen kapasitas akan dihubungkan dengan momen beban luar dalam bentuk grafik untuk menentukan bentang dan tinggi *girder* yang dapat

dikombinasikan. Sehingga dapat menentukan beberapa model kombinasi bentang rencana.

4.4 Analisis Momen Lentur

Analisis momen lentur pada kombinasi bentang yang direncanakan dengan berbagai variasi terdapat pada sub bab 2.7, contoh perhitungan momen lentur kombinasi bentang pada model 1, yaitu bentang 1 panjang 25 meter tinggi 1,4 meter, bentang 2 panjang 40 meter tinggi 1,85 meter, dan bentang 3 panjang 25 meter tinggi 1,4 meter. Perhitungan kombinasi bentang tersebut diambil nilai momen yang maksimum setiap pemodelan. Sehingga didapat kombinasi bentang, yaitu model 1.

4.5 Analisis Kehilangan Gaya Prategang

Perhitungan kehilangan gaya prategang, yaitu kehilangan akibat *friksi*, kehilangan akibat pengankuran, kehilangan akibat elastis, kehilangan akibat susur, kehilangan akibat *creep*, dan kehilangan akibat relaksasi. Analisis kehilangan gaya prategang dianalisis pada bentang yang sudah terpilih untuk kombinasi bentang pada jembatan.

4.6 Analisis Tegangan Penampang

Analisis tegangan untuk menuntukan nilai batas atas dan batas bawah penampang *PCU girder* dengan batas izin sesuai dengan SNI T-12-2004.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis tugas akhir dengan judul “Analisis Kapasitas *Girder PCU (Prestressed Concrete Type U)* pada Jembatan Gunung Nago Kecamatan Pauh Kota Padang Sumatera Barat”, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Jembatan Gunung Nago memiliki panjang bentang 90 meter.
2. Penampang *PCU girder* berdasarkan dari pabrikasi dari PT. Wijaya Karya Beton, Tbk.
3. Pembebanan pada struktur jembatan Gunung Nago menggunakan SNI 1725:2016 dengan kombinasi dari Kuat 1 sampai Layan 4, dengan beban berupa:
 - a. Beban permanen yang terdiri berat sendiri, beban mati tambahan, beban lajur D, beban *truck*, gaya rem, dan pejalan kaki.
 - b. Beban aksi lingkungan meliputi beban angin, dan beban gempa.
4. Momen kapasitas penampang berdasarkan AASHTO 2012 untuk dihubungkan dengan beban luar dalam bentuk grafik. Pada grafik hubungan antara momen kapasitas penampang dan momen beban luar didapatkan bentang yang dapat digunakan pada pemodelan kombinasi bentang, yaitu:

- a. Model 1 : bentang 1 25 meter tinggi 1,4 meter, bentang 2 40 meter tinggi 1,85 meter, dan bentang 3 25 meter tinggi 1,4 meter.
 - b. Model 2 : bentang 1 25meter tinggi 1,65 meter, bentang 2 40 meter tinggi 1,85 meter, bentang 3 25 meter tinggi 1,65 meter.
5. Momen lentur berdasarkan SNI 1725:2016 dengan 3 varias menginput data pembebanan dan nilai momen maksimum dari rencana pemodelan yang sudah ditetapkan. Maka, model yang dapat diaplikasi pada jembatan Gunung Nago, yaitu model satu dengan bentang 1 25 meter tinggi 1,4 meter, bentang 2 bentang 40 meter tinggi 1,85 meter, bentang 3 25 meter tinggi 1,4 meter.
 6. Analisis kehilangan gaya prategang berdasarkan AASHTO 2012 dan AASHTO 2007, didapatkan hasil kehilangan prategang pada bentang 25 meter tinggi 1,4 adalah 92,688 Mpa atau 7,512%. Dan hasil perhitungan kehilangan gaya prategang bentang 40 meter tinggi 1,85 meter adalah 86,599 Mpa atau 6,913%. Maka berdasarkan syarat dari AASHTO 2012 kehilangan gaya prategang bentang dengan bentang tersebut *girder* layak atau sesuai dengan syarat yang ditetapkan.
 7. Analisis tegangan pada bentang 25 meter tinggi 1,4 meter dan bentang 40 meter tinggi 1,85 meter berdasarkan batasan izin serat atas dan serat bawah *girder* dengan bentang tersebut pada saat transfer memenuhi batas izin. Untuk tegangan saat service batas atas dan batas bawah tidak memenuhi. Maka penampang tersebut tidak dapat digunakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO LRFD.2012.Bridge Design Specification 6th Ed (US).
- AASHTO LRFD.2007.Bridge Design Spesificatin 4th Edition SI Units.
- Budiono, Bambang. 2012. SI 6122 Rekayasa Konstruksi Jembatan. Bandung:Institut Teknologi Bandung.
- Mansul, Cut Retno.2009.Analisa Prestress (Post-Tension) pada Precast Concrete U Girder “Studi Kasus pada Jembatan Flyover Amplas”.USU
- Manual Perencanaan Beton Prategang untuk Jembatan Bina Marga.1988.
- Nawy, Edward G.2001.Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar (terjemahan).Jakarta:Erlangga.
- Pratiwi, Annisa Oktavia, dan Dwi Intan Kurnniati.2018.Studi Penampang I Girder terhadap Kehilangan Gaya Prategang (Loss Of Prestres) pada Perencanaan Jembatan Gunung Nago, Kecamatan Pauh, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat.
- PT. Wijaya Karya Beton, Tbk.2017. Brochure The Precast Concrete Manufactory.

- Putra, Bastya Pratama.2017.Studi Perbandingan Penggunaan PCU Girder dan PCI Girder pada Struktur Atas Jembatan Jurang Gempal, Wonigiri.Jurnal Teknisia,Volume XXII, NO. 1.
- Rizkia, Selvia Rahma, dkk.2017.Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang Akibat Metode Stressing Satu Arah dan Dua Arah pada Jembatan Beton Prategang.JRSDD, Vol. 5, No. 3, Hal: 1-12.
- Rizki, Bestyanda, dkk.2017.Perencanaan Flyover Simpang Pelabuhan Panjang Bandar Lampung dengan PCU Gireder.Jurnal Karya Teknik Sipil, Vol. 6, No. 4, Hal: 109-118.
- SNI 1725-2016.Pembebanan Untuk Jembatan.Jakarta:Badan Standarsasi Nasional.
- SNI 2833-2016.Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa.Jakarta Badan Standarisasi Nasional.
- SNI T-12-2004.Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.Jakarta: Badan Standarsasi Nasional.
- Soetoyo.2002.Konstruksi Beton Pratekan.Surabaya:Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik InstitutTeknologi Sepuluh November.
- Tierra Armada Sustainable Technology.Publication:04/2012.

PERENCANAAN BOX GIRDER BAJA MELENGKUNG HORIZONTAL PADA MASA LAYAN MENGUNAKAN STANDAR AASHTO LRFD 2012

Zulfira Mirani, ST., MT.¹, Liliwarti, ST., MT.², Lukman Murdiansyah,
ST., MT.³, Mukhlis, ST., MT., Rahmad Hakiki⁴

5Mahasiswa Sarjana Terapan Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil,
Politeknik Negeri Padang, Padang. Email:
rahmadhakiki123@gmail.com

ABSTRACT

Horizontally curved composite steel tub-girder bridge is the kind of bridge that have box type girder with horizontally curved geometric that usually used for middle span bridge to upper span bridge, because of the shape of girder is box the girder have high torsion stiffness. The purpose of this writing is to be able to do modelling of horizontally curved composite steel tub-girder bridge using software Midas Civil, got to design horizontally curved composite steel tub-girder bridge at service state, then to get the dimension of cross section box girder that can hold all the load applied to the bridge based on used standard. The standard used to design is AASHTO LRFD 2012 and SNI 1725-2016 for the loading. Designing the horizontally curved composite steel tub-girder bridge for continou three-span with support span 42 m, middle span 55 m, and total length of bridge is 139 m, the depth of girder is 1900 mm with web thickness 20 mm, width of top flange is 500 mm and thickness 40 mm, and width of bottom flange is 2050 mm with thickness 60 mm. From the result of design obtained the ratio of occuring stress and allowed stress is at service state middle span bottom flange with occuring stress up to 92 %, but the dimension of bottom flange is till used because the occuring stress still haven't surpass the allowed stress.

Keywords : Horizontally curved composite steel tub-girder bridge, Midas Civil, AASHTO LRFD 2012, SNI 1725-2016.

ABSTRAK

Jembatan *box girder* baja melengkung merupakan jenis jembatan dengan girder jenis *box* dan geometrik melengkung secara horizontal yang biasanya digunakan untuk jembatan bentang menengah keatas, karena bentuk penampangnya yang berupa *box* memiliki kekakuan terhadap torsi yang tinggi. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk dapat melakukan permodelan jembatan *box girder* baja melengkung horizontal dengan menggunakan aplikasi *Midas Civil*, dapat melakukan perencanaan *box girder* baja melengkung horizontal pada masa layan jembatan, lalu mendapatkan dimensi penampang dari *box girder* baja melengkung horizontal yang mampu menahan efek kelengkungan dan beban-beban yang bekerja pada jembatan sesuai standar yang digunakan. Standar perencanaan yang digunakan adalah AASHTO LRFD 2012 dengan standar pembebanan SNI 1725-2016. Perencanaan jembatan *box girder* baja melengkung horizontal ini adalah berupa tiga bentang menerus dengan panjang bentang tepi 42 m, bentang tengah 55 m, dengan total panjang jembatan adalah 139 m didapatkanlah tinggi girder girder 1900 mm dengan ketebalan badan 20 mm, lebar sayap atas 500 mm ketebalan 40 mm, dan lebar sayap bawah 2050 mm ketebalan 60 mm. Dari hasil perencanaan ini didapatkan hasil perbandingan tegangan yang terjadi dengan tegangan izin pada sayap bawah bentang

tengah masa layan memiliki tegangan yang paling tinggi yaitu mencapai 92 %, akan tetapi dimensi yang dipakai tetap digunakan karena tegangan yang terjadi belum melampaui dari tegangan izin.

Kata kunci: Box girder baja melengkung horizontal, Midas Civil, AASHTO LRFD 2012, SNI 1725-2016

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan penghubung antara dua jalan yang dihalangi oleh rintangan seperti sungai, lembah, jalan raya dll. Seiring dengan berkembangnya zaman, jembatan tidak hanya berfungsi sebagai penghubung antar jalan saja, tetapi juga memiliki fungsi estetika yang membuat jembatan menjadi lebih indah untuk dipandang (*landmark*), oleh karena itu struktur suatu jembatan haruslah memiliki kekuatan yang baik yang dapat mendukung beban di atasnya hal ini haruslah sesuai dengan pertaruan yang ada, dan baik dari segi kekuatan, kekakuan dan juga kelayakan.

Gelagar/girder sebuah jembatan memiliki beberapa gaya yang akan mempengaruhinya pada saat atau setelah konstruksi berlangsung, salah satunya yaitu gaya torsi yang merupakan gaya yang akan memuntir dari gelagar itu sendiri, torsi pada jembatan box girder melengkung memiliki dua jenis torsi yaitu Torsi Saint-Venant, dan Torsi Warping, pada jembatan box girder yang lebih dominan adalah Torsi Saint-Venant karena.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Permodelan

Metode permodelan yang digunakan adalah metode *beam-truss* dimana *box girder* dimodelkan sebagai *beam* dan *external bracing* dimodelkan sebagai *truss*, Nie Jian-Guo & Li Zhu (2014) mengatakan, “Permodelan *beam-truss* dapat memprediksi secara akurat perilaku struktur dari jembatan *box-girder* komposit”.

Adapun tahapan pada saat permodelan ini, yaitu :

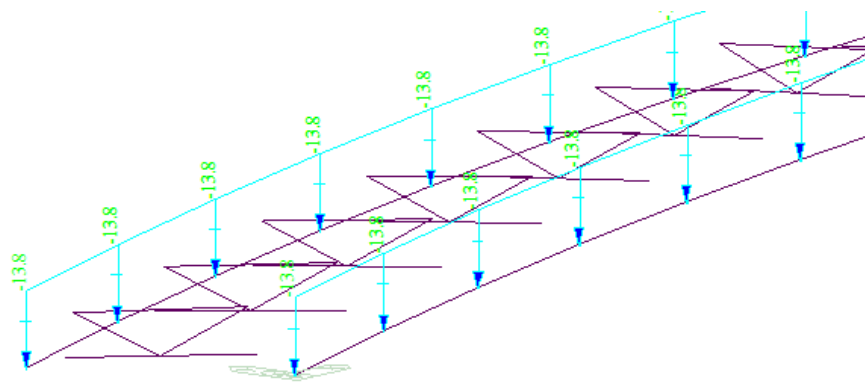
- Melakukan proses *Preliminary Design* untuk mendapatkan dimensi.
- Menggambar memasukan data penampang ke dalam aplikasi Midas Civil.
- Memasukan metrial dari penampang ke Midas Civil.
- Menggambar titik/*node* sebagai acuan untuk elemen garis dari girder.
- Menggambar elemen garis dari girder yang telah memiliki penampang.
- Menggambar *truss* elemen untuk diafragma dan hubungkan *truss* dengan menggunakan bantuak *rigid link*, agar pada saat diberi pembebanan semua bagian pada diafragma menahan beban.

- Memasukan semua jenis beban sesuai standar yang dipakai.
- Memasukan kombinasi pembebanan pada aplikasi.
- Memberi tumpuan pada daerah seperti abutmen, dan pilar.

2.2 Pembebanan

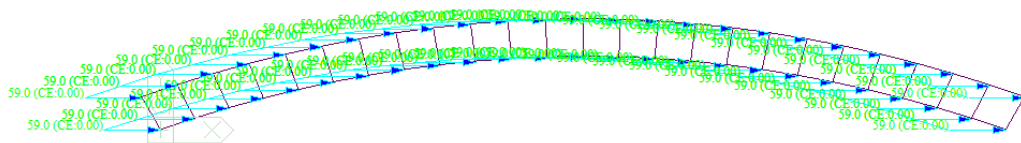
Pembebanan yang digunakan adalah berdasarkan standar SNI 1725-2016, berikut adalah pembebanannya :

- Beban mati yang merupakan beban dari struktur itu sendiri.
- Berat mati tambahan yang merupakan *utilities* dan air hujan



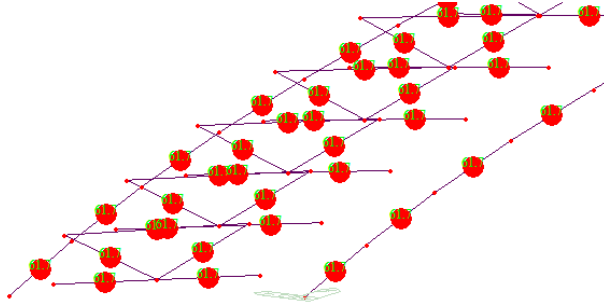
Gambar 2.1 Permodelan beban mati tambahan

- Beban lajur (D) yang terbagi atas Beban Garis Terpusat (BGT) dan BTR (Beban Terbagi Rata).
- Beban truk yang digunakan adalah bersarkan SNI 1725-2016 yaitu dengan truk berat 500 kN.
- Beban rem yang diambil disini yaitu adalah beban rem 5% dari berat truk rencana + BTR.



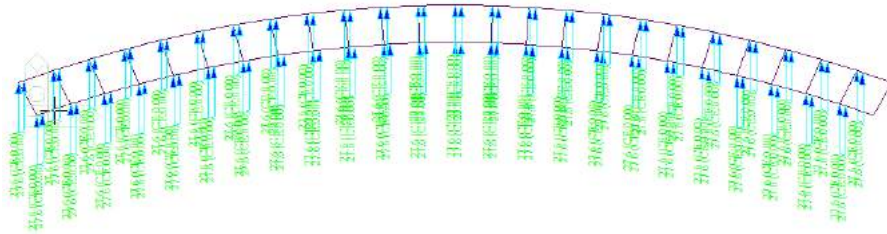
Gambar 2.2 Permodelan beban rem

- Beban suhu yang digunakan adalah sebesar 617°F yang langsung dimasukkan kedalam aplikasi.



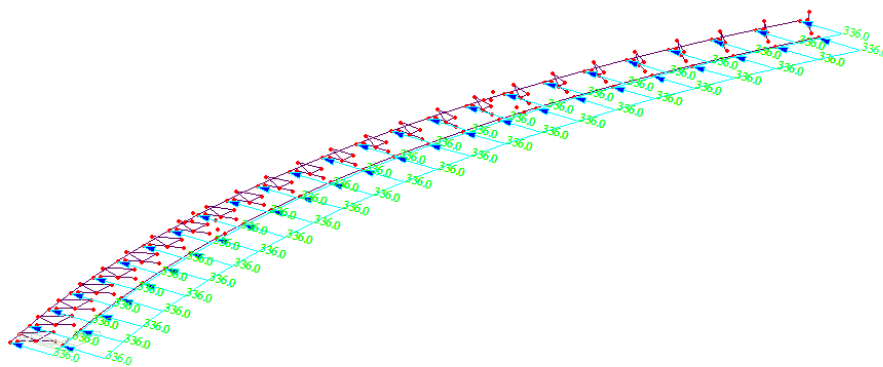
Gambar 2.3 Permodelan beban suhu

- Beban angin yang bekerja pada struktur juga dimasukkan yaitu sebesar 27,63 kN.



Gambar 2.4 Permodelan beban angin

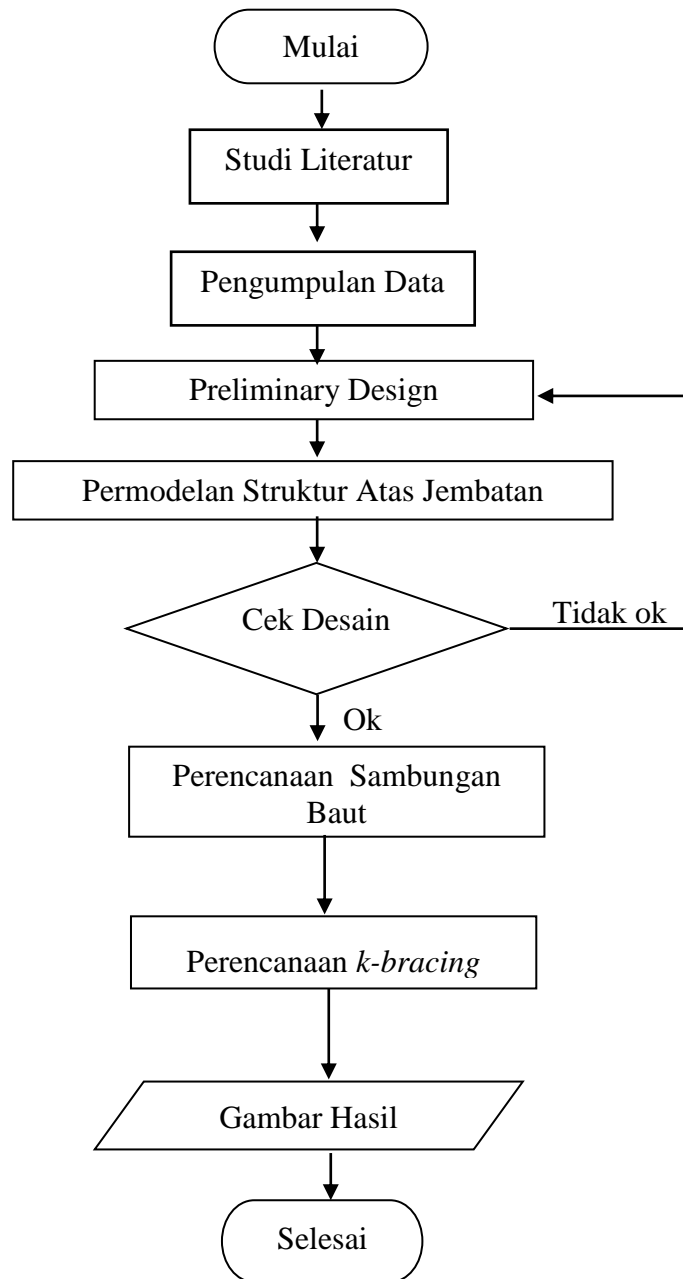
- Beban sentrifugal dimasukkan tegak lurus terhadap jembatan.



Gambar 2.5 Permodelan beban sentrifugal

3. METODOLOGI

Berikut adalah diagram alir tugas akhir yang telah dilaksanakan :



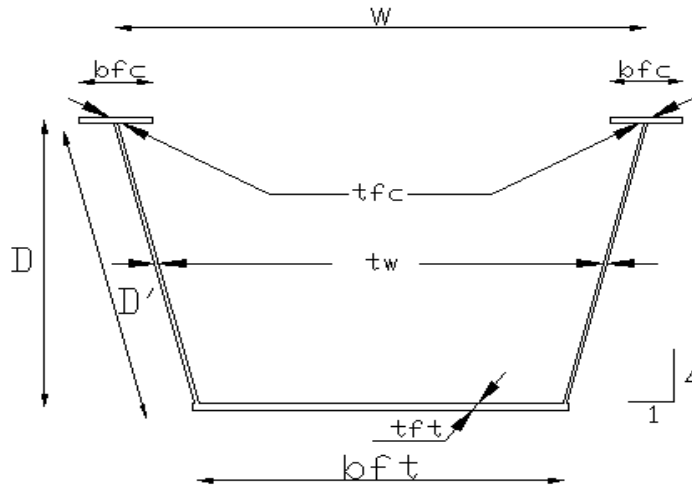
Gambar 2. 6 Diagram alir pembuatan tugas akhir

4. PERENCANAAN

Dalam melakukan perencanaan dilakukan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Preliminary Design

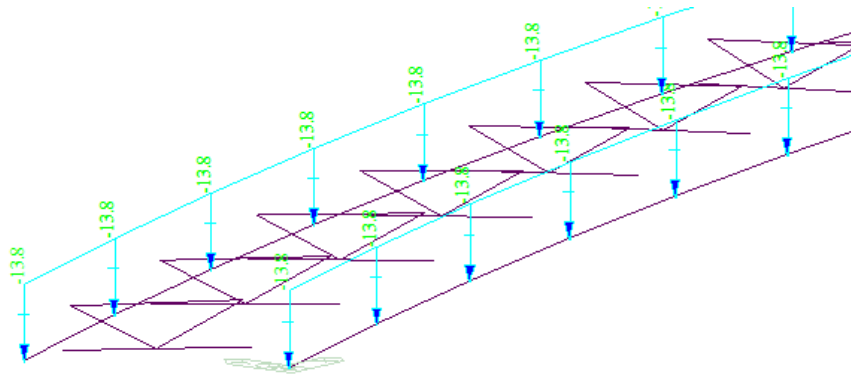
Pada *preliminary design* ditentukan dimensi dari girder yang akan dimodelkan dan nantinya akan diperiksa tegangan yang terjadi dari dimensi tersebut.



Gambar 2.7 Penampang yang ditentukan pada Preliminary Design

2. Permodelan jembatan

Box Girder dimodelkan sebagai *beam* yang berletak pada titik berat penampang *box girder* dan *bracing* dimodelkan sebagai *truss* yang nantinya akan di *rigid link* antara *bracing* dan *box girder*.



Gambar 2.8 Permodelan beam-truss

3. Pemeriksaan Girder

Dilakukan pemeriksaan girder pada masa konstruksi hingga masa layan, pada masa konstruksi dilakukan pemeriksaan:

- Bengkok Lateral pada sayap akibat kelengkungan.

$$f_{\ell} = \frac{M_{TOT_LAT}}{S_{\ell}}$$

- Lentur pada sayap atas

$$f_{bu} + f_{\ell} \leq \phi_r R_h F_{yc}$$

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_{\ell} \leq \phi_r R_h F_{yc}$$

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_{\ell} \leq F_{nc}$$

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{crw}$$

- Lentur pada sayap bawah

$$f_{bu} \leq \Phi_r R_h F_{yr}$$

- Geser

$$V_u \leq \phi_v V_{cr}$$

- Bengkok Lateral pada sayap akibat kelengkungan.

Pemeriksaan pada masa layan yang dilakukan adalah.

- Deformasi permanen sayap atas

$$f_f \leq 0,95R_h F_{yf}$$

- Deformasi permanen sayap bawah

$$f_f + \frac{f_f}{2} \leq 0,95R_h F_{yf}$$

- Tekuk pada web

$$f_c \leq F_{crw}$$

4. Perencanaan Sambungan Baut

Pada perencanaan sambungan baut juga dilakukan pemeriksaan pada masa konstruksi hingga masa layan dimana gaya yang terjadi pada tiap baut haruslah tidak melewati tahanan izin dari baut.

$$R_u t \leq R_r$$

5. Perencanaan *k-bracing*

Perencanaan *k-bracing* yaitu adalah menentukan jarak maksimum antar *bracing* dengan penampang yang telah ditentukan.

$$L_{\max} = \left[\frac{0,6}{\frac{5w\beta_0(a+b)}{384EI} \left(\frac{EI}{GJ} - 3 \right)} \right]^{1/3}$$

5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan permodelan dan perencanaan box girder melengkung horizontal didapatkanlah hasil bahwa penampang yang digunakan telah memenuhi syarat yang telah ditentukan oleh AASHTO 2012. Berikut adalah hasil kesimpulan dari sudut permodelan dan perencanaan.

1. Permodelan

Permodelan menggunakan metode *Beam-Truss* dimana box girder dimodelkan sebagai beam dan diafragma dimodelkan sebagai truss yang menghasilkan gaya-gaya dalam yang akan digunakan untuk pemeriksaan girder. Gambar dapat dilihat pada lampiran.

2. Perencanaan Box Girder

Dalam perencanaan box girder didapatkanlah bahwa penampang box girder telah memenuhi syarat yaitu tegangan yang terjadi lebih kecil dari pada tegangan izin meskipun ada beberapa rasionya yang mendekati satu, akan tetapi masih memenuhi syarat, dimana sayap atas box girder dengan penampang 500x50 mm, sayap bawah 2050x70 mm, dan web girder 20x1960 mm dengan kemiringan web 1:4. Gambar dapat dilihat pada lampiran.

3. Perencanaan Sambungan Baut

Dari perencanaan sambungan baut yang ada pada girder juga telah memenuhi syarat yaitu gaya yang terjadi pada baut lebih kecil dari tahanan izin baut, hal ini dapat dilihat pada tabel 4.10, hasil perencanaan sambungan baut adalah yaitu pada sayap atas dengan diameter baut 28,575 mm dan jumlah baut 24 buah, sambungan sayap bawah dengan diameter baut 28,575 mm dan jumlah baut 80 buah, dan sambungan web dengan diameter baut 28,575 mm dan jumlah baut 76 buah.

4. Perencanaan *k-bracing*

Dengan telah dilakukan perhitungan pada pembahasan mengenai desain *k-bracing* dengan profil L8x8x3/4, dengan tinggi *k-bracing* adalah 1,08 m dan jarak antar *k-bracing* adalah 6 m.

6. DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO (2014). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, 7th Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- Chavel, Brandon & Julie Rivera. 2015. "Steel Bridge Design Handbook Design Example 5 : Three Span Continuous Horizontally Curved Composite Steel Tub-Girder Bridge". Washington : U.S Department of Transportation Federal Highway Administration.
- Fu, C. Chung & Shuqing Wang. 2015. "Computational Analysis and Design of Bridge Structures". New York : CRC Press.

- Nugraha Widi & Achmad Riza Chairulloh. 2018. Analisis Metode Pengangkatan Gelagar Box Baja Modular Untuk Jembatan Lintas Sungai. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 2(2), 84-98.
- Al-Sherrawi Mohammad H & Esraa M. Edaan. 2018. *Effect Diaphragms on Shear Lag in Steel Box Girders. International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, 3(4), 17-21.
- SNI 1725-2016, *Standar Pembebanan Pada Jembatan*.
- Sumaidi, Made.D Astawa, & B. Erki S. 2014. Perencanaan Jembatan *Steel Box Girder* Tipe Komposit Dua Material Baja-Beton Dengan Dua Gelagar Seragam. *Jurnal Envirotek*, 10(2), 18-26.
- Taly, Narendra, *Highway Bridge Superstructure Engi* (BosokZZ.org).
- Thang Do Dai, Min-Se Koo, & Asif Ahmeed. 2009. *Optimum Cost Design of Steel Box-Girder by Varying Plate Thickness. KSCE Journal of Civil Engineering*, 13(1), 31-37.

Analisis Jembatan Lengkung Horizontal Dengan I-Girder Baja Menggunakan Standar AASHTO LRFD 2012

(Pada Jalan Tol JORR II Ruas Kunciran-Cengkareng Seksi-4 Ramp3)

¹Desmon Hamid, ST., MT. ²Mukhlis, ST., MT. ³Rifki Muchni

¹Mahasiswa Teknik Sipil, Program Studi Sarjana Terapan Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang.

Email: rifkimuchni22@gmail.com

ABSTRACT

Horizontal curved bridge is a bridge with a cross section of a curved steel I-girder that requires complex geometry and has certain requirements. which different between a straight bridge with a horizontal curved bridge that is in addition to the vertical bending effect and the shear effect is also influenced by torsional effects, lack of stability, and special constructive attention, and consideration of system behavior in the analysis. The purpose of writing this final project is to be able to do the bridge structure modeling using Midas Civil software, to design the structure of the horizontally curved steel I-girder bridge, and Obtaining the dimensions of I-Girder steel horizontally curved bridge that is able to resistance the effects of curvature and loads that work in accordance with predetermined conditions, and know the behavior of elements from horizontally curved steel I-Girder bridge. This design refers to AASHTO LRFD 2012. And design carried out namely three continuous span (42 m + 55 m + 42 m) by using two pieres. the dimensions of steel I-girder with 2000 mm girder height of 20 mm body thickness, top flange width 500 mm thickness 25 mm, and bottom flange width 600 mm thickness 40 mm. From the results of the girder design there are some of conditions which can be said to be extreme because comparison between the compressive stress with capacity almost the same, that is 99.8% at the inertia-x on maximum positive moment fatigue condition, 95% at the inertia-y on maximum positive moment strength lime state condition, and 98% the maximum positive moment Constructibility on torsion. This proves that every agreed has extreme. However, this value is still within safe limits in accordance with the standards used.

Keywords : *Horizontally curved bridge, Midas Civil, AASHTO LRFD 2012*

ABSTRAK

Jembatan lengkung horizontal merupakan jembatan dengan penampang I-girder baja melengkung secara horizontal yang membutuhkan geometri yang kompleks dan memiliki batasan-batasan tertentu. yang membedakan antara jembatan lurus dengan jembatan melengkung horizontal yaitu disamping efek lentur vertikal dan efek geser juga dipengaruhi oleh efek torsional, kurangnya stabilitas, dan perhatian konstrabilitas khusus, serta pertimbangan perilaku sistem dalam analisis. Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah Dapat melakukan pemodelan struktur jembatan menggunakan software Midas Civil, Dapat melakukan perencanaan struktur atas jembatan I girder baja lengkung horizontal, dan Mendapatkan dimensi I-Girder baja jembatan lengkung horizontal yang mampu menahan efek kelengkungan dan beban-beban yang bekerja sesuai dengan syarat yang telah ditentukan, serta dapat mengetahui perilaku elemen dari I-Girder baja lengkung horizontal. Perencanaan ini mengacu kepada AASHTO LRFD 2012. Perencanaan yang dilakukan yaitu tiga bentang menerus (42 m + 55 m + 42 m) dengan menggunakan dua pier diperoleh dimensi I-girder baja dengan tinggi girder 2000 mm ketebalan badan 20

mm, lebar sayap atas 500 mm ketebalan 25 mm, dan lebar sayap bawah 600 mm ketebalan 40 mm. Dari hasil perencanaan girder ada beberapa kondisi yang bisa dikatakan ekstrim karena perbandingan antara tegangan yang terjadi dengan tegangan izin hampir mendekati sama yaitu 99.8% pada kondisi fatig momen positif maksimum Inersia-x, 95% pada kondisi batas kuat momen positif maksimum Inersia-y, dan 98% pada masa konstruksi momen positif maksimum Inersia terhadap puntir. Ini membuktikan bahwa disetiap tinjauan memiliki kondisi ekstrim. Namun nilai tersebut masih dalam batas aman sesuai dengan standar yang digunakan.

Kata Kunci : Jembatan lengkung horizontal, Midas Civil, AASHTO LRFD 2012

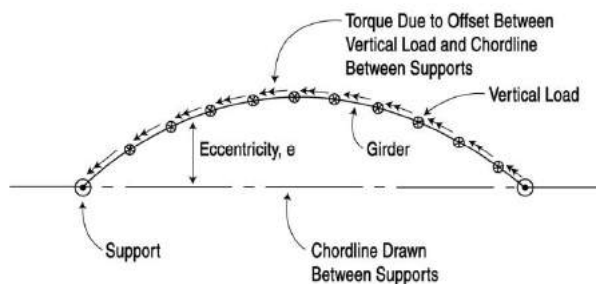
1. PENDAHULUAN

Umumnya jembatan didisain dengan bentuk yang lurus, namun kondisi dilapangan membutuhkan geometri yang kompleks dan memiliki batasan-batasan tertentu Seperti persimpangan kota pada jalan layang atau ramp pada jalan tol yang mengakibatkan tidak bisanya dibangun jembatan lurus karena membutuhkan *Pier* ditengah jembatan, Untuk itu perlu direncanakan jembatan melengkung secara horizontal.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Baja I-Girder lengkung horizontal

Merupakan baja I-girder yang penampang jembatannya melengkung secara horizontal. (Nakai dan Yoo 1988) [1] Gelagar melengkung/miring disamping efek geser dan lentur vertikal, juga dipengaruhi oleh efek torsional. Momen torsi ini bervariasi sepanjang bentang gelagar. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1

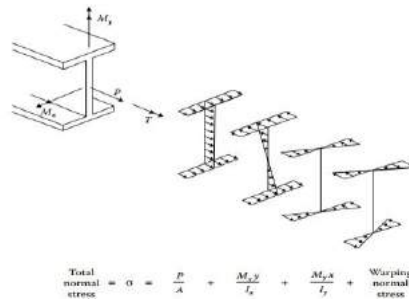


Gambar 2.6 Penyebab terjadinya momen torsi (Colletti dan yadlosky,2005)

Dalam jembatan lurus, torsi internal total cenderung menjadi relatif kecil dan torsi girder diinduksi terutama oleh kompatibilitas deformasi antara balok utama dan diafragma yaitu, jika girder tidak saling terhubung oleh bingkai silang (diafragma),

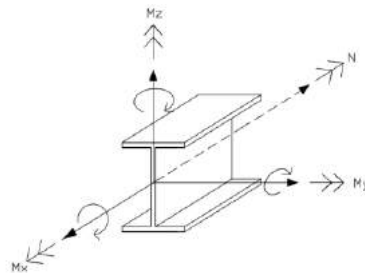
tidak ada kecenderungan girder untuk memutar di bawah beban vertikal utama. Namun, torsi internal dalam melengkung jembatan ada secara independen dari interkoneksi balok utama oleh rangka silang. Jika balok-I melengkung tidak terhubung ke sistem struktur jembatan keseluruhan oleh kerangka-silang, mereka cenderung menunjukkan besarnya defleksi torsional.

Tegangan normal total dalam suatu gelagar berbentuk I adalah kombinasi dari setiap tegangan aksial, tegangan lentur sumbu utama, tegangan lentur lateral, dan tegangan normal *warping*.



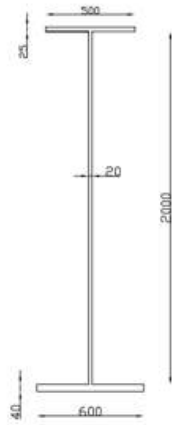
Gambar 2. 7 Ilustrasi tekanan normal gelagar umum, yang dapat terjadi pada girder berbentuk kurva atau miring

Perencanaan jembatan lengkung horizontal ini mengacu kepada AASHTO LRFD 2012. Untuk permodelan jembatan menggunakan *software Midas Civil*. Tinjauan perencanaan yaitu terhadap inersia-x dengan momen pada sumbu y (M_y), Inersia-y dengan momen pada sumbu x (M_x), dan inersia terhadap puntir dengan momen $M_y + M_x$



Gambar 2. 8 Pembagian sumbu penampang.

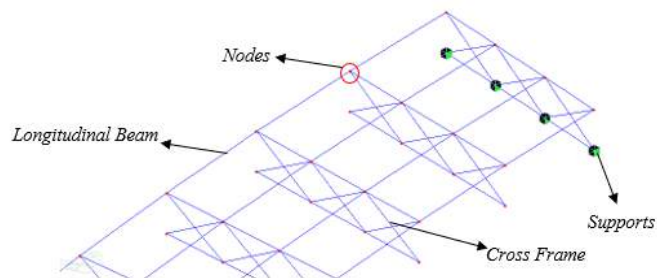
Rencana dimensi girder dapat dilihat pada gambar 2.4



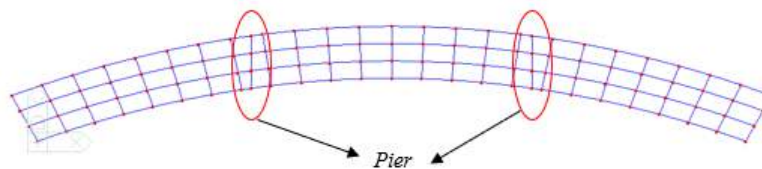
Gambar 2.9 Rencana penampang I-Girder baja

2.2 Permodelan Jembatan

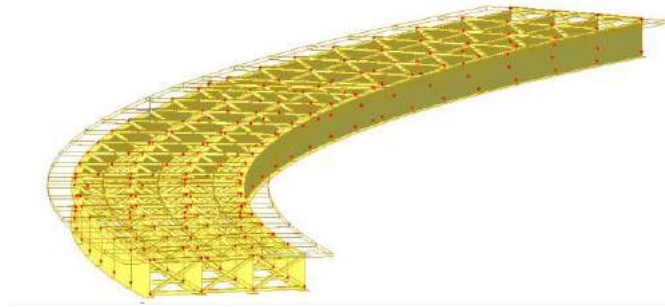
Permodelan menggunakan analisis *grid 2D* atau analisis *Grillage*. Dimana sifat kompleks balok utama dan anggota struktural lainnya dimodelkan sebagai elemen garis. Analisis *grid* dapat menghasilkan perkiraan distribusi yang baik, momen, geser, dan torsi pada balok utama. Permodelan dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.10 Permodelan dengan metode Grillage



Gambar 2.11 Tampak atas permodelan



Gambar 2. 12 Tampilan Extrude permodelan

Dari permodelan ini diperoleh nilai momen, geser, torsi dan deformasi yang digunakan untuk perencanaan girder.

2.3 Perencanaan Girder

Dalam perencanaan girder terlebih dahulu dilakukan disain awal (*Preliminary Design*). Selanjutnya dilakukan pengecekan girder pada beberapa kondisi yaitu pada saat masa konstruksi harus memenuhi persamaan :

$$f_{bu} + f_{\ell} \leq \phi_f R_h F_{yc} \quad (1)$$

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_{\ell} < \phi_f F_{nc} \quad (2)$$

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{crw} \quad (3)$$

Kondisi pada saat masa layan (servis) :

$$f_{ftop} \leq 0,95 \times R_h \times F_{yf} \quad (4)$$

$$f_f + \frac{f_l}{2} \leq 0,95 \times R_h F_{yf} \quad (5)$$

Kondisi pada saat lelah (fatig) :

$$\gamma(\Delta f) \leq (\Delta F)n \quad (6)$$

Kondisi pada saat batas kuat :

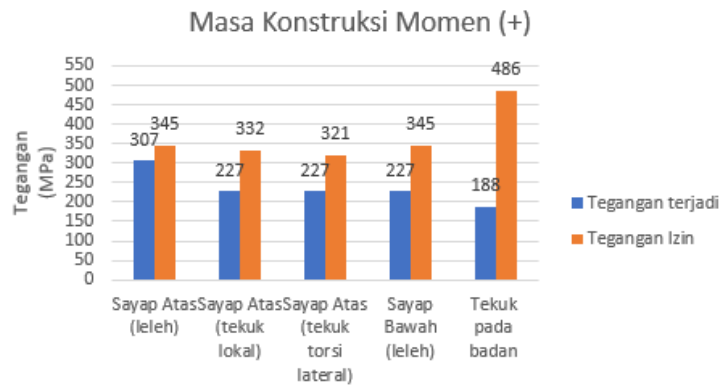
$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (7)$$

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_{l_total} \leq \phi_f F_{nt} \quad (8)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

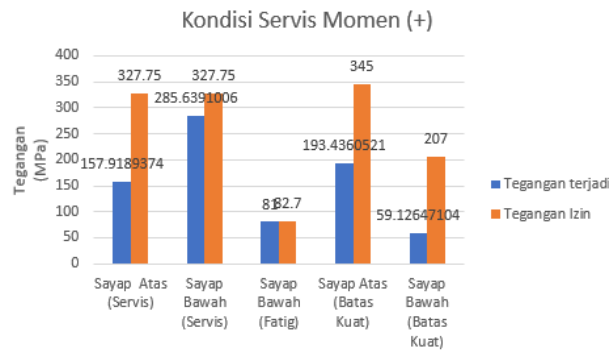
3.1 Hasil Pengecekan Girder Momen Positif

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan pada penulisan tugas akhir ini, maka didapat hasil sebagai berikut :



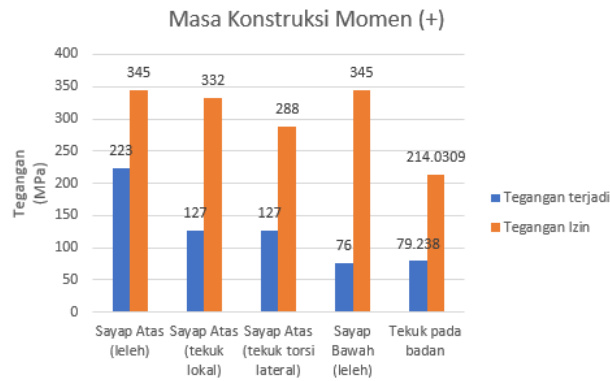
Gambar 3.1 Momen positif masa konstruksi tinjauan inersia terhadap sumbu-x

Berdasarkan lima grafik perbandingan tersebut sayap atas (leleh) merupakan kondisi paling ekstrim. Karena pada sayap atas tersebut dalam kondisi tertekan akibat momen positif dari pengaruh momen-y

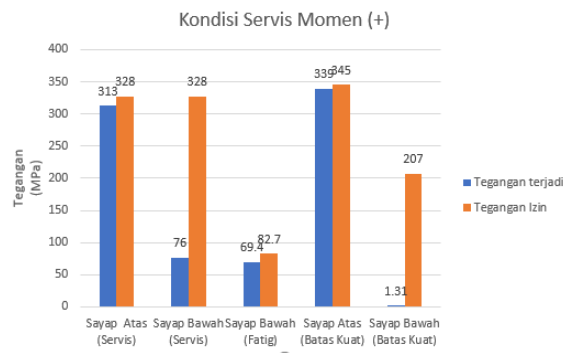


Gambar 3.2 Momen positif kondisi servis tinjauan inersia terhadap sumbu-x

Berdasarkan lima grafik perbandingan tersebut sayap bawah (kondisi fatig) merupakan kondisi paling ekstrim. karena girder sudah dalam keadaan komposit maka terjadi penambahan beban akibat Deck yang mengakibatkan sayap bawah tertarik semakin kuat.

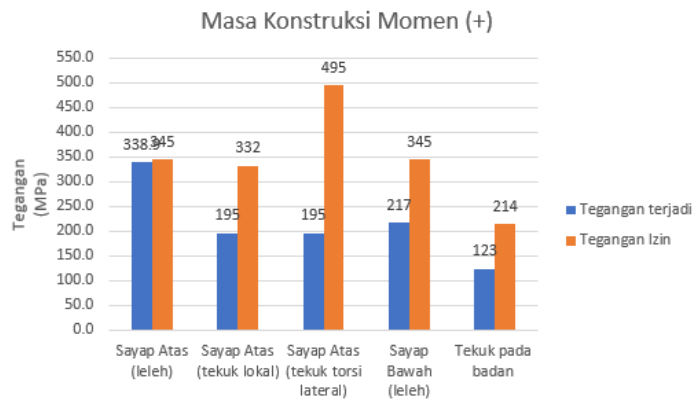


Gambar 3.3 Momen positif masa konstruksi tinjauan inersia terhadap sumbu-y



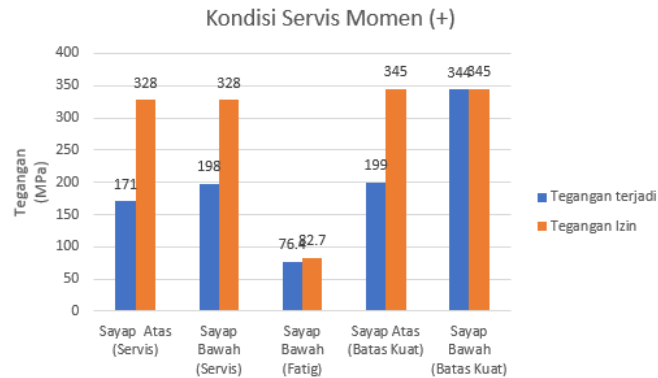
Gambar 3.4 Momen positif kondisi servis tinjauan inersia terhadap sumbu-y

Berdasarkan lima grafik perbandingan tersebut sayap atas (kondisi batas kuat) merupakan kondisi paling ekstrim. Karena pada sayap atas tersebut dalam kondisi tertekan akibat momen positif dari pengaruh momen-y.



Gambar 3.5 Momen positif masa konstruksi tinjauan inersia terhadap puntir

Berdasarkan lima grafik perbandingan tersebut sayap atas (leleh) merupakan kondisi paling ekstrim. Karena pada sayap atas tersebut dalam kondisi tertekan akibat momen positif dari pengaruh momen-y.

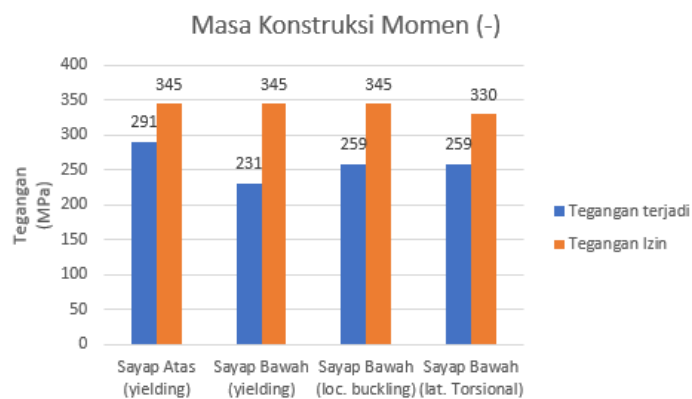


Gambar 3.6 Momen positif kondisi servis tinjauan inersia terhadap puntir

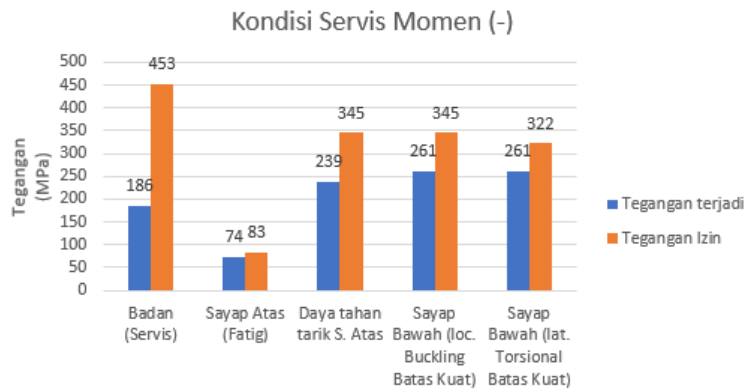
Berdasarkan lima grafik perbandingan tersebut sayap bawah (kondisi batas kuat) merupakan kondisi paling ekstrim. karena girder sudah dalam keadaan komposit maka terjadi penambahan beban akibat *Deck* yang mengakibatkan sayap bawah tertarik semakin kuat.

3.2 Hasil Pengecekan Girder Momen Negatif

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan pada penulisan tugas akhir ini, maka didapat hasil sebagai berikut :

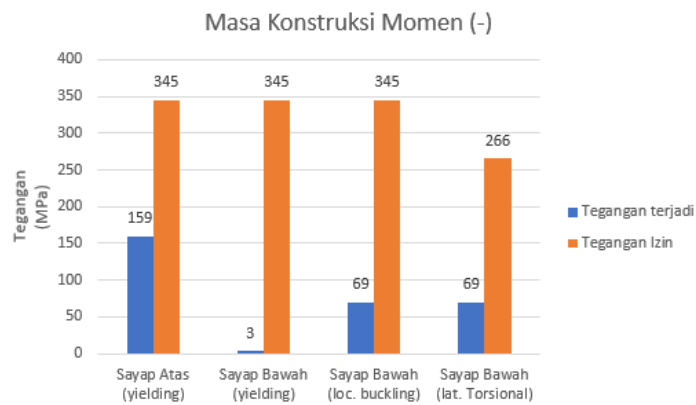


Gambar 3.7 Momen negatif masa konstruksi tinjauan inersia terhadap sumbu-x

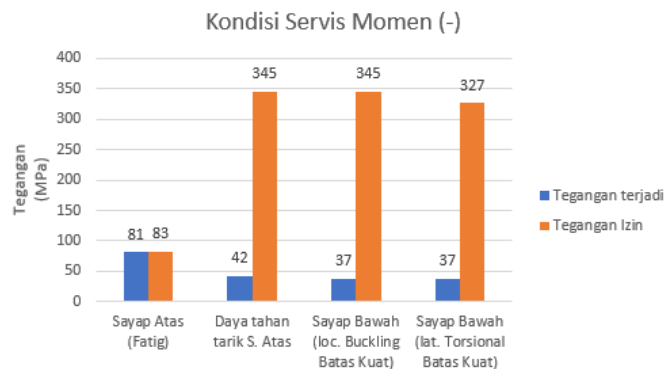


Gambar 3.8 Momen negatif kondisi servis tinjauan inersia terhadap sumbu-x

Berdasarkan lima grafik perbandingan tersebut sayap atas (kondisi fatig) merupakan kondisi paling ekstrim. Karena akibat momen negatif mengakibatkan sayap atas tertarik dan ditambah girder sudah dalam keadaan komposit, ini mengakibatkan sayap atas tertarik semakin kuat.

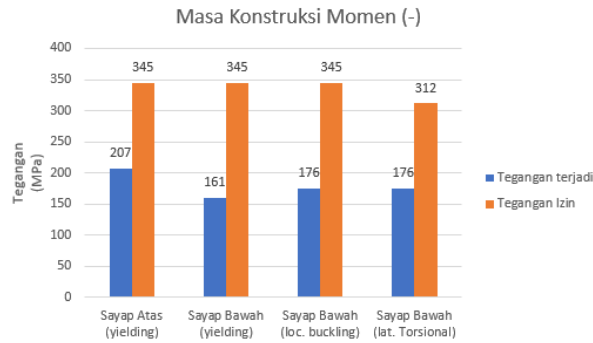


Gambar 3.9 Momen negatif masa konstruksi tinjauan inersia terhadap sumbu-y

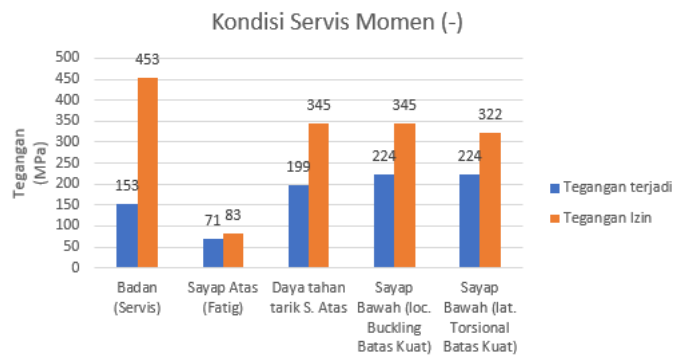


Gambar 3.10 Momen negatif kondisi servis tinjauan inersia terhadap sumbu-y

Berdasarkan empat grafik perbandingan tersebut sayap atas (kondisi fatig) merupakan kondisi paling ekstrim. Karena akibat momen negatif mengakibatkan sayap atas tertarik dan ditambah girder sudah dalam keadaan komposit, ini mengakibatkan sayap atas tertatik semakin kuat.



Gambar 3. 11 Momen negatif masa konstruksi tinjauan inersia terhadap puntir



Gambar 3. 12 Momen negatif kondisi servis tinjauan inersia terhadap puntir

Dari lima perbandingan tersebut sayap atas (kondisi fatig) merupakan kondisi paling ekstrim. Karena akibat momen negatif mengakibatkan sayap atas tertarik dan ditambah girder sudah dalam keadaan komposit, ini mengakibatkan sayap atas tertatik semakin kuat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan maka didapat kesimpulan bahwa Pada perencanaan girder tersebut ada beberapa kondisi yang bisa dikatakan ekstrim karena perbandingan antara tegangan yang terjadi dengan tegangan izin hampir mendekati sama diantaranya pada momen positif maksimum Inersia-x kondisi fatig nilai rasio sayap bawah yaitu 99,8%, momen positif maksimum Inersia-y kondisi batas kuat nilai rasio sayap atas yaitu 95%, dan momen positif maksimum Inersia terhadap puntir masa konstruksi nilai rasio sayap atas saat leleh yaitu 98%. Ini membuktikan bahwa disetiap tinjauan memiliki kondisi ekstrim. Namun nilai tersebut masih dalam batas aman sesuai dengan standar yang digunakan.

5. DAFTAR PUSTAKA

AASHTO.2012. *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, 7th Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

AASHTO LRFD, *Bridge Design Specification – SI* (BookZZ.org)

Adamakos,Theodoros,dkk. 2010.”*Modelling of Curved Composite I-Girder Bridge Using Partial System of Beam Elements*”[Jurnal]. Journal of Earthquake Engineering.

Amirihormozaki, Ebrahim,dkk.”*Analytical Modeling of Horizontally Curved Steel Girder Highway Bridges For Seismic Analysis*”[Jurnal]. Journal of Constructional Steel Research 67 (2011) 462-470.

Al-Sarraf, Z. Sabeeh,dkk. 2009.”*Analysis of Composite Bridge Superstructures Using Modified Grillage Method*”[Jurnal]. Eng. & Tech. Journal, Vol.27, No.5

Chavel,Brandon,dkk.2016.”*Skewed and Curved Steel I-Girder Bridge Fit*”.America : National Steel Bridge Alliance.

Chen,Wai-fah,Duan,Lian.2000.”*Bridge Engineering Handbook*”. New York : CRC Press.

Fu,C. Chung & Shuqing Wang.2015.”*Computational Analysis and Design of Bridge Structures*”. New York : CRC Press.

Rivera,Julie & Brandon Chavel.2015.” *Design Example 3 : Three-Span Continuous Horizontally Curved Composite Steel I-Girder Bridge*”. Washington : U.S Department of Transportation Federal Highway Administration.

PENGARUH POSISI *SHEAR WALL* DAN *X-BRACING* TERHADAP RESPON STRUKTUR GEDUNG

Maiyozzi Chair^{1,2}, Afrilda Sari²

¹Mahasiswa Doktoral Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: maiyozzi@upiypk.ac.id

²Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Putra Indonesia YPTK Padang.
Email: afrildasari@yahoo.com

ABSTRACT

Indonesia is a country that has a high level of vulnerability to earthquakes. High-rise buildings are structures that are vulnerable to lateral forces. In order to withstand lateral loads, elements such as shear walls or steel bracing need to be added which can convert lateral to axial forces acting on the trunks. The purpose of this study was to compare the response behavior of structural performance consisting of shear walls and steel bracing as variations in stiffer structures in buildings. The object of the building is the 32-storey building of Tower C Transpark Cibubur Apartment. The method used is an analysis by comparing the use of shear wall systems and steel bracing as an alternative to structural stiffeners, both of these structural systems are modeled using ETABS software. Based on the analysis results obtained, the comparison of the basic shear force values that work on the use of shear walls is greater than the use of bracing. The structural model using the shear wall is an effective structural model, because the deviation between the floors in the direction of the X-axis and Y-axis on the use of the shear wall is smaller than the steel bracing structure model in resisting lateral loads. The natural vibrating time of the structure in the use of steel bracing decreases, because it will add stiffness to the building. While the natural vibrating time of the structure on the use of shear wall in the original model of the building structure has sufficient stiffness.

Keywords : lateral forces, *shearwall*, *steel bracing*, ETABS models

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap gempa bumi. Bangunan bertingkat tinggi merupakan struktur gedung yang rentan terhadap gaya lateral. Agar dapat menahan beban lateral, perlu ditambahkan elemen seperti dinding geser (*shear wall*) atau pengaku (*x-bracing*) yang dapat mengubah gaya lateral menjadi aksial. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan perilaku kinerja respon struktur yang terdiri dari *shear wall* dan *x-bracing* mengenai gaya geser dasar, simpangan antar lantai, dan waktu getar alami, sebagai variasi pengaku struktur pada bangunan gedung. Objek bangunan adalah gedung 32 lantai Apartemen Tower C Transpark Cibubur. Metode yang digunakan adalah analisis dengan membandingkan antara sistem penggunaan *shear wall* dan *x-bracing* sebagai alternatif pengaku struktur, kedua sistem struktur ini dimodelkan dengan menggunakan *software* ETABS. Berdasarkan hasil analisis yang didapat, perbandingan nilai gaya geser dasar yang bekerja pada penggunaan *shear wall* lebih besar dari pada penggunaan *x-bracing*. Model struktur menggunakan *shear wall* merupakan model struktur yang efektif, karena nilai simpangan antar lantai arah sumbu X dan sumbu Y pada penggunaan *shear wall* lebih kecil dibandingkan model struktur *x-bracing* dalam menahan beban lateral. Waktu getar alami struktur pada penggunaan *x-bracing* semakin berkurang, karena akan menambah

kekakuan pada bangunan tersebut. Sedangkan waktu getar alami struktur pada penggunaan *shear wall* pada model asli struktur bangunan mempunyai kekakuan yang cukup.

Kata Kunci : gaya lateral, *shearwall*, *x-bracing*, model ETABS

1. PENDAHULUAN

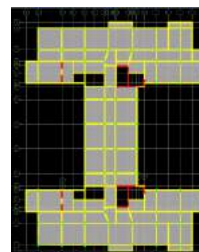
Indonesia merupakan negara kepulauan dengan sebagian besar wilayahnya memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap gempa bumi. Bangunan bertingkat tinggi merupakan struktur gedung yang rentan terhadap gaya lateral sehingga harus dirancang untuk dapat menahan beban lateral, seperti angin dan gempa. Agar dapat menahan beban lateral, perlu ditambahkan elemen yang dapat menahan beban lateral seperti dinding geser (*shear wall*) yang dapat meningkatkan kekakuan bangunan atau pengaku x (*x-bracing*) yang dapat mengubah gaya lateral menjadi aksial yang bekerja pada batang-batangnya. Penempatan sistem penjaga kestabilan ini juga dapat berpengaruh terhadap perilaku bangunan dalam menerima beban, sebagai contoh terhadap simpangan horizontal bangunan serta torsi yang akan terjadi. Dalam penelitian ini penulis ingin membandingkan pengaruh kerja struktur *shearwall* dan *x-bracing* sebagai variasi pengaku struktur terhadap respon struktur pada bangunan gedung “Apartemen Tower C Transpark Cibubur”.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Data Struktur

Data teknis bangunan gedung Apartemen Tower C Transpark Cibubur yang di dapatkan dari kontraktor PT. Wika sebagai berikut :

1. Jenis Struktur: BetonPrecast.
2. Mutu Beton Pelat & balok
 - Basement 1 s/d Lantai 6 : f_c 35 Mpa.
 - Lantai 7 s/d Lantai 15 : f_c 35 Mpa.
 - Lantai 16 s/d Lantai 24 : f_c 30 Mpa.
 - Lantai 25 s/d Lantai Roof : f_c 25 Mpa.
3. Mutu Beton Kolom
 - Basement 1 s/d Lantai 6 : f_c 45 Mpa.
 - Lantai 7 s/d Lantai 15 : f_c 45 Mpa.
 - Lantai 16 s/d Lantai 24 : f_c 40 Mpa.
4. Jumlah Lantai : 32 Lantai Typical.
5. Tinggi Gedung : 123,3 m.
6. Luas Bangunan : 50,264 m².



Gambar 1. Tata letak Permodelan *Shear Wall* dan *Bracing* Pada Apartemen

7. Data Material

- Mutu Beton, f_c' = 30 Mpa
- Modulus Elastisitas, E_c = 25742960 KN/m
- Angka Poison, ν = 0,2
- Modulus Geser, G = 10726233,3 KN/m
- Baja Tulangan = Diameter \leq 13mm tulangan polos BJTP 24 dengan tegangan leleh, $f_y = 240$ Mpa,
Diameter $>$ 13mm tulangan ulir BJTD 40 dengan tegangan leleh, $f_y = 400$ Mpa
- F_y (tulangan utama) BJ40= 400000 KN/m
- F_{ys} (tulangan geser) BJ24= 240000 KN/m

2.2 Beban-beban yang bekerja

1. Beban Mati

a. Plat Lantai Atap

- Spesi = 42 kg/m²
- Plafond = 20 kg/m²
- MEP = 25 kg/m²
- Water Proofing = 14 kg/m²
- = 101 kg/m²

b. Plat Lantai B1 s/d 31

- Spesi = 42 kg/m²
- Plafond = 20 kg/m²
- MEP = 25 kg/m²
- Keramik = 24 kg/m²
- = 111 kg/m²

c. Balok-balok Lantai dan Balok Atap = 64900 kg/m²

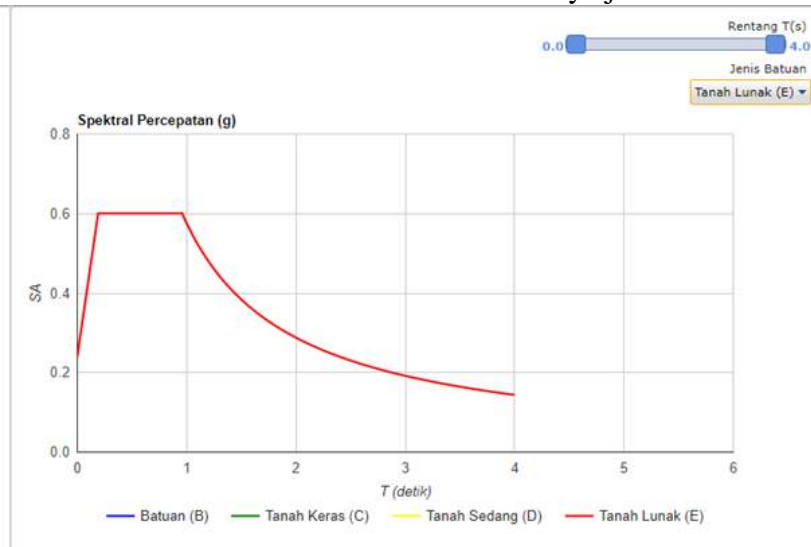
2. Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan adalah pada pedoman pembebanan untuk rumah dan gedung tahun 1987 dan SNI 03-1727-1989. Beban yang bekerja seperti dibawah ini:

- Beban Hidup Bekerja Pada Lantai = 250 kg/m²
- Beban Hidup Bekerja Pada Atap = 100 kg/m²

3. Beban Gempa

Beban gempa berdasarkan SNI-1726-2012 yang berisikan respon spektrum kota di indonesia. Kemudian lokasi respon spektrum yang diambil adalah pada lokasi daerah Cibubur, Kota Depok, Provinsi Jawa Barat. Selanjutnya akan muncul data-data respon spektrum beserta grafik respon spektrum untuk berbagai jenis tanah. Untuk lokasi daerah Cibubur itu sendiri klasifikasi tanahnya jenis tanah lunak.



Gambar 2. Spektral Percepatan Tanah Daerah Cibubur, Depok, Jawa Barat

2.3 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan beban yang bekerja, kombinasi pembebanan yang digunakan sebagai berikut :

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3. 1,41 DL + 1 LL + 0,39 EQX + 1,3 EQY
4. 0,99 DL + 1 LL – 0,39 EQX – 1,3 EQY
5. 1,09 DL + 1 LL + 0,39 EQX – 1,3 EQY
6. 1,31 DL + 1 LL – 0,39 EQX + 1,3 EQY
7. 1,41 DL + 1 LL + 1,3 EQX + 0,39 EQY
8. 0,99 DL + 1 LL – 1,3 EQX – 0,39 EQY
9. 1,09 DL + 1 LL – 1,3 EQX + 0,39 EQY
10. 1,31 DL + 1 LL + 1,3 EQX – 0,39 EQY
11. 0,69 DL + 0,39 EQX + 1,3 EQY
12. 0,79 DL – 0,39 EQX + 1,3 EQY
13. 1,11 DL – 0,39 EQX – 1,3 EQY
14. 1,01 DL + 0,39 EQX – 1,3 EQY
15. 0,69 DL + 1,3 EQX + 0,39 EQY
16. 1,01 DL + 1,3 EQX – 0,39 EQY
17. 1,11 DL – 1,3 EQX – 0,39 EQY
18. 0,79 DL – 1,3 EQX + 0,39 EQY

Dimana :

DL = Beban Mati

LL = Beban Hidup

EQX = Beban Gempa Arah X

EQY = Beban Gempa Arah Y

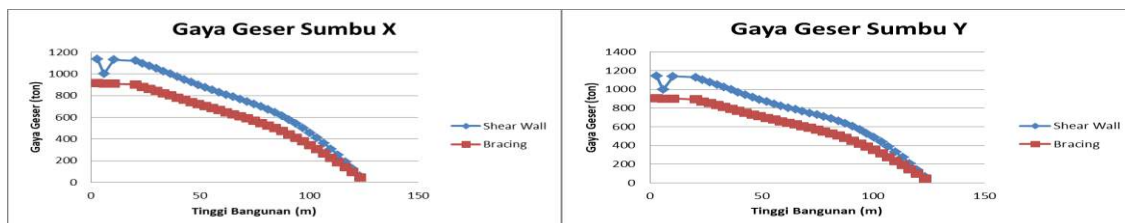
2.4 Gaya Geser Dasar

Tabel 1. Perbandingan Analisis Gaya Geser Dasar Vx dan Vy Antar Lantai Apartemen Tower C Menggunakan *Shear Wall* dan *x-Bracing*

No	Lantai	Tinggi Tingkat (m)	Vx (ton)		Vy (ton)	
			Shear Wall	x-Bracing	Shear Wall	x-Bracing
1	Lantai 32	123,3	60,83	45,02	66,94	47,18
2	Lantai 28	110,1	308,12	226,82	331,56	234,52
3	Lantai 24	97,3	502,1	378,86	528,52	387,37
4	Lantai 20	84,5	644,89	499,67	661,78	504,26
5	Lantai 16	71,7	744,57	589,47	746,64	587,6
6	Lantai 12	58,9	831,45	666,35	822,73	658,37

7	Lantai 8	46,1	923,85	741,25	915,12	730,45
8	Lantai 4	33,3	1025,9	822,1	1024,61	811,21
9	Lantai 1	23,7	1096,16	881,05	1100,19	869,59
10	GF	20,5	1123,49	904,02	1128,9	891,73
11	LGM	10,5	1132,92	911,75	1139,33	899,49
12	LG	6	1000,43	913,97	997,03	901,71
13	B1	3	1136,31	914,62	1143,03	902,33

Pada Tabel 1. dapat dilihat bahwa perbandingan gaya geser dasar sumbu x dan y pada struktur Apartemen Tower C menggunakan *Shear Wall* dan *Bracing*, besaran gaya geser dasar maksimum V_x *Shear Wall* sebesar 1136,31 ton dan nilai gaya geser dasar V_x *Bracing* sebesar 914,62 ton. Sedangkan besaran gaya geser dasar maksimum V_y *Shear Wall* sebesar 1143,03 ton dan nilai gaya geser dasar V_y *Bracing* sebesar 902,33 ton.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Simpangan Arah X dan Arah Y *Shear Wall* dan *Bracing*

Sehingga pada Gambar 3. grafik bisa dijelaskan bahwa gaya geser mulai dari lantai paling atas sampai bawah semakin besar, gaya geser dasar pada penggunaan *shear wall* lebih besar dari pada pemakaian struktur *x-bracing*.

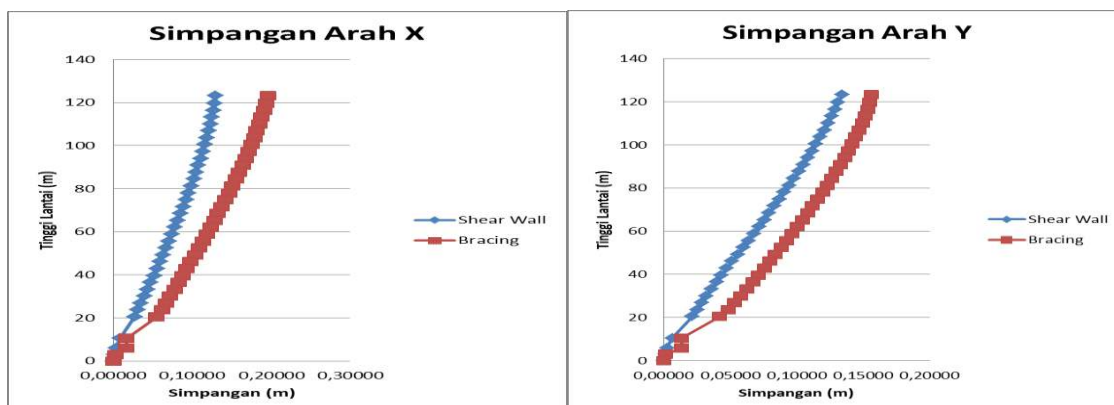
2.5 Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Tabel 2. Analisis Perbandingan Simpangan Antar Lantai Sumbu X Apartemen Tower C Menggunakan *Shear Wall* dan *Bracing*

No	Lantai	Tinggi Tingkat (m)	Simpangan arah X (m) <i>Shear Wall</i>	Simpangan arah X (m) <i>x-Bracing</i>	Simpangan arah Y (m) <i>Shear Wall</i>	Simpangan arah Y (m) <i>x-Bracing</i>
1	Lantai 32	123,3	0,12990	0,19570	0,13410	0,15610
2	Lantai 28	110,1	0,12290	0,18490	0,12360	0,14930
3	Lantai 24	97,3	0,11320	0,17090	0,11130	0,13880
4	Lantai 20	84,5	0,10170	0,15510	0,09790	0,12630
5	Lantai 16	71,7	0,08840	0,13680	0,08290	0,11170

6	Lantai 12	58,9	0,07440	0,11800	0,06760	0,09630
7	Lantai 8	46,1	0,05920	0,09790	0,05140	0,07970
8	Lantai 4	33,3	0,04320	0,07710	0,03570	0,06250
9	Lantai 1	23,7	0,03060	0,06110	0,02490	0,04820
10	GF	20,5	0,02660	0,05430	0,02120	0,04180
11	LGM	10,5	0,00810	0,01640	0,00650	0,01340
12	LG	6	0,00310	0,01640	0,00240	0,01340
13	B1	3	0,00120	0,00200	0,00130	0,00130
14	B2	0	0	0	0	0

Tabel 2. adalah hasil output simpangan antar lantai/*story drift* Apartemen Tower C Menggunakan *shear wall* dan *x-bracing* dari hasil yang didapat diambil nilai *drift x* maksimum dari masing-masing lantai.



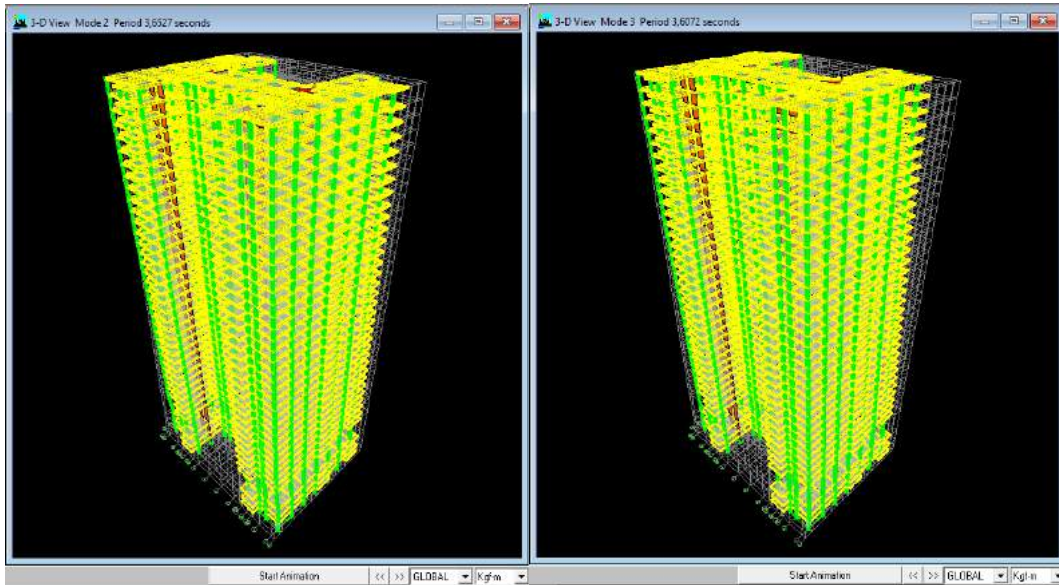
Gambar 4. Grafik Perbandingan Simpangan Arah X dan Arah Y *Shear Wall* dan *Bracing*

Pada Gambar 4. grafik dapat dilihat dimana simpangan yang paling besar terjadi pada penggunaan *x-bracing*. Akan tetapi secara umum simpangan antar tingkat pada kedua lantai hampir mendekati. Pada gambar grafik diatas dapat dilihat dimana simpangan yang paling besar terjadi pada penggunaan *bracing* dan yang terkecil didapat pada penggunaan *shear wall*.

2.6 Waktu Getar Alami (Mode Shape)

1. Apartemen Tower C Transpark Cibubur Menggunakan *Shear wall*

Waktu getar alami struktur Apartemen Tower C Menggunakan *Shear wall* arah sumbu x pada *mode shape* 2 adalah sebesar 3,6527 detik dan *Shear wall* arah sumbu y pada *mode shape* 3 adalah sebesar 3,6072 detik, berarti struktur gedung kemungkinan akan mengalami gerakan dengan tipe pada Gambar 5 setiap 3,6527 detik dan 3,6072 detik.



Gambar 5. View Perioda Getar Alami Mode Shape 2 dan Mode Shape 3 Arah Sumbu X dan Y Menggunakan Shear Wall

Dengan melihat mode shape pada ETABS ini kita dapat mengetahui pergerakan struktur apakah mengalami translasi atau rotasi. Waktu getar alami struktur dibatasi oleh **SNI Gempa 1726-2012**, $T_a = C_t \cdot h_n^x \cdot C_u$.

Maka :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \cdot C_u$$

Waktu Getar Alami Struktur Pada ETABS (T_c) < T_a

$$3,6527 < 0,0466 \times 123,3^{0,9} \times 1,4 = 4,9702$$

$$3,6527 < 4,9702 \dots \text{Ok !!!}$$

Dan,

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \cdot C_u$$

Waktu Getar Alami Struktur Pada ETABS (T_c) < T_a

$$3,6072 < 0,0466 \times 123,3^{0,9} \times 1,4 = 4,9702$$

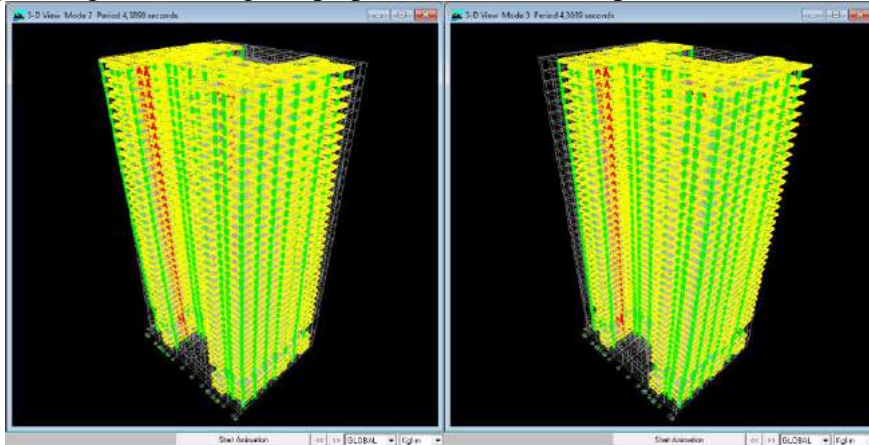
$$3,6072 < 4,9702 \dots \text{Ok !!!}$$

Waktu getar alami struktur memenuhi syarat batas, maka struktur Apartemen Tower C Menggunakan *Shear wall* arah sumbu x dan y memiliki kekakuan yang cukup.

2. Apartemen Tower C Transpark Cibubur Menggunakan *Bracing*

Waktu getar alami struktur Apartemen Tower C Menggunakan *x-Bracing* arah sumbu x pada mode shape 2 adalah sebesar 4,3898 detik, dan arah sumbu y pada

mode shape 3 adalah sebesar 4,3039 detik berarti struktur gedung kemungkinan akan mengalami gerakan dengan tipe pada Gambar 6 setiap 4,3898 detik dan 4,3039 detik.



Gambar 6. View Perioda Getar Alami Mode Shape 2 Arah Sumbu X dan Mode Shape 3 Arah Sumbu Y Menggunakan *x-Bracing*

Maka :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \cdot C_u.$$

Waktu Getar Alami Struktur Pada ETABS (T_c) < T_a

$$4,3898 < 0,0731 \times 123,3^{0,75} \times 1,4 = 3,7867$$

4,3898 < 3,7867...Tidak Ok !!!

Dan,

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \cdot C_u.$$

Waktu Getar Alami Struktur Pada ETABS (T_c) < T_a

$$4,3039 < 0,0731 \times 123,3^{0,75} \times 1,4 = 3,7867$$

4,3039 < 3,7867...Tidak Ok !!!

Waktu getar alami struktur tidak memenuhi syarat batas, maka struktur Apartemen Tower C Menggunakan *x-Bracing* arah sumbu x dan y tidak memiliki kekakuan yang cukup.

3. KESIMPULAN

Dari analisis respon struktur bangunan 32 lantai Apartemen Tower C Transpark Cibubur dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil yang didapat dari analisis output ETABS. Perbandingan nilai gaya geser dasar yang bekerja pada penggunaan *shear wall* lebih besar dari pada penggunaan *x-bracing*.
2. Model struktur menggunakan *shear wall* merupakan model struktur yang efektif, karena nilai simpangan antar lantai arah sumbu X dan sumbu Y pada penggunaan

shear wall lebih kecil dibandingkan model struktur *x-bracing* dalam menahan beban lateral.

3. Waktu getar alami struktur pada penggunaan *x-bracing* semakin berkurang, karena penggunaan struktur *x-bracing* pada Apartemen Tower C akan menambah kekakuan pada bangunan tersebut. Sedangkan Waktu getar alami struktur pada penggunaan *shear wall* pada model asli struktur bangunan mempunyai kekakuan yang cukup.

4. DAFTAR PUSTAKA

- Andar, Jhonson. Harianja, R.A, Zaluku, 2012. *Efektifitas Penggunaan Bracing Pada Portal Bertingkat Asimetris*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 1989. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*, SNI 03-1727-1989. Jakarta : BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013*. Jakarta : BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa SNI 03-1726-2002*. Jakarta : BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 03-1726-2002*. Jakarta : BSN.
- Gloria, Santi. Hutahaeen, Aswandy, 2016. *Kajian Pemakaian Shear Wall dan Bracing Pada Gedung Bertingkat*, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Manlip, H. Kumaat, E.J. Runtu, F.I, 2015. *Penempatan Dinding Geser Pada Bangunan Beton Bertulang Dengan Analisa Pushover*, Jurusan Teknik Sipil, Pasca Sarjana, Unsrat Manado.
- Pedoman Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung. 1987. Departemen Pekerjaan Umum PPIUG-1987.
- Ridwan, Mhd. 2012. *Struktur Beton Bertulang*, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang.
- Schodek, Daniel L. 1991. *Struktur Edisi Pertama*. PT. Eresco. Bandung.

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG PUSAT PERDAGANGAN KULINER KOTA BUKITTINGGI

Khairul Anwar¹, Astuti Masdar², Umar Khatab³

¹Mahasiswa Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh, Payakumbuh.
Email: khairulanwar290796@gmail.com

²Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh, Payakumbuh.
Email: astuti_masdar@yahoo.com

³Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh, Payakumbuh.
Email: marel@yahoo.com

ABSTRACT

Bukittinggi City is a tourist city in the Province of West Sumatra. Besides being known for its beautiful nature, Bukittinggi City is also known for its delicious culinary and distinctive handicrafts that are much in demand by tourists. So far there has not been a representative building that provides culinary and craft services in one area. Therefore it is necessary to plan a Trade and Culinary Center Building to support tourism in the city of Bukittinggi. This paper presents the structure design of the Trade and Culinary Center Building using reinforced concrete structures. The structure component includes plates, beams and columns. The design carried out refers to PPIUG 1983 and SNI 1727-2013 for loading, while for the calculation of concrete structures refer to SNI 2847-2013. Meanwhile the calculation of earthquake loading refers to SNI 1726 - 2013. Structural analysis is calculated using Structure Analysis Program. The quality of concrete used is 25 MPa, while the quality of the main reinforcing steel used is 400 MPa. Based on the calculation, the thickness of the roof plate and floor plate are 10 cm and 12 cm, respectively. Meanwhile the dimensions of the joist, longitudinal beam the transverse beam respectively 25/40, 40/75 and 30/60 in units of cm. While the dimensions of the ground floor column, floors 1 to 3 and floor 4 are 70/70, 60/60 and 50/50, respectively, in centimeters. Cross-sectional capacity is checks for carrying capacity, so structure's capacity is known. Furthermore, the cross-section capacity of structural components is checked to ensure the level of security of the structure..

Keywords : design, structure, concrete, reinforced concrete, dimensions

ABSTRAK

Kota Bukittinggi merupakan kota wisata yang berada di Provinsi Sumatera Barat. Selain dikenal dengan alamnya yang indah, Kota Bukittinggi juga dikenal dengan kulinernya yang lezat serta kerajinan khas yang banyak diminati oleh wisatawan. Selama ini belum ada gedung yang representatif yang menyediakan layanan kuliner dan kerajinan dalam satu area. Oleh karena itu perlu direncanakan sebuah Gedung Pusat Perdagangan dan Kuliner untuk menunjang pariwisata di Kota Bukittinggi. Pada makalah ini disajikan perencanaan struktur Struktur Gedung Pusat Perdagangan dan Kuliner menggunakan struktur beton bertulang. Desain komponen struktur direncanakan meliputi pelat, balok dan kolom. Perencanaan yang dilakukan mengacu kepada PPIUG 1983 dan SNI 1727 - 2013 untuk pembebanan, sedangkan untuk perhitungan struktur beton mengacu kepada SNI 2847-2013. Dan perhitungan pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726 - 2013. Analisa struktur dihitung menggunakan program aplikasi analisis struktur. Mutu beton yang digunakan yaitu 25 MPa, sedangkan mutu baja tulangan utama yang digunakan yaitu 400 MPa. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan maka didapat tebal pelat atap dan pelat lantai masing-masingnya adalah 10 cm dan 12 cm. Sementara itu dimensi balok anak, balok induk arah memanjang, balok induk arah melintang masing-masingnya adalah 25/40, 40/75 dan

30/60 dalam satuan cm. Sedangkan dimensi kolom lantai dasar, lantai 1 sampai 3 dan lantai 4 masing-masingnya adalah 70/70, 60/60 dan 50/50 dalam satuan cm. Selanjutnya, kapaitas penampang komponen struktur di cek untuk memastikan tingkat keamanan strukturnya.

Kata Kunci : perancangan, struktur, beton, beton bertulang, dimensi

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bukittinggi adalah salah satu kota yang berada di Provinsi Sumatera Barat, merupakan daerah yang berkembang di sektor pariwisatanya. Terlihat dari banyak tempat wisata yang ada di Kota Bukittinggi seperti taman megasatwa ayam kinantan, jam gadang, panorama alam dan lain-lainnya. membuat para wisatawan dalam maupun luar negeri rela menghabiskan waktu dan uang hanya untuk menikmati semua itu. Disamping itu pariwisata memiliki peran besar dalam mengurangi kemiskinan, dengan memberikan dampak ekonomi pada komunitas dan masyarakat yang paling terpinggirkan dalam masalah ekonomi.

Pariwisata telah berperan nyata dalam memberikan distribusi terhadap kehidupan sosial masyarakat, ekonomi, budaya, kesempatan kerja, serta dapat memperkokoh keutuhan bangsa. Sektor pariwisata Kota Bukittinggi merupakan penyumbang devisa yang signifikan bagi Bukittinggi. Pada tahun 2017 jumlah kunjungan wisatawan di Kota Bukittinggi baik wisatawan asing maupun domestik telah tercatat sebanyak 166.017 wisatawan (BPS: Bukittinggi dalam angka 2017).

Semakin meningkatnya wisatawan yang datang ke Bukittinggi, perlu diiringi dengan banyaknya tempat-tempat pendukung bagi wisatawan, seperti penginapan, pusat perbelanjaan, pusat kuliner dan lain-lainnya. Kesemua fasilitas terkait dengan pariwisata tersebut membutuhkan akses yang mudah agar wisatawan merasa nyaman dan tidak perlu menghabiskan waktu untuk pindah dari satu tempat ke tempat lain untuk mencari yang mereka inginkan. Oleh karena itu diperlukan tempat untuk beristirahat, belanja dan tempat kuliner yang aman dan dekat dengan tempat wisata tersebut.

2. DASAR PERANCANGAN STRUKTUR

Perancangann struktur merupakan unsur paling penting dalam pembngunan karena perancanganstruktur bertujuan untuk menghasilkan suatu struktur yang stabil, cukup kuat, awet dan memenuhi tujuan-tujuan yang lainnya seperti ekonomi dan kemudahan pelaksanaan pekerjaan. Suatu struktur disebut stabil bila stuktur tersebut tidak mudah tergulig, miring atau tergeser selama umur bangunan yang telah direncanakan. Suatu struktur dikatakan cukup kuat bila kemungkinan terjadi kegagalan struktur dan kehilangan kemampuan layan selama umur rencana adalah kecil dan dalam batas yang diterimanya. Suatu struktur dikatakan awet bila struktur tersebut dapat menerima beban selama umur bangunan yang direncanakan tanpa pemeliharaan berlebihan. Kombinasi pembebnan yang diaplikasikan dalam perancangan ditetapkan berdasarkan SNI 1726 Tahun 2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung sebagaimana di jelaskan pada uraian berikut ini.

1. $1,4 D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$

4. $1,2D + 1,0W + L + 0.5 (Lr \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0E + L$
6. $0.9D + 1,0W$
7. $0.9D + 1,0E$

dengan D adalah beban mati, L adalah beban Hidup, R adalah beban hujan, Lr adalah beban hidup reduksi, W adalah beban angin dan E adalah beban gempa.

2.1 Komponen struktur

- **Pelat**

Tebal pelat dengan balok sepanjang tumpuan pada setiap sisi pelat harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- a. untuk $am < 0,2$ harus menggunakan 9.5.3.2 (menggunakan tabel 9.5.c)
- b. untuk $0,2 \geq am \leq 2,0$ ketebalan minimum pelat harus tidak boleh kurang dari Pelat dua arah

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(am - 0,2)}$$

Dan juga tidak boleh kurang dari 125mm

- c. untuk $am \geq 2$ ketebalan minimum pelat harus tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm

dimana :

ln = Panjang bentang bersih pada arah memanjang dari konstruksi dua arah, yang diukur dari muka kemuka tumpuan pada pelat tanpa balok

f_y = Tegangan leleh

β = Rasio bentang berih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat

am = Nilai rata – rata dari a untuk sebuah balok pada tepi dari semua panel

a = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis panel bersebelahan.

- **Balok**

Perhitungan tulangan lentur

$$M_u = \frac{M_n}{\phi}$$

$$R_n = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \times \frac{6000}{600 + f_y}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

Jika, $\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{maks}$

Maka digunakan ρ

Jika, $\rho \leq \rho_{min} \leq \rho_{maks}$

Maka digunakan ρ_{min}

Apabila $\rho_{perlu} \geq \rho_{max}$ Maka :

Dimensi balok diperbesar

Penggunaan tulangan rangkap.

Periksa Kebutuhan tulangan rangkap

Jika $(M_n - M_{nc}) > 0$, maka perlu tulangan rangkap :

$$C_s = T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{d - d'}$$

$$f_s' = \frac{X - d}{X} \times 600$$

Jika $f_s' > f_y$, maka tulangan tekan leleh ($f_s' = f_y$)

Jika $f_s' < f_y$, maka tulangan tekan tidak leleh

Perhitungan tulangan geser

$$\phi V_n = V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$V_s = 0,33 \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$\phi V_c = 0,6 \times V_c$$

$$V_n = 0,83 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \text{ (batas atas kapasitas geser)}$$

Syarat penulangan geser balok $(V_u - \phi V_c) > 0,67bwd$

Bila $V_u < 0,5\phi V_c$ → tidak memerlukan sengkang

Bila $0,5\phi V_c < V_u < \phi V_c$ → gunakan tulangan minimum

Bila $(V_u - \phi V_c) < 0,6bwd$ → hitung V_s

Bila $(V_u - \phi V_c) < 0,67bwd$ → ukuran penampang diperbesar

Spasi tulangan geser balok

$d/4$

8 diameter tulangan longitudinal terkecil

24 diameter sengkang

300 mm

$d/2$

- **Kolom**

Kekuatan Nominal Kolom Berdasarkan SNI 03-2847-2013 kuat tekan rencana $\phi.P_n$ dari komponen tekan, tidak boleh diambil lebih besar dari ketentuan berikut:

Untuk komponen struktur non-pratekan dengan tulangan spiral:

$$\phi P_{nmaks} = 0,80 \times \phi [0,85 \times f_c (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}]$$

Untuk komponen struktur non pratekan dengan sengkang pengikat:

$$\phi P_{nmaks} = 0,80 \times \phi [0,85 \times f_c (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}]$$

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Perencanaan

Tipe Bangunan	: Gedung
Letak Bangunan	: Kota Bukittinggi
Lebar Bangunan	: 22 Meter
Panjang Bangunan	: 20 Meter
Jumlah Lantai Bangunan	: 5 Lantai
Tinggi Tiap Lantai	: 4 meter
Mutu Beton (fc')	: 25 MPa
Mutu Baja (fy)	: 400 MPa
Mutu Baja Sengkang (fy)	: 240 MPa

3.2 Data Pembebanan

Berat Beton Bertulang	: 2400 kg/m ³
Air Hujan	: 1000 kg/m ³
Spesi / Plesteran	: 21 kg/m ³
Pasangan ½ Bata	: 250 kg/m ³
Keramik	: 24 kg/m ³
Instalasi M&E	: 25 kg/m ³
Beban Hidup Lantai	: 500 kg/m ³
Beban Hidup Atap	: 100 kg/m ³
Beban Hidup lantai typical	: 500 kg/m ³
Faktor reduksi beban hidup	: 0,8

3.3 Beban Gempa

Dalam perencanaan ini beban gempa menggunakan analisa respons spektrum dengan jenis daya dukung tanah lunak, hasil perhitungan dapat dilihat dalam Tabel 1:

Tabel 6. Parameter Respons Spektrum

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
----------	-------	----------	-------

PGA (g)	0.611	PSA (g)	0,55
SS (g)	1.525	SMS (g)	1,374
S1 (g)	0.606	SM1 (g)	1,453
CRS	1.003	SDS (g)	0,915
CR1	0.938	SD1 (g)	0,969
FPGA	0.9		0,212
FA	2.4		1,059
FV			

3.4 Dimensi dan Penulangan

Balok

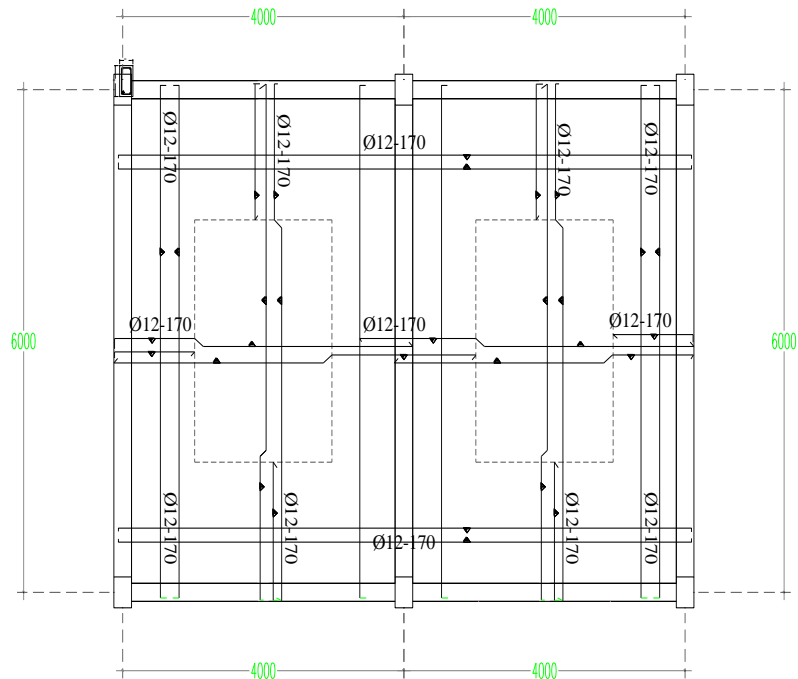
Perencanaan balok dilakukan dengan melakukan asumsi terlebih dahulu, setelah asumsi dilakukan permodelan dengan menggunakan SAP v14. Hasil reaksi dan gaya oleh SAP v14 akan dilakukan perhitungan penulangan menggunakan rumus sehingga didapatkan jumlah tulangan balok seperti yang disajikan dalam Tabel 2:

Tabel 2. Hasil perhitungan penulangan balok

Demensi Balok	Tulangan Tumpuan		Tulangan Lapangan	
	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan
40 x 75	9 bh	5 bh	8 bh	4 bh
30 x 60	3 bh	2 bh	3 bh	2 bh
30 x 60	5 bh	3 bh	3 bh	2 bh
30 x 60	4 bh	2 bh	3 bh	2 bh
25 x 40	6 bh	3 bh	4 bh	2 bh

Pelat

Pada perhitungan pelat didapatkan tebal pelat atap 100 mm dengan menggunakan tulangan Ø 10. Dengan jarak tulangan lapangan arah x sebesar 200 mm, jarak tulangan lapangan arah y sebesar 200 mm, jarak tulangan tumpuan arah x sebesar 150 mm dan jarak tulangan tumpuan arah y sebesar 150 mm, Pada pelat lantai typical dengan ketebalan 120 mm dengan menggunakan tulangan Ø 12. Dengan jarak tulangan lapangan arah x sebesar 200 mm, jarak tulangan lapangan arah y sebesar 200 mm, jarak tulangan tumpuan arah x sebesar 170 mm dan jarak tulangan tumpuan arah y sebesar 170 mm. Penulangan pelat pada gedung pusat perdagangan dan kuliner Kota Bukittinggi diajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Penulangan Pelat

Kolom

Perencanaan kolom dilakukan dengan melakukan asumsi terlebih dahulu, setelah asumsi dilakukan permodelan dengan menggunakan SAP v14. Hasil reaksi dangaya oleh SAP v14 akan dilakukan perhitungan penulangan menggunakan rumus sehingga didapatkan jumlah tulangan kolom seperti yang disajikan dalam Tabel 4.3

Tabel 3. Penulangan Kolom

No.	Tulangan Utama	Tulangan Sengkang	
		Tumpuan	Lapangan
70 x 70	16D22	Ø10-100	Ø10-150
60 x 60	12D22	Ø10-100	Ø10-150

50 x50

8D22

Ø10-100

Ø10-150

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan serta perhitungan struktur yang dilakukan, maka didapat hasil sebagai berikut:

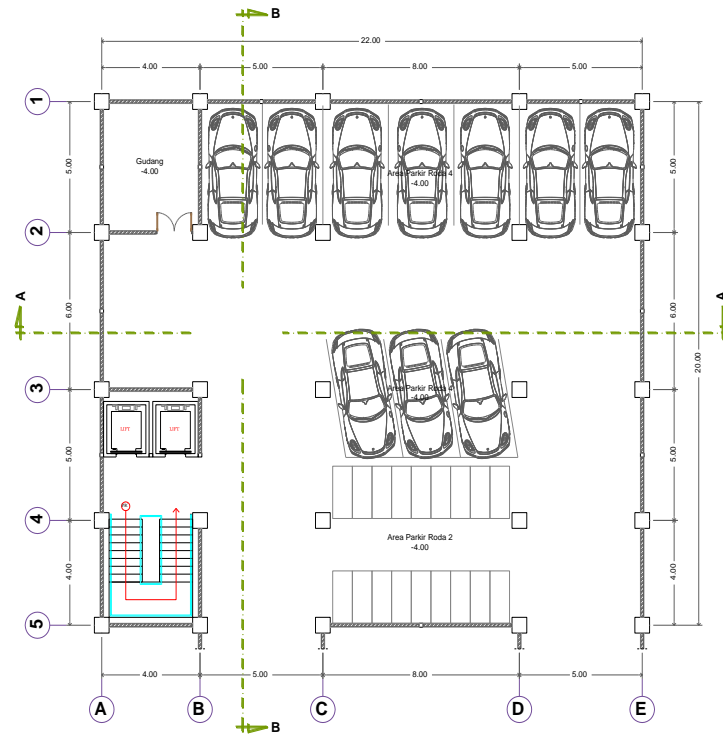
1. Pada perencanaan gedung pusat perdagangan dan kuliner ini menggunakan mutu beton sebesar 25 MPa dan dengan mutu baja tulangan utama sebesar 400 MPa dan untuk baja tulangan sengkang dan pelat lantai sebesar 240 MPa.
2. Dimensi komponen struktur gedung yang direncanakan adalah sebagai berikut:

Tebal pelat atap (h)	= 100 mm
Tebal pelat lantai (h)	= 120 mm
Dimensi balok Induk memanjang bentang 8 meter	= 40/75 cm
Dimensi balok Induk memanjang bentang 5meter	= 30/60 cm
Dimensi balok Induk melintang bentang	= 30/60 cm
Dimensi balok Anak	= 25/40 cm
Dimensi kolom lantai dasar	= 70/70 cm
Dimensi kolom lantai 1- 3	= 60/60 cm
Dimensi kolom lantai 4	= 50/50 cm
3. Pada masing masing komponen struktur dilakukan pengecekan kapastas penampang untuk mengetahui apakah penampang yang direncanakan sesuai dengan dibutuhkan dimana $M_n > M_u$.

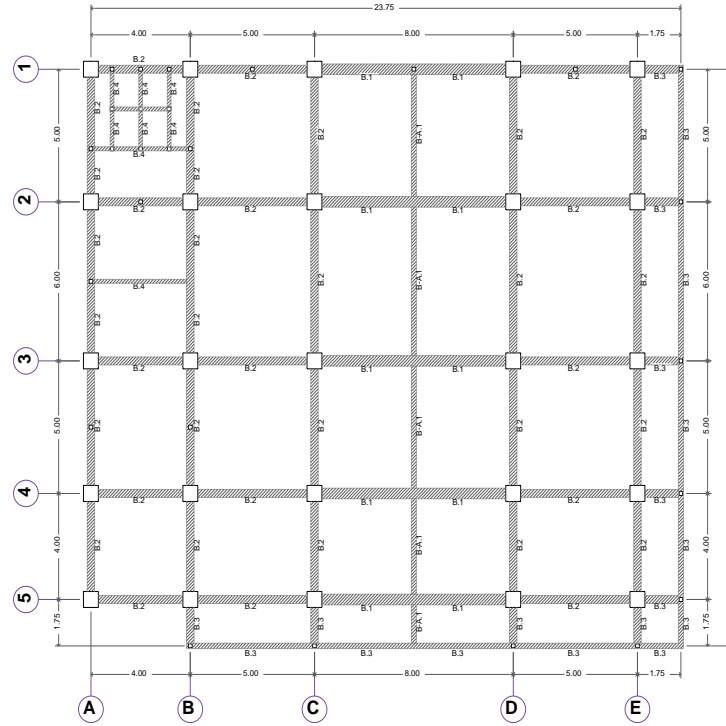
5. DAFTAR PUSTAKA

- Asroni Ali. 2010. *Kolom Fondasi dan Balok T Beton Bertulang*: Yogyakarta. Graha Ilmu.
- Asroni Ali. 2010. *Balok dan Pelat Beton bertulang*: Yogyakarta. Graha Ilmu.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Kota Bukittinggi dalam Angka 2017*.BPS Kota Bukittinggi.
- Badan Standarisasi Nasional.1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (PPIUG)*.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2013*.
- Badan Standarisasi Nasional,.2003. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung SNI-1726-2012*
- Badan Standarisasi Nasional ,2003. *Beban minimum untuk perencnsaan untuk bangunan gedung dan struktur lain SNI-1727-2013*

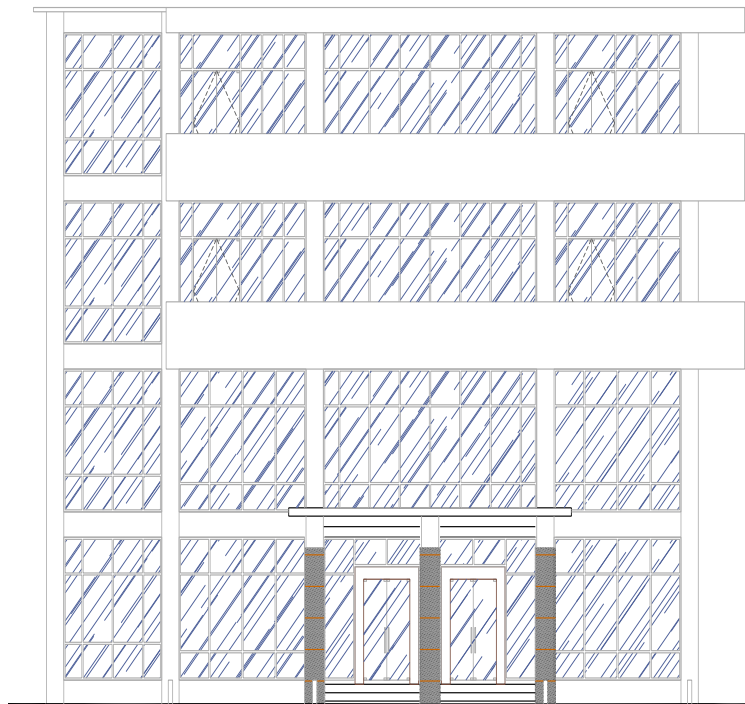
6. LAMPIRAN



Gambar 2. Denah Lantai Dasar



Gambar 3. Denah balok



Gambar 4. Tampak Depan

PENGARUH DIAMETER BOUT TERHADAP KUAT TUMPU PELAT SAMBUNG PAPAN LAMINASI BAMBUPETUNG (DENDROCOLAMUS ASPER)

Astuti Masdar¹, Noviarti², Ridha Sari³

¹Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh, Payakumbuh.

Email: astuti_masdar@yahoo.com

²Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh, Payakumbuh.

Email: r_noviarti@hotmail.com

²Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh, Payakumbuh.

Email: ridhasaridjainar@gmail.com

ABSTRACT

Laminated bamboo board is one form of bamboo laminate products. Laminated bamboo board consists of layers of bamboo in the form of bamboo slats, which are conjoined by glued. Besides as a non structural component, bamboo laminated boards can be used as structural components. One of the uses of laminated bamboo board s as structural components is as a connecting plate in the bamboo truss connection system (Masdar, 2018). The bamboo truss connection system usually used bolts as a connector. The mechanical characteristics associated with bolts on the bamboo truss system are the bearing strength of laminated bamboo board. This paper presents the effect of bolt diameter on the strength of the laminated bamboo board. The main material used on laminated bamboo board is bamboo petung (dendrocolamus asper). The thickness of the laminated bamboo board used as a connecting plate is 2 cm, while the bolt variations on the bearing strength test of the laminated bamboo board are diameter ½ "and ¾". Based on the results of the bearing strength test, it is known that the bearing strength of laminated bamboo board with bolts diameter ½ "and ¾" are 46.88 MPa and 37.97 MPa respectively. It can be concluded that the diameter of the bolt influenced the bearing strength of the laminated bamboo board where the bolts with a diameter of ½ "in the thickness of the bamboo laminate board 2 cm produce a greater bearing strength than the bolt diameter ¾".

Keywords : bamboo, laminated bamboo board, bearing strength, bolt, diameter

ABSTRAK

Papan laminasi bambu merupakan salah satu bentuk dari produk laminasi bambu. Papan laminasi ini terdiri dari lapisan-lapisan bambu yang berbentuk bilah atau galar yang digabungkan dengan cara direkatkan. Selain sebagai komponen non structural, papan laminasi bambu dapat digunakan sebagai komponen struktural. Salah satu kegunaan papan laminasi bambu sebagai komponen struktural adalah sebagai pelat sambung pada sistem sambungan rangka batang bambu.(Masdar, 2018). Sistem sambungan rangka batang bambu biasanya menggunakan baut sebagai alat sambung. Karakteristik mekanik yang terkait dengan baut pada system sambungan rangka batang bambu adalah kuat tumpu pelat sambung papan laminasi bambu. Makalah ini menyajikan pengaruh diameter baut terhadap kuat tumpu papan laminasi bambu. Bahan utama yang digunakan pada papan laminasi bambu adalah bambu petung (dendrocolamus asper). Tebal papan laminasi bambu yang digunakan sebagai pelat sambung adalah 2 cm, sementara itu variasi baut pada pengujian kuat tumpu papan laminasi bambu adalah diameter ½" dan ¾". Berdasarkan hasil pengujian kuat tumpu diketahui bahwa kuat tumpu pelat sambung papan laminasi bambu dengan diameter baut ½" dan ¾" masing-masingnya adalah 46,88 MPa dan 37,97 MPa. Dapat disimpulkan bahwa diameter baut mempengaruhi kuat tumpu papan laminasi dimana baut

dengan diameter ½” pada ketebalan papan laminasi bambu 2 cm menghasilkan kuat tumpu yang lebih besar dari pada baut dengan diameter ¾”.

Kata Kunci : bamboo, papan laminasi bambu, kuat tumpu, baut, diameter

1. PENDAHULUAN

Kondisi hutan Indonesia saat ini semakin buruk karena eksploitasi, pembalakan liar dan kebakaran hutan yang kerap terjadi di beberapa wilayah hutan di Indonesia. Sebagian besar industri, baik industri domestik maupun internasional, seperti industri pulp dan kertas, pemasok kayu konstruksi belum membuat perkebunan yang diperlukan untuk menyediakan pasokan yang aman bagi mereka. Kondisi ini menyebabkan eksploitasi besar-besaran terjadi pada hutan yang menimbulkan dampak negatif terhadap kelestarian hutan dan keseimbangan alam. Pemamfaatan bambu yang dapat menggantikan peran kayu merupakan salah satu solusi untuk mengatasi masalah lingkungan yang terjadi akibat penebangan kayu di hutan tersebut.

Bambu merupakan tanaman yang mempunyai banyak manfaat untuk kehidupan manusia. Batang bambu yang masih muda dapat dijadikan bahan makanan, serat bambu dapat dimanfaatkan untuk berbagai produk termasuk pakaian dan bahan baku pembuatan kertas. Sedangkan batang bambu yang telah tua dapat digunakan sebagai bahan konstruksi. Pertumbuhan tanaman bambu sangat cepat, dimana dapat mencapai tinggi 15-18 m dalam waktu 4-6 minggu sedangkan kayu membutuhkan waktu pertumbuhan selama 1 tahun (Akinlabi, dkk, 2017). Sebagai bahan konstruksi, bambu merupakan material yang ramah lingkungan karena dapat diperbaharui dengan siklus yang singkat yaitu 3-5 tahun, sedangkan kayu baru dapat dimanfaatkan sebagai bahan struktur pada umur lebih kurang 40 tahun (Morisco, 2000). Beberapa kegunaan bambu pada sektor konstruksi adalah pada jembatan, perancah, komponen struktur bangunan, turbin, panel dinding termasuk badan truk sepeda dan perabot (Sharma, 2014).

Bambu dapat dimanfaatkan sebagai bahan pada komponen struktur seperti balok, kolom dan struktur rangka batang, sedangkan pada struktur rangka batang bambu biasanya diaplikasikan sebagai batang untuk rangka atap dan jembatan. Pelat sambung atau pelat buhul pada struktur rangka batang biasanya menggunakan bahan dari pelat baja. Penggunaan pelat baja ini menjadikan struktur rangka batang bambu menjadi mahal pada sambungannya. Upaya untuk mengembangkan system sambungan struktur rangka batang bambu yang menggunakan pelat sambung selain baja dilakukan oleh Davies (2008) yang menggunakan bahan plywood sebagai pelat sambung dengan alat sambung baut, Misra (1988) yang menggunakan bahan plywood sebagai pelat sambung dengan alat sambung paku dan Masdar (2015) yang menggunakan papan kayu sebagai pelat sambung dengan baut sebagai alat sambung. Pada penelitian ini dikembangkan penggunaan papan laminasi bambu sebagai pelat sambung dengan baut sebagai alat sambung. Lebih lanjut diameter baut yang digunakan pada sistem sambungan divariasikan karena pada pengaplikasiannya kemungkinan penggunaan baut tidak terlepas pada satu jenis diameter baut saja. Diharapkan dalam pemilihan diameter baut pada pelat sambung papan laminasi bambu sesuai dengan kebutuhan dan menghasilkan sistem sambungan yang kuat.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Material

Material yang digunakan pada benda uji terdiri dari bambu petung dan baut. Jenis bambu yang digunakan sebagai bahan laminasi pada penelitian ini adalah bamboo petung (*dendrocolamus asper*) dari Dusun Margoagung Kecamatan Seyegan, Kabupaten Sleman, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Bambu Petung yang digunakan sebagai bahan pembuat laminasi mempunyai diameter rata-rata 100 mm dan umur antara 3 – 5 tahun. Bahan bambu petung tersebut dibentuk menjadi bilah bambu dan dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan papan laminasi bambu. Baut yang digunakan pada sistem sambungan papan laminasi bambu terdiri dari 2 variasi yaitu 1) baut dengan diameter 1/2” dan 2) baut dengan diameter 3/4”.

2.2. Persiapan benda uji

Benda uji dibuat dari papan laminasi bambu yang memiliki lapisan bilah dengan dua arah sumbu utama yaitu sejajar serat dan tegak lurus serat sebagaimana disajikan pada Gambar 1. Benda uji sifat fisik bambu yaitu kadar air dan kerapatan bambu dibuat berdasarkan standar ISO N22157-1 2004 yaitu standar untuk pembuatan benda uji bambu untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik bambu. Pengujian kadar air pada bambu diperlukan untuk memastikan bahwa material bambu yang akan digunakan sebagai specimen sudah dalam kondisi dengan kadar air yang relatif sama atau tidak mempunyai perbedaan yang signifikan. Pengujian sifat mekanik dilakukan untuk mengetahui kuat tumpu bambu dengan variasi diameter baut dengan proses pembuatan benda uji. Benda uji kuat tumpu papan laminasi bamboo diadopsi dari ASTM D5764-2002: *Standart Test Method for Evaluating Dowel-Bearing Strength of Wood and Wood-base Product*: Annual Book of ASTM Standart Vol 04.10. dengan ketebalan mengikuti ketebalan papan laminasi bambu.

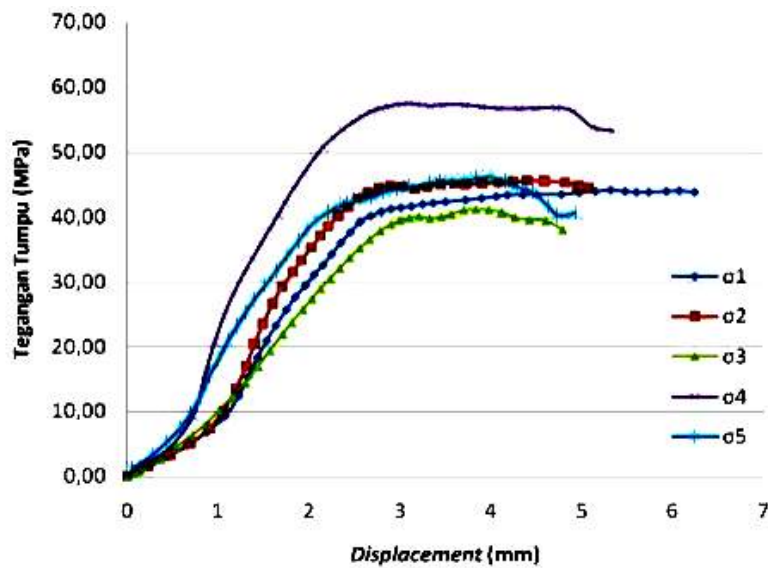


Gambar 1. Papan laminasi bamboo dengan dua arah sumbu utama: sejajar serat dan tegak lurus serat

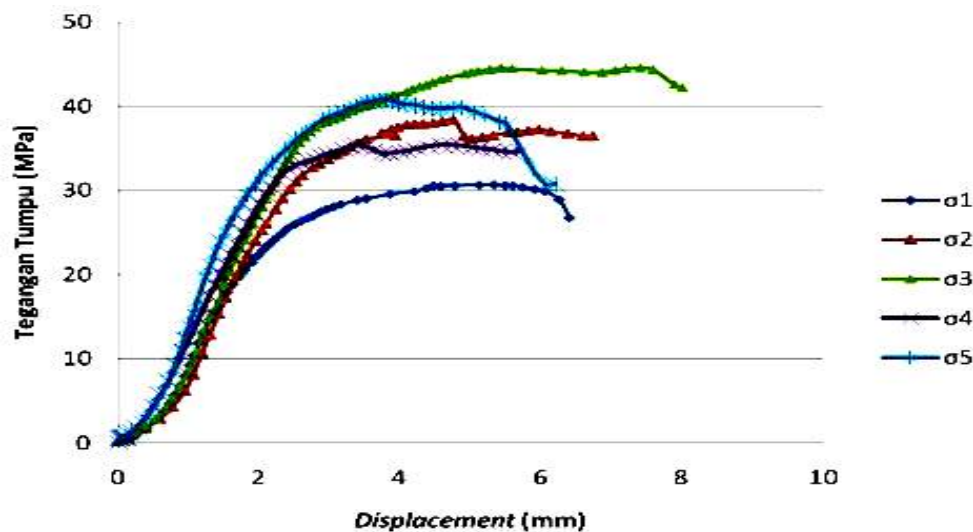
Pengujian kuat tumpu papan laminasi bambu dilakukan di Laboratorium Struktur Departemen Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada menggunakan alat Flekxural Testing Machine. Setting up pengujian kuat tumpu papan laminasi bambu. Pengujian kuat tumpu dilakukan dengan memberikan beban secara tekan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat tumpu kayu adalah kekuatan maksimum yang dapat dicapai kayu dimana pada kayu terjadi kegagalan tumpu sebesar 5% diameter baut. Hasil pengujian kuat tumpu papan laminasi bambu dengan variasi baut $\frac{1}{2}$ " dan $\frac{3}{4}$ " disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3. dan Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1., didapatkan nilai kuat tumpu kayu pada masing-masing benda uji. Hasil pengujian menunjukkan nilai kuat tumpu terkecil terjadi pada benda uji papan laminasi bambu petung dengan diameter baut $\frac{3}{4}$ inci sementara pada benda uji dari papan laminasi bambu petung dengan diameter baut $\frac{1}{2}$ inci mempunyai nilai kuat tumpu yang lebih besar dibandingkan dengan benda uji pelat sambung dari papan laminasi bambu petung dengan diameter baut $\frac{3}{4}$ inci. Hal ini disebabkan kontribusi kerusakan yang disebabkan oleh besarnya diameter baut. Kerusakan yang terjadi pada pengujian kayu disajikan pada Gambar 4.



Gambar 2. Grafik hubungan kuat tumpu dengan displacemen yang terjadi pada papan laminasi bambu petung menggunakan baut diameter $\frac{1}{2}$ inci



Gambar 3. Grafik hubungan kuat tumpu dengan displacemen yang terjadi pada papan laminasi bambu petung menggunakan baut diameter $\frac{3}{4}$ inci

Tabel 1. Hasil Pengujian kuat tumpu sejajar serat kayu

No.	Benda Uji	Jumlah sampel	σ tumpu (MPa)	
			Kisaran	Rerata
1.	Kuat tumpu papan laminasi bambu dengan diameter baut 1/2"	5	41,15-57,43	46,88
2.	Kuat tumpu papan laminasi bamboo dengan diameter baut 3/4"	5	30,64-44,57	37,97

**Gambar 4. Kerusakan yang terjadi pada benda uji kuat tumpu papan laminasi bambu**

Gambar 4 menyajikan berbagai jenis kerusakan yang terjadi pada benda uji dengan berbagai bentuk kerusakan. Pada umumnya kerusakan terjadi pada bagian luar lapisan laminasi. Dari 4 lapis lapisan laminasi yang terdiri dari dua lapisan/layer horizontal dan 2 lapisan/layer vertikal diketahui bahwa kerusakan terbanyak terjadi pada lapisan/layer laminasi bambu vertikal dimana gaya yang bekerja tegak lurus terharap arah serat bambu.

4. KESIMPULAN

Diameter baut berpengaruh terhadap kuat tumpu pelat sambung papan laminasi bambu. Pada papan laminasi bambu dengan ketebalan 2 cm dan jumlah layer adalah 4 layer yang disusun selang seling vertikal-horizontal diketahui diameter baut 1/2" menghasilkan kuat tumpu yang lebih besar daripada baut dengan diameter 3/4". Sementara bentuk kerusakan yang terjadi didominasi dengan kerusakan pada lapisan/layer laminasi bambu horizontal dimana gaya yang bekerja tegak lurus terharap arah serat bambu. Pada lapisan laminasi horizontal kerusakan terjadi dengan terlepasnya lapisan bambu luar dengan lapisan didalamnya. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dalam penggunaan pelat sambung papan laminasi bambu harus mempertimbangkan ketebalan papan dan diameter baut yang digunakan pada sistem sambungan.

5. REFERENSI

Masdar, A., Siswosukarto, S., Noviarti and Suryani, D. 2019. *Implementation of Connection System of Wooden Plate and Wooden Clamp on Joint Model of Bamboo Truss Structure*. International Journal of GEOMATE, Vol. 17, Issue 59

- Akinlabi E. T., Fenin K.A., and Akwada D.R.. 2017. *Bamboo The Multi-Purpose Plant*. Springer International Publishing.
- Morisco. 2000. *Rekayasa Bambu*, Nafiri Offset, Yogyakarta
- Sharma, B., Gato, A. Mulligan, H. dan Ramage, M. 2014. *Engineered bamboo: state of the art. Proc Inst Civil Eng.* doi:10.1680/coma.14.00020
- Davies, C. 2008. *Bamboo Connections*. The Department of Architecture and Civil Engineering. Bath: The University of Bath.
- Mishra, H. N. 1988. *Know How of Bamboo House Construction. Proceedings of the International Bamboo Workshop*. Cochin, India; 14-18 November 1988.
- Masdar A., Suhendro B., Siswosukarto S., and Sulisty J., 2015. *The Study of Wooden Clamp for Strengthening of Connection on Bamboo Truss Structure*. Jurnal Teknologi (Sciences Engineering), Vol. 72, Issue 5.
- ISO N22157. 2014. *Bamboo-Determination of Physical and Mechanical Properties, Laboratory Manual*.
- American Society of Mechanical Engineer. 2002. *ASTM D5764: Standard Test Method for Evaluating Dowel-bearing Strength of Wood and Wood-based Products*. Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.10., West Conshohocken, PA, USA.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih atas pendanaan penelitian ini oleh Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti) melalui Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Nomor Kontrak 063/L10/AK.04/KONTRAK-PENELITIAN/2019 dan juga semua pihak-pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

EVALUASI KINERJA STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN ANALISIS PUSHOVER (STUDI KASUS GEDUNG FISIP UNJANI CIMAHI)

Asri Yuda Trinanda¹, Widiawati Purba², Febrian Hayat³

1,2Dosen Fakultas Teknik UPI-YPTK Padang Sumatera Barat, Indonesia

Email: asriyuda93@gmail.com widiawatipurba84@gmail.com

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UPI-YPTK, Padang.

Email: pebrianhayat@gmail.com

ABSTRACT

One of the influential factors in building structure planning is the strength of the building structure, which is related to the security and resilience of the building in holding or receiving loads that work on the structure. It is very necessary to ensure and analyze the feasibility of the FISIP Unjani Cimahi building with the goal of finding out the building structure performance level. The location of building is in the area passed by the Lembang fault, on soft ground, and with full ductility. The buildings with high ductility, needs to be designed with a Special Moment Resisting Frame System (SRPMK) to anticipate earthquake effect, because this system has high flexibility. Pushover analysis is performed with structure-based planning software (SAP2000) and cross-section analysis using the Reinforced Concrete Cross Section Analysis (RCCSA) program. The results showed that the performance level of the building structure according to the ATC-40 capacity spectrum method was at the Life Safety level. The level of structural stiffness decreases but still has a sizable threshold for collapse. This structure is safe to use after the building repaired. Further analysis, it can be seen that the initial damage occurred to the beam. These results are in accordance with the planning principle of Strong Column Weak Beam.

Keywords: pushover, ductility, plastic joints, performance level

ABSTRAK

Salah satu faktor yang berpengaruh dalam perencanaan struktur bangunan adalah kekuatan struktur bangunan, dimana hal ini terkait dengan keamanan dan ketahanan bangunan dalam menahan atau menerima beban yang bekerja pada struktur. Terkait dengan hal itu, maka sangat perlu untuk memastikan dan menganalisis kelayakan dari gedung FISIP Unjani Cimahi dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kinerja struktur gedung tersebut. Bangunan ini berada pada daerah yang dilewati oleh sesar Lembang, di atas tanah lunak, dengan tingkat daktilitas penuh. Untuk bangunan dengan daktilitas tinggi, pada saat gempa terjadi perlu di desain dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), karena sistem ini memiliki fleksibilitas yang tinggi. Analisis pushover dilakukan dengan perangkat lunak berbasis perencanaan struktur (SAP2000) dan analisis penampang menggunakan program Reinforced Concrete Cross Section Analysis (RCCSA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Tingkat Kinerja Struktur bangunan tersebut menurut metoda spektrum kapasitas ATC-40 yaitu pada level Life Safety. Dimana level ini kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan. Yang artinya struktur tersebut aman untuk digunakan setelah dilakukan perbaikan. Analisis lebih lanjut, dapat dilihat bahwa kerusakan awal terjadi pada balok. Hasil tersebut sesuai dengan prinsip perencanaan Strong Column Weak Beam.

Kata Kunci : pushover, daktilitas, sendi plastis, level kinerja

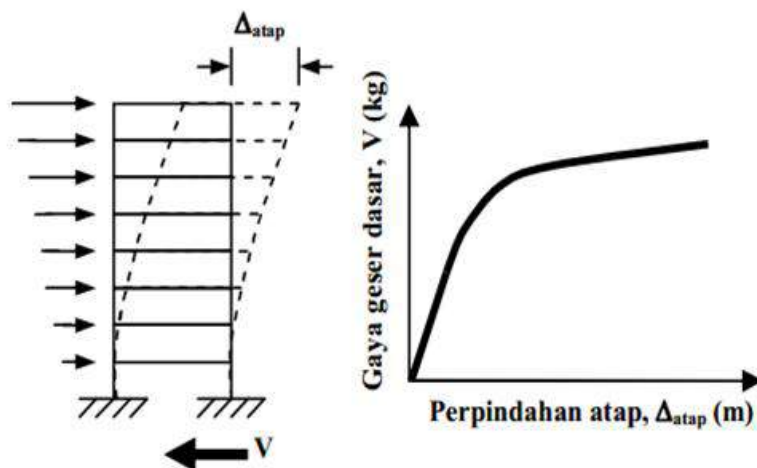
1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan tingkat intensitas kegempaan yang cukup tinggi. Sumber gempa berasal dari lempeng tektonik, sesar aktif dan gunung api. Secara geografis Indonesia merupakan negara pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik. Sehingga hal ini akan berdampak pada kinerja struktur bangunan gedung ketika terjadi gempa. Menurut Pusat Studi Gempa Nasional di Pulau Jawa juga ditemukan 31 sesar yang berpotensi gempa yaitu sesar Cimandiri, sesar Lembang dan sesar Beribis. Gedung FISIP Unjani Cimahi berada pada sesar aktif Lembang sehingga diharapkan level kinerjanya berada pada level *immediate occupancy* (io) dimana jikalau terjadi gempa kuat secara mendadak gedung ini masih dapat berfungsi dan tidak mengalami kerusakan, untuk itu perlu dilakukan evaluasi sesuai dengan tuntutan level kinerjanya.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Pushover Analysis

Analisis beban dorong statik (*static pushover analysis*) adalah suatu cara analisis statik 2 dimensi atau 3 dimensi linier maupun non-linier, dimana pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk elasto-plastis yang besar sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan. Analisis *pushover* akan menghasilkan kurva kapasitas yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar terhadap perpindahan titik acuan.



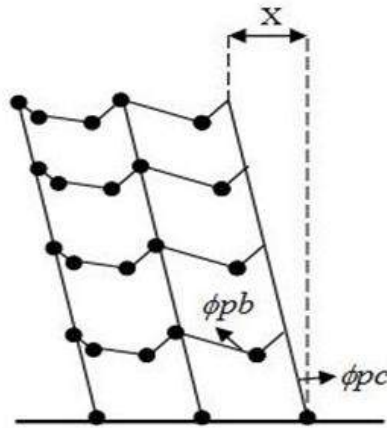
Gambar 1 : Kurva kapasitas

2.2 Mekanisme Keruntuhan

Ada dua tipe mekanisme keruntuhan yang biasa terjadi pada analisis statik sebagai batas analisis, yaitu *beam sway mechanism* dan *column sway mechanism*. *Beam sway mechanism* yaitu pembentukan sendi plastis pada ujung-ujung balok, sedangkan *column sway mechanism*

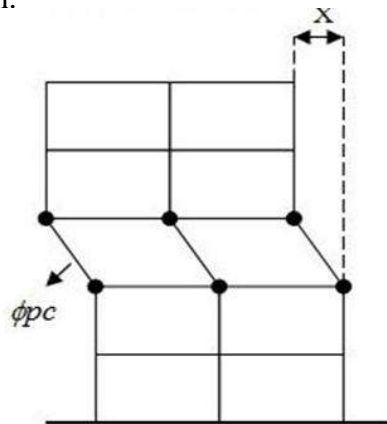
merupakan pembentukan sendi plastis pada kedua ujung baik atas maupun bawah dari elemen struktur vertikal. Dalam perencanaannya, mekanisme keruntuhan yang diharapkan adalah *beam sway mechanism*, hal ini disebabkan beberapa alasan yaitu :

1. Pada *beam sway mechanism*, jumlah sendi plastis terbentuk dalam banyak elemen sehingga energi yang dipancarkan semakin banyak.



Gambar 2 : Mekanisme keruntuhan *Beam Sidesway*

2. Pada *column sway mechanism*, sendi plastis hanya akan terbentuk pada ujung-ujung kolom pada suatu lantai saja, sehingga pemancaran energi hanya terjadi pada sejumlah kecil elemen.



Gambar 3 : Mekanisme keruntuhan *Column Sidesway*

2.3 Daktilitas

Daktilitas merupakan kemampuan struktur berdeformasi pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Faktor daktilitas yaitu rasio antara simpangan maksimum struktur gedung saat mencapai kondisi ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung saat terjadinya pelelehan pertama pada struktur tersebut. Nilai daktilitas didapat melalui perbandingan perpindahan saat runtuh (Δ_{max}) dan perpindahan saat leleh (Δ_{yield}).

$$\mu = \frac{\delta u}{\delta y}$$

μ = daktilitas

δu = *displacement* diambang keruntuhan struktur

δy = *displacement* pada saat leleh pertama


Tabel 1 : Parameter daktilitas struktur

Taraf kinerja struktur gedung	μ	R pers.(6)
Elastik penuh	1,0	1,6
Daktail parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
5,0	8,0	
Daktail penuh	5,3	8,5

2.4 Mekanisme Sendi Plastis

Sendi plastis merupakan kondisi ujung-ujung elemen struktur yang semula kaku atau terjepit sempurna, kemudian berubah menjadi sendi (*pinned*) akibat terjadinya penurunan kemampuan elemen struktur dalam menahan beban-beban yang bekerja. Pemodelan sendi digunakan untuk mendefinisikan perilaku nonlinier *force-displacement* yang dapat ditempatkan pada beberapa tempat berbeda disepanjang bentang balok atau kolom. Sendi diasumsikan terletak pada masing-masing ujung elemen balok dan elemen kolom.

Tabel 2 : Tingkat kerusakan struktur akibat terbentuknya sendi plastis

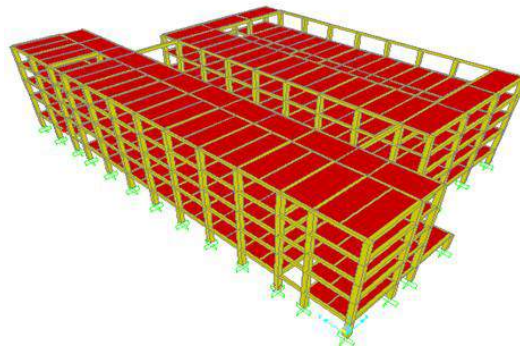
Keterangan	Simbol	Penjelasan
B		Menunjukkan batas elastis pada struktur yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur. Tidak ada kerusakan pada struktur dan non struktural.
IO		Tidak ada kerusakan pada komponen struktur namun hanya kerusakan kecil pada komponen non struktur. Kekuatan dan kekakuannya mendekati sama dengan kondisi sebelum gempa. Bangunan dapat tetap berfungsi.
LS		Terjadi kerusakan pada komponen struktur dan non struktur mulai dari kecil hingga tingkat sedang . kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan. Bangunan dapat berfungsi lagi jika sudah mengalami perbaikan
CP		Terjadi kerusakan parah pada struktur dan telah terjadi kegagalan pada komponen nonstruktural, sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak, bangunan hampir runtuh.
C		Batas maksimum struktur dalam menahan gaya gempa.
D		Struktur tidak mampu menahan gaya gempa tetapi masih mampu menahan gaya gravitasi.
E		Struktur sudah hancur (<i>damage</i>)

3. METODOLOGI

Metode pada penelitian ini dilakukan mengacu pada FEMA 356 (2000), tahapannya terdiri dari tahapan evaluasi dilakukan perhitungan *Demand Capacity Ratio* (DCR) dengan menggunakan analisis linier statik ekuivalen dan linier dinamik respon spektrum, lalu dilanjutkan dengan tahap evaluasi lebih rinci yaitu digunakan analisis statik non linier *pushover*. Level kinerja ditentukan dengan metode spektrum kapasitas sesuai ATC-40 (1996) yang menghasilkan titik kinerja (*Performance Point*).

4. HASIL, ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

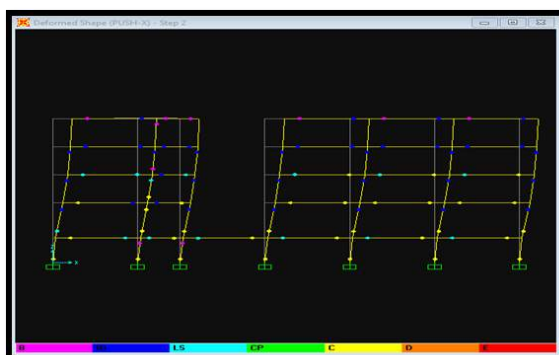
4.1 Permodelan Struktur



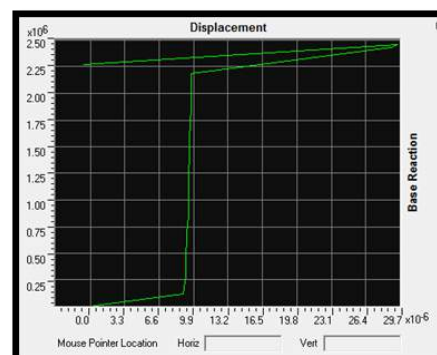
Gambar 4 : Permodelan struktur sesuai data yang didapatkan

4.2 Analisis *Pushover* untuk Perilaku Sendi Plastis

Dilakukan analisis *pushover* terhadap struktur yang telah dimodelkan. Dari hasil analisis ini didapatkan lokasi sendi plastis pertama pada struktur, serta kurva *pushover* yang menunjukkan hubungan antara perpindahan yang terjadi dengan gaya geser yang diterima oleh struktur saat leleh pertama terjadi hingga struktur tersebut runtuh.



(a)



(b)

Gambar 5 : (a) Posisi sendi plastis, (b) Kurva *Pushover*

4.3 Analisis Daktilitas Struktur

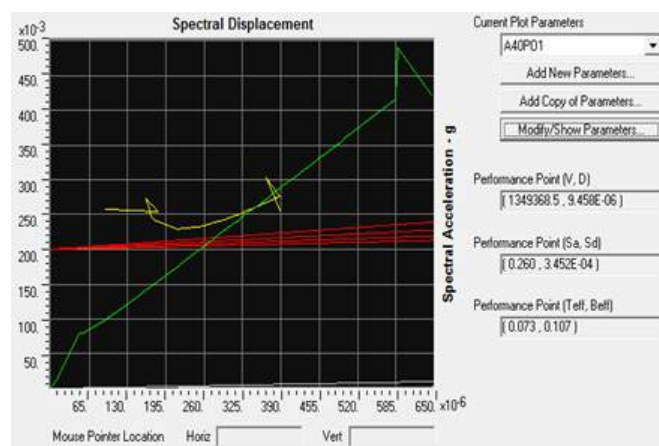
Analisis daktilitas struktur dilakukan dengan melakukan analisis *pushover* dengan output kurva yang menunjukkan hubungan antara perpindahan terhadap gaya geser dasar. Berdasarkan FEMA 273, titik leleh terjadi pada taraf IO-LS (*Intermediate Occupancy-Life Safety*). Nilai daktilitas adalah perbandingan antara perpindahan saat runtuh (Δ_{max}) dan perpindahan saat leleh (Δ_{yield}).

$$\begin{aligned} \text{Daktilitas } (\mu\Delta) &= \Delta_{max} / \Delta_{yield} \\ &= 0,4320 / 0,0877 \\ &= 4,9258 \\ \text{R aktual} &= \mu\Delta \times 1,6 \\ &= 4,9258 \times 1,6 \\ &= 7,8814 \end{aligned}$$

Dari analisis *pushover* didapatkan nilai daktilitas struktur sebesar 4,9258 dan nilai R aktual 7,8814.

4.4 Taraf Kinerja Struktur

Taraf kinerja struktur ditentukan menggunakan metoda spektrum kapasitas ATC-40. Berdasarkan ATC-40, taraf kinerja struktur diperoleh dari *ratio drift* pada lantai atap terhadap tinggi total gedung.



Gambar 6 : Kurva spektrum kapasistas

Drift Ratio

$$= D_T / H$$

$$= 0,945 / 20,5$$

$$= 0,04609$$

Maximum in-elastic Drift

$$= (D_T - D_I) / H$$

$$= (0,945 - 0,3452) / 20,5$$

$$= 0,0292$$

Tabel 3 : Taraf kinerja berdasarkan ATC-40

	<i>Performance Level</i>			
<i>Inter Drift Limit</i>	<i>Immediated Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maximum Total Drift</i>	0,01	0,001 – 0,002	0,02	0,3 Vi/Pi
Minimum Inelastic Drift	0,005	0,005 – 0,015	No Limit	No Limit

Berdasarkan batasan rasio *drift* *atap* menurut ATC-40, hasil perhitungan *Maximum Inelastic Drift* struktur gedung tersebut termasuk kedalam level *Life Safety* yang artinya struktur bangunan dalam kondisi aman untuk dihuni.

4.5 Analisis Penampang

Analisis penampang menggunakan RCCSA (Reinforced Concrete Cross Section Analysis).

Data properties dalam analisis sebagai berikut :

Mutu Beton	: K-300
Kuat Tekan (f_c')	: 24,9 MPa
Elastisitas (E_c)	: $4700 \sqrt{f_c'} = 23452,953$ Mpa
Mutu Baja	: BJTD-40
Kuat Leleh (f_y)	: 400 MPa
Elastisitas (E_y)	: 200.000 Mpa

Berikut hasil analisis penampang menggunakan RCCSA (Reinforced Concrete Cross Section Analysis) :

$$b = 0,4 \text{ m}$$

$$h = 0,6 \text{ m}$$

$$f_c' = 24900 \text{ KN/m}^2$$

$$f_t = 1 / 10 \times f_c' = 1 / 10 \times 24900 = 2490 \text{ KN/m}^2$$

$$I = 1 / 12 (b \times h^3) = 0,0072 \text{ m}^4$$

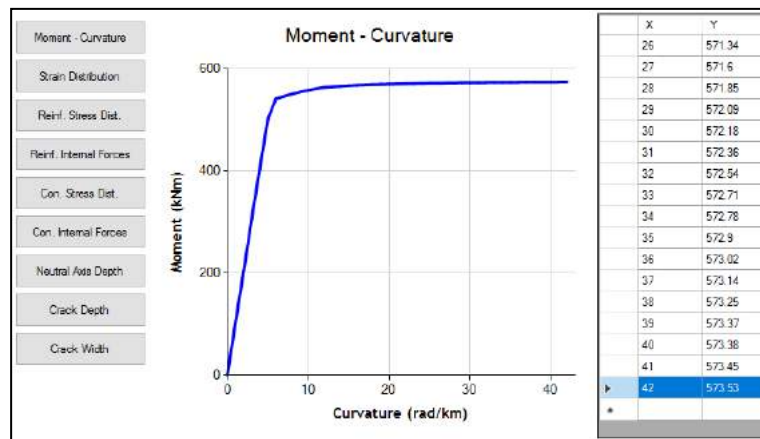
$$y = h / 2 = 0,3$$

$$f_t = \sigma = \frac{M_{crack} \times y}{I}$$

Momen saat balok mengalami crack pertama dihitung manual yaitu :

$$M_{crack} = \frac{f_t \times I}{y} = \frac{2490 \times 0,0072}{0,3} = 59,76 \text{ KNm}$$

Momen maksimum balok yang didapat dari moment curvature yakni sebesar 573,53 KNm.



Gambar 7 : Moment curvature

5. KESIMPULAN

1. Dari hasil analisis *pushover* menggunakan program berbasis perencanaan struktur berupa SAP2000 memperlihatkan bahwa sendi plastis pertama terjadi pada balok. Hal ini telah sesuai dengan prinsip *strong column weak beam*.
2. Nilai momen plastis balok yang di dapatkan dari perangkat lunak berbasis perencanaan struktur yakni sebesar 264,9887 KNm, sedangkan nilai *moment curvature* yakni sebesar 573,53 KNm. Hal ini menunjukkan bahwa gedung yang di teliti aman apabila terjadi gempa karena nilai yang dihasilkan akibat beban *pushover* jauh lebih kecil dari nilai maksimum penampang balok itu sendiri.
3. Level kinerja struktur berdasarkan spectrum kapasitas ATC-40 yaitu berada pada level *Life Safety*. Dimana pada level ini kekauan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan. Bangunan tersebut aman digunakan setelah dilakukan perbaikan.

6. REFERENSI

- ATC-40. 1997. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building. California. Applied Technology Council.
- Dewobroto, W. 2005. Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. Banten : Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pelita Harapan Indonesia.
- FEMA 356. 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Washington DC. Federal Emergency Management Agency.
- Harianti., Pamungkas. Anugrah. 2018. Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. Yogyakarta. C.V Andi.
- McCormac. C. Jack. 2004. Desain Beton Bertulang. Jakarta. Erlangga.
- Pranata, Y. A. 2006. Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis. Bandung. Universitas Kristen Maranatha. Jurnal Teknik Sipil, Vol 3., No.1, 2006.
- Setiawan, A. 2016. Perencanaan Struktur Beton Bertulang. Jakarta. Erlangga.
- Sumajou., Dapas. O. 2013. Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer. Yogyakarta. C.V Andi.
- SNI-1726-2002. 2002. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-1726-2012. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-2847-2013. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Tavio., Wijaya. U. 2018. Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design). Yogyakarta. C.V Andi.
- Thamrin, Rendy. 2016. Buku Panduan Pelatihan Software Analisa Struktur Beton Bertulang. Padang

EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN “Study Kasus Jembatan Sungai Dareh Dharmasraya”

Zakpar Siregar¹, Jihan Melasari², Pindho Noor Fatoni³

¹Zakpar Siregar “Fakultas Teknik Universitas Putra Indonesia yptk” padang. Email: Zakparsir@yahoo.com

²Jihan Meilasari “Fakultas Teknik Universitas Putra Indonesia yptk”

³Pindho Noor Fatoni “Fakultas Teknik Universitas Putra Indonesia yptk” padang, Padang.

ABSTRACT

The bridge is a means of connecting between 2 areas separated by rivers, sea, swamps, etc., aiming to support the smooth running of the economy and education. One example is the Dareh River bridge located in the Dharmasraya district, this bridge is a link between the Province of West Sumatra and Jambi Province. The purpose of this paper is to determine the feasibility of the bridge whether it is still strong to withstand the burdens that cross the bridge. For this reason, the author evaluates the strength of the bridge structure with the help of the SAP2000 V.14 application with reference to the RSNI 1725 - 2016 this study was strengthened by direct analysis of space.

The biggest bridge deflection results were 31.62 mm while the 31/800 permit was 38.75 mm. To strengthen the evaluation results using software, a direct analysis of spaciousness of the bridge deflection obtained the largest deflection of 9 mm. The level of bridge damage based on the results of the analysis of bridge damage is 15,86%. Based on the results of the analysis of the condition of the bridge girder, the girder bolt joints, poles and backrest pipes are still very well maintained in the field while the condition of the floor plate occurs hair cracks and cracks in the bridge connections. From the results of this analysis it is known that the river dareh dharmasraya bridge is still able to withstand the burdens that cross the bridge.

Keywords : V.14 SAP2000, Bridge, Deflection, Spectrum Response, Damage Percentage

ABSTRAK

Jembatan merupakan sarana penghubung antar 2 wilayah yang terpisah oleh sungai, laut, rawa dll, bertujuan untuk menunjang kelancaran roda perekonomian dan pendidikan. Salah satu contohnya adalah jembatan Sungai Dareh yang terletak di kabupaten Dharmasraya, jembatan ini merupakan penghubung Provinsi Sumatera Barat dengan Provinsi Jambi. Tujuan penulisan ini adalah untuk mengetahui kelayakan jembatan apakah masih kuat untuk menahan beban-beban yang melintasi jembatan tersebut. Untuk itu penulis mengevaluasi kekuatan struktur jembatan dengan bantuan aplikasi SAP2000 V.14 dengan mengacu pada RSNI 1725 – 2016 penelitian ini di perkuat dengan analisis langsung kelapangan.

Hasil lendutan jembatan terbesar sebesar 31,62 mm sedangkan ijin 31/800 sebesar 38,75 mm. Untuk memperkuat hasil penelitian dilakukan analisis secara langsung kelapangan, lendutan maksimum sebesar 9,4 mm. Tingkat kerusakan jembatan berdasarkan hasil analisis kerusakan jembatan di peroleh nilai 15,86%. Berdasarkan hasil analisa kondisi gelagar jembatan, sambungan baut gelagar, tiang dan pipa sandaran masih sangat terawat di lapangan sedangkan kondisi plat lantai terjadi retak rambut dan retakan pada sambungan jembatan. Dari hasil analisa tersebut diketahui jembatan Sungai Dareh Dharmasraya masih mampu menahan beban-beban yang melintasi jembatan tersebut.

Kata kunci : SAP2000 V.14, Jembatan, Lendutan, Respon Spektrum, Persentase Kerusakan

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan sarana penghubung antar 2 wilayah yang terpisah oleh sungai, laut, rawa dll, bertujuan untuk menunjang kelancaran roda perekonomian dan pendidikan. Salah satu contohnya adalah jembatan Sungai Dareh yang terletak di kabupaten Dharmasraya, jembatan ini merupakan penghubung Provinsi Sumatera Barat dengan Provinsi Jambi. Setiap hari jembatan ini dilewati oleh mobil-mobil truk besar yang bermuatan berat sehingga dikategorikan sebagai jalan kelas 1, oleh karena itu jembatan ini merupakan jembatan yang sangat penting untuk moda transportasi penghubung kedua provinsi.

Jembatan Sungai Dareh dibangun pada tahun 1975, diperkirakan sudah memiliki umur kurang lebih 44 tahun. Seiring berjalannya waktu jumlah kendaraan yang melewati jembatan tersebut semakin bertambah banyak sehingga akan lebih sering terjadi getaran di atas jembatan. Untuk itu perlu dilakukan analisis mengenai kondisi kekuatan jembatan untuk menghadapi peningkatan kendaraan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui lendutan yang terjadi dengan bantuan aplikasi SAP 2000 V.14 pada pembebanan sesuai RSNI 1725-2016 dan nantinya akan dibandingkan dengan analisis secara langsung dilapangan sehingga diharapkan dapat diperoleh hasil yang sesuai dengan kondisi jembatan saat ini.

2. TINJAUAN LITELATUR

Menurut Manu (1995) jembatan adalah suatu struktur yang memungkinkan *route* transportasi melintasi sungai, danau, jalan raya, jalan kereta api dan lain-lain. Jembatan yang melintasi jalan biasanya disebut *viaduct*. Menurut RSNI 1725-2016 pembebanan pada jembatan yang di perhitungan antara lain : beban mati tambahan, beban jalur D, beban angin, beban truk, gaya rem, beban air hujan, beban gempa

Analisis kekuatan jembatan menggunakan aplikasi SAP2000 V.14 dan untuk memperkuat hasil penelitian ini akan dilakukan evaluasi secara langsung dilapangan dengan melihat kondisi dari komponen jembatan antara lain: kondisi plat lantai, baut gelagar, gelagar jembatan, tiang sandaran. Berdasarkan standart AASHTO LRFD, batas lendutan maksimum yang diizinkan adalah $L/800$, dimana L adalah panjang jembatan. Lalu lintas yang melewati jembatan dengan kecepatan tertentu menghasilkan frekuensi alami dari struktur, nilai frekuensi alami dapat digunakan untuk memperkirakan kerusakan yang terjadi pada struktur jembatan. Dalam pedoman pemeriksaan bangunan atas dengan uji getar dari Kementerian Pekerjaan Umum diberikan rumusan sebagai berikut.

$$D \text{ relative} = ((f \text{ teoritis} - f \text{ actual})/f \text{ teoritis}) \times 100\%$$

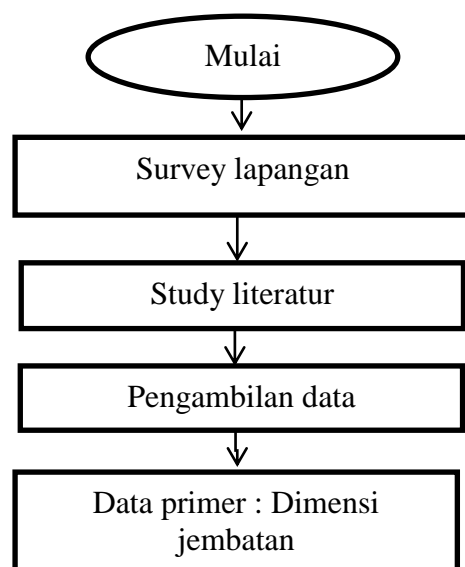
Dengan :

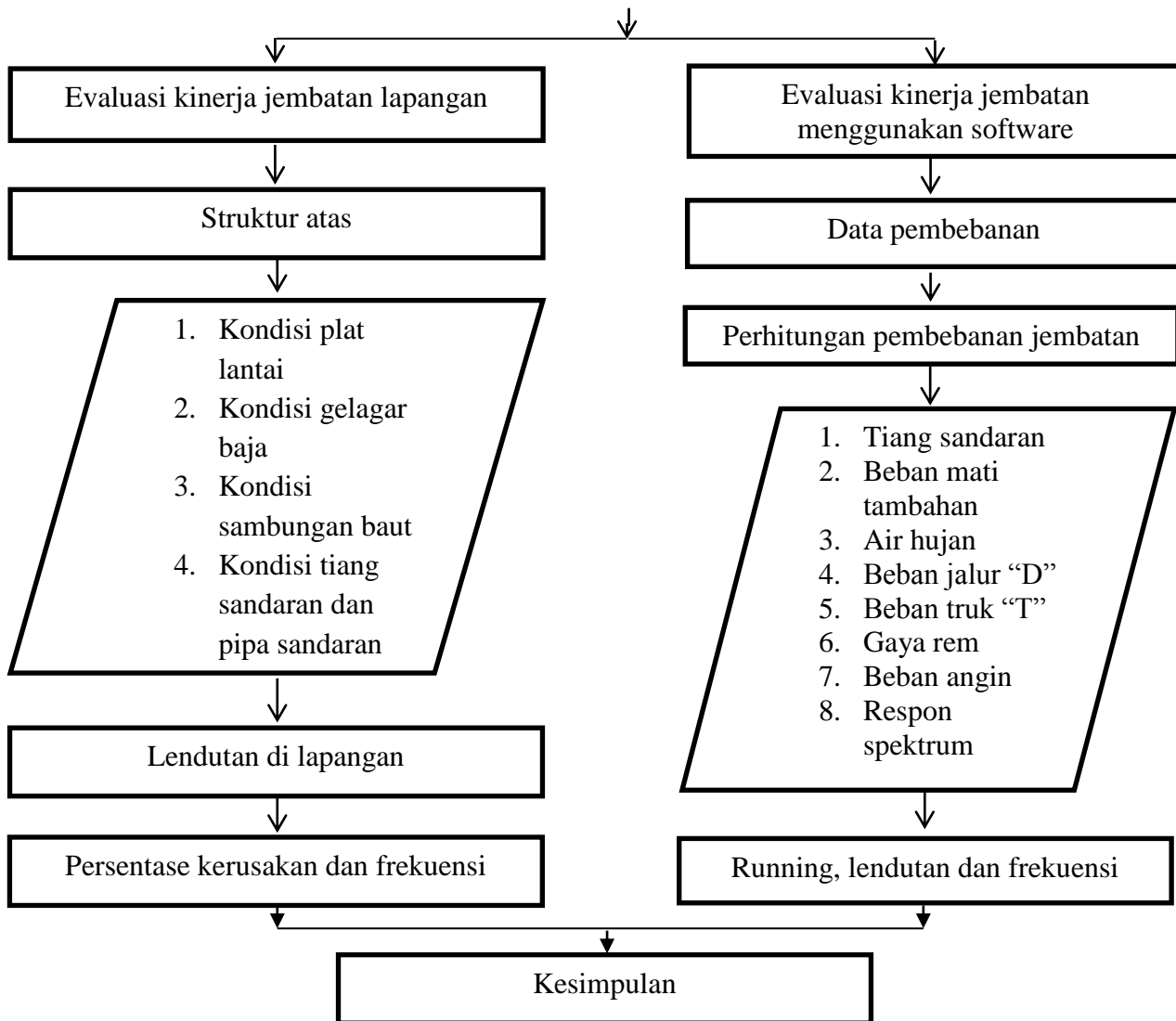
$D \text{ relatif}$: nilai kerusakan struktural relatif

$f \text{ teoritis}$: frekuensi alami teoritis

$f \text{ aktual}$: frekuensi alami aktual

3. METODOLOGI PENELITIAN





4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN Gambar 1: Diagram alir penelitian

Pemodelan jembatan dilakukan dengan bantuan aplikasi analisis struktur SAP 2000 V.14. Dikarenakan kekurangan data bentuk geometri jembatan sungai Dareh Dharmasraya, maka penulis melakukan peninjauan secara langsung dilapangan yang bertujuan untuk memperoleh bentuk geometri yang ada seperti disajikan dibawah ini.

4.1 Data Jembatan

1. Nama jembatan : Jembatan lama Sungai Dareh Dharmasraya
2. Lokasi jembatan : Jl. Lintas Sumatera Kecamatan Pulau Punjung Kabupaten Dharmasraya Sumatera Barat.
3. Jenis jembatan : Jembatan baja komposit
4. Data kontruksi jembatan

Data-data yang di dapatkan berdasarkan hasil survey di lapangan

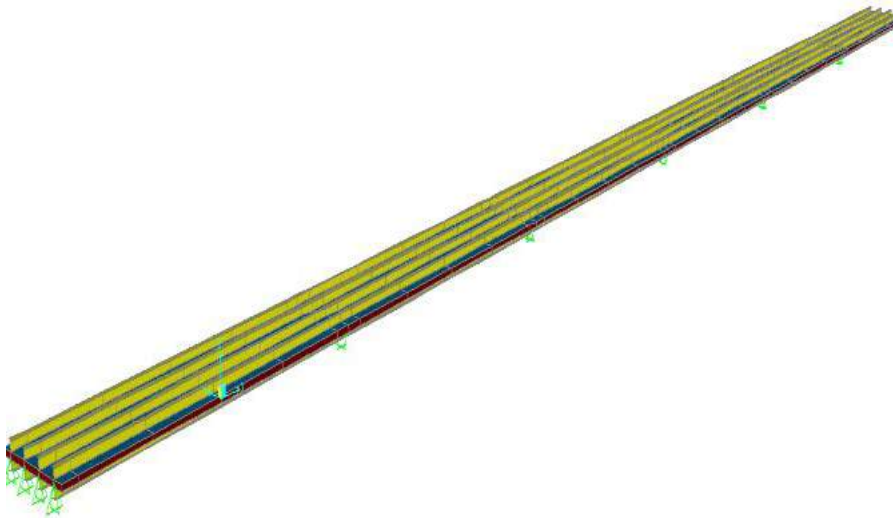
- a. Bentang jembatan : 186 m dengan 5 pilar masing-masing panjang per-bentangannya 31 m
- b. Lebar jembatan : 10 m
- c. Trotoar : 1 m
- d. Tinggi jembatan : 10,5 m
- e. Tebal plate : 30 cm
- f. Ukuran Girder : 120 x 41 x 5 x 5
- g. Jumlah bentang : 6 buah



Gambar 2: Geometri Jembatan Sungai Dareh Dharmasraya

4.2 Evaluasi Kinerja Jembatan Menggunakan Software dan Lapangan

Tahapan selanjutnya setelah diperoleh analisis data dari lapangan secara langsung kemudian dilakukan pemodelan, hasil bentuk jembatan seperti terlihat pada Gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3: Hasil 3D pemodelan Jembatan Sungai Dareh Dharmasraya

Bentuk beban-beban yang berkerja pada jembatan Sungai Dareh Dharmasraya di perlihatkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1: Beban pada pemodelan SAP 2000

No	jenis beban	Berat	Satuan
1.	Mati tambahan	4628,42	Kg
2.	Air hujan	0,405	kN/m
3.	Beban D (BTR)	5,225	kN/m
4.	(BGT) / P	49	kN/m
5.	Beban Truk (T)	4903,33	kN
6.	Gaya rem	155,225	kN
7.	Beban angin	0,9	kN/m
8.	Gempa	Respon Spektrum	

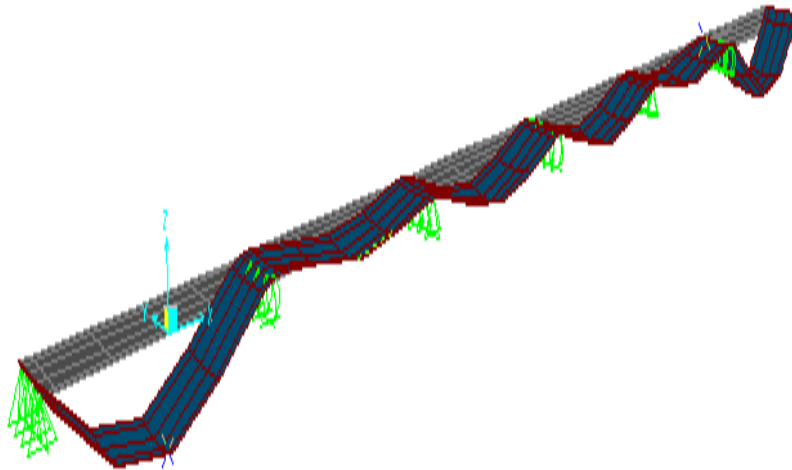
Kombinasi pembebanan di ambil berdasarkan RSNI 1725-2016 seperti disajikan pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2: Kombinasi pembebanan

No	Kombinasi	Pembebanan
1	Kuat 1	Hidup 1,8
2	Kuat 2	Hidup 1,4
3	Ekstrim 1	Hidup 0,3 + Gempa 1
4	Ekstrim 2	Hidup 0,50
5	Daya Layan 1	Hidup 1,0
6	Daya Layan 2	Hidup 1,30
7	Daya Layan 3	Hidup 0,80
8	Fatik	Hidup 0,75

4.3 Pembahasan

Setelah semua pembebanan dan kombinasi di *input* kedalam aplikasi SAP 2000 V.14 kemudian dilakukan *running program* yang bertujuan untuk melihat pengaruh terhadap jembatan. Hasil lendutan yang terjadi terlihat pada Gambar 4 di bawah ini:



Gambar 4: Lendutan Jembatan Sungai Dareh Dharmasraya menggunakan Sap 2000



Gambar 5: Hasil lendutan jembatan Sungai Dareh Dharmasraya dengan peninjauan langsung dilapangan

Berdasarkan hasil analisis tinjauan secara langsung diperoleh nilai lendutan maksimum yang terjadi ketika dilewati beban truk bermuatan besar dari semua bentang sebesar 9.4 mm sedangkan dengan menggunakan SAP 2000 V.14 lendutan maksimum sebesar 31,62 mm seperti terlihat pada Tabel 3 di bawah ini

Tabel 3 : Hasil Lendutan SAP 2000 V.14 dan tinjauan langsung dilapangan

Batang	Lendutan Hasil Tinjauan Langsung Lapangan (mm)	Lendutan Sap 2000 (mm)	Standar L/800 (mm)	Kesimpulan

1	3,2	31,62	38,75	Ok
2	1,5	7,62	38,75	Ok
3	6,2	13,59	38,75	Ok
4	7,5	13,59	38,75	Ok
5	5,3	7,62	38,75	Ok
6	9,4	31,62	38,75	Ok

Berdasarkan tabel diatas hasil lendutan analisis menggunakan SAP 2000 V.14 dan analisis secara langsung dilapangan jika dibandingkan dengan standar RSNI 1725-2016 bahwa jembatan tersebut masih layak di gunakan.

Tahapan selanjutnya akan di analisis kerusakan jembatan. Nilai frekuensi yang diperoleh dari SAP 2000 (*f teoritis*) adalah 3,72 Hz, sedangkan nilai frekuensi dari pengujian di lapangan (*f actual*) yaitu 3,13 Hz. Sehingga dapat dihitung besarnya nilai kerusakan struktur relatif sebagai berikut.

$$D \text{ relative} = ((f \text{ teoritis} - f \text{ actual}) / f \text{ teoritis}) \times 100\%$$

$$D \text{ relative} = ((3,72 - 3,13) / 3,72) \times 100\% = 15,86\%$$

Dari hasil analisis diperoleh nilai kerusakan yang terjadi adalah sebesar 15,86 %. Berdasarkan hasil peninjauan dilapangan kerusakan yang terjadi umumnya terdapat pada plat jembatan sedangkan pada bagian struktur jembatan lainnya masih dalam keadaan terawat. Walaupun demikian jembatan ini harus segera dilakukan revitalisasi agar tidak mengakibatkan kerusakan yang lebih parah. Hasil kerusakan yang terjadi terlihat pada gambar dibawah ini:



a



b

Gambar 5: Kondisi a dan b kerusakan Jembatan Sungai Dareh

5. KESIMPULAN

Dari hasil evaluasi menggunakan aplikasi analisis struktur SAP2000 V.14 berdasarkan RSNI 1725-2016 diperoleh hasil:

- a. Lentutan jembatan berdasarkan analisis menggunakan SAP 200 V.14 sebesar 31,62 mm dan lentutan maksimum yang terjadi dengan analisis secara langsung dilapangan sebesar 9,4 mm. jika di dibandingkan dengan lentutan ijin sebesar 31,85 (L/800) bahwa jembatan tersebut masih di bawah dari batas ijin lentutan sehingga masih aman di gunakan.
- b. Tingkat kerusakan jembatan berdasarkan hasil analisis kerusakan jembatan di peroleh nilai 15,86% dengan kerusakan yang terlihat dilapangan umumnya berada pada plat jembatan. untuk hasil analisa gelagar jembatan, sambungan baut gelagar, tiang dan pipa sandaran masih sangat terawat di lapangan.
- c. Dari hasil analisa tersebut diketahui jembatan Sungai Dareh Dharmasraya masih mampu menahan beban-beban yang melintasi jembatan tersebut.

6. REFERENSI

Badan Standarisasi Nasional. 2005 RSNI T 02-2005 *Standar Pembebanan Untuk Jembatan*, Jakarta : Badan Standarisasi Nasional

Badan Standarisasi Nasional. 2016 RSNI T 1725-2016 *Standar Pembebanan Untuk Jembatan*, Jakarta : Badan Standarisasi Nasional

Badan Standarisasi Nasional 2012 SNI 1726-2012 , *tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung* . Jakarta : Badan Standarisasi Nasional

Iqbal Manu (1995). *Dasar-Dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang*. Dapertemen pekerja umum.

Setiawan, agus (2008). *Perencanaan struktur baja dengan metode LRFD*. Jakarta: Erlangga.

Wahyudi, dkk (2014). *Analisis kapasitas jembatan rangka baja austria tipe a60 dengan menggunakan software midas civil*. Jurnal teknik sipil vol.2 no.2/juli 2014/15

PERKUATAN SAMBUNGAN BALOK-KOLOM BETON BERTULANG DENGAN VARIASI T-PLAT BAJA

Hafiz Maulana¹

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang
Email : bighafiz45@gmail.com

ABSTRACT

Pada sambungan balok-kolom (*beam-column joint*) struktur beton bertulang perlu dapat perhatian khusus dalam perencanaannya dikarenakan pada daerah sambungan balok-kolom merupakan daerah yang paling rawan akibat pembebanan gaya gempa. Gaya gempa yang terjadi pada daerah sambungan balok-kolom akan menjadi gaya geser, dan gaya geser yang ditimbulkan pada daerah sambungan balok-kolom akan jauh lebih besar selama terjadinya beban gempa dan mengakibatkan kerusakan/*crack* struktur. Perkuatan pada sambungan balok-kolom umumnya menggunakan metode perbesaran/jacketing sambungan, penggunaan FRP/CFRP, dan penggunaan sistem *haunch* / pengaku baja profil yang dalam pelaksanaannya memiliki biaya yang cukup mahal dan tukang dengan keterampilan khusus. Pada penelitian ini dilakukan pengkajian perilaku serta kontribusi penambahan plat baja pada sambungan balok-kolom terhadap pembebanan siklik dengan menggunakan variasi perkuatan T-plat baja. Nantinya diharapkan dari penelitian ini akan menghasilkan konfigurasi T-plat baja yang efisien dalam meningkatkan kekuatan sambungan balok-kolom beton bertulang, dan sesuai dengan harga serta mudah dilaksanakan oleh pekerja lokal daerah.

Kata Kunci : *beam-column joint*, pembebanan, gempa, perkuatan, sistem T plat baja

1. PENDAHULUAN

Bangunan beton bertulang umumnya dirancang dengan desain seismic atau ramah terhadap gempa. Namun di beberapa negara masih terdapat bangunan yang dirancang dengan non-seismik, dimana kinerja bangunan tersebut dianggap buruk ketika terjadi bencana gempa (Kam et.al., 2011). Kerusakan yang sering terjadi pada bangunan non-seismik adalah bagian sambungan balok dan kolom sebagai elemen struktur yang rentan ketika menerima gempa berupa beban lateral (De Risi et.al., 2016).

Sambungan balok dan kolom pada bangunan tersebut umumnya tidak dilengkapi dengan tulangan sengkang kolom atau tidak memenuhi ketentuan *strong column weak beam*, sehingga sambungan cenderung mengalami keruntuhan ketika gempa (Ghobarah and Said, 2002), seperti diperlihatkan dalam Gambar 1. Sebagai bagian struktur yang paling rentan terjadi keruntuhan pada bangunan beton bertulang, sambungan balok dan kolom membutuhkan perkuatan untuk memenuhi standar seismic gempa terutama pada bangunan dilokasi rawan gempa dan bangunan yang didesain dengan peraturan lama (Alavi and Krawinkler, 2004).



Gambar 1. Kegagalan geser sambungan balok-kolom beton bertulang

(<http://www.wm-site.com/civil-eng/short-course-haki-komda-bali-2010>)

Indonesia khususnya Sumatera Barat sebagai daerah dengan intensitas kegempaan tinggi yang dilalui oleh lempeng-lempeng tektonik aktif dan terletak di zona subdaksi gempa bumi merupakan daerah yang selain membutuhkan desain seismic pada perencanaan bangunannya, juga membutuhkan perkuatan pada struktur sambungan balok dan kolom (Sunaryati, 2010). Investigasi pasca gempa beruntun di Sumatera dalam kurun waktu 2006-2009, juga memperlihatkan bahwa banyak struktur bangunan dengan konstruksi beton bertulang, tidak memenuhi syarat teknis dalam sambungan balok-kolomnya, yakni sambungan balok-kolom tidak mempunyai atau kekurangan penulangan geser (Alarcon, 2010; Deierlein, 2009). Faktor ekonomis diyakini merupakan faktor utama tidak terpasangnya penulangan geser ini. Kesulitan dalam pelaksanaan pekerjaan sambungan balok-kolom beton bertulang, kelalaian dalam pelaksanaan, tidak terencana dengan baik, merupakan faktor-faktor lain penyebab tidak cukupnya kekuatan geser pada sambungan ini.

Para peneliti telah banyak melakukan penelitian terkait dengan kinerja sambungan balok-kolom beton bertulang dan perkuatannya akibat pembebanan lateral dan siklik. Seperti perkuatan sambungan menggunakan Fiberglass Reinforced Plastics (FRP) dengan konfigurasi pemasangan L, U, T dan X oleh Al-Salloum (2007), Karayannis dan Sirkelis (2008); dan perkuatan dengan profil baja menggunakan sistem *haunch* oleh A. Zabihi et.al., (2018). Dalam studi ini, penggunaan plat baja T diusulkan untuk perkuatan pada sambungan balok-kolom struktur beton bertulang. Secara hasil belum didapatkan, dikarenakan masih dalam tahap awal penelitian. Namun diharapkan plat baja T dapat memperkuat tahanan geser pada sambungan balok-kolom dan menjadi solusi perkuatan sambungan balok-kolom struktur beton bertulang, mengingat proses pengerjaannya yang relative sederhana, sehingga dapat dikerjakan dengan baik oleh pekerja lokal.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Kekuatan Geser Pada Sambungan Balok-Kolom

Berdasarkan SNI-03-2847-2013, untuk beton berat normal V_n joint (kuat geser nominal) pada sambungan balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada ketentuan dibawah ini :

Untuk joint yang terkekang oleh balok-kolom pada tiga muka atau pada dua muka yang berlawanan.

$$V_n = 1,2 \sqrt{f'c} A_j \dots\dots\dots (1)$$

Dimana $f'c$ kuat tekan beton (MPa) dan A_j adalah luas penampang efektif dalam suatu joint yang dihitung dari tinggi joint kali lebar joint efektif.

Berdasarkan gambar diatas diasumsikan gaya tarik T_b sama dengan gaya tekan C_b dan jika diumpamakan $C_b = T_b$, sehingga gaya geser kolom (V_{col}) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{col} = \frac{T_b z_b + V_b \frac{h_c}{2}}{l_c} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana l_c merupakan tinggi *story* kolom (mm), h_c merupakan lebar kolom (mm), z_b merupakan jarak antara tulangan longitudinal tekan dengan tarik (mm), V_b merupakan gaya geser maksimum balok (N), T_b merupakan gaya tarik tulangan longitudinal balok (N). Kapasitas geser pada sambungan balok-kolom dengan pengaruh tulangan tarik longitudinal dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{jh} = V_{col} \left(\frac{l_c}{z_b} - 1 \right) - V_b \left(\frac{h_c}{2 z_b} \right) \dots\dots\dots (3)$$

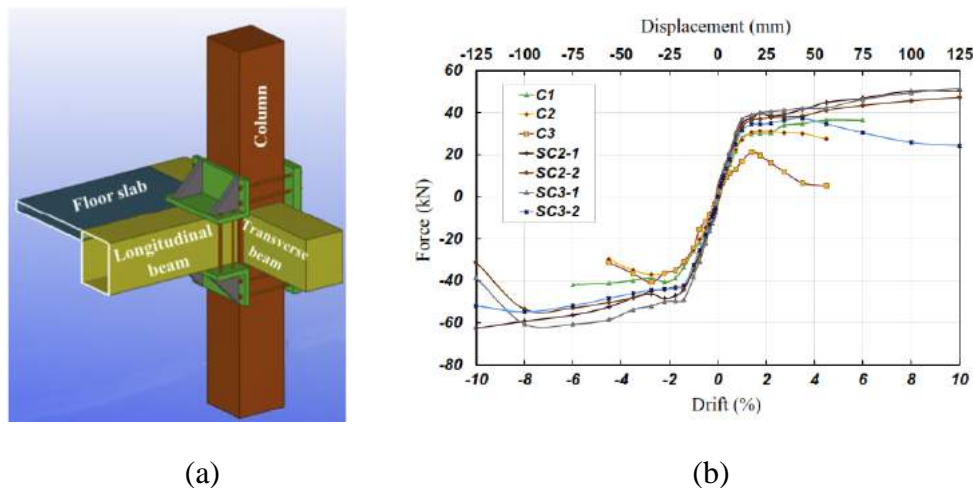
3. PENELITIAN TERDAHULU

Tinjauan literature terhadap penelitian terdahulu terkait perkuatan sambungan balok dan kolom dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok besar, yaitu perkuatan dengan metode pembesaran daerah sambungan balok dan kolom dengan menggunakan selimut beton bertulang (*jacketing*) atau pengaku profil baja; perkuatan dengan lapisan campuran fiber (seperti Fibreglass Reinforced Plastics (FRP), dan lainnya); dan perkuatan dengan menggunakan plat baja.

3.1 Perkuatan dengan Pembesaran Daerah Sambungan/Pengaku

Teknik perkuatan pada sambungan balok dan kolom yang cukup lama digunakan adalah dengan pembesaran bagian sambungan menggunakan *jacketing* beton bertulang (Engindeniz et.al., 2005). Pembaharuan metode perkuatan ini secara inovatif dan praktis untuk sambungan balok-kolom eksternal non-seismik dari struktur beton yang ada, berdasarkan pembesaran dua dimensi sambungan balok dan kolom menggunakan sudut baja yang dipasang menggunakan ikatan silang prategang (Shafaei et.al., 2014), seperti diperlihatkan pada Gambar 2.a.

Tujuh sambungan balok dan kolom eksternal dengan skala setengah dari ukuran sebenarnya beton bertulang menggunakan pembebanan siklik lateral. Spesimen yang diuji terdiri dari tiga unit sebagai kontrol dan empat unit retrofit atau perkuatan. Hasil pengujian menegaskan bahwa metode retrofit yang diusulkan tidak hanya menghasilkan perpindahan lokasi sendi plastis pada balok ke luar zona sambungan tetapi juga meningkatkan ikatan antara tulangan balok longitudinal dan tulangan kolom dan lapisan beton di daerah sambungan balok dan kolom. Metode yang diusulkan terbukti secara signifikan meningkatkan kapasitas seismik sambungan, dalam hal kekuatan, kekakuan, disipasi energi, dan kapasitas daktilitas (Shafaei et.al., 2014).



Gambar 2. (a) 3D retrofit metode Pembesaran Daerah Sambungan dengan baja ikatan silang, (b) Kurva Perbandingan Gaya-Perpindahan dari Spesimen Kontrol dan Retrofit metode Pembesaran 2D dengan baja ikatan silang

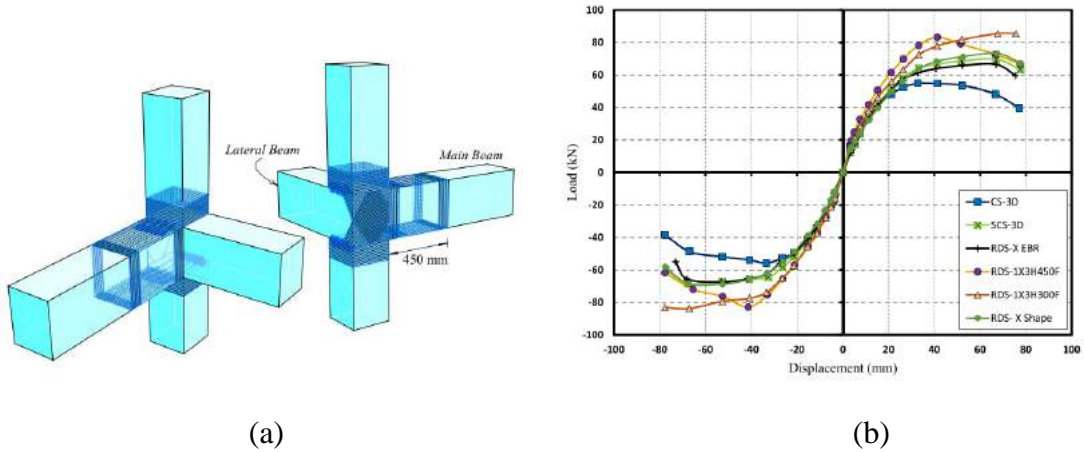
3.2 Perkuatan dengan Lapisan Campuran Fiber

Perkuatan dengan lapisan campuran fiber merupakan pengembangan dari teknik perkuatan tradisional sebelumnya. Campuran fiber yang umum digunakan adalah Fibreglass Reinforced Plastics (FRP) dengan pelapisan lembaran eksternal/bagian permukaan beton. Kelebihan metode perkuatan dengan FRP adalah rasio kekuatan terhadap berat material yang tinggi, tahan terhadap korosi, dan kemudahan dalam pelaksanaan karena bersifat lapisan eksternal permukaan pada sambungan. Studi eksperimental terhadap perkuatan FRP telah berkembang dengan bermacam konfigurasi pemasangan lembaran yaitu konfigurasi L, U, T dan X dimana disesuaikan dengan efisiensi yang diharapkan (Al-Salloum, 2007; Karayannis dan Sirkelis, 2008).

Penambahan serat carbon pada FRP menjadi Carbon Fibreglass Reinforced Plastics (CFRP) menjadi pengembangan selanjutnya dan paling banyak digunakan sebagai perkuatan. Teknik pemasangan perkuatan CFRP dilakukan dengan penguatan ikatan eksternal / EBROG untuk menunda *debonding* / lepasnya lembaran CFRP dari permukaan beton (Mostofinejad dan Moshiri, 2015), seperti pada Gambar 3.a.

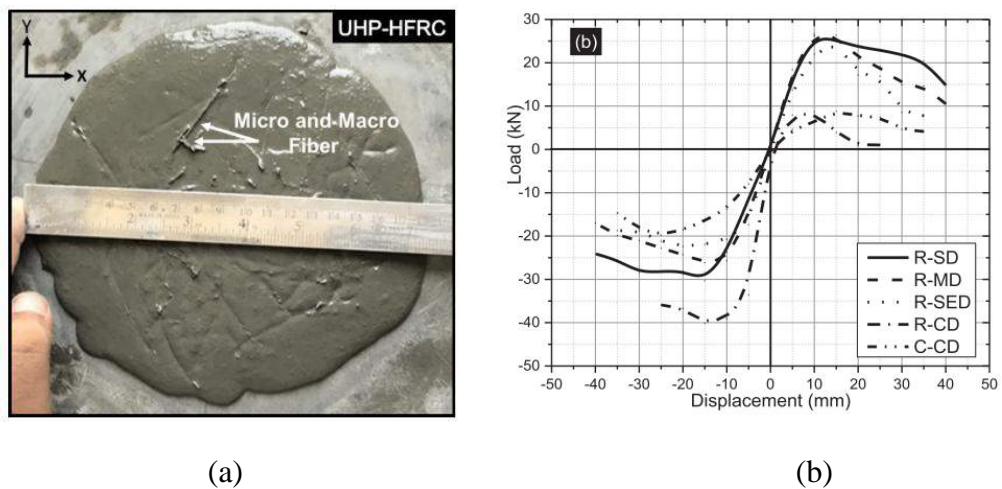
Pada Gambar 3.b, beban puncak dari perkuatan CFRP meningkat 21% - 53% dari specimen control sambungan balok dan kolom. Dengan menggunakan teknik EBROG, *debonding*

permukaan lembaran CFRP pada daerah sendi plastik yang diharapkan dieliminasi sepenuhnya pada sambungan beton bertulang yang dipasang. Selain itu, lapisan CFRP yang memadai berdampak memperkuat sambungan untuk menghambat *spalling* beton (Mostofinejad dan Hajrasouliha, 2019).



Gambar 3. (a) 3D retrofit metode Perkuatan dengan CFRP, (b) Kurva Perbandingan Gaya-Perpindahan dari Spesimen Kontrol dan Retrofit metode Perkuatan CFRP

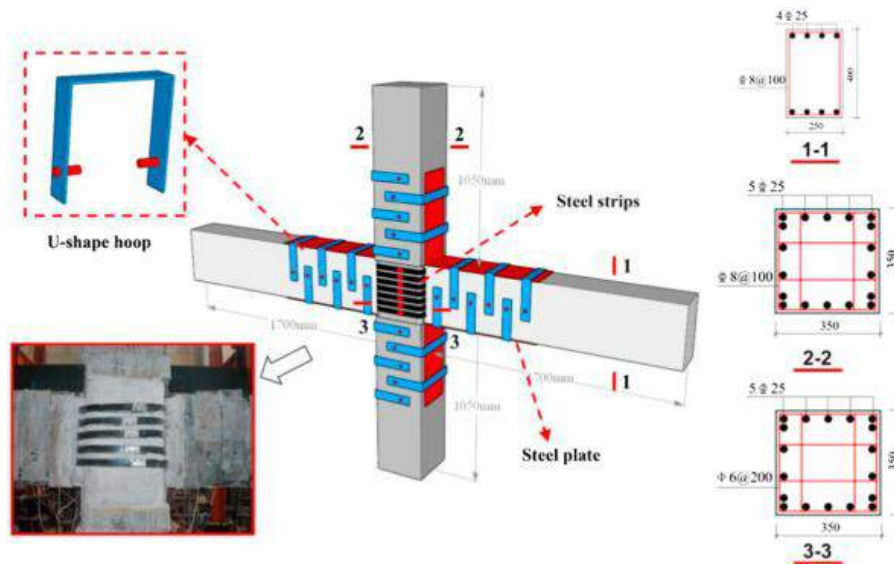
Pengembangan selanjutnya dari lapisan fiber adalah campuran beton mutu tinggi dengan serat carbon (UHP-HFRC), dimana bersifat seperti menyerupai lapisan beton cair berserat dan tidak berupa lembaran (Yu et al., 2014) seperti diperlihatkan Gambar 4.a. Beban puncak dari perkuatan UHP-HFRC meningkat 14% - 28% dari specimen kontrol sambungan balok dan kolom, sedangkan peningkatan yang signifikan terjadi pada daktilitas yang mencapai 45% dari specimen kontrol (Gambar 4.b). Perkuatan dengan UHP-HFRC ini menghasilkan perkuatan tanpa mengubah konsep daktilitas dari sambungan balok dan kolom (Sharma dan Bansal, 2019).



Gambar 4. (a) Campuran UHP-HFRC, (b) Kurva Perbandingan Gaya-Perpindahan dari Spesimen Kontrol dan Retrofit metode Perkuatan UHP-HFRC

3.3 Perkuatan dengan Plat Baja Strip

Metode strapping untuk perkuatan retrofit sambungan interior balok-kolom struktur beton bertulang, yang tidak memenuhi persyaratan kode desain seismik saat ini. Perkuatan strapping ini menggunakan baja strip mutu tinggi pratekan di bagian sambungan (Yang et al., 2019), seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Benda Uji yang Diperkuat dengan Plat Baja dan Baja Strip

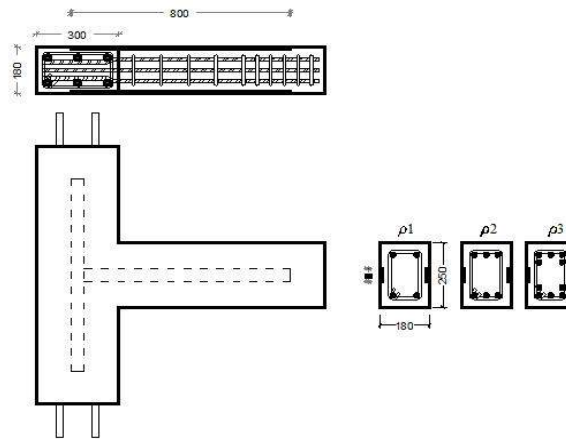
Hasil pengujian menunjukkan bahwa strip baja pratekan bekerja sama dengan baik dengan sambungan balok-kolom beton bertulang yang kurang baik, dan spesimen yang dipasang menunjukkan perilaku seismik yang lebih baik daripada spesimen kontrol yang kurang, terutama dalam *deformability* dan *energy dissipation*. Dibandingkan dengan spesimen struktur beton bertulang yang kurang, aplikasi strip baja pratekan dapat secara efektif menahan pengembangan retak dan menghilangkan kerusakan yang disebabkan oleh spalling penutup beton di daerah inti bersama. Dibandingkan dengan spesimen yang hanya dipasangkan dengan strip baja pratekan, spesimen yang dipasang dengan baja berpasangan adhesi dan strip baja pratekan secara efektif menghambat perambatan retak baik dalam inti bersama, balok dan kolom dan selanjutnya meningkatkan kapasitas bantalan.

4. METODOLOGI

Terkait dengan perkuatan sambungan balok-kolom struktur beton bertulang menggunakan plat baja T, rencana metodologi yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

a. Eksperimental di laboratorium

Permodelan benda uji menggunakan sambungan balok-kolom eksterior. Perkuatan yang diberikan sepanjang sambungan balok-kolom, berbentuk seperti T dengan ketebalan 2.5 mm dan lebar 50 mm dan dengan panjang total yang divariasikan sesuai dengan perhitungan nantinya, yang diberikan pada sisi kiri dan kanan benda uji, seperti Gambar 6.



Gambar 6. Rencana Benda Uji dan Posisi Perkuatan Pelat Baja T

b. Verifikasi Numerik dengan Software

Hasil pengujian benda uji di laboratorium selanjutnya akan diverifikasi secara numerik dengan software.

c. Analisis Koefisien Persamaan

Diharapkan nantinya, studi penelitian ini dapat mengeluarkan penurunan rumus/koeffisien pengaruh perkuatan plat baja pada sambungan balok-kolom struktur beton bertulang.

5. KESIMPULAN

Penggunaan plat baja T diharapkan menjadi metode lain untuk perkuatan pada sambungan balok-kolom struktur beton bertulang. Secara hasil belum didapatkan, dikarenakan masih dalam tahap awal penelitian. Namun diharapkan plat baja T dapat memperkuat tahanan geser pada sambungan balok-kolom dan menjadi solusi perkuatan sambungan balok-kolom struktur beton bertulang, mengingat proses pengerjaannya yang relative sederhana, sehingga dapat dikerjakan dengan baik oleh pekerja lokal.

6. DAFTAR PUSTAKA

- W. Y. Kam, S. Pampanin, and K. Elwood. 2011. Seismic performance of reinforced concrete buildings in the 22 February Christchurch (Lyttelton) earthquake, *Bull. New Zeal. Soc. Earthq. Eng.*, Vol. 44, No. 4, pp. 239–278.
- De Risi MT, Ricci P, Verderame GM, Manfredi G. 2016. Experimental assessment of unreinforced exterior beam-column joints with deformed bars. *Eng Struct*;112:215–32.
- Ghobarah A, Said A. 2002. Shear strengthening of beam-column joints. *EngStruct*;24(7):881–8.
- Alavi B, Krawinkler H. 2004. Strengthening of moment-resisting frame structures against near-fault ground motion effects, *Earthquake Eng Struct Dyn*;33(6):707–22.
- Sunaryati, Jati., 2010. Penggunaan Base Isolated System Untuk Bangunan Tahan Gempa, Lustrum V Fakultas Teknik Unand.

- Alarcon, J.E. 2010. Post-Disaster Survey Findings from the 2009 Padang Earthquake, AIR Currents Article, Air WorldWide Corporation, London.
- Deierlein, G., et al., 2009. Learning from Earthquakes: The Mw 7.6 Western Sumatra Earthquake of September 30, 2009, EERI Special Earthquake Report, EERI, USA.
- Al-Salloum YA, Almusallam TH. 2008. Seismic response of interior RC beam-column joints upgraded with FRP sheets. I: experimental study. *J Compos Constr*; 11(6):575–89.
- Karayannis CG, Sirkelis GM. 2008. Strengthening and rehabilitation of RC beam-column joints using carbon-FRP jacketing and epoxy resin injection. *Earthquake Eng Struct Dyn*; 37(5):769–90.
- Mostofinejad D, Moshiri N. 2015. Compressive strength of CFRP composites used for strengthening of RC columns: comparative evaluation of EBR and grooving methods. *J Compos Constr*.
- Mostofinejad D. and M. Hajrasouliha, 2019. 3D beam–column corner joints retrofitted with X-shaped FRP sheets attached via the EBROG technique, *Eng. Struct.*, vol. 183, no. April 2018, pp. 987–998.
- A. Zabihi, H. H. Tsang, E. F. Gad, and J. L. Wilson. 2018. Seismic retrofit of exterior RC beam-column joint using diagonal haunch, *Eng. Struct.*, vol. 174, no. July, pp. 753–767.
- Engindeniz M, Kahn LF, Zureick AH. 2005. Repair and strengthening of reinforced concrete beam-column joints: state of the art. *ACI Struct J*; 102(2):187–97.
- J. Shafaei, A. Hosseini, and M. S. Marefat, 2014. Seismic retrofit of external RC beam-column joints by joint enlargement using prestressed steel angles, *Eng. Struct.*, vol. 81, pp. 265–288.
- R. Yu, P. Spiesz, H.J.H. Brouwers. 2014. Mix design and properties assessment of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC), *Cem. Concr. Res.* vol. 56, pp. 29–39.
- R. Sharma and P. P. Bansal. 2019. Behavior of RC exterior beam column joint retrofitted using UHP-HFRC, *Constr. Build. Mater.*, vol. 195, pp. 376–389.
- Y. Yang, Y. Xue, N. Wang, and Y. Yu. 2019. Experimental and numerical study on seismic performance of deficient interior RC joints retrofitted with prestressed high-strength steel strips, *Eng. Struct.*, Vol. 190, No. March, pp. 306–318.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI. 03-2847-2013 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

KAPASITAS SEISMİK GEDUNG BETON BERTULANG KOTA PALU, SULAWESI TENGAH DENGAN METODE PUSHOVER

Silsia Nur Afifah¹, Maidiawati², Jafril Tanjung³

¹Mahasiswa Strata cTeknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Padang, Padang. Email: silsia.afifah@gmail.com

²Staf Pengajar, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Padang, Padang. Email: maidiawati@yahoo.com

³Staf Pengajar, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: jafriltanjung@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

The tectonic earthquake occurred in Palu City on September 28, 2018 caused collapse on the first story of Tadulako University, Faculty of Forestry building and severe damage of Fire Station building. The Faculty of Forestry had the column ratio of 1.0 and a brick wall ratio in Y direction of 0.92, while X direction has no wall. On the other hand, the second building had a column ratio of 1.19, and wall ratios of 1.12 and 1.07 in X and Y directions, respectively. Pushover analysis was carried out on the two buildings to evaluate the seismic capacity and the failure mechanism of building structures. Pushover analysis was conducted with and without considering brick walls in X and Y directions. As the results, in the case of without brick wall, the Faculty Forestry had base shear coefficients of 0,29 in X direction and 0,27 in Y direction. In case considering brick walls, the base shear coefficients of Faculty of Forestry building were 0.37 and 0.56 in X and Y directions, respectively. On the other hand, base shear coefficients of the Fire Station building without considering brick walls were 0,36 and 0,32 in X and Y directions, respectively. In the case of considering brick walls, the base shear coefficients were 0.83 and 2.1, in X and Y direction, respectively. The columns and beams of the Fire station building suffered moderate damage. It seemed that the Fire Station Building had better seismic performance due to it has higher column and wall ratios than that of Forestry Faculty building.

Keywords : static-nonlinear analysis (pushover), Palu earthquake, seismic capacity, base shear coefficient, STERA 3D.

ABSTRAK

Gempa bumi tektonik terjadi di Kota Palu pada tanggal 28 September 2018 menyebabkan Gedung Fakultas Kehutanan Universitas Tadulako runtuh pada lantai satu, dan Gedung Dinas Pemadam Kebakaran rusak berat namun dapat bertahan. Gedung Fakultas Kehutanan memiliki rasio kolom sebesar 1,0 dan rasio dinding arah Y sebesar 0,92 sedangkan arah X tidak memiliki dinding. Gedung Dinas Pemadam Kebakaran memiliki nilai rasio kolom sebesar 1,19, dan rasio dinding sebesar 1,12, dan 1,07 masing-masing dalam arah X dan Y. Analisis pushover dilakukan pada kedua gedung tersebut untuk mengevaluasi kapasitas seismik dan pola keruntuhan struktur gedung. Analisis pada kedua gedung dilakukan dengan dan tanpa memperhitungkan pengaruh dinding bata pada arah X dan arah Y. Hasil analisis gedung Fakultas Kehutanan mendapatkan nilai koefisien gaya geser maksimum untuk struktur tanpa memperhitungkan dinding pada arah X sebesar 0.29 dan arah Y sebesar 0,27. Nilai koefisien gaya geser dengan memperhitungkan dinding bata adalah 0,37 arah X dan arah Y sebesar 0,56. Sedangkan hasil analisis gedung Dinas Pemadam Kebakaran mendapatkan bahwa tanpa dinding bata gedung memiliki koefisien geser sebesar 0,36 dan 0,32 masing-masing dalam arah X dan Y. Jika dihitung pengaruh dinding bata, gedung memiliki koefisien gaya geser maksimum arah X sebesar 0,83 dan arah Y sebesar 2,1. Pada gedung ini, struktur kolom dan balok hanya mengalami rusak sedang. Hal ini diasumsikan karena rasio kolom dan dinding pada gedung Pemadam Kebakaran lebih besar daripada Gedung Fakultas kehutanan.

Kata Kunci : Analisis statik nonlinier (*pushover*), Gempa Palu, Kapasitas Seismik, koefisien geser, STERA 3D.

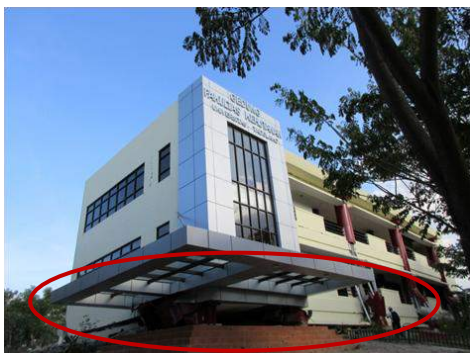
1. PENDAHULUAN

Indonesia sering terjadi gempa besar yang mengakibatkan gedung beton bertulang mengalami kerusakan hingga runtuh. Salah satu pulau yang rawan terhadap gempa bumi tektonik adalah pulau Sulawesi karena Sulawesi merupakan wilayah pertemuan tiga lempeng yaitu Ind-Australia, Eurasia, dan Filipina. Pada tanggal 28 September 2018 gempa besar berkekuatan 7,4 SR telah terjadi di Provinsi Sulawesi Tengah yang berpusat di Palu dengan titik koordinat $0^{\circ} 15' 21,6'' S$ $119^{\circ} 50' 45,6'' E$, pada kedalaman 10 km yang disebabkan oleh aktifitas sesar aktif pada zona sesar Palu-Koro. (USGS, 2018).

Gempa Palu 28 September 2018 menyebabkan banyak gedung beton bertulang mengalami kerusakan berat, diantaranya adalah gedung Rusunawa Kelurahan Lere, gedung Rumah Sakit Anutapura, dan gedung IAIN, dimana gedung-gedung tersebut mengalami kerusakan berat sehingga tidak layak huni. (Fajar dkk, 2018). Selain gedung yang telah disebutkan sebelumnya, ada beberapa gedung yang juga mengalami kerusakan berat dengan tipe kerusakan kolom *soft story*, dimana terjadi tekukan yang besar pada kolom sehingga struktur mengalami kerusakan tetapi tidak mengakibatkan bangunan tersebut roboh, seperti pada gedung Universitas Terbuka, dan gedung Dekanat FISIP Universitas Taduko.

Beberapa gedung mengalami kerusakan berat yang menarik untuk dianalisis adalah pertama gedung Fakultas Kehutanan Universitas Tadulako yang mengalami keruntuhan total pada lantai satu yang ditunjukkan pada gambar 1.1. Yang kedua adalah gedung Dinas Pemadam Kebakaran, gedung ini mengalami kerusakan berat namun tidak mengalami keruntuhan dan dapat bertahan saat gempa terjadi seperti ditunjukkan pada gambar 1.2. Kerusakan struktur yang terjadi pada gedung Pemadam Kebakaran adalah kerusakan pada kolom lantai satu seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.3.

Untuk mengetahui kinerja seismik dan mengidentifikasi level kerusakan pada struktur gedung beton bertulang yakni gedung Fakultas Kehutanan Universitas Tadulako dan gedung Dinas Pemadam Kebakaran Kota Palu, maka dilakukan evaluasi kinerja gedung metode *pushover* dengan pemodelan menggunakan perangkat lunak *Structural Earthquake Response Analysis 3D (STERA 3D ver.10.1)*.



a. Tampak Depan



b. Tampak Samping

Gambar 1.1 Tampak Gedung Fakultas Kehutanan Universitas Tadulako



Gambar 1.2 Tampak Gedung Dinas Pemadam Kebakaran



Gambar 1.3 Kerusakan kolom lantai satu pada gedung Dinas Pemadam Kebakaran Kota Palu

2. DESKRIPSI GEDUNG

2.1 Gedung Fakultas Kehutanan

Gedung Fakultas Kehutanan Universitas Tadulako merupakan salah satu dari dua gedung yang menarik untuk dianalisis kapasitas seismiknya. Gedung ini berlokasi di kampus Universitas Tadulako, Kelurahan Tondo, Kecamatan Mantikulore, Kota Palu, Sulawesi Tengah. Gedung ini merupakan gedung beton bertulang 3 (tiga) lantai yang berfungsi sebagai gedung perkuliahan. Tinggi antara gedung ini adalah 4,0 meter, tulangan yang digunakan dengan mutu 390 MPa, mutu kuat tekan betonnya 26,95 MPa. Gedung ini merupakan gedung yang mengalami keruntuhan akibat gempa Palu yang terjadi pada 28 September 2018 seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1. Pada gambar terlihat bahwa lantai 1 bangunan tersebut sudah runtuh (*Collapse*). Data-data balok dan kolom pada gedung ini diperlihatkan pada tabel 2.1.

2.2 Gedung Dinas Pemadam Kebakaran

Gedung Dinas Pemadam Kebakaran Kota Palu merupakan gedung kedua yang akan dianalisis, gedung ini merupakan gedung beton bertulang 2 (dua) lantai yang berfungsi sebagai pusat informasi dan pengaduan serta operasi pemadam kebakaran. Tampak depan gedung ini ditunjukkan pada Gambar 1.2. Gedung ini berlokasi di Jl. Balai Kota Timur no. 11, Tanamodindi, Mantikulore, Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah. Gedung ini memiliki ketinggian perlantai yakni 4,18 meter, tulangan yang digunakan mutu 240 MPa, mutu kuat tekan betonnya 25,80 MPa. Kerusakan yang dominan terjadi pada gedung ini adalah kerusakan pada kolom yakni terjadi keruntuhan pada beberapa kolom yang menyebabkan gedung ini mengalami kerusakan berat, maka akan dilakukan evaluasi jenis keruntuhan yang terjadi di kolom-kolom pada gedung ini. Data-data balok dan kolom pada gedung ini diperlihatkan pada tabel 2.1.

3. METODE *PUSHOVER* ANALISIS

Adapun tahapan-tahapan pemodelan berupa narasi dengan metode *pushover* adalah sebagai berikut :

1. Masukan jumlah koordinat bangunan dan jumlah lantai dari masing-masing gedung.
2. Selanjutnya, memplotkan data kolom, data balok, dan data dinding, pada masing-masing gedung.
3. Setelah memplotkan semua data, langkah berikutnya adalah membuat denah pemodelan dengan cara mengklik koordinat balok, kolom, dan dinding. Lalu masukan jarak koordinat bangunan yang sesuai dengan denah gedung perlantai.
4. Hal yang dilakukan selanjutnya adalah memplot beban total perlantai dan tinggi setiap gedung. Untuk gedung fakultas kehutanan beban lantai satu adalah 385.667,7 kg, beban lantai dua 385.667,7 kg dan untuk beban lantai tiga adalah 395.347,7 kg. Untuk gedung dinas pemadam kebaran, total beban dari masing-masing lantai adalah lantai satu memiliki beban bangunan sebesar 490.350 kg, dan beban lantai dua adalah 528.850 kg.
5. Dilakukan Analisis *Pushover* pada pemodelan gedung, dengan cara mengklik bagian *actual size* pada pemodelan yang sudah berbentuk 3D. Setelah itu pemodelan bisa dianalisis dengan mengklik pada *analyze*. Akan keluar setelahnya menu *response setting*, pada bagian *direction* dapat dipilih arah sumbu yang akan di analisis, lalu distribusi beban yang digunakan pada analisis ini adalah beban dari UBC. Selanjutnya, dimasukkan target dorong beban lateral pada bagian puncak dengan maksimum *top drift* sejauh 1/50 atau 20 cm.
6. Terakhir, dilakukan analisis data.

Tabel 2.1 Data Balok dan Data Kolom

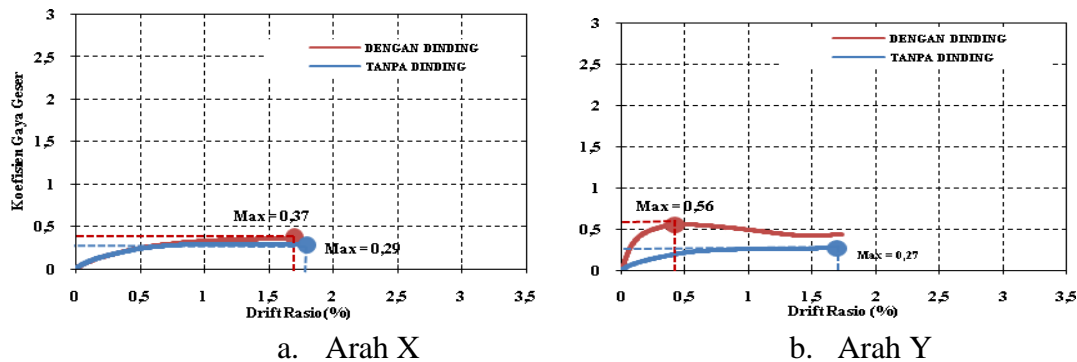
Dimensi Balok	
Balok B1 = 700 x 400 mm	Balok B1 = 700 x 300 mm
Balok B2 = 600 x 300 mm	Balok B2 = 700 x 300 mm
Balok B3 = 700 x 400 mm	Balok Ba 1 = 300 x 200 mm
Balok B4 = 500 x 300 mm	
Balok Ba 1 = 500 x 300 mm	
Balok Ba 2 = 500 x 300 mm	
Balok Ba 3 = 300 x 200 mm	
Penulangan Balok	

Tulangan Utama = D19 dan D22	Tulangan Utama = \emptyset 12 dan \emptyset 22
Tulangan Sengkang = \emptyset 8 dan \emptyset 10	Tulangan Sengkang = \emptyset 8
Dimensi Kolom	
Kolom K1 = 500 x 500 mm	Kolom K1 = 650 x 350 mm
Kolom K2 = 400 x 400 mm	
Kolom K1-1 = 500 x 500 mm	
Penulangan Kolom	
Tulangan Utama = D22	Tulangan Utama = \emptyset 19
Tulangan Sengkang = \emptyset 10	Tulangan Sengkang = \emptyset 8

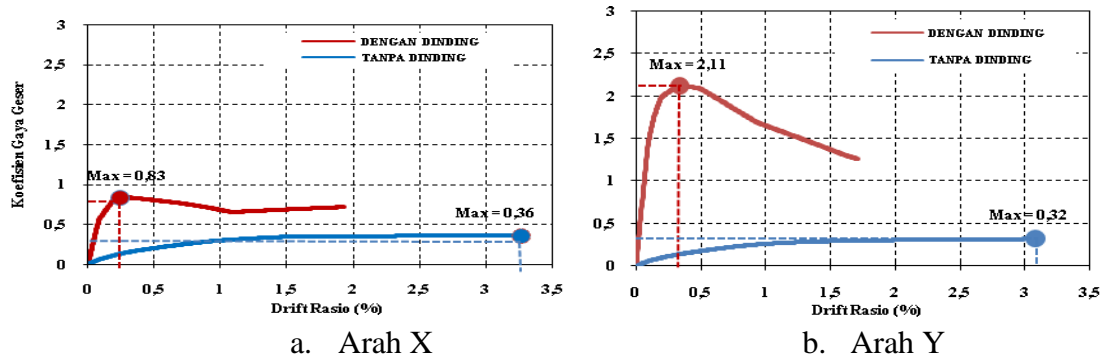
4. KAPASITAS SEISMIK GEDUNG BETON BERTULANG

4.1 Hubungan Koefisien Gaya Geser dan *Drift* Rasio

Hasil analisis statik nonlinier model struktur rangka beton bertulang berupa kurva diperlihatkan pada gambar 4.1 untuk gedung Fakultas Kehutanan dan gambar 4.2 untuk gedung Dinas Pemadam Kebakaran. Pada gambar 4.1 didapatkan hasil koefisien gaya geser dasar untuk struktur rangka beton bertulang dengan dinding arah sumbu X sebesar 0,37 dan arah sumbu Y sebesar 0,56, dan koefisien gaya geser dasar struktur beton bertulang tanpa dinding arah sumbu X sebesar 0,29 dan arah sumbu Y sebesar 0,27. Kurva dibawah ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan koefisien gaya geser yang cukup signifikan antara struktur yang menggunakan dinding bata dan tanpa dinding bata. Kurva tersebut menunjukkan bahwa penggunaan dinding bata pada struktur meningkatkan nilai koefisien gaya geser dasar, akan tetapi dinding bata dapat memperkecil nilai daktilitas struktur gedung. Kurva pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa nilai koefisien gaya geser maksimum struktur dengan dinding, memiliki nilai *drift* rasio yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur tanpa dinding.



Gambar 4.1 Hubungan Antara Koefisien Gaya Geser Dasar Terhadap *Drift* Rasio Gedung Fakultas Kehutanan



Gambar 4.2 Hubungan Antara Koefisien Gaya Geser Dasar Terhadap *Drift Rasio* Gedung Dinas Pemadam Kebakaran

Adapun hasil yang didapatkan dari gambar 4.2 yakni, koefisien gaya geser arah X sebesar 0,83 untuk struktur rangka dengan dinding dan 0,36 untuk struktur rangka tanpa dinding. Dinding bata mampu menambah koefisien gaya geser sebesar 0,47 dari koefisien geser tanpa dinding dan jika dipersentasekan lebih dari 100%. Sementara itu, untuk koefisien gaya geser struktur rangka dengan dinding arah sumbu Y memiliki nilai koefisien geser sebesar 2,10, dan struktur rangka tanpa dinding memiliki koefisien geser sebesar 0,32 dimana kedua nilai tersebut memiliki selisih yang cukup signifikan. Jika dibandingkan antara struktur rangka dengan dinding arah X dan arah Y, koefisien gaya geser terbesar berada pada struktur rangka dengan dinding arah Y. Dari gambar 4.1 dan 4.2 dapat dilihat bahwa nilai *drift ratio* terhadap koefisien gaya geser maksimum struktur tanpa dinding bata lebih besar dibandingkan dengan struktur dengan dinding bata. Besarnya nilai *drift ratio* terhadap koefisien gaya geser maksimum memperlihatkan bahwa struktur tanpa dinding mengalami kondisi yang lebih daktail. Dari gambar diatas memperlihatkan gedung dinas pemadam kebakaran tanpa dinding bata mengalami kondisi yang lebih daktail dari gedung fakultas kehutanan tanpa dinding bata.

4.2 Tingkat Kerusakan Struktur

Pada *software STERA 3D* dan mengacu kepada ATC-40 telah mengelompokkan tingkat kerusakan struktur menjadi dua tipe. Tipe yang pertama daktilitas besar dari satu dan kecil dari lima ($1 < \mu < 5$) berwarna kuning yang berarti pada kondisi tersebut struktur mengalami kerusakan sedang. Tipe yang kedua daktilitas besar dari lima ($\mu > 5$) berwarna merah yang berarti pada kondisi tersebut struktur mengalami kerusakan berat.

Pada tabel 4.1 dan 4.2 telah di deskripsikan tingkat kerusakan struktur hasil dari analisis metode *pushover*. Kedua tabel memperlihatkan kondisi kerusakan struktur yang terjadi pada Gedung Fakultas Kehutanan dan Gedung Dinas Pemadam Kebakaran.

Tabel 4.1 Tingkat Kerusakan Struktur Gedung Fakultas Kehutanan

Type	Jumlah Elemen	Kasus I Tanpa Pengaruh Dinding Bata					
		Keruntuhan				Tidak Rusak	
		($\mu > 5$) Rusak Berat	%	($1 < \mu < 5$) Rusak Sedang	%	Tidak Rusak	%
Kolom	54	28	51,85 %	25	46,30%	1	1,85 %

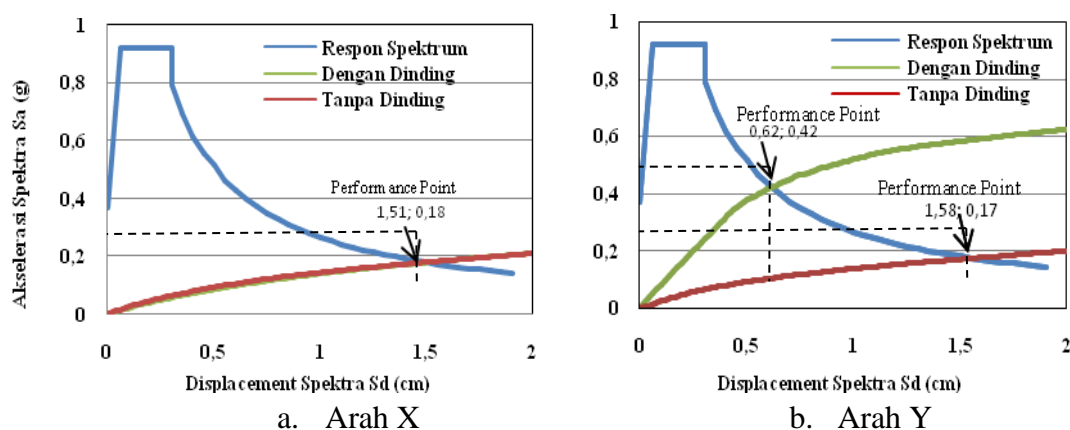
Balok	186	68	36,56 %	90	48,39 %	28	15,05 %
Kasus II Dengan Pengaruh Dinding							
Kolom	54	3	5,55 %	51	94,45 %	0	0
Balok	186	7	3,76 %	144	77,42 %	35	18,82 %

Tabel 4.2 Tingkat Kerusakan Struktur Gedung Dinas Pemadam Kebakaran

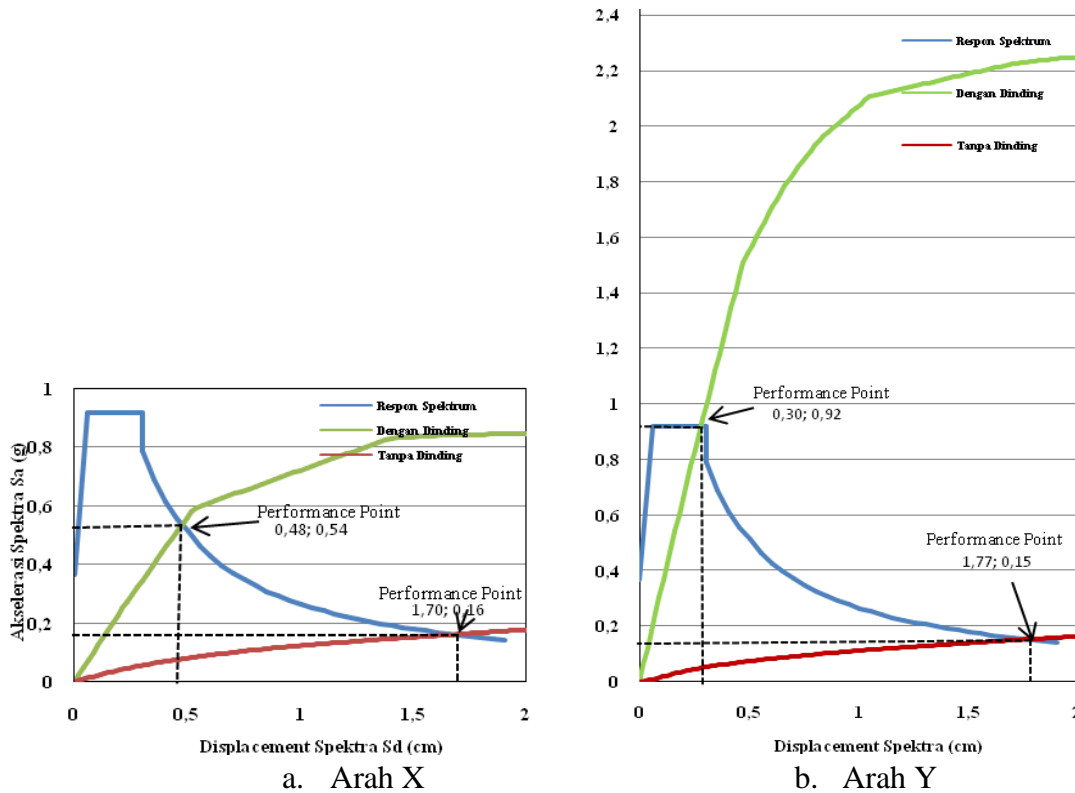
Kasus I Tanpa Pengaruh Dinding Bata							
Type	Jumlah Elemen	Keruntuhan				Tidak Rusak	%
		($\mu > 5$) Rusak Berat	%	($1 < \mu < 5$) Rusak Sedang	%		
Kolom	52	0	0	52	100%	0	0
Balok	94	0	0	90	95,74 %	4	4,26 %
Kasus II Dengan Pengaruh Dinding							
Kolom	52	0	0	30	57,69 %	22	42,31 %
Balok	94	7	7,45 %	59	62,77 %	28	29,78 %

4.3 Titik Kinerja Struktur

Titik kinerja (*Performance Point*) merupakan titik perpotongan antara Akselerasi Spektra (S_a) dan *Displacement* Spektra (S_d) yang diperlihatkan pada kurva gambar 4.3 dan gambar 4.4. Adapun analisis yang dilakukan yakni, menentukan titik kinerja gedung fakultas kehutanan dan gedung dinas pemadam kebakaran dengan masing-masing model (tanpa pengaruh dinding dan dengan pengaruh dinding bata) pada satu grafik.



Gambar 4.9 Plot Kurva Kapasitas dan Kebutuhan Gedung Fakultas Kehutanan



Gambar 4.10 Plot Kurva Kapasitas dan Kebutuhan Gedung Dinas Pemadam Kebakaran

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa struktur dengan pengaruh dinding lebih dulu mengalami kerusakan, struktur dengan dinding arah Y memiliki nilai akselerasi yang lebih besar dibanding struktur dengan dinding arah X. Akan tetapi arah Y memiliki nilai daktilitas lebih rendah yang membuat struktur tersebut mengalami kerusakan lebih cepat. Nilai titik kinerja gedung fakultas kehutanan arah X adalah sebesar (1,51;0,18), dan untuk arah Y sebesar (0,62;0,42). Jika tanpa pengaruh dinding, struktur arah X dan arah Y memiliki nilai daktilitas yang sama hanya berbeda sedikit pada nilai akselerasi. Nilai titik kinerja gedung fakultas kehutanan tanpa pengaruh dinding arah X adalah sebesar (1,51;0,18), dan untuk arah Y sebesar (1,58;0,17). Sama seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3, pada gambar 4.4 memperlihatkan bahwa dinding mempengaruhi nilai daktilitas struktur. Gedung dinas pemadam kebakaran dengan pengaruh dinding arah Y memiliki nilai kinerja struktur sebesar (0,30;0,92) dan arah X sebesar (0,48;0,54), hal ini membuktikan bahwa besarnya nilai akselerasi justru akan memperkecil nilai *displacement* spektra. Berbanding terbalik dengan struktur yang dipengaruhi dinding, struktur tanpa dinding arah Y justru lebih daktil dari pada struktur arah X, diperlihatkan dari nilai *displacement* spektra arah Y yang lebih besar. Nilai titik kinerja struktur arah X sebesar (1,70;0,16) dan nilai titik kinerja pada arah Y sebesar (1,77;0,15).

5. KESIMPULAN

Analisis statik nonlinier (*Pushover*) yang dilakukan pada dua model dan dua gedung yang berbeda, yaitu yang pertama Gedung Fakultas Kehutanan yang mengalami kerusakan berat hingga roboh pada lantai 1, dan yang kedua Gedung Dinas Pemadam Kebaran yang mengalami kerusakan berat tapi tidak sampai roboh. Dari analisis kedua gedung dengan dua pemodelan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Gedung Fakultas Kehutanan tanpa dinding bata memiliki koefisien gaya geser dasar sebesar 0,37 pada arah X. Gedung ini mengalami kerusakan berat sebesar 51,85 % pada kolom, dan mengalami kerusakan sedang sebesar 48,39 % pada balok.
2. Gedung Fakultas Kehutanan dengan dinding bata memiliki koefisien gaya geser dasar sebesar 0,56 pada arah Y. Gedung ini mengalami kerusakan sedang sebesar 94,45 % pada kolom, dan mengalami kerusakan sedang sebesar 77,42 % pada balok.
3. Gedung Dinas Pemadam Kebakaran tanpa dinding bata memiliki koefisien gaya geser dasar maksimum sebesar 0,83 pada arah. Gedung ini mengalami kerusakan sedang sebesar 100 % pada kolom, dan mengalami kerusakan sedang sebesar 95,74 % pada balok.
4. Gedung Dinas Pemadam Kebakaran dengan dinding bata memiliki koefisien gaya geser dasar sebesar 2,10 pada arah Y. Gedung ini mengalami kerusakan sedang sebesar 57,69 % pada kolom, dan mengalami kerusakan sedang sebesar 62,77 % pada balok.
5. Struktur beton bertulang gedung Dinas Pemadam Kebakaran mampu menerima beban gaya geser yang lebih besar dibandingkan dengan struktur beton bertulang gedung Fakultas Kehutanan, hal ini menjadi simpulan kenapa gedung Dinas Pemadam Kebakaran dapat bertahan ketika gempa terjadi.
6. Gedung Dinas Pemadam Kebakaran memiliki nilai rasio dinding dan rasio kolom yang lebih besar dibandingkan dengan gedung Fakultas Kehutanan. Hal ini yang menjadi asumsi sebab gedung Dinas Pemadam Kebakaran hanya mengalami rusak dan tidak roboh.
7. Struktur tanpa dinding gedung Dinas Pemadam Kebakaran memiliki daktilitas yang lebih besar sehingga mampu menahan dorongan dari beban gempa yang lebih besar dibandingkan gedung Fakultas Kehutanan. Rendahnya daktilitas struktur gedung Fakultas Kehutanan menjadi asumsi kenapa gedung tersebut mengalami roboh pada struktur lantai satu.
8. Dinding bata penuh ternyata mampu menjadi pengaku struktur beton bertulang untuk mengurangi persentase simpangan horizontal gedung sehingga struktur aman ketika diberi beban.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrasyid, Yunus., 2019. *Analisis Kapasitas Seismik Struktur Gedung Fakultas Kehutanan Universitas Tadulako*. Skripsi. Institut Teknologi Padang. Padang, Sumatera Barat.
- Alfajri, Aditya., 2018. *Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Beton Bertulang Tanpa Dan Dengan Pengaruh Dinding Bata Terhadap Beban Gempa*. Skripsi. Institut Teknologi Padang. Padang, Sumatera Barat.
- Applied Technology Council.*, 1996. *ATC 40 - Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City, California, U.S.A.
- Badan Standardisasi Nasional., 2012. *SNI-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*. Bandung : Departemen Pekerjaan Umum.
- Nugroho, Fajar., dkk., 2018. *Observasi Kerusakan Struktur Rangka Beton Bertulang Eksisting Pasca Gempa Palu 2018*. 5th ACE Conference. Padang, Sumatera Barat.

Uniform Building Code (UBC)., 1997. *Structural Engineering Design Provisions, Volume 2*. ICBO, U.S.A.

United States Geological Survey (USGS). 2018. *Magnitude 7.5 Earthquake near Palu, Indonesia*.

<<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us1000h3p4/executive#executive>

>

Wila Zarinda, Septi., 2019. *Analisis Kapasitas Seismik Gedung Dinas Pemadam Kebakaran Kota Palu Sulawesi Tengah*. Skripsi. Institut Teknologi Padang. Padang, Sumatera Barat.

EVALUASI KINERJA STRUKTUR BAJA GEDUNG BERTINGKAT BERATURAN TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1729 2015

Appriilya Destiyani¹, Iskandar Romey Sitompul², Reni Suryanita³, Indra
Kuswoyo⁴

¹Mahasiswa S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Riau. Email:
appriilya.destiyani@student.unri.ac.id

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Riau. Email:
iskandar.romey@lecturer.unri.ac.id

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Riau. Email:
reni.suryanita@lecturer.unri.ac.id

⁴Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Riau. Email:
indra.kuswoyo@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

All buildings in Indonesia have to be designed properly to prevent structural collapse and serious damage that potentially cause loss of life in earthquake events. The purpose of this study is to analyse the behaviour of steel frame building structure located in Pekanbaru including analysis of inter-storey drift, structural performance and internal force by using Direct Analysis Method (DAM) and Effective Element Method (ELM). In this research, a regular 10-storey building is modelled with span between columns 4 m in x-direction and 5 m in y-direction. The system is open structure without bracing, framed by IWF 478.447.60.60 and IWF 406.403.24.26 for columns and beams respectively. The result shows that the maximum inter-storey drift in this structure is 0,0534 in x-direction which is less than 0,0692 which is the permissible value required by RSNI 1726 201X. Based on FEMA 356 the structure performance categorized in IO (Immediate Occupancy) level performance with storey drift ratio less than 0.7%. The internal forces that is calculated by using DAM with notional load applied at all levels is 1,4% higher than the internal forces by ELM. Whereas the internal force caused by earthquake load based on 2017 seismic hazard maps is 9.8% lower than it is caused by earthquake design load based on 2010 seismic maps. This is due to the lower peak ground acceleration (PGA) based on 2017 maps that is 0,15 g - 0,2 g compared to PGA based on 2010 maps i.e. 0,2 g - 0,25 g.

Keywords: Steel structure, performance, internal force, design method, seismic hazard map

1. PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Interaksi antara 3 lempeng tersebut memiliki jenis bidang batas lempeng yang sama di mana bidang batas konvergen yang membentuk zona-zona subduksi (Indriana, 2008). Oleh karena itu, Setiap bangunan yang berada di Indonesia harus dirancang sedemikian rupa agar bangunan aman terhadap beban gempa.

Pada abad ke-19 baja menjadi salah satu material konstruksi yang telah digunakan, akibatnya metode baja murah mulai dikembangkan (Prayudi, 2005). Material baja merupakan material yang sering digunakan sebagai material utama dalam pekerjaan struktur konstruksi. Material baja secara alami mempunyai rasio kuat berbanding berat-volume yang tinggi, sehingga bangunan dengan konstruksi baja akan menghasilkan sistem pondasi lebih ringan, ini penting pada bangunan tahan gempa. Selain itu, material baja punya karakter kekuatan tinggi, sangat daktail dan relatif kaku, yang merupakan syarat ideal mengantisipasi beban tak terduga

(Wiryanto, 2005). Oleh karena itu, diperlukan standar peraturan yang diharapkan agar konstruksi dibangun dengan tingkat keamanan lebih tinggi dan dapat menekan biaya pembangunan.

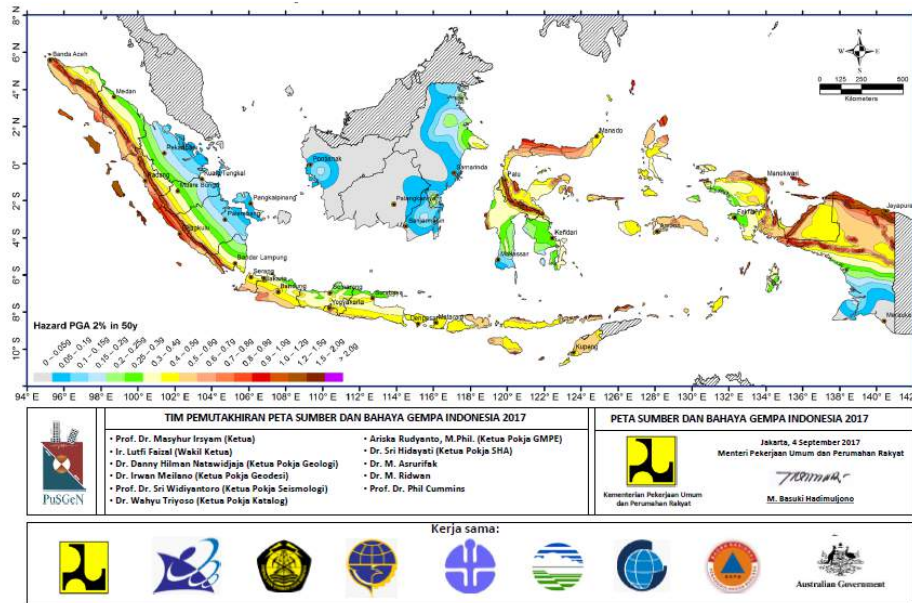
SNI 1729 2015 (spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural) telah resmi beredar di Indonesia dan menggantikan SNI 1729 2002. SNI 1729 2015 mengacu dan mengadopsi penuh AISC (*American Institute of Steel Construction*) 2010. Di dalam peraturan ini terdapat metode desain baru, yaitu *Direct Analysis Method* (DAM) sebagai alternatif dari metode yang telah digunakan selama ini, yaitu *Effective Length Method* (ELM). Selain itu, peta bahaya gempa Indonesia juga melakukan pembaharuan menjadi Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017. Peta tersebut ini menggantikan Peta Bahaya Gempa Indonesia 2010 (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017).

Segala upaya untuk mengurangi risiko bahaya gempa perlu dilakukan dengan tindakan pencegahan dengan penanggulangan bencana. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan pemutakhiran Peta Bahaya Gempa Indonesia 2010 digantikan dengan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017. Hal ini supaya masyarakat Indonesia mampu menyiapkan diri dalam menghadapi bencana gempa dan diharapkan tingkat risiko dalam pembangunan bangunan dapat diminimalkan (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Peta gempa 2017 lebih mengacu pada kondisi terkini untuk wilayah Indonesia. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk mengetahui pengaruh perubahan peta bahaya gempa Indonesia terhadap struktur gedung di wilayah kota Pekanbaru.

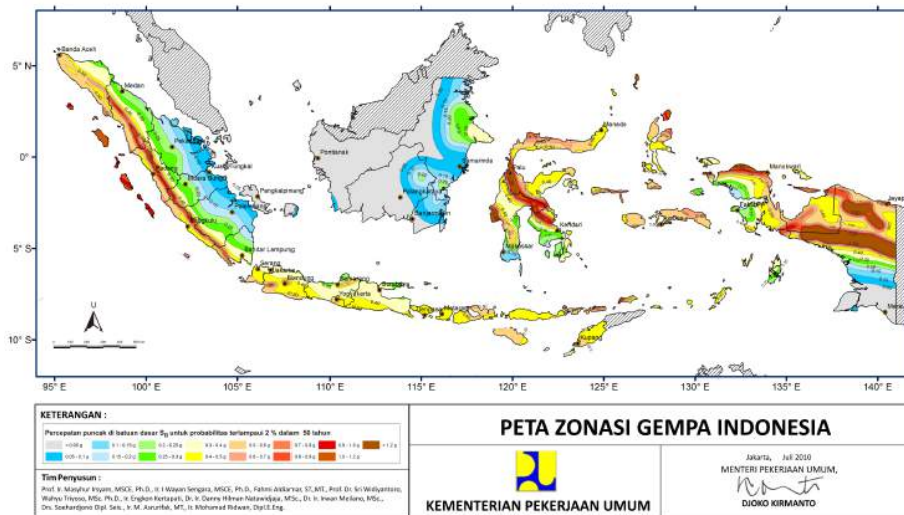
2. STUDI PUSTAKA

2.1 Peta Gempa Indonesia

Kementrian PUPR Bersama para ahli gempa melakukan pemutakhiran peta gempa Indonesia dan diberi nama Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017. Peta gempa 2017 ini mengacu pada analisis PSHA (*Probabilistic Seismic Hazardm Analysis*) yang merupakan peta percepatan puncak di batuan dasar PGA (*Peak Ground Acceleration*). PGA memiliki delapan periode ulang, periode ulang yang dipergunakan, yaitu 50, 100, 200, 500, 1000, 2500, 5000, dan 10000 tahun. Analisis terhadap hasil perhitungan PSHA oleh Tim Pusat Studi Gempa (2017) menunjukkan akan muncul guncangan yang semakin bertambah tinggi di suatu area seiring dengan semakin bertambah panjang rentang waktu penghitungan. Hal ini terjadi karena semakin panjang waktu maka semakin banyak gempa dengan magnitudo lebih besar yang muncul.



Gambar 1. Peta hazard gempa Indonesia 2010



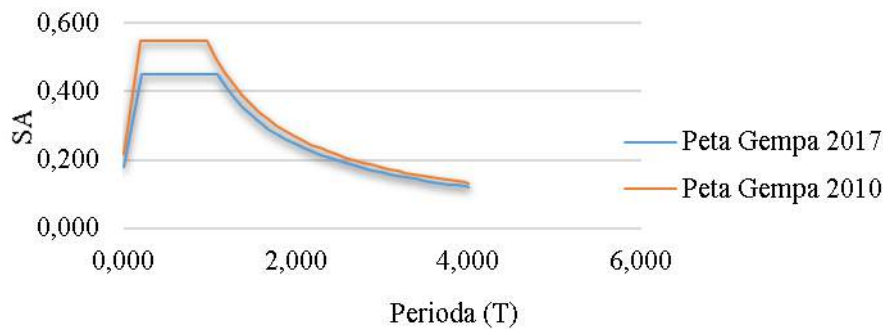
Gambar 2. Peta hazard gempa Indonesia 2010

2.2 Ketentuan Pembebanan

Beban-beban yang diperhitungkan di dalam analisis penelitian ini adalah:

1. Beban mati, total beban mati tambahan yang digunakan adalah $3,41 \text{ kN/m}^2$ yang mencakup *Mechanical & Electrical*, plesteran, keramik, plafon dan penggantung.
2. Beban hidup, bangunan struktur difungsikan sebagai apartemen dengan beban hidup sebesar $1,92 \text{ kN/m}^2$ dan atap $0,96 \text{ kN/m}^2$ menurut SNI 1727 2013.
3. Beban gempa, peta gempa yang digunakan adalah peta gempa 2010 dan 2017 dengan nilai percepatan spektrum respons pada peta 2017 untuk S_1 dan S_s sebesar 0,299 dan 0,236, sedangkan pada peta gempa 2010 untuk S_1 dan S_s sebesar 0,441 dan 0,274.

Gambar 1 adalah grafik respon spektrum yang digunakan pada penelitian ini, dimana terdapat perbedaan untuk nilai Sa dan Perioda (T) antara peta gempa 2017 dan 2010.



Gambar 3. Respons spektrum kota pekanbaru

2.3 Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. berikut parameter penentuan simpangan antar tingkat berdasarkan RSNI3 1726 201X:

1. Faktor pembesaran defleksi (C_d)
Berdasarkan SNI 1726 201X, sistem struktur yang digunakan adalah SPRMK dengan C_d adalah 5,5.
2. Faktor keutamaan gempa (I_e)
Berdasarkan SNI 1727 2013, kategori risiko bangunan penelitian ini difungsikan sebagai apartemen dimana termasuk pada kategori risiko II sehingga I_e (Faktor keutamaan gempa) adalah 1.
3. Simpangan antar tingkat izin (Δ_a)
Kategori risiko pada penelitian ini adalah kategorie risiko II. Berdasarkan SNI 1726 201X simpangan antar tingkat izin untuk semua struktur lainnya adalah 0,020 dan berdasarkan RSNI3 1726 201X Pasal 7.12.1.1 untuk kategori risiko dengan seismik D, E, atau F, simpangan antar tingkat (Δ) tidak boleh melebihi (Δ_a / ρ).
4. Faktor redundansi (ρ)
Berdasarkan Pasal 7.3.4.2 RSNI3 1726 201X untuk struktur yang tidak memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan dengan kategori desain seismik D, E, atau F, ρ harus sebesar 1,3, jika tidak ρ diizinkan diambil sebesar 1,0.

Persamaan simpangan antar tingkat yang digunakan sebagai berikut:

$$\Delta = \frac{(\delta \cdot C_d)}{I} \quad (1)$$

Persamaan simpangan antar tingkat izin yang digunakan sebagai berikut:

$$\Delta = \frac{(0,020 h_{sx})}{\rho} \quad (2)$$

2.4 Analisis Pushover

Analisis pushover adalah suatu komponen desain yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari struktur. Prosedur analisisnya akan menjelaskan bagaimana mengidentifikasi bagian-bagian dari bangunan yang akan mengalami kegagalan.

2.5 Target Perpindahan

Pada penelitian ini digunakan Metode Koefisien Perpindahan atau *Displacement Coefficient Method* (DCM), metode ini terdapat dalam FEMA 273/356 untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 dan C_3 sehingga dapat dihitung target perpindahan (δ_t) sebagai berikut:

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 \cdot g \quad (3)$$

FEMA 356 Point 3.3.3.2 menyatakan bahwa untuk menghindari apabila perilaku bangunan pasca keruntuhan melebihi kondisi rencana, maka dibuat analisis *pushover* dengan kurva hubungan gaya geser dasar dan perpindahan lateral titik kontrol dari 0% sampai 150 % dari target perpindahan. Tabel 1 merupakan batasan simpangan untuk berbagai level kinerja struktur berdasarkan sistem struktur rangka pemikul momen yang dinyatakan dalam FEMA 356.

Tabel 1. Batasan simpangan untuk berbagai level kinerja struktur

Level kinerja struktur	Drift (%)	Keterangan
<i>Immediate Occupancy (IO)</i>	0,7	<i>Transient</i>
<i>Life Safety (LS)</i>	2,5	<i>Transient</i> <i>Permanent</i>
<i>Collapse Prevention (CP)</i>	5,0	<i>Transient atau permanent</i>

Menurut FEMA 356 kategori kriteria-kriteria struktur tahan gempa adalah sebagai berikut:

1. *Fully Operational (FO)*, kondisi pasca gempa yakni struktur tetap dapat beroperasi langsung setelah gempa terjadi. Hal ini terjadi karena elemen struktur utama tidak mengalami kerusakan sama sekali dan elemen non struktur hanya mengalami kerusakan sangat kecil.
2. *Immediate Occupancy (IO)*, kondisi pasca gempa dimana hanya sedikit kerusakan yang terjadi, komponen struktur penahan gravitasi maupun komponen struktur penahan lateral dapat mempertahankan karakteristik dan kapasitas seperti kondisi sebelum gempa terjadi.
3. *Life Safety (LS)*, kondisi dimana beberapa komponen utama struktur telah rusak dengan perbaikan yang tidak ekonomis lagi, keselamatan orang baik di dalam maupun di luar gedung terancam, namun ancaman tersebut tidak sampai membahayakan jiwa manusia.
4. *Collapse Prevention (CP)*, kondisi dimana struktur telah mengalami kerusakan parsial ataupun total, kerusakan yang terjadi telah menyebabkan degradasi kekuatan dan kekakuan pada sistem penahan gaya lateral.

2.6 Direct Analysis Method

Pada SNI 1729 2015 *Direct Analysis Method* atau Metode Analisis Langsung disajikan pada Bab C tentang Desain untuk Stabilitas. Pada Pasal 2B SNI 1729 2015 untuk struktur yang menahan beban gravitasi terutama melalui kolom, dinding atau portal vertikal nominal,

diizinkan menggunakan beban *notional* untuk mewakili efek ketidaksempurnaan awal yang sesuai dengan persyaratan dari pasal tersebut. Beban *notional* harus digunakan sebagai beban lateral pada semua level. Beban *notional* harus ditambahkan ke beban lateral lainnya dan harus digunakan pada semua kombinasi beban. Beban *notional* diambil dari nilai kombinasi beban yang paling besar, yaitu beban mati dan beban hidup (Raflesia, 2017). Adapun beban *notional* (SNI 1729 2015) adalah sebagai berikut:

$$N_i = 0,002.\alpha.Y_i \quad (4)$$

Dengan:

$\alpha = 1,0$ (DFBK); $1,6$ (DKI)

N_i = Beban *notional* yang digunakan pada level i , kips (N)

Y_i = Beban gravitasi yang digunakan pada level i dari kombinasi beban DFBK atau kombinasi beban DKI, yang sesuai, kips (N).

2.7 Effective Length Method

Effective Length Method (ELM) merupakan metode yang memperhitungkan pengaruh portal keseluruhan melalui perilaku kolom secara individu. Untuk melakukan hal tersebut, nomogram *braced frame* dan *unbraced frame* diperlukan untuk memperoleh nilai faktor panjang efektif dari kolom secara individu. Penggunaan beban *notional* pada *Effective Length Method*, diperbolehkan tetapi hanya boleh dicantumkan pada kombinasi beban yang hanya merupakan beban gravitasi saja dan tidak untuk kombinasi beban yang mempunyai beban lateral (Febraja,2012). Pada penelitian ini beban *notional* ditambahkan pada analisis DAM saja, sedangkan analisis dengan ELM tidak menambahkan beban *notional*. Hal ini dikarenakan pada analisis ELM pemberian beban *notional* diperbolehkan namun bukan sebagai permodelan ketidaksempurnaan batang (AISC,2010).

3 HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Simpangan Antar Lantai

Pada penelitian ini bangunan difungsikan sebagai apartemen dengan kategori risiko II dengan faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,0. Pemeriksaan simpangan antar tingkat izin dilakukan pada metode DAM dan ELM untuk kondisi tanah lunak. Pada Tabel 2 sampai dengan tabel 5 terlihat bahwa simpangan antar tingkat untuk metode DAM dan ELM dengan beban peta gempa 2010 dan 2017 telah memenuhi persyaratan, yaitu nilai simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi $\frac{\Delta_d}{\rho}$.

Tabel 2. Simpangan antar tingkat untuk DAM Peta Gempa 2010

Lantai ke-	Simpangan antar lantai izin	Displacement (m)		Displacement yang telah diperbesar		Simpangan antar lantai		Memenuhi Ya/Tidak	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
10(Atap)		0,0018	0,0023	0,0077	0,0096	0,0062	0,0054	Ya	Ya
9		0,0033	0,0035	0,0139	0,0150	0,0063	0,0060	Ya	Ya
8		0,0048	0,0050	0,0202	0,0210	0,0058	0,0056	Ya	Ya
7		0,0061	0,0063	0,0260	0,0266	0,0052	0,0051	Ya	Ya
6	0,0538	0,0074	0,0075	0,0311	0,0317	0,0046	0,0043	Ya	Ya
5		0,0084	0,0085	0,0357	0,0360	0,0039	0,0034	Ya	Ya
4		0,0094	0,0093	0,0396	0,0395	0,0032	0,0020	Ya	Ya
3		0,0101	0,0098	0,0429	0,0414	0,0027	0,0011	Ya	Ya
2		0,0108	0,0095	0,0456	0,0403	0,0079	0,0068	Ya	Ya
1	0,0692	0,0126	0,0079	0,0534	0,0335	0,0534	0,0335	Ya	Ya
Lantai dasar	0	0	0	0,0000	0	0	0		

Tabel 3. Simpangan antar tingkat untuk DAM Peta Gempa 2017

Lantai ke-	Simpangan antar lantai izin	Displacement (m)		Displacement yang telah diperbesar		Simpangan antar lantai		Memenuhi Ya/Tidak	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
10(Atap)		0,0017	0,0021	0,0071	0,0088	0,0057	0,0049	Ya	Ya
9		0,0030	0,0032	0,0127	0,0137	0,0058	0,0055	Ya	Ya
8		0,0044	0,0045	0,0185	0,0192	0,0053	0,0052	Ya	Ya
7		0,0056	0,0058	0,0239	0,0244	0,0048	0,0047	Ya	Ya
6	0,0538	0,0068	0,0069	0,0287	0,0291	0,0042	0,0040	Ya	Ya
5		0,0078	0,0078	0,0329	0,0331	0,0036	0,0031	Ya	Ya
4		0,0086	0,0086	0,0365	0,0363	0,0029	0,0018	Ya	Ya
3		0,0093	0,0090	0,0394	0,0380	0,0024	0,0011	Ya	Ya
2		0,0099	0,0087	0,0417	0,0369	0,0071	0,0063	Ya	Ya
1	0,0692	0,0115	0,0072	0,0489	0,0307	0,0489	0,0307	Ya	Ya
Lantai dasar	0	0	0	0	0	0	0		

Tabel 4. Simpangan antar tingkat metode ELM Peta Gempa 2010

Lantai ke-	Simpangan antar lantai izin	Displacement (m)		Displacement yang telah diperbesar		Simpangan antar lantai		Memenuhi Ya/Tidak	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
10(Atap)		0,0016	0,0020	0,0070	0,0086	0,0056	0,0049	Ya	Ya
9		0,0030	0,0032	0,0125	0,0135	0,0057	0,0054	Ya	Ya
8		0,0043	0,0045	0,0183	0,0190	0,0053	0,0051	Ya	Ya
7		0,0056	0,0057	0,0236	0,0241	0,0047	0,0046	Ya	Ya
6	0,0538	0,0067	0,0068	0,0283	0,0287	0,0042	0,0039	Ya	Ya
5		0,0077	0,0077	0,0324	0,0327	0,0036	0,0031	Ya	Ya
4		0,0085	0,0085	0,0360	0,0358	0,0029	0,0017	Ya	Ya
3		0,0092	0,0089	0,0389	0,0375	0,0023	0,0011	Ya	Ya
2		0,0097	0,0086	0,0412	0,0363	0,0065	0,0062	Ya	Ya
1	0,0692	0,0113	0,0071	0,0477	0,0301	0,0477	0,0301	Ya	Ya
Lantai dasar	0	0	0	0	0	0	0		

Tabel 5. Simpangan antar tingkat metode ELM Peta Gempa 2017

Lantai ke-	Simpangan antar lantai izin	Displacement (m)		Displacement yang telah diperbesar		Simpangan antar lantai		Memenuhi Ya/Tidak	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
10(Atap)		0,062013	0,057784	0,2624	0,2445	0,0064	0,0079	Ya	Ya
9		0,060509	0,055914	0,2560	0,2366	0,0115	0,0124	Ya	Ya
8		0,057793	0,052985	0,2445	0,2242	0,0168	0,0174	Ya	Ya
7		0,053828	0,048873	0,2277	0,2068	0,0216	0,0222	Ya	Ya
6	0,0538	0,048711	0,043636	0,2061	0,1846	0,0260	0,0264	Ya	Ya
5		0,04256	0,03739	0,1801	0,1582	0,0299	0,0301	Ya	Ya
4		0,035503	0,030286	0,1502	0,1281	0,0331	0,0329	Ya	Ya
3		0,027678	0,022517	0,1171	0,0953	0,0357	0,0344	Ya	Ya
2		0,01924	0,014388	0,0814	0,0609	0,0377	0,0333	Ya	Ya
1	0,0692	0,01032	0,006515	0,0437	0,0276	0,0437	0,0276	Ya	Ya
Lantai dasar	0	0	0	0	0	0	0		

3.2 Analisis Statis Nonlinier (*Pushover*)

Pada penelitian ini hasil yang diperoleh yaitu perpindahan (m), gaya geser dasar (kN) dan selisih antara perpindahan dan gaya geser dasar pada tiap beban gempa yang diterima yang di cantumkan pada Tabel 6. Peta gempa 2010 dan 2017 memiliki nilai perpindahan dan gaya geser yang sama untuk metode DAM dan ELM.

Tabel 6. Kurva kapasitas untuk metode DAM dan ELM pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Langkah	Peta gempa 2010		Peta gempa 2017	
	Perpindahan (m)	Gaya Geser Dasar (kN)	Perpindahan (m)	Gaya Geser Dasar (kN)
0	0	0	0	0
1	0,1440	8173,6	0,1440	8173,6
2	0,2067	11730,4	0,2067	11730,4
3	0,2516	14089,6	0,2516	14089,6
4	0,2816	14863,9	0,2660	14454,8
5	0,3350	15611,5	0,2816	14863,9
6	0,4481	17191,7	0,4481	17191,7
7	0,5702	18497,5	0,5702	18497,5
8	0,5940	18621,2	0,5940	18621,2
9	0,6178	18674,3	0,6178	18674,3
10	0,6629	18736,8	0,6629	18736,8
11	0,7242	18786,9	0,7242	18786,9
12	0,7585	18804,0	0,7585	18804,0
13	0,9109	18649,7	0,9109	18649,7
14	1,0948	18366,2	1,0948	18366,2
15	1,2122	18175,0	1,2122	18175,0

Pada metode DAM dan ELM target perpindahan berada pada langkah 5 untuk beban gempa 2010 dan pada langkah 4 untuk beban gempa 2017, selisih (%) dari target perpindahan sebesar 5,87% dan 18,95% dan gaya geser dasar sebesar 2,83% dan 5,03%.

3.3 Level Kinerja

Nilai level kinerja pada penelitian ini ditentukan berdasarkan target perpindahan FEMA 356 menggunakan Persamaan 3 dengan batas yang telah disyaratkan pada Tabel 3 yang ditunjukkan pada Tabel 7.

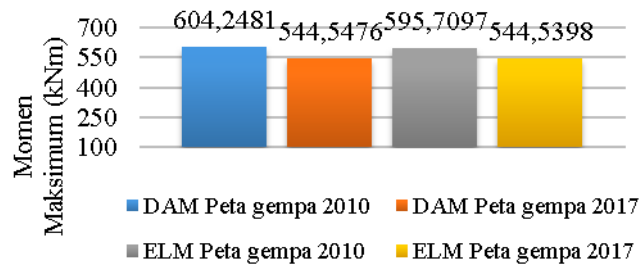
Tabel 7. Perhitungan *drift ratio* berdasarkan perpindahan titik kontrol pada saat target perpindahan tercapai

Metode	Peta gempa	Tinggi struktur (m)	Target perpindahan	Roof drift ratio (%)	Level kinerja
DAM	2010	36	0,3376	0,5064	IO
	2017		0,2660	0,3990	IO
ELM	2010		0,3376	0,5064	IO
	2017		0,2660	0,3990	IO

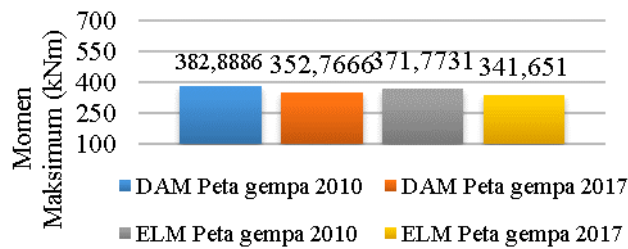
Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai *roof drift ratio* lebih kecil dari 0,7 %. *Roof drift ratio* diperoleh dari 150% dari target perpindahan, maka kinerja gedung termasuk pada level *Immediate Occupancy*. Level *Immediate Occupancy* adalah level dimana hanya sedikit kerusakan yang terjadi, komponen struktur penahan gravitasi maupun komponen struktur penahan lateral dapat mempertahankan karakteristik dan kapasitas seperti kondisi sebelum gempa terjadi.

3.4 Gaya-Gaya Dalam Struktur

Peraturan pembebanan yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan pada SNI 1727 2013 dan beban gempa berdasarkan RSNI3 1726 201X. Sistem struktur bisa saja dibebani dengan beban-beban gaya yang sangat kompleks dan terdiri dari jenis-jenis gaya yang berbeda. Berikut grafik hasil rekapitulasi momen maksimum tiap lantai.



(a) Momen Maksimum pada Kolom



(b) Momen Maksimum pada Balok

Gambar 4. Perbandingan Momen Maksimum

Dari hasil analisis struktur balok dan kolom tiap lantai didapatkan dalam momen dari metode DAM lebih besar dari gaya salam metode ELM. Hal ini disebabkan pada metode DAM terdapat beban *notional* (N_i). Beban *notional* menurut SNI 1729 2015 Pasal C2.2b untuk struktur yang menahan beban gravitasi terutama melalui kolom, dinding atau portal vertikal nominal, diizinkan menggunakan beban *notional* untuk mewakili efek ketidaksempurnaan awal.

4 KESIMPULAN

1. Simpangan antar tingkat pada metode DAM dan ELM memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh RSNI3 1726 201X dimana simpangan antar tingkat yang dihasilkan oleh struktur harus lebih kecil dari simpangan antar tingkat izin. Nilai simpangan antar tingkat terbesar pada penelitian ini, yaitu sebesar 0,0176 m pada metode DAM peta gempa 2010.
2. Level kinerja struktur berdasarkan target perpindahan dari metode Koefisien Perpindahan FEMA 356 diperoleh nilai maksimum *roof drift ratio* (%) untuk metode DAM dan ELM untuk beban peta gempa 2010 dan 2017 dibawah 0,7%. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan pada penelitian ini berada pada level *Immediate Occupancy* dengan *roof drift ratio* maksimum 0,7%.
3. Momen maksimum pada kolom dan balok terhadap metode yang digunakan adalah pada metode DAM. Pada metode DAM momen terbesar berada pada kolom sebesar 604,2481 kN dan metode ELM sebesar 595,7097 kN. Hal ini disebabkan pada metode DAM terdapat beban *notional* (N_i) berdasarkan SNI 1729 2015 Pasal C2.2b
4. Momen maksimum kolom dan balok terhadap beban peta gempa adalah pada peta gempa 2010. Hal ini disebabkan pada peta gempa 2017 percepatan tanah dasar S_1 sebesar 0,299 dan S_s sebesar 0,236, sedangkan pada peta gempa 2010 S_1 sebesar 0,441 dan S_s sebesar 0,274. Peta gempa 2017 mengalami penurunan sebesar S_1 (g) 32% dan S_s (g) 13%.

5 DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 201X. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. SNI 1729 2015. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI 1727 2013, Beban Minimum untuk Perancangan Struktur Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- FEMA. 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. American: Federal Emergency Management Agency
- Indriana, R. 2008. Analisis Sudut Kemiringan Lempeng Subduksi di Selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur Berdasarkan Anomali Gravitasi dan Implikasi Tektonik Vulkanik, Berkala Fisika, 11, 1-8.
- Prayudi, T. 2005. Dampak Industri Peleburan Logam Fe Terhadap Pencemaran Debu di Udara, Jurnal Teknik Lingkungan, 2, 1–6.
- Pusat Studi Gempa Nasional. 2010. Peta Hazard Gempa Indonesia 2010.
- Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017.
- Raflesia, E. 2017. Studi Perbandingan Stress Ratio dengan ELM (Effective Length Method) Dan DAM (Direct Analysis Method) Bangunan Workshop Pada Proyek di Cirebon. Universitas Muhammadiyah Jakarta
- Wiryanto, D. 2005. Menyongsong Era Bangunan Tinggi dan Bentang Panjang, Dipetik Agustus 15, 2019, dari umpalangkaraya.ac.id.

UJI MUTU PENGERINGAN CEPAT PAPAN SAWIT MENGUNAKAN OVEN SUHU TINGGI DAN PEMANASAN *MICROWAVE*

Haji Gussyafri¹, Fakhri², Hasyim Mustakim³

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email: gussyafri@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email: fakhriur@gmail.com

³Mahasiswa D3 Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.

Email: hmustakim@gmail.com

ABSTRACT

Replanting activities on oil palm land leaves a waste of palm trunks which is very potential for raw materials for carpentry wood and furniture, but the weakness of oil palm trunks is easily attacked by fungi. Therefore, it is necessary to improve the quality with a short time drying treatment to avoid oxidation. The research aims to test the speed of drying time of palm boards using laboratory scale ovens and microwave heating. The drying of the test specimens was carried out in an oven temperature of 100oC with variations in board thickness: 5 mm, 10 mm, 15 mm, and 20 mm. The other specimens are dried by microwave heating (at the same thickness variation) to absolute dry water content. Observations were made on the pattern of the tendency of decreasing wood moisture content to the variation of the thickness of the palm board. The results showed that the decrease in water content using a microwave took place linearly, a tendency to slow down the drying time for thicker board sizes. Oven drying test results obtained parabolically decreased water content, the thicker the size of the board then the time of decrease in water content slows down. The time efficiency for microwaves compared to laboratory ovens was obtained very significantly, at 5 mm board thickness it could reach 600%. The results of the compressive strength test of the palm wood test sample showed that the compressive strength of the microwave drying test sample was higher than the results of the compressive pressure test results of the high temperature oven, which increased the compressive strength of the microwave heating treatment to the oven by 29% to 50% for the external cross section, a higher increase was obtained for the cross section of the inner palm board in the range of 59% to 80%

Keywords : Palm board, Quick drying, Laboratory oven, microwave

ABSTRAK

Kegiatan replanting pada lahan kelapa sawit menyisakan limbah batang sawit yang sangat potensial untuk bahan baku kayu pertukangan dan mebel, namun kelemahan batang sawit mudah diserang jamur. Oleh karena itu, perlu dilakukan peningkatan mutu dengan perlakuan pengeringan waktu singkat untuk menghindari oksidasi. Penelitian bertujuan untuk menguji kecepatan waktu pengeringan papan sawit menggunakan oven skala laboratorium dan pemanasan microwave. Pengeringan benda uji dilakukan dalam oven suhu 100oC dengan variasi tebal papan: 5 mm, 10 mm, 15 mm, dan 20 mm. Benda uji yang lain dikeringkan dengan pemanasan microwave (pada variasi ketebalan yang sama) sampai kadar air kering mutlak. Pengamatan dilakukan terhadap pola kecenderungan penurunan kadar air kayu terhadap variasi tebal papan sawit. Hasil penelitian diperoleh bahwa penurunan kadar air menggunakan microwave berlangsung secara linier, kecenderungan terjadi perlambatan waktu pengeringan untuk ukuran papan yang lebih tebal. Hasil uji pengeringan oven diperoleh penurunan kadar air berlangsung secara parabolis, semakin tebal ukuran papan maka waktu penurunan kadar air semakin melambat. Efisiensi waktu untuk microwave dibandingkan dengan oven laboratorium

diperoleh sangat signifikan, pada ketebalan papan 5 mm dapat mencapai 600%. Hasil uji terhadap kuat tekan sampel uji kayu sawit diperoleh bahwa kuat tekan sampel uji hasil pengeringan microwave lebih tinggi dibandingkan dengan hasil uji tekan kayu sawit yang dioven suhu tinggi, peningkatan kuat tekan perlakuan pemanasan microwave terhadap oven sebesar 29% sampai 50% untuk bagian penampang luar, peningkatan yang lebih tinggi diperoleh untuk penampang papan sawit bagian dalam pada kisaran 59% sampai 80%.

Kata Kunci : Papan sawit, Pengeringan cepat, Oven laboratorium, microwave

1. PENDAHULUAN

Perkebunan kelapa sawit di Indonesia merupakan salah satu sector andalan penerimaan devisa. Berdasarkan data BPS tahun 2017, luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia sebelum tahun 2017 selama empat tahun terakhir cenderung menunjukkan peningkatan, kecuali pada tahun 2016 yang mengalami penurunan. Kenaikan tersebut berkisar antara 2,77 sampai dengan 4,70 persen per tahun dan mengalami penurunan pada tahun 2016 sebesar 0,52 persen. Pada tahun 2013 lahan perkebunan kelapa sawit Indonesia tercatat seluas 10,47 juta hektar, meningkat menjadi 11,26 juta hektar pada tahun 2015 atau terjadi peningkatan 7,60 persen. Pada tahun 2016 luas areal perkebunan kelapa sawit menurun sebesar 0,52 persen dari tahun 2015 menjadi 11,20 juta hektar. Selanjutnya, pada tahun 2017 luas areal perkebunan kelapa sawit diperkirakan kembali mengalami peningkatan 9,80 persen dari tahun 2016 menjadi 12,30 juta hektar. Menurut status pengusahaannya, sebagian besar perkebunan kelapa sawit pada tahun 2016 diusahakan oleh perkebunan besar swasta yaitu sebesar 5,75 juta hektar (51,37 %), sebesar 4,74 juta hektar (42,31 %) diusahakan oleh perkebunan rakyat, dan 0,71 juta hektar (6,32 %) diusahakan oleh perkebunan besar negara.

Usia produktif kelapa sawit sekitar 25 tahunan. Setelah tidak produktif lagi, pada umumnya lahan sawit dilakukan kegiatan *replanting* (peremajaan). Kegiatan peremajaan kebun sawit di beberapa kabupaten di propinsi Riau telah berlangsung selama tiga tahun terakhir ini, antara lain di kabupaten Pelalawan, Siak dan Rokan Hulu, dan Kampar. Adanya kegiatan peremajaan lahan sawit menyisakan ribuan meter kubik limbah padat batang sawit (*oil palm trunk ; OPT*), penanganan limbah OPT tersebut pada umumnya ditumpuk atau ditimbun di sisi-sisi lahan bekas tebanan serta sebagian dibakar, penanganan limbah OPT bekas lahan tebanan akan menjadi masalah bagi kesehatan masyarakat dan kenyamanan lingkungan di sekitarnya. Limbah OPT hasil tebanan lahan sawit tersebut akan terus bertambah banyak. Di sisi lain, masyarakat tidak memahami tentang cara penanganannya. Di sisi lain, kelangkaan bahan kayu komersial serta kebijakan pemerintah memperketat aturan peredaran kayu olahan dan pengawasan peredaran kayu illegal berimplikasi pada semakin merosotnya kelangsungan usaha di bidang pengolahan kayu (industri *sawmill* dan usaha ikutannya seperti usaha mebel dan pertukangan).

Agar kayu sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi maupun non-konstruksi maka harus dilakukan perbaikan kualitas. Oleh karena itu dikaji suatu penerapan teknologi untuk pemanfaatan bahan OPT sebagai bahan alternatif kayu substitusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan kayu olahan yang bersumber dari produksi hutan alam. Solusi yang diterapkan yakni teknologi pengeringan cepat menggunakan dua alat; oven laboratorium dan pemanasan microwave. Tujuan penelitian adalah untuk menguji kecepatan pengeringan papan sawit menggunakan oven skala laboratorium dan pemanasan dengan microwave pada variasi ketebalan papan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

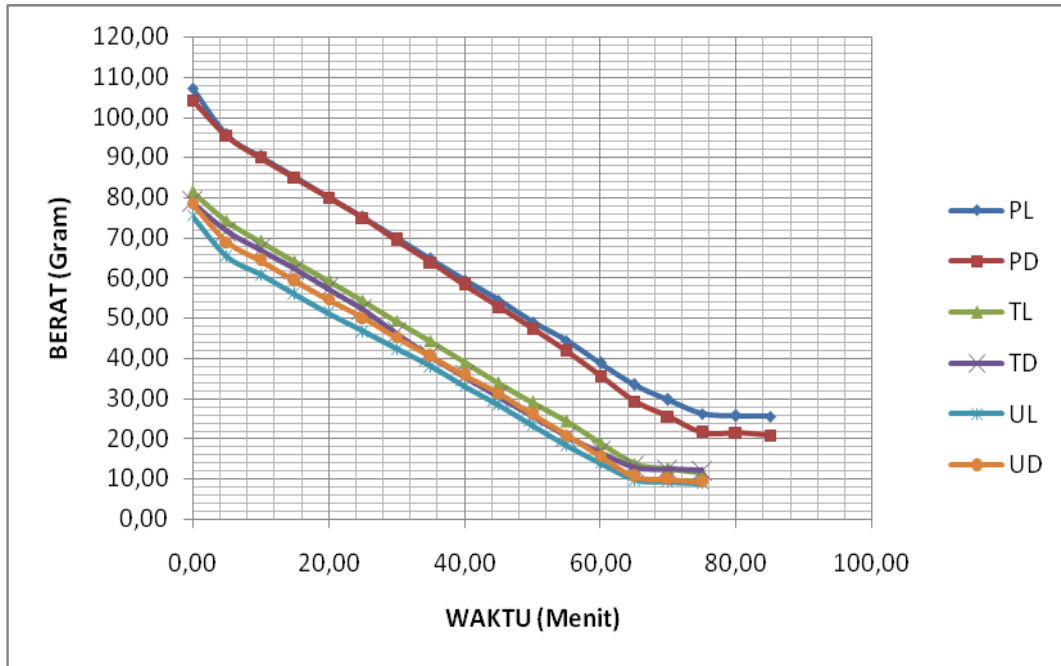
Kayu mempunyai sifat higroskopis yaitu dapat menyerap dan melepaskan air atau kelembapan. Suatu petunjuk, bahwa kelembapan kayu sangat dipengaruhi oleh kelembapan dan suhu udara pada suatu saat. Makin lembab udara di sekitarnya akan makin tinggi pula kelembapan kayu sampai tercapai keseimbangan dengan lingkungannya. Dengan masuknya air kedalam kayu itu, maka berat kayu akan bertambah, selanjutnya masuk dan keluarnya air dari kayu menyebabkan kayu itu basah atau kering, akibatnya kayu itu akan mengembang dan menyusut (Dumanauw, 2003).

Variasi kadar air (KA) kayu kelapa sawit relatif besar seperti halnya variasi KA kayu daun lebar (*hard-wood*) yang mempunyai berat jenis (BJ) rendah. Bagian pusat kayu umumnya mempunyai KA yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian tengah, tetapi lebih rendah dibandingkan dengan bagian kulit. KA akan turun dari pangkal batang ke beberapa meter di atas pangkal dan kemudian naik menuju bagian puncak (Putra, 2009). Penggunaan kayu kelapa sawit dalam keadaan basah memerlukan pertimbangan serius. Kayu kelapa sawit hanya memiliki 33,3% bahan lignoselulosa dan 66,7% berupa air yang tidak berguna. Penggunaan kayu kelapa sawit sebagai bahan konstruksi hanya mungkin diambil dari beberapa centimeter dari bagian kulit atau beberapa meter di atas pangkal batang karena berat jenisnya tinggi (Prayitno, 1995).

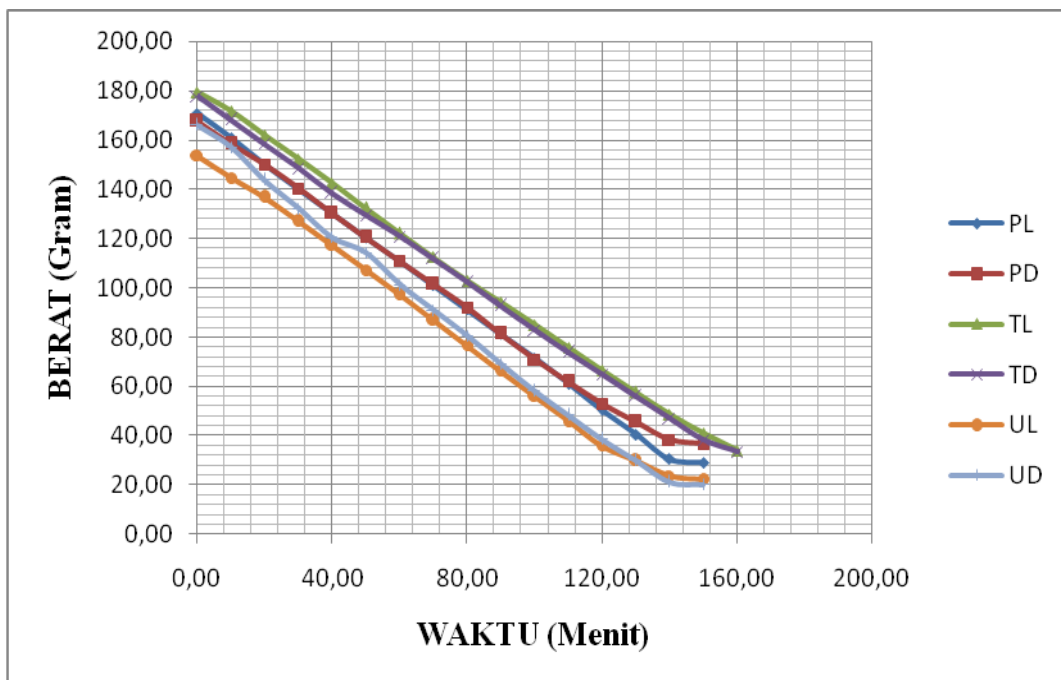
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian terhadap perlakuan pengeringan kayu sawit menggunakan oven laboratorium dan oven microwave pada variasi ketebalan kayu 0,5 Cm, 1 Cm, 1,5 Cm, dan 2 Cm masing-masing terlihat pada Gambar 1 sampai Gambar 4.

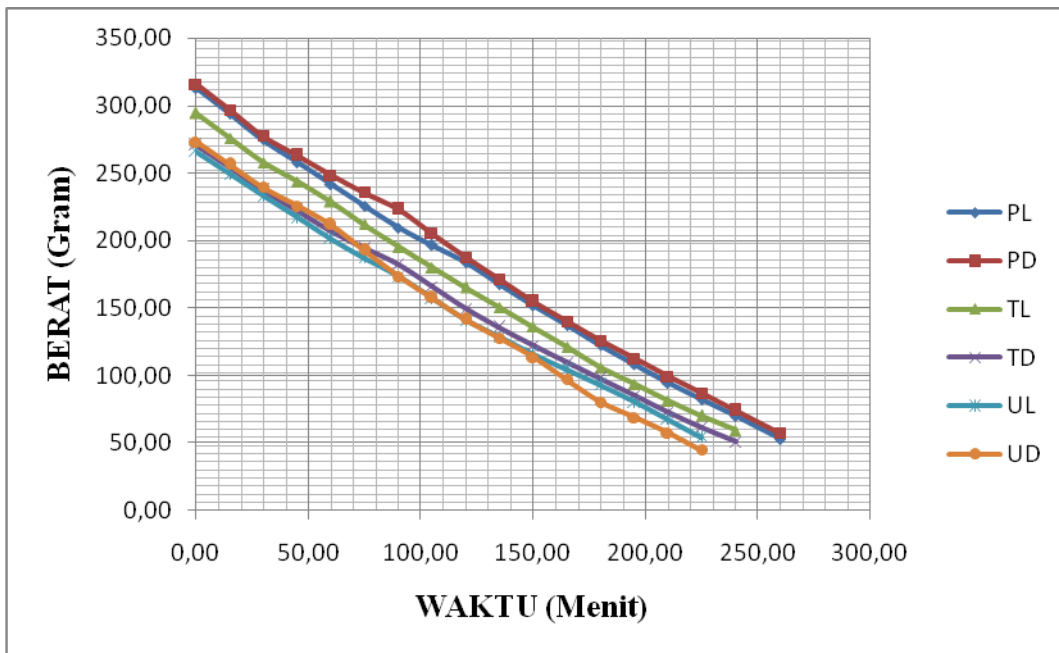
Hasil pengeringan cepat menggunakan microwave diperoleh gambaran bahwa penurunan kadar air berlangsung secara linier selama 60 menit untuk ketebalan papan 5 mm. Untuk penurunan kadar air pada sampel tebal papan 10 mm diperoleh 130 menit. Untuk ketebalan 15 mm diperoleh lama penurunan kadar air 230 menit serta untuk ketebalan 20 mm diperoleh penurunan kadar air selama 300 menit.



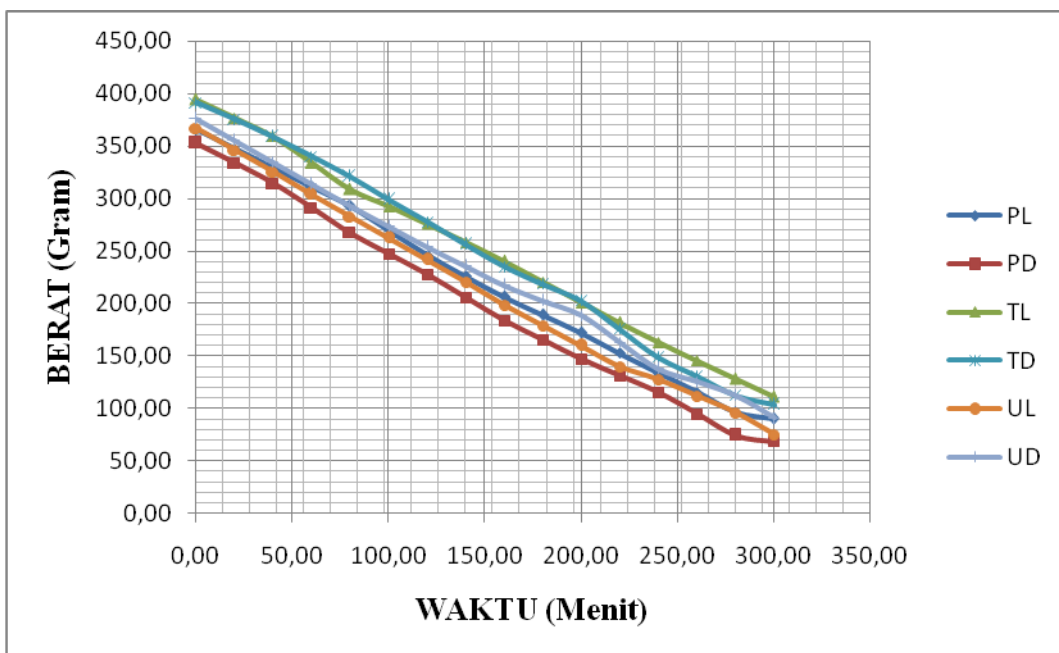
Gambar 1. Hasil Pengeringan Microwave, Tebal 0,5 cm



Gambar 2. Hasil Pengeringan Microwave, Tebal 1,0 cm

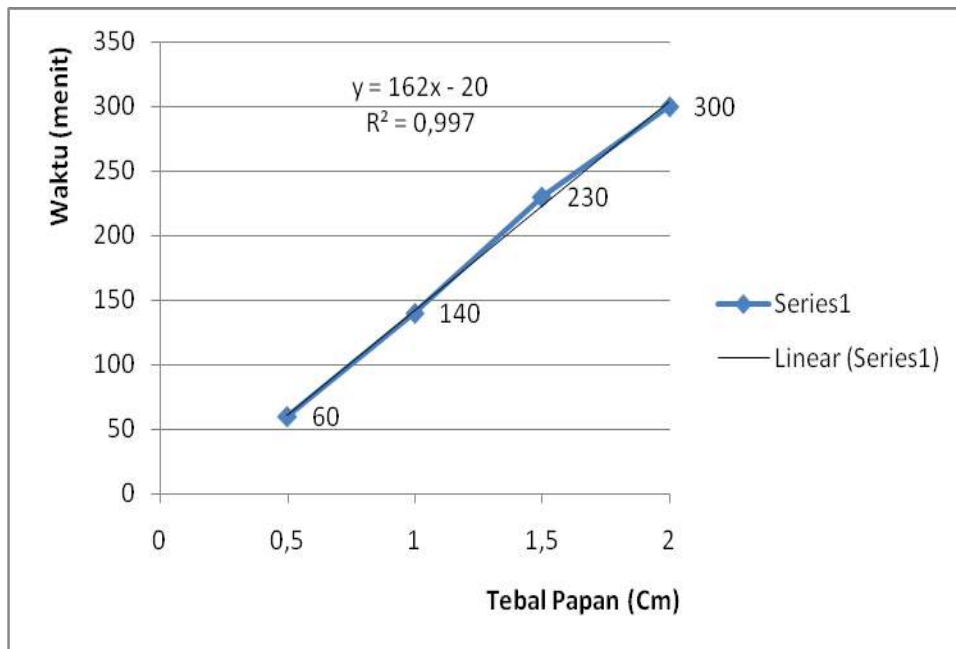


Gambar 3. Hasil Pengeringan Microwave, Tebal 1,5 cm



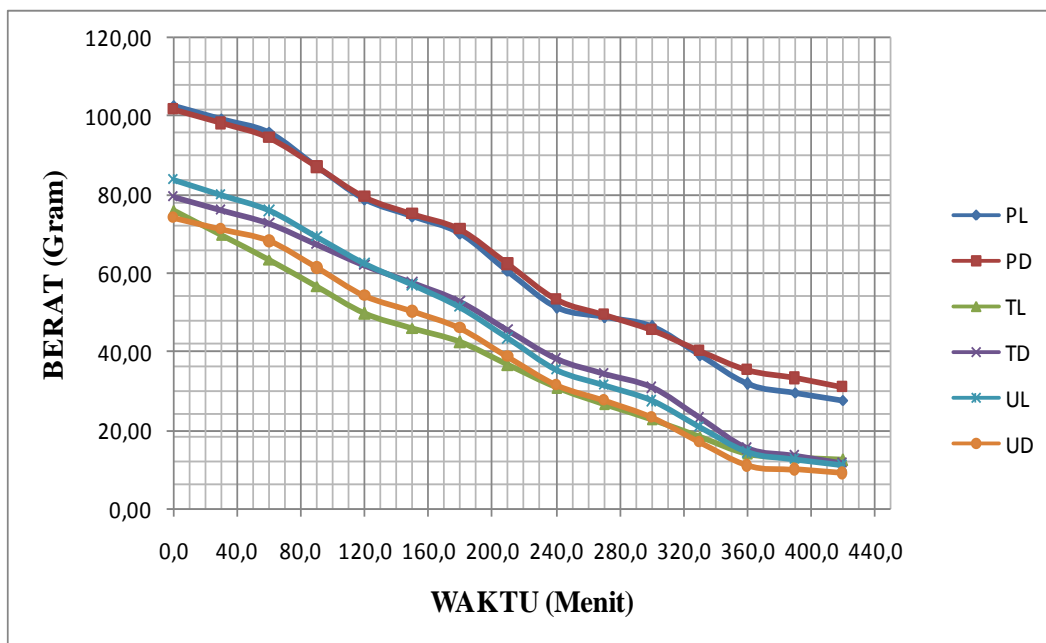
Gambar 4. Hasil Pengeringan Microwave, Tebal 2,0 cm

Hasil penelitian pengeringan microwave untuk ketebalan 0,5 Cm, 1 Cm, 1,5 Cm dan 2 Cm memperlihatkan kecenderungan data bahwa semakin tebal ukuran papan, maka lama pengeringannya semakin melambat sebagaimana persamaan grafik yang didekati dengan persamaan linier yakni: $y = 162x - 20$ (Gambar 5).

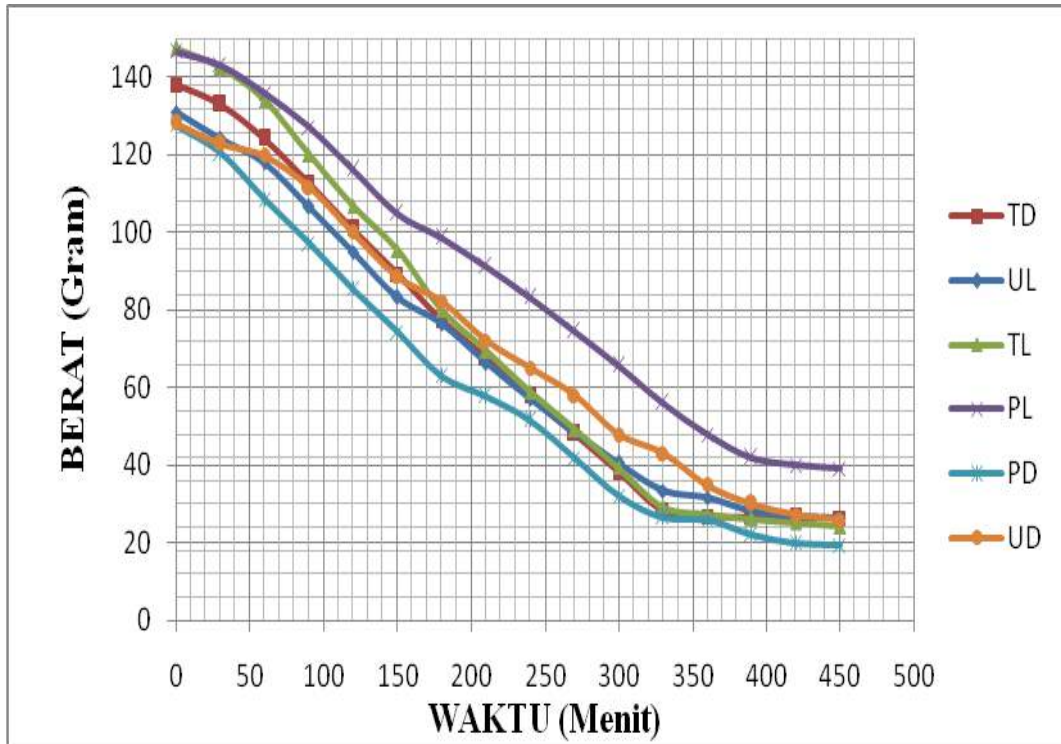


Gambar 5. Lama Pengeringan Microwave terhadap variasi Tebal Kayu

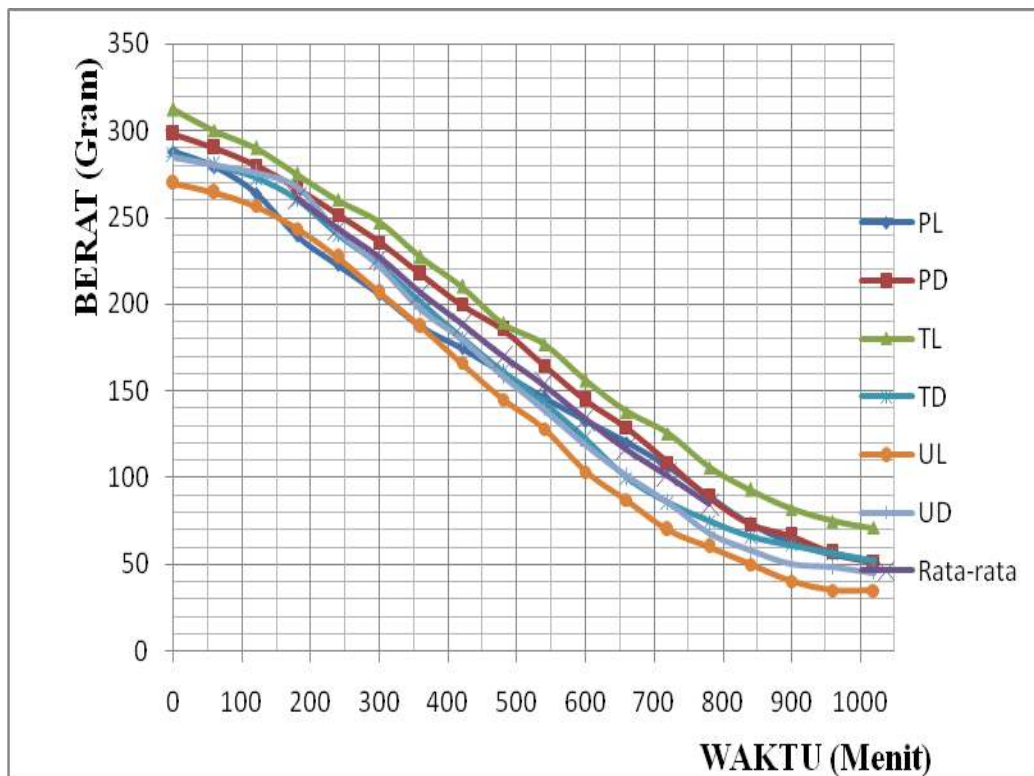
Hasil pengeringan cepat menggunakan oven laboratorium pada suhu 100oC diperoleh gambaran bahwa penurunan kadar air pada tahap awal berlangsung secara lambat, kemudian cenderung linier seterusnya pada kondisi kadar air mendekati kadar air kering oven (Gambar 6 sampai 9). Untuk tebal papan 5 mm, 10 mm, 15 mm, dan 20 mm diperoleh masing-masing 360 menit, 450 menit, 900 menit serta 1450 menit.



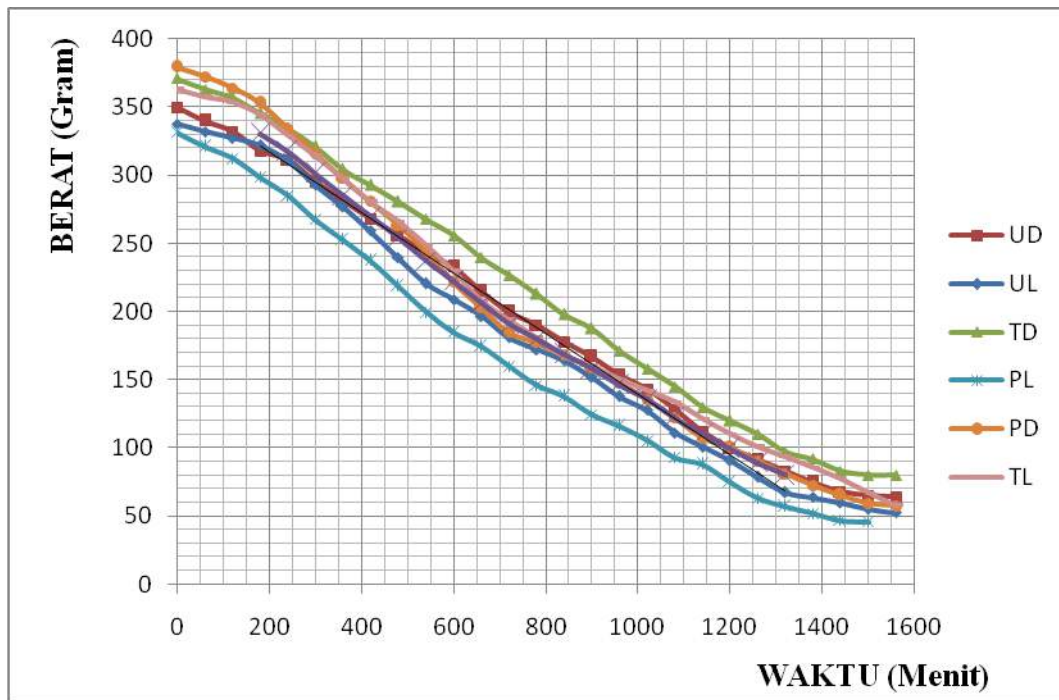
Gambar 6. Hasil Pengeringan Oven Lab. Tebal 0,5 cm



Gambar 7. Hasil Pengeringan Oven Lab. Tebal 1 cm



Gambar 8. Hasil Pengeringan Oven Lab. Tebal 1,5 cm

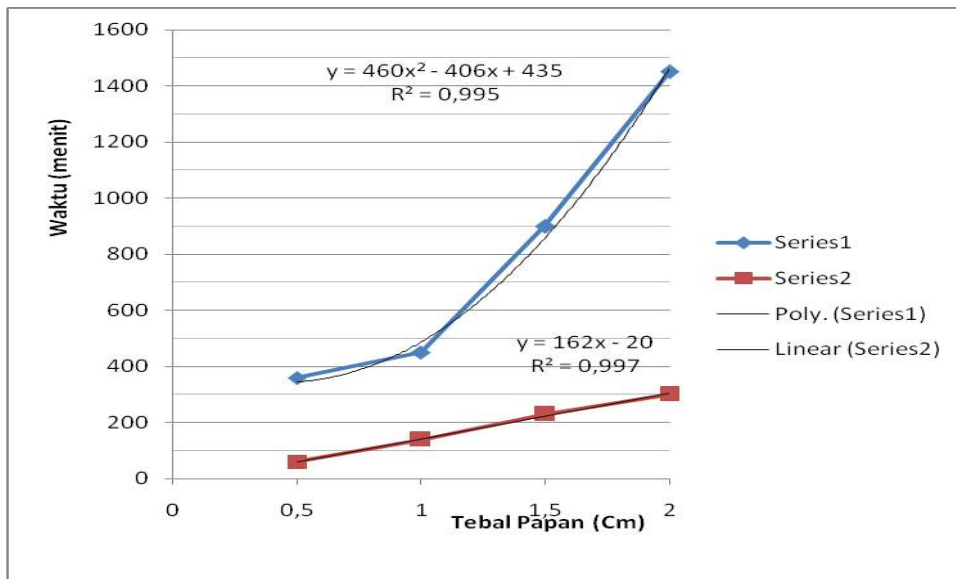


Gambar 9. Hasil Pengeringan Oven Lab. Tebal 2 cm

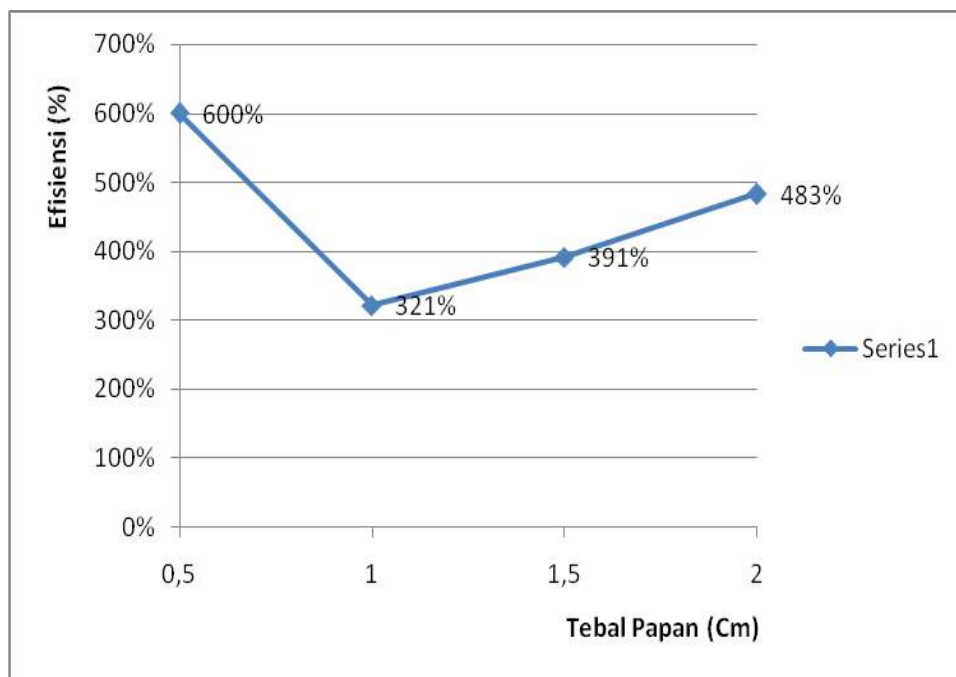
Hasil penelitian pengeringan oven untuk ketebalan 0,5 Cm, 1 Cm, 1,5 Cm dan 2 Cm (Gambar 10) memperlihatkan kecenderungan hasil yang serupa dengan hasil microwave bahwa semakin semakin tebal ukuran papan, maka lama pengeringannya semakin melambat sebagaimana persamaan grafik yang didekati dengan persamaan polynomial pangkat 2 yakni: $y = 460x^2 - 406x + 435$.

Hasil pengujian pengeringan kayu sawit menggunakan oven laboratorium dibandingkan dengan microwave (GAMBAR 10) diperoleh kecepatan pengeringan menggunakan oven suhu tinggi sangat berpengaruh terhadap ketebalan kayu, sehingga pengeringan kayu yang semakin tebal cenderung penggunaan oven semakin kurang optimal, sedangkan pemanasan menggunakan microwave untuk semua ketebalan kayu berlangsung secara linier dan terlihat bahwa ketebalan kayu berlangsung secara linier dan efisien untuk pengeringan kayu yang tebal. Mengingat secara teknis pemakaian microwave untuk pengeringan kayu memerlukan suplai energi yang tinggi sehingga secara operasional sangat mahal, namun tidak menutup kemungkinan untuk dilakukan kombinasi oven yang mana untuk tahan pengeringan tahap awal menggunakan oven suhu tinggi, selanjutnya untuk mengeluarkan air di bagian dalam digunakan microwave.

Efisiensi pengeringan oven microwave sebagaimana terlihat pada Gambar 11. Efisiensi waktu untuk microwave dibandingkan dengan oven laboratorium diperoleh sangat signifikan, yang mana efisiensi waktu pengeringan pada ketebalan papan 5 mm dapat mencapai 600%, untuk ketebalan 1 cm efisiensi sebesar 321% serta semakin meningkat untuk tebal papan 1,5 cm, dan 2 cm masing-masing 391%, dan 483%. Untuk ketebalan papan yang lebih besar diprediksi bahwa efisiensi microwave akan lebih tinggi.



Gambar 10. Perbandingan Kecepatan Pengeringan Oven dan Microwave



Gambar 11. Efisiensi Pengeringan Microwave terhadap Ketebalan Papan

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian terhadap pengeringan dan densifikasi papan sawit dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penurunan kadar air menggunakan oven microwave berlangsung secara linier dengan persamaan $y = 162x - 20$ yang mana cenderung mengalami perlambatan waktu pengeringan untuk ukuran papan yang lebih tebal.

2. Penurunan kadar air berlangsung secara parabolis dengan pendekatan persamaan $y = 460x^2 - 406x + 435$, semakin tebal ukuran papan maka lama waktu penurunan kadar air semakin melambat.
3. Efisiensi waktu pemanasan microwave dibandingkan dengan oven laboratorium diperoleh sangat signifikan, pada ketebalan papan 5 mm dapat mencapai 600%, untuk ketebalan 1 cm efisiensi sebesar 321% serta semakin meningkat pada ketebalan papan 1,5 cm, dan 2 cm masing-masing 391%, dan 483%.
4. Efisiensi pengeringan papan sawit yang dilobangi dengan yang tidak dilobangi mencapai 45,30% untuk ketebalan papan 5 mm dan cenderung menurun sampai 25,25% untuk ketebalan papan 20 mm, persamaan efisiensi antara kecepatan pengeringan sawit yang dilobangi dapat didekati dengan persamaan polinomial yakni: $y = -5,283x^2 + 0,022x + 46,34$. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa perlakuan pelobangan papan sawit mempercepat waktu pengeringan kayu secara signifikan.

Saran yang dapat diberikan pada hasil penelitian yang dilakukan yakni perlunya dilakukan kajian skala industri dan kajian ekonomi terhadap pengeringan sawit menggunakan *kiln dry*

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2017, *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2017*, Jakarta, Badan Pusat Statistik Indonesia.
- Badrun, M. 2010. *Lintasan 30 Tahun Pengembangan Kelapa Sawit*. Jakarta. Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian.
- Basiron, Y., Jailani, B.S., Chan, K.W., (Eds), (2002), *Advances In Oil Palm Research Vol II*, Malaysian Palm Oil Board (MPOB), Malaysia, Ministry of Primary Industries.
- Blass, H.J., P. Aune, B.S. Choo, R. Gorchler, D.R. Griffiths, B.O. Hilso, P. Racher dan G. Steck, (Eds.), 1995, *Timber Engineering Step I*, First Edition, The Netherlands, Centrum Hout.
- Dumanauw, J.F. 2001, *Mengenal Kay*, Yogyakarta, Kanisius.
- Fakhri dan Morena, 2005, *Pemanfaatan Limbah Batang Sawit sebagai Produk Papan Komposit Laminasi untuk Bahan Dinding Partisi Dekoratif*, Laporan Penelitian SDPF-Forum Heds.
- Fakhri, 2010, Peningkatan Mutu Kayu Sawit dengan Perlakuan Bahan Antioksidan, *Jurnal APTEK*.
- Istoto, Y.E.B, 2006, *Membangun Kembali Industri Perakayuan Nasional*, Yogyakarta, Global Pustaka Utama.
- Mardikanto, T.R., Karlina S., Bahtiar E.F. 2011. *Sifat Mekanis Kayu*, Bogor, IPB Press.
- Putra, R S. 2009. *Karakteristik Produk Komposit dari Vascular Bundles Limbah Batang Kelapa Sawit*, Medan, Universitas Sumatera Utara.
- Susetyowati, A.F.E. dan B. Subiyanto, 1998, Masa Depan dan Tantangan Litbang Teknologi Pemanfaatan Kayu, *Seminar Nasional I MAPEKI*, Yogyakarta,
- Tobing, T.L., 1977, *Pengawetan Kayu*, Bogor, Lembaga Kerjasama Fakultas Kehtanan IPB.

UJI KUAT GESER LAMINASI KAYU AKASIA MANGIUM (*ACACIA MANGIUM*) MENGGUNAKAN RESIN EPOXY

Fakhri¹, Haji Gussyafri², Eko Riyawan³

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email: fakhriur@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email: gussyafri@gmail.com

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email:
e_riyawan12@gmail.com

ABSTRACT

Acacia (*acacia mangium*) is a type of fast-growing wood that is very potential to be used as raw material for carpentry wood and furniture, its supply is in Industrial Plantation Forest (HTI) land and community forest plants. In terms of utilization, acacia wood is still not widely used for building components. One effort to increase the use of Acacia wood as a construction material can be done with lamination techniques. Gluing Acacia wood using Urea formaldehyde type adhesive is still not optimal so it still requires an alternative to using higher quality resin. The purpose of this study was to test the optimization of the stickiness of Akasia Mangium wood using Epoxy resin. The specimen is in the form of a block of laminated Acacia mangium wood size 5 x 5 x 6 Cm. Three variations of the amount of whitewashed adhesive were made namely 30MDGL; 40 MDGL, and 50 MDGL, and a pressure of 0.8 MPa; 1.0 MPa and 1.2 MPa. The test results obtained that the pressure affects the shear strength of the laminate, for low pressure 0.8 MPa tends to increase the shear strength compared to the pressure of 1.0 and 1.2 MPa, while the amount of adhesive does not seem to affect the adhesive strength.

Keywords: Shear strength, laminated wood, Acacia mangium, Epoxy resin

ABSTRAK

Kayu Akasia (*acacia mangium*) merupakan salah satu jenis kayu cepat tumbuh yang sangat potensial dimanfaatkan sebagai bahan baku kayu pertukangan dan mebel, pasokannya terdapat di lahan Hutan Tanaman Industri (HTI) dan tanaman hutan rakyat. Dari segi pemanfaatannya, kayu akasia masih belum banyak digunakan untuk komponen bangunan. Salah satu upaya untuk meningkatkan penggunaan kayu Akasia sebagai bahan konstruksi dapat dilakukan dengan teknik laminasi. Perekatan kayu Akasia menggunakan perekat jenis Urea formaldehyde masih belum optimal sehingga masih memerlukan alternatif menggunakan resin yang lebih tinggi mutunya. Tujuan penelitian adalah menguji optimalisasi keteguhan rekat kayu Akasia Mangium menggunakan resin Epoxy. Benda uji berupa blok geser laminasi kayu Akasia mangium ukuran 5 x 5 x 6 Cm. Variasi jumlah perekat terlabur dibuat tiga variasi yakni 30MDGL; 40 MDGL, dan 50 MDGL, serta besar tekanan 0,8 MPa; 1,0 MPa, dan 1,2 MPa. Hasil pengujian diperoleh bahwa besar tekanan mempengaruhi kekuatan geser laminasi, untuk tekanan rendah 0,8 MPa cenderung terjadi peningkatan kuat geser dibandingkan tekanan 1,0 dan 1,2 MPa, sedangkan jumlah perekat terlabur tidak terlihat berpengaruh terhadap kekuatan rekat.

Kata Kunci: Kuat geser, kayu laminasi, *Acacia mangium*, Resin Epoxy

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan kayu olahan untuk kebutuhan dalam negeri terus meningkat karena semakin bertambahnya penduduk. Disisi lain, untuk memperoleh kayu gergajian bermutu baik dan ukuran yang relatif besar semakin sulit ditemui di pasaran karena semakin menipisnya produk kayu hutan alam.

Kayu Akasia (*Acacia mangium*) merupakan salah satu jenis kayu cepat tumbuh yang sangat banyak terdapat di Indonesia, pasokannya terdapat di lahan Hutan Tanaman Industri (HTI) serta tanaman hutan rakyat. Dari segi pemanfaatannya, kayu akasia masih belum diminati kalangan masyarakat luas, masih terbatas untuk keperluan bahan baku industri *pulp* dan kertas. Berdasarkan data statistik kehutanan pada tahun 2017 diperoleh data produksi kayu HTI sebesar 37,1 juta m³ (Anonim, 2018).

Salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi penggunaan kayu Akasia sebagai bahan konstruksi dapat dilakukan dengan teknik .Di beberapa negara maju terus dikembangkan produk kayu laminasi, produk tersebut dapat berupa balok kayu laminasi (*glulam beams*), kayu lengkung laminasi (*bend wood*), *Stress Laminated Timber (SLT)*, *Laminated Veneer Lumber (LVL)* serta produk perekatan lainnya. Keteguhan optimum produk kayu laminasi ditentukan oleh besar dan kerusakan bidang geser kayu, bukan pada garis perekatannya (Prayitno, 2006).

Hasil pengujian Suharni (2006) terhadap variasi jumlah perekat terlabur dan besar tekanan kempa kayu akasia menggunakan perekat jenis Urea formaldehyde masih belum optimal sehingga masih memerlukan alternatif menggunakan resin yang lebih tinggi mutunya. Bila ditinjau dari segi kekuatannya, kayu akasi termasuk kayu kelas II sampai III. Berdasarkan latar belakang masalah, maka dilakukan pengujian optimalisasi keteguhan rekat kayu Akasia Mangium menggunakan resin yang bermutu lebih tinggi jenis Epoxy, hal yang ingin diketahui yakni apakah keteguhan resin Epoxy dapat dicapai kekuatan geser optimumnya pada laminasi Kayu Akasia Mangium untuk digunakan untuk kayu laminasi (*glulam*), indikator pencapaian adalah hasil uji menunjukkan kerusakan akan terjadi pada bidang penampang serat geser kayu, bukan pada lapisan perekatannya.

Luaran yang diharapkan adalah diperoleh data optimalisasi keteguhan rekat resin Epoxy untuk produk laminasi kayu Akasia Mangium pada variasi tekan kempa dan jumlah perekat yang digunakan. Apabila hasil yang diperoleh dapat tercapai keteguhan rekat yang optimum, maka aplikasi produk dapat dimanfaatkan sebagai produk-produk kayu ukuran besar dan bentang relatif panjang untuk keperluan kayu konstruksi dan kayu pertukangan lainnya menggunakan kayu Akasia mangium. Tujuan penelitian adalah untuk menguji keteguhan rekat Epoxy pada kayu Akasia mangium pada berbagai variasi jumlah perekat terlabur serta jenis kerusakan yang terjadi pada lapisan perekatan kayu.

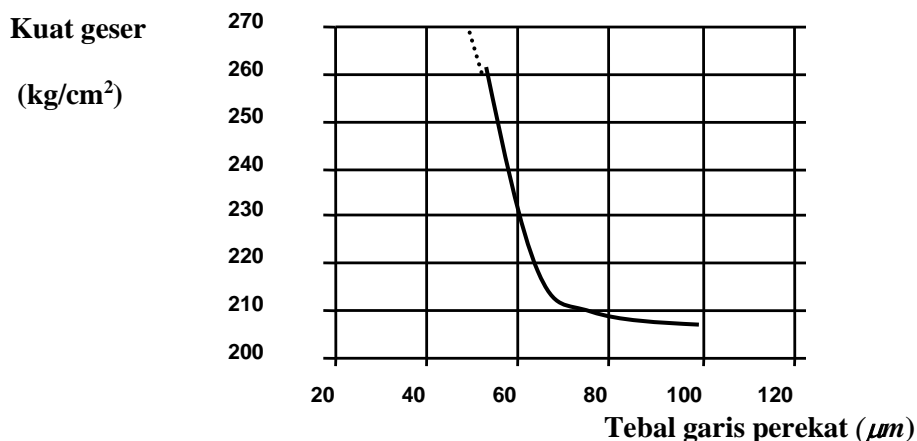
2. TINJAUAN PUSTAKA

Kayu laminasi (*glue laminated timber*) merupakan lapisan-lapisan kayu gergajian yang direkatkan dengan bahan resin tertentu sehingga semua lapisan seratnya sejajar pada arah memanjang. Kayu laminasi memiliki beberapa kelebihan dibanding kayu gegajian yang solid, yakni; ukuran dapat dibuat lebih tinggi, lebih lebar, bentangan yang lebih panjang, bentuk penampang lengkung dapat difabrikasi dengan mudah, pengeringan awal tiap lapisan kayu dapat mengurangi perubahan bentuk, serta reduksi kekuatan akibat adanya cacat kayu (misalnya mata kayu) menjadi lebih acak sehingga penampang kayu lebih homogen, teknologi laminasi juga memungkinkan untuk membuat produk yang bernilai seni tinggi, serta banyak keuntungan lainnya. Menurut Fakhri (2001), produk laminasi dari lapisan kayu komposit selain menghasilkan kekuatan yang cukup tinggi dibandingkan dengan kayu solid ternyata juga dapat menampilkan kesan visual yang sangat indah dan menawan.

Resin Epoxy termasuk kategori resin *thermoset* berasal dari bahan sintetik. Resin termoset sifatnya bagus, tahan *creep*, memadai untuk resin struktural beban berat, tahan kondisi ekstrim panas, dingin, tahan radiasi, kelembamam, serta tahan terhadap bahan kimia. Penelitian terhadap kekuatan laminasi resin epoksi pada kayu kamfer dilakukan oleh Dharma Yuda dkk (2007) dan dihasilkan bahwa kekuatan resin epoksi pada laminasi kayu kamper dapat mencapai rata-rata 3,25 MPa sehingga dapat digunakan untuk tujuan sambungan konstruksi kayu berat karena mempunyai efisiensi yang tinggi.

Teknik perekatan dengan bahan porous memerlukan alat pengempaan. Sistim pengempaan dapat dilakukan dengan tekanan panas (*hot pressing*) atau kempa dingin (*cold pressing*). Pengempaan panas membutuhkan waktu relatif singkat, namun secara teknis sulit dilakukan untuk balok laminasi, pengempaan dingin membutuhkan waktu lebih lama (Prayitno, 1996).

Besarnya tekanan yang diberikan menurut Tsoumis (1991) adalah sebesar 0,7 MPa untuk kayu-kayu lunak dan 1 MPa untuk kayu keras. Menurut Blass (1995), pada umumnya besarnya tekanan yang diberikan antara 0,4 - 1,2 N/mm². Ketebalan resin menghasilkan keteguhan rekat yang baik antara 0,01 – 0,002 in. (Selbo, 1975 dalam Prayitno, 1996). Hubungan antara ketebalan garis perekatan dengan kekuatan geser kayu seperti diperlihatkan pada Gambar 1 (Maxwell, 1945 dalam Kollmann, 1975)

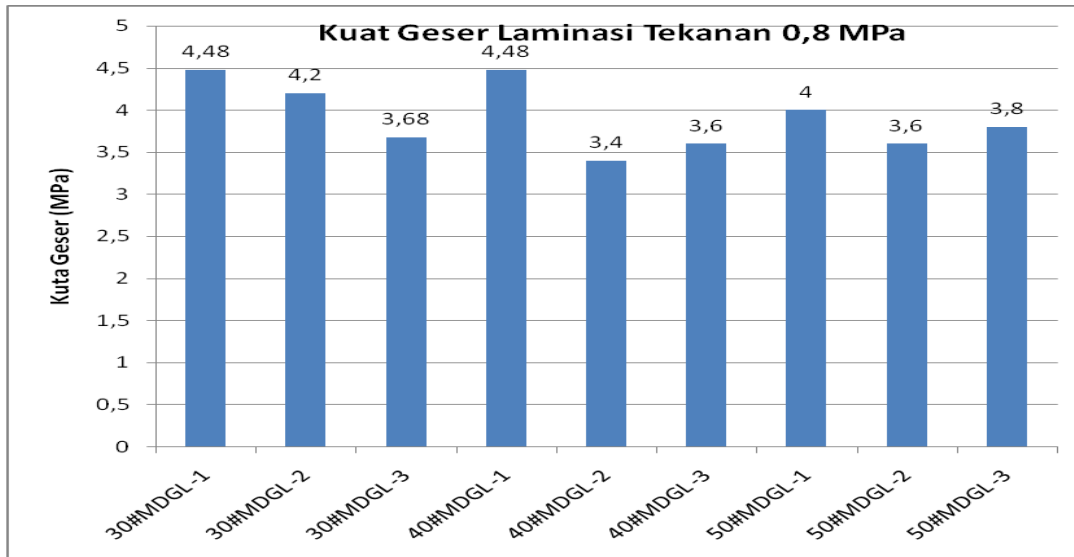


Gambar 1. Hubungan Ketebalan Garis Perekat dengan Kuat Geser Kayu

Prayitno (1996) menyatakan bahwa kekuatan rekat kayu dipengaruhi antara lain adalah faktor perekat, faktor bahan yang direkat, teknik perekatan, cara pengujian, aplikasi bahan. Faktor perekat dipengaruhi oleh bahan pengisi (*filler*), bahan pengembang (*extender*), bahan pengeras (*hardener*), bahan pengawet, bahan tahan api dan lain sebagainya. Adapun faktor bahan yang direkat dipengaruhi oleh struktur anatomi bahan, massa jenis, kadar air, sifat permukaan dan lain-lain.

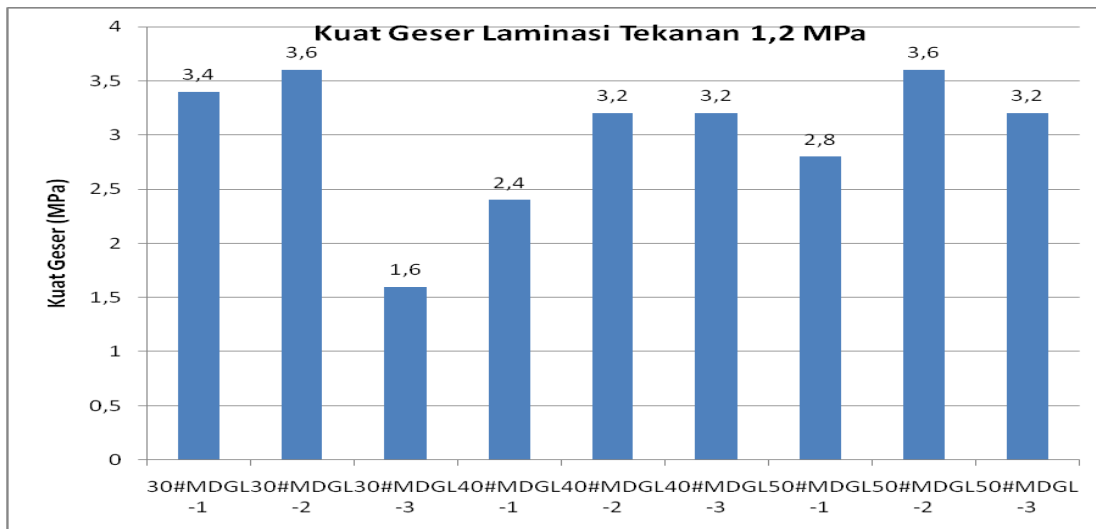
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian terhadap variasi tekan kempa 0,8 MPa; 1,0 MPa; dan 1,2 MPa serta variasi jumlah perekat terlabur 30MDGL; 40MDGL dan 50 MDGL diperoleh secara umum bahwa keteguhan geser laminasi belum tercapai 100%. Hasil pengujian geser laminasi sebagaimana terlihat pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5 memperlihatkan pola grafik yang bervariasi dan tidak memperlihatkan kecenderungan yang semakin naik untuk variasi jumlah perekat yang semakin banyak, namun terlihat bahwa semakin kecil tekanan yang diberikan kecenderungan kuat geser lebih tinggi.



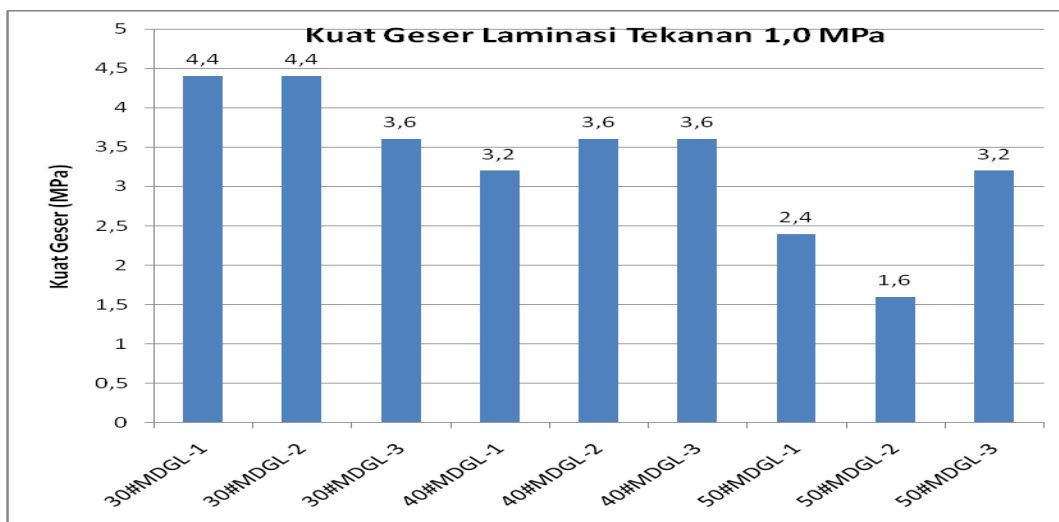
**Gambar 3. Hasil Pengujian Kuat Geser Laminasi kayu Akasia
untuk Variasi Tekan Kempa 0,8 MPa**

Hasil pengujian pada variasi tekanan kempa 0,8 MPa (Gambar 3) terlihat bahwa kekuatan geser minimal diperoleh 3,4 MPa atau rata rata 3,91 MPa, sedangkan Gambar 4 dan 5 pada tekanan yang lebih tinggi ternyata tidak menunjukkan kenaikan kuat geser tetapi cenderung naik dan turun dan tidak teratur, hal ini mengindikasikan bahwa tekanan yang lebih tinggi menyebabkan terjadinya kekurangan perekat pada permukaan bidang perekatan, tekanan yang berlebih di permukaan hal tersebut tidak memperlihatkan kesesuaian dengan kecenderungan tekanan kempa yang semakin tinggi maka kekuatan geser akan naik.

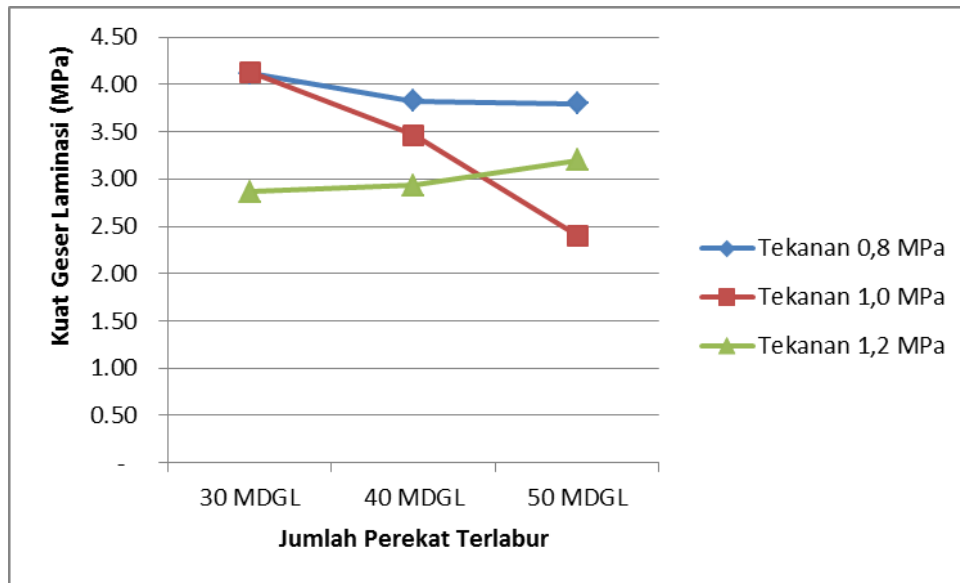


**Gambar 4. Hasil Pengujian Kuat Geser Laminasi Kayu Akasia
untuk Variasi Tekan Kempa 1,0 Mpa**

Berdasarkan kecenderungan hasil rata-rata kecenderungan grafik hubungan kuat geser laminasi terhadap jumlah perekat terlabur (Gambar 6) terlihat bahwa jumlah perekat terlabur yang lebih rendah (30 MDGL) menghasilkan kuat geser laminasi yang lebih tinggi, serta tekanan yang lebih rendah (0,8 MPa) menghasilkan kuat geser laminasi yang lebih tinggi.



**Gambar 5. Hasil Pengujian Kuat Geser Laminasi Kayu Akasia
untuk Variasi Tekan Kempa 1,0 MPa**



Gambar 6. Hasi Kuat Geser Laminasi Rata-rata Kayu Akasia

Hasil pengamatan secara visual terhadap hasil pengempaan kayu Akasia terlihat bahwa pada jumlah perekat terlabur yang lebih banyak (40 MDGL dan 50 MDGL) terlihat adanya aliran perekat yang mengalir keluar dari bidang perekatan kayu sebagaimana terlihat pada Gambar 7. Hal tersebut mengindikasikan bahwa terjadi pemaksaan perekat keluar dari bidang perekatan karena tekanan yang berlebih, keluarnya sebagian perekat dari bidang perekatan tersebut mengindikasikan bahwa terjadi kurang terbentuknya ikatan garis perekatan yang kompak karena perekat tidak dapat mengalir dalam substrat kayu Akasia.



Gambar 7. Besar Tekanan Perekatan 0,8 MPa (a); 1, MPa (b); 1,2 MPa (c)

Model kerusakan blok geser laminasi (Gambar 8) memperlihatkan bahwa lapisan yang rusak hampir semuanya pada terlepasnya sambungan perekatan, tidak pada bagian kayu, sehingga kekuatan blok geser yang diperoleh masih di bawah kekuatan kayu Akasia. Hanya beberapa bagian permukaan bidang perekatan terlihat terjadi kerusakan serat kayu searah serat menyerupai garis garis tipis sepanjang 3 – 4 cm. Dengan demikian maka dapat dinyatakan

bahwa kekuatan geser blok laminasi masih belum memadai dan masih lemah pada bidang permukaan kayu Akasia.



Gambar 8. Model Kerusakan Blok Geser Laminasi

4. KESIMPULAN

1. Hasil pengujian kuat geser laminasi memperlihatkan pola grafik yang bervariasi dan tidak memperlihatkan kecenderungan yang semakin naik untuk variasi jumlah perekat yang semakin banyak, jumlah perekat terlabur 30 MDGL sudah memadai untuk perekatan kayu akasia.
2. Semakin kecil tekanan yang diberikan kecenderungan kuat geser meningkat, pada tekan kempa 0,8 MPa diperoleh kekuatan geser rata rata 3,91 MPa, namun untuk besar tekanan yang lebih tinggi kecenderungan kerusakan geser yang dihasilkan lebih rendah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Blass, H.J., P. Aune, B.S. Choo, R. Grolacher, D.R. Griffiths, B.O. Hilso, P. Racher dan G. Steck, (Eds.), 1995, *Timber Engineering Step I*, First Edition, The Netherlands, Centrum Hout,.
- Departemen Kehutanan, 2006, *Statistik Kehutanan Indonesia 2005*, Jakarta, Departemen Kehutanan RI.
- Fakhri, 2001, *Pengaruh Kekuatan dan Kekakuan Balok Glulam Kombinasi kayu Sengon dan Kayu Keruing*, Thesis S-2, Fakultas Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.
- Prayitno, T.A., 1996, *Perekatan Kayu*, Fakultas Kehutanan, Yogyakarta, Universitas Gadjah Mada.
- Seng, O.J., 1990, *Pengumuman Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan*

N.13; *Berat Jenis dari Jenis – jenis Kayu Indonesia dan Pengertian Beratnya Kayu untuk Keperluan Praktek* (alih bahasa oleh Soewarno P.H.), Departemen Kehutanan, Bogor.

Somayaji, S., 1995, *Civil Engginering Materials*, New jersey, Prentice Hall, Englewood, Cliffs.

Suharni, 2006. Uji perlakuan jumlah perekat labur dengan menggunakan perekat urea formaldehyde terhadap kekuatan laminasi. Fakultas Teknik UR.

Susetyowati, A.F.E. dan B. Subiyanto, 1998, Masa Depan dan Tantangan Litbang Teknologi Pemanfaatan Kayu, *Seminar Nasional I MAPEKI*, Fakultas Kehutanan IPB, Bogor.

Tsoumis, G., 1991, *Science and Technology of Wood*, New York, Vannostrand Reinhold.

STUDI NUMERIK PENGARUH VARIASI BENTUK PENAMPANG BRESING TERHADAP PERILAKU STRUKTUR PORTAL BAJA KONSENTRIK AKIBAT PEMBEBANAN SIKLIK

Nidiasari¹, Sabril Haris², Muhammad Arrigo Iqbal³

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email:
nidia@eng.unand.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email:
sabrilmharis@gmail.com

³Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: -

ABSTRACT

Eccentrically Braced Frame is one of the steel frame systems that can resist earthquake load. A numerical study using the MSC. Patran Software - Student Version will analyze the variations of cross-sectional shapes related to the performance of the Eccentrically Braced Frame under cyclic loading. The cross-sectional shapes used in this study are IWF 400.200.8.13 for column and beam, whereas for variations of the bracing are HSS 150.150.4,247; HRS 200.100.4,548; and IWF 200.100.5,5.8 using BJ 37 steel. This study shows that HSS can anticipate energy greater than the other variations, 1.19 greater than HRS and 1.75 greater compared to the IWF cross-section. The stability of the slope in the hysterical curve is used to analyze the structural stiffness. HSS profile has the most stable stiffness degradation compared to two other cross-sections.

Keywords : Konsentrik, Portal baja, Energi disipasi, Siklik, Kurva *Hysteretic*.

ABSTRAK

Sistem rangka bresing konsentrik merupakan salah satu sistem rangka baja yang dapat memikul beban gempa. Penelitian ini melakukan analisa numerik dengan menggunakan *Software MSC Patran - Nastran Student Version* untuk menganalisa pengaruh variasi bentuk penampang bresing terhadap perilaku struktur akibat pembebanan siklik. Bentuk penampang yang digunakan pada penelitian ini adalah profil IWF 400.200.8.13 untuk kolom dan balok portal, sedangkan untuk variasi profil pada bresing yaitu, HSS 150.150.4,247 ; profil HRS 200.100.4,548 ; dan IWF 200.100.5,5.8 dengan mutu yang sama yaitu BJ 37. Bresing dengan porfil HSS memiliki kemampuan untuk mendisipasi energi lebih besar dari 2 variasi lainnya, dengan perbandingan 1,19 kali lebih besar dari pada Hollow HRS dan 1,75 kali lebih besar dibandingkan dengan profil IWF. Kestabilan perubahan nilai kemiringan kurva hysteretic digunakan untuk mengalisa kekakuan struktur, dan pada penelitian ini profil HSS memiliki degradasi kekakuan paling stabil dibandingkan dengan 2 variasi penampang lainnya.

Kata Kunci : Konsentrik, Portal baja, Energi disipasi, Siklik, Kurva *Hysteretic*.

1. PENDAHULUAN

Gempa tidak dapat diprediksi kapan terjadinya dan berapa besar intensitas gempanya, sehingga dibutuhkan disain khusus dan perencanaan yang matang untuk merancang bangunan tahan gempa. Konstruksi baja cocok digunakan sebagai struktur tahan gempa karena struktur baja kuat, kaku namun fleksibel dan memiliki tingkat daktilitas yang tinggi.

Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK) merupakan pengembangan dari Sistem Rangka Pemikul Momen atau lebih dikenal dengan *Moment Resisting Frames* (MRF). Sistem SRPMK didesain sebagai portal penahan momen dengan sifat memiliki daktilitas struktur yang besar namun memiliki kekakuan struktur yang rendah. Agar perpindahan struktur tidak melebihi nilai izin, maka struktur harus menggunakan dimensi penampang yang relatif besar agar tidak menimbulkan kerusakan non-struktural jika terjadi gempa (Dicleli & Mehta, 2007). Sistem Rangka Bresing Konsentrik dikembangkan sebagai sistem penahan gaya lateral dan memiliki tingkat kekakuan yang lebih baik dibandingkan sistem MRF. Peningkatan nilai kekakuan terjadi akibat ada tambahan elemen bresing pada portal baja. Perilaku inelastik yang terjadi pada bresing biasanya adalah leleh pada saat menerima gaya aksial tarik dan tekuk saat menerima gaya aksial tekan. Pada Sistem Rangka Bresing Konsentrik perilaku inelastik biasanya ditandai dengan terjadinya tekuk pada bresing (Dicleli & Mehta, 2007), sehingga potensi kegagalannya ditentukan oleh tekuk bresing. Jika terjadi

tekuk pada bresing maka daktilitas struktur menjadi terbatas dan energi gempa yang dapat diserap oleh struktur menjadi berkurang.

Kendala yang ditemui dalam mendesain bresing yaitu terdapat perbedaan yang besar terhadap kapasitas tarik dan tekan pengaku saat menerima pembebanan siklik (Sabelli, Mahin, & Chang, 2003). Pada umumnya pengaku yang digunakan pada Sistem Rangka Bresing Konsentrik menggunakan penampang HSS (*Hollow Square Section*) karena menunjukkan kinerja yang baik pada struktur yang telah menerima gaya gempa (Yang, Sheikh, & Tobber, 2019). Efek tekuk pada bagian badan penampang HSS dapat dikurangi dengan menambahkan material tambahan berupa baja atau kombinasi mortar dengan baja pada bagian penampang yang kosong (Sabelli, Mahin, & Chang, 2003). Material tambahan itu bisa mengisi rongga sebagian maupun seluruh bagian penampang (Gambar 1). Penambahan perkuatan tersebut kurang ekonomis dan akan menambah berat struktur.

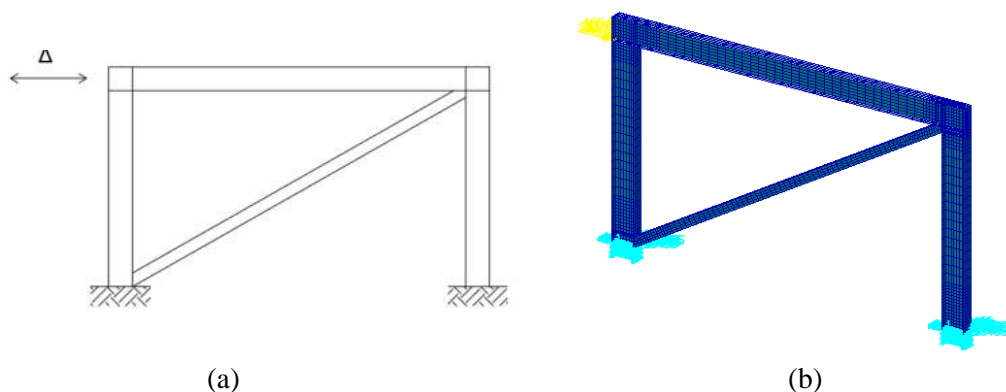


Gambar 13. Contoh tambahan perkuatan penahan tekuk pada penampang HSS

Pemilihan penampang bresing akan berpengaruh terhadap perilaku struktur melalui mekanisme tekuk pada bresing. Untuk mengetahui pengaruh bentuk penampang terhadap perilaku struktur maka dilakukan analisis terhadap struktur portal SRBK dengan 3 variasi bentuk penampang bresing dengan luas penampang yang sama. Beban gempa dimodelkan berupa beban siklik atau bolak balik, yang mengimpresasikan beban gempa, kemudian dianalisa perilaku struktur berupa beban, perpindahan, kekakuan dan daktilitas.

2. METODOLOGI

2.1 Model Struktur



Gambar 14. (a) Model Struktur (b) Model *finite element*

Analisa dilakukan terhadap portal satu lantai yang diberi pengaku konsentris dengan panjang balok 6 m dan tinggi kolom 3,5 m dengan anggapan seluruh sambungan merupakan

sambungan jepit sempurna (Gambar 2.a). Penampang yang digunakan untuk kolom dan balok adalah IWF 400.200.8.13, sedangkan bresing konsentris menggunakan 3 jenis penampang yaitu 1 jenis penampang IWF dan 2 jenis penampang *Hollow* (Tabel 1.) dengan luas area yang sama.

Tabel 7. Jenis dan dimensi penampang bresing

Model	Jenis penampang	Dimensi
1	HSS	150.150.4,427
2	HRS	200.100.4,548
3	IWF	200.100.5,5.8

Struktur portal tersebut kemudian dimodelkan menggunakan perangkat lunak (*software*) dari MSC yaitu Patran (Gambar 2.b). Setelah selesai dilakukan *meshing* yang berguna untuk membagi struktur permodelan kedalam bagian-bagian lebih kecil yang sama rata untuk memudahkan mempresentasikan besar daya dukung di setiap bagian portal dengan lebih detail. Pada saat proses *meshing* pembagian bidang dibedakan kedalam 2 jenis *meshing*, pertama ada *fine mesh* dengan ukuran 50 mm x 50 mm yang digunakan pada permodelan bagian tumpuan, sedang yang lainnya menggunakan *coarse mesh* dengan ukuran 125 mm x 50 mm, yang digunakan pada bagian lapangan.

2.2 Pembebanan

2.2.1 Beban Monotonik

Pembebanan monotonik dengan kontrol perpindahan diberikan satu arah dari kiri kekanan dan dinaikkan secara bertahap sehingga mencapai nilai perpindahan ultimate. Pembebanan monotonik pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan titik leleh pertama untuk tiap struktur di setiap variasi bentuk penampang dari *bresing*. Penggunaan titik leleh diperlukan untuk mendapatkan *loading protocol* pada pembebanan siklik.

2.2.2 Beban Siklik

Nilai dari perpindahan leleh (d_y) yang diperoleh dari pembebanan monotonik digunakan sebagai acuan untuk pembebanan siklik. Perhitungan *loading protocol* mengacu pada AISC 2016, dengan urutan perpindahan sebesar $0.5d_y$, $1d_y$, $1.5d_y$, $2d_y$, dan $2.5d_y$ (AISC, 2016) (Tabel 2.).

Tabel 8. Pola Pembebanan Siklik

Jenis Penampang	HSS	HRS	IWF	
<i>displacement</i> leleh, d_y (mm)	14.71	14.73	14.67	
Siklus	0.5 d_y	7.36	7.37	7.34
		-7.36	-7.37	-7.34
	1 d_y	14.71	14.73	14.67
		-14.71	-14.73	-14.67
	1.5 d_y	22.07	22.10	22.01
		-22.07	-22.10	-22.01
	2 d_y	29.43	29.47	29.34
		-29.43	-29.47	-29.34

	36.79	36.83	36.68
2.5d _y	-36.79	-36.83	-36.68

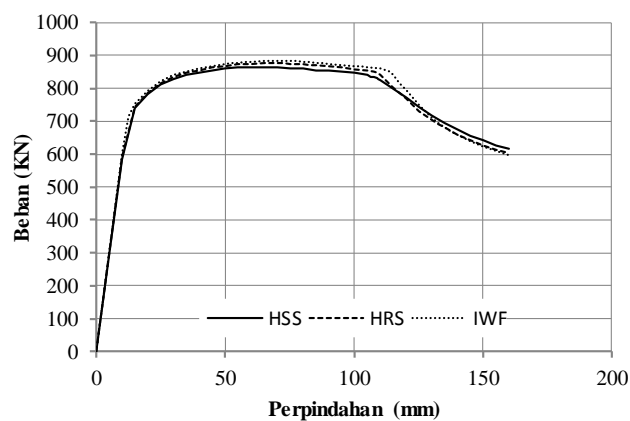
2.3 Prosedur Kerja

Struktur portal baja berpengaku konsentrik dimodelkan dengan permodelan 3 dimensi (sumbu x, y dan z) menggunakan MSC Patran. Selanjutnya diberikan beban secara bertahap untuk mendapatkan grafik hubungan beban vs perpindahan baik pada beban monotonik maupun beban siklik. Hasil running dari data untuk pembebanan monotonik dan siklik akan digunakan untuk mencari daktilitas struktur, energi disipasi struktur dan kekakuan struktur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Beban Monotonik

Hasil analisis struktur portal dengan beban monotonik diplotkan menjadi grafik beban vs perpindahan (Gambar 3). Data hasil running pembebanan monotonik selanjutnya digunakan untuk mencari nilai leleh awal serta nilai daktilitas pada masing - masing variasi penampang bresing.



Gambar 15. Grafik Beban vs perpindahan akibat beban monotonik

Perbedaan nilai P_{ult} tiap variasi bentuk penampang pengaku berada pada kisaran $\pm 1\%$, dengan nilai P_{ult} dari penampang IWF lebih besar 1,165% dari pada P_{ult} rata-rata ketiga variasi bentuk penampang pengaku tersebut.

Tabel 9. P_{ult} untuk setiap variasi jenis penampang

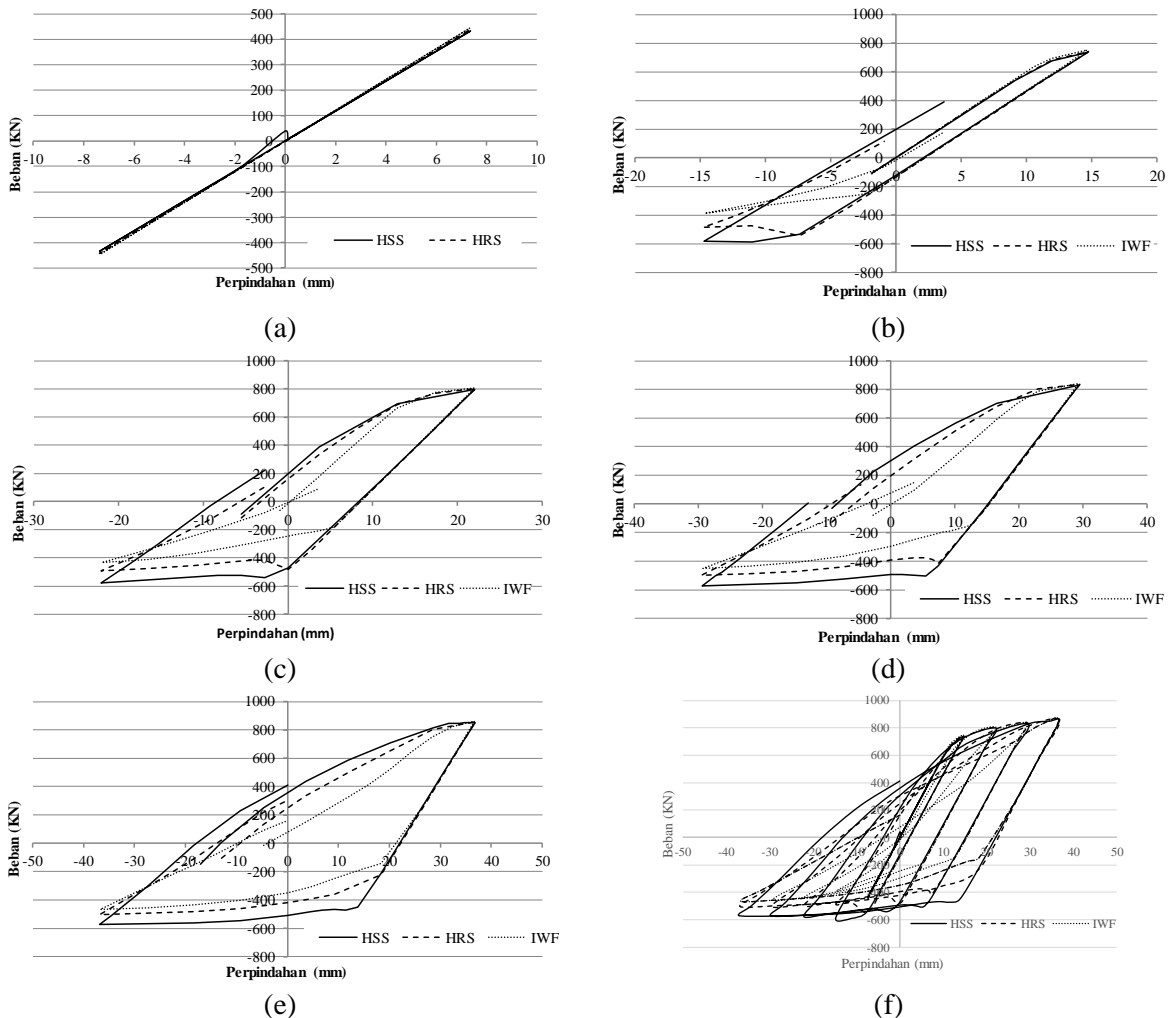
Bentuk Penampang	Perpindahan leleh (dy), mm	Perpindahan ultimate (du), mm	Daktilitas (du/dy)	P_{ult} (KN)
HSS	14.71	65	4.42	865.35
HRS	14.74	65	4.41	876.97
IWF	14.67	72.5	4.94	884.35

3.2 Beban Siklik

Nilai tegangan leleh (d_y) pada pembebanan monotonik digunakan sebagai data untuk membuat *loading protocol* pada masing - masing variasi bentuk penampang bresing.

3.2.1 Kurva Hysteresis

Nilai beban vs perpindahan yang diperoleh pada struktur portal baja berpengaku konsentrik yang diberi beban siklik adalah berupa kurva hysteresis sbb :



Gambar 16. Kurva Hysteresis (a). siklus 1 ,(b). siklus 2 ,(c). siklus 3 ,(d) siklus 4 , (e) siklus 5, (f) semua siklus

Dari gambar 4 (a-e) terlihat 5 grafik hysteresis untuk 5 siklus berbeda. Pada Grafik (a) terlihat bahwa pada grafik ini ketiga jenis bentuk penampang bresing diuji dan dapat mengalami siklus 1 energi disipasi yang diserap pun masih kecil karena pada fase ini struktur masih berada dalam keadaan elastis, pada grafik (b) terlihat bahwa mulai adanya perubahan kemiringan dibandingkan pada siklus 1 sebelumnya, dan untuk energi disipasi yang diserap oleh struktur sudah terlihat lebih besar dan luas untuk ketiga jenis variasi bentuk penampang tersebut, lalu untuk grafik (c), grafik (d), dan grafik (e) terlihat bahwa ketiga jenis bresing semakin memperbesar luas area hysteresic nya untuk mendisipasi energi yang lebih besar, juga terlihat bahwa kemiringan kurva semakin jelas mengalami penurunan.

3.2.2 Energi disipasi dan kekakuan struktur

Kemampuan struktur dalam menahan atau mengantisipasi pembebanan siklik yang diberikan dapat dilihat dari kurva hysteresis yang dihasilkan oleh struktur tersebut. Semakin besar luas

kurva hysteresis yang dihasilkan maka semakin baik struktur tersebut dalam menyerap energi disipasi. Berikut hasil dari perhitungan luasan kurva hysteresis atau besar energi disipasi yang diserap oleh struktur tersebut.

Tabel 10. Energi Disipasi

Bentuk Penampang	Siklus					Total (KNmm)
	1	2	3	4	5	
HSS	26.35	5075.63	17705.26	30240.45	43847.58	96895.26
HRS	0.07	4889.89	15349.60	24990.77	35369.75	80600.08
IWF	1.66	2739.71	9861.55	17061.08	25651.21	55315.21

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa bresing HSS memiliki luas area kurva hysteresis yang paling besar (96895,26 KNmm pada total disipasi energi) yang menandakan bahwa bresing Hollow HSS lebih baik dalam mendisipasi energi dari pada 2 variasi lainnya. Perbandingan besar energi disipasi 1,19 lebih besar antara penampang bresing HSS dan HRS, sedangkan jika dibandingkan dengan penampang bresing IWF akan menjadi 1,75 kali lebih besar.

Disamping mengukur besar kemampuan struktur dalam mendisipasi energi, kekakuan struktur juga dianalisa. Kekakuan struktur dapat dilihat dari besar kemiringan dari grafik hysteresis. Rekap nilai kekakuan struktur pada siklus awal dan akhir dapat dilihat seperti pada gambar dibawah :

Tabel 11. Kekakuan

Bentuk Penampang	Kemiringan	
	Siklus Awal	Siklus Akhir
HSS	58.78	23.20
HRS	59.87	23.28
IWF	60.42	23.46

Nilai kekakuan berbanding terbalik dengan besar energi disipasi yang diterima oleh struktur. Persentase kenaikan kekakuan struktur dengan pembandingan penampang bresing HSS berada pada nilai 1,08% pada penampang bresing HRS dan 2,79% pada penampang bresing IWF. Sehingga dapat didapat bahwa penampang bresing IWF memiliki nilai kekakuan yang paling besar dibandingkan dengan 2 variasi bentuk penampang lainnya, dengan besar degradasi nilai kemiringan rata-rata sebesar 20,59%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian studi numerik pengaruh pembebanan siklik terhadap variasi bentuk penampang pengaku pada portal baja dengan pengaku konsentrik, diketahui bahwa penampang bresing HSS memiliki kemampuan mendisipasi energi yang paling besar yaitu 1,19 kali lebih besar terhadap penampang bresing HRS dan 1,75 kali lebih besar dibandingkan dengan penampang bresing IWF. Sedangkan penampang bresing IWF memiliki kekakuan yang paling besar nilai kekakuan yang didapat pada siklus awal dan akhirnya yang tertinggi masing-masing sebesar 60,42 KN/mm dan 23,46 KN/mm dan besar degradasi kemiringan kurva rata-rata untuk tiap siklus sebesar 20,59%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- AISC. (2016). *Seismic provisions for structural steel buildings*. Chicago: American Institute of Steel Construction.
- Dicleli, M., & Mehta, A. (2007). Efficient Energy Dissipating Steel-Braced Frame to Resist Seismic Loads. *Journal Of Structural Engineering*, 969-981.
- Dicleli, M., & Mehta, A. (2007). Simulation of inelastic cyclic buckling behavior of steel box sections. *Computers and Structures* 85, 446–457.
- Sabelli, R., Mahin, S., & Chang, C. (2003). Seismic demands on steel braced frame buildings with buckling restrained braces. *Engineering Structures*, 655-666.
- Yang, T., Sargazi, O., & Tobber, L. (2017). Investigation of innovative steel concentrically braced frame connections using advanced analytical models. *Eurosteel 2017*, 3148-3155.
- Yang, T., Sheikh, H., & Tobber, L. (2019). Influence of the Brace Configurations on the Seismic Performance of Steel Concentrically Braced Frames. *Frontiers in Built Environment*, Article 27.

PENGARUH PENAMBAHAN SAMPAH PLASTIK PET DAN LDPE TERHADAP KUAT TEKAN *PAVING BLOCK*

Fauzan¹, Rani Fahmi Zakaria²

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: fauzan@eng.unand.ac.id

²Mahasiswa Strata1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: pondokbambu281@gmail.com

ABSTRACT

Plastic waste is a versatile product, lightweight, flexible, moisture-resistant, strong, relatively inexpensive. However, it has the basic character and the way to use it is not environmentally friendly, making plastic waste as one of the sources of environmental pollution in the world. Based on Jenna R. Jambeck's research in 2010, Indonesia became the second largest contributor to marine plastic waste in the world. One way to reduce plastic waste is to be processed into goods that are widely used and used in the long term such as paving blocks. Based on SNI 03-0691-1996 concerning Concrete Brick, paving block is a composition of building materials made from a mixture of Portland cement or similar hydraulic adhesives, water, and aggregates with or without other additives which do not reduce the quality of the concrete. From previous studies, the addition of plastic waste of type/logo with PET and LDPE in a mixture of paving blocks increase the compressive strength of paving blocks compared to normal paving blocks.

Keywords: Paving block, Plastic waste, PET, LDPE, Compressive strength

ABSTRAK

Sampah plastik merupakan produk serbaguna, ringan, fleksibel, tahan kelembaban, kuat, relatif murah. Namun memiliki karakter dasar serta cara penggunaan tidak ramah lingkungan, hingga menjadikan sampah plastik sebagai salah satu sumber pencemaran lingkungan di dunia. Berdasarkan penelitian Jenna R. Jambeck tahun 2010, Indonesia menjadi penyumbang sampah plastik kelaut terbesar kedua di dunia. Salah satu cara untuk mengurangi sampah plastik ini adalah dengan pengolahan menjadi barang yang banyak digunakan dan dipakai dalam jangka panjang seperti *paving block*. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 mengenai Bata Beton, *paving block* adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau perekat hidrolis sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton itu. Dari beberapa penelitian yang telah ada sebelumnya, penambahan sampah plastik berjenis / berlogo PET dan LDPE dalam campuran *paving block* mampu meningkatkan kuat tekan *paving block* dibandingkan dengan *paving block* normal.

Keywords : *Paving block*, Sampah plastik, PET, LDPE, Kuat tekan,

1. PENDAHULUAN

Sampah plastik merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan di dunia. Plastik merupakan produk serbaguna, ringan, fleksibel, tahan kelembaban, kuat dan relatif murah. Sehubungan dengan alasan diatas, seluruh dunia berkeinginan besar menghasilkan lebih banyak produk berbahan baku plastik. Namun tanpa disadari, karakter dasar serta cara penggunaan plastik justru tidak ramah lingkungan. Laporan *World Bank* per tahun 2016, total sampah plastik rata-rata global telah mencapai 242 juta ton, atau menyumbang 12% dari komponen penyebab pencemaran lingkungan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jenna R. Jambeck dari *University of Georgia*, pada tahun 2010, terdapat sekitar 275 juta ton sampah plastik yang dihasilkan di seluruh dunia. Sekitar 4,8 – 12,7 juta ton diantaranya terbuang dan mencemari laut. Data itu juga mengatakan bahwa Indonesia merupakan negara dengan jumlah pencemaran sampah plastik ke laut terbesar kedua di dunia, sekitar 0,48 – 1,29 juta ton per tahun. China memimpin dengan tingkat pencemaran sampah kelaut sekitar 1,23 – 3,53 juta ton per tahun.

Sampah plastik yang paling banyak ditemui ialah sampah botol minum kemasan dan plastik kresek yang biasanya berjenis PET dan LPDE. Hal ini disebabkan karena angka pemakaiannya tinggi, namun hanya bisa dilakukan satu kali pemakaian saja.

Sampai saat sekarang ini sudah berbagai macam cara dilakukan untuk mengurangi angka sampah plastik, salah satunya adalah dengan membuat *ecopaving*, yaitu *paving block* dengan tambahan sampah plastik. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 mengenai Bata Beton, *paving block* adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton itu. Sudah banyak penelitian yang membahas mengenai pemanfaatan sampah plastik sebagai *paving block* dilakukan. Paper ini akan membahas atau mereview beberapa penelitian mengenai pengaruh penambahan sampah plastik PET dan LPDE terhadap kuat tekan *paving block*.

2. PENGGUNAAN SAMPAH PLASTIK PADA PAVING BLOCK

2.1 Plastik PET

2.1.1 Pengertian

Polietilena tereftalat (disingkat PET, PETE) adalah suatu resin polimer plastik *termoplast* dari kelompok *poliester* (Gambar 1). PET dapat berwujud padatan amorf (transparan) atau sebagai bahan semikristal yang putih dan tidak transparan, tergantung kepada proses dan riwayat termalnya. Polimer PET dihasilkan melalui reaksi polimerisasi kondensasi dari monomernya.

Simbol plastik berbahan PET yang dikeluarkan oleh *The Society of Plastic Industry* ialah berupa gambar daur ulang bernomor 1 dan terdapat tulisan PETE atau PET di bawahnya. PET atau *Polyethylene Terephthalate* biasa dipakai untuk botol plastik bewarna jernih, tembus pandang/transparan seperti botol air mineral, botol minuman, botol jus, botol minyak goreng, botol kecap, botol sambal, dan hampir semua botol minuman lainnya. PET/PETE direkomendasikan hanya untuk sekali pakai. Penggunaan berulang kali terutama pada kondisi panas dapat menyebabkan melelehnya lapisan polimer dan keluarnya zat karsinogenik dari bahan plastik tersebut, hingga menyebabkan kanker untuk penggunaan jangka panjang.

2.1.2 Metode Penggunaan Material PET Untuk Paving Block

Penggunaan plastik PET sebagai bahan tambahan pada pembuatan *paving block* ada beberapa metoda. Salah satu metode yang digunakan ialah dengan cara pemanasan, dimana limbah plastik dilelehkan dengan cara dibakar setelah kering kemudian di hancurkan menjadi serbuk/agregat halus sebagai bahan campuran *paving block* (Yusuf Amran : 2015). Metode lainnya yang digunakan ialah dengan cara memotong-motong plastik PET menjadi sepanjang 5cm lalu dibentuk simpul, yang kemudian disebar dan dicampur hingga rata saat proses

pengadukan campuran *paving block* (Arif : 2013). Selain itu juga ada metode penggunaan plastik PET dengan cara dicincang terlebih dahulu lalu dipanaskan hingga meleleh yang nantinya dipecah/dihancurkan menjadi agregat kasar (Krasna : 2019).

Seperti yang tertera dalam SNI 03-0691-1996 mengenai Bata Beton, campuran *paving block* terdiri atas semen atau bahan pengikat hidrolis lainnya, agregat, air, dengan atau tambahan lainnya. Plastik PET sebagai agregat halus digunakan dengan konsentrasi 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8% dari volume semen, dimana perbandingan campuran semen : pasir : fas adalah 1 : 6 : 0,5 dan sampel dibuat dalam bentuk *hexagonal* dengan ukuran keenam sisi 11,5 cm, tebal 6,5 cm (Yusuf Amran : 2015). Bahan-bahan yang digunakan untuk *paving block* ialah agregat halus, semen type I, *fly ash* sebanyak 30% dari berat semen, air dan plastik PET dengan panjang 5cm disimpul, variasi serat plastik yang digunakan ialah 0%, 0,25%, 0,5% 0,75%, 1% dari volume campuran, dan perbandingan campuran semen : pasir : fas ialah 1 : 6 : 0,5, sampel dibuat dalam bentuk *hexagonal* dengan ukuran keenam sisi 11,5 cm tebal 6,5 cm (Arif : 2013). Plastik PET sebagai agregat kasar digunakan dengan konsentrasi 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dari volume agregat kasar yang digunakan, sampel dibuat berbentuk persegi panjang ukuran 20 x 10 x 8 cm, dengan perbandingan antara semen : agregat halus : agregat kasar ialah 1 : 6 : 4 (Krasna : 2019).



Sumber : Google

Gambar 17. Plastik PET

2.2 Plastik LDPE

2.2.1 Pengertian

Low density polyethylene atau *polietilena* berdensitas rendah adalah *termoplastik* yang terbuat dari minyak bumi (Gambar 2). Awal mula diproduksi oleh *Imperial Chemical Industries* (ICI) tahun 1933 menggunakan tekanan tinggi dan polimerisasi radikal bebas. LDPE dicirikan dengan densitas antara 0.910 – 0.940 g/cm³ dan tidak reaktif terhadap temperatur kamar, kecuali oleh oksidator kuat dan beberapa jenis pelarut dapat menyebabkan kerusakan. Sifat mekanis jenis LDPE ini adalah kuat, tembus pandang, fleksibel, resisten terhadap reaksi kimia, proteksi terhadap uap air baik, dan dapat didaur ulang.

Simbol plastik berbahan LDPE yang dikeluarkan oleh *The Society of Plastic Industry* berupa gambar daur ulang bernomor 4 di tengahnya dengan tulisan LDPE di bawah segitiga. LDPE banyak dipakai untuk kantong/tas kresek dan plastik tipis lainnya. Barang berbahan LDPE ini

sulit dihancurkan, tetapi tetap baik untuk tempat makanan karena sulit bereaksi secara kimiawi dengan makanan yang dikemas dengan bahan ini.

2.2.2 Metode Penggunaan Material Untuk *Paving Block*

Metode yang digunakan untuk penggunaan plastik LDPE sebagai bahan tambahan *paving block* ialah menjadikan plastik LDPE sebagai pengganti semen dalam bentuk powder plastic (Gambar 3), dengan cara sampah plastik LDPE bersih dan kering di potong-potong menggunakan mesin pemotong plastik lalu lelehkan plastik LDPE tersebut pada suhu 200°C dan dicampur dengan agregat halus hingga rata dengan komposisi plastik LDPE : agregat halus (1 : 3, 1 : 5 dan 1 : 7) (M Susila : 2019). Selain menjadikan LDPE sebagai pengganti semen, LDPE juga bisa dijadikan sebagai pengganti agregat halus dengan cara LDPE yang telah bersih dan kering dipanaskan hingga meleleh lalu dihancurkan menjadi ukuran 3 – 6 mm (Gambar 4). LDPE sebagai agregat halus digunakan dengan konsentrasi 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dari volume agregat halus, perbandingan campuran semen : agregat halus : agregat kasar adalah 1 : 1,5 ; 3 dengan perbandingan air semen 0,25 (Budhi : 2019).



Sumber : Google

Gambar 2. Plastik LDPE



Sumber : Google

Gambar 3. Powder plastik



Sumber : Google

Gambar 4. Agregat plastik

3. PENGARUH PENAMBAHAN SAMPAH PLASTIK TERHADAP KUAT TEKAN *PAVING BLOCK*

Penggunaan sampah plastik sebagai bahan tambahan pembuatan *paving block* dapat memudahkan kita untuk mengatasi permasalahan jumlah sampah plastik yang meningkatkan *global warming* dan mencemari bumi. Selain itu, plastik yang digunakan ialah sampah yang

tidak digunakan lagi hingga menjadikan *paving block* ini lebih ekonomis dibandingkan dengan *paving block* murni. Penambahan plastik dalam jumlah tertentu pada campuran *paving block* juga bisa meningkatkan penyerapan energi pada pengujian ketahanan kejut dibandingkan *paving block* murni, selain itu penambahan plastik pada *paving block* juga menyebabkan penurunan daya serap air *paving block*, hal ini dapat mengurangi resiko kerusakan pada *paving* (Arif : 2013). Penambahan plastik pada campuran *paving block* juga membuat *paving block* menjadi lebih ringan dibandingkan dengan *paving block* normal (Krasna : 2019).

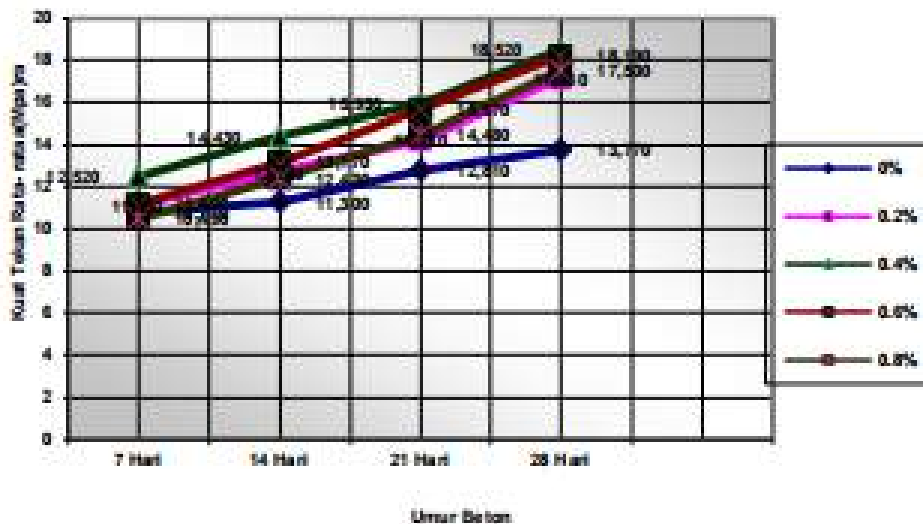
3.1 Plastik PET

Hasil pengujian kuat tekan *paving block* dengan tambahan plastik PET sebagai agregat halus saat umur 7, 14, 21 dan 28 hari, dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 5.

Tabel 12. Hasil pengujian kuat tekan *paving block* rata-rata

Variasi penambahan serat plastis	Kuat tekan rata-rat (kg/cm ²)			
	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
0%	107,76	113,05	128,16	137,76
0,2%	111,55	127,41	142,32	171,55
0,4%	125,23	144,38	159,30	185,23
0,6%	111,9	131,73	156,65	181,90
0,8%	104,92	124,37	144,82	174,92

Sumber : Yusuf Amran (2015)



Sumber : Yusuf Amran (2015)

Gambar 5. Grafik hubungan kuat tekan *paving block* dengan umur beton

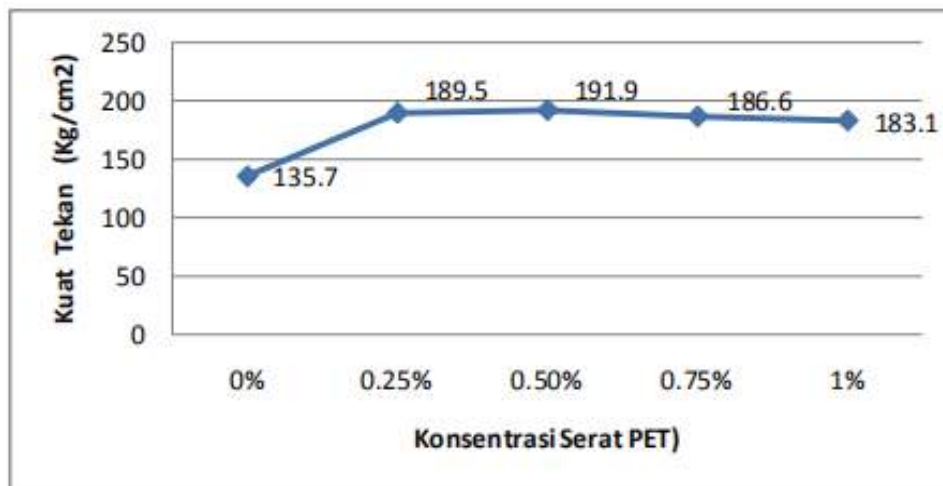
Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 5, kuat tekan optimum terjadi pada penambahan serat plastik sebesar 0,4% dengan kuat tekan 185,23 kg/cm² yaitu meningkat 41,83% dari *paving*

normal. Kuat tekan *paving block* menurun saat serat plastik kurang maupun lebih dari 0,4%, hal ini disebabkan lekatan antara bahan – bahan penyusun *paving* kurang bekerja maksimal karena jumlah konsentrasi serat plastis tidak sesuai hingga mengakibatkan volume pada semen berkurang, hingga banyak rongga atau celah kosong yang membuat struktur tatanan *paving* tidak padat waktu diuji (Yusuf Amran : 2015).

Hasil pengujian kuat tekan *paving block* dengan tambahan plastik PET sebagai bahan tambahan lainnya saat umur 28 hari, dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 6.

Tabel 2. Hasil pengujian kuat tekan *paving block*

Variasi penambahan serat plastis	Kuat tekan (kg/cm ²)
0%	135,7
0,25%	189,5
0,50%	191,9
0,75%	186,6
1,00%	183,1



Sumber : Arif (2013)

Gambar 6. Grafik hubungan kuat tekan *paving block* dengan konsentrasi serat PET

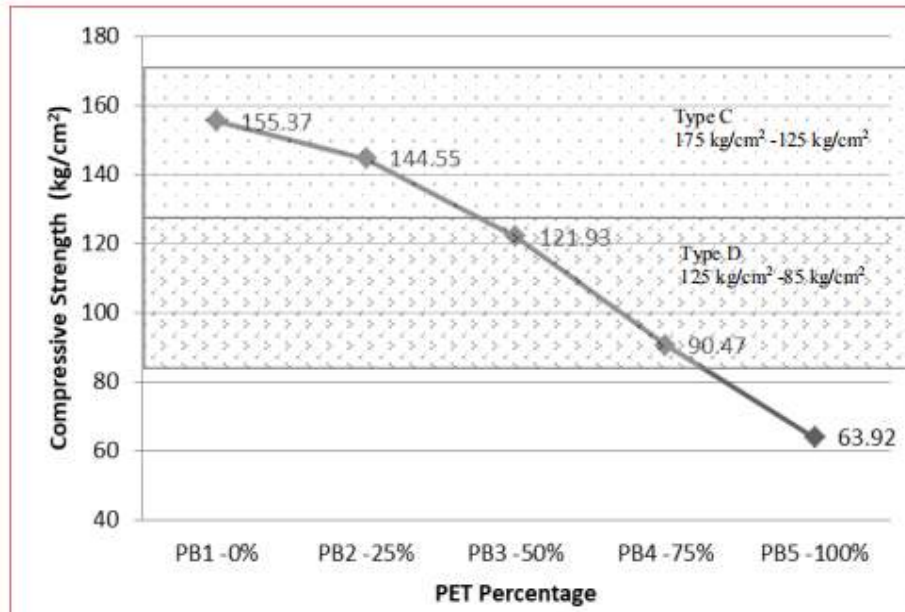
Dari Tabel 2 dan Gambar 6, dapat dilihat bahwa kuat tekan optimum terjadi pada penambahan serat plastik sebanyak 0,5% dengan kuat tekan 191,9 kg/cm² yakni meningkat 42,23% dari *paving* normal. Kuat tekan *paving block* menurun saat serat plastik kurang maupun lebih dari 0,5% (Arif : 2013).

Hasil pengujian *paving block* dengan rencana mutu type C (125 kg/cm²) pada hari ke 28 dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 7.

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan *paving block*

Variasi penambahan serat plastis	Kuat tekan (kg/cm ²)
0%	155,37
25%	144,55

50%	121,93
75%	90,47
100%	63,92



Sumber: Krasna (2019)

Gambar 7. Grafik hubungan kuat tekan paving block dengan persentase PET

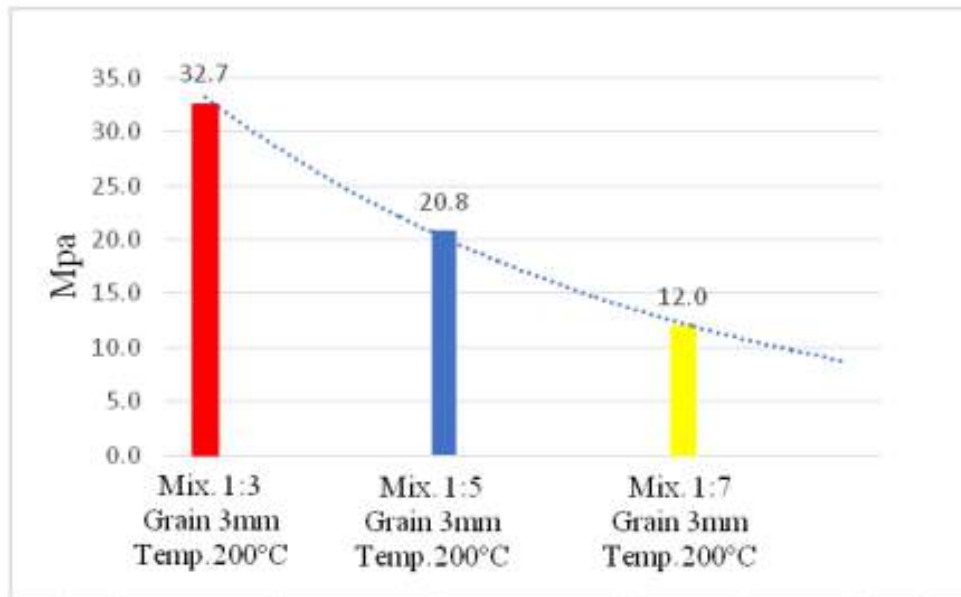
Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 7, terlihat bahwa paving block yang memenuhi syarat mutu type C (kuat tekan minimal 125 kg/cm²) hanya saat persentase plastik 25%, sedangkan saat persentase 50% - 100% memiliki kuat tekan dibawah 125 kg/cm² (Krasna : 2019).

3.2 Plastik LDPE

Hasil pengujian kuat tekan paving block dengan campuran plastik LDPE sebagai pengganti semen dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 8.

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan paving block rata-rata

Perbandingan pasir dan plastik	Kuat tekan rata-rata (MPa)
1 : 3	32,7
1 : 5	20,8
1 : 7	12,0

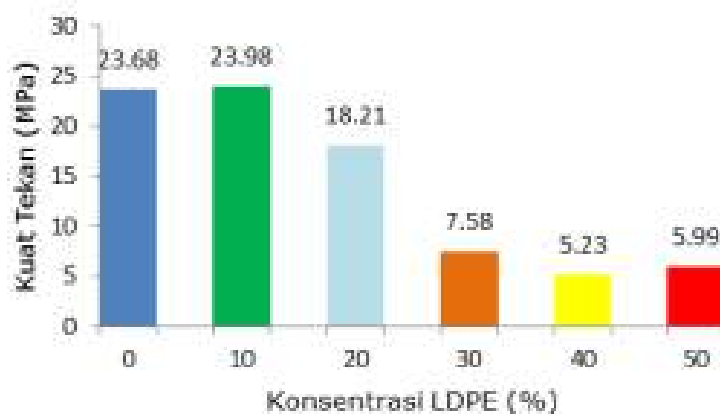


Sumber : M Susila (2019)

Gambar 8. Grafik hubungan kuat tekan paving block dengan perbandingan antara agregat halus dengan plastik

Berdasarkan Tabel 4. dan Gambar 8, dapat dilihat bahwa kuat tekan optimum terjadi pada saat perbandingan antara agregat halus dengan plastik 1 : 3, yaitu sebesar 32,7 Mpa. Kuat tekan paving block menurun seiring dengan penambahan jumlah serat plastik pada campuran paving block (M Susila : 2019).

Hasil pengujian kuat tekan paving block dengan tambahan plastik LDPE sebagai agregat halus dapat dilihat pada Gambar 9.



Sumber : Budhi (2019)

Gambar 9. Grafik hubungan kuat tekan rata-rata paving block dengan konsentrasi LDPE

Ditunjukkan pada Gambar 9, hasil kuat tekan paving block murni menghasilkan kuat tekan 23,68 Mpa, sementara nilai kuat tekan tertinggi berada pada penambahan 10% LDPE yaitu

23,98. Namun pada penambahan 20% LDPE kuat tekan *paving block* berkurang menjadi 18,21 MPa (Budhi : 2019).

4. KESIMPULAN

Dari beberapa penelitian tentang penambahan PET dan LDPE pada campuran material untuk pembuatan Paving Block, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan plastik PET maupun plastik LDPE berpengaruh terhadap kuat tekan *paving block*.
2. Penambahan plastik PET dan plastik LDPE pada campuran *paving block* dapat meningkatkan kuat tekan *paving block* dan juga dapat menurunkan kuat tekan *paving block* pada konsentrasi tertentu.
3. Penurunan kuat tekan *paving block* yang ditambahkan dengan plastik PET dan plastik LDPE disebabkan oleh lekatan antara bahan – bahan penyusun *paving* bekerja kurang maksimal karena banyaknya rongga atau celah kosong yang menyebabkan *paving block* tidak padat saat diuji.

5. DAFTAR PUSTAKA

- I M Susila, N P G Suardana, C I P K Kencanawati, I N A Thayana, I W B Adnyana. 2019. *The Effect of Compoiyiyion of Plastic Waste Low Density Polyethylene (LDPE) with Sand to Pressure Strenght and Density of Sand/LDPE Composites*. Bali: *International Conference on Design, Energy, Materials and Manufacture*.
- Arif Frasan Sibuea, Johannes Tarigan. 2013. Pemanfaatan Limbah Botol Plastik sebahai Bahan Eco Plafie (*Economic Plastic Fiber*) Paving Block yang Berkonsep Ramah Lingkungan dengan Uji Tekan, Uji Kejut dan Serapan Air. *Jurnal Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara*.
- Yusuf Amran. 2015. Pemanfaatan Limbah Plastik utuk Bahan Pembuatan Paving Block sebagai Alternatif Perkerasan pada Lahan Parkir di Universitas Muhammadiyah Metro. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro (ISSN 2089-2098. TAPAK Vol 4 No.2 Mei 2015)*.
- Wiku A. Krasna, Rijali Noor, Denny D. Rahmadani. 2019. *Utilization of Plastic Waste Polyethylene Terephthalate (PET) as a Coarse Addregate Alternative in Paving Block*. Universitas Lambung Mangkurat
- Budhi Indrawijaya, dkk. 2019. Pemanfaatan Limbah Plastik LDPE sebagai Pengganti Agregat untuk Pembuatan Paving Blok Beton. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM, Vol.3 No. 1 januari 2019 (ISSN 2549 – 0699)*
- SNI-03-0691-1996, Persyaratan Mutu Bata Beton (*Paving Block*).

OPTIMALISASI VOUTE PADA BALOK BENTANG PANJANG

Muhammad Ridwan¹, Definda Helka Septiawan²

¹Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Padang

E-mail : mhd.rid.wan.itp@gmail.com

²Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Padang

E-mail : defindaseptiawan27@gmail.com

ABSTRAK

Balok bentang panjang biasanya akan mengakibatkan dimensi semakin besar. Dengan semakin besarnya dimensi akan mejadikan struktur semakin berat dan semakin mahal. Salah satu alternatif untuk mengurangi beban dan biaya pembuatan balok bentang panjang adalah dengan adanya penambahan voute pada tumpuan balok. Penambahan voute pada balok tidak berarti mengurangi kekuatan balok. Efisiensi panjang voute dapat dilakukan dengan pemodelan beda hingga dan menganalisa nilai nilai momen dan lendutannya tanpa harus menghilangkan kekuatan balok tersebut. Metode penyelesaian numerik untuk mencari solusi persamaan differensial parsial dengan melakukan perubahan secara beruntun dengan batasan tinggi balok dan voute antara $1/8$ - $1/16$ bentang. Hasil yang di peroleh dengan tahapan diatas untuk bentang panjang maka dapat di gunakan tinggi balok adalah $1/16 L$ dan dan tinggi voute adalah $1/8 L$ dan $0.25 L$ panjang Voute. Jarak dari tumpuan yang menghasilkan momen = 0 yang memiliki lendutan lapangan kecil dan momen tumpuan dan lapangan optimal atau proporsional.

Kata Kunci : Balok non prismatis, finite difference, voute

1. PENDAHULUAN

Dalam hal perencanaan struktur, pada umumnya seorang perencana struktur memilih bentuk struktur yang prismatis, artinya struktur yang memiliki penampang melintang yang seragam sepanjang bentang struktur. Terkadang karena kebutuhan tinggi ruangan yang terbatas, berakibat tinggi elemen balok harus pada suatu ukuran tertentu. Namun demikian dengan tidak mengurangi tingkat keamanan dari suatu elemen struktur balok, dapat saja pada tempat-tempat tertentu balok mempunyai tinggi yang lebih dari tempat lain pada bentang yang sama. Jenis struktur balok dengan penampang melintang yang tidak seragam tersebut disebut dengan istilah balok non prismatis. (Agus, 2011)

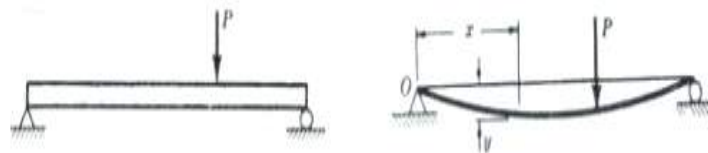
Struktur yang umumnya terdiri atas balok dan kolom tentu tidak lepas dengan apa yang dimaksud lendutan dan tekuk. Lendutan atau *defleksi* yang besar ini harus dicegah agar balok masih dapat berfungsi dan memberikan kenyamanan untuk berpijak bagi para penghuninya. (Kusdiman 2009)

2. STRUKTUR BALOK

Balok adalah bagian dari struktur sebuah bangunan yang kaku dan dirancang untuk menanggung dan mentransfer beban menuju elemen-elemen kolom penopang. Selain itu ring balok juga berfungsi sebagai pengikat kolom-kolom agar apabila terjadi pergerakan kolom-kolom tersebut tetap bersatu padu mempertahankan bentuk dan posisinya semula. Ring balok dibuat dari bahan yang sama dengan kolomnya sehingga hubungan ring balok dengan kolom.

2.1 Lendutan/Defleksi

Sumbu sebuah balok akan berdefleksi (atau melentur) dari kedudukannya semula apabila berada di bawah pengaruh gaya terapan. Defleksi Balok adalah lendutan balok dari posisi awal tanpa pembebanan. Defleksi (Lendutan) diukur dari permukaan netral awal ke permukaan netral setelah balok mengalami deformasi. Balok biasanya horizontal, maka defleksi merupakan penyimpangan vertikal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



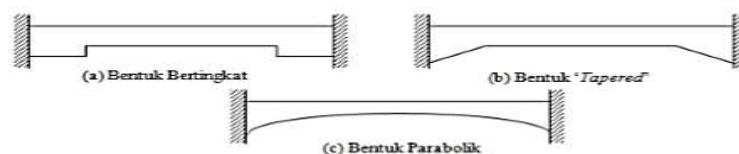
Gambar 1. Defleksi Pada Balok Sederhana

Besarnya defleksi ditunjukkan oleh pergeseran jarak y . Besarnya defleksi y pada setiap nilai x sepanjang balok disebut persamaan kurva defleksi balok.

2.2 Balok Non Prismatis

Balok non prismatis adalah balok-balok yang mempunyai penampang berbeda pada tiap bagian-bagiannya dan balok-balok tirus. Bila sebuah balok mempunyai dimensi penampang yang berubah secara tiba-tiba, maka pada titik dimana perubahan tersebut akan terjadi konsentrasi tegangan lokal, akan tetapi tegangan lokal ini tidak mempunyai pengaruh yang berarti terhadap perhitungan lendutan.

Jenis-jenis balok non prismatis yang sering digunakan dalam konstruksi.



Gambar 2. Jenis-jenis balok non prismatis

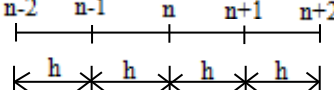
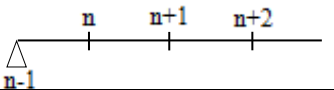
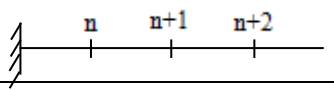
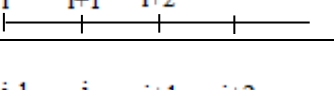
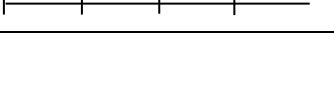
3. METODE PENELITIAN

3.1 Finite Difference

Finite Difference Method merupakan metode penyelesaian numerik untuk mencari solusi persamaan differensial parsial. Metode ini menyelesaikan persamaan differensial dengan membagi bidang menjadi sejumlah berhingga pias segiempat. R. Sri Pawening (2005)

menggunakan pene-rapan metode *finite difference* dalam persamaan perpindahan panas sebuah batang besi secara konduksi dengan persamaan parabolic skema eksplisit, implisit, dan Crank-Nicholson.

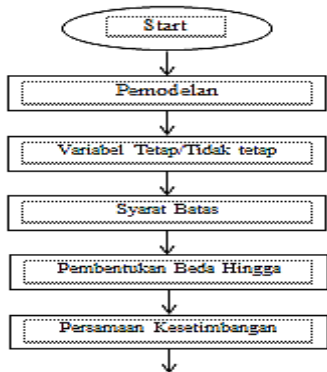
Tabel 1. Persamaan finite difference untuk hubungan defleksi dan beban q.

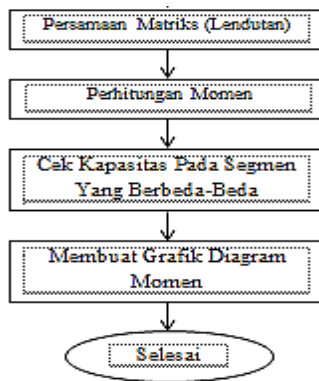
No.	Letak titik yang ditinjau (yaitu titik n)	Koefisien didepan persamaan yaitu E/h ⁴					
		y _{n-2}	y _{n-1}	y _n	y _{n+1}	y _{n+2}	
1		I _{n-1}	-2(I _{n-1} + I _n)	(I _{n-1} + 4I _n + I _{n+1})	-2(I _n + I _{n+1})	I _{n+1}	q _n
		1	-4	6	-4	1	
2		----	----	4I _n + I _{n+1}	-2(I _n + I _{n+1})	I _{n+1}	q _n
				5	-4	1	
3		----	----	(2I _{n-1} + 4I _n + I _{n+1})	-2(I _n + I _{n+1})	I _{n+1}	q _n
				7	-4	1	
4		----	----	I _{n+1}	-2I _{n+1}	I _{n+1}	q _n
				1	-2	1	
5		----	-2I _n	(4I _n + I _{n+1})	-2(I _n + I _{n+1})	I _{n+1}	q _n
			-2	5	-4	1	

Dan untuk mencari nilai momen dan ledutan pada balok dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$M_n = -\frac{EI_n}{h^2} (y_{n-1} - 2y_n + y_{n+1}) \dots \dots \dots (1)$$

3.2 Prosedur Penelitian





Gambar 3. Bagan alur perencanaan balok non prismatik

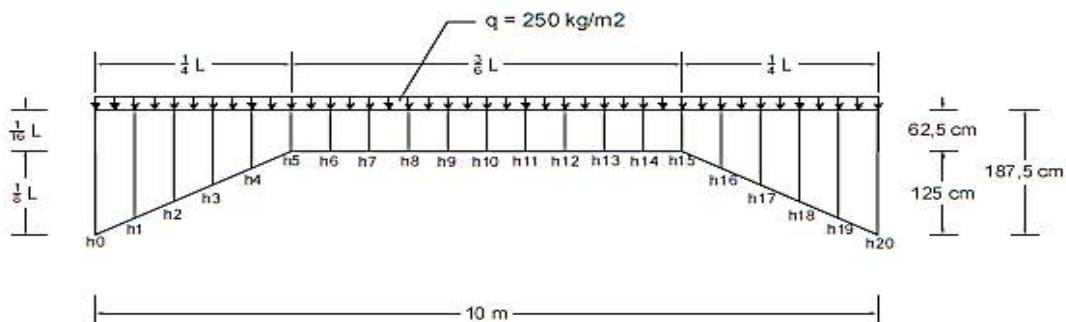
4. HASIL & PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Analisis Perencanaan Balok Non Prismatis

Dalam merencanakan balok non prismatis bentang panjang seperti bentang 10 meter yang digunakan perlu dilakukan analisis dimensi penampang dan jarak voute yang efisien atau yang cocok digunakan untuk balok bentang panjang. Dimensi yang digunakan untuk perencanaan adalah $1/8L - 1/16L$, $1/9L - 1/15L$, $1/10L - 1/14L$, $1/11L - 1/13L$, $1/12L - 1/12L$, $1/13L - 1/11L$, $1/14L - 1/10L$, $1/15L - 1/9L$, $1/16L - 1/8L$. Sedangkan jarak voute yang perlu digunakan adalah 1 meter, 1,25 meter, 2 meter, 2,5 meter 3,3 meter, dan 5 meter, sedangkan 10 meter untuk balok normal.

Setelah dilakukan analisis per-bandingan nilai momen dan ledutan pada kombinasi dimensi balok dan voute didapatkan dimensi yang cocok untuk bentang 10 meter adalah $1/16L - 1/8L$ dengan panjang voute $1/4L = 2,5$ meter.

4.2 Perhitungan Tinggi Balok Pada Setiap Segmen



Gambar 4. Gambar balok rencana

b = Lebar balok setiap segmen (cm)

L = Panjang balok (m)

Tinggi balok tiap segmen dihitung dengan cara :

$$h_c = \frac{h_c - h_b}{\text{jumlah segmen dalam voute}} \times n \dots \dots \dots (2)$$

4.3 Inersia Balok Pada Setiap Segmen

$$I = 1/12 \times b \times h^3 \dots\dots\dots (3)$$

Inersia dihitung di setiap titik segmen, dikarenakan tinggi balok pada setiap segmen berbeda maka perlu di hitung inersia balok pada setiap segmen.

4.4 Perhitungan Beban

Beban pada balok :

$$q_u = (DL \times 1,2) + (LL \times 1,6) \dots\dots\dots (4)$$

Diketahui :

$$bj.beton = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$q = 250 \text{ Kg/m}^2$$

$$b = 0,5 \text{ m}$$

4.5 Perhitungan Hubungan Lendutan dan Beban

Perhitungan hubungan lendutan dan beban berpatokan pada (Tabel 2.1), dari tabel tersebut dijelaskan bahwa persamaan dihitung berdasarkan titik yang ditinjau atau titik n. Yang mana hasil y yang didapatkan pada matriks , diinverskan dan dikalikan dengan beban didapatkan nilai lendutan.

Tabel 2. Nilai lendutan.

y ₀	=	0	cm
y ₁	=	0,002	cm
y ₂	=	0,009	cm
y ₃	=	0,023	cm
y ₄	=	0,042	cm
y ₅	=	0,069	cm
y ₆	=	0,107	cm
y ₇	=	0,146	cm
y ₈	=	0,179	cm
y ₉	=	0,201	cm
y ₁₀	=	0,209	cm
y ₁₁	=	0,201	cm
y ₁₂	=	0,179	cm
y ₁₃	=	0,146	cm
y ₁₄	=	0,107	cm
y ₁₅	=	0,069	cm
y ₁₆	=	0,042	cm
y ₁₇	=	0,023	cm
y ₁₈	=	0,009	cm
y ₁₉	=	0,002	cm
y ₂₀	=	0	cm

Dari tabel tersebut dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 5. Lenturan yang terjadi pada balok rencana

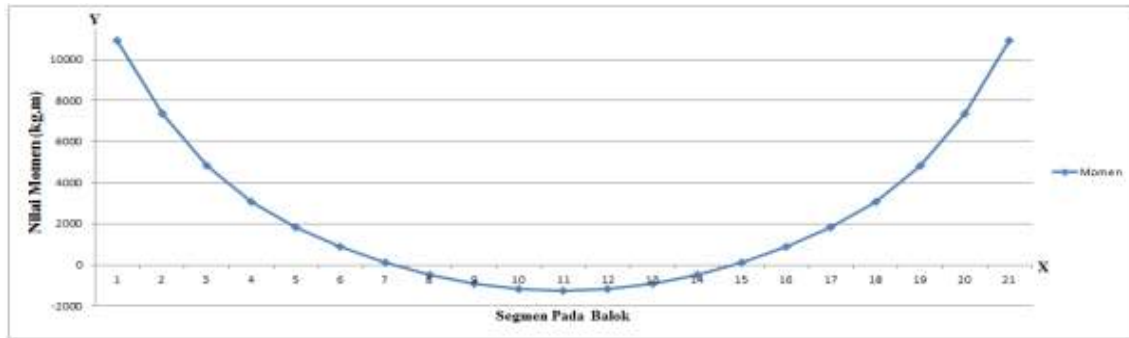
4.6 Menentukan Momen

Untuk menentukan momen pada balok digunakan rumus momen pada persamaan 1.

Tabel 3. Nilai momen

M ₀	=	-10946	Kg.m
M ₁	=	-7388	Kg.m
M ₂	=	-4862	Kg.m
M ₃	=	-3085	Kg.m
M ₄	=	-1821	Kg.m
M ₅	=	-875	Kg.m
M ₆	=	-102	Kg.m
M ₇	=	499	Kg.m
M ₈	=	928	Kg.m
M ₉	=	1186	Kg.m
M ₁₀	=	1272	Kg.m
M ₁₁	=	1186	Kg.m
M ₁₂	=	928	Kg.m
M ₁₃	=	499	Kg.m
M ₁₄	=	-102	Kg.m
M ₁₅	=	-875	Kg.m
M ₁₆	=	-1821	Kg.m
M ₁₇	=	-3085	Kg.m
M ₁₈	=	-4862	Kg.m
M ₁₉	=	-7388	Kg.m
M ₂₀	=	-10946	Kg.m

Dari momen yang telah didapatkan di buatkan grafik momen yang terjadi, seperti pada gambar 5.



Gambar 6. Momen yang terjadi pada balok rencana

Grafik diatas merupakan grafik momen yang terjadi pada balok non prismatis yaitu dengan dimensi $1/16L - 1/8L$, yang mana $1/16L$ untuk balok normal dan $1/8L$ untuk voutenya dengan jarak voute $1/4L=2,5$ m.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kapasitas lentur balok non prismatis dengan menggunakan metoda *finite difference* dapat disimpulkan hal- hal sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan dimensi balok non prismatis yang efisien untuk bentang panjang seperti 10 meter perlu dilakukan variasi dimensi yang digunakan kemudian membandingkan nilai lendutan dan momennya dengan jarak voute yang berbeda-beda.
2. Berdasarkan perhitungan momen dan lendutan didapatkan dimensi $1/16 =$ untuk balok normal, dan $1/8 =$ untuk tambahan voutenya, dengan $1/4L = 2,5$ meter untuk jarak voute.
3. Tambahan voute berguna untuk mengurangi besarnya balok normal pada balok bentang panjang.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah diuraikan, saran- saran yang perlu disampaikan antara lain :

1. Dalam perencanaan struktur dalam bentang panjang perlu menggunakan voute pada tumpuannya, ini berguna untuk mengurangi angka momen dan lendutan yang terjadi pada balok tersebut dan dihitung dengan *finite difference*.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Agoes, S., Wisnumurti. 2017. *Perilaku Balok Baja I Non Prismatis (Tapered Beam)*. ISSN 1978-5658.
- Agus, S. 2011. *Analisis Struktur Balok Non Prismatis Menggunakan Metode Persamaan Slope-Deflection*. Faculty of Engineering, Binus University, Jakarta Barat.

- Arga, W., Ristinah, S., Hidayat, M.T. 2017. *Studi Analisis Sambungan Balok-Kolom Dengan Sistem Pracetak Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang*. UBM, Malang.
- Fadillawaty, S. 2010. *Perubahan Betuk Mode Kelengkungan Untuk Mendeteksi Kerusakan Retak Pada Balok Beton Betulang Tak-Prismatis*. Tesis, UGM, Yogyakarta.
- Ghali, A., Neville, A.M. 1990. *Analisa Struktur : Gabungan Metode Klasik dan Matriks*. Edisi ke dua. Diterjemahkan oleh Ir. Wira MSCE. Jakarta : Erlangga.
- Gultom, A.S.M. 2018. *Analisa Perbandingan Lendutan dan Tekuk Pada Balok Prismatis Dengan Menggunakan Metode Finite Difference*.
- Jagad, B.S., Soebandono, B., Maulana, T.I. 2013. *Analisis Tegangan Dan Deformasi Kantilever Castelled Bukaan Heksagonal Penampang Balok Non Prismatis Menggunakan Metode Elemen Hingga (Variasi Sudut Lubang, Jaral Antar Lubang, Diameter Lubang, Dan Panjang Bantang)*. TA, UMY, Yogyakarta
- Kardestuncer. 1984., *Unification of Finite Element Methods*.
- Krasa, W.A., Sulistyono, D., Supriyadi, B. 2010. *Perilaku Geser Pada Keadaan Layan dan Batas Balok Beton Bertulang Berlubang Memanjang*. LPM UGM, Yogyakarta.
- Kusdiman, J.P. 2009. *Kajian Kekuatan Pada Struktur Balok Grid Persegi*. Tesis, UNDIP.
- Sri, R. P. 2005. *Finite Difference Method (Metode Beda Hingga) dan Penerapannya Pada Persamaan Perpindahan Panas*. Tesis, UNY, Yogyakarta.

OPTIMALISASI KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI DENGAN SUBSTITUSI PARSIAL LIMBAH LAS KARBIT

Emilia Kadreni¹, Nofid Rahman Hadi Lubis², Torang Sitorus³

¹Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan. Email: emiliakadreni@gmail.com

²Mahasiswa Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan. Email: nofidrahman11@gmail.com

³Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan. Email: torangs02@gmail.com

ABSTRACT

Concrete is composite material consisting of cement, sand, water, gravel, dan admixture, whereas high strength concrete is concrete that needs more cement for the mixture, and the compressive strength above 40 MPa. High strength concrete is concrete that has a special treatment where high strength concrete made by adding a special mixture. This research is discusses high strength concrete with substitution carbide waste. Carbide waste is a waste material from carbide which as special properties that contain chemical compound Silika (SiO₂). The purpose of this research is to analyze compressive strength high strength concrete with substitution carbide waste for concrete. Carbide waste was using with variation 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, with treatment in 7 days and 28 days. The test specimen is made with cylinder diameter 10 cm and height 20 cm. From this research an average of compressive strength in 7 days is 36.58 MPa, 38.77 MPa, 43.58 MPa, 42.40 MPa, 36.61 MPa dan 34.08 MPa, while in 28 days is 41.55 MPa, 44.73 MPa, 53.69 MPa, 49.15 MPa, 43.78 MPa dan 40.72 MPa. From this research prove that optimum compressive strength with substitution carbide waste is 53,69 MPa.

Keyword : waste, carbide, compressive strength, concrete, high strength concrete, optimization

ABSTRAK

Beton adalah material komposit yang terdiri dari semen, air, pasir, kerikil dan juga bahan tambah lainnya, sedangkan beton mutu tinggi adalah beton yang membutuhkan banyak semen dalam campurannya, dan memiliki kuat tekan diatas 40 MPa. Beton mutu tinggi dibuat dengan menambahkan campuran khusus. Pada penelitian ini penambahan limbah las karbit sebagai bahan buangan dari karbit yang mempunyai sifat khusus yaitu mengandung senyawa kimia silica (SiO₂) sebagai substitusi semen. Limbah las karbit yang digunakan dengan variasi 0 %, 5%, 7,5 %, 10 %, 12,5 % dan 25 % sebagai pengganti semen untuk benda uji silinder dengan dimensi 100 x 200 mm pada umur beton 7 dan 28 hari. Dari pengujian kuat tekan silinder beton umur 7 hari menunjukkan hasil berturut – turut 36,58 MPa, 38,77 MPa, 43,58 MPa, 42,40 MPa, 36,61 MPa dan 34,08 MPa sedangkan untuk umur 28 hari memberikan nilai 41,55 MPa, 44,73 MPa, 53,69 MPa, 49,15 MPa, 43,78 MPa dan 40,72 MPa. Kuat tekan optimum beton mutu tinggi ditunjukkan pada beton umur 28 hari dengan persentase 10 % sebesar 53,69 MPa.

Kata Kunci : limbah, las karbit, beton, mutu tinggi, kuat tekan

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah las karbit adalah sisa pembakaran karbit yang tidak terpakai lagi. Limbah karbit merupakan bahan bangunan dari karbit yang mempunyai sifat khusus yaitu mengandung senyawa kimia silica (SiO_2). Limbah las karbit atau kapur buangan industry acetilin yang banyak mengandung CaO , yang merupakan bahan dasar dalam pembuatan semen sebesar 60 – 65 % dan bahan dasar lainnya adalah silica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan oksida besi (Fe_2O_3) (Dermawan, 2013).

Dengan bertambahnya pembangunan infrastruktur, jumlah las karbit setiap tahunnya bertambah, sehingga dapat mencemarkan lingkungan dan membahayakan lingkungan hidup. Sebagai bahan limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) limbah karbit dapat dimanfaatkan dalam pembuatan beton mutu tinggi sebagai bahan pengganti semen.

1.2 Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui peningkatan mutu beton pada umur 7 dan 28 hari dengan menggunakan limbah las karbit sebagai bahan pengganti semen Portland (tipe I) serta mengetahui kadar penggunaan limbah las karbit yang optimum sebagai bahan pengganti semen Portland (tipe I)

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain :

- Memanfaatkan limbah B3 karbit sebagai bahan pengganti atau bahan penambah semen pada beton sehingga mengurangi dampak terhadap lingkungan
- Mengetahui seberapa besar kuat tekan dari beton yang bahan pembuatannya dicampur dengan bahan limbah karbit
- Dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut tentang beton mutu tinggi dengan menggunakan limbah karbit sebagai bahan tambah pada semen.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beton

Beton merupakan suatu bahan konstruksi yang terdiri dari beberapa campuran material. Material ini adalah semen, pasir, kerikil, air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200-2500 kg/m^3 menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah tidak menggunakan bahan tambahan.

Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi atau high strength concrete merupakan tipe beton performa tinggi yang secara umum memiliki kuat tekan 41,4 MPa atau lebih. Ukuran kuat tekannya diperoleh dari silinder beton 150 mm – 300 mm atau silinder 100 mm – 200 mm pada umur 28 ataupun 56 hari. Produksi beton mutu tinggi membutuhkan penelitian dan perhatian yang lebih jauh terhadap kontrol kualitasnya daripada beton konvensional.

Ada beberapa faktor utama yang bisa menentukan keberhasilan pengadaan beton mutu tinggi, diantaranya adalah :

- Keadaan semen
- Faktor air semen (fas) yang rendah
- Kualitas agregat halus
- Kualitas agregat kasar
- Penggunaan admixture dan aditif mineral dalam kadar yang tepat
- Bahan Pembentuk Beton
- Semen Portland

Menurut SNI 15-2049-2004 semen portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Pasir

Pasir sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau pasir buatan yang dihasilkan oleh alat pemecah batu. Butiran pasir umumnya berukuran 0,0625 mm – 2 mm. Pasir terbuat dari kandungan silicon dioksida serta berasal dari batuan kapur.

Kerikil

Dalam pencampuran. Agregat kasar terdiri dari batu pecah dan kerikil. Batu pecah diperoleh dari pemecah batu sedangkan kerikil merupakan disintegrasi dari batuan. Perbedaan mendasar antar kerikil (koral) dan batu pecah (split) adalah dengan permukaan yang lebih kasar maka batu pecah lebih menjami ikatan yang kokoh dengan semen.

Air

Air merupakan bahan dasar yang sangat penting dalam pembentukan beton. Pada pembuatan beton air digunakan untuk bereaksi dengan semen sehingga dapat menjadi bahan perekat antara agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil).

Limbah Karbit

Limbah karbit adalah sisa pembakaran karbit yang tidak terpakai, yang merupakan limbah yang diperoleh dari industri pengelasan pada bengkel las karbit. Umumnya limbah karbit sisa pengelasan dibuang begitu saja pada daerah tersebut atau sebagai bahan timbunan.

Superplasticizer (HRWR)

Superplasticizer adalah bahan tambah (*admixture*). Bahan tambah, *additive* dan *admixture* adalah bahan selain semen, agregat dan air yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum atau selama pengadukan beton untuk mengubah sifat beton sesuai dengan keinginan perencana. Penambahan *additive* dan *admixture* tersebut ke dalam campuran beton ternyata telah terbukti meningkatkan kinerja beton hampir disemua aspeknya, yaitu kekuatan, kemudahan pengerjaan, keawetan dan kinerja-kinerja lainnya dalam memenuhi tuntutan teknologi modern.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Bahan dan Rekayasa Beton FT – USU dalam rentang waktu 3 (tiga) bulan, Juli – September 2019. Tahap awal penelitian adalah persiapan bahan, pemeriksaan bahan dasar pembuat beton (pasir, semen, kerikil dan limbah karbit), selanjutnya perhitungan *mix design* untuk 2 (dua) buah jenis beton, beton biasa dan beton dengan variasi limbah karbit seperti yang disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2., Pencetakan benda uji silinder berdimensi 100x 200 mm sesuai dengan SNI 1974-2011 dengan jumlah benda uji seperti yang disajikan dalam Tabel 3. Setelah beton berumur 7 dan 28 hari dilakukan tes kuat tekan silinder beton.

Perencanaan *mix design* untuk beton normal dalam 1m³ disajikan pada Tabel 1

Tabel 1. Perencanaan Mix Design Beton 1 m³

Material	Beton 1 m ³	
	Berat	Satuan
Semen	642.80	Kg
Pasir	575.33	Kg
Kerikil	1036.67	Kg
Superplasticizer	5.14	Kg
Air	179.98	Liter

Sedangkan perencanaan *mix design* untuk beton normal dan variasi disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Perencanaan Mix Design Untuk Beton Normal dan Beton Variasi

Material	Variasi Limbah Karbit						Satuan
	0%	5%	7.5%	10%	12.50%	15%	
Semen	8.07	7.67	7.47	7.27	7.06	6.86	Kg
Pasir	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	Kg
Kerikil	13.02	13.02	13.02	13.02	13.02	13.02	Kg
Superplasticizer	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	Kg
Air	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	Liter

Jumlah benda uji silinder beton yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat dari Tabel 3.

Variasi Limbah Karbit	Jumlah (buah)
0%	6
5%	6
7,5%	6
10%	6
12,5%	6
15%	6
Total	36

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

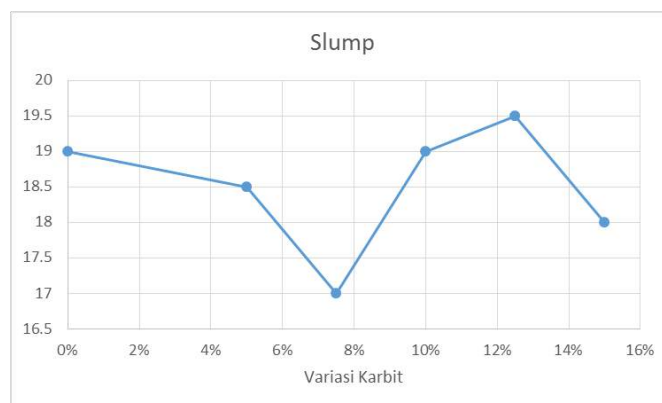
Beton Segar (fresh concrete)

Salah satu parameter untuk mengukur workabilitas atau kemudahan dalam pembuatan beton dilakukan tes/uji kelecakan dengan menggunakan *slump test* seperti yang disajikan dalam Tabel 4

Tabel 4. Pemeriksaan Uji kelecakan (*Slump Test*)

Variasi	Hari	Slump (cm)
0%	7	19
	28	
5%	7	18.5
	28	
7.5%	7	17
	28	
10%	7	19
	28	
12.5%	7	19.5
	28	
15%	7	18
	28	

Atau disajikan dalam bentuk grafik seperti yang disajikan pada Gambar 1



Gambar 1 Hasil *Slump Test* Beton Variasi

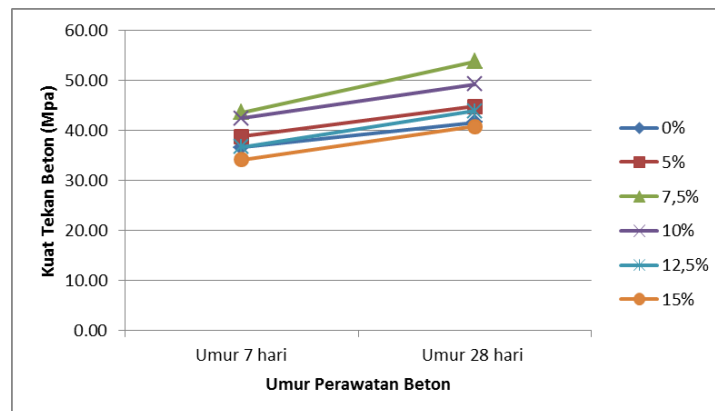
Setelah umur beton normal amupun beton variasi mencapai 7 dan 28 hari dilakukan tes kuat tekan beton (*compression test*)

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan di Laboratorium Rekaya Konstruksi FT-USU, dengan perawatan 7 hari dan 28 hari. Untuk hasil pengujian beton dengan variasi limbah karbit 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15% di sajikan pada Tabel 5 sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Umur 7 Dan 28 Hari

Beton Variasi	Hasil Kuat Tekan Rata-Rata	
	Umur 7 hari	Umur 28 hari
0%	36.58	41.55
5%	38.77	44.73
7,5%	43.58	53.69
10%	42.40	49.15

Atau disajikan pada Gambar 2. Sebagai berikut



Gambar 2. Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Beton Umur 7 Dan 28 Hari

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kuat tekan rata-rata beton dengan variasi limbah karbit sebesar 0%,5%,7,5%,10%,12,5% dan 15% berturut – turut sebesar adalah 36,58MPa, 38,77MPa, 43,58MPa, 42,40MPa, 36,61MPa dan 34,08 MPa untuk umur 7 hari dan berturut – turut dengan nilai 41,55MPa, 44,73MPa, 53,69MPa, 49,15MPa, 43,78MPa dan 40,72MPa untuk umur 28 hari.
2. Kuat tekan rata-rata maksimum terdapat pada beton umur 7 hari dengan variasi limbah karbit 7,5% sebesar 43,58 MPa, sedangkan kuat tekan rata-rata minimum pada variasi limbah karbit 15% dengan nilai 34,08MPa. Untuk kuat tekan rata-rata maksimum beton umur 28 hari dengan variasi limbah karbit 7,5% sebesar 53,69MPa.
3. Peningkatan persentase limbah karbit dapat mengurangi nilai kuat tekan beton, demikian sebaliknya, semakin sedikit variasi limbah karbit yang digunakan kuat tekan beton semakin bertambah. Kuat tekan beton maksimum diperoleh dengan variasi limbah karbit yang optimum sebesar 7,5 %.

6. DAFTAR PUSTAKA

Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Penerbit Andi

Badan Standardisasi Nasional. 2004. SNI 2049:2004. *Semen Portland*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.

- Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 1974:2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Ali, N. Karimah, R. Meiyanto, H.E. 2014. *Pengaruh Bottom Ash Sebagai Pengganti Pasir Dan Limbah Karbit Sebagai Bahan Tambah Semen Terhadap Berat Jenis, Kuat Tekan, Dan Absorpsi Batako*. Malang : Universitas Muhammadiyah Malang.
- Pujianto, A. Prayuda, H. 2018. *Analisis Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Bahan Tambah Superplasticizer Dan Limbah Las Karbit*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Ramadhan, P. Nursyamsi. 2016. *Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik LDPE Sebagai Agregat Halus Pada Batako Beton Ringan*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Gumalang, Stevanny, Wallah, S. E., dan M.D.J Sumajouw.2016. *Pengaruh Kadar Air Dan Superplasticizer Pada Kekuatan Dan Keleccakan Beton Geopolimer Memadat Sendiri Berbasis Abu Terbang*. Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol. 6 No. 3, 574-582.
- Nugraha, Paul dan Antoni. 2004. *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Penerbit : Andi Offset. Yogyakarta.
- Pade, M. M. M., Kumaat, E. J., dkk. 2013. *Pemeriksaan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Beragregat Kasar Batu Ringan Ape dari Kepulauan Talaud*. Jurnal Sipil Statik Vol. 1 No. 7, 479-485.
- Pujianto, A., Putro Tri R. Y. S., dan Oktania Ariska. *Beton Mutu Tinggi Dengan Admixture Superplastiziser dan Aditif Silicafume*. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Perdana, N.S, Ashari, M.L, Bayuaji, Ridho. *Identifikasi Komposisi Limbah Karbit dan Pengaruh Penambahan Limbah Karbit Terhadap Uji Waktu Ikat Semen (Uji Setting Time)*.Surabaya : Politeknik Perkapalan Negri Surabaya.
- Yasin, A.K dan Bayuaji, Ridho . 2015. *Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Karbit Dan Fly Ash Sebagai Bahan Subtit Usi Semen Pada Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi*.Surabaya :Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Aprida, L.F. Dermawan, Denny. Bayuaji, Ridho. 2018. *Identifikasi Potensi Pemanfaatan Limbah Karbit dan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Alternatif Pengganti Semen*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hartono, Edy. Rofi'ah, Siti. Hemeto, Abd Dzargifar. 2009. *Penggunaan Campuran Abu SaMPah Organik dan Limbah Karbit sebagai Bahan Pengganti Semen pada Mortar*.Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Irawan, Romi. 2017. *Pengaruh Variasi Limbah Karbit (5%, 10% dan 15%) dengan penambahan superplasticizer 1,5% terhadap kuat tekan beton*. Yogyakarta : Univeritas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Taufik, Hendra.Djauhari, Zulfikar. Sebayang, Mardani. Muhandis, Mahdi. 2017. *Pengaruh Substitusi Limbah Karbit Terhadap Karakteristik Beton*. Riau : Univeritas Riau Kampus Bina Widya Km. 12,5.
- Nugroho, Ragil. 2013. *Pengaruh Campuran Limbah Karbit Terhadap Kuat Tekan Paving Block dengan Variasi 0%, 20%, 30%, 40%, pada Perbandingan 1Pc:10Ps, 1Pc:13Ps, dan 1Pc:15Ps*. Yogyakarta : Universitas Muhanmmadiyah Yogyakarta.

ANALISIS KINERJA STRUKTUR DENGAN DINDING BATA SEBAGAI PENGAKU

Lili Leilany¹, Jafril Tanjung², Jati Sunaryati³

¹Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: queennisa17.ll@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: jafriltanjung@ft.unand.ac.id

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: jati@ft.unand.ac.id

ABSTRACT

This paper describes the performance analysis of structure with brick walls as stiffener on the multi-story reinforced concrete (RC) building. In Padang, most of the RC buildings use brick walls as non – structural partition walls. Since they are used as a non-structural member, during design stage, their contribution to overall building behavior is not well known. In this study, the contribution of nonstructural brick walls on the performance of the structure of RC Building was investigated. For this purpose, A nine-story RC building was chosen as an analytical model. The building located near the coastline of Padang City. This study aims to determine the safety of the building seen from the displacement, drift and shear base.

The model was analyzed for Pushover analysis by using computer software based on the nonlinear finite element method, called SStructural Earthquake Response Analysis 3D (STERA 3D). The Result of the analytical studies has indicated a nonstructural brick wall has a significant improvement in the performance of the structure of the RC building. A Nonstructural brick wall can also reduce the damage of structural components.

Keywords : Performance of structure, Brick Wall, STERA 3D, RC Building

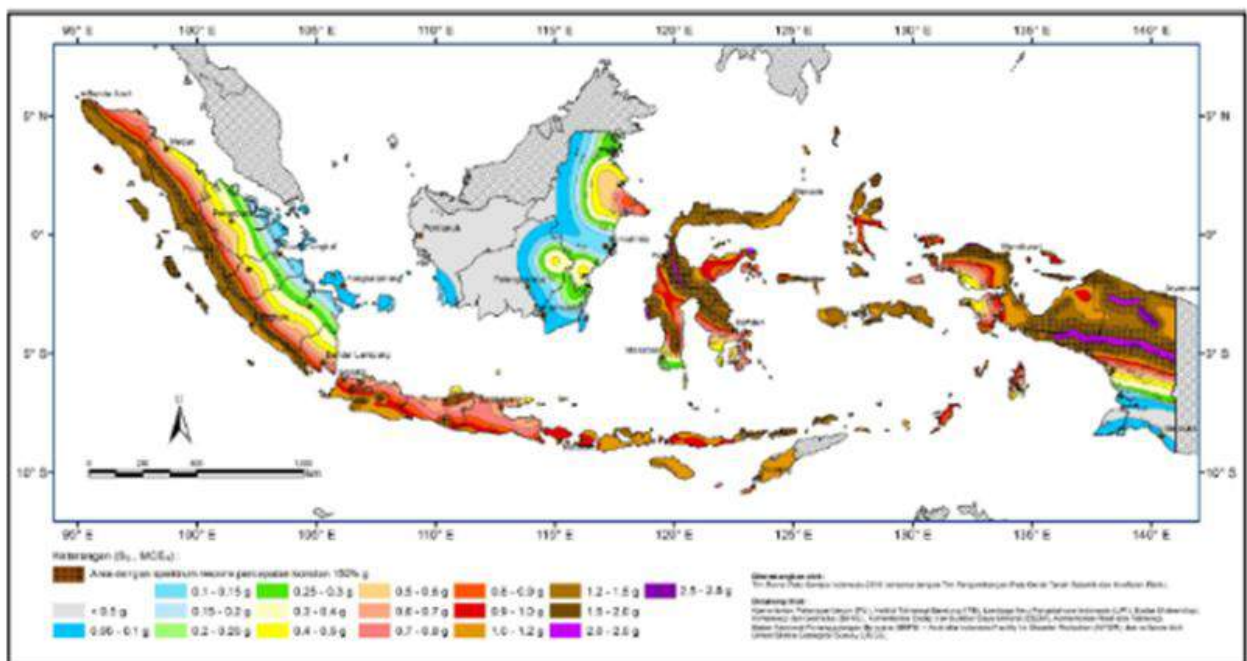
ABSTRAK

Makalah ini menjelaskan mengenai analisis kinerja struktur dengan dinding bata sebagai pengaku pada gedung beton bertulang berlantai banyak. Di kota Padang, sebagian besar gedung beton bertulang menggunakan dinding bata sebagai dinding non struktural. Semenjak dinding bata digunakan sebagai bagian dari non struktural, selama tahap desain, kontribusi dinding bata terhadap perilaku bangunan secara keseluruhan tidak diketahui. Pada kajian ini, kontribusi dinding bata terhadap kinerja struktur gedung beton bertulang diselidiki. Untuk tujuan ini, sebuah gedung beton bertulang sembilan lantai dipilih sebagai model analisis. Bangunan ini berlokasi dekat garis pantai kota Padang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keamanan gedung dilihat dari *displacement*, *drift*, dan *base shear*. Model dianalisis terhadap Analisis *Push Over* dengan menggunakan perangkat lunak yang disebut SStructural Earthquake Response Analysis 3D (STERA 3D). Hasil analisis menunjukkan bahwa dinding bata memiliki peningkatan yang signifikan terhadap kinerja struktur gedung beton bertulang. Dinding bata juga dapat mengurangi kerusakan pada komponen struktural.

Kata Kunci : Kinerja Struktur, Dinding Bata, STERA 3D, Gedung Beton Bertulang

1. PENDAHULUAN

Sumatera Barat merupakan provinsi yang dilalui jalur *ring of fire* karena berada diantara pertemuan dua lempeng benua besar, yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia serta patahan (sesar) Semangko. Di dekat pertemuan lempeng terdapat juga patahan Mentawai. Ketiganya merupakan daerah seismik aktif (Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun, 2017). Pada Gambar.1 menunjukkan bahwa Sumatera Barat termasuk kedalam zonasi gempa dengan percepatan 0,4 - 0,6 g. Padang sebagai ibukota Provinsi Sumatera Barat telah mengalami beberapa kali gempa besar pada periode Tahun 2004 sampai dengan Tahun 2009. Gempa besar yang mengguncang kota Padang terakhir kali terjadi pada pukul 17:16:10 tanggal 30 September 2009 dengan kekuatan 7,6 Skala Richter (SR) yang berpusat di kota Padang – Pariaman. Lokasi pusat gempa ditunjukkan sebagai lingkaran merah pada Gambar.2. Gempa 30 September 2009 tersebut menimbulkan banyak kerusakan dan korban jiwa.



Gambar.1. Peta Zonasi Gempa Indonesia

Bangunan gedung struktur rangka beton bertulang dengan dinding bata banyak dipakai di Indonesia termasuk di daerah yang tingkat resiko gempa tinggi. Dalam perencanaan struktur gedung beton bertulang terhadap beban gempa, pengaruh dinding bata dalam struktur rangka selalu diabaikan dengan menganggapnya hanya sebagai komponen tanpa penahan beban (non-struktur). Hal ini mengakibatkan ketidakakuratan dalam memprediksi kekuatan lateral dan kekakuan struktur. Berdasarkan investigasi pasca gempa Sumatera September 2007, di dapatkan bahwa gedung struktur beton bertulang dengan dinding bata dapat bertahan dari keruntuhan selama gempa [7]. Dan berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan oleh peneliti telah membuktikan bahwa dinding bata dalam struktur rangka berpengaruh terhadap kekuatan lateral, kekakuan dan daktilitas struktur secara keseluruhan (Maidiawati, Yasushi Sanada,2011).

Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan penelitian analisis kinerja struktur dengan dinding bata sebagai pengaku pada gedung beton bertulang berlantai banyak. Adanya dinding bata memberi kontribusi yang signifikan terhadap ketahanan struktur bangunan beton bertulang dalam menerima beban lateral seperti beban gempa, walaupun struktur bangunan tersebut tidak direncanakan dan didetilkkan untuk dapat menerima beban gempa (Maidiawati,dkk, 2011; Catherin.J,dkk, 2013; J.Tanjung,dkk,2018). Walaupun konstruksi dinding menyatu dengan struktur beton bertulang, akan tetapi dalam prosedur perencanaan yang umum digunakan saat ini, dinding umumnya diperlakukan sebagai komponen nonstruktural (Badan Standarisasi Nasional. 2000).

Pada makalah ini, akan dibahas sebuah model analisis untuk menganalisis kinerja struktur pada sebuah gedung berlantai banyak yang telah ada. Lokasi gedung ini kurang lebih 1,5 km dari garis pantai Kota Padang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keamanan gedung dilihat dari *displacement*, *drift*, dan *base shear*. Model dianalisis menggunakan perangkat lunak yang disebut *Structural Earthquake Response Analysis 3D* (STERA 3D). Gedung dianalisis dengan analisis *Pushover*. Analisis *Pushover* dilakukan dengan distribusi beban UBC.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Perencanaan struktur tahan gempa

Dalam merencanakan struktur bangunan beton yang harus diperhitungkan adalah kemampuan struktur bangunan tersebut untuk memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, seperti beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi adalah beban mati struktur sendiri dan beban hidup, sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa. Mengacu kepada kode perencanaan bangunan tahan gempa (Armstrong, 2006) perencanaan desain struktur bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan pada setiap elemen struktur dan timbulnya korban jiwa (Titono, 2010).

Berdasarkan IBC 2006, tujuan desain bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa, dengan kriteria sebagai berikut :

- a. Tidak terjadi kerusakan sama sekali pada gempa kecil.
- b. Ketika terjadi gempa sedang, diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektural tetapi bukan merupakan kerusakan struktural.
- c. Diperbolehkan terjadinya kerusakan struktural dan non struktural pada gempa kuat, namun kerusakan yang terjadi tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh.
- d. Sistem sprinkler untuk proteksi kebakaran dan tangga keluar tetap utuh.

Menurut SNI-1726-2012 dilakukannya perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung bertujuan untuk :

- a. Menghindari terjadinya korban jiwa manusia oleh runtuhnya gedung akibat gempa yang kuat.
- b. Membatasi kerusakan gedung akibat gempa ringan sampai sedang, sehingga masih dapat diperbaiki.
- c. Membatasi ketidaknyamanan penghunian bagi penghuni gedung ketika terjadi gempa ringan sampai sedang.
- d. Mempertahankan setiap saat layanan vital dari fungsi gedung.

Menurut *Applied Technology Council (ATC) – 40*, kriteria-kriteria struktur tahan gempa adalah sebagai berikut :

a. *Immediate Occupancy (IO)*

Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak mengalami kerusakan struktural dan tidak mengalami kerusakan non struktural. Sehingga dapat langsung dipakai.

b. *Life Safety (LS)*

Struktur gedung harus mampu menahan gempa sedang tanpa kerusakan struktur, walaupun ada kerusakan pada elemen non-struktur.

c. *Collapse Prevention (CP)*

Struktur harus mampu menahan gempa besar tanpa terjadi keruntuhan struktural walaupun struktur telah mengalami rusak berat, artinya kerusakan struktur boleh terjadi tetapi harus dihindari adanya korban jiwa manusia.

2.1 Pengaruh Dinding Bata terhadap Rangka Struktur

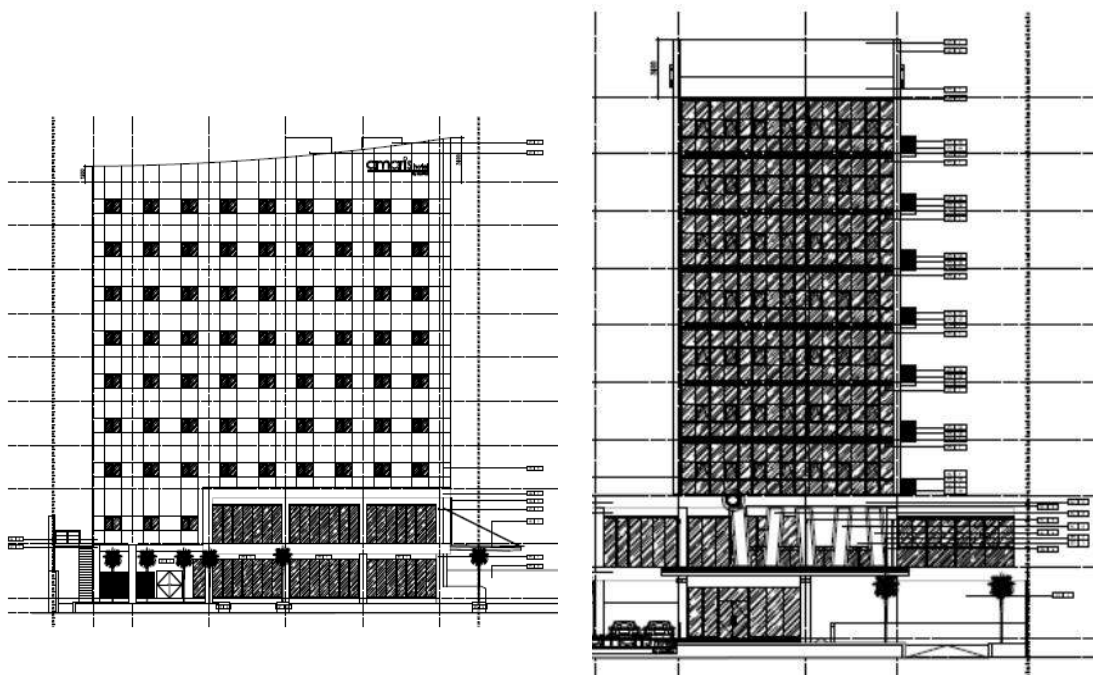
Dinding bata dalam struktur rangka umum digunakan pada bangunan beton bertulang di negara berkembang termasuk daerah rawan bencana gempa bumi seperti Indonesia. Dalam dua dekade terakhir ini gempa bumi yang terjadi di Indonesia telah mengakibatkan kerusakan beberapa gedung beton bertulang termasuk kerusakan pada dinding bata. Beberapa peneliti melakukan Investigasi kerusakan struktur gedung beton bertulang dan dinding bata pasca gempa bumi Sumatra September 2007 yang mengobservasi dua struktur bangunan beton bertulang identik, satu struktur bangunan memiliki jumlah dinding bata penuh yang lebih banyak dari satu bangunan lain, di kota Padang. Hasil observasi menunjukkan bahwa struktur bangunan yang menggunakan jumlah dinding bata lebih banyak dapat bertahan selama gempa bumi, dimana struktur bangunan hanya mengalami kerusakan sedang. Sementara struktur bangunan yang memiliki sedikit jumlah dinding bata mengalami keruntuhan total. Hasil ini mengidentifikasi bahwa dinding bata dalam struktur rangka ikut berperan memberikan tahanan gempa bangunan beton bertulang (Maidiawati dan Sanada, 2008). Peneliti sebelumnya juga telah melakukan pengujian beban statik siklik pada struktur rangka beton bertulang tanpa dan dengan dinding bata penuh, yang mendapatkan bahwa dinding bata penuh dapat meningkatkan secara signifikan kekuatan lateral struktur rangka beton bertulang, namun dapat mengurangi daktilitas struktur (Maidiawati, dkk., 2011; Tanjung J. dan Maidiawati, 2016). Hal ini membuktikan bahwa dinding bata penuh dalam struktur rangka berkontribusi dalam menahan beban lateral seperti beban gempa bumi. Akan tetapi dalam prosedur perencanaan gedung beton bertulang yang digunakan saat ini, dinding bata diperlakukan sebagai komponen nonstruktural (Badan Standarisasi Nasional, 2002, 2002.a; Imran dan Hendrik, 2009).

Untuk analisis kontribusi dinding bata dalam struktur rangka, sebuah metoda telah dikembangkan oleh Maidiawati dan Sanada (2016) yang dapat diaplikasikan untuk mengevaluasi kekuatan lateral bangunan beton bertulang dengan memperhitungkan pengaruh dinding bata penuh tetapi dengan mengabaikan pengaruh dinding bata dengan bukaan. Pada bangunan beton bertulang, struktur rangka tidak hanya diisi oleh dinding bata penuh tetapi juga dinding bata ada bukaan (lobang) yang berfungsi untuk jendela, pintu, ventilasi dan lain-lain. Dalam evaluasi kapasitas seismik gedung beton bertulang berdasarkan pada standar yang dikeluarkan oleh Building Research Institute, Japan (JBDA, 2005), pengaruh dinding bata ada bukaan diabaikan dalam perhitungan (Maidiawati dkk, 2012, 2013, 2016), dengan asumsi dinding tersebut tidak memberikan kontribusi yang signifikan pada struktur rangka

yang mengekangnya (Choi H, 2005). Namun sejumlah peneliti (Goutam M. and Sudhir K.J., 2008, Surendran S. and Kaushik H.B., 2012) menyatakan bahwa dinding bata dengan bukaan memberikan pengaruh terhadap kekuatan lateral struktur rangka akan tetapi besarnya tergantung pada rasio luas bukaan terhadap luas dinding. Dinding bata dengan 2 (dua) bukaan seluas 25% berkontribusi meningkatkan kekuatan lateral struktur rangka beton bertulang sebesar 47%. Sedangkan, dinding bata dengan satu bukaan di tengah seluas 40% berkontribusi meningkatkan kekuatan lateral struktur rangka beton bertulang sebesar 25%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin luas bukaan pada dinding maka semakin kecil kontribusi dinding terhadap kekuatan lateral struktur beton bertulang (Maidiawati, dkk, 2017).

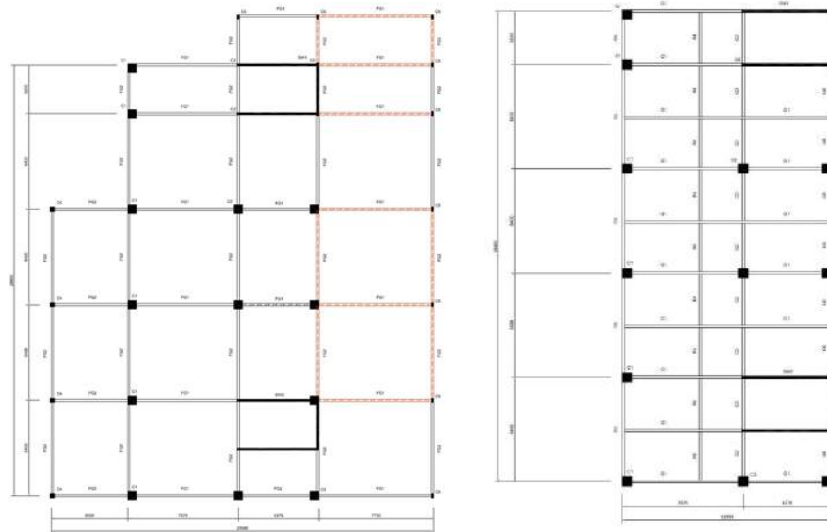
3. METODOLOGI

Pada penelitian ini, model bangunan adalah struktur gedung beton bertulang setinggi 9 (sembilan) lantai. Tinggi lantai 1 – 2 gedung ini adalah 4,2 meter sedangkan lantai 3 - 9 adalah 3,4 meter. Tulangan yang digunakan dengan mutu 400 Mpa, sedangkan mutu kuat tekan betonnya 25 Mpa. Gambar.3 merupakan tampak selatan dan tampak timur gedung.



Gambar.3. Tampak selatan dan timur gedung

Denah kolom dan balok gedung dapat dilihat pada Gambar.4. Karena terdapat 5 (lima) tipe tulangan utama pada kolom dan sedangkan 32 (tiga puluh dua) tipe balok, maka tulangan utama pada kolom dan balok harus dikonservasikan menjadi setipe, mengacu pada rasio tulangan utama agar bisa dimodelkan dengan perangkat lunak *Structural Earthquake Response Analysis 3D* (STERA 3D).



Gambar.4. Denah Lantai 1-2 dan denah lantai 3-9

3.1 Analisis Pushover

Analisis *Pushover* dilakukan untuk mengetahui kinerja struktur gedung beton bertulang. Analisis statik nonlinear (*Pushover Analysis*) dilakukan pada masing-masing model struktur, yaitu struktur rangka beton bertulang dengan dinding bata dan tanpa dinding bata. Analisis *Pushover* dilakukan dengan target perpindahan 1/50 dari tinggi bangunan berdasarkan syarat dan ketentuan simpangan antar lantai ijin SNI-1726-2012. Untuk tahap pertama Analisis *Pushover* dilakukan pada model struktur rangka beton bertulang tanpa dinding bata. Analisis dilakukan pada kedua arah sumbu X dan sumbu Y untuk mendapatkan kinerja struktur dari model struktur tersebut. Untuk tahap kedua dari Analisis *Pushover* adalah kapasitas geser dasar dari model tersebut akan dibandingkan dengan kapasitas gaya geser dasar rangka struktur beton bertulang dengan dinding bata untuk mendapatkan dan mengetahui pengaruh dinding bata terhadap struktur rangka beton bertulang.

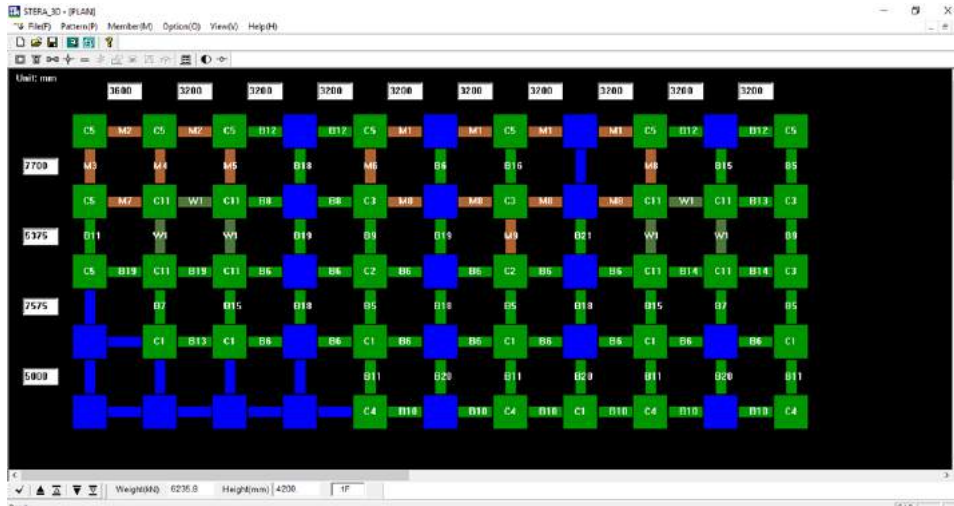
3.2 Pemodelan Struktur Bangunan

Struktur bangunan gedung dimodelkan berdasarkan deskripsi bangunan diatas. Pemodelan menggunakan perangkat lunak Structural Earthquake Response Analysis 3D (STERA 3D). Pemodelan dilakukan dengan 2 (dua) tipe, yaitu pemodelan rangka struktur beton bertulang dengan dinding bata dan tanpa dinding bata. Berikut adalah Gambar.5 Gedung yang dianalisis dengan model 3D menggunakan perangkat lunak STERA 3D. Adapun uraian analisis yang telah dilakukan oleh penulis dapat dilihat pada Tabel 1.

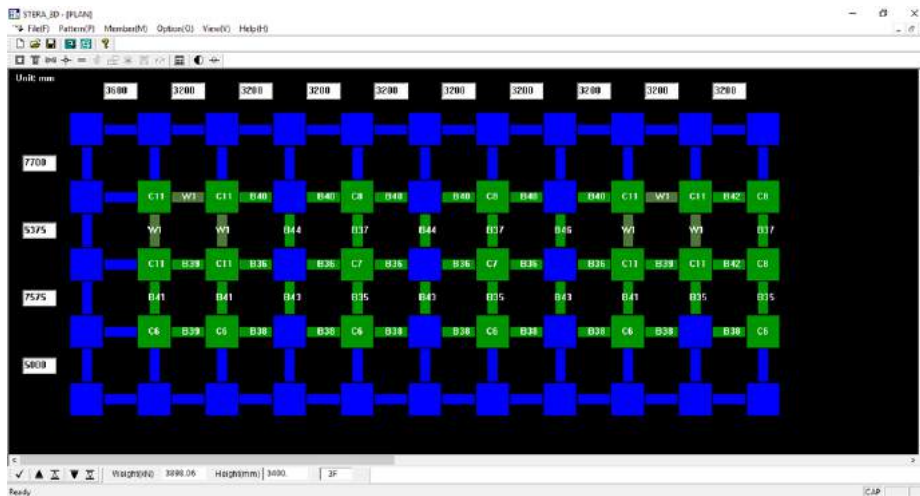
Tabel 1. Uraian Analisis

Uraian Analisis	Kode
Analisis Pushover tanpa dinding	
- PO arah X – 1/50	X - TD
- PO arah Y – 1/50	Y - TD
Analisis Pushover dengan dinding	

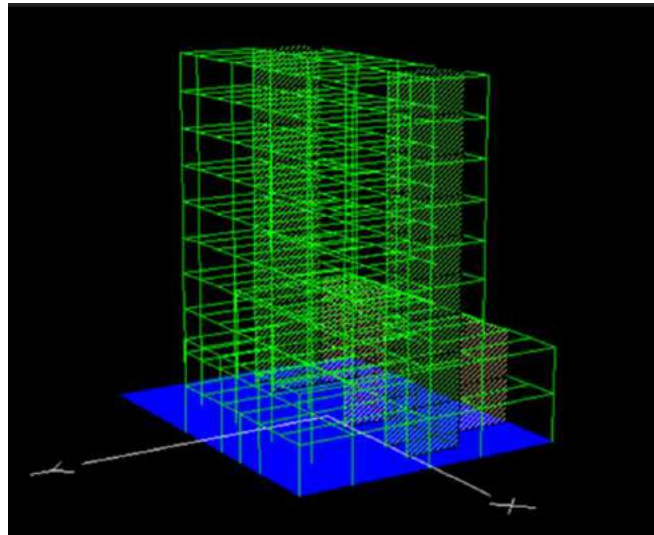
- PO arah X – 1/50	X - DD
- PO arah Y – 1/50	Y - DD



Gambar.5. Pemodelan Denah Lantai 1-2 menggunakan STERA 3D



Gambar.6. Pemodelan Denah Lantai 3-9 menggunakan STERA 3D



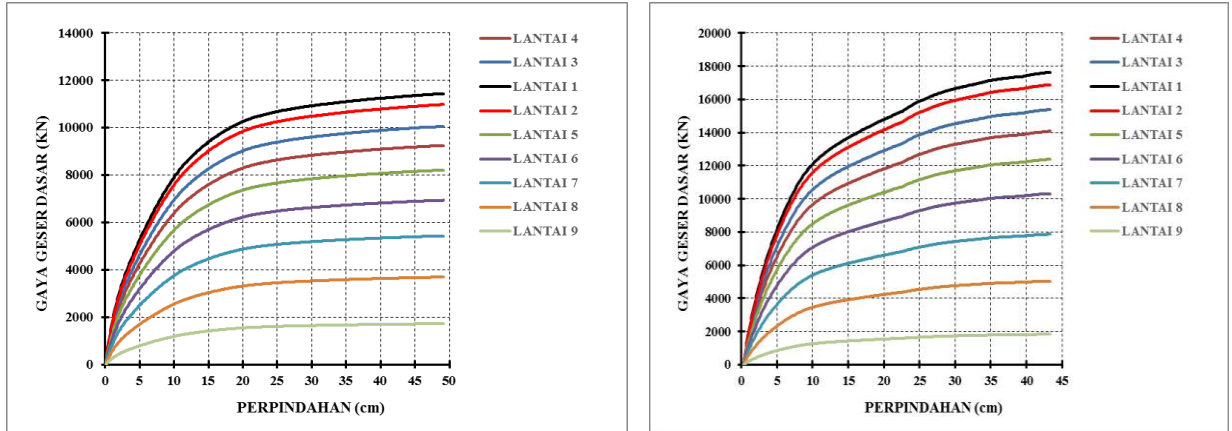
Gambar 7. Model analisis 3D

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis *Pushover* dilakukan dengan target perpindahan 1/50 dari tinggi bangunan berdasarkan syarat dan ketentuan simpangan antar lantai ijin SNI-1726-2012.

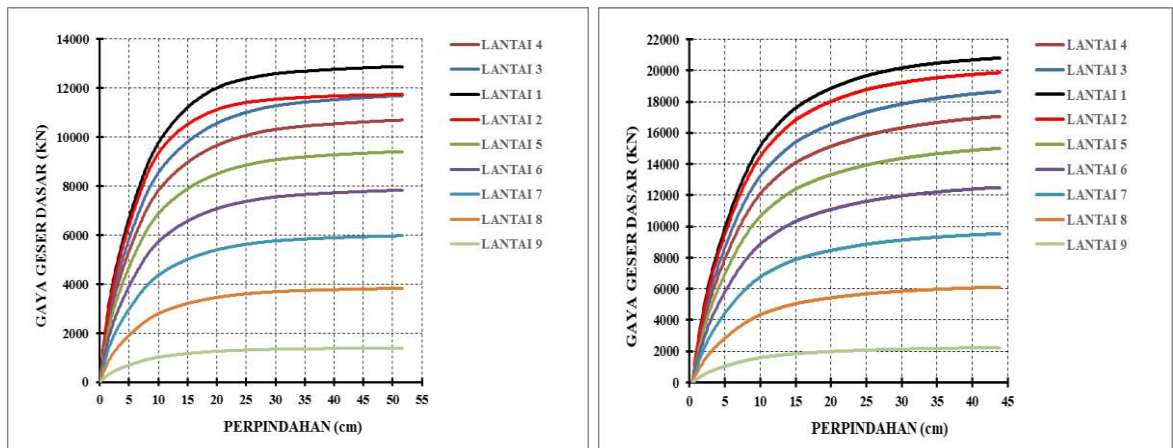
4.1 Pushover Analysis

a. Gaya Geser Vs Perpindahan Arah X dan Y Tanpa Dinding



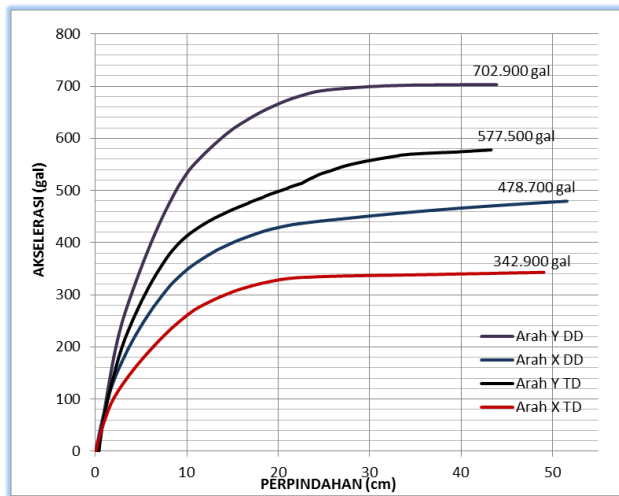
Dari kurva diatas didapatkan kapasitas gaya geser maksimum untuk struktur rangka beton bertulang tanpa dinding bata arah X sebesar 11440 KN dan arah Y sebesar 17620 KN pada masing-masing Lantai 1, gambar diatas menunjukkan kapasitas gaya geser arah Y lebih besar dari arah X.

b. Gaya Geser Vs Perpindahan Arah X dan Y Dengan Dinding



Dari kurva diatas didapatkan kapasitas gaya geser maksimum untuk struktur rangka beton bertulang dengan dinding bata arah X sebesar 12880 KN dan arah Y sebesar 20790 KN, pada masing-masing lantai 1. Gambar diatas menunjukkan kapasitas gaya geser arah Y lebih besar dari arah X relatif sama dengan kurva Gaya geser Vs perpindahan arah X dan Y struktur rangka beton bertulang tanpa dinding. Namun struktur rangka dengan dinding bata memiliki kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan struktur rangka tanpa dinding bata.

c. Akselerasi Vs Perpindahan



Dari kurva perbandingan akselerasi dapat dilihat bahwa dinding bata mampu meningkatkan akselerasi secara keseluruhan dari rangka struktur beton bertulang. Akselerasi meningkat dari 342,9 gals tanpa dinding bata menjadi 577,5 gals dengan dinding bata pada arah X. Sedangkan pada arah Y, akselerasi meningkat dari 478,7 gals tanpa dinding bata menjadi 702,9 gals dengan dinding bata.

d. Tingkat Kerusakan Struktur Bangunan

STERA 3D mengelompokkan tingkat kerusakan dengan dua tipe, yaitu :

- Daktilitas diantara satu sampai lima ($1 < U < 5$) adalah berwarna kuning, dimana pada kondisi tersebut komponen struktur didefinisikan mengalami kerusakan ringan/sedang.
- Daktilitas lebih dari lima ($U > 5$) adalah berwarna merah, dimana pada kondisi tersebut komponen struktur didefinisikan mengalami kerusakan berat.

Analisa Push Over

- Arah X Tanpa Dinding

KOLOM					BALOK				
AWAL	$1 < U < 5$	%	$U < 5$	%	AWAL	$1 < U < 5$	%	$U < 5$	%
207	18	8,6	-		441	61	13,8	106	24

- Arah Y Tanpa Dinding

KOLOM					BALOK				
AWAL	$1 < U < 5$	%	$U < 5$	%	AWAL	$1 < U < 5$	%	$U < 5$	%
207	-	-	-	-	441	149	34	113	25,6

- Arah X Dengan Dinding

KOLOM					BALOK				
AWAL	1 < U < 5	%	U < 5	%	AWAL	1 < U < 5	%	U < 5	%
207	-	-	-	-	441	294	66,6	24	5,4

- Arah Y Dengan Dinding

KOLOM					BALOK				
AWAL	1 < U < 5	%	U < 5	%	AWAL	1 < U < 5	%	U < 5	%
207	-	-	-	-	441	348	79	11	2,4

Seperti yang diperlihatkan pada tabel diatas, hal ini terjadi dikarenakan kontribusi dinding bata yang dapat mempengaruhi struktur rangka beton bertulang dengan signifikan dalam menerima beban gempa dan dengan kata lain dapat dikatakan bahwa, kapasitas lateral dari model struktur rangka beton bertulang dengan dinding bata mampu dan/atau dapat menerima beban lateral (beban gempa) .

5. KESIMPULAN

Studi analitis untuk menentukan kinerja struktur dengan dinding bata sebagai pengaku dalam rangka struktur beton bertulang terhadap kapasitas seismik akibat beban gempa telah dijelaskan dalam makalah ini. Gedung dianalisis menggunakan perangkat lunak yang disebut SStructural Earthquake Response Analysis 3D (STERA 3D). Gedung dianalisis dengan analisis Pushover. Analisis Pushover dilakukan dengan distribusi beban UBC. Gedung dianalisis dan dibandingkan dengan dua model dalam penelitian ini, yaitu gedung beton bertulang dengan dinding bata dan tanpa dinding bata. Berdasarkan hasil analisis bahwa dengan jelas menunjukkan dengan adanya dinding bata dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap ketahanan struktur bangunan beton bertulang dalam menerima beban lateral seperti beban gempa.

6. DAFTAR PUSTAKA

Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017, ISBN :978-602-5489-01-3.

https://id.wikipedia.org/wiki/Gempa_Bumi_Sumatera_Barat_September_2009.

Jafril Tanjung, Maidiawati, and Fajar Nugroho, *Seismic Performance Evaluation of a Multistory RC Building in Padang City*, Andalas University, Padang Institute of Technology (2018).

Jafril Tanjung, Maidiawati, and Aditya Alfajri, *Effect of Brick Masonry Infills To Seismic Capacity Of Indonesia Multi-Story RC Building*, 4th Int.Conf. on Science, Engineering and Environment (SEE), Nagoya, Japan, Nov.12-14, 2018, ISBN : 978-4-909106018C3051.

Catherin Jeselia M., Jayalekshmi B.R., Katta Venkataramana, *Modelling of Masonry Infills – A review*, American Journal of Engineering Research (AJER) 2013, e-ISSN : 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936, Volume -2 pp-59-63, www.ajer.org

Maidiawati and Yasushi Sanada, *R/C Frame – Infill Interaction Model and Its Application to Indonesian Building*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2017; 46:221-241, DOI: 10.1002/eqe.2787.

Maidiawati, Yasushi Sanada, Daisuke Konishi, and Jafril Tanjung, *Seismic Performance of Nonstructural Brick Walls Used in Indonesian R/C Buildings*, Journal of Asian Architecture and Building Engineering/May 2011/210.

(Sunaryati & Nidiasari) ANALISIS JARAK DILATASI BANGUNAN BER-LAYOUT L DAN PERHITUNGAN PENULANGAN ELEMEN BALOK DAN KOLOM DISEKITAR DILATASI

Jati Sunaryati¹, Suci Lestari²

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email:
jati@eng.unand.ac.id

²Mahasiswa Program Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas,
Padang. Email: sucilestari643@gmail.com

ABSTRACT

Indonesia is an area that is on the most active earthquake path in the world because it is on the Pacific Ring of Fire. Indonesia is tectonically active has a great chance of a potentially large earthquake occurring now or someday. The movement of tectonic plates results in shaking of the earth's surface so that buildings that stand above the earth's surface suffer physical damage and can even threaten human lives. Most of the material losses caused by the earthquake are damage to thousands of buildings, especially high-rise asymmetrical buildings with the potential for horizontal displacement in building structures. So to prevent horizontal displacement in the structure of the building must be dilated so as to reduce the irregularity of the building. Analysis of the L-layout building where the building is in an area with high earthquake risk, namely in the city of Padang, West Sumatra. The analysis aims to determine the behavior of the structure given by the dilatation so that it can be seen the large horizontal displacement of the building resulting in collisions between buildings, the effective dilatation distance used and the details of reinforcement of the beam and column elements surrounding the dilatation. The analysis is carried out on three structural models in which the first model is L-shaped whole structure while the second and third models are the separation of intact buildings, each of which is dilated with cantilever beams. To simplify the calculation of expected parameters, the analysis is assisted by a structural analysis program, Etabs version 2016. The earthquake data used refers to the Padang City Time History earthquake data. Details of reinforcement of beam and column elements are guided by SNI 2847-2013 concrete regulations.

Keywords: Asymmetrical Building, Dilation, Etabs 2016 Version, Horizontal Displacement, Reinforcement Beams and Columns

ABSTRAK

Indonesia merupakan daerah yang berada pada jalur gempa teraktif di dunia karena berada pada jalur cincin api pasifik. Secara tektonik aktif indonesia mempunyai peluang besar terjadi gempa berpotensi besar pada saat sekarang atau suatu hari nanti. Pergerakan lempeng tektonik mengakibatkan bergoyangnya permukaan bumi sehingga bangunan yang berdiri diatas permukaan bumi mengalami kerusakan fisik bahkan dapat mengancam jiwa manusia. Sebagian besar kerugian materi yang disebabkan gempa bumi adalah kerusakan terhadap ribuan bangunan terutama bangunan asimetris bertingkat tinggi yang

berpotensi besar terjadi perpindahan horizontal pada struktur bangunan. Maka untuk mencegah terjadinya perpindahan horizontal pada struktur bangunan harus diberi dilatasi supaya dapat mengurangi ketidakberaturan bangunan. Analisis terhadap bangunan ber - *layout* L dimana bangunan berada pada daerah yang beresiko gempa tinggi yaitu di Kota Padang, Sumatera Barat. Analisis bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur yang diberi dilatasi sehingga dapat diketahui besar perpindahan horizontal bangunan yang mengakibatkan benturan antar bangunan, jarak dilatasi yang efektif digunakan serta detail penulangan elemen balok dan kolom disekitar dilatasi. Analisis dikerjakan terhadap tiga model struktur dimana model pertama merupakan Struktur utuh ber - *layout* L sedangkan model dua dan tiga merupakan pemisahan dari bangunan utuh yang masing-masingnya diberi dilatasi dengan balok kantilever. Untuk mempermudah dalam perhitungan parameter yang diharapkan, analisis dibantu dengan program analisa struktur yaitu Etabs versi 2016. Data gempa yang digunakan mengacu pada data gempa *Time History* kota Padang. Detail penulangan elemen balok dan kolom berpedoman pada peraturan beton SNI 2847-2013.

Kata Kunci : *Bangunan Asimetris, Dilatasi, Etabs Versi 2016, Perpindahan Horizontal, Penulangan Balok dan Kolom*

7. PENDAHULUAN

Gempa bumi diartikan sebagai suatu getaran yang berasal dari adanya pergerakan lempeng tektonik di bawah permukaan bumi. Dan juga merupakan bencana alam yang paling sering terjadi di beberapa tahun terakhir ini terutama di sepanjang jalur tektonik aktif. Kenaikan total aktivitas gempa yang drastis telah terjadi di Indonesia yaitu 4.648 peristiwa gempa tektonik selama tahun 2018 (Triyono,2018). Dari kutipan tersebut dapat disimpulkan bahwa Indonesia termasuk kawasan seismik yang beresiko tinggi saat ini.

Sebagian besar Wilayah Indonesia berada pada patahan aktif atau sesar. Patahan besar Sumatera yang memisahkan Aceh sampai Lampung, sesar aktif Jawa, Lembang, Jogjakarta, di utara Bali, Sumbawa, NTT, NTB, Lombok, di Sulawesi, Sorong, Memberamo, disamping Kalimantan adalah sejumlah patahan aktif tersebut (Daryono, 2018).

Sumatera Barat merupakan daerah yang dilewati jalur patahan Sumatera sangat berpotensi terjadinya gempa. Akibat Sumatera Barat dilalui oleh tiga asal resiko gempa bumi yaitu zona sesar Sumatera (Sumatera Fault Zone), sesar mentawai dan zona subduksi pertemuan antara lempeng tektonik India-Australia dengan lempeng Eurasia maka hal tersebut yang menyebabkan terjadinya gempa (Mentawai Fault Zone) (Sean, 2018).

Salah satu dari sekian dampak dari bencana gempa bumi adalah kerusakan terhadap bangunan. Gempa yang terjadi di permukaan bumi akan menggetarkan bangunan yang berdiri di atasnya. Getaran yang diakibatkan oleh beban gempa sangat berpengaruh terhadap Perilaku Struktur bangunan contohnya pada bangunan asimetris ber-*layout* L. Bangunan asimetris dimana kondisi titik berat bangunan tidak berada ditengah bangunan mendatangkan dampak Puntir yang begitu besar ketika bangunan mendapat beban horizontal seperti beban gempa. Semakin lama beban gempa mempengaruhi

bangunan maka semakin besar puntir dan deformasi sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada bangunan.

Cara yang bisa dikerjakan untuk mengurangi dampak puntir yaitu memberi pemisahan elemen struktur atau yang disebut juga dengan dilatasi dengan balok kantilever pada struktur asimetris tersebut. Setelah dilakukan pemberian dilatasi maka dapat dianalisis bangunan mengalami benturan atau tidak dan juga dapat mengetahui penulangan yang efektif digunakan pada balok kantilever tersebut.

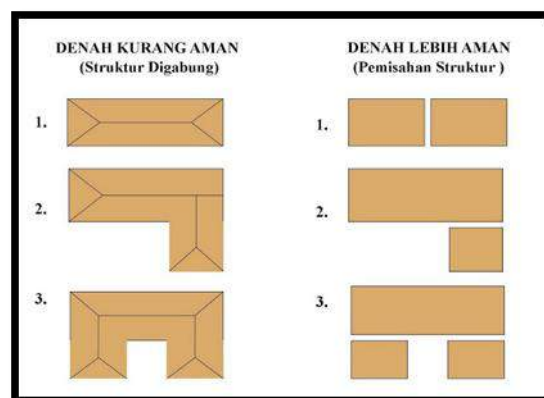
8. STUDI PUSTAKA

8.1 Bangunan Asimetris Atau Tidak Beraturan

Peraturan SNI 1726-2012 menyatakan bahwa klasifikasi bangunan tidak beraturan dilihat pada perpindahan horizontal dan vertikal dari struktur bangunan. Ketidakberaturan vertikal dan horizontal bisadiamati di tabel 10 dan tabel 11 halaman 45 dan 46 . Pada peraturan SNI 1726-2012 dan pada peraturan SNI 1726-2002 juga memuat ketentuan-ketentuan bangunan asimetris. Pengaruh beban gempa rencana untuk struktur bangunan beraturan diamati jadi akibat beban gempa statik ekuivalen, sedangkan pengaruh beban gempa rencana untuk struktur bangunan tidak beraturan diamati jadi akibat pembebanan gempa dinamik.

8.2 Pemisahan Struktur

pemisahan struktur atau yang disebut juga dengan Dilatasi adalah garis atau sambungan pada sebuah bangunan yang memiliki perbedaan sistem struktur (pemisahan struktur). Dilatasi biasanya digunakan pada bangunan yang mempunyai layout yang rumit seperti H, T, X, L, U dan lainnya. Tujuan penggunaan dilatasi pada suatu bangunan adalah untuk mangantisipasi benturan yang menyebabkan kerusakan parah pada bangunan saat terjadi gaya vertikal maupun horizotal seperti gempa bumi. Pada **Gambar 2.1** dapat dilihat cara menentukan bentuk pemisahan struktur secara umum pada bangunan asimetris.



Gambar 1. Dilatasi pada Bangunan Asimetris

Sumber: <https://www.arsitur.com/2018/09/pengertian-dilatasi-fungsi-dan-contoh.html>

Dilatasi terbagi menjadi beberapa jenis yaitu dilatasi menggunakan balok kantilever, dilatasi menggunakan 2 kolom, dilatasi menggunakan balok gerber, dilatasi menggunakan konsol dan sebagainya.

8.3 Pembebanan

8.3.1 Beban Gravitasi

1. Beban Mati

Peraturan pembebanan SNI 1727-2013 pasal 3.1.1 Menyatakan bahwa pengertian beban mati merupakan berat semua beban konstruksi bangunan yang terpasang atau lebih jelasnya berat sendiri dari struktur (balok, kolom, plat lantai dan sebagainya).

2. Beban Hidup

Peraturan pembebanan SNI 1727-2013 menyatakan bahwa pengertian beban hidup merupakan beban yang dipengaruhi oleh pemakai bangunan atau beban mati lain yang berpindah tempat dan tidak terhitung beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati.

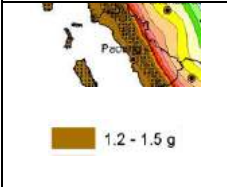
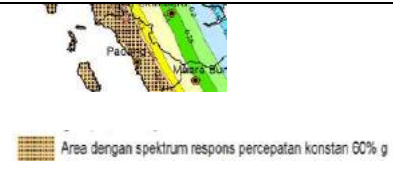
8.3.2 Beban Gempa

2.3.2.1. Beban Gempa Respon Spektrum

1. Definisi Kelas Situs

Peraturan gempa SNI 1726-2012 menjelaskan bahwa harus ditetapkan tipe kelas situs
Peraturan gempa SNI 1726-2012 menjelaskan pengertian parameter S_s adalah parameter respon pektoral percepatan gempa MCE terpetakan untuk period pendek sedangkan S_1 merupakan parameter respon spektral percepatan gempa MCE terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Tabel 1. Daerah kota padang pada peta gempa

S_s	S_1
	

Parameter nilai S_s dan S_1 yang diperoleh dari peta gempa diatas adalah masing-masingnya di asumsikan 1,394 dan 0,6.

3. Koefisien Situs

Bersumber pada peraturan gempa SNI 1726-2012 Koefisien situs F_a merupakan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek sedangkan koefisien situs F_v merupakan faktor amplifikasi tergantung percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik yang masing-masingnya merupakan faktor amplifikasi untuk penentuan respons spektral percepatan gempa maksimum yang diestimasi resiko-tertarget (MCE_R) di permukaan tanah.

Koefisien situs F_a dan F_v sesuai tabel 4 dan 5, sehingga dari tabel didapatkan nilai sesuai rentang yaitu F_a sebesar 0,9 dan F_v sebesar 2,4.

Dari nilai F_a dan F_v didapatkan nilai parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) sesuai terhadap rumus berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_S$$

$$= 1,255$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

$$= 1,44$$

4. Parameter Percepatan Spektral Desain

Bersumber pada peraturan gempa SNI 1726-2012 parameter percepatan spektral desain terdiri dari parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek S_{DS} dan periode 1 detik S_{D1} . Untuk nilai dari S_{DS} dan S_{D1} di tentukan sesuai rumus berikut:

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS}$$

$$= 0,836$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1}$$

$$= 0,96$$

5. Spektrum Respon Desain

Peraturan gempa SNI 1726-2012 menyatakan bahwa bila spektrum respons desain dibutuhkan dan prosedur gerak tanah dari spesifik siklus tidak dipakai, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan berdasarkan Gambar 2.6 dan sesuai peraturan berikut:

Untuk $T < T_0$ maka respons percepatan desain, S_a

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0})$$

Untuk $T \geq T_0$ dan $\leq T_s$

$$S_a = S_{DS}$$

$T > T_s$

$$S_a = S_{D1} / T$$

Keterangan:

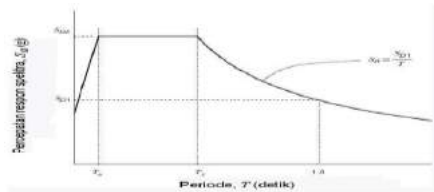
S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

T_0 = $0,2 \times (S_{D1}/S_{DS})$

$$T_s = S_{DI}/S_{DS}$$



Gambar 2. Spektrum Respons Desain

Sumber: SNI 1726-2012 tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung

2.3.2.2. Beban Gempa *Time History*

Untuk fungsi *Time History* merupakan fungsi waktu terhadap beban pada suatu gempa yang direkam oleh mesin pencatat. Daerah Indonesia jarang memiliki fungsi beban gempa *Time History* untuk setiap daerah dikarenakan setiap terjadi gempa seringkali mesin pencatat dalam kondisi tidak cukup. Contoh dari fungsi beban gempa *Time History* yaitu beban gempa El-Centro yang termasuk jenis gempa yang kuat.

8.4 Simpangan Antar Lantai

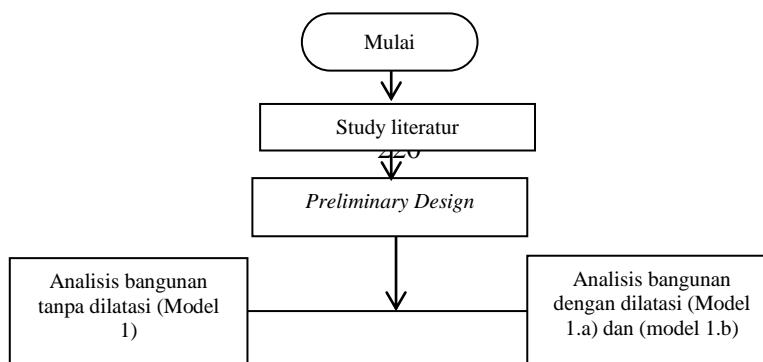
Peraturan gempa SNI 1726-2012 menjelaskan bahwa simpangan desain (Δ) harus kecil dari simpangan izin (Δ_a) sesuai yang terdapat di tabel 16 halaman 66 SNI 1726-2012.

8.5 Pounding

Bangunan yang bersebelahan akan berpotensi besar mengalami benturan dimana benturan tersebut disebut dengan *pounding*. *Pounding* akan berakibat pada kerusakan struktur bangunan tersebut lalu tidak kuat lagi akan menerima beban yang bekerja di atasnya.

9. METODOLOGI PENELITIAN

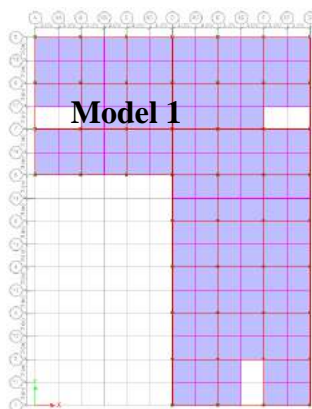
Agar hasil penelitian dapat dipertanggungjawabkan dan memuaskan maka penulisan penelitian harus sesuai dengan sistematika penulisan. Pada bagan alir dibawah dapat menggambarkan lebih jelas alur penelitian.

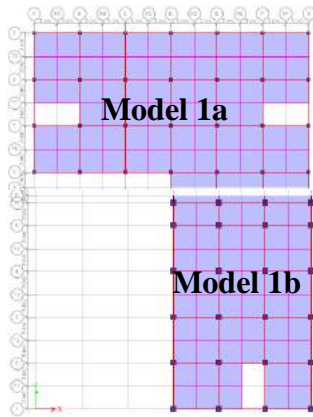


10. HASIL DAN PEMBAHASAN

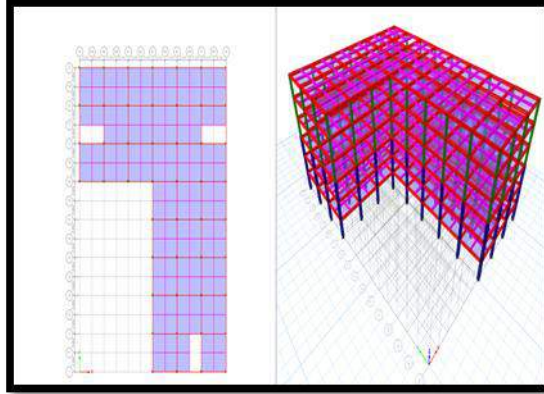
10.1 Permodelan Struktur

Permodelan struktur dimodelkan dengan memanfaatkan program rekayasa struktur yaitu Etabs versi 2016. Permodelan terdiri dari 3 model struktur dimana untuk struktur model 1 merupakan permodelan utuh bangunan ber-*Layout* L dan model 1a dan 1b merupakan permodelan bangunan ber-*Layout* L secara terpisah. Untuk *Layout* ketiga model dapat dilihat pada Gambar 3.



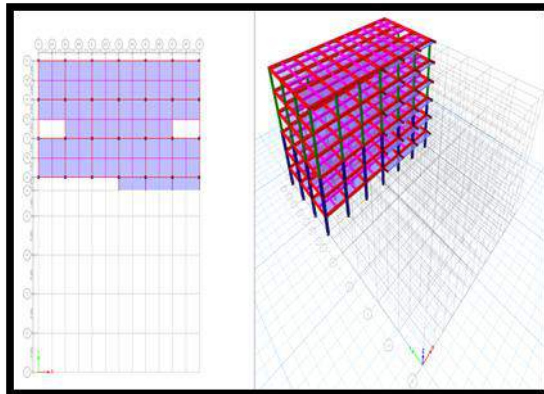


Gambar 3. Layout Model 1, Model 1a, dan Model 1b



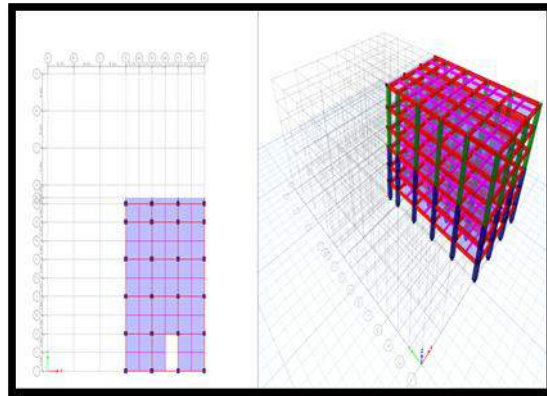
Gambar 4. Pemodelan struktur untuk bangunan ber-layout L

(Model 1)



Gambar 5. Pemodelan struktur setelah dipisah dengan balok kantilever

(Model 1a)



Gambar 6. Pemodelan struktur setelah dipisah dengan balok kantilever

(Model 1b)

1. Karakteristik bangunan sebagai berikut:

2. Tinggi Lantai 1 - 6 : 4 m

3. Dimensi Elemen Struktur

4. Dimensi Balok

Balok Utama : 400 mm x 600 mm

Balok Anak : 250 mm x 400 mm

Balok Kantilever : 250 mm x 400 mm

5. Dimensi Kolom

Kolom lantai 1 – 3 : 800 mm x 800mm

Kolom lantai 4 – 6 : 700 mm x 700mm

6. Dimensi Pelat Lantai

Tebal pelat : 120 mm

7. Spesifikasi Material

Mutu baja

Tulangan Longitudinal, F_y : 390 Mpa

Tulangan Tranversal, F_y : 390 Mpa

8. Mutu Beton

Kolom	: 30 Mpa
Balok	: 30 Mpa
Pelat	: 30 Mpa

10.2 Pembahasan**10.2.1 Pembebanan**

1. Beban Gravitasi

a) Beban Mati

Nilai beban mati tergantung pada berat jenis dari material yang dipakai. Berikut berat jenis material yang dipakai di perhitungan beban mati.

Tabel 2. Beban mati yang bekerja pada struktur bangunan

Type Beban	Besar Beban
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Dinding dari pasangan ½ bata	250 kg/m ²
Dinding dari partisi	20 kg/m ²
Plafond (termasuk rangka plafond dan penggantung)	20 kg/m ²
Instalasi MEP (Mekanikal, Elektikal, dan Plumbing)	25 kg/m ²
Adukam dari semen (spesi), per cm tebal	21 kg/m ²
<i>Water proofing</i> (lapisan aspal)	14 kg/m ²
Penutup lantai (keramik), per cm tebal	24 kg/m ²

Detail perhitungan beban mati dapat dilihat pada **Lampiran II**.

b) Beban Hidup

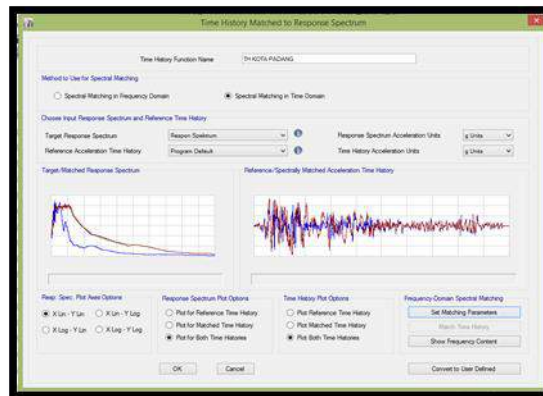
Beban hidup pada Tugas Akhir ini adalah digunakan beban hidup untuk bangunan perkantoran yaitu 250 kg/m^2 yang diaplikasikan untuk setiap lantai bangunan dan untuk lantai atap atau lantai dak beton beban hidup yang digunakan yaitu senilai 96 kg / m^2 . Perhitungan beban hidup berpedoman pada SNI 1727-2013 dan PPURG 1987.

Detail perhitungan beban hidup dapat dilihat pada **Lampiran II**.

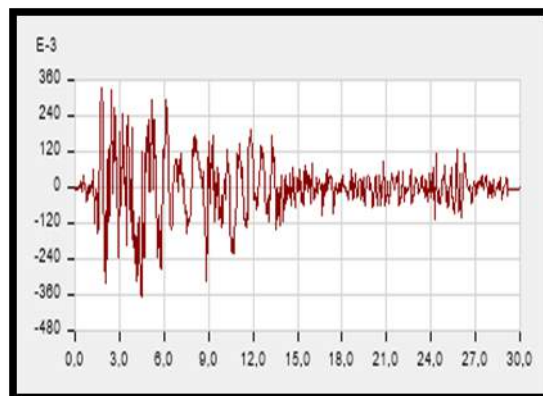
2. Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan adalah beban pendekatan dari fungsi beban gempa respon spektrum Kota Padang dengan klasifikasi situs tanah SE (Tanah Lunak) terhadap fungsi beban gempa *Time History*. Pendekatan ini dilakukan dengan software ETABS Versi 2016.

Hasil pendekatan dari beban gempa sebagai berikut:



Gambar 4.1 Pendekatan Respons Spektrum terhadap Time History



Gambar 4.2 Time History untuk Kota Padang Kelas SE (Tanah Lunak)

3. Kombinasi pembebanan

Berikut adalah kombinasi pembebanan yang diaplikasikan pada struktur tahan gempa, sesuai dengan SNI 1726-2012 pasal 4.2.2:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0E + L$
6. $0,9D + 1,0W$
7. $0,9D + 1,0E$

10.2.2 Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik bisa diamati di peraturan gempa SNI 1726-2012 berikut:

Tabel 3. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D

$0,50 \leq S_{DS}$	D	D
--------------------	---	---

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek S_{DS} diketahui 0,8364 sehingga berdasarkan tabel diperoleh bahwa bangunan ini berada pada Kategori Resiko IV yaitu KDS D.

10.2.3 Periode Struktur

Dari hasil perhitungan dari program *Etabs* versi 2016 diperoleh periode alami struktur sebagai berikut:

Tabel 4. Periode Struktur

Mode	Periode (sec)		
	MODEL 1	MODEL 2	MODEL 3
1	1,032	1,074	1,011
2	1,018	1,032	0,932
3	0,957	0,949	0,849
4	0,313	0,325	0,304
5	0,309	0,315	0,285
6	0,292	0,292	0,262
7	0,158	0,164	0,152
8	0,157	0,161	0,145
9	0,148	0,148	0,134
10	0,123	0,1	0,092
11	0,113	0,098	0,089
12	0,096	0,09	0,081

Peraturan gempa SNI 1726-2012 menyatakan bahwa batasan perioda fundamental struktur yang dianalisis dapat dirumuskan sebagai berikut:

a) Perioda Minimum: $T_{min} = C_t \times H_n^x$

$$T_a = 0,0466 \times 24^{0,9}$$

$$T_a = 0,813909$$

Batasan $T < C_u \cdot T_a$

b) T hanya berlaku dari analisis komputer

c) Perioda Maksimum

$$T_{max} = C_u \cdot T_a = 1,4 \times 0,813909$$

$$= 1,139473$$

Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen:

$$\begin{aligned} T_a &= 0,1 \times N \\ &= 0,1 \times 6 \\ &= 0,6 \end{aligned}$$

Syarat:

Jika $T_c > C_u \cdot T_a$ maka gunakan $T = C_u \cdot T_a$

Jika $T_a < T_c < T_u \cdot C_u$ maka gunakan $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$ maka gunakan $T = T_a$

Tabel 5. Batasan Periode Struktur

Bangunan	T_{Etabs}	C_u	T_a	$C_u \cdot T_a$	Keterangan
1	1,032	1,4	0,813909	1,139473	OKE
2	1,074	1,4	0,813909	1,139473	OKE
3	1,011	1,4	0,813909	1,139473	OKE

10.2.4 Partisipasi Massa

Dari analisis yang dilakukan partisipasi massa yang didapatkan dari ketiga model bangunan sudah memenuhi syarat sesuai SNI 1726-2012 yaitu besar dari 90 % dimana partisipasi massa terkombinasi harus besar dari partisipasi massa aktualnya.

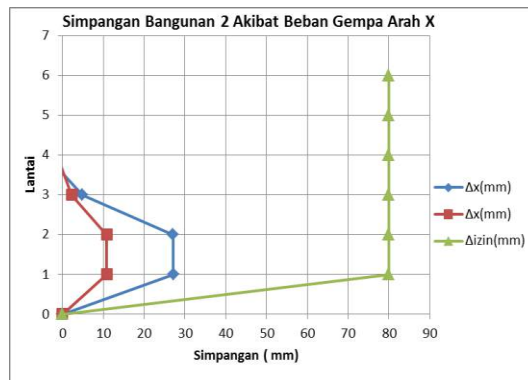
Tabel 6. Partisipasi Massa Struktur

Mode	Sum UX	Sum UY	Sum UX	Sum UY	Sum UX	Sum UY
	Model 1		Model 2		Model 3	
1	0,7567	0,001	0,0001	0,7631	0,76	0
2	0,7583	0,7626	0,7668	0,7632	0,76	0,7677
3	0,767	0,7683	0,7703	0,7666	0,763	0,7678
4	0,886	0,7683	0,7703	0,8859	0,8837	0,7678
5	0,8861	0,8872	0,8881	0,886	0,8837	0,8893
6	0,8867	0,8875	0,8888	0,8866	0,8844	0,8893
7	0,9417	0,8875	0,8888	0,9414	0,9403	0,8893
8	0,9417	0,9421	0,9423	0,9414	0,9403	0,9429
9	0,9417	0,9421	0,9427	0,9417	0,9408	0,9429
10	0,9417	0,9421	0,9427	0,9726	0,972	0,9429
11	0,9417	0,9421	0,9731	0,9726	0,972	0,9734
12	0,9724	0,9422	0,9733	0,9727	0,9723	0,9734

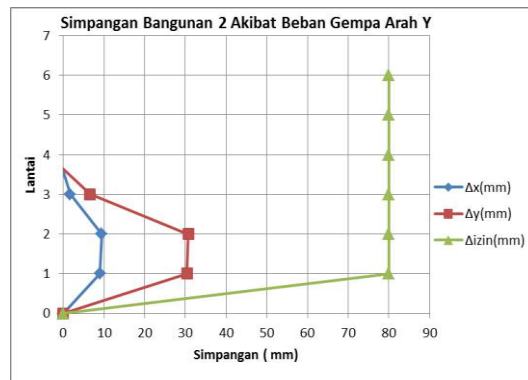
BESAR DARI 90% OK!!

10.2.5 Simpangan Antar Lantai

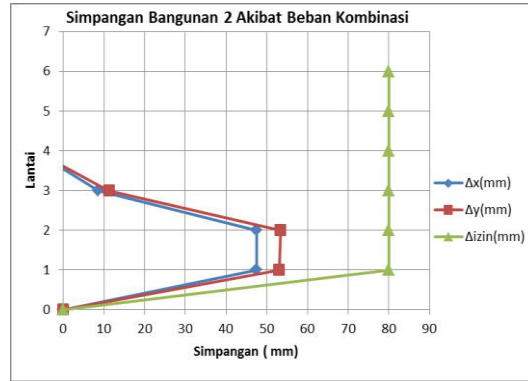
Peraturan gempa SNI 1726-2012 menyatakan bahwa Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) ditentukan berdasarkan penentuan simpangan antar lantai, parameter respon ragam, atau harus kecil dari simpangan izin (Δ_a). Simpangan lantai izin dapat dilihat pada Tabel 16 halaman 66 pada peraturan tentang gempa SNI 1726-2012.



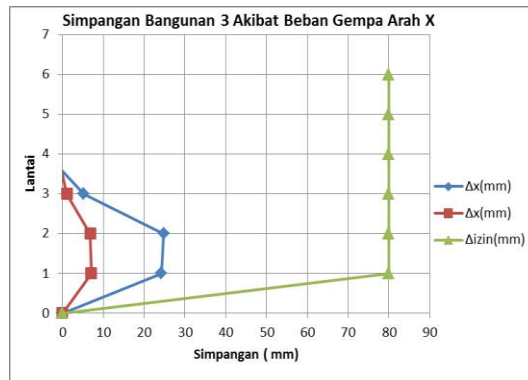
Gambar 7. Simpangan antar lantai bangunan 1a akibat beban gempa arah X



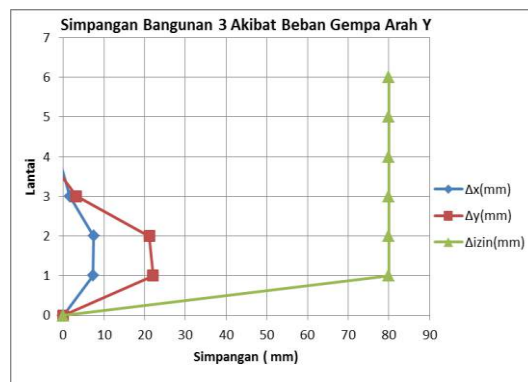
Gambar 8. Simpangan antar lantai bangunan 1a akibat beban gempa arah Y



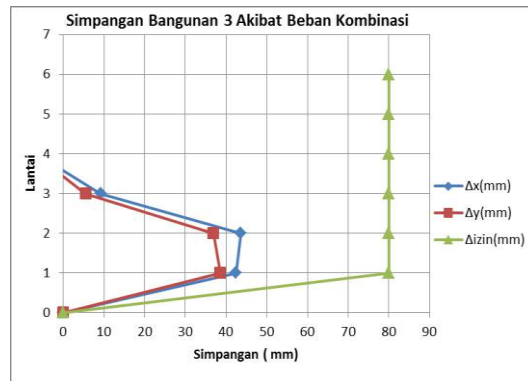
Gambar 9. Simpangan antar lantai bangunan 1a akibat beban Kombinasi



Gambar 10. Simpangan antar lantai bangunan 1b akibat beban gempa arah X



Gambar 11. Simpangan antar lantai bangunan 1b akibat beban gempa arah Y

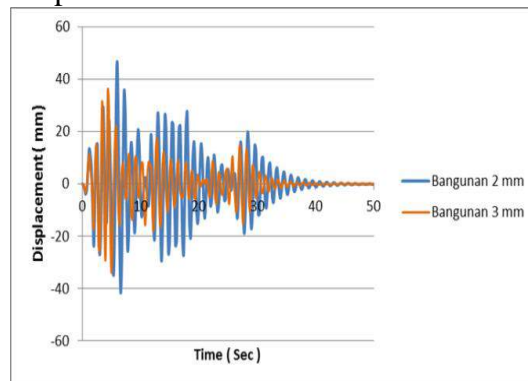


Gambar 12. Simpangan antar lantai bangunan 1b akibat beban kombinasi

Berdasarkan masing-masing grafik simpangan di atas dapat disimpulkan bahwa ketiga bangunan memperoleh simpangan kecil dari simpangan izin sehingga bangunan bisa dikatakan telah memenuhi syarat. Untuk detail perhitungan simpangan masing-masing bangunan dapat dilihat pada **Lampiran III**.

10.2.6 Jarak Pemisahan struktur

Dari analisis didapatkan hasil bahwa antara kedua bangunan pada detik ke- 6,80 mengalami perpindahan bangunan 1a sebesar 28,90 mm dan bangunan 1b sebesar 5,89 mm. perpindahan terbesar terletak pada lantai 6 atau pada titik kritis bangunan 1a dan bangunan 1b dapat dilihat pada Gambar 4.16.



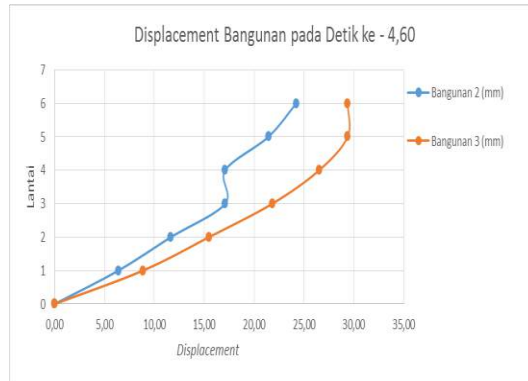
Gambar 13. Perpindahan Bangunan 1a dan Bangunan 1b

Dari analisa perpindahan maksimum dan minimum kedua bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

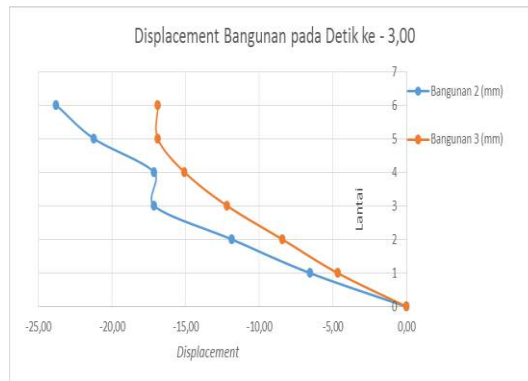
Tabel 7. Rekap Displacement bangunan 1a dan bangunan 1b

Lantai	Displacement Bangunan 2 (mm)			Displacement Bangunan 3 (mm)		
	4,60	3,00	6,80	4,60	3,00	6,80
6	24,22	-23,80	-28,90	29,36	-16,89	5,89
5	21,43	-21,22	-26,09	29,36	-16,89	5,89
4	17,09	-17,14	-21,55	26,51	-15,07	5,31
3	17,09	-17,14	-21,55	21,81	-12,17	4,35
2	11,66	-11,85	-15,42	15,47	-8,41	3,05
1	6,38	-6,54	-8,89	8,85	-4,66	1,72
Base	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

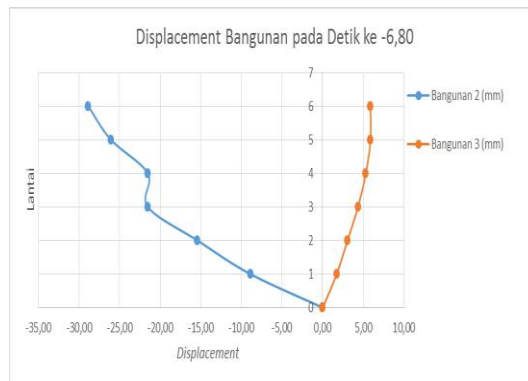
Jika Tabel 4.8 dikonversikan ke format grafik, maka didapatkan grafik seperti pada Tabel 4.14,4.15, dan 4.16 berikut.



Gambar 14. Perpindahan Bangunan 1a dan Bangunan 1b pada detik ke-4,60



Gambar 15. Perpindahan Bangunan 1a dan Bangunan 1b pada detik ke-3,00



Gambar 16. Perpindahan Bangunan 1a dan Bangunan 1b pada detik ke-6,80**10.3 Desain Elemen Struktur Disekitar Dilatasi**

Untuk desain tulangan balok dibutuhkan gaya dalam maksimum yang diperoleh dari analisis program Etabs versi 2016.

Tabel 8. Rekap gaya dalam balok bangunan 1

	MOMEN (kN-m)	GESER (kN)
MAX	206,304	195,456
MIN	-311578	-195,429

Tabel 9. Rekap gaya dalam balok kantilever bangunan 1a

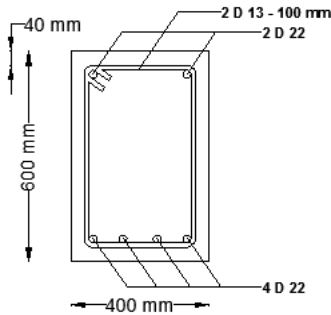
	MOMEN (kN-m)	GESER (kN)
MAX	5,989	39,828
MIN	-42,524	-5,160

Tabel 10. Rekap gaya dalam balok kantilever bangunan 1b

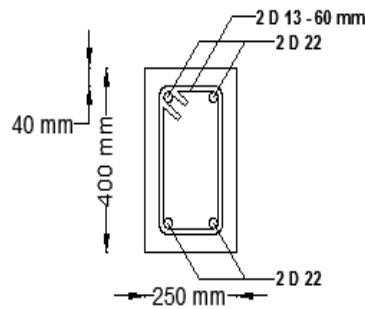
	MOMEN (kN-m)	GESER (kN)
MAX	1,649	3,843
MIN	-5,076	-12,82

Berdasarkan SNI 2847-2013 dari perhitungan tulangan didapatkan tulangan lentur pada balok bangunan 1 sebesar 4D22 (Tarik), 2D22 (Tekan) dan tulangan geser sebesar 2D13-100 mm. Sedangkan tulangan lentur balok kantilever bangunan 1a dan 3 sebesar

2D22 (Tarik), 2D22 (Tekan) dan tulangan geser sebesar 2D13-60 mm. Untuk detail perhitungan penulangan Balok dapat dilihat pada **Lampiran IV**.

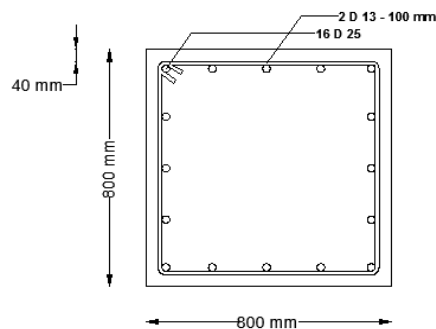


Gambar 17. Detail Penulangan Balok Bangunan 1

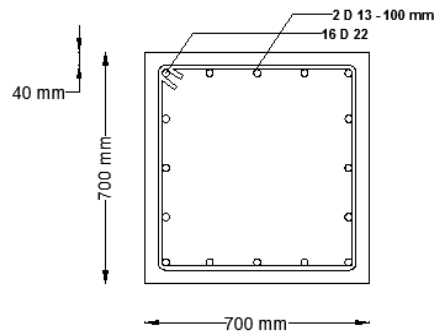


Gambar 18. Detail Penulangan Balok Kantilever Bangunan 1a dan 1b

Berdasarkan SNI 2847-2013 dari perhitungan tulangan didapatkan untuk dimensi kolom 80 x 80 tulangan utama kolom bangunan 1, 2 dan 3 sebesar 16D25 dan tulangan geser sebesar 2D13-100 mm. Untuk dimensi kolom 70 x 70 didapatkan tulangan utama sebesar 16D22 dan tulangan geser 2D13-100 mm.



Gambar 19. Detail Penulangan Kolom (80 x 80) Bangunan 1,1a, dan 1b



Gambar 20. Detail Penulangan Kolom (70 x 70) Bangunan 1,1a, dan 1b

11. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis Struktur maka dapat disimpulkan beberapa kesimpulan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan peraturan gempa SNI 1726-2012 perioda yang diperoleh dari ketiga model struktur berada antara batas atas dan batas bawah perioda yang di syaratkan dimana batas bawah perioda yang di syaratkan sebesar 0,814 detik dan batas atas perioda yang disyaratkan sebesar 1,139 detik. Adapun nilai perioda yang didapatkan pada bangunan 1 adalah sebesar 1,032 detik, bangunan 1a sebesar 1,074 detik, dan bangunan 1b sebesar 1,011 detik.
2. Partisipasi massa yang didapatkan dari ketiga model bangunan sudah mencapai 90 % sesuai dengan partisipasi massa yang disyaratkan pada SNI 1726-2012.
3. Simpangan yang didapatkan dari ketiga bangunan tidak melebihi simpangan izin sesuai yang ditetapkan pada peraturan gempa SNI 1726-2012.
4. Dari analisis bangunan 1a dan bangunan 1b didapatkan perpindahan elastik antara kedua bangunan yang berbeda arah gerak pada detik 6,80 dengan perpindahan bangunan 1a sebesar 28,90 mm dan bangunan 1b sebesar 5,89 mm. Dengan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa total perpindahan tidak melebihi jarak dilatasi yang direncanakan sebelumnya yaitu 10 cm maka dilatasi yang direncanakan sebelumnya efektif digunakan didaerah yang beresiko gempa tinggi.
5. Dari perhitungan penulangan yang mengacu pada SNI 2847-2013 diperoleh tulangan lentur pada balok bangunan 1 sebesar 4D22 (Tarik), 2D22 (Tekan) dan tulangan geser sebesar 2D13-100 mm. Sedangkan tulangan lentur balok kantilever bangunan 1a dan 3 sebesar 2D22 (Tarik), 2D22 (Tekan) dan tulangan geser sebesar 2D13-60 mm. Untuk perhitungan tulangan kolom diperoleh untuk dimensi kolom 80 x 80 tulangan utama kolom bangunan 1, 2 dan 3 sebesar

16D25 dan tulangan geser sebesar 2D13-100 mm. Untuk dimensi kolom 70 x 70 didapatkan tulangan utama sebesar 16D22 dan tulangan geser 2D13-100 mm.

12. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, SNI 1727:2013. Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847:2013. Jakarta: BSN
- Badan Stadarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, SNI 1726:2012. Jakarta: BSN
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983*. Jakarta
- Budiono, Bambang dkk. 2017. *Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Jakarta*. Bandung : Institut Teknologi Bandung
- Yarmawati, Dina. 2018. *Analisis Benturan Dan Perilaku Struktur Dengan Dilatasi Dan Tanpa Dilatasi Pada Bangunan Ber-Layout L*. Padang: Universitas Andalas
- Haida, Redatul. 2014. *Analisa Pengaruh Pemisahan Struktur (Dilatasi) Terhadap Perpindahan Horizontal Pada Struktur Bangunan Bertingkat Yang Menggunakan Base Isolator Dengan Analisa Pushover (Studi Kasus Bangunan Berbentuk L)*. Padang: Universitas Andalas
- Juvientrian, Syano Verdio. 2014. *Analisis Bangunan Asimetris Terhadap Tinjauan Delatasi Akibat Gaya Horizontal*. Jakarta: Universitas Muhammadiyah
- Surya, I made. 2017. *Analisis Statik Non-Linier PushOver Pada Optimalisasi Desain Gedung Pendidikan Bersama FKUB Dengan Variasi Konfigurasi Bresing Baja*. Malang: Universitas Brawijaya
- Umasugi, Ryana Aryadita. 2018. *Selama 2018, Gempa di Indonesia Meningkat 4.648 kali dibanding 2017*.
- Daryono, Dr. 2018. *Mengapa gempa terus terjadi di Indonesia*. <https://www.bbc.com/indonesia/indonesia-45086874>
- https://megapolitan.kompas.com/read/2018/12/29/10303711/selama_2018-gempa-di-indonesia-meningkat-4648-kali-dibanding-2017

13. UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirabbil'alamin, Segala puji dan syukur tak henti-hentinya tertuturkan dari lisan ini kepada Sang Khaliqul 'Alam yang telah melimpahkan segala rahmat dan

karunia-Nya kepada kita semua sehingga kita bisa merasakan indahnya pagi dengan fajar-Nya serta damainya malam di bawah naungan temaram rembulan-Nya. Salawat serta salam selalu terlisankan dari lidah ini kepada kekasih Allah yaitu Rasulullah S.A.W. yang tanpa kehadirannya, mustahil kita bisa merasakan nikmat yang begitu besar, yaitu nikmat iman dan nikmat islam.

Terimakasih kepada kedua orang tua saya tiada kata yang dapat terucap atas segalanya yang tiada henti melimpahkan semua kasih sayang, perhatian, nasehat, dan doa-doanya hingga anak-Mu bisa sampai ketitik ini. Terima kasih telah menjadi sumber kekuatanku.

Terimakasih kepada ibu Jati Sunaryati, Ph.D selaku pembimbing penelitian ini yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing, mengarahkan dan memberikan ilmu yang sangat bermanfaat kepada saya dalam menyusun penelitian ini.

14. LAMPIRAN

Terlampir

KAJIAN DYNAMIC AMPLIFICATION FACTOR PADA RANGKA JEMBATAN AKIBAT BEBAN GEMPA DENGAN RESPON SPEKTRUM

Suci Nadiatul¹, Masrilayanti², Riza Aryanti³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: sucinadiatul@gmail.com

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email:

masrilayanti@gmail.com

³Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email:

rizaaryanti@yahoo.co.id

ABSTRACT

Padang is known as the city which has a high risk in earthquake. Therefore, the design of all infrastructures, including bridges, should apply a high consideration to the earthquake loads. In many cases, it is quite time consuming and difficult when dynamic analysis is performed, so that it is more easier to use scale factor or a multiplier number when conduct the dynamic analysis. In this study, the dynamic analysis is simplified by finding a number which can be multiplied to the static value of analysis. The method used is by using response spectrum of Padang City based on SNI 2833-2016. The results of static analysis and dynamic analysis that have been obtained are expressed in dynamic amplification factor (DAF). Dynamic Amplification Factor (DAF) is a factor that describes how many times the deformation occurs multiplied by the deformation caused by static loads when dynamic loads are entered into the structure and is a picture of the comparison between dynamic analysis and static analysis. The main point in this research is calculated the dynamic amplification factor of the truss bridge due to earthquake load by using the spectrum response method based on SNI 2833: 2016 using SAP2000 v.20. The purpose of knowing the value of dynamic amplification factor (DAF) on the truss bridge is to facilitate understanding of the results of dynamic analysis of static analysis on bridges. The DAF value obtained is in the form of a comparison of the internal force values and the displacement of the bridge on the lower truss, diagonal truss, and upper truss. With the largest DAF value 2,429 and the smallest DAF value 1,000.

Keywords : Dynamic Amplification Factor (DAF), Truss Bridge, Spectrum Response, Earthquakes, Deformation

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan salah satu bagian yang mempunyai peranan penting sebagai fasilitas transportasi dan juga infrastruktur sehingga diperlukan struktur jembatan yang kuat. Salah satunya adalah kuat terhadap gempa bumi karena dikarenakan Indonesia terletak diantara tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia dan lempeng Pasifik. Sehingga jembatan yang akan dibangun di daerah rawan gempa bumi harus direncanakan dengan memperhitungkan pengaruh gempa bumi tersebut.

Dalam proses Analisa dan Perencanaan Struktur Jembatan di Indonesia, harus disesuaikan dengan peraturan perencanaan Standar Nasional Indonesia (SNI), yaitu Perencanaan jembatan terhadap beban gempa SNI 2833:2016. Standar Nasional Indonesia (SNI) 2833:2016 dengan judul “Perencanaan jembatan terhadap beban gempa” merupakan revisi dari SNI 2833:2008 Standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan, dan mengacu pada *AASHTO LRFD Bridge Design Specification, 5th Edition, 2012* (SNI, 2016).

Dalam SNI 2833:2016 terdapat analisis dinamis untuk perancangan jembatan yang tahan gempa bumi. Analisis dinamis ini diperlukan untuk mengevaluasi secara akurat dari respons dinamis yang terjadi pada struktur. Terdapat beberapa metode yang dapat kita digunakan dalam Analisis dinamis, salah satu diantaranya adalah Analisis Respon Spektrum (*Spectrum Response Analysis*). Hasil dari analisa statis dan analisa dinamis yang telah didapatkan dinyatakan dalam *dynamic amplification factor* (DAF).

Analisis statis dengan menggunakan *dynamic amplification factor* (DAF) sering digunakan untuk redundansi dan analisis runtuh progresif jembatan rangka baja untuk menghindari menggunakan analisis dinamis yang lebih memakan waktu (Khuyen & Iwasaki, 2016). Adapun tujuan mengetahui nilai *dynamic amplification factor* (DAF) pada jembatan untuk memudahkan pemahaman dari hasil analisa dinamis terhadap analisa statis. Oleh karena itu, dalam studi analisis ini akan membahas mengenai kajian *dynamic amplification factor* pada jembatan rangka akibat beban gempa dengan metode respon spektrum dimana penelitian ini dilakukan pada jembatan rangka Andalas kota Padang.

1.1 Batasan Masalah

Pada analisis ini dilakukan dengan batasan sebagai berikut :

1. Jenis jembatan adalah jembatan rangka baja.
2. Penelitian ini dilakukan dengan studi kasus pada Jembatan Andalas di kota Padang.
3. Analisa dan permodelan struktur jembatan menggunakan SAP2000 versi 20.
4. Analisa struktur hanya pada struktur atas jembatan.
5. Analisis gaya gempa yang digunakan adalah SNI 2833:2016
6. Beban-beban yang diperhitungkan dalam analisa struktur adalah beban gempa. Beban dinamis lainnya seperti beban angin dan beban gelombang diabaikan.
7. Beban gempa didefinisikan berupa respon spektrum.
8. Beban gempa yang akan dianalisis adalah beban gempa arah longitudinal (arah-x).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dynamic Amplification Factors (DAF)

Respon dinamis biasanya disajikan dalam bentuk *Dynamic Amplification Factor*. Salah satu parameter penting dalam desain dan analisis jembatan dan harus diperhitungkan adalah *Dynamic Amplification Factor* (DAF). Banyak peneliti telah didedikasikan untuk penelitian pengaruh DAF pada perilaku jembatan (Paeglite & Paeglitis, 2014).

Nilai *Dynamic Amplification Factor* (DAF) di jembatan dipengaruhi oleh banyak faktor seperti frekuensi alami jembatan, panjang bentang jembatan, kondisi struktur jembatan dan beban jembatan berupa beban dinamis (beban angin, beban gempa, beban lalu lintas, getaran, ledakan dll). *Dynamic Amplification Factor* (DAF) juga disebut sebagai Faktor Beban Dinamis, Faktor Dampak, Fungsi Penerimaan Mekanis, Pembesar Dinamis, atau Rasio Dinamik (G. C Ezeokpube, 2010).

$$\text{Dynamic Response} = \text{DAF} \times \text{Static Response} \quad \dots (1)$$

DAF jembatan didefinisikan sebagai beban total maksimum dinamis dibagi dengan beban maksimum statis (Brady, O'Brien, & Znidaric, 2006). *Dynamic Amplification Factor* (DAF) juga didefinisikan sebagai angka tak berdimensi yang menggambarkan berapa kali deformasi yang terjadi dikalikan dengan deformasi yang disebabkan oleh beban statis ketika beban dinamis dimasukkan kedalam struktur (Chopra). *Dynamic Amplification Factor* (DAF) juga didefinisikan sebagai rasio tak berdimensi dari respon dinamis maksimal terhadap respon statis maksimal (Ghildiyal, 2016).

$$\text{DAF} = \frac{D_{\text{dyn}}}{D_{\text{stat}}} \quad \dots (2)$$

Dynamic Amplification Factor (DAF) menyatakan berapa kali respon statis yang harus diperbesar untuk menutupi beban dinamis tambahan dan juga untuk mengetahui seberapa besar efek dinamis terhadap beban statis. Biasanya beban dinamis dari jembatan menghasilkan peningkatan pada respon jembatan jika dibandingkan dengan beban statis. Tujuan memperkenalkan *Dynamic Amplification Factor* (DAF) ini untuk membuat hasil analisa dinamis mudah dipahami, dibandingkan dengan yang analisa statis. Dengan menggunakan persamaan berikut.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Analisis pada jembatan menggunakan SAP 2000 versi 20 dengan permodelan struktur 3D. Permodelan struktur disesuaikan dengan data jembatan Andalas Kota Padang, tipe jembatan adalah rangka baja dengan total bentang jembatan 60 meter.

Analisis yang dilakukan yaitu analisis statis dan analisis dinamis. Analisis statis merupakan analisis akibat beban sendiri dari jembatan sedangkan analisis dinamis merupakan analisis akibat beban gempa. Beban gempa yang dianalisis adalah beban gempa yang diberikan arah longitudinal (arah-x) yang didapatkan dari data respon

spektrum wilayah Kota Padang yang diperoleh dari website Pusjatan. Kemudian dilakukan rekapitulasi hasil dari gaya dalam dan perpindahan untuk mendapatkan nilai *dynamic amplification factor* (DAF) pada jembatan.

Nilai gaya dalam dan perpindahan yang diambil adalah nilai maksimum yang diperoleh dari analisis statis maupun analisis dinamis. Pemodelan jembatan rangka baja ini hanya dilakukan pada bangunan atas dan pada struktur jembatan.

4. HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan DAF

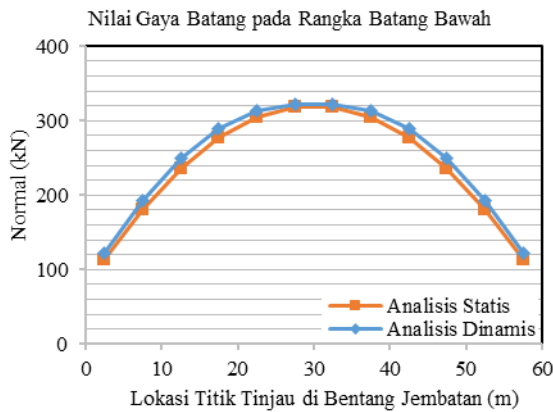
Nilai *dynamic amplification factor* (DAF) didapatkan dari hasil perbandingan antara gaya dalam maksimum dan perpindahan maksimum dari analisis dinamis terhadap analisis statis. Biasanya nilai DAF berada di atas 1. Hasil antara analisis dinamis dan juga analisis statis juga tidak jauh berbeda namun, hasil analisis dinamis yang diperoleh lebih besar daripada analisis statis. Nilai DAF dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 13. Nilai DAF pada Rangka Batang Bawah dari Hasil Perbandingan Normal

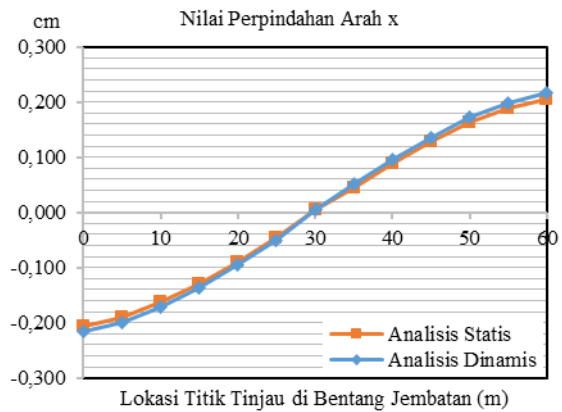
No.	Lokasi Tinjau	Nilai Normal (Kn)		DAF
		Analisis Statis	Analisis Dinamis	
1.	Frame 1	113,570	122,286	1,077
2.	Frame 2	181,103	192,366	1,062
3.	Frame 3	236,383	249,365	1,055
4.	Frame 4	277,499	289,761	1,044
5.	Frame 5	304,888	313,627	1,029
6.	Frame 6	318,558	321,735	1,010
7.	Frame 7	318,558	321,735	1,010
8.	Frame 8	304,888	313,627	1,029
9.	Frame 9	277,499	289,761	1,044
10.	Frame 10	236,383	249,365	1,055
11.	Frame 11	181,103	192,366	1,062
12.	Frame 12	113,570	122,286	1,077

Dari grafik diatas nampak secara keseluruhan dari nilai DAF yang telah dihitung berdasarkan hasil perbandingan gaya dalam sehingga nilai DAF maksimum yang

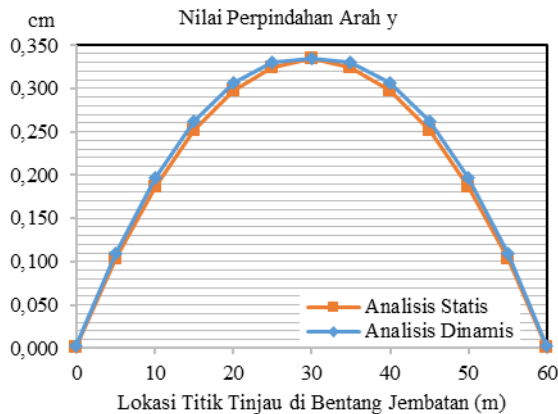
diperoleh adalah 1,077 yang berada pada rangka batang diagonal dan nilai DAF minimum yang diperoleh adalah 1,010.



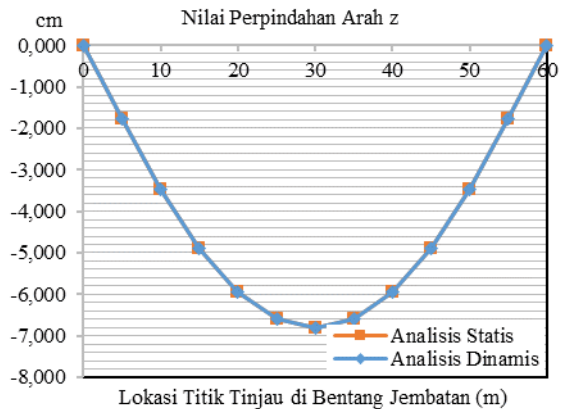
Gambar 1. Grafik Nilai Gaya Batang di Sepanjang Bentang pada Rangka Batang Bawah Jembatan



Gambar 2. Grafik Nilai Perpindahan Arah X di Sepanjang Bentang pada Rangka Batang Bawah Jembatan



Gambar 3. Grafik Nilai Perpindahan Arah Y di Sepanjang Bentang pada Rangka Batang Bawah Jembatan



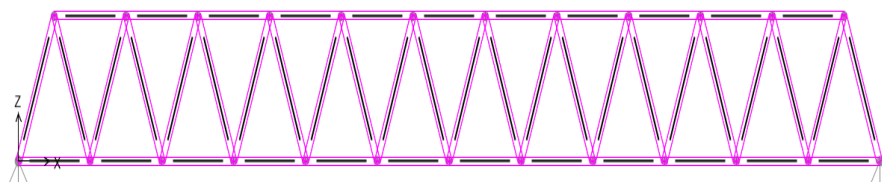
Gambar 4. Grafik Nilai Perpindahan Arah Z di Sepanjang Bentang pada Rangka Batang Bawah Jembatan

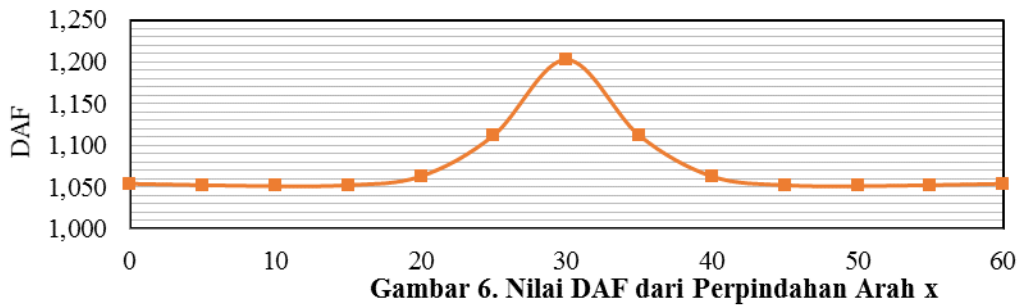
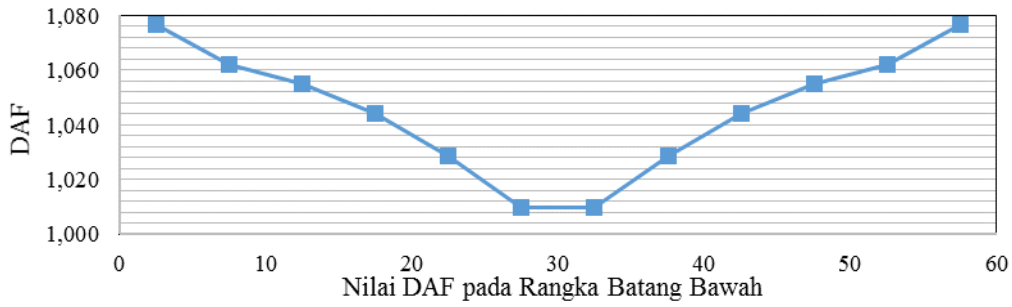
Pada nilai perpindahan, nilai yang diambil adalah nilai perpindahan maksimum untuk mendapatkan nilai DAF dari perpindahan arah x, y dan z. Dari hasil perhitungan perpindahan arah x, y dan z diperoleh nilai *dynamic amplification factor* (DAF) berada pada angka 1, nilai DAF terbesar adalah 2,429 yang diperoleh dari nilai perpindahan arah y sedangkan nilai DAF terkecil adalah 1,000 yang diperoleh dari nilai perpindahan arah z.

Tabel 2. Nilai DAF pada Rangka Batang Bawah dari Hasil Perpindahan Arah x, y dan z

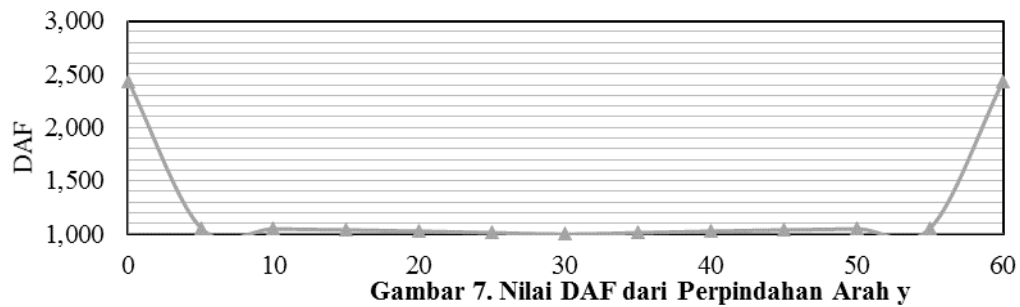
No.	Lokasi Tinjau	Analisis Statis	Analisis Dinamis	DAF	Analisis Statis	Analisis Dinamis	DAF	Analisis Statis	Analisis Dinamis	DAF
		Ux(cm)	Ux(cm)		Uy(cm)	Uy(cm)		Uz(cm)	Uz(cm)	
1.	Frame 1	-0,205	-0,216	1,054	0,001	0,002	2,429	0,000	0,000	1,000
2.	Frame 2	-0,189	-0,199	1,052	0,104	0,110	1,058	-1,767	-1,770	1,002
3.	Frame 3	-0,163	-0,171	1,051	0,187	0,197	1,051	-3,474	-3,480	1,002
4.	Frame 4	-0,129	-0,136	1,052	0,252	0,262	1,041	-4,890	-4,898	1,002
5.	Frame 5	-0,089	-0,095	1,063	0,298	0,306	1,029	-5,947	-5,953	1,001
6.	Frame 6	-0,046	-0,051	1,112	0,325	0,330	1,015	-6,599	-6,603	1,001
7.	Frame 7	0,004	0,005	1,202	0,334	0,335	1,002	-6,820	-6,821	1,000
8.	Frame 8	0,046	0,051	1,112	0,325	0,330	1,015	-6,599	-6,603	1,001
9.	Frame 9	0,089	0,095	1,063	0,298	0,306	1,029	-5,947	-5,953	1,001
10.	Frame 10	0,129	0,136	1,052	0,252	0,262	1,041	-4,890	-4,898	1,002
11.	Frame 11	0,163	0,171	1,051	0,187	0,197	1,051	-3,474	-3,480	1,002
12.	Frame 12	0,189	0,199	1,052	0,104	0,110	1,058	-1,767	-1,770	1,002
13.	Frame 13	0,205	0,216	1,054	0,001	0,002	2,429	0,000	0,000	1,000

Dari hasil perhitungan perpindahan arah x, y dan z diperoleh nilai *dynamic amplification factor* (DAF) berada pada angka 1, nilai DAF terbesar adalah 2,429 yang diperoleh dari nilai perpindahan arah y sedangkan nilai DAF terkecil adalah 1,000 yang diperoleh dari nilai perpindahan arah z.

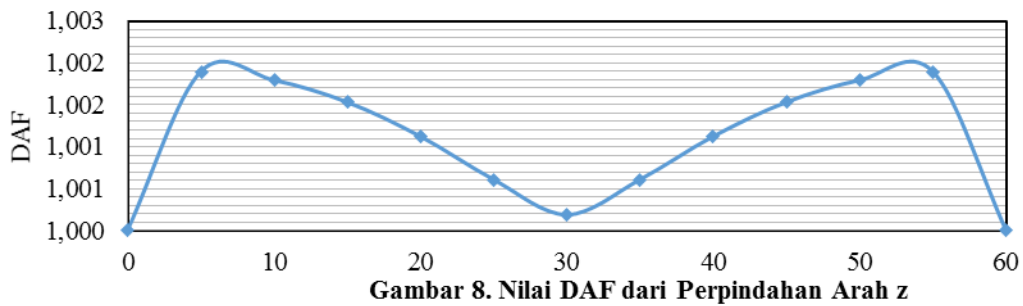
**Gambar 5. Lokasi Titik Tinjau di Bentang Jembatan (m)**



Gambar 6. Nilai DAF dari Perpindahan Arah x



Gambar 7. Nilai DAF dari Perpindahan Arah y



Gambar 8. Nilai DAF dari Perpindahan Arah z

Dari grafik diatas nampak secara keseluruhan dari nilai DAF yang telah dihitung dari hasil perbandingan perpindahan arah x, y dan z. Nilai DAF maksimum yang diperoleh adalah 2,429 yang berasal dari hasil perpindahan arah y dan nilai DAF minimum yang diperoleh adalah 1,000 yang berasal dari hasil perpindahan arah z.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisis dan pembahasan yang dilakukan terhadap struktur atas jembatan rangka Andalas Padang dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

Dari hasil perhitungan nilai *Dynamic Amplification Factor* (DAF) yang didapatkan dari perbandingan gaya dalam dan perpindahan nilainya relatif kecil dan tidak jauh berbeda, umumnya berada pada kisaran angka 1. Nilai *Dynamic Amplification Factor* (DAF) di jembatan dipengaruhi oleh banyak faktor seperti frekuensi alami jembatan, panjang bentang jembatan, kondisi struktur jembatan dan beban jembatan berupa beban dinamis (beban angin, beban gempa dll).

Dalam perhitungan perbandingan gaya dalam dari analisis dinamis terhadap analisis statis diperoleh nilai *Dynamic Amplification Factor* (DAF) berkisar antara 1,010-1,077. Sedangkan dalam perhitungan perbandingan perpindahan arah x, y dan z dari analisis dinamis terhadap analisis statis diperoleh nilai *Dynamic Amplification Factor* (DAF) berkisar 1,000-2,429 dimana perpindahan arah y lebih tinggi daripada perpindahan arah x dan arah z.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Brady, S., O'Brien, J., & Znidaric, A. 2006. Effect of Vehicle velocity on the dynamic amplification of a vehicle crossing a simply supported bridge. *Bridge Engineering*.
- Chopra, A. K. (n.d.). *Dynamics Of Structures. In Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Berkeley: University of California.
- G. C Ezeokpube, M. E. 2010. The Use of The Dynamic Magnification Factor in The Dynamic Analysis of Framed Structures, 29.
- Ghildiyal, A. K. 2016. Analytical Study of Dynamic Amplification Factor for Highway Bridges.
- Khuyen, H. T., & Iwasaki, E. 2016. An approximate method of dynamic amplification factor for alternate load path in redundancy and progressive collapse linear static analysis for steel truss bridges. *Case Studies in Structural Engineering* 6 (2016) 53–62.
- Paeglite, I., & Paeglitis, A. 2014. *World Academy of Science. Dynamic Amplification Factors of Some City Bridges*, 8.
- SNI. (2016). *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*. Jakarta.

PENGARUH VARIASI VISKOSITAS PADA RECTANGULAR WATER TANK TUNED LIQUID DAMPER TERHADAP RESPONS DINAMIK STRUKTUR

Gita Zakiah Putri

Program Studi Pascasarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan –
Institut Teknologi Bandung,
Jalan Ganesha No 10, Email: gitazputri@gmail.com

Herlien D. Setio

Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan – Institut Teknologi Bandung, Jl.
Ganesha No. 10 Bandung,
Email: herlien.s@itb.ac.id

ABSTRAK

Tuned Liquid Damper (TLD) secara konseptual merupakan Tuned Mass Damper (TMD) dengan fluida sebagai massa. Efek rasio massa dan efek viskositas diperhitungkan sebagai fungsi dari komponen massa, kekakuan dan redaman pada tuned liquid damper. Rasio massa yang digunakan adalah variasi 1%, 3%, dan 5%, sedangkan variasi viskositas yang digunakan adalah 1cP (air biasa), 20cP (Oli SAE) dan 2000cP (gliserin). Bangunan yang dikaji merupakan kantor 12 tingkat dengan sistem struktur rangka biasa. TLD didesain untuk frekuensi struktur 0.612Hz yang diuji terhadap 4 beban gempa yang masing masing memiliki frekuensi peak hasil spektral matching berkisar antara 0.5Hz – 1.1Hz. Pada kasus rasio massa maksimum, redaman yang dihasilkan oleh air biasa adalah 2.5%, Oli SAE 17.8%, dan gliserin 32.3%. Hasil yang diperoleh adalah viskositas mempengaruhi respons dinamik struktur, semakin besar viskositas efek redaman semakin baik untuk 3 tipe cairan yang diuji. Selain itu, gempa yang peak frekuensi mendekati 1Hz lebih teredam dengan baik oleh TLD.

Kata Kunci : Damper, Liquid, Viskositas

ABSTRACT

Tuned Liquid Damper (TLD) is conceptually a Tuned Mass Damper (TMD) with fluid as a mass. Effect of mass ratio and viscosity were calculated as a function of the components of mass, stiffness and damping tuned liquid damper. The variations of mass ratio are 1%, 3%, and 5%, while the viscosity variations are 1cP (ordinary water), 20cP (SAE oil) and 2000cP (glycerin). The building under study is a 12-level office structure with a regular frame structure system. TLD is designed for 0.612Hz structure frequency which is attached against 4 earthquake loads, each of which has peak frequency spectral matching results ranging from 0.5Hz - 1.1Hz. In the case of the maximum mass ratio. TLD reduced dynamic respons for ordinary water is 2.5%, SAE oil 17.8%, and glycerin 32.3%. The results obtained that viscosity affecting the dynamic response of the structure, the greater the viscosity of the damping effect, the better for the 3 types of liquid. In addition, the earthquake frequency peak approaching 1Hz was better damped by the TLD.

Keywords: Damper, Liquid, Viscosity

1. PENDAHULUAN

Tuned Liquid Damper (TLD) secara konseptual merupakan Tuned Mass Damper (TMD) dengan fluida sebagai massa. Sama-sama memiliki parameter massa, kekakuan dan redaman. Namun, TLD juga memiliki tekanan hidrodinamik. Tekanan hidrodinamik yang disebabkan oleh gerakan gempa dipisahkan menjadi istilah impulsif dan konvektif. Komponen impulsif adalah interaksi antara dinding tangki dengan cairan dan sangat bergantung pada fleksibilitas dinding sementara komponen konvektif diinduksi oleh gelombang *slosh*. Gelombang Sloshing ini sangat berperan dalam meningkatkan karakteristik redaman. Prinsip kerja peredam ini adalah dengan memanfaatkan massa cairan dan gaya inersia dari gerakan gelombang yang ketika diberi gerakan percepatan tanah tanah, fase sloshing hampir berlawanan dengan fase respons struktur, sehingga goyangan yang terjadi pada gedung dapat teredam. Tuned Liquid Damper telah diuji terhadap beban angin pertama kali pada Nagasaki Airport Tower dan Yokohama Marine Tower (Fujii, et al) Hasilnya TLD mampu mengurangi hampir setengah dari beban angin yang terinduksi pada struktur.

Scarsi (1971) menemukan bahwa viskositas fluida mempengaruhi efek dari nilai karakteristik redaman TLD. Viskositas itu sendiri adalah ukuran yang menyatakan kekentalan suatu cairan, dan sangat berkaitan erat dengan hambatan suatu cairan untuk mengalir. Maka pada tesis ini, penulis tertarik menganalisis efek redaman dari TLD bila diberikan cairan yang berbeda diukur dari viskositasnya. Sloshing pada TLD tidak dapat di kontrol, sehingga ketika semakin kecil viskositas cairan, maka kecepatan aliran akan semakin cepat dan semakin acak, dan disisi lain, dengan menaikkan viskositas, artinya hambatan fluida untuk mengalir semakin tinggi, diprediksi dapat mengendalikan gerak gelombang fluida benar berlawanan dengan arah gempa sehingga efek redaman yang diinginkan terjadi dengan lebih baik. Metoda analisis time-history akan digunakan untuk menghitung deformasi, tekanan dan kekuatan dengan mempertimbangkan sifat respons dinamis yang bergantung pada waktu terhadap gerakan tanah gempa.

2. STUDI LITERATURE

Ketika peredam "viskos" ditambahkan ke model yang menghasilkan gaya yang sebanding dengan kecepatan massa. Redaman disebut viskos karena memodelkan efek dari cairan di dalam suatu objek. Konstanta proporsionalitas c disebut koefisien redaman dan memiliki satuan gaya kecepatan lebih (Ns/m).

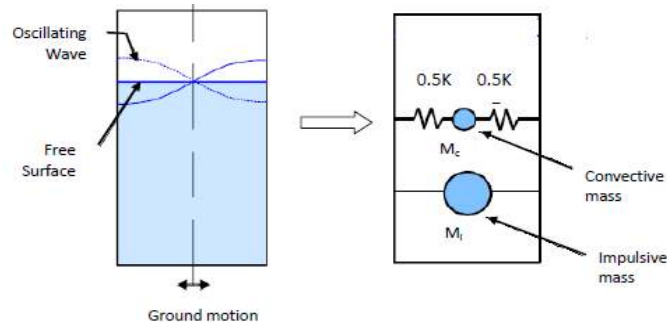
$$F_d = -cv = -c\dot{x} = -c \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

Menjumlahkan kekuatan pada hasil massa dalam persamaan diferensial biasa berikut:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2)$$

Solusi untuk persamaan ini tergantung pada jumlah redaman. Jika redamannya cukup kecil, sistem akan tetap bergetar, tetapi akhirnya, seiring waktu, akan berhenti bergetar.

2.1 Equivalent Mechanical Models of Sloshing



Gambar 2.1 Model mekanik perilaku dinamis TLD (Sumber: Housner, 1957)

Jika tangki dengan permukaan bebas dikenai eksitasi gerakan tanah horizontal, gaya yang diberikan oleh dinding tangki dibagi menjadi dua komponen. Pertama, ketika dinding tangki bergerak maju mundur, sebagian kecil air ikut bergerak sehingga menimbulkan gaya reaktif pada dinding tangki yang disebut gaya impulsif. Kedua, osilasi permukaan bebas memberi gaya beresilasi pada dinding tangki yang mengacu pada gaya konfektif, dengan M adalah massa total fluida dalam tangki, m_a merupakan massa aktif/convective, dan m_i merupakan massa pasif/impulsif. Untuk desain seismik tangki air persegi, massa sloshing (m_a) ditetapkan sebagai massa konvektif dan (m_i) adalah massa pasif. persamaannya disederhanakan untuk getaran mode fundamental oleh Newmark dan Rosenblueth, 1971

$$m_i = M \frac{\tanh(\sqrt{3} \times 0.5l/h_f)}{\sqrt{3} \times 0.5l/h_f} \quad (3)$$

$$m_a = M \frac{0.83 \tanh(1.6h_f/0.5l)}{1.6h_f/0.5l} \quad (4)$$

kekakuan akibat massa aktif dapat ditemukan menggunakan

$$k = m_a^2 \frac{3g h_f}{m_i l^2} \quad (5)$$

2.2 Damping of Surface Wave in Rectagular Tank

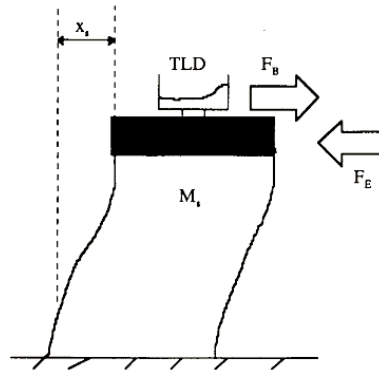
Pada dasarnya, faktor redaman bergantung pada tinggi cairan, viskositas kinematik cair, dan diameter tangki, Abramson (1966)

$$\zeta = \frac{2.89}{\pi} \sqrt{\frac{v}{l^2 g^2} \left[1 + \frac{0.318}{\sinh(1.84 \frac{h}{l})} \left(\frac{1 - \frac{h}{l}}{\cosh(1.84 \frac{h}{l})} + 1 \right) \right]} \quad (6)$$

$$C_d = 2\zeta_d \sqrt{k_d m_d} \quad (7)$$

2.3 Persamaan gerak struktur dengan TLD

pemodelan klasik struktur SDOF teredam oleh TLD diberikan sebagai berikut dengan gambar referensi di bawah



Gambar 2.2 Pemodelan sederhana Struktur Tuned Liquid Damper

Persamaan matematis untuk konsisi struktur SDOF dengan tambahan TLD adalah sebagai berikut

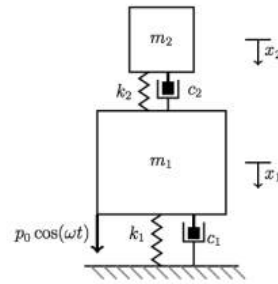
$$\ddot{x}_s(t) + 2\zeta_s \omega_s \dot{x}_s(t) + \omega_s^2 x_s(t) = F_E + F_B \quad (8)$$

Dimana x_s adalah perpindahan sistem struktur, ζ_s adalah koefisien redaman struktur, ω_s adalah natural frekuensi struktur dalam satuan radian/detik, F_E adalah gaya eksitasi luar, dan terakhir F_B adalah base shear akibat TLD sepanjang sumbu yang sama dengan eksitasi luar. Gaya base shear idealnya memodelkan sebagai gaya hidrodinamik F_b yang diinduksi oleh sloshing TLD seperti yang diberikan dalam persamaan berikut

$$F_b = \frac{1}{2} \rho g b (h_r^2 - h_i^2) \quad (9)$$

Dimana ρ adalah *density* atau rapat massa cairan, g adalah gravitasi, b adalah lebar tangki, h_i adalah tinggi gelombang *sloshing* pada ujung tangki searah eksitasi, dan h_r adalah tinggi gelombang pada ujung tangki yang berlawanan. Persamaan diatas berasumsi bahwa gaya hidrostatis dominant dengan mengabaikan gaya inersia akibat percepatan vertikal cairan TLD yang mana mengacu pada teori *Shallow water wave* atau teori gelombang dangkal.

2.4 Model Matematis dari TLD dengan Ekivalensi Parameter TMD



Gambar 2.3 Model matematis TLD – SDOF

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1 + C_{tid} & -C_{tid} \\ -C_{tid} & C_{tid} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_{tid} & -k_{tid} \\ -k_{tid} & k_{tid} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f(t) \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (10)$$

Jika diuraikan diperoleh persamaan berikut

$$(m_s + m_p)\ddot{x}_1 + (C_1 + C_d)\dot{x}_1 + (k_1 + k_d)x_1 = C_d\dot{x}_2 + k_dx_2 + f(t) \quad (11)$$

$$m_d\ddot{x}_2 + C_d\dot{x}_2 + k_dx_2 = C_d\dot{x}_1 + k_dx_1 \quad (12)$$

2.5 Model Matematis dari TLD dengan Ekivalensi Parameter TMD

Berdasarkan ACI 350.3-06 (2006) untuk tangki kotak, frekuensi natural untuk tangki yang terisi sebagian memenuhi persamaan dibawah ini,

$$\omega_{nslashing} = \sqrt{\frac{(2n-1)\pi g}{b} \cdot \tanh\left(\frac{(2n-1)\pi h}{b}\right)} \quad (13)$$

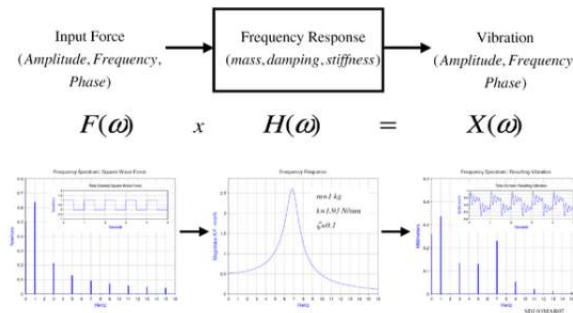
Dengan h adalah level dari ketinggian cairan, b adalah panjang tangki arah sloshing, g adalah gravitasi, dan subskrip n menunjukkan bahwa f_n tergantung pada nomor mode n. frekuensi menurun apabila elevasi h menurun.

2.6 Frequency response model

Solusi masalah getaran dapat dilihat sebagai hubungan input / output dalam domain frekuensi (besar dan fase) dengan hubungan berikut

$$X(i\omega) = H(i\omega) \cdot F(i\omega) \quad (14)$$

$H(i\omega)$ Disebut fungsi respon frekuensi, juga disebut sebagai fungsi transfer, tetapi secara teknis tidak akurat, dan memiliki komponen magnitude dan fase (jika direpresentasikan sebagai bilangan kompleks, komponen nyata dan imajiner). Besarnya fungsi respon frekuensi (FRF) disajikan sebelumnya untuk sistem massa-pegas-peredam.



Gambar 2.4 Frequency Respons Model (Department of Electronic Engineering, NTUT)

Gambar diatas menunjukkan representasi domain waktu dari getaran yang dihasilkan. Dengan melakukan Fourier Transform invers yang mengubah data domain frekuensi ke domain waktu.

3. METODOLOGI

3.1 Prosedur Perancangan peredam Tuned Liquid Damper

Keefektifan dari TLD bergantung pada karakteristik tuning yang tepat, *mass ratio* dan *frequency ratio* sebagai fungsi objektif dalam memperkecil respons struktur puncak yang mengalami eksitasi seismic.

Tahapan desain peredam TLD antara lain,

1. Struktur yang akan dipasang diidealkan untuk analisis teoritis. Rasio redaman struktur diasumsikan dengan engineering justification. Nilai referensi dari properti dinamis, seperti frekuensi first-mode, rasio redaman, dan Displacement Maximum (Dm) di bawah eksitasi dinamis tertentu ditentukan secara analitis. Tergantung pada penilaian struktural, nilai dari Displacement permissable (Dp)
2. Berdasarkan analisis struktur, dimensi TLD diperoleh dari *tuning* frekuensi. Tuning Natural frekuensi TLD dilakukan terhadap mode dominan struktur. Dari model diperoleh mode dominan 0.612Hz

$$\omega_{nslashing} = \sqrt{\frac{(2n-1)\pi g}{L} \cdot \tanh\left(\frac{(2n-1)\pi h}{L}\right)}$$

Dengan demikian, frekuensi mode pertama dari struktur adalah sama dengan frekuensi fundamental dari TLD, kemudian dari nilai tersebut dengan mengambil rasio h/L= 0,15 maka diperoleh lebar tangki yang dibutuhkan yaitu 1.45m.

Tabel 3.1 Resume dimensi 1 TLD

gravitasi	g	9,81	m/s ²
rho air	ρ	1.000,00	kg/m ³
frekuensi struktur	ωs	3,85	rad/s
dimensi tangki	h	0,20	m
	L	1,45	m
	h/L	0,14	OK

3. Sesuaikan mass ratio target, yaitu pada kondisi 1% ; 3% dan 5% untuk tiga jenis cairan yang digunakan, dan viskositas cairan yaitu air biasa 1cP, oli SAE 200cP, dan gliserin 2000cP. Dari mass ratio yang ditentukan, hitung jumlah TLD yang diperlukan untuk membentuk sistem perlindungan seismik yang diinginkan

$$N = \frac{\mu(\%) M_s}{M_f} ; \text{dimana } M_s \text{ adalah massa total struktur, dan } M_f \text{ massa total fluida.}$$

4. Hitung massa aktif dan pasif TLD beserta kekakuan akibat massa aktif.

$$\text{Massa total fluida (M)} = m_f \times N = 0.42 \text{ ton} \times 785 = 330.09 \text{ ton}$$

$$m_a = 33024.69 \frac{0.93 \tanh(1.6 \times 0.2 / 0.5 \times 1.45)}{1.6 \times 0.2 / 0.5 \times 1.45} = 257.47 \text{ ton}$$

$$m_i = M \frac{\tanh(\sqrt{3} \times (0.51) / hf)}{\sqrt{3} \times (0.51) / hf} = 52.57 \text{ ton}$$

5. Hitung massa aktif dan pasif TLD beserta kekakuan akibat massa aktif.

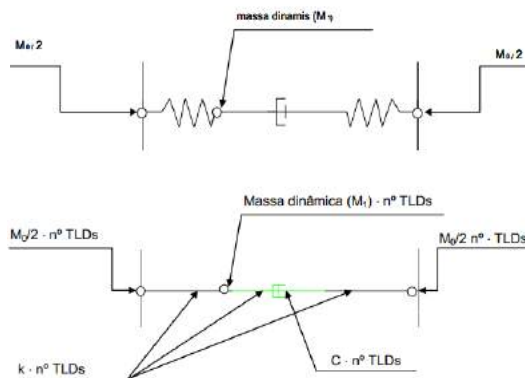
$$k = M a^2 \frac{3 g h_f}{m_i l^2} = 257 \frac{3 \times 9.81 \times 0.2}{52.57 \times 1.45} = 562.215 \text{ kN/m}$$

6. Rasio redaman dihitung dengan input variasi viskositas sesuai rumus berikut

$$\zeta = \frac{2.89}{\pi} \sqrt{\frac{1.10^{-6}}{1.45 \sqrt{9.81 \times 1.45}} \left[1 + \frac{0.318}{\sinh\left(\frac{1.84 \times 0.2}{1.45}\right)} \left(\frac{1 - \frac{0.2}{1.45}}{\cosh\left(\frac{1.84 \times 0.2}{1.45}\right)} + 1 \right) \right]} = 0.013$$

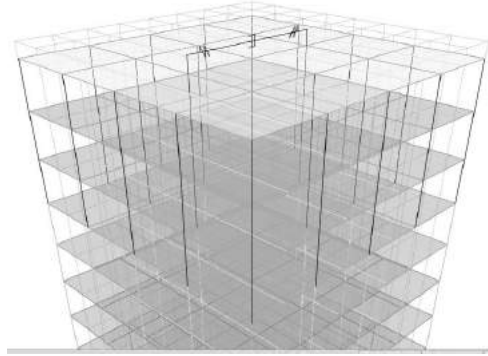
$$C = 2\zeta \sqrt{m_a k} = 2 \times 0.013 \sqrt{257.47 \times 256.215} = 0.950$$

7. Input data m, c, k kedalam struktur etabs dengan cara sebagai berikut.



Gambar 3.1 Representasi input data pada Etabs (Sumber: Novo gadim, 2008)

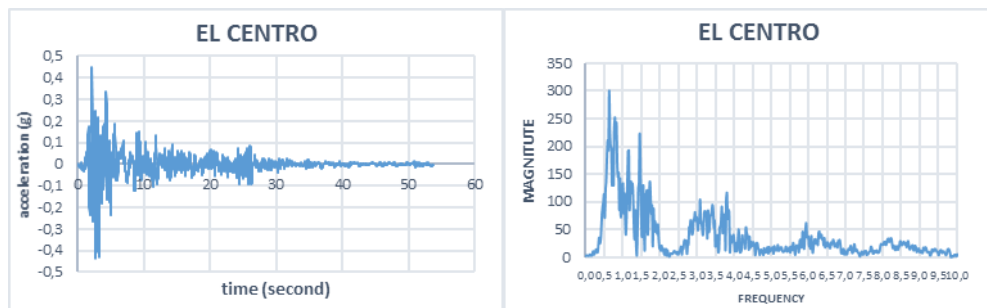
Modeling dilakukan menggunakan software Etabs dengan cara mendefinisikan jenis link type, pada model ini digunakan 2 tipe, yaitu tipe linier dan damper. Input data M, C, K terkonsentrasi sesuai gambar diatas.



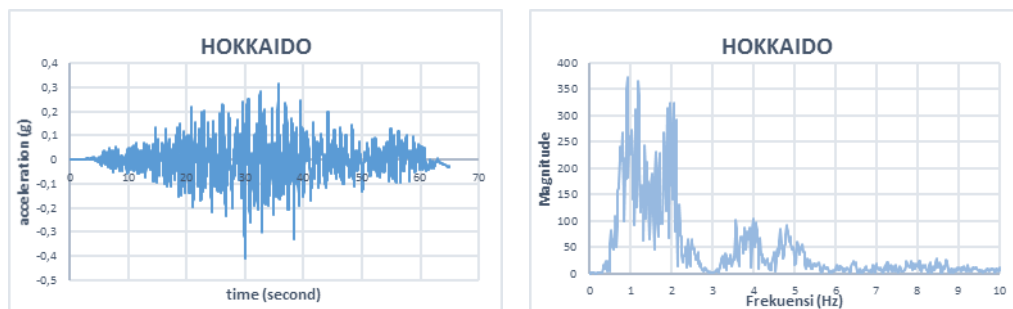
Gambar 3.2 Gambar pemodelan TLD pada ETABS

8. Running struktur TLD

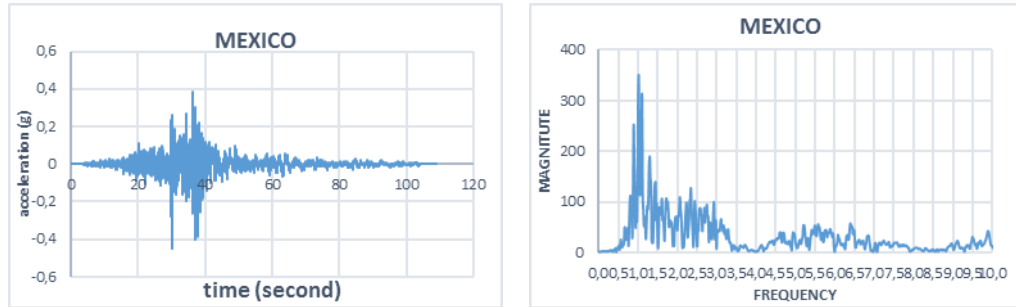
Gempa yang digunakan adalah gempa El centro, Hokkaido, Mexico Dn Northridge yang masing masing telah dilakukan matching spektra terhadap lokasi gedung pada penelitian, di match terhadap respons spektra. Berikut 4 data gempa yang telah dilakukan scaling.



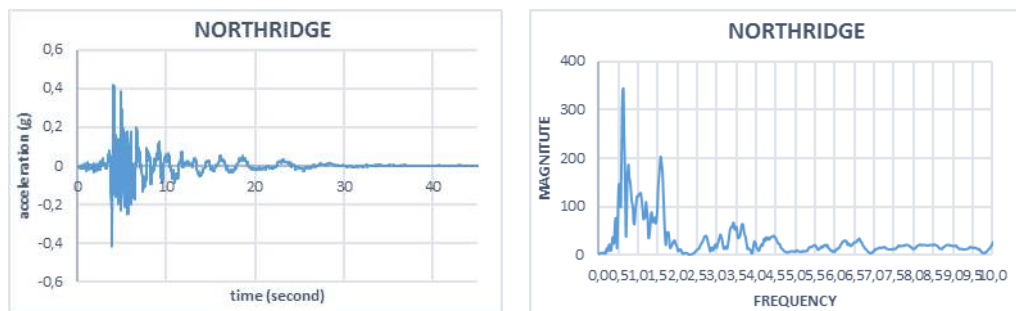
Gambar 3.3 Time History dan frekuensi history gempa El Centro



Gambar 3.4 Time History dan frekuensi history gempa Hokkaido



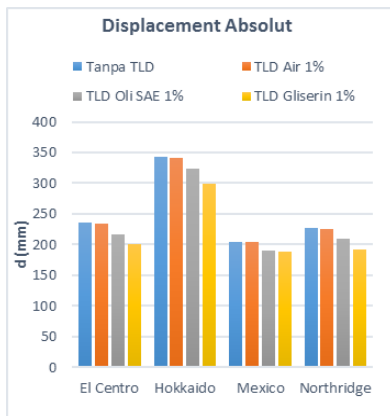
Gambar 3.5 Time History dan frekuensi history gempa Mexico



Gambar 3.6 Time History dan frekuensi history gempa Northridge

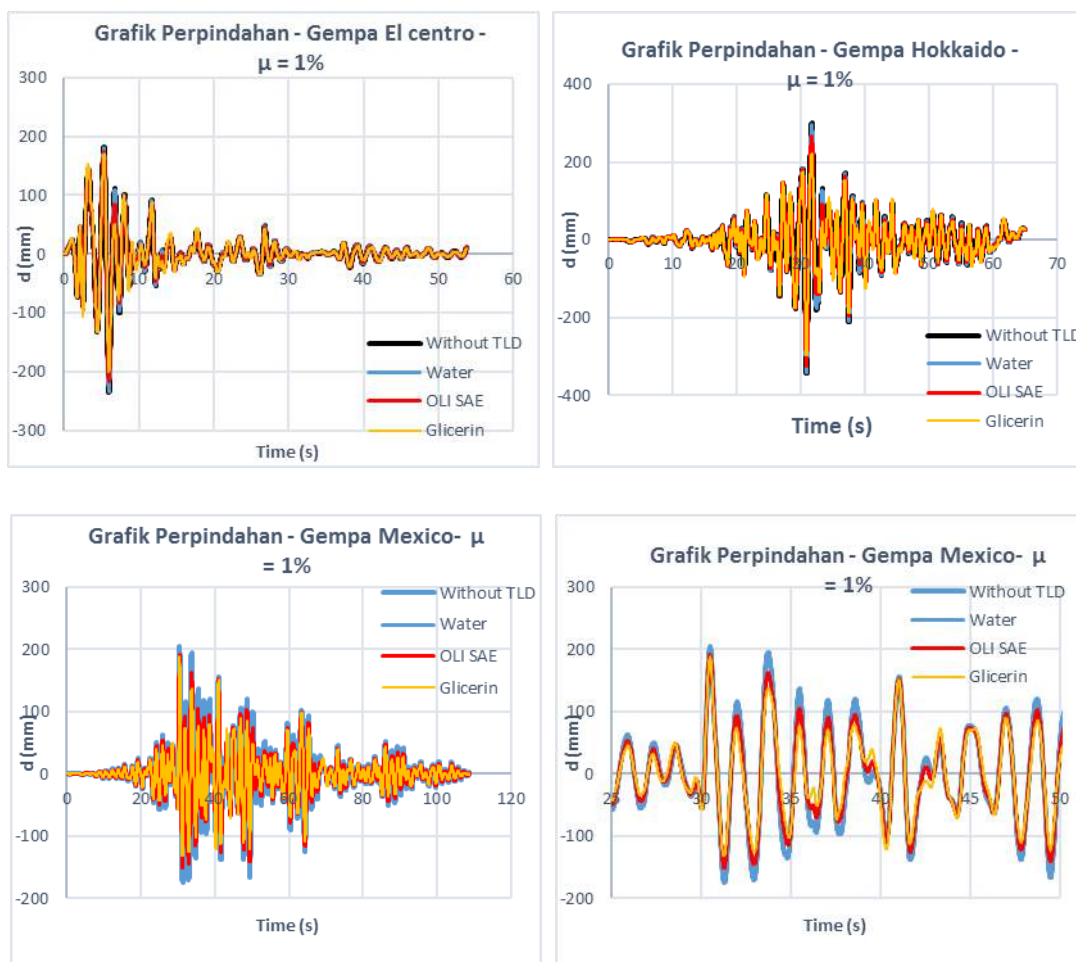
4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Rasio Massa (μ) 1% - Respons perpindahan



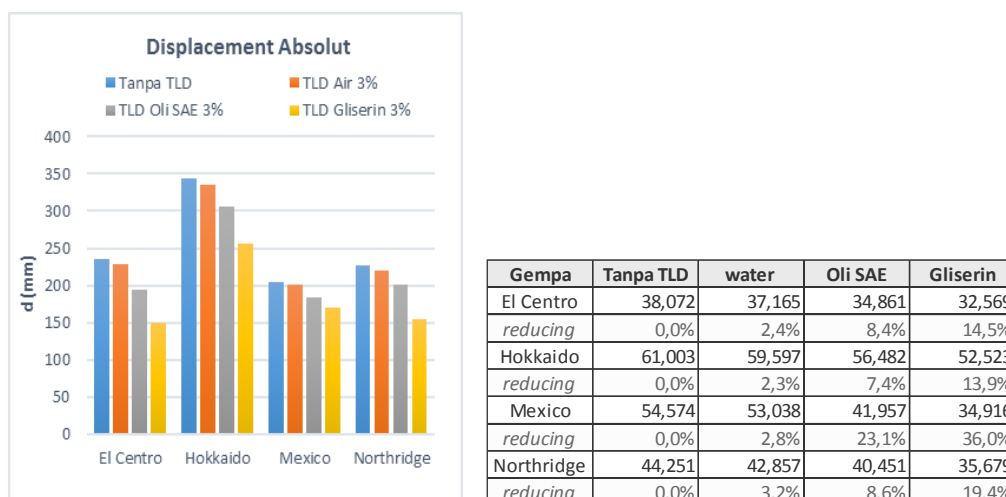
Gempa	Tanpa TLD	water	Oli SAE	Gliserin
El Centro	235,743	233,559	216,96675	200,1204
<i>reducing</i>	0	0,93%	7,96%	15,11%
Hokkaido	343,181	340,648	324,198	298,3169
<i>reducing</i>	0	0,74%	5,53%	13,07%
Mexico	204,749	203,659	190,734	188,6544
<i>reducing</i>	0	0,53%	6,84%	7,86%
Northridge	226,445	224,462	209,00145	191,4408
<i>reducing</i>	0	0,88%	7,70%	15,46%

Gambar 4.1 Bar Chart perpindahan absolut TLD 1%

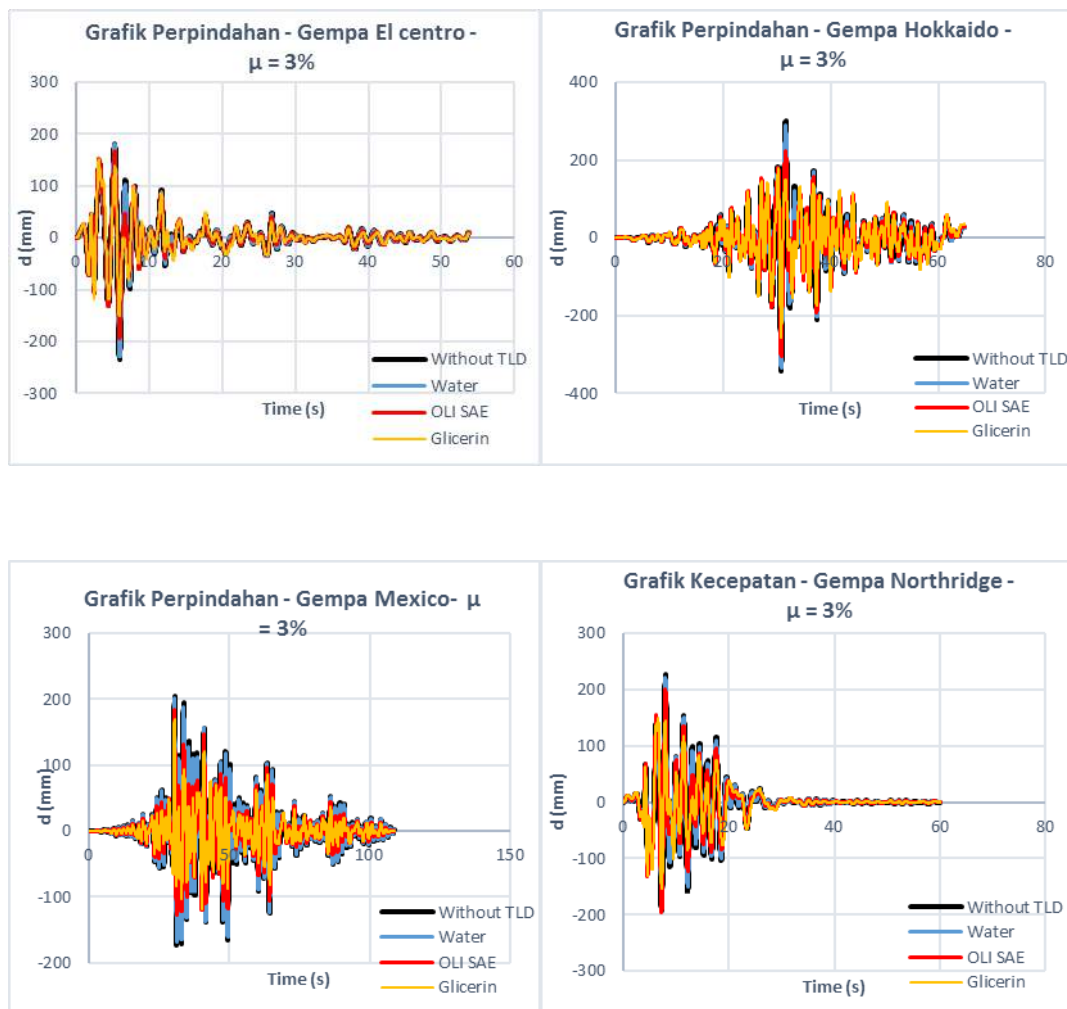


Gambar 4.2 Grafik respons perpindahan pada saat TLD 1% untuk 4 tipe gempa

4.2 Rasio Massa (μ) 3% - Respons perpindahan

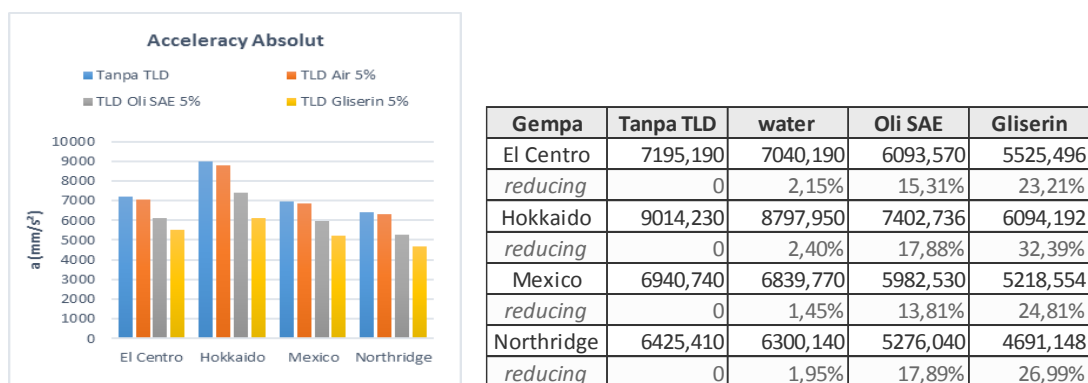


Gambar 4.3 Bar Chart perpindahan absolut TLD 3%

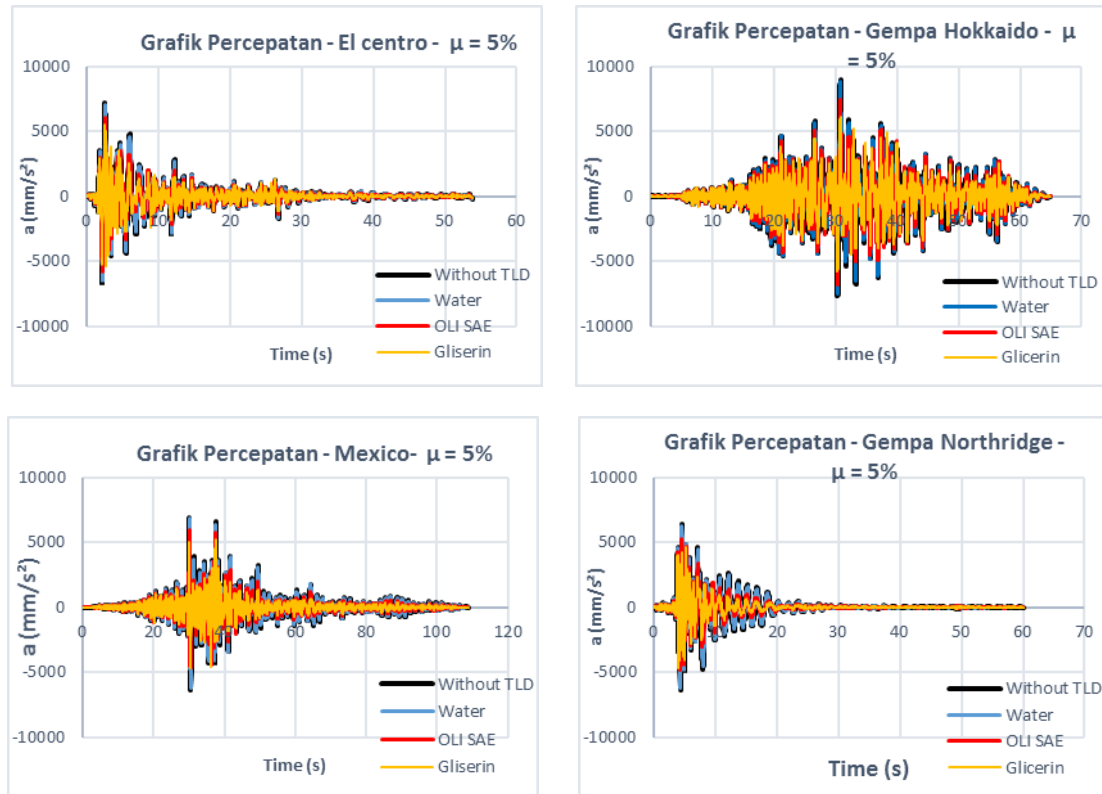


Gambar 4.4 Grafik respons perpindahan pada saat TLD 3% untuk 4 tipe gempa

4.3 Rasio Massa (μ) 5% - Respons perpindahan



Gambar 4.5 Bar Chart percepatan absolut TLD 5%



Gambar 4.6 Grafik respons perpindahan pada saat TLD 5% untuk 4 tipe gempa

5. KESIMPULAN

Tujuan utama dari penelitian tesis ini adalah untuk menganalisis keefektifan dari tangki *rectangular Tuned Liquid Damper* dalam mengontrol respons struktur ketika dikenai beban gempa. TLD didesain untuk frekuensi struktur 0.612Hz yang dikenai *random excitation* berupa gempa El centro, Hokkaido, Mexico dan Northridge. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang dipaparkan pada bab , maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Secara umum, perilaku struktur dengan tambahan sistem peredam TLD yang diberikan beban gempa mampu menurunkan amplitudo pada tiap-tiap respons struktur dengan variasi nilai bergantung kepada rasio massa dan ciran apa yang digunakan.
2. Analisis rasio massa yang diberikan batasan 1%-5% menunjukkan bahwa penggunaan $\mu=5\%$ adalah yang paling baik. Pada saat $\mu=1\%$ redaman yang diberikan oleh TLD hanya berkisar 12.9%, lalu untuk $\mu =3\%$ redaman yang diberikan oleh TLD naik menjadi 24.2%, dan pada penggunaan $\mu =5\%$ mencapai

34.6% yang diukur dari data perpindahan pada lantai atap struktur dengan menggunakan cairan berupa gliserin.

3. Jenis cairan yang digunakan juga memberikan perbedaan terhadap baiknya TLD meredam respons struktur, untuk 3 kasus yang digunakan, air, oli, dan gliserin, hasil yang diperoleh adalah gliserin meredam lebih baik, diikuti oli, dan terakhir air, namun efek dari perbedaan viskositas ini tidak begitu signifikan. Redaman yang diberikan oleh air 2.5%, kemudian oli berkisar 17.8%, dan untuk gliserin 32.3% diukur dari nilai perpindahan pada saat mass ratio 5%.
4. Dari 4 data gempa yang digunakan, Hokkaido dan Mexico yang memperlihatkan hasil cukup baik dalam meredam, hal ini disebabkan oleh frekuensi peak dari 2 gempa tersebut berada pada rentang 0.9 Hz – 1.2Hz.

6. DAFTAR PUSTAKA

- ACI 350.3-06 Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary.
- A.Ibrahim, Rauf. 2005. Liquid Sloshing Dynamics Theory and Applications. Cambridge University.
- Ambramson, Norman H. 1996. The Dynamics of Liquids in Moving Containers. Urbana: University of Illinois.
- Fujino, Y; Sun, L.M; Pacheco B.M; Chaiseri P (1992) Tuned Liquid Damper (TLD) for suppressing Horizontal Motion of Structure, Journal of Engineering Mechanics, v.118, n, 10 pp. 2017-2030
- Housner, G.W (1963). “The Dynamic Behavior of Water Tank”, Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 53, No.2
- Novo, T (2008) Melhoramento da reposta sismica de edificios com resurco a TLD. MSc Thesis. University of Aveiry.
- Kishore Rai; Reddy. G.R; Venkatraj. V; Dubey. P.N., *Seismic Retrofitting of Existing Structure by Tuned Sloshing Damper : An Experimental Study*, ISET Journal of Earthquake Technology, Paper no. 524, Vol. 50, No. 1, March 2013, pp. 27-47.
- SNI 1726-2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*
- SNI 1727-1989. *Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*
- Sun, L.M., Fujino, Y., Chaiseri, P., and Pacheco. 1995. *The Properties of Tuned Liquid Damper Using a TMD Analogy*, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 23, 967-976.
- Tang, Y; Uras, R.A and Chang, Y.W., 1993, “Effect of Viscosity on Dynamic Response of a Liquid Storage Tank”, *Proceedings, ASME 1993 Pressure Vessel and Piping Conference*, Denver, CO, PVP-Vol, 258, pp. 135-142.

PENGARUH PENGGUNAAN BOTOL PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT BETON

Yosi Juliana Nadeak¹, Zaidir², Sri Umiati³

¹Mahasiswa Program Sarjana, Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: yosinadeak12@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email : zaidir@eng.unand.ac.id

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email : sriumiatisri57@gmail.com

ABSTRACT

Plastic waste is a type of inorganic waste which properties that are difficult to decomposed. One of plastic waste is PET type plastic bottles. PET plastic bottles are usually used in beverage packaging that has a triangle symbol with a number one. PET plastic bottles should used for one time only. To reduce the waste of PET plastic bottles, several attempts were made. One of the efforts made is to use PET plastic bottles as a substitute for fine aggregate in concrete. In this era, concrete construction is very popular with the community, because it is cheap and easy to obtain. In addition to reducing plastic waste, this study was also conducted to know effect of use PET plastics bottles at concrete compressive strength. Concrete with 1%, 2% and 3% of PET plastic bottle fiber as a substitute for fine aggregate in concrete were compared with concrete with a normal mixture. The samples were concrete cylindrical with a diameter of 11 cm x 22 cm and a target strength of 25 MPa. Concrete samples were tested on days 7, 14 and 28 days. Tests conducted are testing the weight of concrete contents and compressive strength of concrete. The use of PET plastic bottles can reduce the weight of concrete contents to 1-4%. Maximum concrete weight reduction occurs in concrete with the use of 3% plastic bottle fiber. The use of PET plastic bottles with a percentage of 1% on the 28th day reached a concrete compressive strength of 16.479 MPa and when compared with normal concrete has an increase of 23.684%. The use of plastic fiber as much as 2% on the 28th day reached concrete strength of 17,355 MPa and has an increased by 30,263% when compared to normal concrete. And at the percentage of 3% the use of plastic fibers on the 28th day reached a compressive strength of 15,076 MPa and increased by 13.158% of normal concrete. The percentage of use of PET plastic bottles fibers of 2% give the maximum increase in the use of PET plastic bottles fibers.

Keywords : plastic waste, PET plastic bottles, compressive strength, fine aggregate replacement

ABSTRAK

Sampah plastik merupakan jenis sampah anorganik yang memiliki sifat sulit terurai. Salah satu contoh sampah plastik adalah botol plastik jenis PET. Botol plastik PET biasanya digunakan pada minuman kemasan yang memiliki simbol segitiga dengan angka satu. Botol plastik PET hanya boleh digunakan untuk satu kali pemakaian. Untuk mengurangi sampah botol plastik PET telah dilakukan berbagai upaya, dan salah satunya adalah menggunakan sampah botol plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat halus pada

beton. Pada dunia konstruksi, material beton sangat banyak digunakan karena murah dan mudah didapat. Selain untuk mengurangi sampah plastik, penelitian ini juga dilakukan untuk meningkatkan kuat tekan beton. Campuran beton dengan 1%, 2% dan 3% serat botol plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat halus pada beton dibandingkan dengan beton dengan campuran normal. Sampel yang dibuat berbentuk silinder dengan dimensi 11 cm x 22 cm dan mutu beton rencana 25 MPa. Sampel akan diuji pada hari ke 7, 14 dan 28 hari. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengujian berat isi beton dan kuat tekan beton. Penggunaan serat botol plastik PET mampu menurunkan berat isi beton 1-4%. Penurunan berat isi beton maksimal terjadi pada beton dengan penggunaan serat botol plastik sebanyak 3%. Penggunaan botol plastik PET dengan persentase 1% pada hari ke-28 mencapai kuat tekan beton sebesar 16,479 Mpa dan jika dibandingkan dengan beton normal mengalami peningkatan 23,684%. Pada penggunaan serat plastik sebanyak 2% pada hari ke-28 mencapai kuat tekan beton sebesar 17,355 Mpa dan meningkat 30,263% jika dibandingkan dengan beton normal. Dan pada persentase 3% penggunaan serat plastik pada hari ke-28 mencapai kuat tekan sebesar 15,076 MPa dan meningkat 13,158% dari beton normal. Sehingga persentase penggunaan serat plastik PET sebesar 2% merupakan peningkatan maksimum penggunaan serat plastik PET.

Kata kunci : sampah plastik, botol plastik PET, kuat tekan, pengganti agregat halus

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan penelitian Jambeck J.R. (2015) dari University of Georgia, pada tahun 2010 ada 275 juta ton sampah plastik yang di hasilkan diseluruh dunia. Sekitar 4,8-12,7 juta ton diantaranya terbuang dan mencemari laut. Indonesia merupakan negara dengan jumlah pencemaran sampah plastik ke laut terbesar kedua di dunia. China memimpin dengan tingkat pencemaran sampah plastik ke laut sekitar 1,23-3,53 juta ton/ tahun, sedangkan Indonesia sekitar 0,48-1,29 juta ton/ tahun.(CNN Indonesia, 2016).

Penggunaan botol plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai pengganti agregat halus pada beton merupakan salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh sampah plastik. Botol plastik PET biasanya digunakan pada minuman kemasan yang memiliki logo dengan angka satu.



(a). Sampah botol plastik PET



(b). Logo PET (1) pada botol plastik sekali pakai

Gambar 1. (a) Sampah botol plastik dan (b). Logo PET (1) pada botol plastik sekali pakai

Pada dasarnya botol plastik PET hanya boleh digunakan satu kali pakai setelah itu didaur ulang. Namun banyak masyarakat yang menggunakan botol plastik PET untuk mengemas minuman atau kegunaan lainnya berkali-kali. Hal ini dapat membuat bahan berbahaya yang ada pada botol plastik keluar dan bercampur dengan minuman yang dikemas didalamnya. **Gambar 1** memperlihatkan sampah botol-botol plastik jenis PET (a) dan logo PET (1) pada botol plastik sekali pakai (b).

Ramadevi dan Manju (2012) meneliti tentang sifat-sifat beton dengan serat botol plastik PET sebagai substitusi sebagian agregat halus dengan kadar serat 1%, 2%, 4% dan 6%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat mampu meningkatkan kekuatan tekan, kuat lentur dan kuat tarik belah beton. Penggunaan kadar serat sampai 2% mampu meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton sedangkan pada penggunaan kadar serat 4% dan 6% kuat tekan dan kuat tarik belah beton mengalami penurunan tetapi kuat lentur beton mengalami sedikit peningkatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan botol plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai pengganti sebagian agregat halus pada berat isi dan kuat tekan beton.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan atau admixture (SNI 2847:2013). Beton dalam keadaan mengeras mempunyai nilai kuat tekan yang tinggi. Dalam keadaan segar, beton mudah dibentuk sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu, beton juga tahan terhadap serangan korosi. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*). Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan maksimum f_c' pada saat beton telah mencapai umur 28 hari.

2.2 Plastik PET (Polyethylene Terephthalate)

Plastik merupakan senyawa polimer yang berbentuk padat dan kuat. Polimer adalah suatu bahan yang terdiri dari kumpulan monomer yang jika kumpulan monomer sejenis disebut dengan homo polimer, sedangkan monomer yang berbeda membentuk senyawa disebut dengan kopolimer. Adapun polimer yang banyak dikenal adalah selulosa, protein, karet alam dan lainnya (Mujiarto, 2005). *Polyethylene Terephthalate* (disingkat PET, PETE atau dulu PETP, PET-P) adalah suatu resin polimer plastik termoplast dari kelompok *poliester*, banyak diproduksi dalam industri kimia dan digunakan dalam serat sintesis, botol minuman dan wadah makanan, aplikasi *thermoforming*, dan dikombinasikan dengan serat kaca dalam resin teknik. PET merupakan salah satu bahan mentah terpenting dalam kerajinan tekstil. Berdasarkan cara pengolahannya, PET dapat menjadi semi kaku hingga kaku dan sangat ringan, sehingga menjadikan PET kuat dan tahan benturan. PET dapat menjadi putih ketika terkena khloroform dan juga bahan kimia tertentu seperti toluena. PET memiliki daya serap uap air yang rendah, demikian juga daya serap terhadap air. Ramadevi dan Manju (2012) melakukan penelitian

penggunaan serat botol plastik PET sebagai substitusi agregat halus terhadap kuat tekan beton. Penelitian menggunakan persentase serat plastik PET 2%, 4% dan 6% dan dari hasil pengujian kuat tekan beton diperoleh nilai persentase optimal pada komposisi 2%.

3. BAHAN DAN METODA

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen, agregat halus, agregat kasar, sampah plastik PET dan air. Semen yang digunakan merupakan semen PCC (*Portland Composite Cement*) sesuai dengan SNI-7064-2004. Agregat kasar yang digunakan merupakan batu pecah (*split*) dengan ukuran 10/20 mm dan medium serta agregat halus dari pasir sungai. Pengujian agregat menggunakan standard ASTM C29/C29M-07 untuk pemeriksaan berat volume, ASTM C127-07 untuk berat jenis dan penyerapan serta ASTM C136-06 untuk analisa saringan. Sampah botol plastik PET yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu kemudian dipotong-potong menjadi serat plastik dengan ukuran 1-4 mm dan lolos saringan no. 4.

Tabel 1. Proporsi campuran beton untuk berbagai variasi tambahan serat plastik PET

No.	Material	Jumlah masing-masing material untuk campuran beton dengan berbagai variasi serat plastik (kg)			
		0%	1%	2%	3%
1	Semen PCC	12,029	12,029	12,029	12,029
2	Pasir	19,186	18,994	18,803	18,611
3	Split 10/20 mm	11,127	11,127	11,127	11,127
4	Split Medium	16,690	16,690	16,690	16,690
5	Air	4,663	4,663	4,663	4,663
6	Serat Plastik PET	0,0	0,192	0,384	0,576

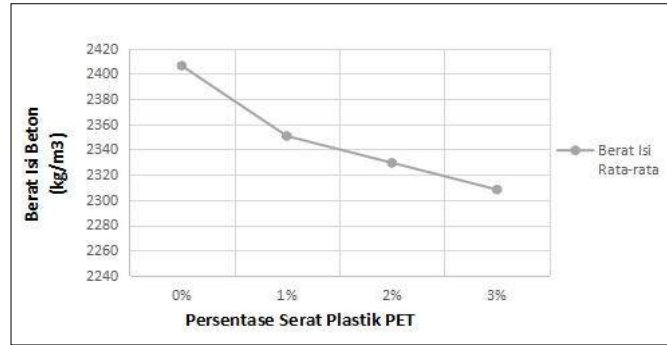
Perencanaan campuran beton menggunakan ACI 211.91 dengan target kekuatan tekan sebesar 25 MPa dengan variasi tambahan serat plastik PET sebesar 0%, 1%, 2% dan 3% dari berat agregat halus. Proporsi campuran beton untuk berbagai variasi tambahan serat plastik diperlihatkan pada **Tabel 1**. Pengujian dilakukan terhadap berat isi dan kuat tekan beton.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat isi rata-rata untuk berbagai persentase serat plastik diperlihatkan pada Tabel 2 dan Gambar 2. memperlihatkan grafik hubungan berat isi beton dengan persentase serat plastik. Dari Tabel 2. dan Gambar 2. tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan berat isi beton dengan pertambahan persentase serat plastik PET.

Tabel 2. Berat isi rata-rata untuk berbagai variasi persentase serat plastik

hari	Persentase Serat Plastik PET			
	0%	1%	2%	3%
7	2390.547	2342.736	2326.799	2310.862
14	2390.547	2358.673	2358.673	2310.862
28	2438.358	2342.736	2326.799	2294.925
rata-rata	2406.484	2348.048	2337.424	2305.550

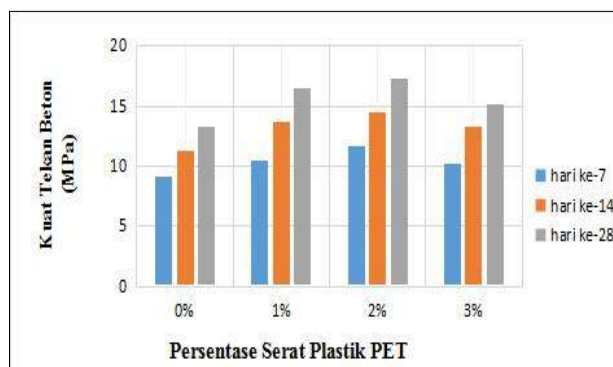


Gambar 2. Grafik berat isi beton dengan pertambahan serat plastik

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan beberapa variasi persentase serat diperlihatkan pada **Tabel 3. Gambar 3.** memperlihatkan hubungan kuat tekan beton dengan variasi persentase serta pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

Tabel 3. Hasil kuat tekan beton dengan beberapa variasi serat

hari	Hasil Kuat Tekan (Mpa)			
	Persentase Serat Plastik PET			
	0%	1%	2%	3%
7	9.467	9.467	12.622	11.570
	8.415	11.570	11.570	8.415
	9.467	10.518	11.044	10.518
rata-rata	9.116	10.518	11.746	10.168
14	12.622	11.570	14.200	13.674
	10.518	12.622	13.674	12.622
	10.518	16.829	15.778	13.674
rata-rata	11.220	13.674	14.550	13.323
28	18.933	14.726	15.778	15.778
	10.518	18.933	18.407	14.726
	10.518	15.778	17.881	14.726
rata-rata	13.323	16.479	17.355	15.076



Gambar 3. Grafik kuat tekan beton dengan beberapa variasi serat

Dari **Tabel 3** dan **Gambar 3** diatas dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan kuat tekan beton dengan penggunaan serat plastik PET. Besarnya persentase peningkatan kekuatan tekan beton diperlihatkan pada Tabel 4. Penggunaan serat plastik PET sebanyak 1%, 2% dan 3% terjadi peningkatan sebesar 23,684%, 30,263% dan 13,158% dibandingkan dengan beton normal. Penggunaan serat plastik PET sebesar 2% memberikan peningkatan kekuatan tekan beton yang paling tinggi.

Tabel 4. Persentase peningkatan kuat tekan beton dengan beerapa variasi serat

Persentase Serat Plastik PET	Kuat Tekan (MPa)	Persentase Peningkatan Kuat Tekan (%)
0%	13.323	0.000
1%	16.479	23.684
2%	17.355	30.263
3%	15.076	13.158

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan penggunaan serat plastik PET sebagai substitusi agregat halus pada campuran beton dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Beton dengan serat plastik PET sebagai substitusi agregat halus dapat mengurangi berat isi beton. Hal tersebut diakibatkan karena serat plastik PET yang bersifat ringan.
2. Penggunaan serat botol plastik PET sebagai substitusi sebagian agregat halus 1%, 2% dan 3%, dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 23,684%, 30,263% dan 13,158% dari beton normal
3. Peningkatan kuat tekan beton maksimum terjadi pada penggunaan serat plastik PET sebagai substitusi agregat halus pada persentase 2% dengan peningkatan sebesar 30,263% dari beton normal.

6. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. 1993. "Concrete and Aggregate, Annual Book of ASTM Standard Vol.04.02, American Society for Testing and Material". Philadelphia.
- ACI. 1995. Material and General Properties of Concrete, ACI Mannual of Concrete Practise. Detroit.
- Jambeck J.R. dkk, *Plastic waste inputs from land into the ocean*, *Science* 13 Feb 2015:, Vol. 347, Issue 6223, pp. 768-771, DOI: 10.1126/science.1260352
- Mujiarto, I. 2005. Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif. Volume 3 Nomor 2, Jurnal Traksi, AMNI, Semarang
- Ramadevi K dan Manju R. 2012. Experimental Investigation on the Properties of Concrete With Plastic PET (Bottle) Fibers as Fine Aggregates. Kumaraguru College of Technology Coimbatore. India.
- SNI 2847 - 2013, Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
- SNI 1974. 2011. Cara Uji Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

7. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam pembuatan makalah dan penelitian ini, diantaranya : ibunda dan keluarga yang telah membantu dalam doa dan memberikan dukungan dalam menyelesaikan makalah dan penelitian ini, Prof. Zaidir Dr.Eng dan Ibuk Ir. Sri Umiati MT yang telah membimbing dan memberikan motivasi, rekan-rekan asisten Laboratorium Material dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas, rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas, sahabat dan teman-teman serta semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi dalam mengerjakan makalah dan penelitian ini.

PENGARUH PENGGUNAAN BOTOL PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) SEBAGAI TAMBAHAN SERAT TERHADAP KEKUATAN BETON

Elsi Modesta¹, Zaidir²

¹Mahasiswa Program Sarjana, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Email : elsimodestasirait@yahoo.com

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Email : zaidir@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

Plastic waste is one of the serious problems currently being faced, because of its widespread used and plastic is a material that is difficult to decomposed by bacteria in the soil. Indonesia is the second largest contributor of plastic waste in the world. Therefore, the addition of plastic in the form of fiber to the concrete material is done in an effort to reduce plastic waste. Adding fiber to the concrete can also increase the tensile strength of the concrete. This research was carried out by concrete cylinder test specimens with a length of 22 cm, diameter 11 cm. Polyethylene Terephthalate (PET) plastic that has been cut into fibers measuring 1-3 mm with a length of 2.5 cm. The variation of the percentage of plastic fiber added to the concrete mixture is 0.25%, 0.5%, 1% and 0% as a comparison. The purpose of this study was to determine the effect of plastic PET on the compressive and tensile strength of concrete. The procedure performed in this study is to conduct material testing, calculation of job mixing formulas, manufacture of test specimens, compressive and tensile test, and then analyze the results of the study. Based on the results of laboratory tests conducted on 7 days, 14 days and 28 days, concrete with the addition of PET fiber has a higher compressive and tensile strengths compared to the normal concrete. The highest compressive and tensile strength values is the addition of 0.5% PET fiber. On day 28, concrete with 0.5% PET increased the compressive strength by 11.666%, and significantly increased the tensile strength value by 25.507% from normal concrete.

Keywords: plastic waste, Polyethylene Terephthalate, compressive strength, split tensile strength, concrete

ABSTRAK

Limbah plastik adalah salah satu masalah serius yang sedang dihadapi saat ini, karena penggunaannya yang luas dan plastik merupakan bahan yang sulit untuk diurai oleh bakteri pengurai dalam tanah. Indonesia merupakan penyumbang sampah plastik kedua terbesar di Dunia. Oleh karena itu, penambahan plastik dalam bentuk serat pada bahan utama penyusun beton dilakukan sebagai usaha untuk mengurangi limbah plastik. Penambahan serat pada beton juga dapat meningkatkan kekuatan tarik beton. Penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji berupa beton dengan panjang 22 cm, diameter 11 cm, dan menambahkan plastik Polyethylene Terephthalate (PET) yang sudah dipotong menjadi serat berukuran 1-3 mm dengan panjang 2,5 cm. Variasi persentase serat yang ditambahkan pada campuran beton adalah 0,25%, 0,5%, 1% dan 0% sebagai pembanding. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh PET terhadap kuat tekan dan tarik belah beton. Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan uji material, perhitungan job mixing formula, pembuatan benda uji, uji tekan dan uji tarik

belah benda uji, kemudian menganalisa hasil penelitian. Berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium yang dilakukan pada hari ke 7,14 dan 28, beton dengan tambahan serat PET memiliki nilai kuat tekan dan kuat tarik belah yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal. Nilai kuat tekan dan kuat tarik beton paling tinggi adalah dengan penambahan serat PET sebanyak 0,5%. Pada hari ke 28, beton dengan tambahan PET 0,5% meningkatkan kuat tekan sebesar 11,666%, dan secara signifikan meningkatkan nilai kuat tarik belah sebesar 25,507% dari beton normal.

Kata kunci : sampah plastik, *Polyethylene Terephthalate*, kuat tekan, kuat tarik belah, beton

1. PENDAHULUAN

Beton adalah campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya (SNI 03-2847-2002). Pemanfaatan beton sebagai bahan konstruksi telah banyak diterapkan dalam berbagai jenis bangunan, hal ini karena beton memiliki kelebihan dalam kemudahan pembuatan, kekuatannya, ketahanannya terhadap api, serta keawetannya. Namun beton memiliki kelemahan terhadap tarik. Telah banyak inovasi yang dilakukan untuk mengurangi kelemahan beton, salah satunya dengan cara penambahan serat pada campuran beton. Jenis serat yang biasa digunakan dalam campuran beton yaitu ijuk, serabut kelapa, ataupun plastik PET.

Tingkat penggunaan plastik yang sangat tinggi dan juga plastik merupakan bahan yang sulit untuk diurai oleh bakteri pengurai dalam tanah, menjadikan sampah plastik salah satu masalah serius yang sedang dihadapi saat ini. Berdasarkan data yang diperoleh dari Jambeck J.R. (2015) Indonesia menghasilkan sampah plastik sebesar 187,2 juta ton per tahun, jumlah ini menjadikan Indonesia penyumbang sampah plastik kedua terbesar setelah China yang menghasilkan sampah sebesar 262,9 juta ton per tahunnya. Hal ini membuat banyak masyarakat mulai melakukan inovasi dan kreatifitas untuk mengolah kembali sampah plastik ke dalam berbagai bentuk agar dapat mengurangi jumlah sampah plastik.

Dalam dunia konstruksi, telah banyak dikembangkan berbagai inovasi beton dengan tambahan sampah plastik. Beberapa contoh inovasi beton yang telah dilakukan dengan pemanfaatan limbah plastik, yaitu penggantian sebagian agregat halus dengan plastik jenis PET dengan persentase 1%, 2%, 4%, 6% yang dilakukan oleh Kamadevi dan Manju (2015) dan menyimpulkan bahwa penggantian sebesar 2% limbah plastik sebagai substitusi agregat halus mampu meningkatkan kuat tekan, dan kuat tarik belah. Penggantian agregat kasar dengan limbah plastik dengan persentase sebesar 50%,100% yang dilakukan oleh Mohtarom Riyadi (2015), namun hasilnya adalah penggantian agregat kasar dengan plastik akan mengurangi nilai kuat tekan dan kuat tarik. Syarif Hidayatullah (2007) melakukan penelitian dengan menambahkan plastik dalam bentuk serat ke dalam campuran beton, hasilnya adalah kuat tekan dan kuat tarik beton mengalami peningkatan.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Beton

Menurut SNI 03-2847-2002, beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, air, dengan atau tanpa bahan tambahan. Dibandingkan dengan bahan konstruksi lain, beton memiliki banyak kelebihan, antara lain kuat tekan yang relatif tinggi, terbuat dari bahan-bahan yang murah dan mudah ditemui, memiliki usia layan yang panjang, tidak memerlukan perawatan yang besar, serta dapat dicetak menjadi bentuk yang sangat beragam. Disamping banyak kelebihannya, beton juga memiliki kelemahan. Beton sangat lemah terhadap tarik. Oleh sebab itu, beton biasanya dikombinasikan dengan baja tulangan atau ditambahkan serat untuk meningkatkan kuat tariknya.

2.2 Kekuatan Tekan dan Tarik Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada hari ke 7, 14, dan 28 dengan perbandingan tinggi dan diameter silinder 2 : 1. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*). Kekuatan tarik belah beton relatif bernilai rendah, biasanya 10%-15% dari kuat tekan beton, atau kadang 20%. Kuat tarik belah dilakukan dengan cara memberikan tekanan pada sisi memanjang benda uji. Mesin uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah *Mori Testing Machine*

2.3 Plastik PET (Polyethylene Terephthalate)

Polyethylene terephthalate (disingkat PET, PETE atau dulu PETP, PET-P) adalah suatu resin polimer plastik termoplast dari kelompok poliester. PET banyak diproduksi dalam industri kimia dan digunakan sebagai botol minuman dan wadah makanan, dan dikombinasikan dengan serat kaca dalam resin teknik. PET merupakan salah satu bahan mentah terpenting dalam kerajinan tekstil. Rumus kimia dari PET adalah $(-CO-C_6H_5-CO-O-CH_2-CH_2-O)_n$. PET juga adalah salah satu jenis plastik yang paling sering digunakan dalam produk minuman, terutama botol plastik yang berwarna jernih/transparan. Plastik PET ditandai dengan kode daur ulang nomor 1, misalkan botol air mineral. PET memiliki titik leleh yang relatif tinggi, kekuatan (strength) yang tinggi, kaku (stiffness), dimensinya stabil, tahan bahan kimia dan panas, serta mempunyai sifat elektrik yang baik. Kekuatan tarik dari PET merupakan yang tertinggi dibandingkan dengan plastik dari bahan HDPE (High Density Polyethylene), PP (Polypropylene), atau LDPE (Low Density Polyethylene)

Berdasarkan pembahasan dan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Syarif Hidayatullah (2007) dengan menambahkan serat botol plastik (PET) sepanjang 5 cm dan lebar 1-3 mm, dengan persentase 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, dan 1% kedalam campuran beton didapatkan kesimpulan kuat tekan beton tertinggi adalah dengan penambahan serat sebanyak 0,6%, meningkat sebesar 9,47% dari nilai kuat tekan beton

tanpa tambahan PET. Penambahan serat sebanyak 0,6% juga menambah kekuatan tarik belah beton sebesar 39,53% dari kuat tarik belah neton tanpa tambahan PET.

3. BAHAN DAN METODA

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen, agregat halus, agregat kasar, sampah botol plastik PET dan air. Semen yang digunakan merupakan semen PCC (*Portland Composite Cement*) sesuai dengan SNI-7064-2004. Agregat kasar yang digunakan merupakan batu pecah (*split*) dengan ukuran 10/20 mm dan medium serta agregat halus dari pasir sungai. Pengujian agregat menggunakan standard ASTM C29/C29M-07 untuk pemeriksaan berat volume, ASTM C127-07 untuk berat jenis dan penyerapan serta ASTM C136-06 untuk analisa saringan. Sampah botol plastik PET yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu kemudian dipotong-potong menjadi serat plastik dengan ukuran 1-3 mm dengan panjang 2,5 cm.

Tabel 1. Proporsi campuran beton untuk berbagai variasi tambahan serat plastik PET

No.	Material	Jumlah masing-masing material untuk campuran beton dengan berbagai variasi serat plastik (kg)			
		0%	0,25 %	0,5 %	1,0 %
1	Semen PCC	12,029	12,029	12,029	12,029
2	Pasir	19,186	19,186	19,186	19,186
3	Split 10/20 mm	11,127	11,127	11,127	11,127
4	Split Medium	16,690	16,690	16,690	16,690
5	Air	4,663	4,663	4,663	4,663
6	Serat Plastik PET	0	0,159	0,318	0,637

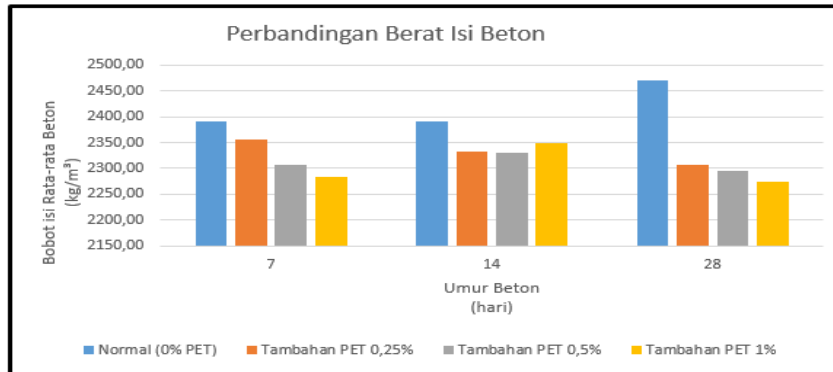
Perencanaan campuran beton menggunakan ACI 211.91 dengan target kekuatan tekan sebesar 25 MPa dengan variasi tambahan serat plastik PET sebesar 0%, 0,25 %, 0,5 % dan 1,0 %. Proporsi campuran beton untuk berbagai variasi tambahan serat plastik diperlihatkan pada **Tabel 1**. Pengujian dilakukan terhadap berat isi dan kuat tekan dan tarik beton.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 dan **Grafik 1** memperlihatkan hasil pengujian berat isi beton untuk beberapa variasi penambahan serat. Semakin tinggi persentase serat dalam campuran beton, semakin kecil berat isi dari beton seperti diperlihatkan pada **Grafik 1**. Pengujian pada hari ke-28, beton dengan tambahan serat 1% mengalami penurunan berat isi paling besar, yaitu besar 7,96% dari berat isi beton normal.

Tabel 2. Hasil Pengujian Berat Isi Beton

Umur Beton (hari)	Berat isi Rata-rata Beton (kg/m ³)			
	normal (0%)	Tambahan PET 0,25%	Tambahan PET 0,5%	Tambahan PET 1%
7	2391,51	2356,59	2307,33	2284,37
14	2391,51	2333,63	2330,61	2348,46
28	2471,23	2307,97	2295,69	2274,48

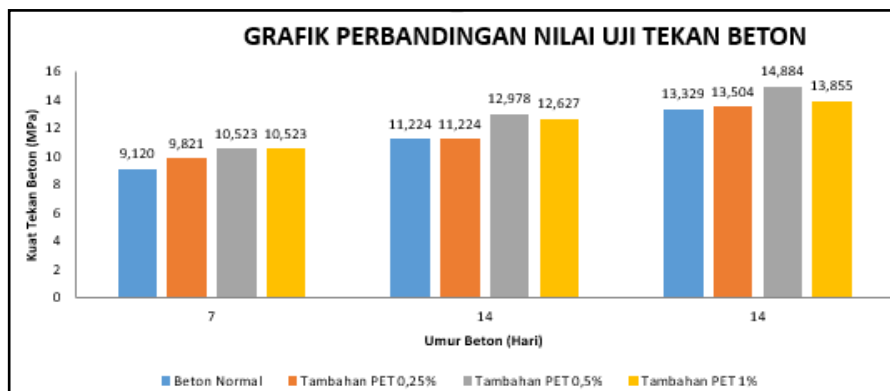


Gambar 1. Grafik Uji Berat Isi Beton

Tabel 3 dan **Gambar 2**. memperlihatkan hasil pengujian kuat tekan beton yang dilakukan pada umur beton 7 , 14 dan 28 hari untuk berbagai variasi persentase penambahan serat. Pengujian dilakukan dengan alat uji tekan UTM (*Universal Testing Machine*).

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil Kuat Tekan (Mpa)				
Hari	Persentase Penambahan serat PET			
	0%	0,25%	0,5%	1,0%
7	9,120	9,821	10,523	10,523
14	11,224	11,224	12,978	12,627
28	13,329	13,504	14,884	13,855



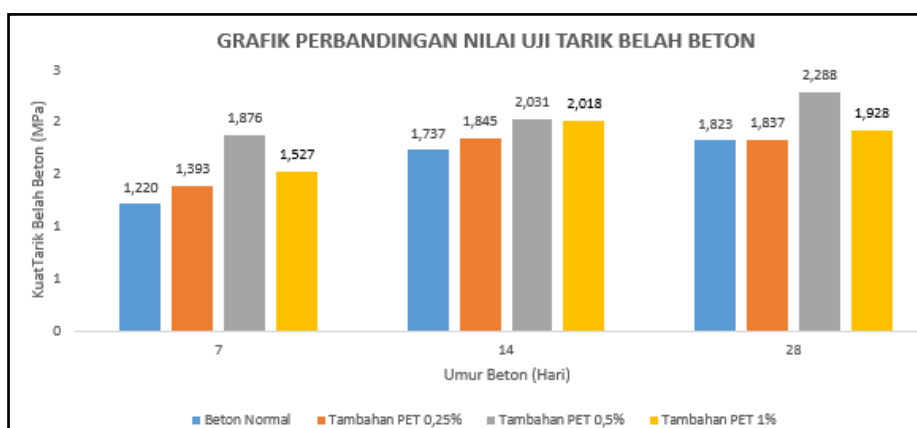
Gambar 2. Grafik Hasil Kuat Tekan Beton

Dari **Tabel 3** dan **Gambar 2**, dapat dilihat bahwa penambahan serat plastik PET pada campuran beton berpengaruh menambah nilai kuat tekannya, dan peningkatan maksimal nilai kuat tekan beton terjadi pada penambahan serat PET sebesar 0,5%. Pada pengujian hari ke-28 peningkatan nilai kuat tekan terjadi sebesar 11,666% dari beton normal.

Tabel 4 dan **Gambar 3**, memperlihatkan hasil pengujian kekuatan tarik beton. Pengujian menggunakan metoda uji tarik tidak langsung atau uji tarik belah dengan menggunakan alat uji tekan. Pengujian uji tarik belah ini dilakukan pada hari ke 7,14,dan 28.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Hasil Kuat Tarik Belah (Mpa)				
Hari	Persentase Penambahan Serat PET			
	0%	0,25%	0,5%	1,0%
7	1,220	1,393	1,876	1,527
14	1,737	1,845	2,031	2,018
28	1,823	1,837	2,288	1,928



Gambar 3. Grafik kuat tarik belah beton

Dari **Tabel 4** dan **Gambar 3** diatas dapat dilihat bahwa dengan penambahan serat plastik PET pada campuran beton dapat meningkatkan kekuatan tarik beton. Peningkatan maksimal nilai kuat tarik belah beton terjadi pada penambahan serat PET sebesar 0,5%. Pada pengujian hari ke-28 peningkatan nilai kuat tarik belah beton sebesar 25,507% dari beton normal.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan penambahan serat plastik PET spada campuran beton dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Beton dengan penambahan serat akan mengurangi beratbeto, karena semakin banyak serat yang ditambahkan, semakin kecil berat isi beton tersebut.
2. Beton dengan penambahan serat dari plastik PET akan mengalami peningkatan nilai kuat tekan dibanding dengan beton tanpa penambahan serat. Peningkatan optimum terjadi pada penambahan serat plastik PET 0,5% yaitu sebesar 11,666% dari beton normal.
3. Beton dengan penambahan serat dari plastik PET akan mengalami peningkatan nilai kuat tarik belah dibanding dengan beton tanpa penambahan serat. Peningkatan optimum terjadi pada penambahan serat PET 0,5% yaitu sebesar 25,507% dari beton normal.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Agus Soebandono dan Dinar Kurniawan. 2013. Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Campuran Limbah Plastik HDPE. Universitas Muhammadiyah. Yogyakarta
- Laboratorium Material dan Struktur. 2017. Diktat Penuntun Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi. Universitas Andalas. Padang
- Lestariyono, B.M. 2008. Penggunaan Limbah Botol Plastik (PET) Sebagai Campuran Beton Untuk Meningkatkan Kapasitas Tarik Belah. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Mulyono, T. 2003. Teknologi Beton. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Ridwan, F. F., Subari, Yulis, E. (2014). Pengaruh Penggunaan Cacahan Gelas Plastik Polypropylene (PP) terhadap Kuat Tekan dan Kuat tarik Beton. Jurnal Bentang, Vol 2 No 1
- Mohtarom Riyadi, dkk (2015), Pemanfaatan Limbah Simpul Sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Beton, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta Jalan Kampus UI Depok 16425.
- Sanjaykumar, B. 2017. Use of Plastic Fiber in The Concrete. Ahmednagar. India
- SNI 03-1974-1990. 1990. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

SNI 03-2491-2002. 2012. Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

SNI 03-2847-2002. 2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Bandung : Badan Standarisasi Nasional

Soebandono, B., Pujianto, A., Kurniawan, D. (2013), “Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Campuran Limbah Plastik HDPE”, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, UMY, Yogyakarta.

Suwarso, A. dan Sudarmono. (2015). Kajian Penggunaan Limbah Plastik Sebagai Campuran Agregat Beton, Jurnal Wahana Teknik Sipil, Vol. 20 No. 1.

7. UCAPAN TERIMAKASIH

Puji Syukur kehadiran Tuhan YME atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah ini. Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas bimbingan, pengarahan, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa makalah ini masih membutuhkan perbaikan. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak. Penulis berharap semoga makalah ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca, dapat digunakan sebagai referensi dalam penelitian serupa di masa yang akan datang, dan berpengaruh bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

TRANSPORTASI

FAKTOR WAKTU KERJA DAN AKTIFITAS KAWASAN SEBAGAI PARAMETER DALAM PERHITUNGAN VOLUME RUAS JALAN EVAKUASI TSUNAMI DI KAWASAN PERKOTAAN

**Yossyafra Yossyafra¹, Nurhuda Fitri², Rahmat Purnama Sidhi², Yosritzal
Yosritzal¹**

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: yossyafra@eng.unand.ac.id, yosritzal@eng.unand.ac.id

²Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: nurhuda.fitrii@gmail.com, rpsidhi88.rps@gmail.com

ABSTRACT

Indonesia is located in the Pacific Ring of Fire (an area with a high level of tectonic activity), which faces the risk of catastrophic volcanic eruptions, earthquakes, floods and tsunamis. Urban areas on the coast of the Indonesian archipelago are at high risk of tsunami disasters. In designing tsunami evacuation roads for urban areas, the government only used the 1997 Indonesian Road Capacity Reference (MKJI) reference, as a reference in determining road capacity. The MKJI 1997 used four parameters to determine the capacity of the road, namely; correction factors for road width, road lane separation, road side disturbance, and city size. This research tries to consider several other parameters that might be used to determine the capacity of roads that are prepared for tsunami disasters. The other parameters are; factors of working activity time, and working activity area, etc., which are expected to accommodate the needs of people and vehicles during the tsunami disaster. This research found that, the width of evacuation roads in urban areas should be wider than the width of roads that are not determined as evacuation roads. The addition of other parameters must be considered as an important part of the next planning standard.

Keywords : Tsunami evacuation roads, road capacity, correction factors on road capacity

ABSTRAK

Indonesia terletak di Cincin Api Pasifik (daerah dengan tingkat aktivitas tektonik yang tinggi), yang menghadapi risiko bencana letusan gunung berapi, gempa bumi, banjir, dan tsunami. Kawasan perkotaan di pesisir pantai kepulauan Indonesia beresiko tinggi terhadap bencana tsunami. Dalam mendesain jalan evakuasi tsunami untuk kawasan perkotaan, selama pemerintah hanya menggunakan referensi Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) tahun 1997, sebagai referensi dalam menentukan kapasitas jalan. MKJI 1997 memakai empat parameter untuk menentukan kapasitas jalan, yaitu faktor koreksi untuk lebar jalan, pemisahan lajur jalan, gangguan sisi jalan, dan ukuran kota. Penelitian ini mencoba mempertimbangkan beberapa parameter lain yang mungkin digunakan untuk menentukan kapasitas jalan yang siap menghadapi bencana tsunami. Parameter lainnya itu adalah; faktor waktu dari aktivitas kerja, area aktivitas kerja dan kepemilikan kendaraan, dll., yang diharapkan dapat mengakomodasi kebutuhan orang dan kendaraan saat bencana tsunami. Penelitian ini menemukan bahwa, lebar jalan evakuasi di perkotaan harus lebih lebar dibandingkan dari lebar jalan yang tidak ditetapkan sebagai jalan evakuasi.

Kata Kunci : jalan evakuasi Tsunami, kapasitas ruas jalan, faktor koreksi kapasitas jalan

1. PENDAHULUAN

Sudah banyak pemerintahan Kotamadya dan Kabupaten di sepanjang pantai barat pulau Sumatra memahami risiko tinggi akan bencana tsunami. Pemerintahan berupaya melakukan mitigasi dengan menyediakan infrastruktur perkotaan yang responsif dan aman saat menghadapi bencana. Ada dua jenis pilihan evakuasi yang dipahami, evakuasi horizontal dan vertikal. Evakuasi vertikal, dengan menyediakan bangunan shelter yang ramah terhadap bencana gempa dan tsunami. Dan evakuasi horizontal, dengan menyediakan jalan evakuasi tsunami. Pemahaman pemerintahan kotamadya dan Kabupaten yang berada di pantai barat pulau Sumatra, dalam memitigasi bencana tsunami ditunjukkan dalam bentuk kebijakan publik (peraturan daerah), dan merealisasikan pembangunan jalan evakuasi tsunami di jaringan jalan perkotaannya.

Padang memiliki populasi penduduk terpadat di provinsi Sumatera Barat yaitu 927.168 jiwa pada tahun 2018, sepertiga dari jumlah penduduk tersebut tinggal dikawasan pesisir (pantai) kota Padang, yang berisiko paling besar terhadap bencana tsunami. Untuk mitigasi bencana tsunami tersebut, dalam peraturan daerah tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) kota Padang, telah mencantumkan sebanyak enam zona jalan kota, menjadi jalan evakuasi tsunami. Pembangunan yang telah dilakukan pada jalan evakuasi tsunami tersebut, telah menjadikan jalan-jalan tersebut menjadi jalan yang favorit untuk dilewati oleh orang-orang dalam aktifitas lalu-lintas mereka. Akibatnya jalan evakuasi tsunami tersebut menjadi jalan perkotaan yang cepat bertumbuh. Hal tersebut diperlihatkan dengan semakin bertambahnya jumlah kegiatan dan ramainya orang-orang serta banyaknya jumlah kendaraan parkir dan berhenti di kedua sisi bagian jalan.

Artikel ini akan memberikan gambaran tentang pengaruh perubahan tata guna lahan yang ada di kedua sisi jalan evakuasi tsunami, terhadap kinerja jalan evakuasi tsunami. Metode kuantitatif dan kualitatif digunakan dalam menganalisis dan menilai perubahan aktifitas penduduk dan tata guna lahan di kedua sisi jalan evakuasi tsunami. Pedoman Manual Kapasitas Jalan Indonesia tahun 1997, dijadikan rujukan untuk menilai dari kinerja jalan tersebut

2. JALUR EVAKUASI DAN VOLUME LALULINTAS

Banyak peneliti (Alhadi, Z. (2014), Scheer, S., dkk. (2011), Ashar, F., dkk. (2019), Jokowiarno, D., (2011), Badan Standardisasi Nasional (2012)), telah melakukan penelitian tentang jalan evakuasi tsunami, baik tentang bagaimana menentukan dan memilih jalan evakuasi disuatu kota. Namun dari semua artikel dan buku yang menulis tentang jalur evakuasi tsunami tersebut, belum ada tulisan yang secara jelas dan tuntas menyebutkan parameter apa yang diperhitungkan atau digunakan dalam mendisain jalur evakuasi tsunami dan bagaimana mengevaluasi kinerja jalur evakuasi tsunami yang telah ada di berbagai kota.

Pemerintah Indonesia telah menerbitkan Standar Nasional, untuk menentukan jalur evakuasi Tsunami. Jalur Evakuasi adalah jalan atau lintasan yang dirancang untuk dilalui pada waktu evakuasi saat terjadi bencana (SNI 7766:2012 Jalur Evakuasi

Tsunami). Jalur evakuasi terdiri dari jalur evakuasi vertikal dan jalur evakuasi horizontal. Jalur evakuasi vertikal adalah jalur evakuasi dari tempat bahaya ke tempat aman berupa gedung dan bangunan bertingkat tinggi. Sedangkan jalur evakuasi horizontal adalah jalur perpindahan secara paralel menjauh dari tempat bahaya ke tempat aman. Syarat teknis jalur evakuasi tsunami menurut SNI 7766-2012: Pembuatan jalur evakuasi tsunami merupakan bagian dari perencanaan evakuasi; Di dalam proses perencanaan evakuasi, diperlukan jalur-jalur utama dan tambahan di dalam area rawan tsunami yang dilengkapi rambu-rambu evakuasi menuju daerah aman untuk digunakan di dalam pelayanan darurat; Jalur-jalur yang sudah teridentifikasi-dikenali harus dimasukkan kedalam peta dan menjadi bagian dari prosedur penyelamatan diri diikuti dengan penempatan rambu-rambu evakuasi.

Volume lalu lintas merupakan jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu dari satu segmen/ruas jalan selama waktu tertentu. Menurut Sukirman (1994), volume lalu lintas menunjukkan jumlah kendaraan yang melintasi satu titik pengamatan dalam satu satuan waktu (hari, jam, menit). Arus lalu lintas dihitung per interval waktu tertentu. Biasanya perhitungan arus lalu lintas dihitung per jam untuk satu atau lebih periode. Arus lalu lintas dikonversi dari satuan kend/jam (kendaraan per jam) menjadi smp/jam (satuan mobil penumpang/jam) dengan menggunakan ekivalen mobil penumpang. Volume jam puncak merupakan banyaknya kendaraan yang melewati suatu titik tertentu dari suatu ruas jalan selama satu jam pada saat terjadi arus lalu lintas yang terbesar dalam satu hari (Dirjen Bina Marga, 2014). Arus lalu lintas adalah jumlah kendaraan bermotor yang melewati suatu titik pada jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan/jam atau smp/jam (Dirjen Bina Marga, 1997). Sehubungan dengan penentuan jumlah dan lebar jalur, satuan volume lalu lintas yang umum dipergunakan adalah lalu lintas harian rata-rata, volume jam perencanaan dan kapasitas.

Faktor pertumbuhan lalu lintas dapat diperoleh dari hasil analisis data lalu lintas, perkembangan penduduk, pendapatan perkapita, rancangan induk daerah dan lain-lain. Namun mempertimbangkan besarnya lalu lintas yang akan terjadi pada kejadian bencana yang memerlukan jalur evakuasi, belum banyak dilakukan sebagai bagian asesmen jalur evakuasi yang telah ditetapkan atau dibangun.

3. METODOLOGI

Metode utama yang digunakan dalam studi ini adalah melakukan tinjauan terhadap jalan evakuasi tsunami yang ada di perkotaan. Jalan Evakuasi yang ada dan telah ditetapkan oleh pemerintah kotamadya ataupun kabupaten dijadikan sebagai contoh jalan yang dinilai, adapun tahapan yang dilakukan adalah:

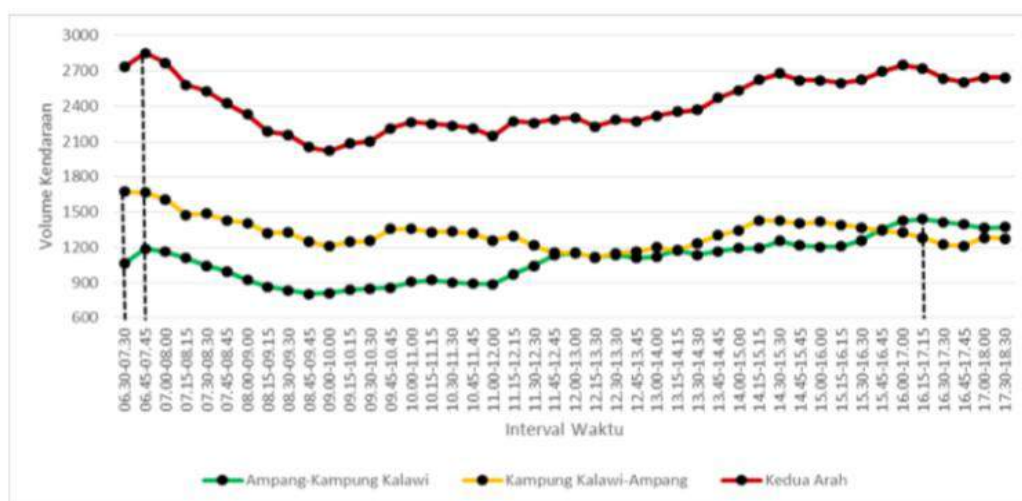
- Melakukan review pada beberapa literature mengenai jalur evakuasi tsunami.
- Mengumpulkan data volume kendaraan yang melewati ruas jalan dengan metode survey. Penempatan surveyor pada penelitian ini di satu titik di ruas jalan yang diteliti. Survey dilakukan pada hari kerja, selama 12 jam (06.30 - 18.30 WIB).
- Melakukan asesmen kinerja jalan, membandingkan volume dan kapasitas jalan.

- Melakukan pendataan jumlah pusat kegiatan/ aktifitas masyarakat disepanjang jalan evakuasi tersebut. Pusat adalah lokasi/ kawasan dimana kegiatan ditandai dengan relatif banyaknya masyarakat yang berkumpul dan beraktifitas di gedung/ kawasan tersebut. Contohnya adalah sekolah, kantor, pertokoan, dll.
- Memperkirakan jumlah masyarakat yang beraktifitas untuk setiap pusat kegiatan/ aktifitas yang ada di catchment area.
- Memperkirakan volume lalu lintas dan kinerja jalan untuk simulasi terjadi bencana yang memerlukan evakuasi menggunakan jalan evakuasi yang diteliti.

4. HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Kota Padang merupakan ibu kota Provinsi Sumatera Barat yang terletak di pesisir pantai barat pulau Sumatera yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Padang secara astronomis terletak pada $00^{\circ}44'$ dan $01^{\circ}08'$ Lintang Selatan serta $100^{\circ}05'$ dan $100^{\circ}34'$ Bujur Timur. Letak geografis dekat dengan pertemuan lempeng Indo Australia-Eurasia yang aktif bergerak. Pergerakan antar lempeng itu jika bertumbukan dapat memicu terjadinya gempa bumi yang berpotensi diikuti gelombang tsunami. Dan Berdasarkan catatan sejarah, kota Padang telah pernah dilanda dua kali gelombang tsunami pada tahun 1604 dan 1833.

Salah satu sektor yang menjadi lokasi penelitian ini adalah Jalan Raya Ampang Alai. Tipe jalan adalah empat lajur dua arah tidak terbagi (4/2UD). Pencatatan jumlah kendaraan yang lewat dilakukan di dua arah yang berbeda pada jalan yang dilakukan kajian (Jalan Raya Ampang). Pada kondisi normal (tidak terjadi tsunami) kondisi jam puncak (peak hour) diperhitungkan berdasarkan data hasil survey volume kendaraan yang dilaksanakan pada hari kerja yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Volume lalu lintas ruas jalan Raya Ampang.

Survey arus lalu lintas menunjukkan bahwa: jam puncak arah dari Ampang ke Kampung Kalawi pada jam 16.15-17.15 dengan volume kendaraan 1442 (smp/jam), jam puncak

arah dari Kampung Kalawi-Ampang pada jam 06.30-07.30 dengan volume kendaraan 1672 (smp/jam). Jam puncak total kedua arah pada jam 06.45-07.45 dengan volume kendaraan 2853 (smp/jam). persentase penggunaan moda terbesar didominasi oleh sepeda motor.

Selanjutnya dibuat beberapa asumsi dan simulasi kondisi jam puncak ketika terjadi tsunami. Asumsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: luas kawasan yang diprediksi akan menjadi catchment area dari jalur evakuasi, jumlah penduduk yang berada di catchment area, kepemilikan kendaraan bermotor, persebaran usia dari jumlah penduduk, dan jumlah kepala keluarga yang berdomisili di catchment area. Asumsi arah lalu lintas ketika terjadi evakuasi (arah arus lalu lintas menjadi satu arah). Catchment area untuk jalan yang diteliti diasumsikan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Prediksi catchment area yang akan melalui jalan evakuasi

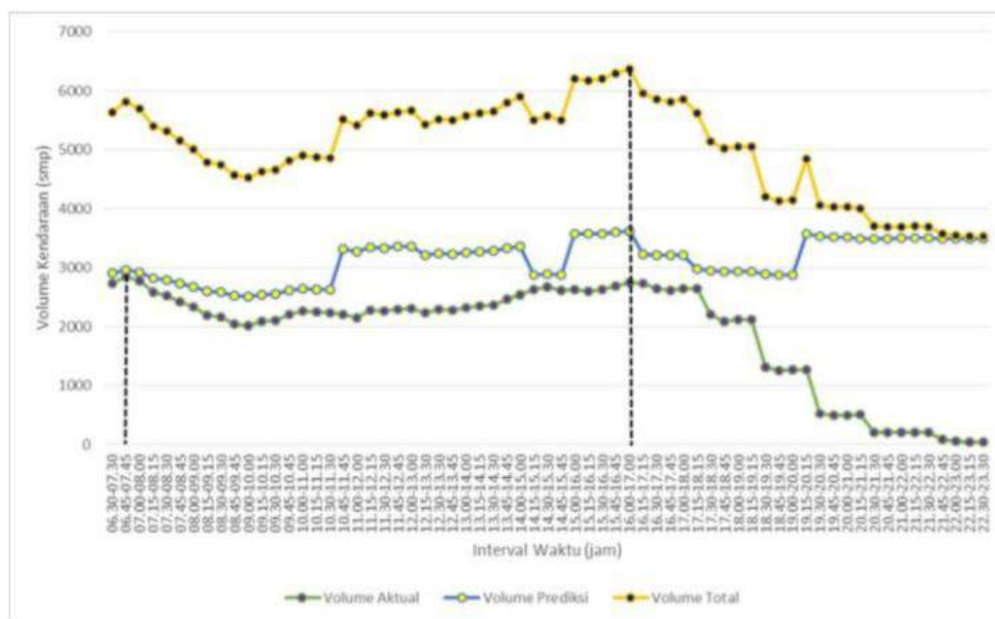
Ada beberapa kelurahan yang tidak diasumsikan dengan seluruh jumlah penduduk yang berdomisili di kelurahan tersebut. Hal ini disebabkan tidak semua wilayah yang berada di kelurahan tersebut masuk ke dalam catchment area.

Tabel 1. Jumlah Penduduk yang Berdomisili di Catchment Area

No	Kelurahan	Jumlah Penduduk (jiwa)	Luas Wilayah (km ²)	Jumlah KK/Kelurahan
1	Flamboyan	4817	0,43	393
2	Rimbo Kaluang	3905	0,42	319
3	Alai Parak Kopi	13125	1,37	1071
4	Ampang	6670	4,03	544

Asumsi yang dibuat untuk memperkirakan jumlah kendaraan yang akan melewati jalur evakuasi: Volume kendaraan yang melewati ruas jalan evakuasi diasumsikan dari total volume aktual dan volume prediksi dan jalan diasumsikan satu arah. Volume aktual adalah data volume yang didapat melalui hasil survey. Volume prediksi diasumsikan dengan kepemilikan kendaraan dan aktivitas yang berada di catchment area berdasarkan interval waktu tertentu. Aktivitas yang diasumsikan dalam prediksi adalah aktivitas yang disebabkan oleh pasar, kantor, sekolah, dll (wisata, kebetulan lewat dan

sebagainya). Jenis kendaraan yang diprediksi adalah sepeda motor dan kendaraan ringan. Berdasarkan perhitungan didapat volume aktual, volume prediksi dan volume total (jumlah volume aktual dan volume prediksi).



Gambar 3. Prediksi Volume Lalulintas jalur evakuasi dengan scenario terjadi bencana tsunami.

Berdasarkan simulasi untuk prediksi bencana yang bisa datang kapan saja, maka volume lalulintas total (jumlah volume aktual dan volume prediksi) didapat jam puncak pada saat terjadi tsunami yaitu jam 16.00-17.00 dengan volume 6.368 smp/jam dengan nilai derajat kejenuhan 1,19 dan indeks tingkat pelayanan jalan bernilai F, artinya kondisi arus dipaksakan, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas dan terdapat antrian panjang. Didapat nilai indeks tingkat pelayanan jalan mayoritas bernilai E dan F yang artinya volume kendaraan yang diprediksi akan lewat ketika terjadi tsunami sudah melebihi kapasitas yang dapat ditampung oleh jalan Raya Ampang-Alai-Kampung Kalawi.

Sedangkan arus lalu lintas dengan kondisi stabil terdapat pada malam hari (rentang pukul 18.30 – 23.30). Hal ini disebabkan tidak ada aktivitas lain dan kendaraan yang lewat diasumsikan hanya berdasarkan kepemilikan kendaraan penduduk yang berdomisili di *catchment area*. Mayoritas indeks tingkat pelayanan jalan pada malam hari di ruas jalan ini bernilai C dan D, artinya kondisi arus lalu lintas masih dapat dikatakan stabil.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang dibuatkan dapat disimpulkan untuk jalan evakuasi ruas jalan kajian sebagai berikut:

- Pada kondisi normal (tidak terjadi bencana), total arus lalu lintas untuk kedua arah nilai derajat kejenuhan adalah 0,53 dengan nilai ITP C, artinya kondisi arus lalu lintas masih dapat dikatakan stabil.
- Jika dengan skenario terjadi bencana pada periode waktu pukul 16.00-17.00, maka prediksi volume lalu lintas total (jumlah volume aktual dan volume prediksi) sekitar 6368 smp/jam dengan nilai derajat kejenuhan 1,19 dan indeks tingkat pelayanan jalan bernilai F, artinya volume kendaraan yang diprediksi akan lewat ketika terjadi tsunami sudah melebihi kapasitas yang dapat ditampung oleh jalan Raya Ampang-Alai-Kampung Kalawi, akan terjadi kemacetan panjang, yang berisiko bagi orang dan kendaraan untuk melakukan evakuasi di jalur tersebut..
- Perlu menjadi perhatian pada pihak pemerintah dan masyarakat bahwa pada periode 16.00-17.00 WIB kondisi jalan evakuasi menjadi kemacetan panjang jika masyarakat hanya melakukan evakuasi horizontal ke daerah ketinggian, diperlukan scenario alternatif untuk masyarakat dalam kondisi evakuasi tersebut.
- Penelitian ini terbuka untuk dilanjutkan dengan membuat scenario evakuasi yang lebih beragam dan diperlukan analisis yang lebih holistik lagi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Alhadi, Z. (2014), Kesiapan Jalur dan Lokasi Evakuasi Publik Menghadapi Resiko Bencana Gempa dan Tsunami di Kota Padang, Studi Manajemen Bencana, Universitas Negeri Padang, Padang. Vol XIII No.1.
- Ashar F., A Dilanthi, dan R Haigh (2014), The Analysis of Tsunami Vertical Shelter in Padang City, *Procedia Economics dan Finance*, 18, pp.916-923 ISSN 2212-5671.
- Ashar, F., Amaratunga, D., Sridarran, P., Haigh, R. 2019. Chapter 18 - Practices of Tsunami Evacuation Planning in Padang, Indonesia, *Coastal Management 2019*, pp.399-433, Academic Press, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810473-6.00019-4>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Potensi dan Ancaman Bencana, <https://www.bnpb.go.id/home/potensi>, diakses 5 Oktober 2018.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, (2012), Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Padang tahun 2010-2030, Pemerintahan Kota Padang.
- Badan Pusat Statistik Kota Padang, (2016, 2017). Kota Padang Dalam Angka, Padang, Badan Pusat Statistik Kota Padang.
- Badan Pusat Statistik Kota Padang. (2017). Kecamatan Padang Utara Dalam Angka, Padang, Badan Pusat Statistik Kota Padang.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 7743:2011: Rambu Evakuasi Tsunami. Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.

- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 7766:2012: Jalur Evakuasi Tsunami. Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- Bandar Standardisasi Nasional, (2004). RSNI: Standar Geometrik Jalan Perkotaan. Bandar Standardisasi Nasional.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, (1997). Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Jakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga, (2014), Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI). Jakarta.
- GeoHazards International, (2018), Gambaran konseptual Taman Evakuasi Tsunami untuk Padang, Indonesia <http://www.geohaz.org/designing-a-tsunami-eva> diakses 17 Januari 2018.
- Jokowinarno, Dwi., (2011), Mitigasi Bencana Tsunami di Wilayah Pesisir Lampung, Jurnal Rekayasa Vol. 15 No. 1
- Law, A.M., and Kelton, W.D., (1991), Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill, New York.
- NIST/SEMATECH, e-Handbook of Statistical Methods, What are the basic steps for developing an effective process model?, <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmd/section4/pmd41.htm>, diakses: 5 Oktober 2018.
- Pemerintah Indonesia, (2007), Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana. Jakarta.
- S. Scheer, A. Gardi, R. Guillande, G. Eftichidis, V. Varela, B. de Vanssay, L. Colbeau-Justin., (2011). Handbook of Tsunami Evacuation Planning, Scientific and Technical Reports : Italy

ANALISA ARUS LALU LINTAS MENERUS ZONA KOMERSIL (Studi Kasus : Jl. Radin Intan Kota Bandar Lampung)

Aditya Mahatidanar Hidayat¹, Tiara Noviri Kristin², Dian Anggraini²

¹Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bandar Lampung

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bandar Lampung

Email : adityamahatidanar@ubl.ac.id, tiara.15311037@student.ubl.ac.id,

dian.15311036@student.ubl.ac.id

ABSTRACT

Bandar Lampung City is an activity center that functions as a service, production, distribution of goods as well as being the entrance or knot of transportation for the surrounding area. The urban transportation system needed is a transportation system that is able to facilitate the movement of people and / or goods to go in and out of urban areas as well as serving community activities in their own cities. The study of the analysis of the causes of road congestion in the city center of Bandar Lampung, especially from Jalan Raden Intan Tanjung Karang Bandar Lampung, will carry out good traffic flow planning in accordance with the wishes of the community by looking at the impact of vehicle performance on peak hours when density covers roads and identifies traffic from Jalan Raden Intan Tanjung Karang. Based on the results of the analysis that has been carried out, it can be concluded that the percentage comparison between continuous flows and sumping barriers that affect the surrounding, among others vehicles exiting and / or entering on weekday is 12% and weekend ratio is 13.8%.

Keywords : Traffic, Side Barriers, Continuous Zones

ABSTRAK

Kota Bandar Lampung adalah pusat kegiatan yang berfungsi sebagai layanan, produksi, distribusi barang serta menjadi pintu masuk atau simpul transportasi untuk daerah sekitarnya. Sistem transportasi perkotaan yang dibutuhkan adalah sistem transportasi yang mampu memfasilitasi pergerakan orang dan / atau barang untuk keluar masuk kota serta melayani kegiatan masyarakat di kota mereka sendiri. Studi tentang analisis penyebab kemacetan jalan di pusat kota Bandar Lampung, terutama dari Jalan Raden Intan Tanjung Karang Bandar Lampung, akan melaksanakan perencanaan arus lalu lintas yang baik sesuai dengan keinginan masyarakat dengan melihat dampak dari Kinerja kendaraan pada jam-jam sibuk ketika kepadatan meliputi jalan dan mengidentifikasi lalu lintas dari Jalan Raden Intan Tanjung Karang. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa persentase perbandingan antara aliran kontinu dan hambatan sampung yang mempengaruhi sekitarnya, antara lain kendaraan yang keluar dan masuk pada hari kerja adalah 12% dan rasio akhir pekan adalah 13,8 %.

Kata Kunci : Lalu Lintas, Hambatan Sampung, Zona Berkelanjutan

1. PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas disebabkan oleh ketidakseimbangan antara peningkatan kepemilikan kendaraan dan pertumbuhan prasarana jalan yang tersedia serta kapasitas efektif ruas jalan yang ada lebih kecil dari kapasitas jalan yang direncanakan akibat adanya hambatan di tepi jalan. Hambatan di tepi jalan tersebut sering kali terkait dengan adanya aktivitas sosial dan ekonomi, yaitu adanya parkir di badan jalan (on street parking) yang dikarenakan terdapat pertokoan yang berada di ruas jalan tersebut, sarana angkutan umum yang menurunkan penumpang di sembarang tempat serta lalu lalang orang untuk menyebrang yang menyebabkan kapasitas jalan mengalami penurunan. Sejalan dengan hal tersebut maka aktivitas perjalanan atau transportasi pada ruas Jl. Raden Intan Bandar Lampung juga semakin meningkat. Ruas Jl. Raden Intan Bandar Lampung merupakan salah satu ruas jalan yang cukup padat lalu lintasnya. Hal ini mengakibatkan banyaknya penjual dan pembeli, serta kendaraan yang lewat atau berhenti untuk parkir di ruas jalan tersebut. Parkir yang berada di badan jalan sangat mengganggu kelancaran lalu lintas. Jalan yang seharusnya digunakan untuk arus lalu lintas tersita untuk parkir. Selain itu banyaknya pedagang kaki lima yang berjualan di trotoar yang seharusnya digunakan untuk pejalan kaki, serta banyaknya akses keluar masuk toko sepanjang jalan. Khusus perjalanan dalam kota di Jalan Raden Intan Tanjung Karang Bandar Lampung, jumlah-jumlah perjalanan terbanyak umumnya terjadi di pagi hari dan sore hari dimana orang banyak melakukan aktivitas di waktu-waktu tersebut. Seperti pergi ke sekolah maupun ketempat kerja mereka. Pada umumnya setiap orang ingin sampai pada tujuan mereka dengan tepat waktu pada pagi hari. Namun akibat perjalanan yang dilakukan secara serentak maka terjadi arus lalu-lintas yang padat membuat penulis ingin menganalisis apa penyebab kemacetan tersebut. Munawar (2011) berpendapat bahwa untuk menentukan titik-titik optimal yang menimbulkan kemacetan dan membaginya ke-beberapa segmen untuk mengetahui jarak (s) dan waktu (t) yang dilakukan selama beberapa kali putaran dalam kurun waktu tertentu di sepanjang jalan penelitian di waktu pagi hari agar mengetahui kecepatan pada kendaraan dan mencari tahu dimana tundaan yang mengakibatkan kemacetan di setiap segmen sehingga waktu yang ditempuh untuk sampai ditempat yang dituju menjadi lebih lama. Kemacetan di dapat karena adanya faktor ketidak teraturan lalu-lintas kendaraan tersebut, oleh karena itu, ketidak teraturan lalu-lintas diperlukan suatu penataan jalur lalu lintas seperti ruas jalan, peraturan lalu-lintas dari pihak terkait mengenai kendaraan, pengoptimalan jembatan penyebrangan yang baik oleh masyarakat agar semuanya bias berjalan dengan baik. Dari penataan lalu lintas yang baik akan memberikan keamanan, kenyamanan dan kemudahan pergerakan bagi pejalan kaki, pe-sepeda dan pengendara kendaraan bermotor dan mobil serta angkutan umum. Pengaruh hambatan samping tersebut terjadi pula pada jalan-jalan nasional. Jalan nasional sendiri merupakan sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan antar ibukota provinsi. Sehingga seharusnya ruas jalan yang dibutuhkan harus sesuai dengan ruas yang ada tanpa terganggu oleh hambatan samping. Seperti pada ruas Jalan Gramedia Raden Intan sampai Tugu Adipura yang telah ditetapkan sebagai jaringan jalan nasional bukan tol. Namun pada kenyataannya tingkat hambatan samping justru membuat ruas jalan yang digunakan menjadi tidak maksimal dengan keadaan jalan yang tidak mengalami perkembangan atau tetap.

2. METODE PENELITIAN

Menurut Tamin (2008) penelitian terkait kinerja jalan terbagi menjadi 4 tahapan yaitu perencanaan, persiapan, dan pelaksanaan, selanjutnya pengolahan data.

a. Perencanaan

Untuk mendapatkan data yang mendukung survey dapat di bagi jenis – jenis survey yang dipilih dengan 3 kriteria yaitu secara teknis data yang diperoleh harus tepat (dapat mengukur variabel yang diinginkan) dan dengan validitas yang tinggi. Secara ekonomi survey tersebut harus murah (biaya, tenaga dan waktu). Di lain pihak survey harus memenuhi syarat lingkungan, dengan demikian gangguan terhadap lingkungan ditimbulkan harus seminimal mungkin. Lingkungan ini dapat berupa manusia (dan makhluk hidup lainnya), atau jalan (dan benda mati lainnya). Sedapat mungkin dihindari survey yang melibatkan dan mengganggu masyarakat.

b. Persiapan

Tahapan ini dilakukan agar pelaksanaan survey dapat dijalankan dengan baik, kegiatan yang dilakukan antara lain mempersiapkan berbagai berkas surat izin penelitian, menentukan lokasi pengamat pada suatu titik pada ruas jalan, menentukan waktu survey dan periode pengamatan, mempersiapkan alat – alat penelitian dan pengujian bekerjanya alat.

c. Pelaksanaan

Arus lalulintas selalu berubah sepanjang hari, banyaknya kendaraan yang lewat pada suatu tempat atau titik pada sore hari akan berbeda di waktu tengah malam atau pagi harinya. Perbedaan arus lalulintas ini disebut dengan fluktuasi arus lalu lintas.

- 1) Pencatatan arus lalulintas kendaraan dilakukan saat jam puncak di pagi hari dan sore hari. Dari hasil pencatatan selanjutnya dikelompokkan pola arus lalulintas harian yang terjadi. Data LHR tercatat yang diperoleh dipakai untuk penghitungan pendekatan keadaan rata-rata wilayah sesaat. Waktu penelitian dilakukan mulai dari pukul 06.00-18.00 WIB (hari pertama) dan pukul 09.00-21.00 WIB (hari kedua), pengambilan data LHR selama 2 hari pada hari Senin dan Sabtu dikarenakan pada Jalan Raden Intan Tanjung Karang, arus kendaraan selama hari kerja dianggap memiliki arus yang stabil pada kondisi cuaca normal.
- 2) Pengambilan data kecepatan space mean speed diambil pada saat jam puncak pagi, siang dan sore.

d. Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan rangkaian perhitungan operasional ruas jalan dan persimpangan yang mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia tahun (MKJI) Februari 1997. Pengolahan dan penyajian data disesuaikan dengan teknik analisis yang dilakukan. Pengolahan data dan analisis karakteristik lalulintas ditampilkan dalam bentuk

tabel atau grafik. Data lintas harian rata-rata kendaraan (LHR), volume arus bebas, besar hambatan samping ditampilkan dalam bentuk tabel sehingga mempermudah analisis kondisi karakteristik lalulintas. Ruas jalan meliputi:

- 1) Arus lalulintas.
- 2) Kapasitas kendaraan.
- 3) Kecepatan perjalanan

Pada penelitian ini bentuk kinerja ruas jalan diukur dari nilai derajat kejenuhan (DS) atau V/C rasio. Penyajian data yang digunakan yakni dengan menganalisa hasil perhitungan parameter kinerja ruas jalan yang selanjutnya ditetapkan titik-titik yang dipilih menjadi lokasi yang akan ditangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini membahas mengenai hasil pengolahan data dengan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) (1997) untuk menghasilkan kinerja Jalan Radin Intan

a. Volume Arus Lalu Lintas

Data yang diambil 12 jam waktu (Pagi, Siang, Sore) dengan waktu 15 menitan penggolongan jenis kendaraan sesuai dengan Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997 (MKJI, 1997), yaitu untuk kendaraan Light Vehicle (LV) atau kendaraan ringan, Heavy Vehicle (HV) atau kendaraan berat, dan Motor Cycle (MC) atau sepeda motor:

Untuk lebih jelasnya pengumpulan data dan pengolahan data volume dapat dilihat sebagai berikut :

- 1) Volume Arus Lalu Lintas (Q) pada *Weekday* (Hari Senin)
 - a) Jam puncak pagi (08.00-08.15) sebesar 4982,8 smp/jam
 - b) Jam puncak siang (12.45-13.00) sebesar 4031,6 smp/jam
 - c) Jam puncak sore (17.15-17.30) sebesar 3717,2 smp/jam
- 2) Volume Arus Lalu Lintas (Q) pada *weekend* (Hari Sabtu)
 - a) Jam puncak pagi (09.00-10.15) sebesar 3520 smp/jam
 - b) Jam puncak siang (14.15 - 14.30) sebesar 4273,2 smp/jam
 - c) Jam puncak malam (20.00-20.15) sebesar 4621,2 smp/jam

3) Kapasitas

Untuk menghitung kapasitas jalan adalah dengan menggunakan rumus

$$c = c_o \times f_{cw} \times f_{csp} \times f_{cfsf} \times f_{ccs}$$

Maka diperoleh Kapasitas Sebagai Berikut :

- a) Hari Senin
 - i. Jam puncak pagi sebesar 5575,7 smp/jam
 - ii. Jam puncak siang sebesar 6019,2 smp/jam
 - iii. Jam puncak sore sebesar 6019,2 smp/jam
- b) Hari Sabtu
 - i. Jam puncak pagi sebesar 6019,2 smp/jam
 - ii. Jam puncak siang sebesar 6019,2 smp/jam

iii. Jam puncak malam sebesar 5575,7 smp/jam

4) Derajat Kejenuhan

a) Hari Senin

- i. Jam puncak pagi (pukul 08.00-08.15) $DS = \frac{4982,8}{5575,7} = 0,89 > 0,75$
termasuk LOS D (level of service = D) dapat diartikan kinerja ruas jalan tersebut mengalami arus mulai tidak stabil, kecepatan rendah dan berbeda-beda, volume mendekati kapasitas.
- ii. Jam puncak siang (pukul 12.45-13.00) $DS = \frac{4031,6}{6019,2} = 0,67 < 0,75$
termasuk LOS B dapat diartikan kinerja ruas jalan tersebut mengalami arus stabil, kecepatan sedikit terbatas oleh lalu lintas, pengemudi masih dapat bebas dalam memilih kecepatannya.
- iii. Jam puncak sore (pukul 17.15.-17.30) $DS = \frac{3717,2}{6019,2} = 0,62 < 0,75$
termasuk LOS B dapat diartikan kinerja ruas jalan tersebut mengalami arus stabil, kecepatan sedikit terbatas oleh lalu lintas, pengemudi masih dapat bebas dalam memilih kecepatannya.

b) Hari Sabtu

- i. Jam puncak pagi (pukul 11.00-11.15) $DS = \frac{3520}{6019,2} = 0,58 < 0,75$
termasuk LOS A dapat diartikan kinerja ruas jalan tersebut mengalami arus bebas dengan kecepatan tinggi, pengemudi dapat memilih kecepatan yang diinginkan tanpa hambatan.
- ii. Jam puncak siang (pukul 16.00-16.15) $DS = \frac{4273,2}{6019,2} = 0,71 > 0,75$
termasuk LOS C dapat diartikan kinerja ruas jalan tersebut mengalami arus stabil, kecepatan dapat dikontrol oleh lalu lintas.
- iii. Jam puncak malam (pukul 20.00-20.15) $DS = \frac{4621,2}{5575,7} = 0,83 > 0,75$
termasuk termasuk LOS D dapat diartikan kinerja ruas jalan tersebut mengalami arus mulai tidak stabil, kecepatan rendah dan berbeda-beda, volume mendekati kapasitas.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian dengan judul “Analisa Arus Lalu Lintas Menerus Zona Komersil” yaitu sebagai berikut :

- 1) Volume Arus Lalu lintas pada *weekday* (Hari Senin) adalah pada siang hari yaitu pada jam puncak siang (12.45-13.00) sebesar 4031,6 smp/jam dan Volume arus lalu lintas pada *weekend* (Hari Sabtu) yaitu pada Jam puncak malam (20.00-20.15) sebesar 4621,2 smp/jam
- 2) Kapasitas Jalan Radin Intan terbesar pada *weekday* (Hari Senin) adalah 6019,2 smp/jam pada siang hari dan pada *weekend* (Hari Sabtu) adalah 5575,7 smp/jam pada malam hari

- 3) Derajat Kejenuhan yang terjadi di Jalan Radin Intan yang paling tertinggi pada Siang hari diwaktu *weekday* (Hari Senin) sebesar 0,67 dan pada *weekend* (Hari Sabtu) sebesar 0,83
 - 4) Perbandingan Arus Menerus dengan Hambatan Samping yang ada di Jalan Radin Intan pada Hari Senin adalah 12% dan pada Hari Sabtu adalah 13,8 %
- b. Saran
- 1) Perlu adanya penertiban kendaraan yang parkir sembarangan di badan jalan.
 - 2) Pengoptimalan pedagang kaki lima di pinggir Jl. Raden Intan.
 - 3) Pemberian sanksi tegas oleh pemerintah kepada pengguna kendaraan yang parkir di badan agar memberikan efek jera.
 - 4) Diadakannya pembangunan jembatan penyebrangan agar pejalan kaki yang lalu-lalang bisa mendapatkan akses yang lebih mudah

5. DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jendral Bina Marga. 1997. Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Bina Karya. Jakarta
- Munawar, Ahmad. 2011. Dasar – dasar Teknik Transportasi. Beta Offsest. Yogyakarta
- Tamin, O.Z. 2008. Perencanaan, Pemodelan, dan Rekayasa Transportasi. ITB. Bandung

STUDI KOMPARASI AKSESIBILITAS DAERAH WISATA DI KABUPATEN PASAMAN

Endang Susumaningsih¹, Purnawan², Yossyafra³

¹Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: sesumaningsih@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: purnawan@eng.unand.ac.id

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: yossyafra@ft.unand.ac.id

ABSTRACT

In the Pasaman district there are three known tourist objects namely the Equator Bonjol attraction, the Puncak Tonang tourist attraction and the Air Panas Rimbo Panti tourist attraction. One important factor that influences tourists visiting a tourist attraction is accessibility to the tourist attraction. This study aims to conduct a comparative study of the accessibility of tourist areas in Pasaman district. Data analysis uses scoring technique with *struges* model formula. The results showed that the accessibility to the Air Panas Rimbo Panti attraction is easier to reach than the Puncak Tonang attraction and the Equator Bonjol attraction. meanwhile, the Equator Bonjol attraction is more difficult to reach than the Air Panas Rimbo Panti tourist attraction but easier to reach than the Puncak Tonang tourist attraction. and the tourist attraction of Puncak Tonang turns out to be more difficult to reach compared to the tourist attraction Equator Bonjol and the Air Panas Rimbo Panti tourist attraction.

Keywords: accessibility, attractions, markets, easy, difficult

ABSTRAK

Di kabupaten Pasaman terdapat tiga objek wisata yang dikenal yaitu objek wisata Equator Bonjol, objek wisata Puncak Tonang dan objek wisata Air Panas Rimbo Panti. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi wisatawan mengunjungi sebuah atraksi wisata adalah aksesibilitas menuju objek wisata tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi komparasi aksesibilitas daerah wisata di kabupaten Pasaman. Analisa data menggunakan teknik skoring dengan rumus model *Struges*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aksesibilitas menuju objek wisata Air Panas Rimbo Panti lebih mudah dijangkau di bandingkan objek wisata Puncak Tonang dan objek wisata Equator Bonjol. Sedangkan, objek wisata Equator Bonjol lebih sulit di jangkau dibandingkan objek wisata Air Panas Rimbo Panti namun lebih mudah di jangkau dibandingkan objek wisata Puncak Tonang. Dan objek wisata Puncak Tonang ternyata lebih sulit di jangkau dibandingkan objek wisata Equator Bonjol dan objek wisata Air Panas Rimbo Panti.

Kata Kunci : aksesibilitas, objek wisata, pasaman, mudah, sulit

1. PENDAHULUAN

Provinsi Sumatera Barat terdiri dari 12 kabupaten dan 12 kotamadya salah satu kabupaten tersebut adalah kabupaten Pasaman. Secara geografis kabupaten Pasaman

berbatasan dengan kabupaten Mandailing Natal Propinsi Sumatera Utara di bagian utara, kabupaten Agam di bagian selatan, Propinsi Riau dan kabupaten Lima Puluh Kota di bagian timur (BPS Kabupaten Pasaman, 2018).

Di kabupaten pasaman terdapat tiga objek wisata yang dikenal yaitu pertama; objek wisata Equator Bonjol yang berlokasi di jalur garis kartulistiwa kecamatan Bonjol yang melintasi kabupaten Pasaman. Kedua; objek wisata Puncak Tonang merupakan objek wisata yang terletak di kecamatan Lubuk Sikaping dan yang ketiga; objek wisata Air Panas Rimbo Panti yang terletak di kawasan cakar alam kecamatan Panti. Ketiga objek wisata ini memiliki keindahan dan keunikan tersendiri untuk menarik wisatawan, namun tidak hanya keindahan dan keunikan saja yang menjadi daya tarik wisatawan mengunjungi sebuah objek wisata, ada faktor penting yang mempengaruhi wisatawan dalam mengunjungi sebuah atraksi wisata adalah aksesibilitas menuju objek wisata tersebut. Aksesibilitas merupakan kemampuan untuk mencapai suatu tujuan tertentu, dapat lebih mudah atau lebih sulit menjangkaunya (Spillane, 1997). Untuk itu alternatif jalan, kondisi jalan, jarak tempuh, waktu tempuh, alat transportasi dan biaya kunjungan wisata sangatlah penting karena wisatawan berkunjung akan memperhatikan variabel aksesibilitas tersebut. Semakin bagus aksesibilitas menuju sebuah atraksi wisata maka akan meningkatkan minat wisatawan untuk mengunjungi objek wisata tersebut. namun, dibidang pariwisata aksesibilitas belum sepenuhnya di selidiki walaupun aksesibilitas sudah dianggap sebagai salah satu faktor penting yang mempengaruhi daya tarik tujuan wisata (Lew 1987; Reinius & Fredman 2007; Wang & Davidson 2010; Kahtani 2011). Dan setiap objek wisata memiliki tingkat aksesibilitas yang berbeda-beda pula.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Pengertian Aksesibilitas

Aksesibilitas merupakan kemampuan untuk mencapai suatu tujuan tertentu, dapat lebih mudah atau lebih sulit menjangkaunya (Spillane, 1997; Mustofa 2018). Sedangkan menurut Black (1981; Mustofa 2018) aksesibilitas adalah suatu ukuran kenyamanan atau kemudahan mengenai cara lokasi tataguna lahan berintegrasikan satu sama lain dan mudah atau susahnya lokasi tersebut di capai melalui sistem jaringan transportasi.

2.2 Pengertian Pariwisata dan Objek Wisata

Definisi pariwisata dalam Undang-Undang No. 10 Tahun 2009 tentang kepariwisataan dijelaskan bahwa wisata adalah kegiatan perjalanan yang dilakukan oleh seseorang atau sekelompok orang dengan mengunjungi tempat tertentu untuk tujuan rekreasi, pengembangan pribadi, atau mempelajari keunikan daya tarik wisata yang dikunjungi dalam jangka waktu sementara. Sedangkan pariwisata adalah berbagai macam kegiatan wisata dan didukung berbagai fasilitas serta layanan yang disediakan oleh masyarakat, pengusaha, pemerintah dan pemerintah daerah.

Menurut Suwanto dalam Mustofa (2018) objek wisata adalah potensi yang menjadi pendorong kehadiran wisatawan kesuatu daerah tujuan wisata, antara lain karena

keindahan alam, iklim, pemandangan, flora dan fauna, hutan dan lain-lainya, serta objek ciptaan manusia seperti monument dan bangunan candi.

2.3 Variabel Aksesibilitas

Alternatif Jalan

Menurut Undang-Undang No 13 tahun 1980 tentang jalan, jalan adalah suatu prasaranan penghubungan darat dalam bentuk ataupun meliputi bagian jalan termasuk bangunan pelengkap dan pelengkapannya yang diperuntukkannya bagi lalu lintas

Kondisi Jalan

Dalam Kementerian Pekerjaan Umum (2016) kondisi jalan adalah kondisi jalan termasuk jenis fasilitasnya, penyusun material jalan, nomor dan lebar jalur, lebar bahu, ruang bebas lateral, desain kecepatan dan alinyemen horizontal dan vertikal.

Material jalan

Menurut Sukirman dalam Mustofa (2018) material jalan adalah penyusun yang menjadi bahan pada lapisan jalan, baik tanah, beton ataupun aspal.

Medan Jalan

Klasifikasi medan jalan menurut tata cara perencanaan geometrik jalan antar kota (1997) medan jalan terdiri atas : datar dengan kemiringan jalan $< 3 \%$, bergelombang dengan kemiringan jalan $3-25 \%$, dan terjal dengan kemiringan jalan $> 25 \%$.

Waktu Tempuh dan Jarak Tempuh

Jarak adalah sesuatu yang harus ditempuh dari suatu lokasi menuju lokasi lain dan dinyatakan dalam satuan kilometer. Sedangkan waktu tempuh adalah seluruh saat ketika berlangsungnya suatu proses ukurannya adalah detik, menit, jam, hari, pekan, bulan dan seterusnya (Mustofa, 2018)

Alat Transportasi

Menurut Salim dalam Mustofa (2018) alat transportasi adalah kendaraan tertentu yang digunakan untuk kegiatan pemindahan dan mobilitas, muatan atau penumpang dari suatu tempat ke tempat lain.

Biaya Kunjungan Wisata

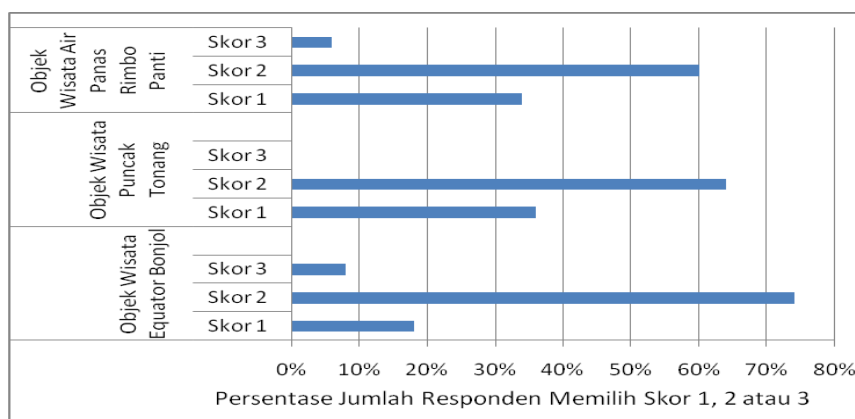
Biaya kunjungan wisata adalah keseluruhan satuan uang yang dibayarkan secara perorangan atau kelompok pada saat mengunjungi objek wisata (Mustofa, 2018)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan pada objek wisata Equator Bonjol, objek wisata Puncak Tonang dan objek wisata Air Panas Rimbo Panti di kabupaten Pasaman. Dengan variabel penelitian terdiri atas alternatif jalan, kondisi jalan, jarak tempuh, waktu tempuh, alat transportasi dan biaya kunjungan wisata. Agar terukurnya aksesibilitas maka ditentukan skor untuk masing-masing parameter aksesibilitas tersebut yaitu nilai skor 1, 2 dan 3 artinya semakin tinggi skor yang dipilih oleh responden maka semakin bagus tingkat aksesibilitasnya dan semakin rendah nilai skor yang dipilih maka semakin buruk aksesibilitas menuju objek wisata tersebut. Sampel yang diambil dalam penelitian ini adalah 50 responden pada setiap objek wisata yang diteliti. Dengan menggunakan teknik skoring rumus *Struges*. Berdasarkan teknik dan rumus tersebut maka diperoleh hasil penelitian adalah sebagai berikut :

1. Variabel Aksesibilitas Alternatif Jalan

Pada variabel aksesibilitas alternatif jalan diperoleh hasil dominan responden memilih skor 2, dimana persentase jumlah responden terbesar pada objek wisata Equator Bonjol kemudian pada objek wisata Puncak Tonang dan terakhir pada objek wisata Air Panas Rimbo Panti, terlihat pada Gambar 1. Dan persentase terkecil responden memilih skor 3, terlihat pada objek wisata Puncak Tonang, kemudian pada objek wisata Air panas Rimbo Panti dan terakhir objek wisata Equator Bonjol.

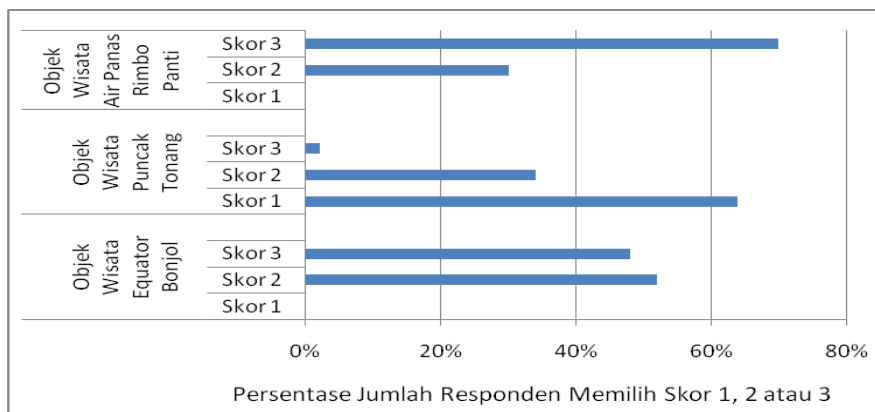


Gambar 1. Perbandingan Variabel Aksesibilitas Alternatif Jalan

2. Variabel Aksesibilitas Kondisi Jalan

Fisik Jalan

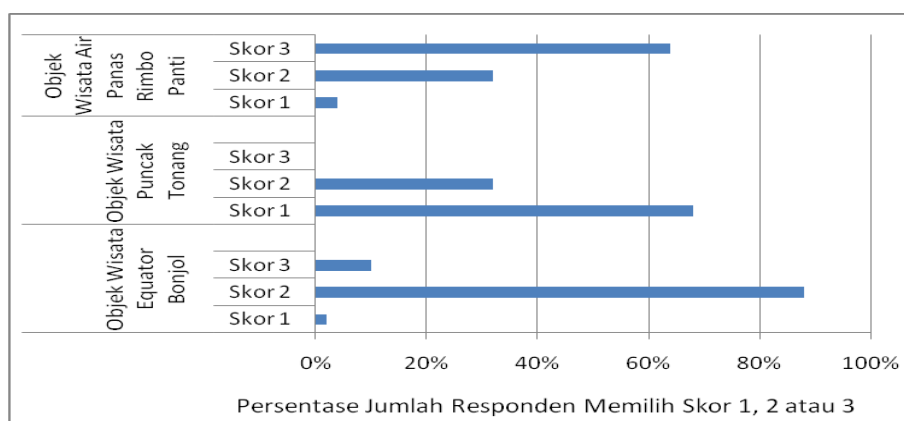
Pada Gambar 2. Terlihat variabel aksesibilitas fisik jalan dimana pada objek wisata Air Panas Rimbo Panti persentase terbesar responden memilih skor 3 dan yang terkecil memilih skor 1, kemudian pada objek wisata Puncak Tonang persentase terbesar responden memilih skor 1 dan yang terkecil memilih skor 3, dan untuk objek wisata Equator Bonjol persentase terbesar responden memilih skor 2 dan yang terkecil memilih skor 1.



Gambar 2. Perbandingan Variabel Aksesibilitas Fisik Jalan

Medan Jalan

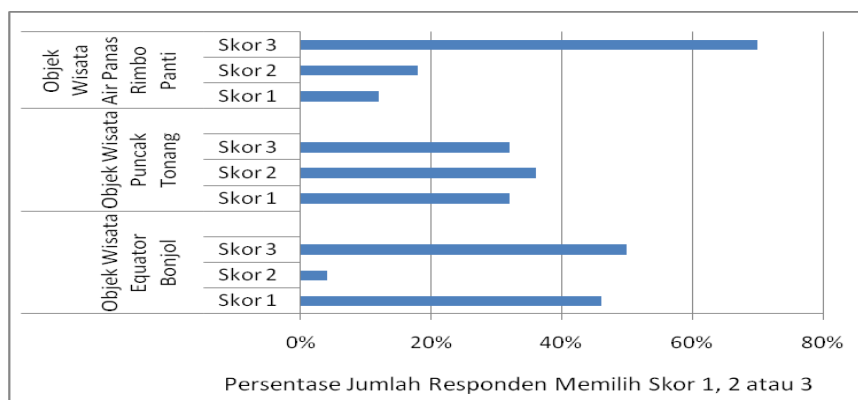
Pada variabel aksesibilitas medan jalan terlihat bahwa pada objek wisata Air Panas Rimbo Panti persentase terbesar responden memilih skor 3 dan yang terkecil memilih skor 1, kemudian pada objek wisata Puncak Tonang persentase terbesar responden memilih skor 1 dan yang terkecil memilih skor 3. Dan pada objek wisata Equator Bonjol persentase terbesar responden memilih skor 2 dan yang terkecil memilih skor 1. Lihat Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan Variabel Aksesibilitas Medan Jalan

3. Variabel Aksesibilitas Waktu Tempuh

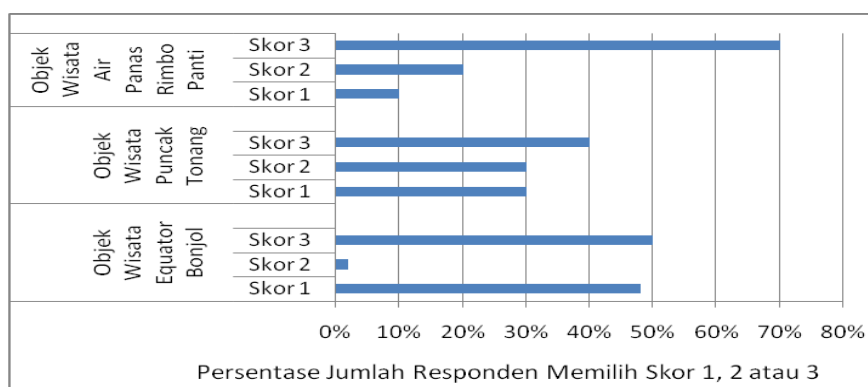
Pada Gambar 4. Terlihat bahwa variabel aksesibilitas waktu tempuh pada objek wisata Air Panas Rimbo Panti persentase terbesar responden memilih skor 3 dan yang terkecil memilih skor 1, kemudian pada objek wisata Puncak Tonang persentase terbesar responden memilih skor 2 dan terdapat persentase yang sama memilih skor 1 dan 3. Dan pada objek wisata Equator terdapat persentase terbesar responden memilih skor 3 dan yang terkecil memilih skor 2.



Gambar 4. Perbandingan Variabel Aksesibilitas Waktu Tempuh

4. Variabel Aksesibilitas Jarak Tempuh

Pada variabel aksesibilitas jarak tempuh terlihat pada Gambar 5, dimana pada objek wisata Air Panas Rimbo Panti persentase terbesar responden memilih skor 3 dan terkecil responden memilih skor 1, kemudian pada objek wisata Puncak Tonang persentase terbesar responden memilih skor 3 dan terdapat persentase yang sama memilih skor 1 dan 2. Dan pada objek wisata Equator Bonjol terdapat persentase terbesar responden memilih skor 3 dan yang terkecil memilih skor 2.

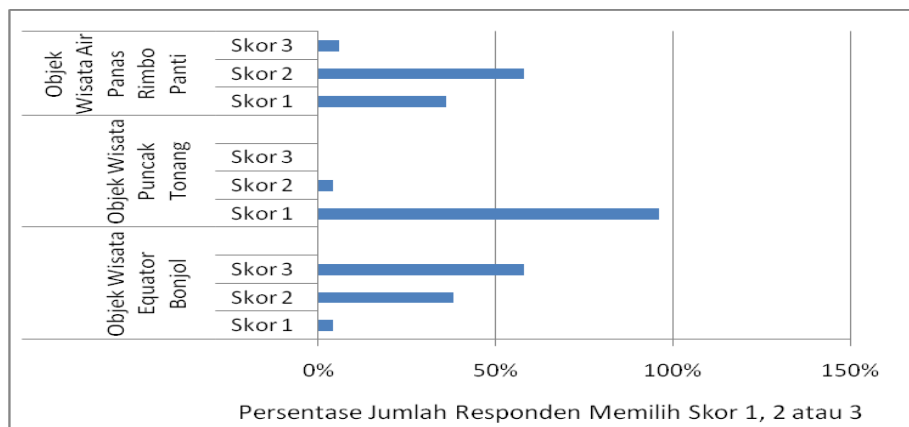


Gambar 5. Perbandingan Variabel Aksesibilitas Jarak Tempuh

5. Variabel Aksesibilitas Alat Transportasi

Ketersediaan Layanan Angkutan Umum

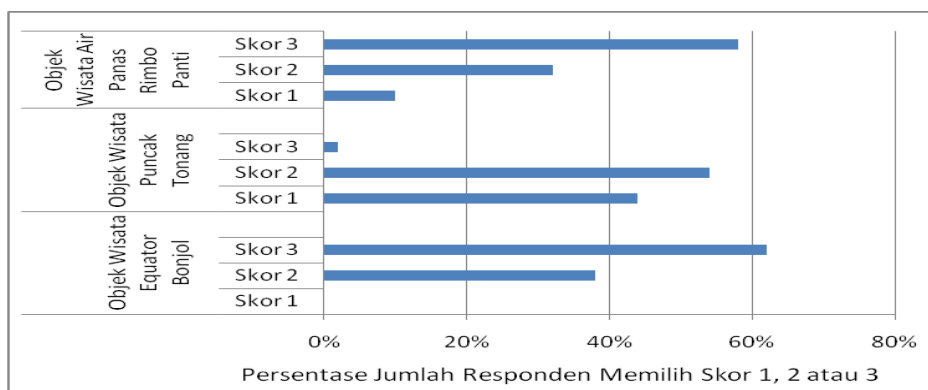
Pada variabel aksesibilitas ketersediaan layanan angkutan umum dimana pada objek wisata Air Panas Rimbo Panti persentase terbesar responden memilih skor 2 dan yang terkecil memilih skor 3, kemudian pada objek wisata Puncak Tonang persentase terbesar responden memilih skor 1 dan yang terkecil memilih skor 3. Dan pada objek wisata Equator Bonjol persentase terbesar responden memilih skor 3 dan yang terkecil memilih skor 1. Lihat pada Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Perbandingan Variabel Aksesibilitas Ketersediaan Layanan Angkutan

Pilihan Kendaraan Tersedia

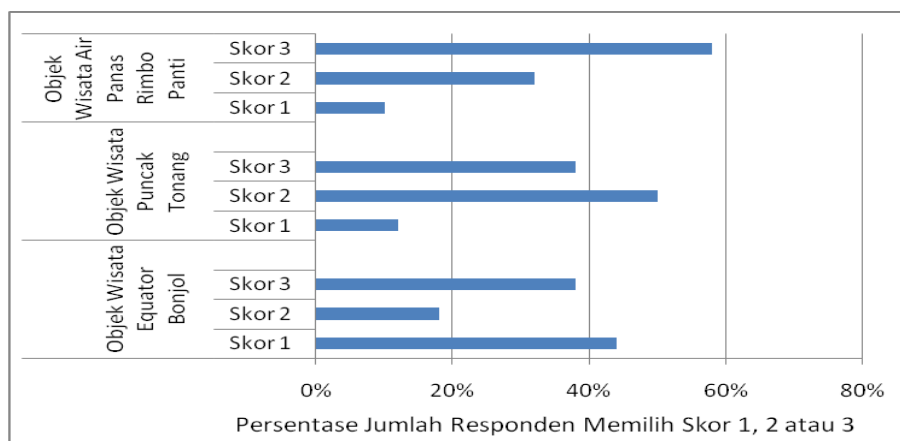
Kemudian pada Gambar 7 berikut terlihat variabel aksesibilitas pilihan kendaraan tersedia dimana pada objek wisata Air Panas Rimbo Panti persentase terbesar responden memilih skor 3 dan yang terkecil memilih skor 1, kemudian pada objek wisata Puncak Tonang persentase terbesar responden memilih skor 2 dan terkecil memilih skor 3. Dan pada objek wisata Equator Bonjol persentase terbesar responden memilih skor 3 dan yang terkecil memilih skor 1.



Gambar 7. Perbandingan Variabel Aksesibilitas Pilihan Kendaraan yang Tersedia

6. Variabel Aksesibilitas Biaya Kunjungan Wisata

Kemudian yang terakhir variabel aksesibilitas biaya kunjungan wisata, diperoleh bahwa pada objek wisata Air Panas Rimbo Panti persentase terbesar responden memilih skor 3 dan terkecil memilih skor 1, kemudian pada objek wisata Puncak Tonang persentase terbesar responden memilih skor 2 dan terkecil memilih skor 1. Dan pada objek wisata Equator Bonjol persentase terbesar responden memilih skor 1 dan yang terkecil memilih skor 2. Terlihat pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Perbandingan Variabel Aksesibilitas Biaya Kunjungan Wisata

Kemudian, dari ketiga objek wisata yang diteliti tersebut diperoleh nilai tingkat aksesibilitas masing-masingnya yaitu yang pertama; objek wisata Equator Bonjol dengan nilai tingkat aksesibilitas 17. Kedua; objek wisata Puncak Tonang dengan nilai tingkat aksesibilitas 13 dan yang ketiga; objek wisata Air Panas Rimbo Panti dengan nilai tingkat aksesibilitas 19.

4. KESIMPULAN

Dari hasil studi komparasi aksesibilitas daerah wisata di kabupaten pasaman yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa dari masing-masing objek wisata di kabupaten Pasaman memiliki tingkat aksesibilitas yang berbeda beda yaitu dengan nilai tingkat aksesibilitas yang diperoleh pada objek wisata Equator Bonjol 17 kemudian pada objek wisata Puncak Tonang nilai tingkat aksesibilitas yang di peroleh 13 dan pada objek wisata Air Panas Rimbo Panti nilai tingkat aksesibilitas yang diperoleh 19. Dari hasil tersebut dapat menjelaskan bahwa aksesibilitas menuju objek wisata Air Panas Rimbo Panti lebih mudah dijangkau di bandingkan objek wisata Puncak Tonang dan objek wisata Equator Bonjol. Sedangkan, objek wisata Equator Bonjol lebih sulit dijangkau dibandingkan objek wisata Air Panas Rimbo Panti namun lebih mudah dijangkau dibandingkan objek wisata Puncak Tonang. Dan objek wisata Puncak Tonang ternyata lebih sulit dijangkau dibandingkan objek wisata Equator Bonjol dan objek wisata Air Panas Rimbo Panti. Untuk itu aksesibilitas objek wisata di kabupaten Pasaman masih perlu di tingkatkan kembali.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Apreri, S 2016, *Wisata Alam Rimbo Panti*, Artikel. Pasaman.
- BPS. Kabupaten Pasaman, 2018, *Pasaman Dalam Angka*. Pasaman.
- Depertemen Pekerjaan Umum. 1997. *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota*. Direktorat Jendral Bina Marga. Jakarta
- Diavelyta, 2013, *Objek wisata Equator Bonjol Di Daerah Pasaman*, Artikel. Pasaman.
- https://id.wikipedia.org/wiki/Daftar_kecamatan_dan_kelurahan_di_Sumatra_Barat

- Kahtani, SJ H AL 2011, *Measuring Accessibility To Tourist Attraction*, Jurnal, Departemen Sosial, Universitas Seni, Universitas Ha'il, Kerajaan Arab Saudi dan Curtin University J. Xia, dan B. Departemen Ilmu Spasial Veenedaal, Curtin University, Kent Street, Bentley, Australia Barat.
- Mustofa, D 2018, *Aksesibilitas Objek Wisata Air Terjun Sinar Tiga Di Desa Harapan Jaya Kecamatan Way Ratai Kabupaten Pesawaran*, Skripsi, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Karyano, A 1997, *Kepariwisataaan*, Jakarta: Gramedia.
- Pemerintah Daerah Pasaman, 2018, *Pengujung Objek Wisata Pasaman. Dinas Kebudayaan, Pariwisata, Pemuda dan Olah Raga Kabupaten Pasaman*, Pasaman.
- Permen PU Nomor 13/PRT/M/2011. Tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan. Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Suwantoro, G 1997, *Dasar-dasar Pariwisata*, Yogyakarta.
- Sakato, 2018, *Puncak Tonang – Objek Wisata Alam yang Ada di Kabupaten Pasaman*, Artikel, Pasaman.
- Undang-Undang No. 10 Tahun 2009 tentang Kepariwisataaan.
- Undang-Undang No. 13 Tahun 1980 tentang Definisi Jalan.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada rekan-rekan selaku surveyor yang sudah membantu penulis dalam melakukan survei di daerah wisata di kabupaten Pasaman.

CLUSTER ANALYSIS IBUKOTA – IBUKOTA PROPINSI DI INDONESIA BERDASARKAN FAKTOR PENYEBAB KEMACETAN

Lusita Putri¹, Purnawan²

¹Mahasiswa Program Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: putrilusita8@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: purnawan@gmail.com

ABSTRACT

Traffic Traffic congestion is a traffic problem that has potential arise in every provincial capital city in Indonesia, this happens because there is growth every year on all the factors that cause congestion. Traffic congestion arises because the number of road users increase. In this study, the factors reviewed and considered to contribute to the occurrence of congestion are the number of residents, the number of Gross Regional Domestic Product (GRDP), the number of vehicles and the length of the road. To find out the level of potential traffic jams in the provincial capitals in Indonesia, a cluster analysis was carried out based on these 4 factors. Based on the results of cluster analysis, the cities of Jakarta and Yogyakarta are the capital cities of the provinces with the most potential to experience traffic jams, which are marked by always being at the first level.

Keywords : traffic congestion, road capacity, cluster analysis

ABSTRAK

Kemacetan lalu lintas merupakan permasalahan lalu lintas yang berpotensi timbul disetiap Ibukota Propinsi di Indonesia, hal ini terjadi karena terjadi pertumbuhan disetiap tahunnya pada semua faktor penyebab timbulnya kemacetan. Kemacetan lalu lintas timbul karena jumlah pengguna jalan yang terus mengalami kenaikan dan tidak sesuai dengan kapasitas jalan yang direncanakan. Pada penelitian ini, faktor yang ditinjau dan dianggap berkontribusi terhadap timbulnya kemacetan adalah jumlah penduduk, jumlah Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), jumlah kendaraan dan panjang jalan. Untuk mengetahui tingkat potensi kemacetan dari ibukota-ibukota propinsi di Indonesia, maka dilakukan cluster analysis berdasarkan 4 faktor tersebut. Berdasarkan hasil cluster analysis maka kota Jakarta dan Yogyakarta merupakan ibukota Propinsi yang paling berpotensi mengalami kemacetan yang ditandai dengan selalu berada di level pertama.

Kata Kunci : kemacetan lalu lintas, kapasitas jalan, *cluster analysis*

1. PENDAHULUAN

Pada era modern seperti saat ini, transportasi merupakan salah satu kebutuhan penting bagi masyarakat dalam mempercepat dan melancarkan kegiatan sehari-hari. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi mendukung perkembangan alat transportasi secara pesat, sehingga menimbulkan peningkatan laju pertumbuhan kendaraan. Perkembangan kendaraan sebagai alat transportasi membawa dampak dalam memenuhi dan meningkatkan kesejahteraan manusia, seperti sebagai mobilisasi dalam memperlancar semua aktivitas bisnis. Namun, hal tersebut juga menimbulkan dampak negatif seperti meningkatnya kemacetan lalu lintas.

Dalam temuan lembaga riset Inrix yang bermarkas di Washington tahun 2017, terjadi kenaikan tingkat kemacetan kota-kota di dunia. Indonesia masuk dalam jajaran negara paling memperhatikan kondisi kemacetan arus lalu lintasnya, Indonesia berada di posisi kedua terburuk di dunia. Tidak mengejutkan, kota-kota tersebut kebanyakan adalah ibu kota dari masing-masing provinsi yang mewakilinya (Yuniar, 2018). Inrix mengumpulkan data dari 1.360 kota di 38 negara yang mencakup lebih dari 250.000 kilometer persegi jalan dan berfokus pada kemacetan di sepanjang hari dan minggu. Masyarakat Indonesia rata-rata menghabiskan waktu sia-sia di jalan karena macet sampai 47 jam dalam satu tahun. Khususnya Jakarta, kota ini termacet ke-12 dengan waktu yang dibuang pengemudi ketika macet mencapai 63 jam dalam setiap tahun (Yuniar, 2018). Berdasarkan kondisi diatas, maka perlu dilakukan cluster analysis untuk menetapkan tingkat potensi mengalami kemacetan dari ibukota-ibukota propinsi di Indonesia.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Lalu Lintas

Undang-Undang RI Nomor 22 pasal 1 (2009) mendefenisikan bahwa lalu lintas merupakan gerak kendaraan dan orang diruang lalu lintas jalan, adalah prasarana yang diperuntukan bagi gerak pindah kendaraan, orang dan/atau barang yang berupa jalan dengan fasilitas pendukungnya.

Kemacetan adalah kondisi dimana arus lalu lintas yang lewat pada ruas jalan yang ditinjau melebihi kapasitas rencana jalan tersebut yang mengakibatkan kecepatan bebas ruas jalan tersebut mendekati atau melebihi 0 km/jam sehingga menyebabkan terjadinya antrian. Pada saat terjadinya kemacetan, nilai derajat kejenuhan pada ruas jalan akan ditinjau dimana kemacetan akan terjadi bila nilai derajat kejenuhan mencapai 0,75 (MKJI, 1997).

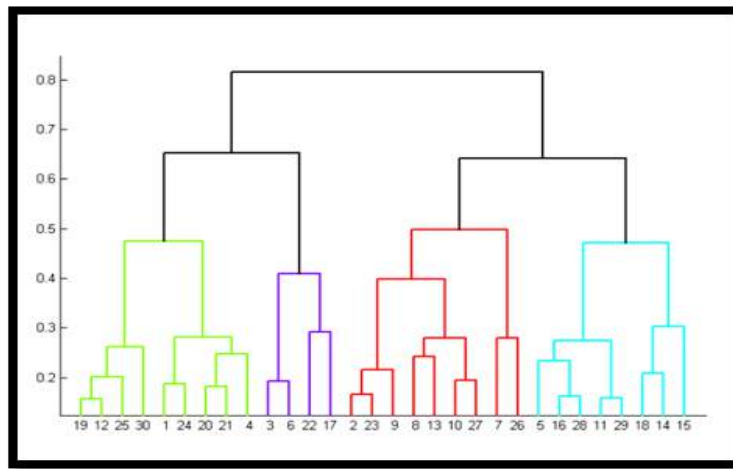
2.2 Cluster Analysis

Menurut Greenacre (1984), *cluster* merupakan objek data yang yang terletak di dalam satu *cluster* harus memiliki kemiripan, sedangkan yang tidak berada dalam satu *cluster*, tidak mempunyai kemiripan. Dalam pengelompokan *Cluster* semua anggota partisi memiliki persamaan berdasarkan matriks tertentu. *Cluster Analysis* sering dipahami

sebagai suatu analisis statistik yang bertujuan memisahkan objek kedalam beberapa kelompok yang mempunyai sifat berbeda antara satu kelompok dengan kelompok yang lain. Dalam suatu kelompok analisis bersifat homogen dalam anggota kelompok atau variasi objek.

2.3 Metode Pengelompokan dalam *Analysis Cluster*

Metode Hierarki (*Hierarchical method*) adalah suatu metode pada analisis *cluster* yang membentuk tingkatan tertentu seperti pada struktur pohon karena proses pengclusterannya dilakukan secara bertingkat/ bertahap. Hasil pengclusteran dapat disajikan dalam bentuk dendogram. Dendogram merupakan alat yang digunakan untuk membantu memperjelas proses hierarki (Simamora, 2005).



Gambar 18. Contoh Dendogram
Sumber : Pawlak (1991)

Metode non-hirarki biasanya dikenal dengan nama “*K-Means Cluster*” maksudnya metode ini dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu jumlah cluster yang diinginkan (misalkan dua, tiga, atau yang lainnya). Setelah jumlah cluster ditentukan, maka proses cluster dilakukan dengan atau tanpa mengikuti proses hirarki (Gudono, 2011).

2.4 Peramalan Dengan *Time Series Method*

Forecasting (peramalan) merupakan suatu kegiatan memperkirakan apa yang akan terjadi pada masa depan berdasarkan data yang relevan pada masa lalu dan menempatkannya ke masa yang akan datang dengan suatu bentuk model matematis. Metode peramalan yang baik adalah metode yang memberikan yang tidak berbeda dengan kenyataan yang terjadi (Subekti, 2010).

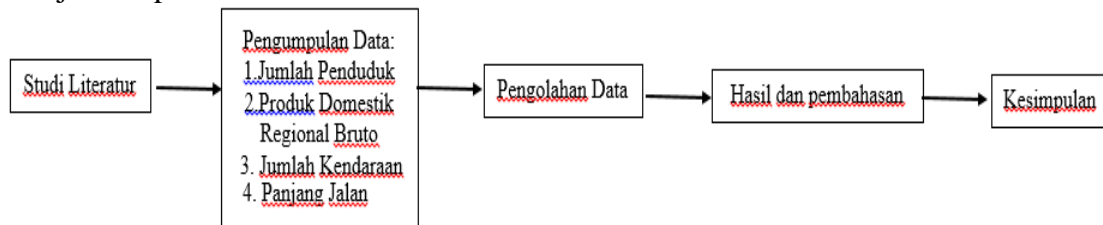
Serangkaian nilai variabel yang disusun berdasarkan waktu disebut peramalan dengan *Time Series Method*. Analisis *Time series Method* mempelajari pola gerakan nilai-nilai variabel pada suatu interval waktu (misalnya minggu, bulan, tahun) yang diatur. Data

Time series method merupakan data yang dikumpulkan, dicatat atau diobservasi sepanjang waktu secara berurutan. Periode waktu observasi dapat berupa bentuk tahun, kuartal, bulan, minggu, hari dan jam (Subekti, 2010).

Peramalan dengan *time series method* sangat diperlukan karena dapat membantu dalam mengadakan analisis terhadap data dari masa lalu, sehingga dapat meningkatkan cara berfikir, proses pengerjaan yang teratur dan terarah, perencanaan yang sistematis serta memberikan hasil peramalan yang tepat terhadap masa depan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian merupakan proses yang dilakukan dalam penelitian agar dapat memberi gambaran tahapan penyelesaian permasalahan secara sistematis untuk memperoleh tujuan dari penelitian yang dilakukan, tahapan tersebut sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



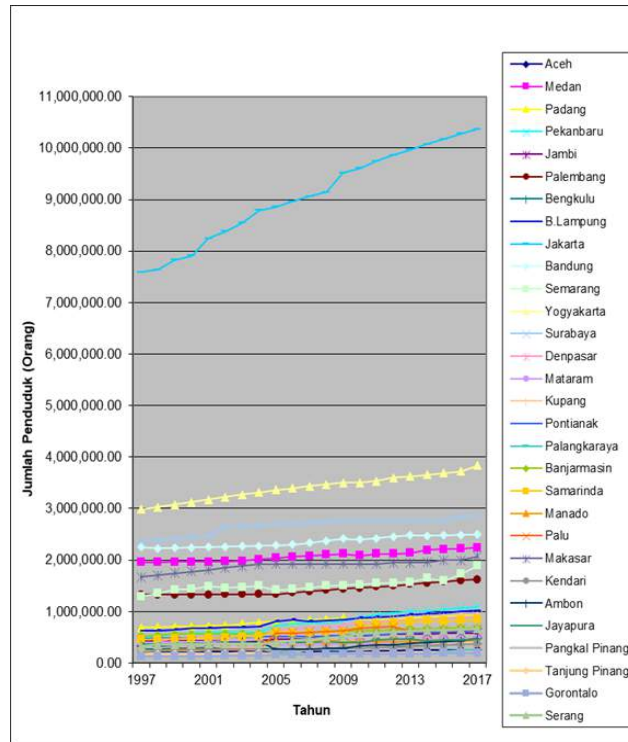
Gambar 2. Diagram alir penelitian

Data yang digunakan berupa data dari tahun 1997- 2017 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS). Pada saat pengolahan data, data yang masih dalam bentuk kualitatif dilakukan peramalan menggunakan metode *time series*, dimana metode ini membantu kita memprediksi kemungkinan data dimasa yang akan mendatang atau beberapa tahun kedepannya. Kemudian baru dilakukan analisis menggunakan *Cluster Analysis* dengan menggunakan software SPSS (*Statistical Product and Service solution*)

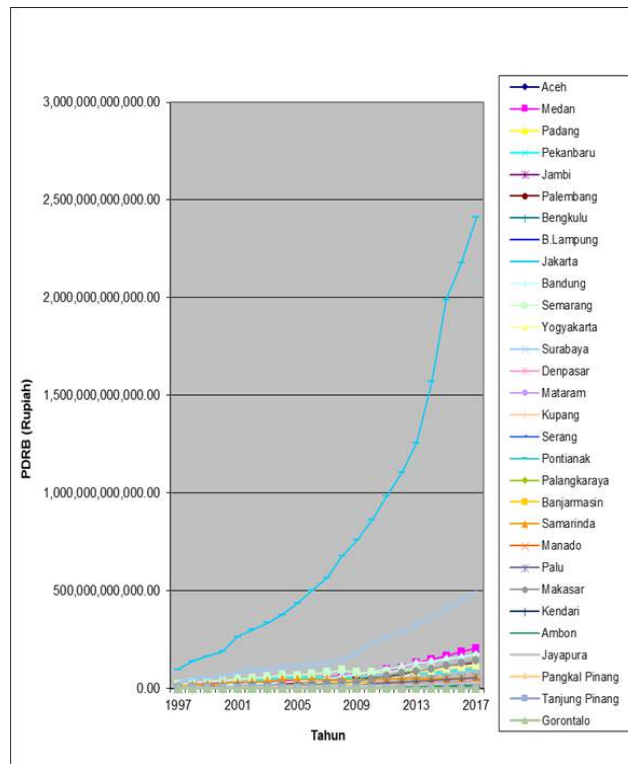
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengumpulan Data Sekunder

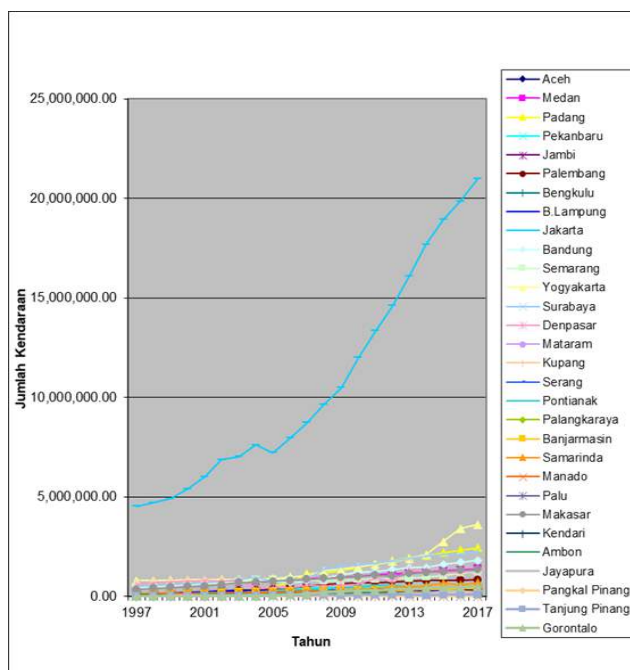
Dalam penelitian ini, digunakan empat variabel data untuk melakukan klasifikasi ibukota-ibukota propinsi di Indonesia yang berpotensi mengalami kemacetan, variable tersebut adalah Jumlah Penduduk, Jumlah Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), Jumlah Kendaraan dan Panjang jalan dari tahun 1997-2017. Indonesia memiliki 34 Propinsi, dalam penelitian ini hanya menggunakan 30 Propinsi, hal ini dilakukan karena 4 propinsi tersebut adalah propinsi baru yang mempunyai data tidak lengkap sehingga digabung dengan propinsi semula sebelum dilakukan pemekaran. Hasil analisa data BPS terhadap pola pertumbuhan jumlah penduduk, jumlah kendaraan, PDRB dan panjang jalan dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.



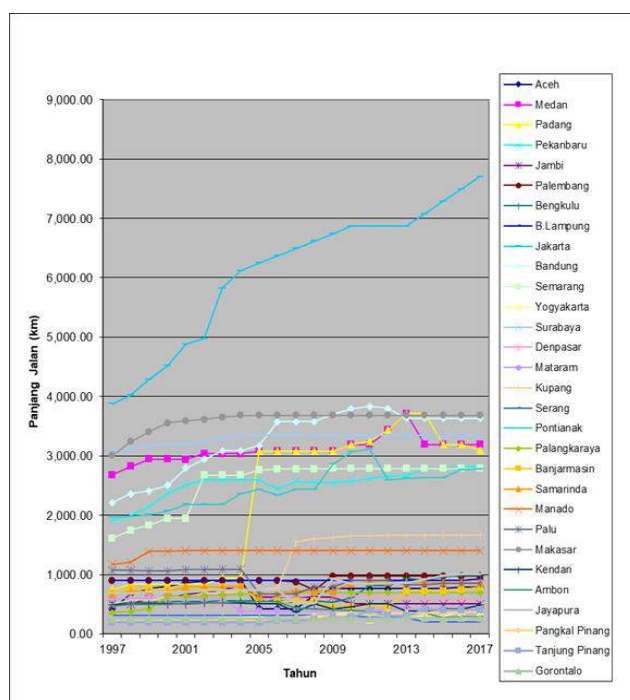
Gambar 3. Pertumbuhan Penduduk Ibukota Propinsi di Indonesia Tahun 1997-2017



Gambar 4. Pertumbuhan PDRB di ibukota Propinsi di Indonesia Tahun 1997-2017



Gambar 5. Pertumbuhan Kendaraan di ibukota Propinsi di Indonesia Tahun 1997-2017

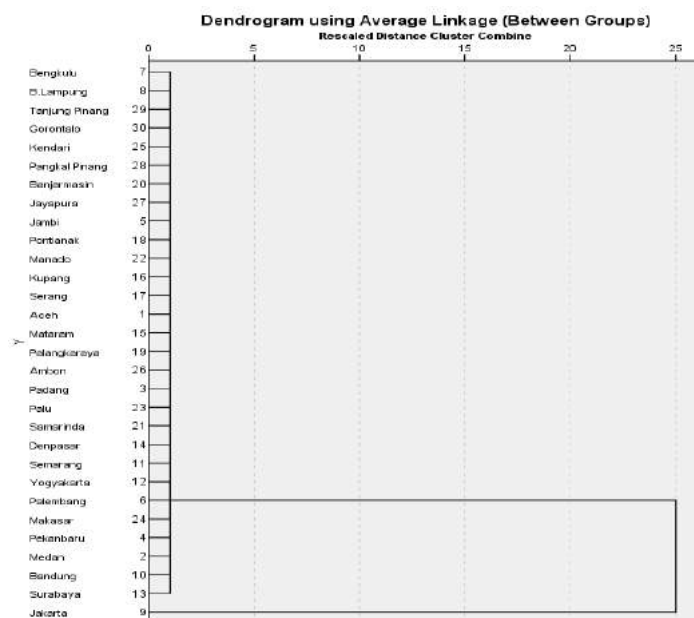


Gambar 6. Pertumbuhan Jalan di ibukota Propinsi di Indonesia Tahun 1997-2017

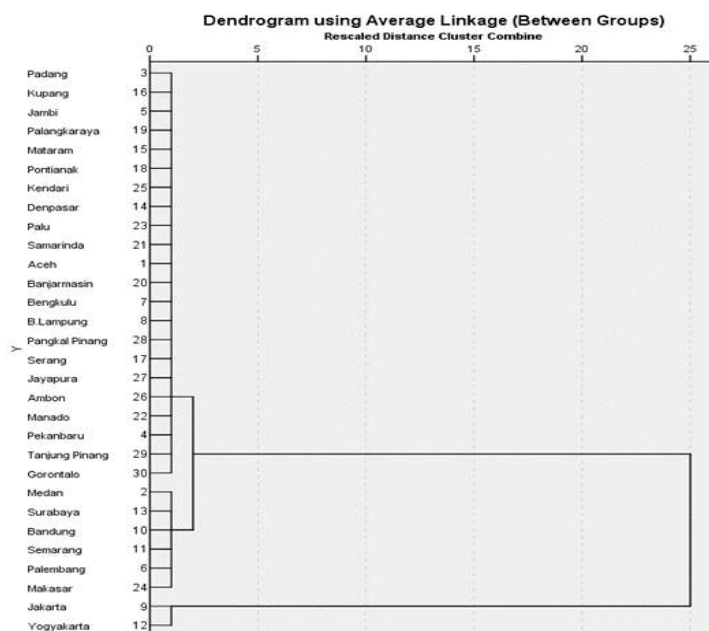
Dari analisa data, pada Gambar 3 s/d 6 diatas ditunjukkan bahwa pertumbuhan variabel penyebab kemacetan di setiap ibukota propinsi di Indonesia mengalami peningkatan dan penurunan. Penurunan terjadi karena adanya pemekaran di beberapa kota. Pertumbuhan penduduk, jumlah kendaraan, PDRB dan panjang jalan tertinggi di Indonesia terdapat di Jakarta.

4.2 Hasil Cluster Analysis

Hasil *cluster analysis* pada 4 variabel yang berpotensi menjadi penyebab kemacetan di ibukota-ibukota propinsi di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Dendrogram Ibukota Propinsi di Indonesia Tahun 2017



Gambar 8. Dendrogram Ibukota Propinsi di Indonesia Tahun 2018

Dari dendrogram hasil *Cluster Analysis* pada Gambar 7 dan 8, *subcluster* pada tahun 2017 dibagi menjadi II level sedangkan pada tahun 2018 dibagi menjadi III level.

5. KESIMPULAN

Analisa data BPS tahun 2017 dengan metode *Cluster Analysis* yang telah dilakukan menghasilkan *cluster* dalam 2 level. Level I diduduki oleh Jakarta sebagai kota paling berpotensi mengalami kemacetan di Indonesia dan dilanjutkan dengan berbagai ibukota propinsi lain di level II sebagai kota dengan tingkat kemacetannya lebih rendah. Sedang berdasarkan hasil *Cluster Analysis* untuk data tahun 2018, ibukota propinsi yang berpotensi mengalami kemacetan dibagi menjadi 3 level, level I diduduki Jakarta dan Yogyakarta sebagai Kota yang paling berpotensi mengalami Kemacetan, level II diduduki Medan, Surabaya, Bandung, Semarang, Palembang dan makasar, dan ibukota propinsi lainnya berada di level III sebagai kota yang potensi kemacetannya paling rendah.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Bilson, S.2015. *Analisis Multivariat Pemasaran Edisi Pertama*. Jakarta, PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Greenacre, M.J. 1984. *Theory ang Application of Correspondence Analysis*. Academic Press, New York.
- Gudono. 2011. Analisis Cluster Untuk Pemetaan Mutu Pendidikan di /Aceh. Tesis. PPs-UGM.
- MKJI.1997. *Manual kapasitas Jalan Indonesia*, Bina Marga, Indonesia.
- Pawlak, Z.,1991. *Rough sets theoretical Aspects of Reasoning About Data*. Kluwer. Academic. Publishers. Baston.
- Subekti, A. 2010. Pengelolaan Kas Pengelolaan Daerah Untuk Mendukung Peningkatan Pendapatan Asli Daerah Pada Pemerintah Kabupaten Pekalongan. UI, Jakarta.
- Undang- Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Jakarta, Departemen Perhubungan.
- Yuniar, A. 2018. Ini Kota Termacet di Indonesia. Jakarta.

7. UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur saya ucapkan kehadiran Allah SWT atas rahmat, dan hidayah yang telah dilimpahkan mulai dari awal hamba memulai penelitian ini sampai akhirnya selesai. Terimakasih kepada kedua orang tua yang tiada henti melimpahkan semua kasih sayang, perhatian, nasehat, dan doanya. Serta terimakasih kepada bapak Purnawan, Ph.D selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing dan mengarahkan dalam menyusun penelitian ini.

PENGARUH BAHAN TAMBAH LATEKS TERHADAP KEKAKUAN ASPAL

Elsa Eka Putri Ph.D¹, Ikfal Lukfi²

¹Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: elsaeka@eng.unand.ac.id

²Mahasiswa sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email:

ikfal.lukfi@gmail.com

ABSTRACT

As the community's need for transportation increases, the use of roads will also increase. And plus Indonesia has a tropical climate with two seasons, with the rainy season and the dry season. With this climate, it can present complex problems to existing road pavement. In the rainy season with high rainfall and can cause flooding / standing water. And in the summer with high temperatures resulting in an increase in temperature in the asphalt layer which has a footing on the asphalt resistance to vehicle loads. With the problem of asphalt resistance can disrupt the activities of the Indonesian economy and population mobility which most require the movement of goods and services by land. Asphalt stiffness is inversely proportional to the length of loading, the longer the loading time the asphalt stiffness value will decrease. Loading temperature is inversely proportional to asphalt stiffness, the higher the loading temperature, the smaller the stiffness value. And asphalt stiffness value is directly proportional to the level of latex in asphalt, the higher the level of latex in the mixture, the higher the stiffness value except at the 2% latex level at 20°C, the stiffness value decreases from 4 MPa to 2.5 MPa and at 4% increase in value stiffness occurs again

Keywords : Asphalt Latex, Stiffness

ABSTRAK

Seiring meningkatnya kebutuhan masyarakat akan transportasi, penggunaan jalan raya juga akan semakin meningkat. dan ditambah Indonesia memiliki iklim tropis dengan dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Dengan iklim yang seperti ini dapat memberikan masalah yg kompleks pada perkerasan jalan yang ada. Pada musim penghujan dengan curah hujan yang tinggi dan dapat menyebabkan banjir/genangan air. Dan pada musim panas dengan suhu yang tinggi mengakibatkan peningkatan suhu pada lapisan aspal yang berdampak pada ketahanan aspal terhadap beban kendaraan. Dengan masalah ketahanan aspal tersebut dapat mengganggu kegiatan perekonomian Indonesia dan mobiltas penduduk yang sebagian besar membutuhkan pergerakan barang dan jasa melalui jalur darat. Kekakuan aspal berbanding terbalik dengan lama pembebanan, semakin lama waktu pembebanan maka nilai kekakuan aspal akan semakin berkurang. Suhu pembebanan berbanding terbalik dengan kekakuan aspal, semakin tinggi suhu pembebanan maka semakin kecil nilai kekakuannya. Dan nilai kekakuan aspal berbanding lurus dengan kadar lateks didalam aspal, semakin tinggi kadar lateks didalam campuran maka semakin tinggi juga nilai kekakuannya kecuali pada kadar lateks 2% pada suhu 20°C terjadi penurunan nilai kekakuan dari 4 MPa ke 2.5 MPa dan pada kadar 4% peningkatan nilai kekakuan terjadi lagi.

Kata Kunci : Aspal, Lateks, Kekakuan

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara dengan iklim tropis dengan dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Dengan iklim yang seperti ini dapat memberikan masalah yang kompleks pada perkerasan jalan yang ada. Pada musim penghujan dengan curah hujan yang tinggi dan dapat menyebabkan banjir/genangan air. Dan pada musim panas dengan suhu yang tinggi mengakibatkan peningkatan suhu pada lapisan aspal yang berdampak pada ketahanan aspal terhadap beban kendaraan. Kondisi tersebut selain penampilan dari permukaan yang kurang memuaskan, juga masalah layanan tidak sesuai dengan umur rencana (Sukirman, 2003). Dengan masalah ketahanan aspal tersebut dapat mengganggu kegiatan perekonomian Indonesia dan mobilitas penduduk yang sebagian besar membutuhkan pergerakan barang dan jasa melalui jalur darat. Kondisi tersebut selain penampilan dari permukaan yang kurang memuaskan, juga masalah layanan tidak sesuai dengan umur rencana

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menguji penetrasi pada campuran aspal dengan persentase bahan tambah yang bervariasi. Menghitung kekakuan pada aspal menggunakan campuran bahan tambah lateks. Mengetahui pengaruh penambahan lateks ke dalam campuran aspal. Menguji titik leleh aspal.

1.2.2 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan ilmu pengetahuan dasar bidang rekayasa teknik sipil, khususnya perkerasan jalan. Mencari alternatif bahan tambah yang dipakai untuk meningkatkan mutu aspal dari segi kekakuannya. Menghasilkan suatu output (hasil) berupa analisis dan pembahasan atas hasil uji terhadap suatu objek penelitian yang dapat digunakan oleh institusi yang bergerak di bidang konstruksi maupun oleh Universitas Andalas sendiri. Memberikan informasi bagaimana pengaruh campuran bahan tambah tersebut terhadap aspal.

1.3 Batasan Masalah

Agar didapat tinjauan yang terfokus maka dilakukan pembatasan masalah yang akan dikaji didalam penelitian ini. Adapun batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Ruang lingkup penelitian ini hanya terbatas pada skala laboratorium. Pengujian benda uji dilakukan di laboratorium Transportasi dan Jalan Raya jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas.
2. Pengujian terhadap bahan tambah dengan variasi kadar bahan tambah dalam campuran aspal perkerasan berdasarkan pada prosedur pengujian standar SNI dan spesifikasi umum 2010.

3. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian penetrasi dan pengujian titik lembek.
4. Pengujian bahan campuran aspal disini hanya terdiri dari campuran aspal dengan bahan tambah saja dengan beberapa variasi kadar bahan tambah dalam campuran ini keadaan panas.
5. Sebagai bahan pengikat digunakan aspal dengan penetrasi 60/70.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal

Secara umum komposisi dari aspal terdiri dari *asphaltenes* dan *maltenes*, dimana *asphaltenes* merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang larut dalam *heptanes* dan *maltenes* merupakan cairan kental yang terdiri dari *resin* dan *oils*, dan larut dalam *heptanes*. *Resin* adalah cairan berwarna kuning atau coklat tua yang memberikan adhesi dari aspal, merupakan bagian yang hilang atau berkurang selama masa layanan jalan. *Oils* merupakan media dari *asphaltenes* dan *resin*, berwarna lebih muda. Proporsi *asphaltenese*, *resin*, *oils* berbeda tergantung dari banyak faktor seperti oksidasi, proses pembuatan, dan ketebalan aspal dalam campuran. Aspal merupakan material utama pada konstruksi lapis perkerasan lentur (flexible pavement) jalan raya, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat adhesif, kedap air dan mudah dikerjakan.

2.2 Lateks

Lateks merupakan cairan yang berwarna putih atau putih kekuning-kuningan, yang terdiri atas partikel karet dan bukan karet yang terdispersi di dalam air (Triwijoso dan Siswantoro, 1989). Menurut Goutara, *et al.* (1985), lateks merupakan sistem koloid, karena partikel karet yang dilapisi oleh protein dan fosfolipid terdispersi didalam air. Protein di lapisan luar memberikan muatan negatif pada partikel. Padadasarnya lateks akan menggumpal secara alamidalam waktu beberapa jam.



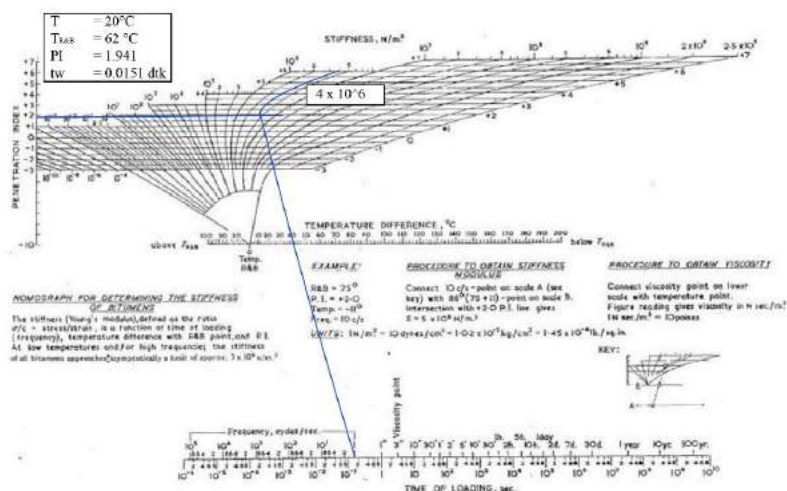
Gambar 1. Lateks Pekat

Penggumpalan ini dapat disebabkan oleh timbulnya asam-asam akibat terurainya bahan bukan karet yang terdapat dalam lateks akibat aktivitas mikroorganisme. Maka dari itu, lateks tersebut setelah di sadap diolah terlebih dahulu di pabrik (Aryadi, 2012).

2.3 Kekakuan Aspal

Modulus kekakuan merupakan kecenderungan sebuah objek untuk bergeser ketika diberi kekuatan yang berlawanan. Konsep kekakuan aspal dalam *Shell Bitumen* (1991) yang dikemukakan oleh Van Der Poel bahwa bitumen merupakan bahan viskoelastis yang mengalami deformasi akibat tegangan yang merupakan fungsi dari temperatur dan lama pembebanan. Semakin kaku suatu jenis aspal, semakin kecil perubahan bentuk tetap aspal yang terjadi. Temperatur dan modulus kekakuan memiliki hubungan berbanding terbalik, semakin tinggi temperatur modulus kekakuan semakin rendah (Tommy Diaz Iskandar, 2017). Kekakuan bitumen dapat diperkirakan dengan bantuan nomogram (gambar 2.1) yang dibuat oleh Van Der Poel, sedangkan data yang dibutuhkan adalah :

- 1) Temperatur (T) (°C).
- 2) Titik lembek *recovered*(SPr) (°C).
- 3) Waktu pembebanan (t) (detik).
- 4) Indeks penetrasi *recovered*(PIr)



Gambar 2. Nomogram Van Der Poel

Modulus kekakuan aspal dinyatakan sebagai fungsi dari temperatur dan lama pembebanan dengan pertimbangan sebagai berikut:

- Temperatur perkerasan dengan mempertimbangkan bahwa aspal adalah bahan termoplastik yaitu tingkat konsistensinya dipengaruhi oleh perubahan temperatur.
- Titik Lembek pada perkerasan dimana aspal tersebut telah dicampurkan dengan kapur.
- Lama pembebanan (*loading time*) dengan mempertimbangkan bahwa aspal adalah bahan realogik, yaitu bahan yang perbandingan tegangan dan regangannya tidak hanya sebagai fungsi dari beban tapi juga dipengaruhi oleh waktu pembebanan.
- Indeks Penetrasi perkerasan dimana dapat di peroleh dari data hasil pengujian penetrasi dan di cari dengan rumus yang telah ditetapkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penentuan Proporsi Material Penyusun Campuran Dan Pembuatan Benda Uji

Untuk mengetahui pengaruh penambahan Lateks terhadap kekakuan aspal dibutuhkan suatu campuran dengan kadar aspal dan kadar lateks yang pas untuk merencanakan campuran aspal tersebut. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan benda uji :

- Menggunakan material aspal yang sesuai dengan spesifikasi.
- Berat jenis material harus diketahui.

3.1.1 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan cara memanaskan aspal di atas kuali kemudian setelah aspal cair, aspal ditimbang dengan timbangan dengan ketelitian 0.1 gr. Gunakan kuali lain sebagai wadah tempat menimbang aspal, pastikan angka pada timbangan yang telah diletakan kuali diatasnya 0. Untuk memudahkan penhitungan kadar aspal dan kadar lateks dalam campuran nantinya sebaiknya berat dari campuran yang ditimbang adalah 100.0 gr, maksudnya jika kadar lateks yang dipakai 2% maka masa dari aspal yang akan dicampurkan adalah 98.0 gr dan masa dari lateks yang akan dicampurkan adalah 2.0 gr. Setelah aspal diletakan di kuali kemudian masukan lateks sesuai dengan kadar yang telah ditentukan dengan menggunakan pipet tetes, pipiet tetes berguna untuk memudahkan memasukan lateks kedalam aspal dengan teliti. Setelah itu panaskan kembali campuran aspal lateks tersebut supaya aspal dan lateks tercampur dengan merata kira-kira pada suhu 100-120C. Setelah campuran antara aspal dan latek merata dengan ditunjukkannya tidak ada gelembung-gelembung putih dalam campuran maka campuran aspal dan lateks tersebut siap untuk diuji.

3.2 Pengujian Pengaruh Penambahan Lateks terhadap Kekakuan Aspal

Dengan parameter-parameter kekakuan aspal dapat melihat pengaruh penambahan Lateks terhadap kekakuan aspal menggunakan nomogram Van Der Poel dalam melakukan pengujian ini.

3.2.1 Pemeriksaan Penetrasi

(PA-0301-76 / SNI 06-2456-1991)

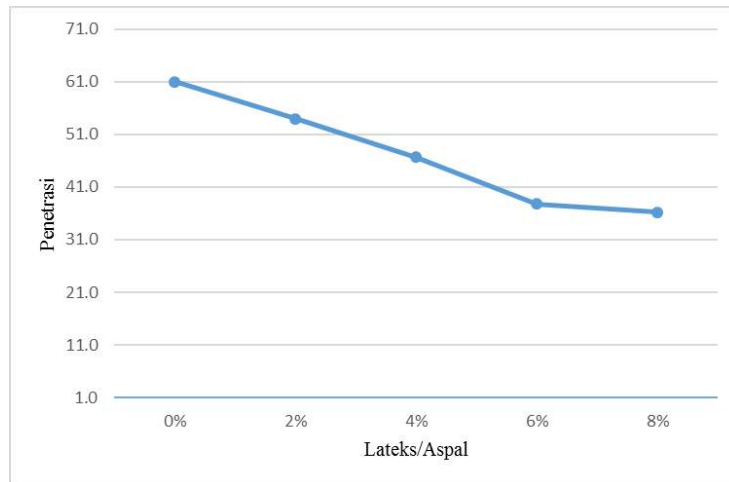
Hasil dari pemeriksaan penetrasi aspal dengan perbedaan kadar lateks dari perbandingan Lateks/aspal berdasarkan volume dapat dilihat pada tabel 4. di bawah ini :

Tabel 1. Hasil Penetrasi + Lateks dengan Perbandingan Lateks / Aspal Berdasarkan Volume

Kadar Lateks	Penetrasi Tanpa Kehilangan Berat	Penetrasi dengan Kehilangan Berat
0%	61.0	62.0
2%	54.0	48.4
4%	46.7	45.2
6%	37.8	37
8%	36.2	34.1

Dari data diatas dapat dilihat bahwa dengan penambahan lateks ke dalam campuran aspal mengakibatkan penurunan nilai penetrasi dari aspal. Hal ini dapat dilihat lebih jelas pada grafik 4.1 di bawah. Mulai dari penambahan 2% lateks kedalam aspal sampai

ke penambahan 8% lateks nilai penetrasi aspal selalu mengalami penurunan secara signifikan.



Gambar 3. Penetrasi Vs Lateks/Aspal

3.2.2 Pemeriksaan Titik Lembek

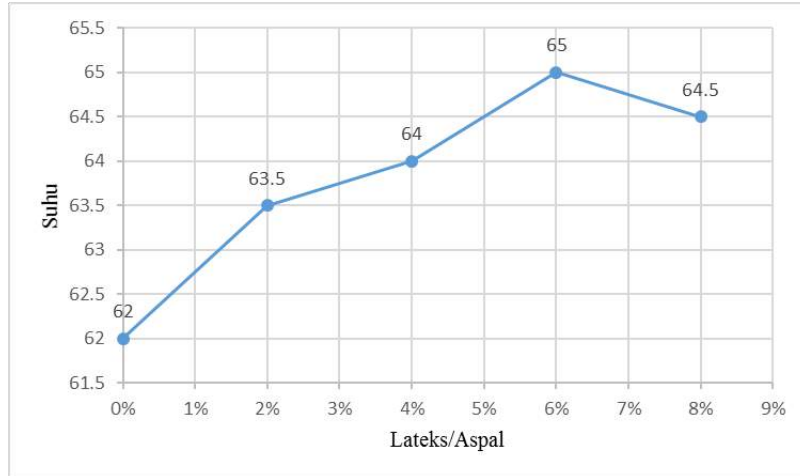
(PA.0302-76/SNI 06-2434-1991)

Pemeriksaan titik lembek aspal + Lateks dapat dilihat dari tabel- tabel di lampiran B. Hasil dari pemeriksaan titik lembek aspal dengan perbedaan kadar Lateks dari perbandingan Lateks/aspal berdasarkan volume dapat dilihat pada tabel 4. di bawah ini :

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

Kadar Lateks	Titik Lembek	
	Suhu (°C)	Waktu
0%	62	3 menit 56 detik
2%	63.5	3 menit 4 detik
4%	64	4 menit 18 detik
6%	65	4 menit 02 detik
8%	64.5	4 menit 07 detik

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa titik lembek aspal selalu mengalami kenaikan suhu kecuali pada kadar lateks 8% titik lembek aspal mengalami penurunan dibanding dengan aspal dengan kadar lateks 6% dari 65°C ke 64.5°C dan suhunya masih lebih tinggi dibanding dengan aspal dengan kadar lateks 4% yang suhunya 64°C. Kenaikan titik lembek aspal dengan berbagai variasi kadar lateks ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah ini:



Gambar 4. Titik Lembek Vs Lateks/Aspal

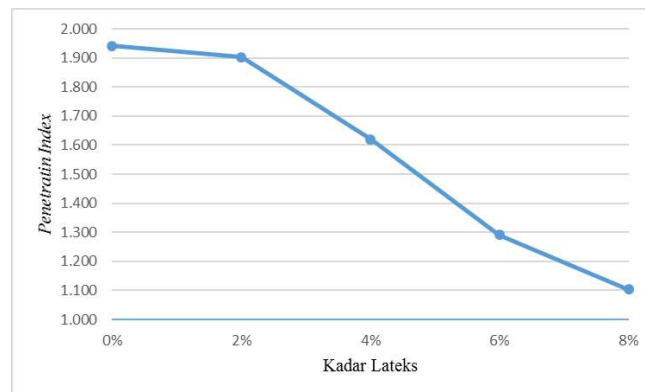
3.2.3 Perhitungan Indeks Penetrasi

Dari hasil pengujian penetrasi dan titik lembek di atas dapat diketahui nilai dari indeks penetrasi (PI) dari campuran aspal dengan variasi bahan tambah lateks, yang dijabarkan dalam perhitungan tabel 4.12 di bawah ini :

Tabel 3. Hasil Perhitungan Nilai Penetrasi Indeks

Lateks / Aspal	0.000	0.021	0.042	0.063	0.084
Penetrasi T1	60.8	54	46.7	37.8	36.2
Penetrasi T2	800	800	800	800	800
T1	25	25	25	25	25
Titik Lembek T2	62	63.5	64	65	64.5
A	0.030	0.030	0.032	0.033	0.034
Penetration Index	1.941	1.903	1.620	1.291	1.104

Dari tabel di atas dapat dilihat nilai indeks penetrasi dari berbagai campuran kadar lateks dalam aspal mengalami penurunan. Semakin tinggi kadar lateks dalam aspal maka semakin kecil nilai indeks penetrasinya. Hal ini dapat dilihat lebih jelas pada Gmabar 4.3 di bawah



Gambar 5. Indeks Penetrasi Vs Lateks/Aspal

Semua parameter diatas akan digunakan di dalam nomogram Van Der Poel untuk mendapatkan nilai kekakuan dalam satuan N/m^2 dan kemudian akan diknversi ke dalam satuan MPa. Semua hasil dari penggunaan nomogram Van Der Poel dapat dilihat pada tabel 4.13 dibawah:

Tabel 4. Nilai Kekakuan Aspal pada Waktu Pembebanan 0.0151 detik

Kekakuan (Stiffness) Aspal (MPa)					
Suhu	Kadar Aspal				
	0%	2%	4%	6%	8%
20	4	2.5	4.5	10	11
40	0.22	0.38	0.52	0.7	0.6
60	0.05	0.03	0.05	0.04	0.04

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa suhu pembebanan berbanding terbalik dengan kekakuan aspal, semakin tinggi suhu pembebanan maka semakin kecil nilai kekakuannya. Dan nilai kekakuan aspal berbanding lurus dengan kadar lateks didalam aspal, semakin tinggi kadar lateks didalam campuran maka semakin tinggi juga nilai kekakuannya kecuali pada kadar lateks 2% pada suhu 20°C terjadi penurunan nilai kekakuan dari 4 MPa ke 2.5 MPa dan pada kadar 4% peningkatan nilai kekakuan terjadi lagi. Untuk perbandingan nilai kekakuan aspal dengan lama pembebanan dapat dilihat pada tabel 4.14 dibawah

Tabel 5. Nilai Kekakuan Aspal pada Suhu 20°C

Kekakuan (Stiffness) Aspal (MPa)					
Lama Pembebanan	Kadar Aspal				
	0%	2%	4%	6%	8%
0.0151	4	2.5	4.5	10	11
1	1.5	1.5	2	4	4
60	0.1	0.15	0.3	0.3	0.3
3600	0.008	0.01	0.009	0.01	0.008

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa kekakuan aspal berbanding terbalik dengan lama pembebanan, semakin lama waktu pembebanan maka nilai kekakuan aspal akan semakin berkurang. Hal ini juga dapat dilihat pada grafik yang ada pada lampiran.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar lateks dalam campuran aspal maka angka penetrasi yang didapatkan akan semakin kecil. Dengan angka penetrasi yang semakin kecil menunjukkan bahwa aspal semakin keras. Dan dengan kecilnya angka penetrasi aspal maka nilai indeks penetrasinya juga semakin kecil. Nilai titik lembek dari penambahan lateks ke dalam aspal juga akan meningkat kecuali pada penambahan lateks pada kadar 8% terjadi penurunan suhu 0.5 °C dibandingkan dengan campuran lateks 6%. Titik nyala dan titik bakar pada campuran aspal juga semakin meningkat dengan meningkatnya kadar lateks di dalam aspal.

Faktor suhu pembebanan, lama waktu pembebanan dan nilai indeks penetrasi nilai kekakuan aspal akan didapatkan dengan menggunakan nomogram Van Der Poel. Dari penggunaan nomogram Van Der Poel nilai kekakuan aspal akan didapatkan. Kekakuan aspal berbanding terbalik dengan lama pembebanan, semakin lama waktu pembebanan maka nilai kekakuan aspal akan semakin berkurang. Suhu pembebanan berbanding terbalik dengan kekakuan aspal, semakin tinggi suhu pembebanan maka semakin kecil nilai kekakuannya. Dan nilai kekakuan aspal berbanding lurus dengan kadar lateks didalam aspal, semakin tinggi kadar lateks didalam campuran maka semakin tinggi juga nilai kekakuannya kecuali pada kadar lateks 2% pada suhu 20°C terjadi penurunan nilai kekakuan dari 4 MPa ke 2.5 MPa dan pada kadar 4% peningkatan nilai kekakuan terjadi lagi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. 1993. Guide for Design of Pavement Structure. Washington DC.
- Bina Marga. Spesifikasi Umum 2010. Direktorat Jendral Bina Marga. Departemen Pekerjaan Umum.
- Brown SF, 1980. An Introduction To The Analytical design Of Bitumeminous Pavement. London: University Of Nottingham. Campuran, Methode CQCMU, Indec, Ass Ltd., Bandung.
- Della, V.P., Kuhn, I., Hotza, D., 2002. Rice husk ash as an alternatesource for active silica production. Mater. Lett. 57, 818–821.
- Epps, J.A. 1986. Asphalt Pavement Modifiers. The Magazine of Civil Engineering, April 1986
- Huffman, J.E. 1980. Sahuaro Concept of Asphalt-Rubber Binders. Presentation at the First Asphalt Rubber User Producer Workshop. Scottsdale, Arizona.
- Iskandar, Tommy. 2014. Studi Penentuan Nilai Modulus Kekakuan Aspal Beton Tipe AC-WC. Jurnal, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Laboratorium Transportasi dan Perkerasan Jalan Raya. 2009. Buku Penuntun Praktikum Bahan Perkerasan Jalan Raya. Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas. Padang.
- Leksiminingsih. 2000. Pendekatan Sifat Aspal Terhadap Kinerja. Konferensi Regional Teknik Jalan Ke-6. Jakarta. Paper 2.06.
- Sukirman, Silvia (1990), Aspal Beton Campuran Panas, Rancangan Campuran, Methode CQCMU, Indec, Ass Ltd., Bandung.
- Robinson, H. L. 2004. Polymer in Asphalt. Rapra Review Reports Volume 15, Number 11, 2004. Tarmac Ltd, UK.
- Van der Poel, C. (1990). General system describing the viscoelastic properties of bitumens and its relations to routine test data. Journal of Applied Chemistry, pp.221-236, Whiteoak,D., The Shell bitumen handbook, Shell bitumen, UK

PERMODELAN DISTRIBUSI TIME HEADWAY PENGEMUDI AGGRESSIVE DAN NON AGGRESSIVE

Yolla Rahmasari¹, Purnawan²

1Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas
Padang. Email : yollarhmsr@gmail.com

2 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang.
Email: purnawan@gmail.com

ABSTRACT

Traffic accidents are one of the highest causes of death in the world. Data from the Indonesian Police Traffic Corps states that every year there are 28,000 - 38,000 people die from accidents. According to Indonesian Police data, an average of 3 people die every hour due to road accidents in Indonesia. The data states that the large number of accidents is caused by several factors, namely: human factors that are related to the ability of the driver's character 61%, vehicle factors 9%, and infrastructure and environmental factors 30%. This was conveyed by General Transportation Transportation Pudji Hartanto, DEPKES (2017). This study aims to determine the time headway distribution model that fits the research data and determine the aggressive behavior of drivers on Jalan Prof. Dr. Hamka, and Jalan Raya Ampang. Data collection is done by conducting a traffic survey using camcorders. Data processing of observing data is done using the Stop Data Program software. To get the suitability of the distribution model, the Kolmogorov Smirnov Test was performed using Easy Fit software. From the analysis the following results are obtained, the best aggressive and non-aggressive driver's headway time distribution model on Jalan Prof. Dr. Hamka morning and evening are Johnson SB distribution models. The aggressive behavior of the driver at the survey site was found such as, following the vehicle too closely, overtaking the vehicle rudely, changing lanes without giving a sign, preventing other drivers from entering the lane, and reducing speed suddenly.

Keywords: Time Headway, Aggressive Driver, Non Aggressive Distribution Model, Behavior

ABSTRAK

Kecelakaan lalu lintas merupakan salah satu penyebab kematian tertinggi di dunia. Data Korps Lalu Lintas Kepolisian Republik Indonesia menyebutkan bahwa setiap tahun ada 28.000 – 38.000 orang meninggal akibat kecelakaan. Menurut data Kepolisian Indonesia, rata-rata 3 orang meninggal setiap jam akibat kecelakaan jalan di Indonesia. Data tersebut menyatakan bahwa besarnya jumlah kecelakaan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu: faktor manusia yaitu yang terkait dengan kemampuan karakter pengemudi 61 %, faktor kendaraan 9%, dan faktor prasarana dan lingkungan 30%. Demikian disampaikan Jendral Perhubungan Darat Pudji Hartanto, DEPKES (2017). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui model distribusi *time headway* yang sesuai dengan data hasil penelitian dan mengetahui perilaku agresif pengemudi di Jalan Prof. Dr. Hamka, dan Jalan Raya Ampang. Pengumpulan data dilakukan melakukan survei lalu lintas dengan menggunakan *handycam*. Pengolahan data pengamatan data dilakukan menggunakan *software Stop Data Program*. Untuk mendapatkan kesesuaian model distribusi, dilakukan uji *Kolmogorov Smirnov Test* dengan menggunakan *software Easy Fit*. Dari analisis didapatkan hasil sebagai berikut, model distribusi *time headway* pengemudi *aggressive* dan *non aggressive*

terbaik di Jalan Prof. Dr. Hamka pagi dan sore hari adalah model distribusi *Johnson SB*. Perilaku agresif pengemudi di lokasi survey yang ditemukan seperti, mengikuti kendaraan terlalu dekat, mendahului kendaraan dengan kasar, berpindah jalur tanpa memberi tanda, menghalangi pengemudi lain untuk masuk ke lajur, dan mengurangi kecepatan secara mendadak.

Kata kunci: Time Headway, Pengemudi Agresif, Non Aggressive. Model Distribusi, Perilaku

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kecelakaan lalu lintas merupakan salah satu penyebab kematian tertinggi di dunia. Data Korps Lalu Lintas Kepolisian Republik Indonesia menyebutkan bahwa setiap tahun ada 28.000 – 38.000 orang meninggal akibat kecelakaan. Menurut data Kepolisian Indonesia, rata-rata 3 orang meninggal setiap jam akibat kecelakaan jalan di Indonesia. Data tersebut menyatakan bahwa besarnya jumlah kecelakaan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu: faktor manusia yaitu yang terkait dengan kemampuan karakter pengemudi 61 %, faktor kendaraan 9%, dan faktor prasarana dan lingkungan 30%. Demikian disampaikan Jendral Perhubungan Darat Pudji Hartanto, DEPKES (2017).

Jenis kendaraan bermotor yang paling banyak mengalami kecelakaan lalu lintas adalah sepeda motor menurut KORLANTAS POLRI (2018). Hal tersebut menjelaskan bahwa sepeda motor merupakan korban terbanyak yang mengalami kecelakaan. Hal ini sangat berpengaruh pada agresif dalam mengemudi. Pengemudi yang dimotivasi oleh ketidaksadaran melakukan perilaku agresif dalam berkendara yang diakibatkan atas ketidaksadaran atau atas dasar untuk menghemat waktu. Perilaku tersebut dapat berupa mengikuti kendaraan di depan dengan jarak yang dekat, mengklakson berulang-ulang, dan banyak lagi.

1.2 Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian ini adalah melakukan permodelan distribusi *time headway* pengemudi *aggressive* dan *non aggressive*.

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini hasil permodelan ini dapat digunakan sebagai acuan untuk simulasi lalu lintas.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini memiliki batasan masalah , sebagai berikut :

1. Pengambilan data dilakukan dengan metode pengamatan survei, yang dilakukan di Jalan Prof. Dr. Hamka dan Jalan Raya Ampang
2. Pengambilan data survei lalu lintas dilakukan pada pagi dan sore hari pada pukul 06.50 – 08.50 WIB dan 16.30 – 18.30 WIB.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Agresivitas Mengemudi

Menurut Tasca (2000) suatu perilaku mengemudi dikatakan agresif jika dilakukan secara sengaja, cenderung meningkatkan resiko tabrakan dan dimotivasi oleh ketidaksabaran, kekesalan, permusuhan, dan atau upaya untuk untuk menghemat waktu.

Pengertian *aggressive driving* adalah pola disfungsi dari perilaku sosial yang mengganggu keamanan publik. *Aggressive driving* dapat melibatkan berbagai perilaku berbeda termasuk perilaku membututi (*tailgating*), mengklakson (*honking*), melakukan gerakan kasar (*rude gesturing*), dan mengedipkan lampu jauh di suasana lalu lintas yang tenang (*flashing light*) (Houston, Harris, dan Norman, 2003).

Dari beberapa pengertian yang dipaparkan oleh para ahli dapat disimpulkan bahwa mengemudi agresif adalah perilaku mengemudi yang dilakukan secara sadar yang cenderung dapat mengakibatkan tabrakan atas dasar untuk memenuhi waktu yang harus dicapai untuk dapat sampai ke daerah tujuan, ketidaksabaran, dan permusuhan yang terkadang melibatkan tindakan mengklakson, melakukan gerakan kasar, dan mengedipkan lampu jauh.

2.2 Jenis-Jenis Agresivitas Pengemudi

Menurut James dan Nahl (2000) membagi perilaku *aggressive driving* menjadi beberapa kategori, yaitu :

1. *Impatience* (ketidaksabaran) dan *Inattentiveness* (kurang perhatian), seperti :
 - a. Menerobos lampu merah
 - b. Menambah kecepatan ketika melihat lampu kuning
 - c. Berpindah-pindah jalur
 - d. Mengemudi dengan kecepatan 5-15 km/jam di atas kecepatan aman maksimum
 - e. Berjalan terlalu dekat dengan kendaraan di depannya
 - f. Tidak memberikan tanda ketika dibutuhkan, seperti berbelok atau berhenti
 - g. Menambah kecepatan atau mengurangi kecepatan secara mendadak
2. *Power Struggle* (adu kekuatan), seperti :
 - a. Menghalangi orang yang akan berpindah jalur, menolak untuk memberi jalan atau pindah

- b. Memperkecil jarak kedekatan dengan kendaraan di depannya untuk menghalangi orang yang mengantri
 - c. Mengancam atau memancing kemarahan pengemudi lain dengan berteriak, membuat gerakan-gerakan yang memancing kemarahan dan membunyikan klakson berkali-kali.
 - d. Membuntuti kendaraan lain untuk menyerang atau membalas pengemudi lain
 - e. Mengerem secara mendadak untuk menyerang atau membalas pengemudi lain
3. *Recklessness* (ugal-ugalan) dan *Road Rage* (kemarahan di jalan), seperti :
- a. Mengejar pengemudi lain untuk berduel
 - b. Mengemudi dalam kondisi mabuk
 - c. Mengarahkan senjata atau mendadak menembak pengemudi lain
 - d. Menyerang pengemudi lain dengan kecepatan yang sangat tinggi

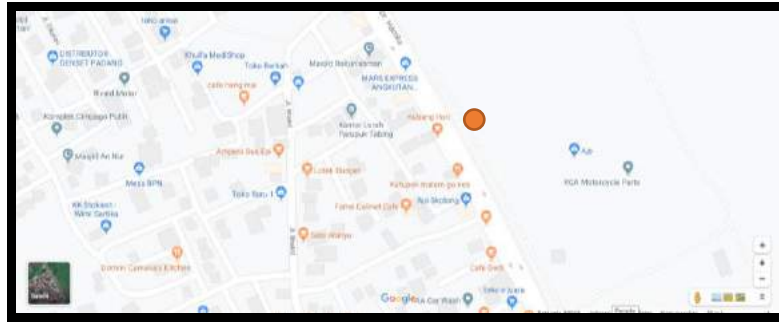
2.3 Pengertian Time Headway

Berdasarkan *highway Capacity Manual* (2000), *headway* adalah waktu (dalam satuan detik) diantara dua kendaraan berurutan sebagaimana mereka melewati sebuah titik di ruas jalan, diukur dari bagian umum yang sama dari kedua kendaraan (misalnya gandar depan). *Headway* berpengaruh terhadap aspek keselamatan, suatu arus harus memiliki *time headway* yang minimum agar tidak terjadi tabrakan belakang antar kendaraan yang beriringan saat terjadinya perlambatan secara mendadak (Sukowati, 2004).

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Survei

Lokasi survei berada di Jalan Prof. Dr. Hamka, dan Jalan Raya Ampang. Lokasi survei tersebut merupakan jalan 4 lajur 2 jalur terbagi (Jalan Prof. Dr. Hamka) dan 4 lajur 2 jalur tak terbagi (Jalan Raya Ampang). Survei dilakukan pada pukul 06.50 – 08.50 dan 16.30-18.00 WIB. Berikut Lokasi survei yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan 3.2.



Gambar 3.1 Lokasi Survei di Jalan Prof. Dr. Hamka



Gambar 3.2 Lokasi Survei di Jalan Raya Ampang

3.2 Pelaksanaan Survei

Pelaksanaan survei mengacu kepada beberapa beberapa hal, diantaranya :

3.2.1 Parameter yang Ditinjau

1. Time Headway
2. Volume kendaraan
3. Perilaku agresif pengemudi

3.2.2 Peralatan Survei

1. Handycam
2. Alat penyimpan data yang cukup besar
3. Tripod

3.2.3 Metode Survei

Pengambilan data volume lalu lintas dilakukan dengan cara melakukan perhitungan kendaraan pada jam survei. Perhitungan volume lalu lintas dilakukan oleh *surveyor* dengan menggunakan aplikasi *Thing Counter*. Pengambilan data *time headway* dilakukan dengan merekam lalu lintas dengan menggunakan *handycam* yang diletakkan di bahu jalan. Hasil rekaman diputar dan dibantu oleh *Software Stop Program* untuk pencatatan *time headway*. Rekaman video juga digunakan dalam mendapatkan data perilaku pengemudi yang lalu pada lokasi survei lalu lintas.

3.3 Analisis Data

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan analisis model distribusi *time headway*. Data *time headway* yang telah dikumpulkan selanjutnya akan dimasukkan kedalam *software EasyFit*. Hasil analisis akan ditunjukkan dalam bentuk tabel dan nilai statistik yang mencocokkan dengan model distribusi berdasarkan data yang ada. Model distribusi yang didapatkan berdasarkan hipotesis yang diterima oleh *Kolmogorov Smirnov*. Dari data tersebut diambil model terbaik dari tiap data.

3.4 Kesimpulan

Kesimpulan didapat dari analisa-analisa yang telah dilakukan melalui data-data yang sudah didapat dari survei.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengumpulan Data

4.1.1 Volume Lalu Lintas pada Jam Sibuk

Volume lalu lintas merupakan jumlah kendaraan yang lalu di suatu titik lokasi tinjau dalam pengamatan. Pengumpulan data volume lalu lintas dilakukan dengan cara menghitung langsung kendaraan yang lalu pada lokasi survei. Dan dilakukan dengan mengamati video yang telah direkam menggunakan *handycam*. Survei dilakukan pagi hari pada pukul 06.50 - 08.50 WIB dan sore hari pukul 16.30 – 18.30 WIB.

Berikut rekapitulasi data survei volume lalu lintas:

a) Jam Survei Pagi Hari

Didapatkan rekapitulasi volume kendaraan pada jam survei pagi hari seperti yang terlihat pada tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1. Volume kendaraan pagi hari di Jalan Prof. Dr. Hamka

Interval Waktu (detik)	Jenis Kendaraan			Total (kend/jam)
	MC	LV	HV	
06.50 - 07.50	4107	1448	64	5619
07.50 - 08.50	2621	1024	82	3727
TOTAL				9346

Pada Tabel 4.1 kendaraan paling banyak tercatat pada pukul 06.50 WIB – 07.50 WIB dengan total kendaraan 5619 kendaraan di Jalan Prof. Dr. Hamka.

Tabel 4.2. Volume kendaraan pagi hari di Jalan Ampang Raya

Interval Waktu (detik)	Jenis Kendaraan			Total (kend/jam)
	MC	LV	HV	
06.50 - 07.50	3337	1035	7	4379
07.50 - 08.50	2685	723	5	3413
TOTAL				7792

Pada Tabel 4.2 kendaraan paling banyak tercatat pada pukul 06.50 WIB – 07.50 WIB dengan total kendaraan 4379 kendaraan di Jalan Ampang Raya.

b) Jam Survei Sore Hari

Didapatkan rekapitulasi volume kendaraan pada jam survei sore hari seperti yang terlihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3. Volume kendaraan sore hari di Jalan Prof. Dr. Hamka

Interval Waktu (detik)	Jenis Kendaraan			Total (kend/jam)
	MC	LV	HV	
16.30 - 17.30	2654	1345	51	4050
17.30 - 18.30	29.41	1354	43	4338

Pada Tabel 4.3 kendaraan paling banyak tercatat pada pukul 17.30 WIB – 18.30 WIB dengan total kendaraan 4338 kendaraan di Jalan Prof. Dr. Hamka

Tabel 4.4. Volume kendaraan sore hari di Jalan Raya Ampang

Interval Waktu (detik)	Jenis Kendaraan			Total (kend/jam)
	MC	LV	HV	
16.30 - 17.30	2552	850	18	3420
17.30 - 18.30	2622	820	19	3461

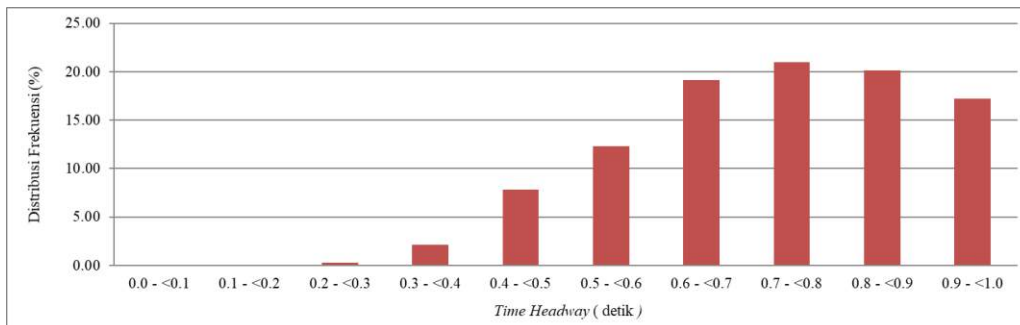
Pada Tabel 4.4 kendaraan paling banyak tercatat pada pukul 17.30 WIB – 18.30 WIB dengan total kendaraan 3461 kendaraan di Jalan Raya Ampang.

4.1.2 Time Headway

4.1.2.1 Time Headway Aggressive

a. Time Headway Pengemudi Aggressive Jalan Prof. Dr. Hamka Pagi Hari

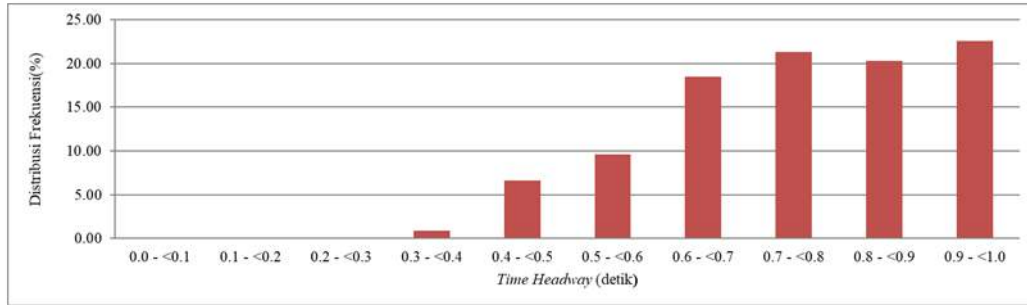
Dari keseluruhan data *time headway* yang didapatkan, selanjutnya akan dikelompokkan berdasarkan *time headway* pengemudi *aggressive* dengan interval waktu dari 0.0 detik hingga kecil dari 1.0 detik. Berikut data *time headway* pengemudi *aggressive* di Jalan Prof. Dr. Hamka Pagi hari yang terlihat pada tabel 4.5 dan gambar 4.3 :



Gambar 4.3. Distribusi *time headway* pengemudi *aggressive* pagi hari di Jalan Prof. Dr. Hamka

Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa pengemudi paling banyak berada pada interval 0,7 detik – 0,8 detik yaitu sebanyak 509 kendaraan. Sedangkan pada interval 0,2 detik – 0,3 detik hanya ada 7 kendaraan.

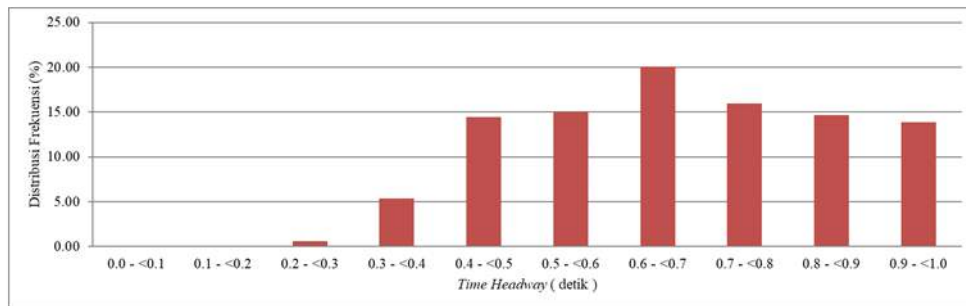
b. Time Headway Pengemudi Aggressive Jalan Prof. Dr. Hamka Sore Hari



Gambar 4.4. Distribusi *time headway* pengemudi *aggressive* sore hari di Jalan Prof. Dr. Hamka

Dari Gambar 4.4 terlihat bahwa pengemudi paling banyak berada pada interval 0,9 detik – 1,0 detik yaitu sebanyak 319 kendaraan. Sedangkan pada interval 0, detik – 0,3 detik hanya ada 1 kendaraan.

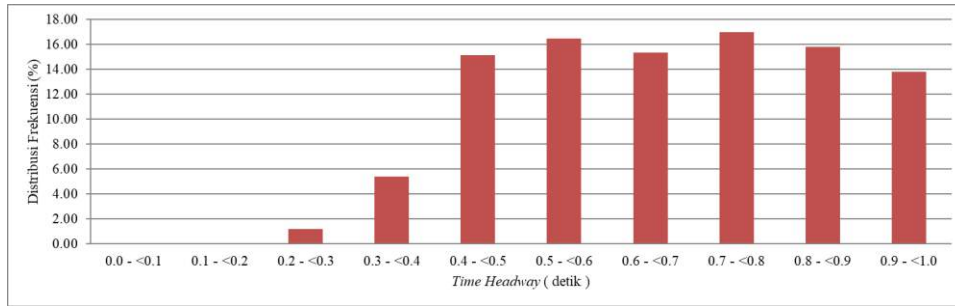
c. Time Headway Pengemudi Aggressive Jalan Raya Ampang Pagi Hari



Gambar 4.5. Distribusi *time headway* pengemudi *aggressive* pagi hari di Jalan Raya Ampang

Dari gambar 4.5 terlihat bahwa pengemudi paling banyak berada pada interval 0,6 detik – 0,7 detik yaitu sebanyak 674 kendaraan. Sedangkan pada interval 0,2 detik – 0,3 detik hanya ada 20 kendaraan.

d. Time Headway Pengemudi Aggressive Jalan Raya Ampang Sore Hari

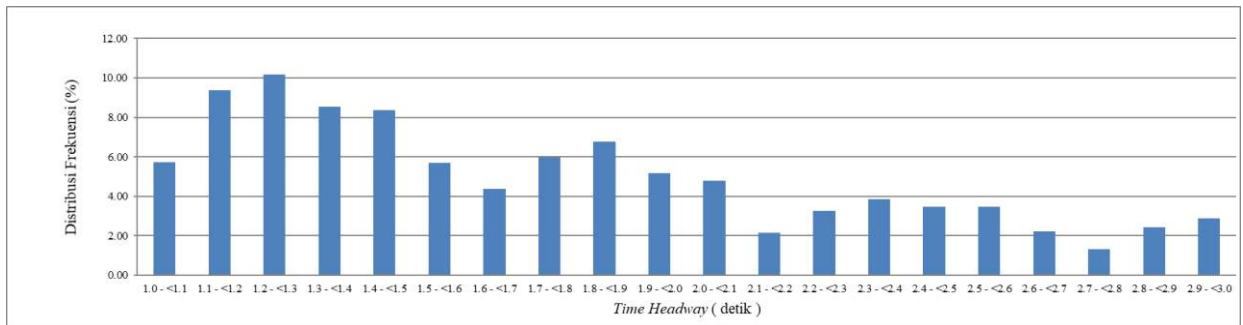


Gambar 4.6. Distribusi time headway pengemudi aggressive sore hari di Jalan Raya Ampang

Dari gambar 4.6 terlihat bahwa pengemudi paling banyak berada pada interval 0,7 detik – 0,8 detik yaitu sebanyak 348 kendaraan. Sedangkan pada interval 0,2 detik – 0,3 detik hanya ada 24 kendaraan.

4.1.2.2 Data Time Headway Non Aggressive

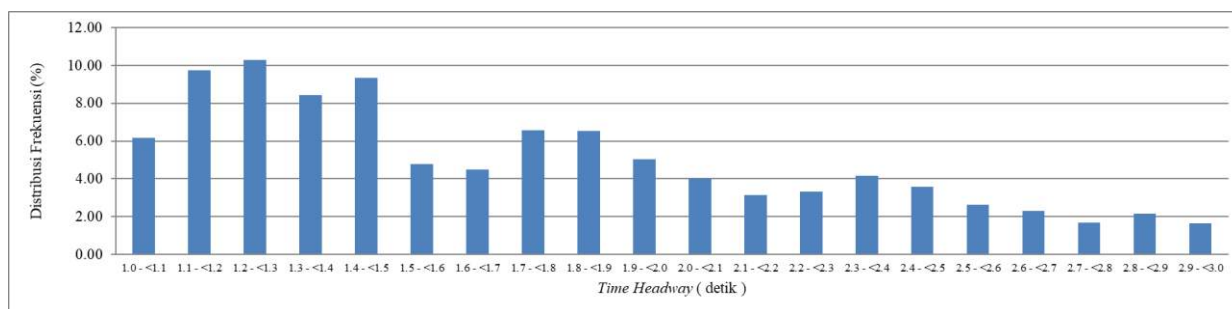
a. Time Headway Pengemudi Non Aggressive Jalan Prof. Dr. Hamka Pagi Hari



Gambar 4.7. Distribusi time headway pengemudi non aggressive pagi hari di Jalan Prof. Dr. Hamka

Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa pengemudi paling banyak berada pada interval 1,2 detik – 1,3 detik yaitu sebanyak 382 kendaraan. Sedangkan pada interval 2,7 detik – 2,8 detik hanya ada 48 kendaraan.

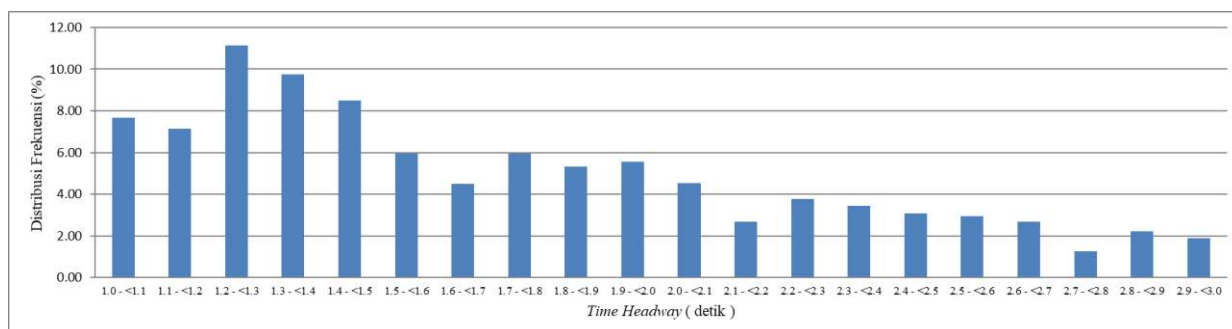
b. *Time Headway* Pengemudi *Non Aggressive* Jalan Prof. Dr. Hamka Sore Hari



Gambar 4.8. *Time headway* pengemudi *non aggressive* sore hari di Jl. Prof. Dr. Hamka

Dari gambar 4.8 terlihat bahwa pengemudi paling banyak berada pada interval 1,2 detik – 1,3 detik yaitu sebanyak 292 kendaraan. Sedangkan pada interval 2,9 detik – 3,0 detik hanya ada 47 kendaraan.

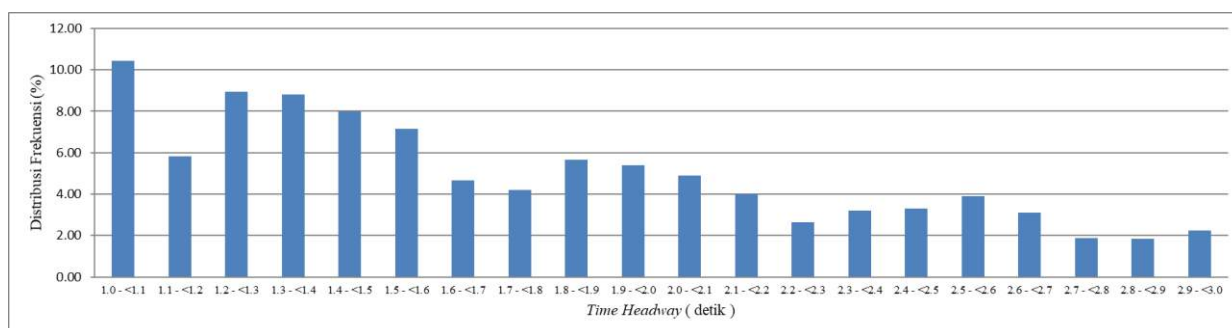
c. *Time Headway* Pengemudi *Non Aggressive* Jalan Raya Ampang Pagi Hari



Gambar 4.9. Distribusi *time headway* pengemudi *non aggressive* pagi hari di Jalan Raya Ampang

Dari Gambar 4.9 terlihat bahwa pengemudi paling banyak berada pada interval 1,2 detik – 1,3 detik yaitu sebanyak 368 kendaraan. Sedangkan pada interval 2,7 detik – 2,8 detik hanya ada 42 kendaraan.

d. *Time Headway* Pengemudi *Non Aggressive* Jalan Raya Ampang Sore Hari



Gambar 4.10. Distribusi *time headway* pengemudi *non aggressive* sore hari di Jl. Raya Ampang

Dari Gambar 4.10 terlihat bahwa pengemudi paling banyak berada pada interval 1,0 detik – 1,1 detik yaitu sebanyak 257 kendaraan. Sedangkan pada interval 2,7 detik – 2,8 detik hanya ada 46 kendaraan.

4.1.3 Hasil Pengamatan Perilaku Aggressive Pengemudi

Pada survei lalu lintas dilakukan pengamatan mengenai perilaku-perilaku pengemudi yang agresif dalam berkendara. Survei yang telah dilakukan selama 2 jam setiap titik survei dilakukan pengamatan perilaku agresif yang tampak pada hasil rekaman *handycam*. Setelah dilakukan pengamatan perilaku yang ada pada rekaman didapatkan dari volume kendaraan pada setiap titik survei, didapatkan banyaknya perilaku yang tampak pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Jenis perilaku agresif pengemudi dan total perilaku pada masing-masing lokasi

Perilaku	Jalan Prof. Dr. Hamka				Jalan Raya Ampang			
	Pagi (kend)	%	Sore (kend)	%	Pagi (kend)	%	Sore (kend)	%
Mengikuti kendaraan terlalu dekat	2427	93.74	1412	91.75	3362	93.41	2053	94.30
Mendahului kendaraan dengan kasar	101	3.90	83	5.40	152	4.22	79	3.63
Berpindah lajur tanpa memberi tanda	24	0.93	14	0.91	37	1.03	24	1.10
Menghalangi pengemudi lain untuk masuk ke jalur	25	0.97	17	1.10	38	1.06	10	0.46
Mengurangi kecepatan secara mendadak	12	0.46	13	0.84	10	0.28	11	0.51
Total	2589	100	1539	100	3599	100	2177	100

Dari hasil survei perilaku agresif pengemudi didapatkan total perilaku agresif terbanyak berada di Jalan Raya Ampang pagi hari dengan total perilaku agresif dalam mengemudi sebanyak 3599 kendaraan. Perilaku yang paling mendominasi pada lokasi survei adalah mengikuti kendaraan paling dekat (*tailgating*).

4.2 Analisis Data *Time Headway*

Setelah dilakukan pengumpulan data *time headway* dari survei yang telah dilakukan, selanjutnya dilakukan perhitungan *time headway* pengemudi berdasarkan kendaraan, dan menurut pasangan jenis kendaraan.

4.2.1 Time Headway Kendaraan

Data *time headway* pengemudi *aggressive* dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan *headway non aggressive* pada Tabel 4.7.

Tabel 4.6 Time headway pengemudi aggressive pada masing-masing lokasi

	Jalan Prof. Dr. Hamka		Jalan Raya Ampang	
	Pagi	Sore	Pagi	Sore
\bar{x} (detik)	0.72	0.75	0.67	0.68
σ	0.17	0.16	0.18	0.18
Range	0.77	0.71	0.77	0.78
n (kendaraan)	2427	1412	3362	2053

Pada Tabel 4.6 terlihat bahwa nilai rata-rata *time headway* pengemudi *aggressive* yang tertinggi berada di Jalan Raya Ampang di pagi hari, yaitu 0,67 detik dengan standar deviasi (σ) sebesar 0,18, dengan jumlah data 3362 kendaraan. Di jalan Prof. Dr. Hamka nilai rata-rata *time headway* pengemudi *aggressive* sebesar 0,72 detik di pagi harinya dengan nilai standar deviasi 0,17, dengan jumlah kendaraan sebanyak 2427 kendaraan.

Tabel 4.7 Headway pengemudi non aggressive pada masing-masing lokasi

	Jalan Prof. Dr. Hamka		Jalan Raya Ampang	
	Pagi	Sore	Pagi	Sore
\bar{x} (detik)	1.91	2.63	1.70	1.75
σ	0.54	0.51	0.53	0.54
Range	1.93	1.93	1.93	1.93
n (kendaraan)	3758	2840	3301	2460

Pada Tabel 4.7 terlihat bahwa nilai rata-rata *time headway* pengemudi *non aggressive* yang tertinggi ada di Jalan Prf. Dr. Hamka sore hari yaitu 2,63 detik dengan nilai standar deviasi 0,51, dan jumlah kendaraan sebanyak 3758 kendaraan. Di Jalan Raya Ampang nilai rata-rata *time headway* pengemudi *non aggressive* yang tertinggi terjadi di sore hari yaitu 1.75 detik dengan standar deviasi 0,54, jumlah kendaraan sebanyak 2460 kendaraan.

4.3 Analisis Model Distribusi Time Headway

Model distribusi *time headway* akan didapat dengan menggunakan aplikasi *EasyFit*. Data *time headway* yang telah didapat akan dimasukkan kedalam data *table* aplikasi, yang selanjutnya memilih menu *Analyze* lalu *Descriptive Statistic* untuk melakukan pencocokan ke dalam model-model distribusi yang ada, beserta nilai-nilai parameter probabilitas.

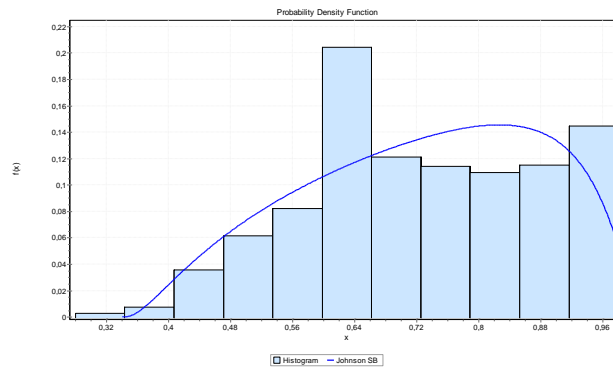
4.3.1 Analisis Model Distribusi Time Headway Pengemudi Aggressive dan Non Aggressive Jalan Prof. Dr. Hamka

Model distribus *time headway* pengemudi *aggressive* dan *non aggressive* Jalan Prof. Dr. Hamka yang memiliki kecocokan yang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Rekapitulasi model distribusi terbaik data *time headway* pengemudi *aggressive* dan *non aggressive*

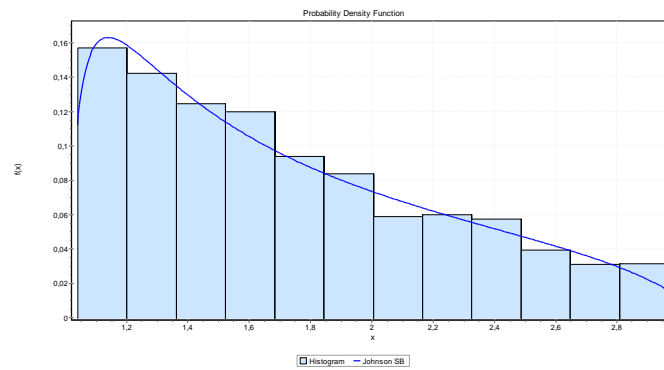
Perilaku	Model	Parameter
Aggressive	Johnson SB	$Y = -0,33235$
		$\delta = 0,877$
		$\lambda = 0,67164$
		$\epsilon_s = 0,34094$
Non Aggressive	Johnson SB	$Y = 0,63584$
		$\delta = 0,70393$
		$\lambda = 2,1106$
		$\epsilon_s = 1,0024$

Dari hasil analisis Uji Kolmogorov Smirnov diperoleh satu model yang memiliki kecocokan untuk data *time headway* pengemudi *aggressive* dan *non aggressive* di Jalan Prof. Dr. Hamka pagi dan sore hari Grafik perbandingan probabilitas dari data *time headway* dan distribusi teoritisnya dapat dilihat pada Gambar 11, Gambar 12.



Gambar 4.11 Distribusi frekuensi jenis *time headway* pengemudi *aggressive* yaitu Johnson SB di Jalan Prof. Dr. Hamka pagi dan sore hari

Berdasarkan hasil pencocokan permodelan distribusi yang cocok untuk data *time headway* pengemudi *aggressive* di Jalan Prof. Dr. Hamka pagi dan sore hari berdasarkan Gambar 4.11 model distribusi frekuensi Johnson SB yang yang memiliki kecocokan dengan data.



Gambar 4.12 Distribusi frekuensi jenis time headway pengemudi *non aggressive* yaitu Johnson SB di Jalan Prof. Dr. Hamka pagi dan sore hari

Berdasarkan hasil pencocokan permodelan distribusi yang cocok untuk data *time headway* pengemudi *non aggressive* di Jalan Prof. Dr. Hamka pagi dan sore hari berdasarkan Gambar 4.12 model distribusi frekuensi Johnson SB yang memiliki kecocokan dengan data.

5. KESIMPULAN

Dari pembahasan dari bab sebelumnya maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Jenis perilaku agresif pengemudi yang ditemukan di lokasi survei, sebagai berikut :
 1. Mengikuti kendaraan terlalu dekat
 2. Mendahului kendaraan dengan kasar
 3. Berpindah lajur tanpa memberi tanda
 4. Menghalangi pengemudi lain untuk masuk ke lajur
 5. Mengurangi kecepatan secara mendadak
2. Model distribusi yang paling sesuai pada Jalan Prof. Dr. Hamka pagi dan sore hari untuk *time headway* pengemudi *aggressive* dan *non aggressive* adalah Johnson SB.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Depkes.go.id. 2017. *Tiga orang meninggal setiap jam akibat kecelakaan*. Diunduh tanggal 27 Oktober 2018 dari <http://www.depkes.go.id/article/view/17082100002/rata-rata-3-tiga-orang-meninggal-setiap-jam-akibat-kecelakaan-jalan>.
- Houston, J.M., Paul B. H., & Norman, M. (2003). *The aggressive driving behavior scale: developing a self-report measure of unsafe driving*. *North american journal of psychology (NAJP)*. Vol. 5, No. 2,269-278.
- James, L. & Nahl, D.(2000). *Aggressive driving is Emotionally Impaired Driving: Jpurnal of aggressive driving*.
- Korlantas-irsms.info. *Kecelakaan di indonesia selama triwulan terakhir*. Diunduh tanggal 27 Oktober 2018 dari <http://www.korlantas.irsms.info/graph/accidentData?lang=id>
- Sukowati, D.G., (2004) *Karakteristik time headway di jalan tol dan jalan non tol (Studi di jalan tol seksi B Semarang dan jalan Lingkar Kota Demak)*. Tesis Magister, Program Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro.
- Tasca,L. (2000). “ A review of literatur on aggressive driving research”,Presented at Aggressive Driving Issues Conference. <https://www.stopandgo.org/research/aggressive/tasca.pdf>.
- US-HCM.(2000) Highway Capacity Manual, 2000.

ANALISIS KINERJA JALAN PERKOTAAN AKIBAT PERUBAHAN GEOMETRIK JALAN (STUDI KASUS JL HR. SUBRANTAS KM 14 PANAM PEKANBARU)

Benny Hamdi Rhoma Putra¹

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email: benny.ft@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

The Jalan HR Soebrantas is an arterial road that connects Pekanbaru to Kampar Regency. Congestion that occurred on these roads is caused by many factors including two universities are located in this street, namely the University of Riau and the UIN Sultan Syarif Kasim Riau. Besides that, condition of land use along this road is shopping and residential areas. Currently the geometric of Jalan HR Subrantas is change, from 2/2 UD to 4/2 D in order to solve congestion. The purpose of this research is to compare the performance of the road before and after geometric change. Then the performance is being forecast for next 5 and 10 years. The traffic survey was conducted on 2 May 2018 from 11:00 to 18:00 on KM 14. Road Performance Analysis refers to the MKJI 1997. From the analysis, the highest score of DS and level of service Jalan Subrantas KM 14 is 0.895 with Level of service is E. Based on this condition, the government made an improvements by increasing the number of lanes to 4/2 D is appropriate. The results of the forecast in 2023 the highest DS is 0.452 with level of service C. In 2028, the highest DS is 0.584 with level of service D.

Keywords : Congestion, Road Performance, MKJI, Degree of Saturation, Level of Service

ABSTRAK

Jalan HR Soebrantas merupakan jalan arteri yang menghubungkan Kota Pekanbaru dan Kabupaten Kampar. Kemacetan yang sering terjadi di ruas jalan ini disebabkan banyak faktor diantaranya terdapat dua universitas yaitu Universitas Riau dan UIN Sultan Syarif Kasim Riau. Selain itu guna lahan di sepanjang jalan ini berupa kawasan pertokoan dan pemukiman. Saat ini jalan HR Subrantas mengalami perubahan geometrik, yaitu dari tipe 2/2 UD menjadi 4/2 D guna mengurai kemacetan. Tujuan dari Penelitian ini adalah membandingkan kinerja jalan saat sebelum dan sesudah terjadi perubahan tipe jalan, serta perkiraan kinerja ruas jalan ini 5 hingga 10 tahun kedepan. Survei lalu lintas dilakukan pada 2 Mei 2018 pada pukul 11.00 hingga 18.00 pada KM 14. Analisis Kinerja jalan mengacu pada MKJI 1997. Nilai DS tertinggi pada segmen jalan dengan tipe 2/2 UD ini adalah 0.895 dengan Tingkat Pelayanan E. Dengan buruknya tingkat pelayanan ini maka kebijakan pemerintah menambah jumlah lajur menjadi 4/2 D menjadi tepat. Selanjutnya, berdasarkan hasil *forecast* tahun 2023 didapatkan DS tertinggi adalah 0.452 dengan tingkat pelayanan C. Pada tahun 2028, DS tertinggi adalah sebesar 0,584 dengan tingkat pelayanan D.

Kata Kunci : Kemacetan, Kinerja Jalan Perkotaan, MKJI, Derajat Kejenuhan, Tingkat Pelayanan

1. PENDAHULUAN

Masalah utama yang sering terjadi pada lalu lintas jalan perkotaan adalah kemacetan. Kemacetan yang terjadi menimbulkan kerugian bagi pengguna jalan. Kemacetan terjadi saat volume lalu lintas mendekati kapasitas suatu ruas jalan. Jalan HR Soebrantas KM 14 merupakan jalan arteri yang menghubungkan Kota Pekanbaru dan Kabupaten Kampar. Adapun tipe jalan ini awalnya adalah dua lajur dua arah tidak terbagi (2/2 UD) dan berstatus sebagai Jalan Nasional. Disepanjang jalan ini terdapat dua kampus terbesar di Provinsi Riau yaitu Universitas Riau dan UIN Sukska Riau serta beberapa kampus swasta, pasar dan sekolah. Dengan kondisi guna lahan seperti ini menjadi salah satu faktor penyebab kemacetan pada ruas jalan ini. Dari penelitian terdahulu di ruas Jalan HR Subrantas KM 3 diketahui nilai derajat kejenuhan (DS) adalah 0,88 dengan Tingkat Pelayanan E (Rhoma, 2017)

Buruknya aksesibilitas akibat kemacetan di ruas jalan ini, mendorong Kementerian PUPR sebagai pembina jalan melakukan perbaikan. Perbaikan mencakup perubahan geometrik jalan dengan menambah jumlah lajur pada ruas ini. Tipe jalan HR subrantas KM 13 berubah dari 2/2 UD menjadi empat lajur dua arah terbagi (4/2 D). Pekerjaan perubahan geometrik jalan ini rampung di Bulan Mei 2019.

Melalui penelitian ini dapat dihitung derajat kejenuhan (DS) tiap jam dengan mengacu pada MKJI 1997. Selanjutnya DS tiap jam tersebut akan dibandingkan antara sebelum dan sesudah perubahan geometrik hingga 5 dan 10 tahun kedepan. Segmen jalan yang menjadi lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Jalan Perkotaan

Jalan perkotaan adalah jalan yang terdapat perkembangan secara permanen dan menerus di sepanjang atau hampir seluruh jalan, minimum pada satu sisi jalan, baik berupa perkembangan lahan atau bukan. Yang termasuk dalam kelompok jalan perkotaan adalah jalan yang berada didekat pusat perkotaan dengan jumlah penduduk lebih dari 100.000 jiwa. Jalan di daerah perkotaan dengan jumlah penduduk yang lebih dari 100.000 juga dapat digolongkan pada kelompok ini jika perkembangan samping jalan tersebut bersifat permanen dan terus menerus.

Karakteristik suatu jalan akan mempengaruhi kinerja jalan tersebut. Karakteristik jalan tersebut terdiri atas beberapa hal, yaitu:

a. Geometrik

Geometrik jalan didefinisikan sebagai suatu bangun jalan raya yang menggambarkan tentang bentuk/ukuran jalan raya baik yang menyangkut penampang melintang, memanjang, maupun aspek lain yang terkait dengan bentuk fisik jalan.

b. Komposisi arus dan pemisahan arah

Volume lalu lintas dipengaruhi komposisi arus lalu lintas, setiap kendaraan yang ada harus dikonversikan menjadi suatu kendaraan standar. Pengaturan lalu lintas, batas kecepatan jarang diberlakukan didaerah perkotaan Indonesia, dan karenanya hanya sedikit berpengaruh pada kecepatan arus bebas.

c. Hambatan samping

Aktivitas samping jalan yang dapat menimbulkan konflik dan berpengaruh terhadap pergerakan arus lalu lintas serta menurunkan kinerja jalan.



Gambar 1. Lokasi Segmen Jalan Hr. Subrantas KM 14

Geometrik suatu ruas jalan terdiri dari beberapa unsur fisik dari jalan sebagai berikut :

a. Tipe jalan

Berbagai tipe jalan akan menunjukkan kinerja berbeda pada pembebanan lalu lintas tertentu, misalnya jalan terbagi, jalan tak terbagi, dan jalan satu arah. Tipe jalan pada MKJI adalah :

- Dua lajur dua arah terbagi (2/2UD)
- Empat lajur dua arah (tak terbagi atau 4/2UD), dan terbagi atau 4/2D
- Enam lajur 2 arah terbagi (6/2D)
- Jalan satu arah.

b. Lebar Jalur

Kecepatan arus bebas dan kapasitas meningkat dengan penambahan lebar jalur lalu lintas.

c. Bahu/Kereb

Kecepatan dan kapasitas jalan akan meningkat bila lebar bahu semakin lebar. Kereb sangat berpengaruh terhadap dampak hambatan samping jalan

Hambatan samping sangat mempengaruhi lalu lintas. Faktor-faktor yang mempengaruhi hambatan samping adalah :

- a. Pejalan kaki atau menyebrang sepanjang segmen jalan.
- b. Kendaraan berhenti dan parkir.
- c. Kendaraan bermotor yang masuk dan keluar ke/dari lahan samping jalan dan jalan sisi.
- d. Kendaraan yang bergerak lambat, yaitu sepeda, becak, delman, pedati, traktor, dan sebagainya

2.2 Kinerja Jalan Perkotaan

Tingkat kinerja jalan adalah ukuran kuantitatif yang menerangkan kondisi operasional. Nilai kuantitatif dinyatakan dalam kapasitas, derajat kejenuhan, derajat iringan, kecepatan rata – rata, waktu tempuh, tundaan dan rasio kendaraan berhenti. Ukuran kualitatif yang menerangkan kondisi operasional dalam arus lalu lintas dan persepsi pengemudi tentang kualitas berkendara dinyatakan dengan tingkat pelayanan jalan (MKJI 1997). Adapun macam-macam kinerja jalan yaitu:

- Kapasitas
- Derajat Kejenuhan
- Hambatan Samping
- Tingkat Pelayanan
- Kecepatan Arus bebas

2.3 Kapasitas Jalan Perkotaan

Kapasitas adalah arus maksimum yang melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan per satuan jam pada kondisi tertentu.

Persamaan dasar untuk menentukan kapasitas adalah :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{CS}$$

Dengan;

C = Kapasitas (smp/jam)

C_o = Kapasitas dasar (smp/jam)

F_{cw} = Faktor penyesuain lebar jalan

F_{csp} = Faktor Pemisahan arah

F_{csf} = Faktor Penyesuaian hambatan samping

F_{ccs} = Faktor Penyesuaian Ukuran kota

Kapasitas dasar (C_o) kapasitas segmen jalan pada kondisi geometri, ditentukan berdasarkan tipe jalan sesuai dengan Tabel 1 sebagai berikut;

Tabel 1. Kapasitas Dasar Jalan Perkotaan

Tipe jalan	Kapasitas dasar	Catatan
	(smp/jam)	
Empat-lajur terbagi atau Jalan satu-arah	1650	Per lajur
Empat-lajur tak-terbagi	1500	Per lajur
Dua-lajur tak-terbagi	2900	Total dua arah

(Sumber : MKJI 1997)

Faktor penyesuaian lebar jalan ditentukan berdasarkan lebar jalan efektif yang dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut

Tabel 2. Kapasitas Dasar Jalan Perkotaan

Tipe	Jalan Lebar efektif jalur lalu-lintas (Wc) (m)	FCW
Empat-lajur terbagi Atau Jalan satu-arah Per lajur	3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
	4,00	1,08
Empat-lajur tak Terbagi Per lajur	3,00	0,91
	3,25	0,95
	3,50	1,00
	3,75	1,05
	4,00	1,09
Dua-lajur tak-Terbagi	5	0,56
	6	0,87
Total kedua arah	7	1,00
	8	1,14
	9	1,25
	10	1,29
	11	1,34

(Sumber : MKJI 1997)

Faktor penyesuaian ukuran kota didasarkan pada jumlah penduduk, Faktor penyesuaian ukuran kota dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (FCCS)

Ukuran kota (juta penduduk)	Faktor penyesuaian untuk ukuran kota
< 0,1	0,90
0,1 - 0,5	0,93
0,5 - 1,0	0,95
1,0 - 3,0	1,00
>3,0	1,03

2.4 Derajat Kejenuhan (DS)

Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai rasio arus jalan terhadap kapasitas, yang digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai DS menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah

kapasitas atau tidak. Persamaan dasar untuk menentukan derajat kejenuhan adalah sebagai berikut :

$$DS = Q / C$$

dengan :

DS : Derajat kejenuhan

Q : Arus lalu lintas (smp/jam)

C : Kapasitas (smp/jam)

Derajat kejenuhan digunakan untuk menganalisis perilaku lalu lintas.

2.5 Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan (*level of service*) adalah ukuran kinerja ruas jalan atau simpang jalan yang dihitung berdasarkan tingkat penggunaan jalan, kecepatan, kepadatan dan hambatan yang terjadi. Dalam bentuk matematis tingkat pelayanan jalan ditunjukkan dengan V- C Ratio versus kecepatan (V = volume lalu lintas, C = kapasitas jalan). Tingkat pelayanan dikategorikan dari yang terbaik (A) sampai yang terburuk (tingkat pelayanan F). Karakteristik tingkat pelayanan dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut

Tabel 4. Tingkat Pelayanan

V/C RASIO	Tingkat Pelayanan Jalan	Keterangan
< 0.60	A	Arus lancar, volume rendah, kecepatan Tinggi
0.60 - 0.70	B	Arus stabil, kecepatan terbatas, volume sesuai untuk jalan Luar kota
0.70 - 0.80	C	Arus stabil, kecepatan dipengaruhi oleh lalu lintas, volume sesuai untuk jalan kota
0.80 - 0.90	D	Arus mendekati tidak stabil, kecepatan Rendah
0.90 - 1.00	E	Arus tidak stabil, kecepatan rendah, volume padat atau mendekati kapasitas
> 1.00	F	Arus yang terhambat, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas, banyak berhenti.

(Sumber MKJI 1997)

2.6 Pertumbuhan Lalu Lintas

Perkiraan (*forecasting*) lalu lintas harian rata-rata yang ditinjau dalam waktu 5, 10, 15 atau 20 tahun mendatang setelah waktu peninjauan berlalu, maka pertumbuhan lalu lintas ditinjau kembali untuk mendapatkan pertumbuhan lalu lintas yang akan

datang. Untuk lebih jelas tentang perkembangan lalu lintas pada ruas tersebut, kemudian dibuatlah grafik hubungan antara tahun dan lalu lintas harian rata-rata (LHR).

Perkembangan lalu lintas tiap tahun dirumuskan :

$$LHR_n = LHR_0 \times (1 + i)^n$$

Dimana,

i : Laju pertumbuhan lalu lintas (%)

n : Jumlah tahun

Untuk nilai laju pertumbuhan lalu lintas (i) dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Faktor pertumbuhan laju lalu lintas (%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata rata
Arteri dan perkotaan	4.8	4.83	5.14	4.75
Kolektor rural	3.5	3.5	3.5	3.5
Jalan desa	1	1	1	1

(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Survei pengumpulan data

Survei pengambilan data lalu lintas dan pengamatan pertama dilakukan di Jalan HR Soebrantas KM 14 pada hari Rabu, 2 Mei 2018 pukul 11.00 – 18.00 WIB. Data yang diambil adalah jumlah kendaraan berat, kendaraan ringan dan sepeda motor. Selain data lalu lintas, penulis juga mengambil data geometrik ruas jalan. Lebar lajur adalah 3 meter dan lebar jalan adalah 6 meter tanpa median. Kondisi hambatan samping selama jam pengamatan adalah sedang. Kemudian Bulan Mei 2019 penulis kembali turun ke lapangan guna mendapatkan kondisi geometrik terbaru. Adapun kondisi geometrik terbaru adalah 4/2 D dengan lebar lajur 3,5 meter dan lebar lajur 7 meter. Kondisi bahu jalan diperkeras dengan lebar 2 meter dan median yang memisahkan kedua arah berdimensi 1 m.

3.2 Analisis volume lalu lintas

Survei lalu lintas dilakukan guna untuk mendapatkan jumlah kendaraan yang melewati segmen jalan pengamatan. Keragaman jenis kendaraan yang melalui titik pengamatan di konversikan menjadi Satuan Mobil Penumpang (SMP) per jam untuk mempermudah perhitungan derajat kejenuhan dengan menggunakan Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP). Nilai EMP berbeda saat sebelum dan sesudah perubahan geometrik. Misalnya EMP untuk *Motorcycle* (MC) dari 0.35 menjadi 0.25. namun nilai EMP Kendaraan ringan (LV) dan kendaraan berat (HV) tetap di 1 dan 1,2. Selanjutnya data SMP/ jam di *forecast* dengan menggunakan nilai i sebesar 4,38% untuk mendapatkan volume lalu

lintas di tahun ke 5 dan tahun ke 10 dari pengamatan. Adapun hasil survey lapangan di sajikan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Data Volume Lalu Lintas

Jam	Tahun 2018		Tahun 2023 (i=4,83%)		Tahun 2028 (i=4,38%)			
	Arus total Arah 1		Arus total Arah 2		Arus Total Arah 1	Arus Total Arah 2		
	Kend /jam	SMP /jam	Kend/ jam	SMP /jam	SMP/jam	SMP/jam		
11.00- 12.00	1476	913	1565	912	1155	1154	1463	1461
12.00- 13.00	1462	862	1625	952	1091	1206	1381	1527
13.00- 14.00	1614	959	1719	1026	1214	1299	1536	1644
15.00- 16.00	1768	1058	1800	940	1340	1190	1696	1507
16.00- 17.00	1799	987	1995	1062	1250	1345	1582	1702
17.00- 18.00	1919	1072	2074	1155	1357	1462	1717	1851

3.3 Analisis Kapasitas Jalan Perkotaan

Kapasitas diartikan sebagai besaran arus maksimum yang dapat dipertahankan selama satu jam oleh suatu ruas jalan. Kapasitas ruas jalan tergantung dari tipe jalan. Akibat terjadi perubahan geometrik maka terjadi perubahan kapasitas jalan. Untuk menghitung kapasitas jalan diperlukan beberapa data dan faktor penyesuaian diantaranya;

a. Kapasitas Dasar (C_0)

Nilai kapasitas dasar ditentukan berdasarkan tipe jalan. Adapun kapasitas dasar C_0 dari tipe jalan 2/2 UD adalah 2900 SMP/ jam dan tipe jalan 4/2 D adalah 3300 SMP/jam.

b. Faktor Penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas (F_{cw})

Nilai f_{cw} untuk tipe jalan 2/2UD dengan lebar jalan 6 meter adalah 0.87 dan untuk 4/2 D dengan lebar lajur 3,5 meter adalah 1.

c. Faktor penyesuaian akibat pemisah arah (F_{Csp})

Nilai F_{Csp} untuk kondisi pemisah arah 50-50 adalah 1.

d. Faktor penyesuaian akibat hambatan samping (F_{Csf})

Nilai F_{Csf} untuk tipe jalan 2/2 UD dengan kondisi hambatan samping sedang adalah 0.98 sedangkan untuk tipe jalan 4/2 D dengan kondisi hambatan samping sedang adalah

1, dan untuk kondisi hambatan samping tinggi adalah 0,98 dan 0,96 untuk kondisi hambatan samping sangat tinggi ditahun 2028 .

e. Faktor penyesuaian ukuran kota (FCcs)

Kota Pekanbaru memiliki jumlah penduduk 1,1 juta jiwa maka, nilai FCcs adalah 1.

Dari uraian diatas dapat disajikan hasil perhitungan kapasitas jalan pada Tabel 7 berikut ini dari tahun 2018, 2023 dan 2028.

Tabel 7. Hasil perhitungan kapasitas

Tahun	Kapasitas Dasar (C0)	faktor lebar jalur (FCw)	Faktor Pemisah arah (FCsp)	Faktor hambatan samping (FCsf)	Faktor Ukuran Kota (Fcs)	Kapasitas C (SMP/jam)
2018	2900	0.87	1	0.98	1	2473
2018 (sesudah)	3300	1	1	1	1	3300
2023	3300	1	1	0.98	1	3234
2028	3300	1	1	0.96	1	3168

3.4 Analisis nilai Derajat kejenuhan (DS)

Nilai DS didapat dengan membandingkan antara volume lalu lintas terhadap kapasitas ruas jalan. DS disajikan tiap jam pengamatan. Untuk tipe jalan 4/2 D yang dipisahkan oleh median, analisis dilakukan terpisah berdasarkan arah. Berikut hasil perhitungan DS tiap jam di tampilkan pada Tabel 8 dan Tabel 9 berikut.

Tabel 8. Nilai DS sebelum perubahan geometrik tipe jalan 2/2 UD

Jam	DS (%)	
	Sebelum Perbaikan Geometrik (2018)	Tingkat Pelayanan
11.00-12.00	0.734	D
12.00-13.00	0.828	E
13.00-14.00	0.803	E
15.00-16.00	0.817	E
16.00-17.00	0.829	E
17.00-18.00	0.895	E

Tabel 9. Nilai DS setelah perubahan geometrik untuk tipe jalan 4/2 D

Jam	DS					
	Setelah Perbaikan Geometrik					
	2018		2023		2028	
	Arah 1	Arah 2	Arah 1	Arah 2	Arah 1	Arah 2
11.00-12.00	0.250	0.240	0.357	0.357	0.461	0.462
12.00-13.00	0.232	0.257	0.337	0.373	0.436	0.482
13.00-14.00	0.260	0.278	0.375	0.402	0.485	0.519
15.00-16.00	0.321	0.285	0.414	0.368	0.535	0.476
16.00-17.00	0.299	0.322	0.386	0.416	0.499	0.537
17.00-18.00	0.325	0.350	0.419	0.452	0.542	0.584

Berdasarkan Tabel 8 diatas diketahui bahwa tingkat pelayanan Jalan Hr Subrantas Km 14 pada hari kerja sebelum mengalami perubahan geometrik berada di level E. Kondisi lalu lintas pada tingkat pelayanan level E adalah mulai macet dengan kecepatan rendah. Setelah perubahan geometrik, ditahun 2018 dan 2023 tingkat pelayanan ruas jalan tertinggi berada di level C. Di tahun 2028, tingkat pelayanan naik menjadi Level D dengan kondisi lalu lintas jenuh, dan kecepatan mulai rendah.

4. KESIMPULAN

Nilai DS dan Tingkat Pelayanan Jalan HR. Subrantas KM 14 dengan tipe 2/2 UD tertinggi adalah 0.895 dengan Tingkat Pelayanan E. Dengan buruknya tingkat pelayanan ini maka kebijakan pemerintah menambah jumlah lajur menjadi 4/2 D sangat tepat. Berdasarkan hasil *forecast* tahun 2023 didapatkan DS tertinggi adalah 0.452 dengan tingkat pelayanan C. Pada tahun 2028, DS tertinggi adalah sebesar 0,584 dengan tingkat pelayanan D.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Dirjen Bina Marga. 2009. Panduan operasional survei lalu lintas, departemen pekerjaan umum. Jakarta.
- MKJI. 1997. Manual Kapasitas Jalan Indonesia. Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan umum, Jakarta.
- Rhoma, BHR. 2017. Analisis Kinerja Jalan Perkotaan Studi Kasus Ruas Jalan Hr. Soebrantas Km 3 Pekanbaru. RACIC. Vol 2 No 1.

PENGARUH LAMA PERENDAMAN TERHADAP NILAI KUAT TEKAN PADA CAMPURAN AC-WC DENGAN MENGGUNAKAN ASPAL MODIFIKASI ELASTOMER

Edi Yusuf Adiman¹

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.

Email: edi.yusuf@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Flood can cause the strength of the material from the mixture of asphalt, increasingly reduced and cut the life of the road plan. Therefore, it is necessary to conduct a study that can measure the durability level of the strength of the asphalt mixture on the surface layer of the road by water immersion. The study used AC-WC mixture with elastomer-modified asphalt and UL, MR, and LL gradation. The durability level calculated based on the decrease in the compressive strength of the UCS test results on water immersion 0, 1, 2, 4 and 7 days. The effect of flood water immersion on compressive strength value of mixture on gradations of UL, MR, and LL decreased on days 1, 2, 4 and 7, which meant that the longer the water immersion time, the lower the strength value of compressive strength. The UL graded mixture had the best durability value up to the 7th day when it compared to the MR and LL gradations, with an Index Retained Strength (IRS) value of 91.19%.

Keywords : Elastomer-Modified Asphalt, AC-WC, Compressive Strength, Durability

ABSTRAK

Banjir yang menggenang cukup lama di permukaan jalan dapat membuat kekuatan bahan dari campuran aspal semakin lama semakin berkurang, bahkan menimbulkan kerusakan jalan. Oleh karena itu diperlukan penelitian yang dapat mengukur tingkat keawetan (durabilitas) dari kekuatan bahan campuran aspal pada lapisan permukaan jalan terhadap rendaman air. Pada penelitian ini, menggunakan campuran AC-WC dengan aspal modifikasi elastomer dan menggunakan gradasi UL, MR, dan LL. Nilai durabilitas dihitung berdasarkan penurunan dari nilai kuat tekan hasil pengujian UCS pada perendaman 0, 1, 2, 4 dan 7 hari. Pengaruh perendaman air terhadap nilai kuat tekan campuran pada gradasi UL, MR, dan LL mengalami penurunan pada hari 1, 2, 4 dan 7 hari, yang artinya semakin lama waktu perendaman maka nilai kuat tekan akan semakin berkurang. Campuran bergradasi UL memiliki nilai durabilitas paling baik sampai hari ke-7 jika dibandingkan dengan gradasi MR dan LL, dengan nilai IKS sebesar 91,19%.

Kata Kunci : Aspal Modifikasi Elastomer, AC-WC, Kuat Tekan, Durabilitas

1. PENDAHULUAN

Indonesia yang beriklim tropis yang mempunyai curah hujan yang tergolong tinggi yaitu lebih dari 2.000 mm/tahun dengan durasi hujan yang cukup lama dapat menimbulkan genangan air yang cukup lama pula di permukaan jalan. Genangan air dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan jalan, dikarenakan air dapat melonggarkan ikatan antara agregat dengan aspal (Hick, 1991). Ketika ikatan aspal dan agregat longgar karena air, kendaraan yang lewat akan memberi beban yang menimbulkan retak atau kerusakan jalan lainnya. Hal ini diperparah lagi dengan keadaan drainase jalan yang tidak berjalan sesuai dengan fungsinya, rusak, bahkan masih banyak terdapat jalan yang tidak mempunyai drainase, yang berdampak semakin lamanya genangan air yang terjadi pada permukaan jalan dan selanjutnya dapat mengurangi umur rencana jalan tersebut.

Untuk menanggapi permasalahan fenomena di atas, perlu digunakan teknologi yang dapat menambah kinerja dari bahan aspal itu sendiri yaitu dengan cara memodifikasi aspal. Aspal modifikasi merupakan aspal konvensional yang di modifikasi dengan penambahan zat aditif pada aspal konvensional tersebut. Septiana (2013) mengatakan penggunaan Aspal Modifikasi Elastomer (AME) pada campuran AC-WC memberikan karakteristik *Marshall* berupa stabilitas, *flow* yang lebih baik, dan lebih bersifat kedap air dibandingkan dengan aspal konvensional.

Durabilitas pada perkerasan aspal merupakan kemampuan campuran aspal untuk dapat tahan terhadap penuaan aspal, disintegrasi agregat, pelepasan lapisan aspal dari agregat akibat cuaca, dan beban lalu lintas (Asphalt Institute MS-2, 1997). Pengujian durabilitas berdasarkan SNI M-58-1990 hanya mengukur tingkat keawetan campuran dengan perendaman air terhadap nilai stabilitasnya saja, padahal durabilitas dapat saja ditinjau dari nilai kuat tekan campuran. Pada perkerasan jalan nilai kuat tekan dapat direpresentasikan sebagai kekuatan maksimum campuran dalam menerima beban langsung dari kendaraan.

Dari berbagai permasalahan di atas, maka diperlukan penelitian untuk melihat pengaruh lama perendaman terhadap nilai kuat tekan campuran AC-WC dengan menggunakan aspal modifikasi elastomer (AME).

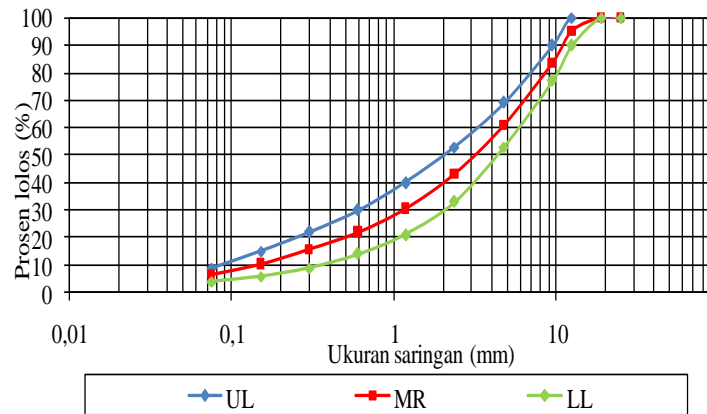
2. METODE PERANCANGAN DAN PENGUJIAN

2.1 Tahap Perancangan Campuran

Campuran beton aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jenis *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). Target gradasi yang diambil adalah batas atas (UL), nilai tengah (MR) dan batas bawah (LL) dari masing-masing *range* pada setiap saringan berdasarkan ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yang dapat dilihat pada Gambar 1.

Beda uji dalam penelitian ini dibedakan menjadi dua jenis yaitu benda uji *Marshall* dan benda uji UCS (*Unconfined Compression Strength*). Benda uji *Marshall* digunakan

untuk memperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO) dari masing-masing gradasi. Untuk mendapatkan nilai KAO digunakan lima variasi kadar aspal yaitu dua kadar aspal di atas nilai kadar aspal perkiraan (Pb) dan dua kadar aspal di bawah nilai Pb yang memiliki variasi tingkat kenaikan 0,5%. KAO merupakan nilai tengah dari rentang kadar aspal yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal rancangan dengan nilai dari setiap parameter karakteristik *Marshall*, dan yang memenuhi sifat-sifat campuran serta ketentuan yang disyaratkan. Karena menggunakan tiga tipe gradasi, maka akan didapat kadar aspal optimum yang berbeda setiap gradasinya.



Gambar 19. Gradasi agregat campuran AC – WC

Benda uji UCS pada penelitian ini dibuat berlandaskan ketentuan pengujian kuat tekan pada tanah kohesif (ASTM D 2166) dan pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder (ASTM C 39) serta diperkuat menurut Dowling (2007) dalam Hadi (2016) yang menyatakan bahwa perbandingan tinggi dan diameter (L/d) spesimen untuk uji tekan untuk material getas dapat dipilih L/d = 1,5 atau 2. Atas dasar pertimbangan tersebut Benda uji UCS dalam penelitian ini menggunakan diameter 3 inci dan tinggi 6 inci, yang mana rancangan campurannya menggunakan nilai KAO pada masing-masing gradasi yang diperoleh dari pengujian *Marshall*.

2.2 Tahap Pengujian Campuran

1. Pengujian *Marshall*

Pengujian benda uji *Marshall* menggunakan alat *Marshall Test* akan diperoleh nilai karakteristik campuran yaitu VMA, VITM, VFWA, Stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ).

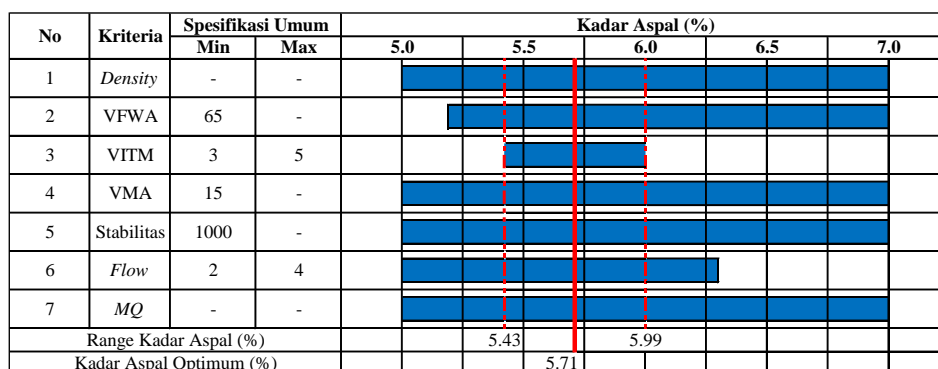
2. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan menggunakan alat UCS *Test* akan diperoleh data tekanan (P) yang nantinya dapat menunjukkan nilai kuat tekan maksimum dari benda uji. Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji UCS pada kondisi kering dan kondisi perendaman 1, 2, 4, dan 7 hari untuk melihat tingkat durabilitasnya terhadap lamanya perendaman.

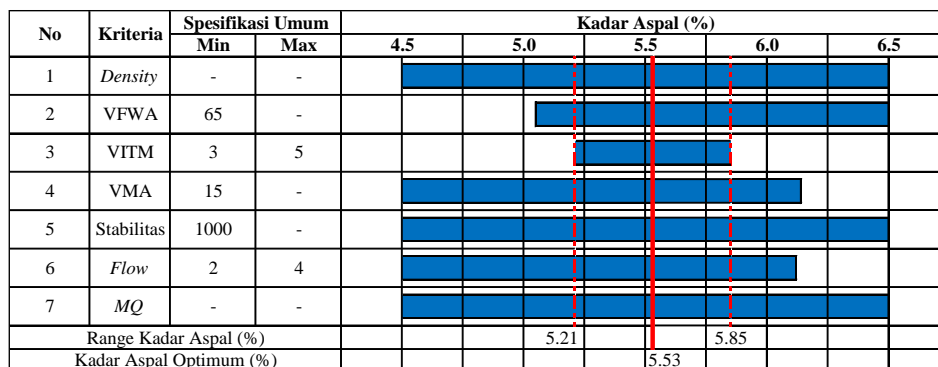
3. HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Marshall untuk Menentukan Nilai KAO

Pembuatan benda uji *Marshall* menggunakan 5 variasi kadar aspal dari kadar aspal perkiraan (Pb), yaitu pada Pb-1%, Pb-0,5%, Pb, Pb+0,5%, dan Pb+1%. Dari benda uji pada kelima variasi kadar aspal tersebut dilakukan pengujian *Marshall* dan diperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO). Nilai KAO didapat dari grafik hubungan karakteristik Marshall, yaitu density, VMA, VITM, VFWA, Stabilitas *Marshall*, *Marshall flow* dan MQ, dimana nantinya grafik hubungan tersebut akan menunjukkan rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi campuran dengan metode *Narrow Range*. Karena menggunakan 3 target gradasi yaitu UL, MR, dan LL maka akan didapatkan 3 KAO yang berbeda sesuai dengan target gradasinya. Hasil pengujian *Marshall* untuk penentuan KAO pada masing-masing gradasi dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.



Gambar 2. Penentuan KAO gradasi UL berdasarkan Narrow Range



Gambar 3. Penentuan KAO gradasi MR berdasarkan Narrow Range

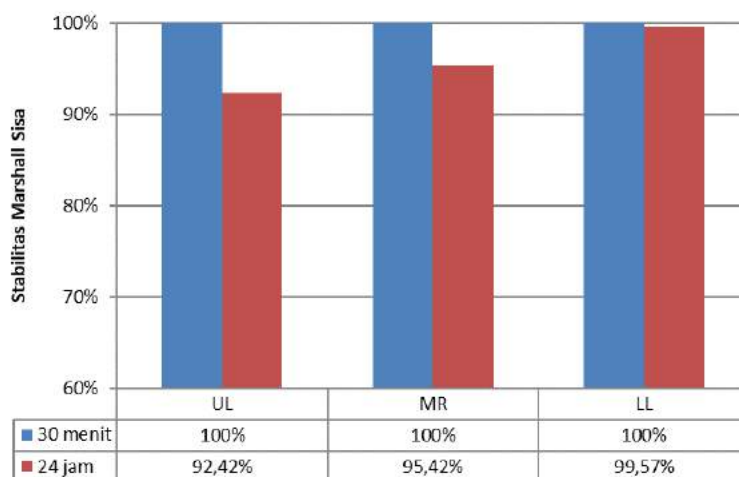
No	Kriteria	Spesifikasi Umum		Kadar Aspal (%)				
		Min	Max	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
1	Density	-	-	[Bar chart showing values between 5.5 and 7.5]				
2	VFWA	65	-	[Bar chart showing values between 6.0 and 7.5]				
3	VITM	3	5	[Bar chart showing values between 6.5 and 7.5]				
4	VMA	15	-	[Bar chart showing values between 5.5 and 7.5]				
5	Stabilitas	1000	-	[Bar chart showing values between 5.5 and 7.5]				
6	Flow	2	4	[Bar chart showing values between 5.5 and 6.0]				
7	MQ	-	-	[Bar chart showing values between 5.5 and 7.5]				
Range Kadar Aspal (%)						6.45		7.49
Kadar Aspal Optimum (%)							6.97	

Gambar 4. Penentuan KAO gradasi LL berdasarkan Narrow Range

Dari hasil penentuan KAO dengan metode *Narrow Range* yang terlihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4, diperoleh nilai KAO gradasi UL sebesar 5,71%, nilai KAO gradasi MR sebesar 5,53%, dan nilai KAO gradasi LL sebesar 6,97%

3.2 Hasil Pengujian Stabilitas Marshall Sisa (Marshall Immertion)

Pengujian Stabilitas *Marshall* Sisa digunakan untuk mengetahui tingkat durabilitas dari Stabilitas *Marshall* setelah dilakukan perendaman selama 24 jam. Pengujiannya dengan membandingkan nilai Stabilitas *Marshall* yang direndam selama 24 jam dengan Stabilitas *Marshall* standar yaitu yang direndam selama 30 menit dari hasil nilai KAO pada *waterbath* dengan suhu $60 \pm 1^\circ\text{C}$. Hasil pengujian Stabilitas *Marshall* sisa pada gradasi UL, MR, dan LL dengan menggunakan KAO masing-masing gradasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan Nilai Stabilitas Marshall Sisa pada Gradasi UL, MR dan LL

Berdasarkan Gambar 5 di atas, nilai Stabilitas Marshall Sisa pada gradasi UL, MR, dan LL memenuhi persyaratan sifat campuran aspal pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dengan syarat nilai penurunan Stabilitas *Marshall* Sisa minimal sebesar 90%.

3.3 Analisis Perancangan Desain Campuran AC-WC untuk Benda Uji UCS

Proses mendesain berat agregat pada campuran AC-WC untuk benda uji UCS dilakukan dengan proses *trial and error*. Desain campuran ini menggunakan ukuran diameter 3 inci (7,62 cm) dan tinggi 6 inci (15,24 cm). Secara teoritis dengan diameter dan tinggi tersebut akan menghasilkan volume sebesar 695,28 cm³. Setelah volume benda uji diketahui, proses penentuan berat agregat menggunakan cara *trial* dari gradasi MR dengan target *density* sebesar 2,36 gr/cm³ (berdasarkan nilai *density* dari KAO gardasi MR).

Setelah dilakukan pembuatan benda uji sesuai dengan volume teoritis, nilai *density* pada benda uji *trial* mengalami penurunan sebesar 2,26 gr/cm³, dan nilai volume benda uji bertambah menjadi 731 cm³. Selanjutnya volume dari benda uji *trial* akan digunakan pada pembuatan benda uji UCS dengan desain proporsi bahan dapat dilihat pada Tabel 1, dan contoh benda uji UCS dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 1. Desain proporsi bahan untuk benda uji UCS

No	Uraian	Formula	Tipe Gradasi			
			UL	MR	LL	
1	Kadar Aspal Optimum*	(a)	-	5.71	5.53	6.97
2	Volume benda uji (cc)	(b)	(T 6 inxD 3 in)	731.00	731.00	731.00
3	Density (gr/cc)*	(c)	-	2.35	2.36	2.33
4	W Campuran, gram	(d)	(b) x (c) x 1,03	1768.99	1778.79	1751.12
5	W Aspal, gram	(e)	[(a)/100] x (d)	101.01	98.37	122.05
6	W Agregat, gram	(f)	(d) - (e)	1667.98	1680.42	1629.06
7	W Agregat Kasar, gram	(g)	[(j)/100] x (f)	783.95	957.84	1091.47
8	W Agregat Halus, gram	(h)	[(k)/100] x (f)	733.91	613.35	472.43
9	W filler, gram	(i)	[(l)/100] x (f)	150.12	109.23	65.16
Komposisi agregat:						
10	Agregat Kasar	(j)	-	47	57	67
11	Agregat Halus	(k)	-	44	36.5	29
12	Filler	(l)	-	9	6.5	4

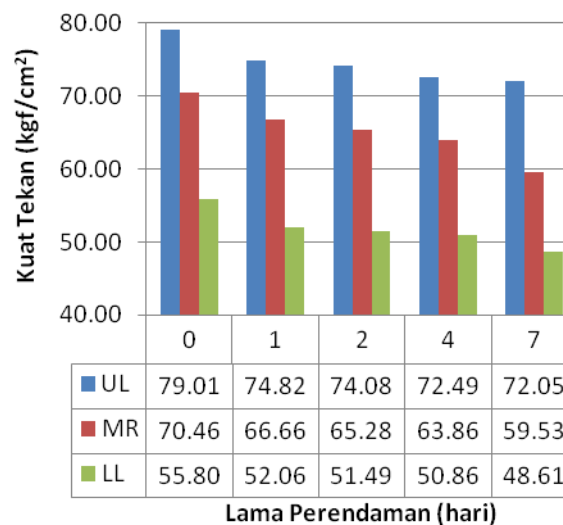


Gambar 6. Contoh Benda Uji UCS

3.4 Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan akibat Lama Perendaman

Hasil pengujian nilai kuat tekan terhadap lama perendaman dapat dilihat pada Gambar 7.

Dari Gambar 7 dapat bahwa ke-tiga tipe gradasi tersebut yaitu gradasi UL, MR, dan LL memiliki pengaruh yang sama akibat dari lama perendaman, yaitu semakin lama waktu perendaman maka nilai kuat tekan akan semakin menurun. Nilai kuat tekan yang menurun seiring dengan lamanya waktu perendaman ini disebabkan karena terjadi proses oksidasi pada campuran dimana intrusi air ke dalam campuran akan memperlemah ikatan antara aspal dan agregat (Hick, 1991) sehingga menyebabkan nilai kuat tekan campuran mengalami penurunan.



Gambar 7. Nilai Kuat Tekan akibat Lama Perendaman

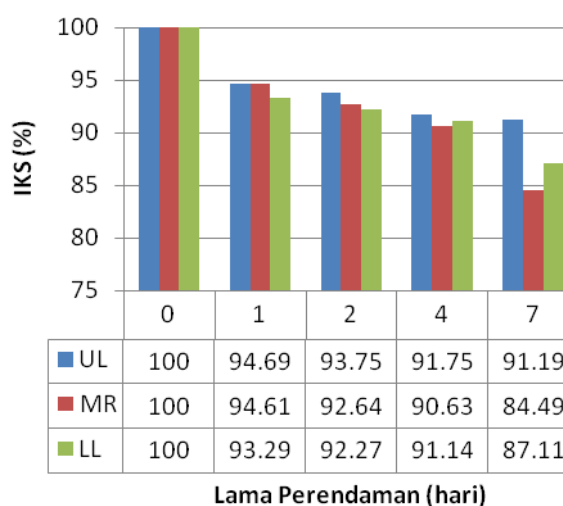
Gambar 7 juga menunjukkan bahwa gradasi UL memberikan nilai kuat tekan paling besar baik pada kondisi kering maupun pada kondisi perendaman dibandingkan gradasi MR, sedangkan gradasi LL merupakan gradasi yang memiliki nilai kuat tekan paling rendah. Lebih besarnya nilai kuat tekan pada gradasi UL ini disebabkan karena gradasi UL memiliki komposisi agregat halus dan filler yang lebih besar dibandingkan gradasi MR dan gradasi LL, sehingga menyebabkan benda uji dengan gradasi UL ini lebih mudah untuk dipadatkan dan juga cenderung memiliki nilai *density* (kepadatan) yang lebih besar.

3.5 Durabilitas Nilai Kuat Tekan Akibat Lama Perendaman

Tingkat durabilitas perkerasan diperoleh dari nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) atau *Index Retained Strength* (IRS) dimana nilai IKS menggambarkan durabilitas campuran aspal setelah mengalami perendaman. Nilai IKS yang digunakan disini adalah nilai IKS dari hasil kuat tekan pada perendaman 0, 1, 2, 4, dan 7 hari. Hasil perhitungan dan perbandingan nilai IKS akibat lama perendaman dapat dilihat pada Gambar 8.

Sama halnya dengan nilai kuat tekan yang mengalami penurunan akibat lamanya perendaman, nilai IKS kuat tekan juga mengalami penurunan pada gradasi UL, MR, dan LL seperti yang terlihat pada Gambar 8.

Gambar 8 juga memperlihatkan bahwa campuran bergradasi UL merupakan campuran yang memiliki durabilitas paling baik terhadap lamanya perendaman, baik pada perendaman 1, 2, 4, dan 7 hari dengan nilai IKS kuat tekan paling tinggi diantara campuran bergradasi MR maupun campuran bergradasi LL. Sedangkan untuk campuran bergradasi MR, meski pada perendaman 1 dan 2 hari mempunyai nilai IKS kuat tekan yang lebih tinggi dari pada campuran bergradasi LL, namun untuk perendaman 4 dan 7 hari nilai IKS kuat tekan campuran bergradasi LL mempunyai nilai yang lebih tinggi dari pada nilai IKS campuran bergradasi MR. Hal ini menandakan bahwa campuran bergradasi MR lebih tahan terhadap perendaman dalam waktu yang singkat saja dibandingkan dengan campuran bergradasi LL yang lebih tahan pada perendaman untuk waktu yang lebih lama.



Gambar 8. Nilai IKS Kuat Tekan akibat Lama Perendaman

4. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan penelitian tersebut, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai Kadar Aspal Optimum yang diperoleh dengan menggunakan gradasi batas bawah (LL), nilai tengah (MR) dan batas atas (UL) pada masing-masing saringan dan dengan menggunakan Aspal Modifikasi Elastomer (AME) berturut-turut adalah sebesar 6,97%, 5,53% dan 5,71%.
2. Nilai rata-rata pengujian kuat tekan setelah dilakukan perendaman selama 0, 1, 2, 4, dan 7 hari berturut-turut pada gradasi MR adalah : 70,46 kgf/cm², 66,66 kgf/cm², 65,28 kgf/cm², 63,86 kgf/cm², 59,53 kgf/cm², gradasi UL adalah : 79,01 kgf/cm²,

74,82 kgf/cm², 74,08 kgf/cm², 72,49 kgf/cm², 72,05 kgf/cm², dan gradasi LL adalah : 55,80 kgf/cm², 52,06 kgf/cm², 51,49 kgf/cm², 50,86 kgf/cm², 48,61 kgf/cm². Dari hasil pengujian nilai kuat tekan terlihat bahwa semakin lama perendaman maka nilai kuat tekan akan mengalami penurunan pada ketiga tipe gradasi.

3. Tingkat durabilitas campuran berdasarkan nilai IKS pada perendaman 1, 2, 4 dan 7 hari berturut-turut pada gradasi MR adalah : 94,61%; 92,64%; 90,63 %; 84,49%, gradasi UL adalah : 94,69%; 93,75%; 91,75%; 91,19%, dan gradasi LL adalah : 93,29%; 92,27 %; 91,14%; 87,11%. Campuran bergradasi UL merupakan campuran yang memiliki tingkat durabilitas paling baik jika dibandingkan dengan campuran bergradasi MR dan LL.

5. DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. 2003. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM C39.
- Asphalt Institute MS-2. 1997. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types (No. 2)*. Asphalt Institute.
- ASTM, D-2166. 2000. *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*. Philadelphia. USA. Annual Book of ASTM Standards. ASTM.
- Bina Marga. 1990. *Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*. SK SNI M 58-1990-03.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Hadi, S. 2016. *Teknologi Bahan*, Yogyakarta, Penerbit Andi.
- Hicks, R. G. 1991. *Moisture Damage in Asphalt Concrete (Vol. 175)*. Transportation Research Board.
- Septiana, R. 2013. *Kepekaan Aspal Modifikasi Polimer dan Aspal Pen. 60/70 Terhadap Perubahan Kadar Aspal Pada Campuran AC-WC Dengan Pengujian Marshall dan Permeabilitas (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada)*.

**PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU
RUAS JALAN DUKU UTARA, KECAMATAN KOTO XI
TARUSAN, SUMATERA BARAT (Sta 1+000- Sta6+000)
MENGUNAKAN METODE Pd T – 14 DAN METODE MDP
2017**

Gusri Yaldi¹, Apwiddhal², Abdi Dwi Setiawan³

¹ Teknik Sipil, Prodi DIV Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email:

² Teknik Sipil, Prodi DIV Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email:

³ Mahasiswa Teknik Sipil, Prodi DIV Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: Abdidwisetiawan@gmail.com

ABSTRACT

Roads are land lines on the surface of the earth made by humans with the shape, size and type of construction so that they can be used to channel traffic, people, animals and vehicles that transport goods from one place to another easily and quickly. The purpose of this study is to Plan the Rigid Pavement Construction Thickness with the Pd T-14-2003 Method and the 2017 Pavement Design Manual Method and compare the two methods. The concrete slab thickness obtained from the Pd T-14-2003 method is 20 cm, for the thickness of the foundation under the cement stabilizer with a thickness of 12.5 cm. Reinforcement is used in the form of a square diameter of 8 mm with a distance of transverse reinforcement and reinforcing bars extending 200 mm, a transverse joint (Dowel) that uses a reinforcement \varnothing 32 with a distance of 300 mm and a length of 450 mm, while a longitudinal connection (Tie Bar) ie with a reinforcement D16 with a length 70 cm and a distance of 60 cm. The thickness of the concrete slabs obtained from the 2017 Manual Pavement Method is 29.5 cm with a thin concrete layer of 10 cm and a drainage layer in the form of a class A aggregate with a thickness of 15 cm and a stabilization of the subgrade of 30 cm. For reinforcement, 10 mm diameter rectangular reinforcement is used with transverse reinforcement distance and 200 mm length reinforcement, for transverse joints using \varnothing 38 reinforcement with 300 mm distance and 450 mm length, while for elongated joints with D16 reinforcement with 70 cm length and a distance of 60 cm. The results of the 2017 Road Pavement Design Manual method have a stronger construction due to a more complete pavement structure than the Pd T-14-2003 method. In addition, the thickness values from the bottom foundation layer, the drainage layer, the thin concrete layer, to the road pavement layer, while

the Pd T-14-2003 method is only obtained from the bottom layer thickness and the road pavement layer.

Keywords: Highway, rigid pavement, concrete plate, reinforcement, connection

ABSTRAK

Jalan Raya adalah jalur-jalur tanah di atas permukaan bumi yang dibuat oleh manusia dengan bentuk, ukuran dan jenis konstruksinya sehingga dapat digunakan untuk menyalurkan lalu lintas, orang, hewan dan kendaraan yang mengangkut barang dari suatu tempat ke tempat yang lainnya dengan mudah dan cepat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk Merencanakan Tebal Konstruksi Perkerasan Kaku Dengan Metoda Pd T-14-2003 dan Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 dan membandingkan kedua metoda tersebut. Tebal pelat beton yang didapat dari metoda Pd T-14-2003 yaitu sebesar 20 cm, untuk ketebalan pondasi bawah yaitu dengan stabilisai semen dengan ketebalan 12,5 cm. Penulangannya dipakai berbentuk bujur sangkar diameter 8 mm dengan jarak tulangan melintang dan tulangan memanjang 200 mm, sambungan melintang (Dowel) yaitu memakai tulangan Ø 32 dengan jarak 300 mm dan panjang 450 mm, sedangkan sambungan memanjang (Tie Bar) yaitu dengan tulangan D16 dengan panjang 70 cm dan jarak 60 cm. Tebal pelat beton yang didapat dari metoda Manual Perkerasan Jalan 2017 yaitu sebesar 29,5 cm dengan lapisan beton kurus sebesar 10 cm dan lapisan drainase berupa agregat kelas A dengan ketebalan 15 cm serta stabilisasi tanah dasar sebesar 30 cm. Untuk penulangannya dipakai tulangan berbentuk bujur sangkar diameter 10 mm dengan jarak tulangan melintang dan tulangan memanjang 200 mm, untuk sambungan melintang yaitu dengan memakai tulangan Ø 38 dengan jarak 300 mm dan panjang 450 mm, sedangkan untuk sambungan memanjang yaitu dengan tulangan D16 dengan panjang 70 cm dan jarak 60 cm. Hasil perencanaan metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 memiliki konstruksi yang lebih kuat karena struktur perkerasan yang lebih lengkap daripada metoda Pd T-14-2003. Selain itu, didapatkan nilai tebal dari lapis pondasi bawah, lapisan drainase, lapisan beton kurus, hingga lapis perkerasan jalan, sedangkan metoda Pd T-14-2003 hanya didapatkan nilai tebal dari lapis pondasi bawah dan lapis perkerasan jalan.

Kata kunci : Jalan raya, perkerasan kaku, pelat beton, penulangan, sambungan

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya sektor ekonomi dan pendidikan di Indonesia terutama di provinsi Sumatera Barat, kebutuhan akan sarana dan prasarana transportasi semakin tinggi khususnya pada jalan raya. Jalan raya sebagai sarana untuk menghubungkan satu wilayah dengan wilayah lainnya yang kemudian dapat memudahkan seseorang dalam menjangkau wilayah tersebut dengan alat transportasi darat yang bisa berupa motor, mobil, ataupun kendaraan lain agar kegiatan ekonomi, pendidikan dan kegiatan lainnya dapat terlaksanakan.

pembangunan Jalan Duku Utara, Kecamatan Koto XI Tarusan, Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat dengan tinjauan sepanjang 5 Km. Pada jalan tersebut terdapat kerusakan ringan maupun kerusakan berat, kondisi ini tentunya akan mengganggu dan jika jalan tersebut dibiarkan tanpa ada perbaikan maka akan terjadi kerusakan yang cukup parah yang dapat menimbulkan menurunnya laju perekonomian dan juga dapat mengakibatkan biaya operasional kendaraan menjadi bertambah karena kerusakan bagian kendaraan akibat beban dan jalan yang bergelombang dan berlubang. Dengan mengukur tingkat kerusakan yang terjadi, maka dapat di lakukan langkah – langkah perbaikan yang tepat dan sesuai dengan kondisi kerusakan tersebut.

2. LANDASAN TEORI

Dalam melakukan perencanaan Tebal perkerasan kaku dilakukan dengan dua metode yaitu Metode Pd T-14-2003 dan Metoda MDP 2017.

2.1. Metoda Pd T-14-2003

Prosedur perencanaan perkerasan kaku menurut metode Pd T-14-2003 adalah sebagai berikut:

1) Analisis lalu lintas

Untuk menghitung analisis lalu lintas, kendaraan dikelompokkan sesuai dengan sumbu kendaraan berdasarkan jenis dan bebannya.

Untuk pengelompokan sumbu kendaraan berdasarkan jenis dan bebannya terdapat pada tabel 2.8.

Tabel 2.8 Variasi sumbu beban kendaraan

No	Type	Golongan
1	Sedan, jeep, st. wagon	2
2	Pick-up, combi	3
3	Truck 2 as (L), micro truck, mobil hantaran	4
4	Bus kecil	5a
5	Bus besar	5b
6	Truck 2 as (H)	6
7	Truck 3 as	7a
8	Trailer 4 as, truck gandengan	7b
9	Truck s. trailer	7c

Sumber: Manual kapasitas jalan indonesia 1997

Kemudian untuk menghitung Faktor Pertumbuhan lalu-lintas (R) dihitung dengan rumus:

$$R = \frac{(1 + i)^{UR} - 1}{i}$$

Dimana :

R = Faktor Pertumbuhan lalu lintas

i = Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %

UR = Umur Rencana (tahun)

Untuk laju pertumbuhan lalu lintas digunakan berdasarkan Manual Perkerasan Jalan 2017 karena telah ditentukan berdasarkan data-data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lalu lintas lain yang berlaku dapat ditentukan pada tabel 2.9

Tabel 2.9 Laju pertumbuhan lalu lintas (i) (%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4.80	4.83	5.14	4.75
Kolektor rural	3.50	3.50	3.50	3.50
Jalan desa	1.00	1.00	1.00	1.00

Sumber : Manual Perkerasan Jalan 2017

Setelah didapatkan nilai faktor pertumbuhan lalu lintas kemudian lakukan perhitungan terhadap Jumlah sumbu kendaraan niaga (JSKN) selama umur rencana dengan menggunakan rumus berikut:

$$JSKN = 365 \times JSKNH \times R$$

Dimana :

JSKN = Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga

JSKNH = Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

Untuk menghitung JSKN rencana maka :

$$\text{JSKN rencana} = C \times \text{JSKN}$$

Dimana :

C = Koefisien Distribusi Kendaraan

Untuk menghitung nilai C dapat ditentukan pada tabel 2.10

Tabel 2.10 Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan dan pekerasan dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga pada lajur rencana

Lebar perkerasan (L _p)	Jumlah lajur (n _l)	Koefisien distribusi	
		1 Arah	2 Arah
L _p < 5,50 m			
5,50 m ≤ L _p < 8,25 m	1 lajur	1	
8,25 m ≤ L _p < 11,25 m	2 lajur	0,7	1
11,25 m ≤ L _p < 15,00 m	3 lajur	0	0,50
15,00 m ≤ L _p < 18,75 m	4 lajur	0,5	0,475
18,75 m ≤ L _p < 22,00 m	5 lajur	0	0,45
	6 lajur	-	0,425
		-	0,40
		-	

Sumber: Pd T-14-2003

2) Pilih faktor keamanan beban lalu lintas (F_{kb}).

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (F_{KB}). Faktor keamanan beban ini digunakan berkaitan adanya berbagai tingkat realibilitas perencanaan.

Tabel 2.11 Faktor keamanan beban (F_{KB})

No.	Penggunaan	Nilai F _{KB}
1	Jalan bebas hambatan utama (<i>major freeway</i>) dan jalan berlajur banyak, yang aliran lalu lintasnya tidak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu-lintas dari hasil survai beban (<i>weight-in-motion</i>) dan adanya kemungkinan route alternatif, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15.	1,2
2	Jalan bebas hambatan (<i>freeway</i>) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah.	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah.	1,0

Sumber : Pd T-14-2003

Repetisi yang terjadi dihitung dengan rumus = proporsi beban dikali proporsi sumbu dikali lalu lintas rencana.

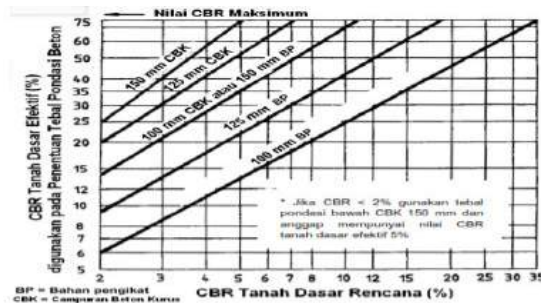
- Menentukan jenis dan tebal pondasi bawah berdasarkan nilai CBR rencana dan perkiraan jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana.



Sumber : Pd-T-14-2003

Gambar 2.10 Tebal pondasi bawah minimum untuk perkerasan beton semen

- Menentukan CBR efektif berdasarkan nilai CBR rencana dan pondasi bawah yang dipilih.



Sumber : Pd-T-14-2003

Gambar 2.11 CBR tanah dasar efektif dan tebal pondasi bawah

- Pilih kuat tarik lentur atau kuat tekan beton pada umur 28 hari (f_{cf}).

Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3–5 MPa (30-50 kg/cm²).

Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton dapat didekati dengan rumus berikut :

$F_{cf} = K(f_c')^{0,50}$ dalam MPa atau

$F_{cf} = 3,13 K (f_c')^{0,50}$ dalam Kg/cm²

Dengan pengertian :

F_c' : kuat tekan beton karakteristik 28 hari (Kg/cm²)

f_{cf} : kuat tarik lentur beton 28 hari (Kg/cm²)

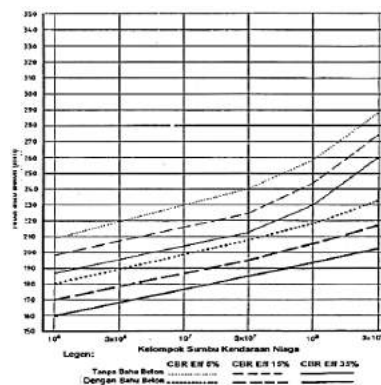
K : konstanta 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75 untuk agregat pecah

6) Menentukan apakah menggunakan bahu beton atau bukan.

Bahu dapat terbuat dari bahan lapisan pondasi bawah dengan atau tanpa lapisan penutup beraspal atau lapisan beton semen. Perbedaan kekuatan antara bahu dengan jalur lalu-lintas akan memberikan pengaruh pada kinerja perkerasan. Hal tersebut dapat diatasi dengan bahu beton semen, sehingga akan meningkatkan kinerja perkerasan dan mengurangi tebal pelat. Yang dimaksud dengan bahu beton semen dalam pedoman ini adalah bahu yang dikunci dan diikatkan dengan lajur lalu-lintas dengan lebar minimum 1,50 m, atau bahu yang menyatu dengan lajur lalu-lintas selebar 0,60 m, yang juga dapat mencakup saluran dan kereb.

7) Menentukan Tebal Perkiraan Pelat Beton.

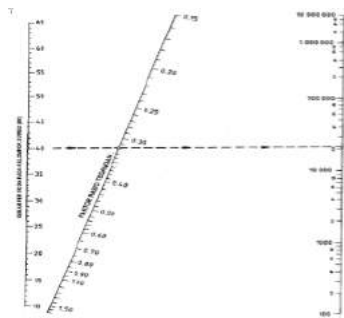
Untuk menentukan tebal perkiraan beton didapatkan dari grafik perencanaan seperti dibawah ini:



Sumber : Pd-T-14-2003

Gambar 2.12 Contoh grafik perencanaan, $f_{cf} = 4,25$ MPa, lalu lintas luar kota, dengan ruji, $F_{kb} = 1,1$

- 8) Menentukan tegangan ekivalen (TE) dan faktor erosi (FE) untuk STRT sesuai dengan tabel 8 atau tabel 9 pada Pd T-14-2003 (terlampir)
- 9) Menentukan faktor rasio tegangan (FRT) dengan membagi tegangan ekivalen (TE) oleh kuat tarik lentur(f_{cf}).
- 10) Dengan faktor rasio tegangan (FRT) dan beban rencana ,tentukan jumlah repetisi ijin untuk fatik dari gambar 2.13 yang dimulai dari beban roda tertinggi dari jenis sumbu STRT tersebut.



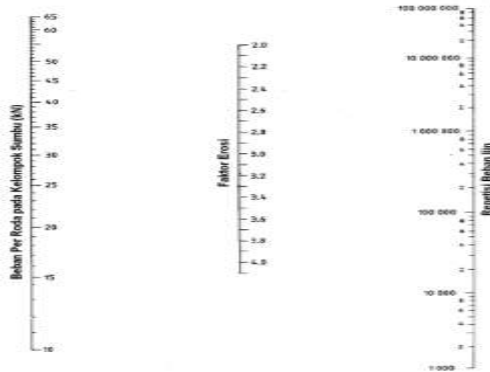
Sumber : Pd-T-14-2003

Gambar 2.13 Analisis fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan rasio tegangan, dengan /tanpa bahu beton

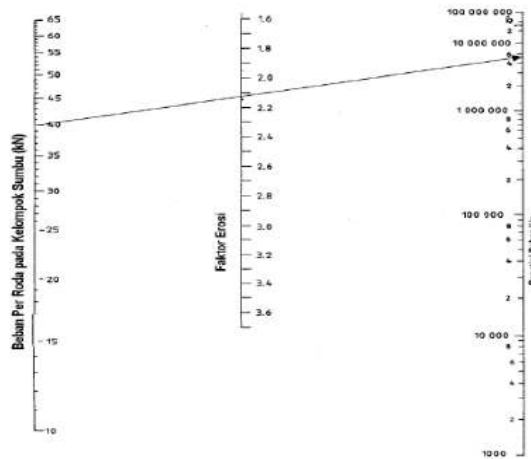
- 11) Hitung persentase dari repetisi fatik yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin, dapat dilihat pada rumus sebagai berikut:

$$\text{Persentase repetisi fatik} = \frac{\text{repetisi yang terjadi}}{\text{repetisi ijin (dari grafik 2.7)}} \times 100\%$$

- 12) Dengan menggunakan faktor erosi(FE), tentukan jumlah repetisi ijin untuk erosi dari gambar 2.14 atau 2.15.



Gambar 2.14 Analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin, berdasarkan factor erosi,tanpa bahu beton



Gambar 2.15 Analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin, berdasarkan factor erosi, dengan bahu beton

- 13) Hitung persentase dari repetisi erosi yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin. Dapat dilihat pada rumus sebagai berikut:

$$\text{Persentase repetisi erosi} = \frac{\text{repetisi yang terjadi}}{\text{repetisi ijin (dari grafik 2.9)}} \times 100\%$$

- 14) Ulangi langkah 11 sampai dengan 14 untuk setiap beban per roda pada sumbu tersebut sampai jumlah repetisi beban ijin yang terbaca pada Gambar 2.13 dan Gambar 2.14 atau Gambar 2.15 yang masing-masing mencapai 10 juta dan 100 juta repetisi.

- 15) Hitung jumlah total fatik dengan menjumlahkan persentase fatik dari setiap beban roda pada STRT tersebut. Dengan cara yang sama hitung jumlah total erosi dari setiap beban roda pada STRT tersebut.
- 16) Ulangi langkah 8 sampai dengan langkah 16 untuk setiap jenis kelompok sumbu lainnya.
- 17) Hitung jumlah total kerusakan akibat fatik dan jumlah total kerusakan akibat erosi untuk seluruh jenis kelompok sumbu.
- 18) Ulangi langkah 7 sampai dengan langkah 18 hingga diperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan akibat fatik dan atau erosi $\leq 100\%$. Tebal tersebut sebagai tebal perkerasan beton semen yang direncanakan.
- 19) Perhitungan tulangan

Tujuan utama penulangan untuk :

- 1) Membatasi lebar retakan, agar kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan.
- 2) Memungkinkan penggunaan pelat yang lebih panjang agar dapat mengurangi jumlah sambungan melintang sehingga dapat meningkatkan kenyamanan.
- 3) Mengurangi biaya pemeliharaan

Jumlah tulangan yang diperlukan dipengaruhi oleh jarak sambungan susut, sedangkan dalam hal beton bertulang menerus, diperlukan jumlah tulangan yang cukup untuk mengurangi sambungan susut.

- 1) Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan:

Untuk luas penampang tulangan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_s = \frac{\mu.L.M.g.h}{2.f_s}$$

Keterangan :

A_s = Luas penampang tulangan (mm^2/m lebar pelat)

F_s = Kuat-tarik ijin tulangan (MPa). Biasanya 0,6 kali tegangan leleh.

g = Gravitasi (m/detik^2).

h = Tebal pelat beton (m)

- L = Jarak antara sambungan yang tidak diikat dan/atau tepi bebas pelat (m)
- M = Berat per satuan volume pelat (kg/m³)
- μ = Koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah sebagaimana pada tabel 2.12

Tabel 2.12 Koefisien gesekan antara pelat beton semen dengan lapisan pondasi dibawahnya

Jenis Pondasi	Faktor Gesekan (F)
BURTU, LAPEN dan konstruksi sejenis	2.2
Aspal Beton, LATASTON	1.8
Stabilisasi kapur	1.8
Stabilisasi aspal	1.8
Stabilisasi semen	1.8
Koral sungai	1.5
Batu pecah	1.5
Sirtu	1.2
Tanah	0.9

Sumber : SKBI 2.3.28.1998

Untuk luas penampang minimum penampang tulangan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_s \text{ min} = 0.1\% \times \text{luas penampang beton}$$

Untuk menentukan tulangan yang dipakai dapat ditentukan dalam tabel 2.13.\

Tabel 2.13 Ukuran dan berat tulangan polos anyaman las

Tulangan Memanjang		Tulangan melintang		Luas Penampang Tulangan		Berat per Satuan Luas (kg/m ²)
Diameter (mm)	Jarak (mm)	Diameter (mm)	Jarak (mm)	Memanjang (mm ² /m)	Melintang (mm ² /m)	
Empat persegi panjang						
12,5	100	8	200	1227	251	11,606
11,2	100	8	200	986	251	9,707
10	100	8	200	785	251	8,138
9	100	8	200	636	251	6,967
8	100	8	200	503	251	5,919
7,1	100	8	200	396	251	5,091
9	200	8	250	318	201	4,076
8	200	8	250	251	201	3,552
Bujur sangkar						
8	100	8	100	503	503	7,892
10	200	10	200	393	393	6,165
9	200	9	200	318	318	4,994
8	200	8	200	251	251	3,946
7,1	200	7,1	200	198	198	3,108
6,3	200	6,3	200	156	156	2,447
5	200	5	200	98	98	1,542
4	200	4	200	63	63	0,987

Sumber : Pd T-14-2003

2) Perencanaan Sambungan

a. Dowel (Ruji)

Kedalaman sambungan kurang lebih mencapai seperempat dari tebal pelat untuk perkerasan dengan lapis pondasi berbutir atau sepertiga dari tebal pelat untuk lapis pondasi stabilisasi semen. Jarak sambungan dowel untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4 - 5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan 8 - 15 m dan untuk sambungan perkerasan beton menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan.

Tebal Pelat				Dowel			
Perkerasan		Diameter		Panjang		Jarak	
Inchi	mm	Inchi	mm	Inchi	Mm	Inchi	mm
6	150	0.75	19	18	450	12	300
7	175	1	25	18	450	12	300
8	200	1	25	18	450	12	300
9	225	1.25	32	18	450	12	300
10	250	1.25	32	18	450	12	300
11	275	1.25	32	18	450	12	300
12	300	1.5	38	18	450	12	300
13	325	1.5	38	18	450	12	300
14	350	1.5	38	18	450	12	300

Sumber : Principles of Pavement design By yoder & Witczak 1975

b) Batang Pengikat (Tie Bars)

Pemasangan sambungan memanjang ditujukan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Jarak antar sambungan memanjang sekitar 3 - 4 m. Sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir dengan mutu minimum BJTU- 24 dan berdiameter 16 mm. Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_t = 204 \times b \times h \text{ dan}$$

$$l = (38,3 \times \phi) + 75$$

Dengan pengertian :

A_t = Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm^2).

B = Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan(m).

H = Tebal pelat (m).

l = Panjang batang pengikat (mm).

ϕ = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm).

Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm.

2.2. Metoda MDP 2017

Prosedur dari perencanaan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 adalah sebagai berikut:

1. Menentukan umur rencana (**Tabel 2.15** Umur Rencana Perkerasan)

Tabel 2.15 Umur rencana perkerasan

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun) ⁽¹⁾
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir ⁽²⁾ .	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, terowongan.	
	Cement Treated Based (CTB)	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

Sumber : Manual Perkerasan Jalan 2017

Catatan : Umur rencana harus memperhitungkan kapasitas jalan

2. Menententukan volume kelompok sumbu kendaraan niaga.

Untuk menghitung kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$HVAG = (LHR) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

Dengan :

HVAG : (*Heavy Vehicle Axle Group*) jumlah kelompok sumbu kendaraan berat.

LHR : lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan berat (satuan kendaraan per hari).

DD : Faktor distribusi arah. (untuk jalan dua arah, factor distribusi arah umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung pada satu arah tertentu)

DL : Faktor distribusi lajur (Tabel 2.14).

R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

Untuk menghitung faktor distribusi lajur dapat dilihat pada Tabel 2.16 berikut :

Tabel 2.16 Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

3. Menentukan struktur fondasi
4. Tentukan struktur lapisan perkerasan

Untuk mendapatkan perkerasan untuk jalan dengan lalu lintas berat dapat dilihat pada Tabel 2.17

Tabel 2.17 Perkerasan kaku untuk jalan dengan beban lalu lintas berat

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (<i>overloaded</i>) (10E6)	< 4.3	< 8.6	< 25.8	< 43	< 86
Dowel dan bahu beton	Ya				
STRUKTUR PERKERASAN (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis Fondasi LMC	100				
Lapis Drainase (dapat mengalir dengan baik)	150				

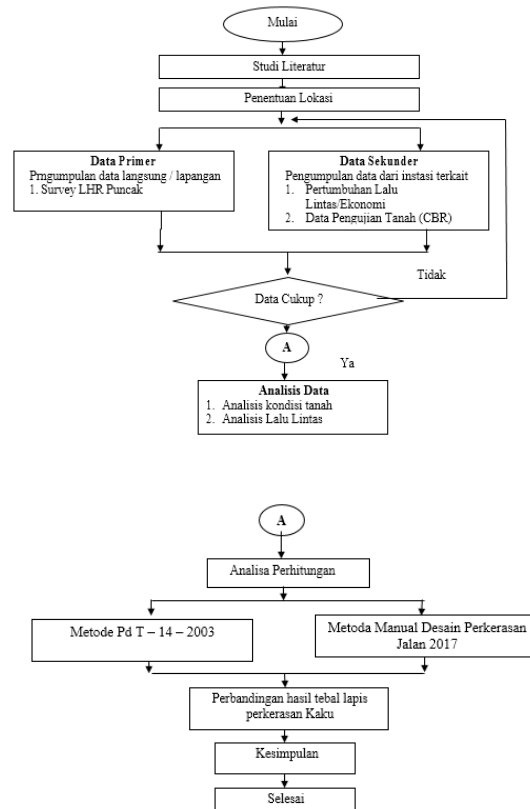
Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

5. Untuk perhitungan tulangan, yaitu sama dengan perhitungan tulangan menurut metoda Pd T-14-2003.

3. Metodologi Penelitian

Adapun tahapan yang dilakukan dalam studi ini meliputi tahap .studi literatur, penentuan lokasi, *survey* dan pengumpulan data, pengolahan dan analisa data.

Metodologi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

- a. Perhitungan CBR tanah dasar dengan menggunakan alat DCP (Dynamic Cone Penetrometer)

Pengambilan data Pengujian DCP Diambil pada hari Rabu tanggal 24 juli 2019 yang mana pengambilan data di Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Pesisir Selatan. Data Pengujian DCP menggunakan alat DCP dengan sudut konus 60°.

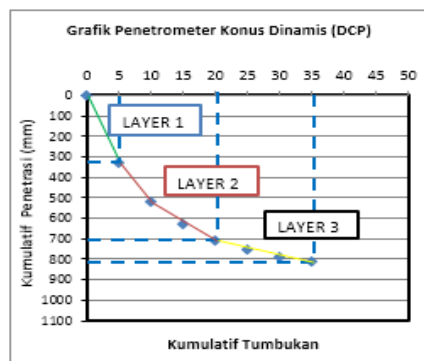
Untuk salah satu contoh data hasil pengujian DCP pada dilihat pada **Tabel 4.1**

Tabel 4.1 Data Pengujian DCP STA 1+000

DINAS PEKERJAAN UMUM DAN PENATAAN RUANG KABUPATEN PESISIR SELATAN LABORATORIUM PENGIJIAN KONSTRUKSI <small>Jl. Lingkar Selatan No.256, Tigo - Perahu No. 109 (P706) - 10460201 - No. (0706) / 10460201</small>									
PENGUJIAN DAYA DUKUNG TANAH DENGAN ALAT DCP Berdasarkan Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No.04/SE/MA/2010									
Tanggal Test	: 11 April 2018			Bagian	: Centre Line				
Lokasi	: Main Road			Stia	: 1+000				
Ukuran Konus	: 60°			Lahan	: Persegi				
No	Banyak Tumbukan	Kumulatif Tumbukan	Penetrasi		Kumulatif Penetrasi [mm]	DCP mm/tumbukan	DCP Rata-Rata mm/tumbukan	CBR %	
			[cm]	[mm]					
1	0	0	4	40	0	66,0	27,3	8,46	
2	5	5	37	370	330				
3	5	10	56	560	520				
4	5	15	67	670	630				
5	5	20	75	750	710				
6	5	25	79	790	750	6,0			
7	5	30	83	830	790				
8	5	35	85	850	810				

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Pesisir Selatan

maka hasil tersebut diplotkan ke grafik untuk menentukan pembagian masing masing layer pada data DCP seperti terlampir pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik DCP

Untuk menentukan nilai DCP dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$DCP = \frac{\text{kedalaman tertinggi} - \text{kedalaman terendah}}{\text{jumlah pukulan tertinggi} - \text{jumlah pukulan terendah}}$$

$$\text{Layer 1} = \frac{330 - 0}{5 - 0} = 66$$

$$\text{Layer 2} = \frac{750 - 560}{20 - 10} = 10$$

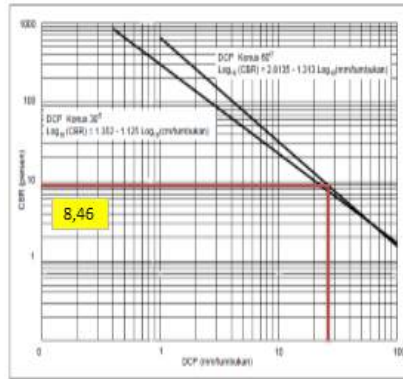
$$\text{Layer 3} = \frac{850 - 790}{35 - 25} = 6$$

$$DCP \text{ rata-rata} = \frac{\text{jumlah DCP}}{\text{jumlah layer}}$$

$$= \frac{66+10+6}{3}$$

$$= 27,3 \text{ mm/blow}$$

Maka didapatkan nilai DCP rata-rata kemudian hasil dari DCP rata-rata diplotkan menuju grafik CBR. Seperti terlihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik CBR

Lakukan untuk data pengujian DCP lainnya sehingga didapatkan hasil rekapitulasi nilai CBR untuk 26 titik pengujian, seperti terlihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Nilai CBR

No	STA	DCP Rata Rata	CBR%
1	1+000	27,3	8,46
2	1+200	38	5,49
3	1+400	46	4,27
4	1+600	25,4	9,31
5	1+800	18,5	14,12
6	2+000	75,6	2,22
7	2+200	31,3	7,07
8	2+400	26,3	8,88
9	2+600	32,6	6,69
10	2+800	58,3	3,13
11	3+000	38,5	5,39
12	3+200	48,5	3,98
13	3+400	27,8	8,26
14	3+600	51,33	3,7
15	3+800	10,75	28,79
16	4+000	33,06	6,58
17	4+200	41,4	4,22
18	4+400	46,6	4,19
19	4+600	42,25	4,77
20	4+800	24	10,03
21	5+000	29,3	7,71
22	5+200	37	5,68
23	5+400	19,6	13,03
24	5+600	48	4,04
25	5+800	34,5	6,23
26	6+000	51	3,73
Rata Rata			189,97
Max			28,79
Min			2,22
R			3,18
CBR			6,1

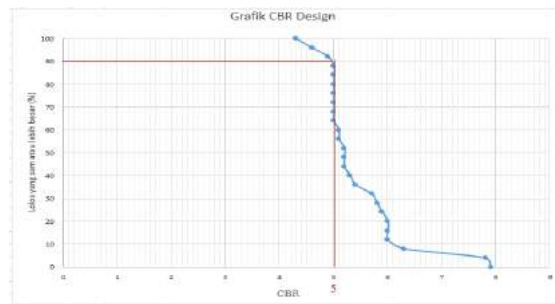
b) Perhitungan CBR dengan menggunakan Metode Grafis

cara mengurutkan nilai CBR dari yang terkecil ke yang terbesar, kemudian didapatkan persentase jumlah yang sama atau lebih besarnya, seperti yang terlihat pada table 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Perhitungan secara grafis mengurutkan nilai CBR terkcecil ke terbesar

CBR	Jumlah yang sama atau lebih besar	% yang sama atau lebih besar
2,22	26	100
3,13	25	96
3,17	24	92
3,73	23	88
3,98	22	84
4,04	21	80
4,19	20	76
4,22	19	72
4,27	18	68
4,77	17	64
5,39	16	60
5,49	15	56
5,68	14	52
6,23	13	48
6,58	12	44
6,69	11	40
7,07	10	36
7,71	9	32
8,26	8	28
8,46	7	24
8,88	6	20
9,31	5	16
10,03	4	12
13,03	3	8
14,12	2	4
28,79	1	0

Setelah selesai perhitungan kemudian plotkan kedalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik CBR segmen metoda Grafis

Setelah dilakukan perhitungan CBR segmen dengan menggunakan metoda analitis dan metoda grafis maka diambil nilai CBR segmennya yaitu 5 %.

c) Analisis Lalu lintas

Data Lalu lintas Harian Rata yang didapat adalah data LHR pada jam sibuk puncak yang mana data tersebut didapatkan waktu survey lapangan, pengambilan data LHR pada pukul (07.00 – 09.00) (14.00 – 16.00) (16.15 – 18.15). Hasil kegiatan survey lalu

lintas dan jumlah kendaraan berat dapat dilihat pada tabel 4.4 dan tabel 4.5, sebagian tabel dan gambar adalah hasil dari pengolahan data.

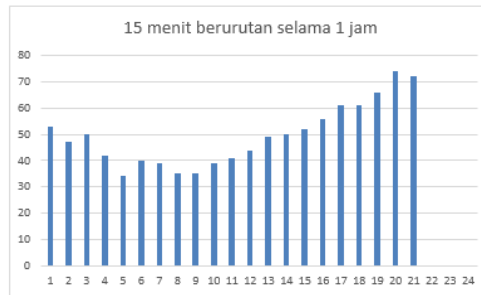
Tabel 4.4 Hasil survey LHR kendaraan 2 arah pada STA 1+000 Jumat 12 juli 2019

Waktu	Gol											Jumlah	
	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c		8
07.00 - 07.15	150	55	1	4	0	0	5	5	0	0	0	0	220
07.15 - 07.30	163	52	2	15	0	0	0	7	0	0	0	0	239
07.30 - 07.45	163	45	1	10	0	0	6	13	1	0	0	0	239
07.45 - 08.00	178	43	0	7	1	0	3	12	0	0	0	0	244
08.00 - 08.15	101	52	2	10	1	0	1	2	0	0	0	0	169
08.15 - 08.30	108	58	1	6	1	0	1	6	2	0	0	0	183
08.30 - 08.45	104	51	2	10	0	0	1	11	0	0	0	0	179
08.45 - 09.00	131	40	1	8	0	0	0	8	0	0	0	0	188
14.00 - 14.15	119	70	3	20	0	1	0	8	1	0	0	0	222
14.15 - 14.30	122	70	0	15	0	1	0	7	1	0	0	0	216
14.30 - 14.45	150	63	1	21	0	1	0	6	1	0	0	0	243
14.45 - 15.00	107	58	0	17	0	0	2	6	0	0	0	0	190
15.00 - 15.15	121	40	4	17	0	1	2	10	1	0	0	0	196
15.15 - 15.30	136	53	4	20	0	0	1	10	0	0	0	0	224
15.30 - 15.45	158	52	1	15	0	0	1	10	0	0	0	0	237
15.45 - 16.00	162	55	1	17	0	0	3	10	0	0	0	0	248
16.15 - 16.30	132	57	0	17	0	0	2	13	0	0	0	0	221
16.30 - 16.45	111	65	4	10	0	0	0	13	0	0	0	0	203
16.45 - 17.00	108	70	5	12	0	0	1	14	0	0	0	0	210
17.00 - 17.15	134	83	2	17	1	0	0	17	0	0	0	0	254
17.15 - 17.30	159	57	4	17	0	1	6	13	0	0	1	0	258
17.30 - 17.45	155	80	0	11	0	0	10	18	0	0	0	0	274
17.45 - 18.00	140	70	2	19	0	1	6	19	0	0	1	0	258
18.00 - 18.15	132	81	4	18	0	0	7	13	0	0	1	0	256

Tabel 4.5 Hasil survey LHR kendaraan 2 arah pada STA 1+000 Jumat 12 juli 2019

Waktu	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c	8	JUMLAH
07.00 - 07.15	0	0	5	5	0	0	0	0	10
07.15 - 07.30	0	0	0	7	0	0	0	0	7
07.30 - 07.45	0	0	6	13	1	0	0	0	20
07.45 - 08.00	1	0	3	12	0	0	0	0	16
08.00 - 08.15	1	0	1	2	0	0	0	0	4
08.15 - 08.30	1	0	1	6	2	0	0	0	10
08.30 - 08.45	0	0	1	11	0	0	0	0	12
08.45 - 09.00	0	0	0	8	0	0	0	0	8
14.00 - 14.15	0	1	0	8	1	0	0	0	10
14.15 - 14.30	0	1	0	7	1	0	0	0	9
14.30 - 14.45	0	1	0	6	1	0	0	0	8
14.45 - 15.00	0	0	2	6	0	0	0	0	8
15.00 - 15.15	0	1	2	10	1	0	0	0	14
15.15 - 15.30	0	0	1	10	0	0	0	0	11
15.30 - 15.45	0	0	1	10	0	0	0	0	11
15.45 - 16.00	0	0	3	10	0	0	0	0	13
16.15 - 16.30	0	0	2	13	0	0	0	0	15
16.30 - 16.45	0	0	0	13	0	0	0	0	13
16.45 - 17.00	0	0	1	14	0	0	0	0	15
17.00 - 17.15	1	0	0	17	0	0	0	0	18
17.15 - 17.30	0	1	0	13	0	0	1	0	15
17.30 - 17.45	0	0	1	17	0	0	0	0	18
17.45 - 18.00	0	1	2	19	0	0	1	0	23
18.00 - 18.15	0	0	2	13	0	0	1	0	16

Didapatkan gambar grafik 15 menit kendaraan berat dilihat pada gambar berikut:



Didapatkan bahwa jam puncak kendaraan berat 15 menit berurutan 1 pada pukul (17.15 -18.15) dengan jumlah kendaraan yaitu 72 kendaraan.

Didapatkan Rekapitulasi volume jam puncak pengambilan data per 15 menit secara berurutan selama 1 jam dilihat pada table 4.6 berikut

Tabel 4.6 Rekapitulasi volume jam puncak pengambilan data per 15 menit secara berurutan selama 1 jam

Hari/Tanggal Survey	Titik Pos Survey	Waktu Jam Puncak	Volume Kendaraan (kend/jam/2 arah)
Jumat, 12 Juli 2019	STA 1+000	17.15-18.15	72
	STA 4+000	17.15-18.15	72
Sabtu, 13 Juli 2019	STA 1+000	17.15-18.15	146
	STA 4+000	17.15-18.15	149
Minggu, 14 Juli 2019	STA 1+000	17.15-18.15	221
	STA 4+000	17.15-18.15	222

Didapatkan rekapitulasi lintas harian rata dilihat pada tabel 4.7 berikut

Tabel 4.7 Rekapitulasi Lintas Harian Rata

kendaraan	LINTAS HARIAN RATA								
	Jumat			Sabtu			Minggu		
	Arah Painan	Arah Padang	Jumlah	Arah Painan	Arah Padang	Jumlah	Arah Painan	Arah Padang	Jumlah
Bus kecil	0	0	0	4	0	4	0	0	0
Bus besar	2	0	2	3	3	6	7	0	7
Truk 2 sumbu	13	16	29	21	22	43	19	20	39
Truk 2 (6 roda)	20	43	63	40	50	90	90	80	170
Truk 3 sumbu	0	0	0	0	3	3	0	4	4
Truck Gandengan	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Truck semi Trailer	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Setelah dilakukan perhitungan jam puncak kendaraan berat kemudian didapatkan rekapitulasi LHR seperti yang terdapat pada tabel 4.37

Tabel 4.8 Rekapitulasi Lintas Harian Rata

Jenis Kendaraan	Jumat	Sabtu	Minggu	Maksimum	LHR awal umur rencana(2022)
Bus kecil	0	0	0	0	0
Bus besar	20	60	70	70	80,6407944
Truk 2 sumbu	290	430	390	430	495,3648799
Truk 2 (6 roda)	630	900	1700	1700	1958,419293
Truk 3 sumbu	0	30	40	40	46,08045394
Truk Gandengan	0	0	0	0	0
Truk semi Trailer	0	0	0	0	0

Untuk menghitung nilai LHR pada awal umur rencana (2022) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Bus Besar (6B)} &= \text{LHR maksimum bus kecil } (1+i)^{\text{UR}} &&= 70 (1+0,0483)^3 \\ &= 80,64 \text{ dibulatkan menjadi } 81 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Truk 2 sumbu} &= \text{LHR maksimum bus kecil } (1+i)^{\text{UR}} \\ &= 430 (1+0,0483)^3 \\ &= 495,36 \text{ dibulatkan menjadi } 495 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Truk 2 sumbu} &= \text{LHR maksimum bus kecil } (1+i)^{\text{UR}} \\ &= 1700 (1+0,0483)^3 \\ &= 1958,41 \text{ dibulatkan menjadi } 1958 \end{aligned}$$

Menentukan kelas jalan LHR yang digunakan memakai satuan smp/jam, untuk perhitungannya dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perhitungan LHR dua arah (smp/jam)

Kendaraan	Volume Jam Puncak				Emp	Smp/jam (VJP maks x emp)	Faktor (k)	LHR = VJP/k (smp/jam)
	Jumat	Sabtu	Minggu	Maksimum				
Sepeda Motor (MC)	586	723	690	723	0,4	289,2	0,1	2892
Kendaraan Ringan (LV)	363	471	416	471	1	471	0,1	4710
Kendaraan Berat (HV)	94	143	216	216	1,3	280,8	0,1	2808
Total						1041		10.410

Contoh perhitungan dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{VJP Sepeda Motor (smp/jam)} &= \text{VJP maks} \times \text{emp} \\ &= 723 \times 0,4 \\ &= 289,2 \text{ smp / jam} \end{aligned}$$

$$\text{LHR (smp/jam)} = \text{VJP (smp/jam)} / k$$

$$= 471 \text{ smp / jam / 0,1}$$

$$= 471 \text{ smp/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{LHR total} &= \text{LHR MC} + \text{LHR LV} + \text{LHR HV} \\ &= 2892 + 4710 + 2808 \\ &= 10410 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

Dari perhitungan pada tabel 4.9 diatas didapat nilai total LHR (smp/jam) seluruh kendaraan adalah sebanyak 10410 smp/jam.

Maka berdasarkan nilai tersebut selanjutnya dapat ditentukan klasifikasi jalan,berikut klasifikasi jalan dari LHR yang telah diperoleh. Jadi dari analisa perhitungan diatas bahwa dapat ditentukan klasifikasi jalan pada Ruas Jalan Duku Utara Kec Koto XI Tarusan yaitu jalan kelas II A yang termasuk kepada jalan arteri.

d) Perencanaan Perkerasan Kaku dengan Metoda Pd T-14-2003

Data Parameter Perencanaan Sebagai Berikut:

Status/fungsi Jalan	= Arteri
CBR tanah dasar	= 8.0 %
Kuat tarik lentur Beton	= 4,25 MPa
Bahan pondasi bawah	= Bahan Pengikat 12,5 cm
Mutu baja tulangan	= BJTP-24 dan BJTD-40
Bahu jalan	= Beton

Data LHR Jalan Duku Utara Kec Koto XI Tarusan, Sumatera Barat (Tabel 4.9)

Sepeda motor (1)	= 833 kendaraan
Sedan, Jeep (2)	= 444 kendaraan
Opelet (3)	= 24 kendaraan
Pick Up (4)	= 75 kendaraan
Bus kecil (5a)	= 0 kendaraan
Bus besar (5b)	= 81 kendaraan
Truck 2 sumbu (6a)	= 495 kendaraan

- Truck 2 sumbu 6 roda (6b) = 1958 kendaraan
- Truck 3 sumbu (7a) = 46 kendaraan
- Truck gandengan (7b) = 0 kendaraan
- Truck semi trailer (7c) = 0 kendaraan
- Pertumbuhan lalu-lintas = 0,483% (tabel 2.10)
- Umur rencana = 20 tahun (2022 – 2042)
- Lebar jalan = 2 x 3.5m (Kondisi lapangan)

Direncanakan perkerasan kaku untuk 2 lajur 2 arah dengan perkerasan beton bersambung dengan tulangan (BBDT).

Langkah-langkah perencanaan tebal pelat

1. Analisis Lalu-lintas

Pada perencanaan metoda ini kendaraan yang akan dihitung kendaraan besar dari 5 ton dengan jenis kendaraan yang berpengaruh pada perhitungan ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perhitungan Jumlah Sumbu Berdasar Jenis dan Bebannya

Jenis Kendaraan	Konfigurasi Beban Sumbu (ton)				Jumlah kendaraan per kendaraan (bh)	Jumlah sumbu per kendaraan (bh)	STRT		STRG		STARG	
	RD	RB	RGD	RGB			BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
5A	2,5	2,5	-	-	0	2	0	2,5	0	2,5	0	-
5B	3,06	5,94	-	-	81	2	162	3,06	81	5,94	81	-
6A	2,822	5,478	-	-	495	2	990	2,822	495	5,478	495	-
6B	6,19	12,01	-	-	1960	2	3920	6,19	1960	12,01	1960	-
7A2	6,25	18,75	-	-	48	2	92	6,25	46	-	-	18,75
7C3	5,652	8,792	-	16,956	0	3	0	5,652	0	8,792	0	16,956
	total						5164		2582		2536	942

RD = Roda Depan, RB = Roda Belakang, RGD = Roda Gandeng Depan, RGB = Roda Gandeng Belakang, BS = Beban Sumbu, JS = Jumlah Sumbu, STRT = Sumbu Transversal Roda Transversal, STRG = Sumbu Transversal Roda Gandeng, STARG = Sumbu Transversal Roda Gandeng

Faktor Pertumbuhan lalu-lintas (R) dihitung dengan rumus:

$$R = \frac{(1 + i)^{UN} - 1}{i}$$

$$R = \frac{(1 + 0,05)^{20} - 1}{0,05}$$

$$R = 33.06$$

Jumlah sumbu kendaraan niaga (JSKN) selama umur rencana 20 tahun adalah:

$$JSKN = 365 \times JSKNH \times R$$

$$= 365 \times 5164 \times 33.06$$

$$= 62313471,6$$

$$\text{JSKN rencana} = C \times \text{JSKN}$$

Berdasarkan tabel 2.10 maka didapat nilai C sebesar 0.483

$$\text{JSKN rencana} = 0,483 \times 62313471,6$$

$$= 3.01\text{E}+07$$

2. Perhitungan Repetisi Sumbu yang Terjadi

Repetisi beban sumbu rencana harus mempertimbangkan faktor keamanan beban (Fkb) untuk nilai Fkb dapat dilihat pada tabel 2.8.

Analisa asumsi perhitungan beban rencana pada ruas Jalan Duku Utara Kec Koto XI Tarusan, Sumatera Barat dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Analisa beban rencana ruas Jalan ruas Jalan Duku Utara Kec Koto XI Tarusan, Sumatera Barat

Jenis Sumbu	Beban Awal			Beban Rencana			Ket.
	Beban Sumbu		Beban Per Roda	Beban Sumbu (beban sumbu awal x Fkb)		Beban Per Roda	
	Ton	KN	KN	Ton	KN	KN	
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]=[5]/2	
STRT	6.25	62.5	31.25	6.87	68.7	34.35	
	6.19	61.9	30.95	6.80	68	34	
	5.65	56.5	28.25	6.21	62.1	31.05	
	3.06	30.6	15.3	3.3	33	16.5	
	2.82	28.2	14.1	3.10	31	15.5	
STRG	2.50	25	12.5	2.75	27.5	13.75	
	12.01	120.1	60.05	13.21	132.1	66.05	
	8.79	87.9	43.95	9.66	96.6	48.3	
	5.94	59.4	29.7	6.53	65.3	32.65	
	5.47	54.7	27.35	6.01	60.1	30.05	
STdRG	2.50	25.0	12.5	2.75	27.5	13.75	
	18.75	187.5	93.75	20.62	206.2	103.1	
	16.95	169.5	84.75	18.64	186.4	93.2	

Ket : 1. Kolom 1 (6) (8) (9) pada tabel 4.37 diurutkan dari yang terbesar ke terkecil.

2. Kolom 2 adalah konversi dari ton ke KN.
3. Kolom 3 hasil dari konversi ton ke KN dibagi 2 menjadi beban per roda.
4. Kolom 4 hasil dari beban sumbu ton dikali dengan Fkb yaitu 1.8.
5. Kolom 5 hasil dari beban sumbu awal dari ton dikonversi ke KN.
6. Kolom 6 hasil dari beban sumbu awal KN dibagi 2.

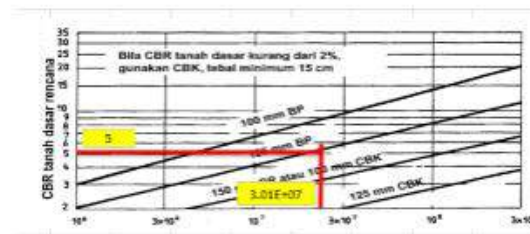
Didapatkan repetisi sumbu yang terjadi di lihat pada tabel 4.12 berikut

Tabel 4.12 Repetisi sumbu yang terjadi

Jenis Sumbu	Beban Sumbu Rencana (Ton)	Jumlah Sumbu	Proporsi Beban	Proporsi Sumbu	Lalu-lintas Rencana	Repetisi yang terjadi
1	2	3	4,000	5,000	6	7=4x5x6
STRT	6,88	1960	0,759	0,759	3,01E+07	1,73E+07
	6,81	46	0,018	0,018	3,01E+07	9,55E+03
	6,22	495	0,192	0,192	3,01E+07	1,11E+06
	3,37	81	0,031	0,031	3,01E+07	2,96E+04
	3,10	0	0,000	0,000	3,01E+07	0,00E+00
	2,75	0	0,000	0,000	3,01E+07	0,00E+00
Total		2582	1,000			
STRG	13,21	1960	85,217	0,773	3,01E+07	1,98E+09
	9,67	495	21,522	0,195	3,01E+07	1,26E+08
	6,53	81	3,522	0,032	3,01E+07	3,39E+06
	6,03	0	0,000	0,000	3,01E+07	0,00E+00
	2,75	0	0,000	0,000	3,01E+07	0,00E+00
	Total		23	110,261		
STdRG	20,63	46	1,000	1,000	3,01E+07	3,01E+07
	18,65	0	0,000	0,000	3,01E+07	0,00E+00
Total		46	1,000			
Kumulatif						3,01E+07

3. Menentukan Tebal Pondasi Bawah

Setelah mendapatkan repetisi beban sumbu yang terjadi, kemudian mencari tebal pondasi bawah minimum dengan menggunakan grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.5



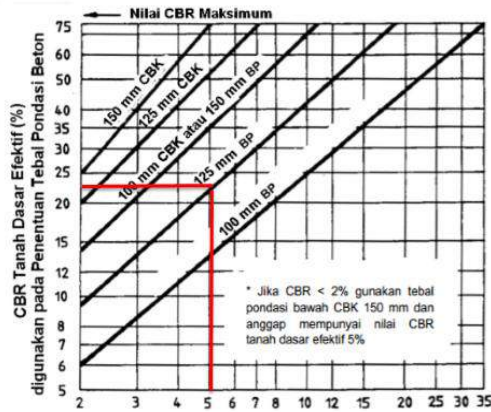
Sumber : Pd T - 14 - 2003

Gambar 4.5 Grafik Tebal pondasi bawah minimum untuk perkerasan beton semen

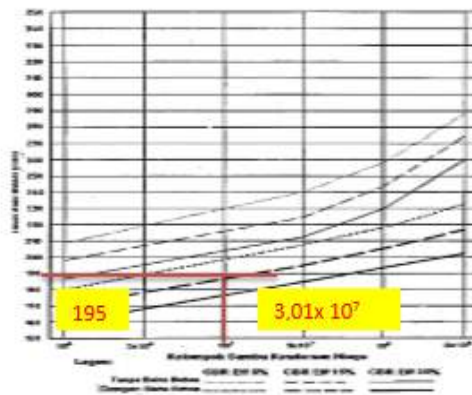
Dari gambar 4.5 di atas didapat pondasi bawah diambil bahan pengikat berupa stabilisasi Semen dengan tebal sebesar 12,5 cm.

4. Menentukan CBR Tanah Dasar Efektif

Setelah didapat tebal pondasi bawah, kemudian dicari CBR tanah dasar efektif dengan menggunakan gambar 4.6 Nilai CBR tanah dasar untuk ruas Jalan Duku Utara Kec Koto XI Tarusan, Sumatera Barat diambil nilai CBR *design* yaitu sebesar 23 % berdasarkan data .



Menentukan tebal pelat beton yang akan direncanakan dapat dilihat pada gambar 4.7

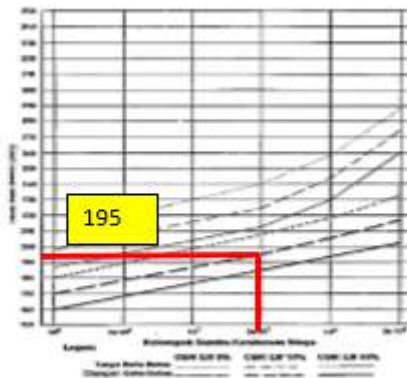


Sumber : Pd-T-14-2003

Gambar 4.7 Contoh grafik perencanaan, $f_{cf} = 4,25$ MPa, lalu lintas luar kota, dengan ruji, $F_{kb} = 1,1$

5. Menentukan Tebal Perkiraan Pelat Beton

Menentukan tebal pelat beton yang akan direncanakan dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Contoh grafik Menentukantebal pelat beton

Dari gambar 4.7 di atas dengan nilai CBR efektif 25% serta menggunakan bahu beton didapat nilai tebal perkiraan sebesar 195 atau bisa digenapkan menjadi 200 mm. Nilai untuk perkerasan bahu beton dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.13 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk perkerasan dengan bahu beton.

Tebal Slab (mm)	CBR eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
		STR1	STRG	STBRG	STRRG	Tanpa Raju				Dengan Raju/Beton Bertulang			
						STR1	STRG	STBRG	STRRG	STR1	STRG	STBRG	STRRG
300	5	0.61	1.47	1.37	0.99	3.01	2.61	2.74	2.78	1.1	2.4	2.52	2.6
300	10	0.80	1.30	1.18	0.93	1.90	2.50	2.60	2.71	1.78	2.38	2.46	2.52
300	15	0.87	1.35	1.15	0.9	1.98	2.50	2.66	2.68	1.77	2.37	2.43	2.40
300	20	0.85	1.33	1.12	0.89	1.97	2.58	2.64	2.66	1.76	2.36	2.42	2.48
200	25	0.83	1.25	1.1	0.87	1.95	2.57	2.67	2.68	1.75	2.35	2.41	2.46
200	35	0.83	1.25	1.05	0.84	1.96	2.56	2.58	2.6	1.73	2.33	2.38	2.39
200	50	0.82	1.2	1.01	0.82	1.94	2.54	2.54	2.55	1.71	2.31	2.32	2.35
300	75	0.81	1.14	0.99	0.8	1.92	2.52	2.51	2.5	1.69	2.3	2.27	2.38
210	5	0.83	1.38	1.2	0.93	1.96	2.50	2.7	2.75	1.74	2.34	2.48	2.57
210	10	0.82	1.3	1.11	0.87	1.94	2.54	2.65	2.67	1.72	2.32	2.42	2.40
210	15	0.8	1.27	1.08	0.84	1.93	2.53	2.62	2.64	1.71	2.31	2.39	2.45
210	20	0.8	1.24	1.05	0.83	1.92	2.52	2.6	2.62	1.7	2.3	2.37	2.45
210	35	0.76	1.22	1.03	0.81	1.91	2.51	2.58	2.6	1.69	2.29	2.31	2.4
210	50	0.77	1.17	0.98	0.78	1.9	2.49	2.54	2.56	1.67	2.28	2.31	2.34
210	75	0.76	1.13	0.94	0.76	1.88	2.48	2.51	2.51	1.65	2.26	2.27	2.30
210	75	0.75	1.07	0.9	0.74	1.86	2.47	2.45	2.46	1.64	2.24	2.22	2.32

Sumber : Pd T – 14 – 2003

Didapatkan nilai hasil perhitungan tegangan ekuivalen dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.14 Hasil perhitungan nilai Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk CBR efektif 25%

Tebal Slab (mm)	CBR eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
		STR1	STRG	STBRG	STRRG	Tanpa Raju				Dengan Raju/Beton Bertulang			
						STR1	STRG	STBRG	STRRG	STR1	STRG	STBRG	STRRG
200	25	0.85	1.3	1.1	0.87	1.97	2.57	2.62	2.64	1.75	2.35	2.4	2.44

Faktor rasio tegangan (FRT) dicari dengan membagi tegangan ekuivalen (TE) oleh kuat tarik lentur (f_{cf})

$$f_{cf} = 3.13 \cdot K(f_c')^{0.50}$$

$$f_{cf} = 3.13 \times 0.75(350)^{0.50}$$

$$f_{cf} = 37,11 \text{ Kg/cm}^2$$

$$= 3,71 \text{ MPa}$$

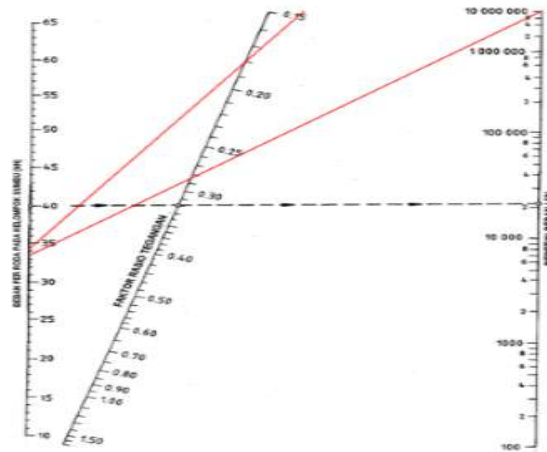
Faktor rasio tegangan (FRT) untuk berbagai jenis sumbu kendaraan adalah sebagai berikut

$$FRT_{STR1} = \frac{TE}{f_{cf}} = \frac{0.83}{3,71} = 0.22$$

$$FRT_{STRG} = \frac{TE}{f_{cf}} = \frac{1.25}{3,71} = 0.33$$

$$FRT_{STBRG} = \frac{TE}{f_{cf}} = \frac{1.05}{3,71} = 0.28$$

Didapatkan grafik repitisi ijin fatik untuk tebal pelat 20cm dilahat pada gambar berikut.



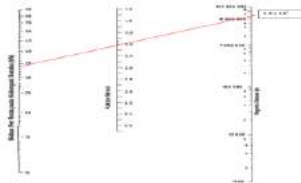
Sumber : Pd-T-14-2003

Gambar 4.8 Grafik repetisi ijin fatik untuk tebal pelat 20 cm

Dari gambar 4.8 di atas diperoleh repetisi ijin fatik yang terjadi untuk semua jenis kendaraan adalah

$$- STRG_1 = 1.6 \times 10^7$$

Repetisi beban ijin berdasarkan faktor erosi diperlihatkan pada gambar 4.9.



Sumber : Pd T-14-2003

Gambar 4.9 Grafik analisis erosi dan jumlah repetisi beban berdasarkan faktor erosi, dengan bahu beton untuk tebal pelat 20 cm

Dari gambar 4.9 di atas, diperoleh repetisi ijin erosi yang terjadi untuk semua jenis kendaraan adalah :

$$STRG_1 = 2.2$$

Untuk data hasil analisa fatik dan erosi dari pengamatan grafik dapat dilihat pada tabel 4.15

Analisis fatik dan erosi								
Jenis Sumbu	Beban Sumbu (ton)	Beban Rencana Per roda (KN)	Repetisi yang terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisa Fatik		Analisa Erosi	
					Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)
1	2	3	4	5	6	7=4x100/6	8	9=4x100/8
STRT	6,88	34,38	1,73E+07	TE = 0.78	TT	0,00	TT	0,00
	6,81	34,05	9,55E+03	FE = 1.68	TT	0,00	TT	0,00
				FRT =				
	6,22	31,09	1,11E+06	0.18	TT	0,00	TT	0,00
	3,37	16,83	2,96E+04		TT	0,00	TT	0,00
	3,10	15,52	0,00E+00		TT	0,00	TT	0,00
STRG	2,75	13,75	0,00E+00		TT	0,00	TT	0,00
	13,21	32,03	1,98E+09	TE = 1.20	TT	0,00	1,60E+07	12391,46
	9,67	24,18	1,26E+08	FE = 2.29	TT	0,00	TT	0,00
				FRT =				
	6,53	16,34	3,39E+06	0.28	TT	0,00	TT	0,00
	6,03	15,06	0,00E+00		TT	0,00	TT	0,00
STdRG	2,75	6,88	0,00E+00		TT	0,00	TT	0,00
	20,63	25,78	3,01E+07	TE = 1.01	TT	0,00	TT	0,00
	18,65	23,31	0,00E+00	FE = 2.33	TT	0,00	TT	0,00
				FRT =				
			0.23					
Total						0	12391,46	
						0 % < 100%	65,08% % < 100%	

- Catatan : TE = Tegangan Ekivalen
 FRT = Faktor Rasio Tegangan
 FE = Faktor Erosi
 TT = Tidak Terbatas

Dari tabel 4.15 di atas dapat dilihat bahwa persentase rusak fatik (lelah) sebesar 0% dan rusak izin erosi telah lebih kecil (mendekati) dari 100% yaitu sebesar 65,08 %, maka tebal pelat beton sebesar 20 cm dapat dipakai

d) Perhitungan Tulangan

Data perencanaan

- Tebal pelat = 20 cm
- Lebar Pelat = 2 x 6 m
- Panjang Pelat = 6 m
- Dari tabel 2.10 Koefisien gesek antara pelat beton dengan pondasi (μ) = 1.8
- Kuat tarik ijin Baja = 240 MPa
- Berat isi beton = 2400 kg/m³
- Gravitasi = 9.81 m/dt²

Perhitungan tulangan memanjang

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s}$$

$$A_s = \frac{1.8 \times 6 \times 2400 \times 9.81 \times 0.20}{2 \times 240}$$

$$= 105.94 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

$$A_s \text{ min} = 0.1\% \times \text{luas penampang beton}$$

$$= 0.1\% \times 200 \times 1000$$

$$= 200 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

Perhitungan tulangan melintang

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_y}$$

$$A_s = \frac{1.8 \times 12 \times 2400 \times 9.81 \times 0.20}{2 \times 240}$$

$$= 211.89 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

$$A_s \text{ min} = 0.1\% \times \text{luas penampang beton}$$

$$= 0.1\% \times 200 \times 1000$$

$$= 200 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

Dari tabel 2.14 Dipakai tulangan berbentuk bujur sangkar diameter 8 mm dengan jarak tulangan melintang dan tulangan memanjang 200 mm dengan luas penampang tulangan $251 \text{ mm}^2/\text{m}'$ ($A_s=251 \text{ mm}^2/\text{m}' > A_s \text{ min} =201 \text{ mm}^2/\text{m}'$)

Perencanaan Sambungan

- **Dowel (Ruji)**

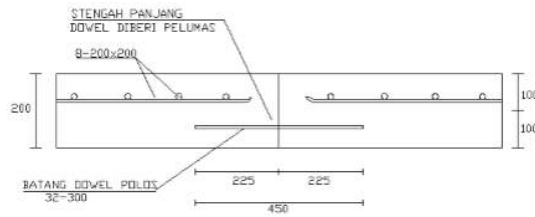
Untuk sambungan pelaksanaan melintang yang direncanakan harus menggunakan batang tulangan polos yang diletakkan sepertiga tebal pelat untuk lapis pondasi stabilisasi semen.. Tipikal sambungan pelaksanaan melintang diperlihatkan pada **gambar 4.10**

Berdasarkan tabel 2.12 untuk tebal pelat beton 200 mm didapatkan data untuk dowel (ruji) sebagai berikut:

$$\text{Berdiameter} = 25 \text{ mm}$$

Panjang = 450 mm

Jarak antar dowel = 300 mm.



Gambar 4.10 Sambungan pelaksanaan melintang yang direncanakan

- **Batang pengikat (Tie Bar)**

Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$l = (38,3 \times \varphi) + 60$$

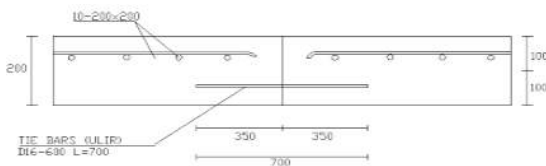
$$\varphi = 16 \text{ mm}$$

$$l = (38,3 \times 16) + 60$$

$$= 67.8 \text{ mm} \sim 70 \text{ mm}$$

- Berdiameter = 16 mm (ulir)
- Panjang = 70 mm
- Jarak antar tie bar = 60 mm.

Untuk tipikal sambungan pelaksanaan memanjang dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Sambungan pelaksanaan memanjang yang direncanakan

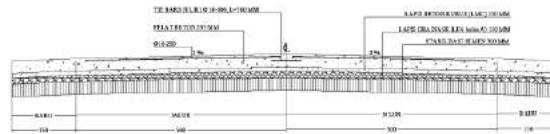
Gambar Rencana

Gambar rencana dari metoda Pd T – 14 – 2003 dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.13 Potongan melintang jalan Metoda Pd T-14-2003

Gambar rencana dari Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Potongan melintang jalan Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa tebal perkerasan dengan Metoda Pd T-14-2003 lebih tipis dari Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 yaitu 20 cm : 295 cm, berikut perbandingan hasil masing – masing Metoda :

1. Untuk Metoda Pd T – 14 – 2003 didapatkan tebal sebesar 20 cm sedangkan Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 sebesar 29,5 cm
2. Dari hasil perencanaan tersebut Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 memiliki konstruksi yang lebih kuat dikarenakan struktur perkerasannya yang lebih lengkap daripada Metoda Pd T – 14 – 2003. Dari Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 juga didapatkan nilai tebal dari lapis pondasi bawah, lapisan drainase, lapisan beton kurus, hingga lapis perkerasan jalan, sedangkan pada Metoda Pd T – 14 – 2003 hanya didapatkan nilai tebal dari lapis pondasi bawah dan lapis perkerasan jalan saja.

Dari perbandingan hasil perencanaan kedua Metoda diatas, penulis menyarankan agar memakai hasil perencanaan dari Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017.

1. Penutup

Hasil perencanaan tebal konstruksi perkerasan kaku dengan metoda Pd T-14-2003 dan Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 dapat dilihat pada tabel 5.1 dan 5.2.

Tabel 5.1. Hasil perencanaan tebal konstruksi dengan metoda Pd T 14 – 2003

- Tebal Perkerasan Beton K-350	200 mm
- Lapis Pondasi Bawah dengan menggunakan Bahan Pengikat berupa Stabilisasi Semen	125 mm
- Wire Mess	Ø8 – 200 untuk tulangan memanjang dan melintang
- Dowel	Berdiameter = Ø32 mm Panjang = 45 cm Jarak antar dowel = 30 cm.
- Tie Bar	Berdiameter = D16 mm Panjang = 70 cm Jarak antar tie bar = 60 cm.

Tabel 5.2. Hasil perencanaan tebal konstruksi dengan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

- Tebal Perkerasan Beton K-350	295 mm
- Lapis beton kurus (LMC)	100 mm
- Lapis drainage (LFA kis A)	150 mm
- Fondasi Stabilisasi Semen	300 mm
- Wire Mess	Ø10 – 200 untuk tulangan memanjang dan melintang
- Dowel	Berdiameter = Ø38 mm Panjang = 34 cm Jarak antar dowel = 30 cm.
- Tie Bar	Berdiameter = D16 mm Panjang = 70 cm Jarak antar tie bar = 60 cm.

4. KESIMPULAN

1. Dari hasil perencanaan pada kedua Metoda terdapat perbedaan hasil tebal perencanaan dimana tebal yang didapat dari Metoda Pd T – 14 – 2003 adalah sebesar 20 cm dan Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 adalahh sebesar 29,5 cm (untuk metoda Manual Perkerasan Jalan 2017, tebal minimum perkerasan kaku jalan dengan lalu – lintas berat adalah sebesar 265 mm dengan atau tanpa tulangan distribusi).
2. Dari Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 juga didapatkan nilai tebal dari lapis pondasi bawah, lapisan drainase, lapisan beton kurus, hingga lapis perkerasan

jalan, sedangkan pada Metoda Pd T – 14 – 2003 hanya didapatkan nilai tebal dari lapis pondasi bawah dan lapis perkerasan jalan saja.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang sebagai donatur atau yang mendanai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan penelitian.

6. DAFTAR RUJUKAN

- [1] Departemen Pekerjaan Umum. 2002. *Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Pt-T-14-2003-B)*. Jakarta
- [2] Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga . 2017. *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2013*. Jakarta
- [3] Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Jalan Raya dengan Metode MDP 2017*. Jakarta
- [4] Direcktorat Jenderal Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Jakarta

PEMANFAATAN CANGKANG SAWIT TERHADAP NILAI INDEKS KEKUATAN SISA PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE (AC-BC)

Syaifullah Ali¹, Mukhlis², Lusyana³, Claudia Agnes Siboro⁴,

¹ Teknik Sipil, Prodi Sarjana Terapan Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan,
Politeknik Negeri Padang, Padang.

² Teknik Sipil, Prodi Sarjana Terapan Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan,
Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: palito_alam@yahoo.com

³ Teknik Sipil, Prodi Sarjana Terapan Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan,
Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: lusyana1075@gmail.com

⁴ Mahasiswa Teknik Sipil, Sarjana Terapan Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan,
Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: claudiasiboro27@gmail.com

ABSTRACT

The specimen used was a mixture of AC-BC that had been tested by Marshall before to obtain the Optimum Asphalt Level (KAO) value. Determination of KAO in the mixture by varying the oil palm shell from 0% -15% with an increase interval of 2.5%. While the asphalt content is varied from 5% -7% with an increase interval of 0.5%. After obtaining the KAO value of each shell variation, the sample specimens for Marshall Immersion were made with the same manufacturing rules as the Marshall specimens. Tests conducted on Marshall Immersion are intended to determine the Remaining Strength Index (IKS) on a mixture with a variation of immersion 30 minutes and 24 hours at a temperature of 60 oC. The purpose of Marshall Immersion is to find the remaining strength index inside mixture with variation of soaking is 30-24 minutes and temperature of 60 °C. The result of this research is to get durability of the mixture. Durability is the ability of asphalt mixture to hold out from traffic load and the weather. The higher value of remaining strength index then the value of durability increasing too from the mixture. The minimum value of remaining strength index is 90% based on Bina Marga 2010 Revisi 3. The result of research which has been done got value of remaining strength index that satisfy the minimum for variaton palm oil shell 15% with remaining strength index is bigger than 90,4%. This is because the high IKS value has a small VIM value and high asphalt content so that the inter bonds become high as a result the mixture is not easily damaged due to the immersion conditions carried out. The addition of a palm shell makes the density of the mixture smaller because the volume of the mixture from the palm shell increases and also the density of the bulk mixture decreases. Based on the research can made conclusions that palm oil shell is can be used as additional ingradient to the mixture because it meet the standard of Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

Keywords : mixture of AC-BC, oil palm shells, KAO, residual strength index (IKS)

ABSTRAK

Benda uji yang digunakan merupakan campuran AC-BC yang telah dilakukan pengujian Marshall sebelumnya untuk memperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Penentuan KAO pada campuran dengan memvariasikan cangkang kelapa sawit dari 0%-15% dengan interval kenaikan 2,5%. Sedangkan kadar aspal divariasikan dari 5%-7% dengan interval

kenaikan 0,5%. Setelah mendapatkan nilai KAO masing-masing variasi cangkang, dilakukan pembuatan sampel benda uji untuk *Marshall Immersion* dengan aturan pembuatan sama dengan benda uji *Marshall*. Pengujian yang dilakukan pada *Marshall Immersion* ini dimaksud untuk mengetahui Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada campuran dengan variasi perendaman 30 menit dan 24 jam pada temperatur 60 °C. Pengujian *Marshall Immersion* dimaksud untuk mengetahui Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada campuran dengan variasi perendaman 30 menit dan 24 jam pada temperatur 60 °C. Hasil dari pengujian ini untuk mengetahui durabilitas campuran aspal. Durabilitas merupakan kemampuan campuran aspal bertahan dari pengaruh beban lalu lintas dan pengaruh cuaca. Semakin tinggi nilai dari IKS maka durabilitas dari campuran tersebut semakin baik. Nilai dari IKS itu sendiri minimum 90% berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3. Hasil percobaan yang dilakukan diperoleh nilai IKS yang memenuhi syarat minimum yaitu variasi cangkang sawit 15% dengan nilai IKS sebesar 90,4%. Hal ini karena nilai IKS yang tinggi mempunyai nilai VIM yang kecil serta kadar aspal yang tinggi sehingga ikatan antar menjadi tinggi akibatnya campuran tidak mudah rusak akibat kondisi perendaman yang dilakukan. Adanya penambahan cangkang sawit menjadikan kepadatan campuran semakin kecil karena volume dari campuran dari cangkang sawit bertambah dan juga berat jenis campuran bulk yang menurun. Berdasarkan hasil penelitian, cangkang kelapa sawit layak sebagai bahan tambah pada campuran karena memenuhi standar persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

Kata kunci : campuran AC-BC, cangkang kelapa sawit, KAO, indeks kekuatan sisa (IKS)

1. PENDAHULUAN

Hasil penelitian sebelumnya cangkang kelapa sawit digunakan sebagai substitusi agregat kasar dengan variasi persentasi cangkang sawit yaitu 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 15% pada campuran AC-BC untuk menentukan nilai kadar aspal optimum dan parameter *Marshall*. Karakteristik *Marshall* yang didapat memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3. Penelitian dilanjutkan dengan analisis karakteristik *Marshall Immersion* yang diperoleh dari Nilai Indeks Perendaman (IKS) terhadap campuran dengan perendaman standar yaitu 30 menit dan variasi perendaman pada Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu 24 jam. Rumusan masalah pada penelitian ini terletak pada pengaruh cangkang sawit terhadap kinerja *Marshall Immersion*. Tujuannya adakah pengaruh terhadap kinerja *Marshall Immersion* dengan penambahan cangkang sawit pada variasi tersebut. Diharapkan pemanfaatan limbah cangkang sawit mampu dijadikan sebagai substitusi pada agregat kasar pada campuran AC-BC.

2. METODE PENELITIAN

Pengujian pada penelitian ini dilaksanakan di laboratorium material jalan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang. Cangkang kelapa sawit digunakan sebagian disaringan 4,75 mm. dengan variasi cangkang kelapa sawit yaitu 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% dan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,6%, dan 7%.

2.1 Pengujian Bahan

Bahan campuran dalam penelitian ini terdiri dari agregat kasar (butiran lebih besar dari saringan No.4,75 mm), agregat halus (butiran lebih kecil dari saringan No.4,75 mm), *filler* sebagai bahan pengisi, aspal penetrasi 60/70 dan cangkang kelapa sawit. Sebelum

pembuatan benda uji, bahan-bahan diuji terlebih dahulu yang mengacu pada standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

2.2 Perancangan Benda Uji

Pada pengujian *Marshall Immerision* dilakukan apabila telah diketahui nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dari suatu rancangan karakteristik campuran aspal, agregat, dan cangkang sawit yang dilakukan melalui pengujian *Marshall*.

2.3 Jumlah Sampel Benda Uji

Pada penelitian ini, sampel benda uji terdiri dari sampel 30 menit dan 24 jam pada variasi persentase cangkang kelapa sawit yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah benda uji

No	Cangkang Sawit	Kadar Aspal Optimum	Jumlah Benda Uji	
			30 menit	24 jam
1.	0%	5,5%	2	2
2.	2,5%	5,7%	2	2
3.	5%	6,15%	2	2
4.	7,5%	6,2%	2	2
5.	10%	6,5%	2	3
6.	12,5%	6,6%	3	3
7.	15%	6,65%	3	3
Total Benda Uji <i>Marshall Immersion</i>			33	

2.4 Teknik Analisa Data yang Dipakai

Pelaksanaan penelitian ini membutuhkan alat bantu untuk mengolah data seperti perangkat lunak (*Software*) menggunakan Microsoft Excel untuk menampilkan analisis data berupa grafik, tabel, dan diagram serta perangkat keras (*Hardware*) dengan menggunakan peralatan laboratorium, alat tulis, dan material lainnya.

3. HASIL

3.1 Hasil Pengujian Bahan

Hasil dari pengujian bahan campuran AC-BC yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2 sampai Tabel 6 berikut :

Tabel 2. Hasil pengujian aspal

No.	Jenis Pengujian	Standar	Nilai	Hasil
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70	60,3 mm
2.	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥ 300	146 & 158 cm ² /detik
3.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434-2011	≥ 48	46,5 °C
4.	Daktilitas pada 25 °C (cm)	SNI 2432-2011	≥ 100	122 ccm
5.	Titik Nyala dan Titik Bakar (°C)	SNI 2433-2011	≥ 232	354 °C & 405 °C
6.	Berat Jenis	SNI 06-2440-1991	≤ 0,8%	1,049 t/m ³
7.	Berat yang Hilang (%)	SNI 2441-2011	≥ 1,0	0,19%

Tabel 3. Hasil pengujian agregat kasar

Pengujian	Standar	Nilai	Hasil
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium	SNI 3407:2008	Maks. 12%	2,87%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 2417:2008	Maks. 40%	32,14%
Kelekatan Agregat terhadap Aspal	SNI 2439-2011	Min.95%	96%
Partikel Kepipihan dan Kelonjongan	ASTM D-4791	Maks. 10%	3,9% dan 3,3%
Berat Jenis Bulk			2,531
Berat Jenis SSD	SNI 03-1969-1991	Min. 2,5%	2,601
Berat Jenis Semu			2,67
Penyerapan terhadap Air	SNI 03-1969-1991	Maks. 3%	2,12%
AIV (<i>Agregate Impact Value</i>)	SK SNI 1970-1990	Maks. 30%	10,90%
ACV (<i>Agregate Crushing Value</i>)	SNI 03-4426-1997	Maks. 30%	19,81%

Tabel 4. Hasil pengujian agregat halus

No	Jenis Pengujian	Standar	Nilai	Hasil
1	Penyerapan (%)	SNI 03-1969-1990	5%	2,49
	1. Berat jenis Bulk			2,528
2	2. Berat Jenis SSD	SNI 03-1969-1990	2,2-2,7	2,571
	3. Berat Jenis Semu			2,645
3	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60%	
4	Angularitas dengan uji kadar rongga	AASHTO TP-33 atau ASTM C252-93	Min 45%	
5	Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 3423 : 2008	1%	
6	Agregat lolos ayakan No.200	SNI 03-4428-1997	10%	

Tabel 5. Hasil pengujian *filler*

No	Jenis Pengujian	Standar	Nilai	Hasil
1	Berat Jenis	SII-0013-81	2,5-2,7	2,573

Tabel 6. Hasil pengujian cangkang sawit

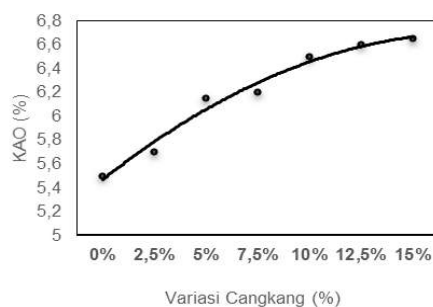
No	Jenis pengujian	Hasil	Spesifikasi
1.	Berat Jenis		
	1. Bj Bulk	1,1	< 2 (termasuk kedalam agregat ringan)
	2. Bj SSD	1,335	
	3. Bj Semu	1,44	
2.	<i>Los Angeles</i> ; %	17,23	Maks 40
3.	<i>AIV (Agregat Impact Value)</i> ; %	10,9	Maks 30
4.	<i>ACV (Agregat Crushing Value)</i> ; %	2,54	Maks 30
5	Kelekatan ; %	96	Min 95

3.2 Hasil Pengujian Marshall pada Campuran Variasi Cangkang Sawit

Variasi kadar aspal yang digunakan dengan atau tanpa cangkang sawit adalah 5,0% sampai 7,0%, dengan interval 0,5%. Temperatur yang digunakan untuk pencampuran dan pemadatan benda uji didapatkan dari kurva hasil percobaan Viskositas aspal. Pencampuran benda uji dilakukan pada temperatur 165 °C, selanjutnya dipadatkan dengan menggunakan pemadat Marshall pada temperatur 145 °C. Pemadatan untuk uji *Marshall* dilakukan dengan penumbukan sebanyak 75 kali per bidang dengan menggunakan penumbuk *Marshall*.

3.3 Hasil Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium yang dilakukan, didapatkan kadar aspal optimum campuran beraspal yang menggunakan cangkang kelapa sawit sebagai pengganti agregat kasar. Pada persentase cangkang kelapa sawit 0% memiliki nilai KAO 5,5; cangkang kelapa sawit 2,5% memiliki nilai KAO 5,7 cangkang kelapa sawit 5% memiliki nilai KAO 6,15; cangkang kelapa sawit 7,5% memiliki nilai KAO 6,2 cangkang kelapa sawit 10% memiliki nilai KAO 6,5; cangkang kelapa sawit 12,5% memiliki nilai KAO 6,6 cangkang kelapa sawit 15% memiliki nilai KAO 6,65.



Gambar 1. Perbandingan nilai KAO

4. PEMBAHASAN

4.1 Analisa Pengujian Bahan

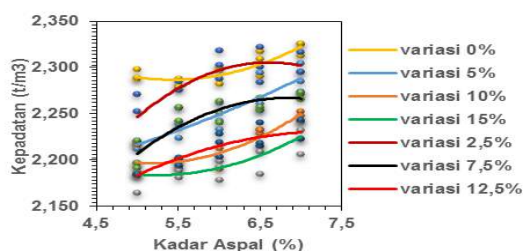
Hasil menunjukkan bahwa agregat yang digunakan pada campuran memenuhi standar spesifikasi yang dipakai. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa aspal yang digunakan pada campuran memenuhi standar spesifikasi yang dipakai. Namun untuk nilai titik lembek yang diperoleh tidak memenuhi syarat spesifikasi sebesar $46,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ lebih kecil dari yang disyaratkan ($\text{min} \geq 48$). Namun berdasarkan spesifikasi, nilai tersebut masih dapat diterima oleh karena sifat-sifat teknis yang lain masih dapat dipenuhi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa cangkang kelapa sawit yang digunakan pada campuran memenuhi standar spesifikasi yang dipakai.

4.2 Analisa Pengaruh Penggunaa Cangkang Sawit Terhadap KAO

Dari variasi campuran beraspal yang diperoleh berdasarkan pengujian dilaboratorium Politeknik Negeri Padang, persentase campuran yang memiliki kadar aspal optimum yaitu dari variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dan 15%. Data kadar aspal optimum yang diperoleh menunjukkan bahwa akibat dari penambahan cangkang kelapa sawit nilai kadar aspal optimum bertambah. Hal ini terjadi karena pada campuran dengan cangkang kelapa sawit sebagai substitusi agregat kasar dalam memenuhi persyaratan karakteristik volumetrik campuran dan karakteristik marshall membutuhkan kadar aspal yang lebih tinggi. Hal ini juga disebabkan karena berat jenis dari cangkang kelapa sawit yang lebih kecil dibanding berat jenis agregat halus, sehingga campuran beraspal membutuhkan kadar aspal yang lebih tinggi.

4.3 Analisa Pengujian Marshall Campuran AC-BC

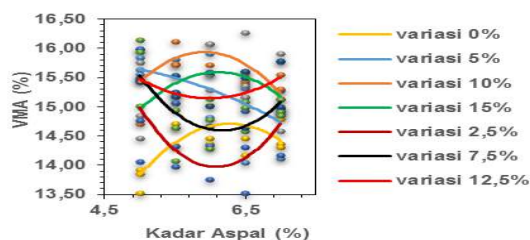
Kepadatan adalah berat campuran yang diukur tiap satuan volume (*The Asphalt Institute, 1983*). Kepadatan merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Kepadatan pada campuran beraspal meningkat seiring dengan meningkatnya kadar aspal, sehingga mencapai nilai maksimum dan setelah nilainya akan turun. Nilai perbandingan kepadatan berdasarkan variasi kadar aspal yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2. Perbandingan kepadatan terhadap kadar aspal

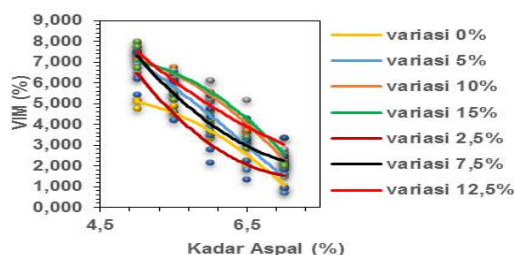
Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin besar presentase cangkang kelapa sawit dalam campuran, maka semakin kecil VMA yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena semakin banyak cangkang nilai berat jenis bulk campuran padat (Gmb) semakin turun

dan mengakibatkan nilai VMA semakin naik. Selain berat jenis padat bulk campuran (Gmb), nilai VMA juga dipengaruhi oleh volume benda uji, dimana seiring bertambahnya cangkang sawit dalam campuran maka bertambah besar volume benda uji. Pada campuran cangkang sawit 0% sampai 15% masih memenuhi spesifikasi (VMA $\geq 15\%$).



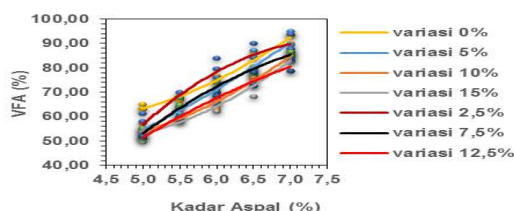
Gambar 3. Perbandingan VMA terhadap kadar aspal

Pada Gambar 4 terlihat bahwa pada kadar aspal yang sama, nilai VIM pada campuran semakin tinggi seiring dengan bertambahnya persentase cangkang kelapa sawit. Campuran yang mempunyai kadar cangkang kelapa sawit yang besar menyebabkan nilai VIM semakin besar. Hal ini disebabkan karena nilai VIM dipengaruhi oleh kepadatan, dimana nilai kepadatan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang mengakibatkan campuran semakin padat dan rongga pada campuran makin sedikit, maka nilai VIM yang diperoleh semakin kecil.



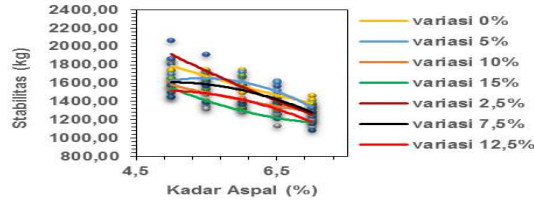
Gambar 4. Perbandingan VIM terhadap kadar aspal

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa pada kadar aspal yang sama nilai VFA cenderung menurun seiring dengan bertambahnya persentase cangkang kelapa sawit. Dimana hal ini disebabkan karena campuran dengan cangkang kelapa sawit memiliki nilai VMA dan VIM yang besar apabila dibandingkan dengan campuran lainnya. Apabila nilai VMA dan VIM mengalami kenaikan maka nilai VFA akan mengalami penurunan.



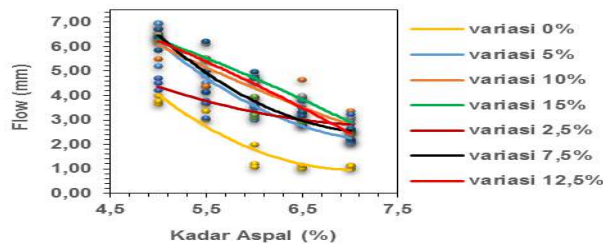
Gambar 5. Perbandingan VFA terhadap kadar aspal

Stabilitas merupakan suatu ukuran kemampuan campuran untuk memikul beban lalu lintas sampai terjadi kelelahan plastis. Nilai stabilitas akan meningkat seiring dengan meningkatnya kadar aspal, hingga mencapai nilai maksimum dan setelah itu menurun, hal ini menunjukkan bahwa stabilitas maksimum akan dicapai pada suatu nilai kadar aspal tertentu atau Kadar Aspal Optimum yang dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 Divisi 6 nilai Stabilitas dibatasi ≥ 800 Kg.

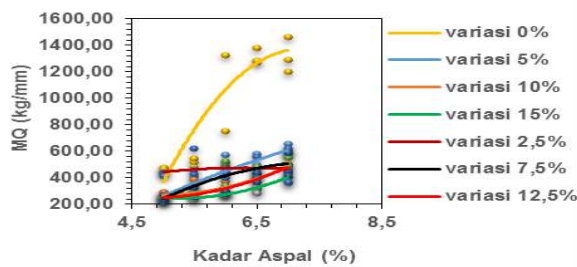


Gambar 6. Perbandingan stabilitas terhadap kadar aspal

Nilai kelelahan (*flow*) merupakan ukuran kelenturan campuran untuk dapat meningkatkan deformasi yang akan terjadi akibat beban lalu lintas tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Tingkat kelelahan campuran dipengaruhi oleh kadar aspal dalam campuran, temperature, viskositas aspal dan bentuk partikel agregat. Berdasarkan Spesifikasi Umum 2010 revisi 3 bahwa syarat untuk kelelahan yaitu rentang 2,0 - 4,0 mm.



Gambar 7. Perbandingan *flow* terhadap kadar aspal

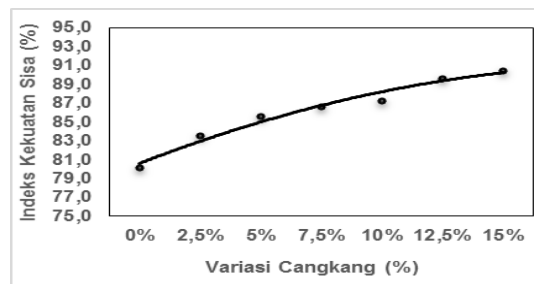


Gambar 8. Perbandingan MQ terhadap kadar aspal

4.4 Analisa Data Pengujian Perendaman *Marshall*

Pengujian perendaman *Marshall* (*Marshall Immersion*) merupakan pengujian untuk mengetahui durabilitas campuran beraspal. Durabilitas merupakan kemampuan campuran aspal bertahan dari pengaruh beban lalu lintas dan pengaruh cuaca. Semakin tinggi nilai dari IKS maka durabilitas dari campuran tersebut semakin baik. Nilai dari

IKS itu sendiri minimum 90% berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3. Pengujian ini campuran diukur kinerja ketahanannya pada air panas dengan temperatur 60°C selama 30 menit dan 24 jam. Hal ini mengidentifikasi bahwa campuran tersebut cukup rentan terhadap pengaruh air dan temperatur. Nilai ini dinyatakan dengan nilai stabilitas sisa yang menunjukkan perilaku kelekatan antar butir-butir agregat dengan aspal didalam campuran. Berdasarkan hasil penelitian campuran beraspal setelah perendaman mengalami penurunan stabilitas, dimana stabilitas setelah perendaman cenderung menurun seiring dengan penambahan cangkang kelapa sawit. Nilai IKS diperoleh dari hasil perbandingan nilai stabilitas pada perendaman 24 jam terhadap nilai stabilitas hasil perendaman 30 menit. Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa indeks kekuatan sisa pada campuran variasi cangkang sawit.



Gambar 9. Perbandingan Indeks Kekuatan Sisa Variasi Cangkang dengan Nilai KAO

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan yang dilakukan pada campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) dengan penambahan cangkang kelapa sawit menunjukkan peningkatan nilai KAO. Penambahan cangkang kelapa sawit sangat mempengaruhi karakteristik dari parameter *Marshall*. Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) mengalami kenaikan dengan penambahan cangkang sawit yang besar. Hasil keseluruhan variasi cangkang sawit menunjukkan variasi cangkang sawit 15% dengan nilai 90,4% memenuhi syarat minimum spesifikasi yaitu sebesar 90%.

Berdasarkan hasil penelitian, diusulkan saran yaitu penelitian penggunaan cangkang kelapa sawit telah dilakukan pada campuran AC-BC sebagai substitusi agregat kasar, maka setidaknya perlu dilakukan penelitian selanjutnya untuk campuran AC-BC sebagai substitusi agregat halus. Penelitian dilakukan agar dapat diaplikasikan di lapangan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Aztri, Y.K., dkk., 2017. Pemanfaatan Limbah Cangkang dan Abu Tandan Sawit Terhadap Karakteristik Laston *Wearing Course* dan *Binder Course*. *Jurnal teknik Sipil universitas Sriwijaya*, 19-20 September 2017. Palembang.
- Baskara., A., K., M., dkk. Analisis Kinerja Indeks Kekuatan Sisa Campuran Aspal Berongga Berbasis Asbuton Butir (Bga). *Jurnal Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*. Makassar.

- Bina Marga. (2010). Spesifikasi Campuran Beraspal Panas pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Edisi 2010. Direktorat Jendral Bina Marga, Jakarta.
- Elsa., E., P., dkk. (2014). Penggunaan Limbah Cangkang Kelapa Sawit (CKS) Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal HRS-WC. *Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas*, 27 November 2014, Padang.
- Fauziah M., Henri F. (2013). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambah Untuk Meningkatkan Kekuatan Dan Keawetan Campuran *Asphal Concrete Binder Course (AC-BC)*. *Jurnal Prodi Teknik Sipil FTSP Universitas Islam Indonesia*,
- Reza., P., G. (2015). Durabilitas Campuran AC-BC Menggunakan Limbah Kerak Tanur Cangkang Kelapa Sawit (*Menggunakan Aspal Retona Blend 55*). *Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar Alue Peunyareng*, Meulaboh.
- Rahmi., Z. (2015). Pengaruh Penggunaan Polimer Elvaloy Terhadap Nilai Index Kekuatan Sisa Pada Campuran Material Perkerasan Daur Ulang. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional*, Desember 2015.
- Sukirmanan, S., 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Granit, Jakarta
- Winayati dkk. (2017). Pengaruh Filler Abu Tandan Sawit Terhadap Karakteristik Marshal Pada Campuran AC-BC. *Jurnal Program Studi Teknik Sipil Universitas Lancang Kuning, Vol. 3 No. 1 April, 2017*. Pekanbaru.
- Winayati., Fadzrial L., (2018). Karakteristik *Marshall* Campuran AC-BC Menggunakan Filler Abu Tandan Sawit dan Abu Batu. *Jurnal Program Studi Teknik Sipil Universitas Lancang Kuning, Vol. 4 No. 1 April, 2018*. Pekanbaru.

7. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang sebagai donatur atau yang mendanai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan penelitian.

PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN JALAN KAKU MENGUNAKAN METODE AASHTO 1993 DAN MDP 2017 PADA RUAS JALAN BANDAR BUAT-INDARUNG KOTA PADANG

Fauna Adibroto¹, Silvia Nengsih², Nilam Nadita Suhendra³

¹ Teknik Sipil, Prodi DIV Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email:

² Teknik Sipil, Prodi DIV Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email:

³ Mahasiswa Teknik Sipil, Prodi DIV Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: Nilamnadita16@gmail.com

ABSTRAK

There are two methods of rigid pavement planning that are very well known in Indonesia and are often used to plan a road that uses rigid pavement, namely the AASHTO Method 1993 and the Pavement Design Manual 2017, the problem raised is How to design alternative rigid pavement with these two methods from the parameters the planning. How much pavement thickness is needed in the 1993 AASHTO method of rigid pavement and 2017 Pavement Design Manual and compare the thickness of the rigid pavement planning between the two methods on the Bandar Buat-Indarung Road in Padang City. Supporting the above research begins with primary data collection, ie data obtained from field DCP testing obtained by CBR using 6.99% analytical method and graphic method obtained by CBR 6.3%, existing road width 6.7 cm and survey data 2019 LHR of 14,069 vehicles that have been obtained. The results of the analysis of the Bandar Buat-Indarung road segment on a 20-year plan of 1006827,348 ESAL. The pavement thickness obtained from the 1993 AASHTO method was 27 cm, while the pavement thickness obtained by the 2017 MDP method was 28.5 cm. Although there are several different parameters, this is because the parameters are adjusted by each country where the method was created.

Kata Kunci : Jalan Raya, Perkerasan Kaku, Pelat Beton, Penulangan, Sambungan

ABSTRAK

Perencanaan perkerasan kaku terdapat dua metode yang sangat dikenal di Indonesia dan sering dipakai untuk merencanakan suatu jalan yang menggunakan perkerasan kaku, yaitu Metode AASHTO 1993 dan Manual Desain Perkerasan 2017, permasalahan yang dikemukakan adalah Bagaimana alternatif desain *rigid pavement* dengan kedua metode tersebut dari parameter-parameter perencanaan. Berapa tebal perkerasan yang dibutuhkan pada *rigid pavement* metode AASHTO 1993 dan Manual Desain Perkerasan 2017 dan membandingkan tebal perencanaan perkerasan kaku *rigid pavement* antara kedua metode tersebut pada jalan Bandar Buat-Indarung Kota Padang . Mendukung penelitian di atas diawali dengan pengumpulan data Primer, yaitu data-data yang diperoleh dari pengujian DCP lapangan didapatkan CBR dengan menggunakan metode analitis 6,99% dan metoda grafis didapatkan CBR 6,3%, eksisting lebar jalan 6,7 cm dan data survei LHR 2019 sebesar 14,069 kendaraan yang telah didapat. Hasil

analisa *traffic* ruas jalan Bandar Buat-Indarung pada perencanaan 20 tahun sebesar 1006827,348 ESAL. Tebal perkerasan yang didapat dari metode AASHTO 1993 sebesar 27 cm, sedangkan tebal perkerasan yang didapat metode MDP 2017 Sebesar 28,5 cm. Meskipun ada beberapa parameter yang berbeda, hal ini dikarenakan parameter-parameter tersebut disesuaikan masing-masing negara dimana metode tersebut diciptakan.

Kata Kunci : *Jalan Raya, Perkerasan Kaku, Pelat Beton, Penulangan, Sambungan*

1. PENDAHULUAN

Jalan Bandar Buat-Indarung Kota Padang adalah jalan provinsi yang merupakan akses utama untuk menghubungkan antara Kota Padang dan Kabupaten Solok. Sehubungan dengan TA diatas penulis banyak menemukan jenis-jenis kerusakan pada ruas jalan tersebut seperti retak, lubang, alur, deformasi, gumpalan, tambalan, amblas, pelepasan butir, pengausan, kegemukan dan penurunan tepi, dan banyak penyebab jalan-jalan tersebut rusak. Tinjauan panjang jalan yang penulis ambil 5 km dengan lebar jalan 6,7 m arah sebelah kiri (Bandar Buat-Indarung) dengan lebar median 1 m, dengan tipe jalan 4 lajur 2 arah terbagi (4/2 D) dengan perkerasan jalannya adalah perkerasan lentur, diantara banyaknya kendaraan yang melewati jalan tersebut dengan beban yang berat-berat seperti material, hasil perkebunan, hasil pertanian yang kadang melewati batas beban standar kendaraan tersebut sehingga dapat merusak jalan semakin rusak berat.

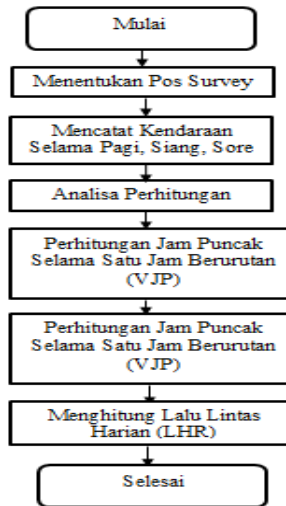
Batasan masalah pada Penelitian ini adalah

Merencanakan berdasarkan data primer perhitungan lalu lintas harian rata-rata yang didapatkan langsung dari hasil survei volume lalu lintas di lapangan, perhitungan CBR tanah yang didapatkan langsung dari hasil pengujian DCP lapangan, serta merencanakan tebal perkerasan kaku dengan menggunakan metode AASHTO 1993 dan MDP 2017.. Tujuan Penelitian ini agar dapat mengidentifikasi data primer seperti volume lalu lintas, CBR tanah dasar dan data kondisi lapangan, dapat menghitung data survei lalu lintas, dan merencanakan tebal perkerasan kaku menggunakan metode AASHTO 1993 dan metode MDP 2017 .

2. METODE PENELITIAN

2.1 *Survey LHR*

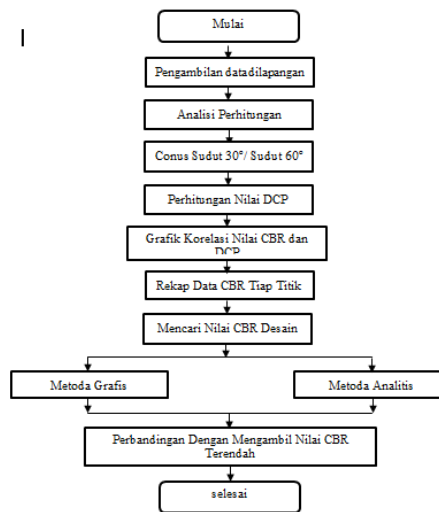
Tahapan pelaksanaan survei terdapat pada diagram alir metode pengambilan data survei LHR dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1 bagan air survey LHR

2.2 Survey DCP

Diagram alir penelitian CBR desain dapat dilihat pada gambar 2 sebagai berikut :

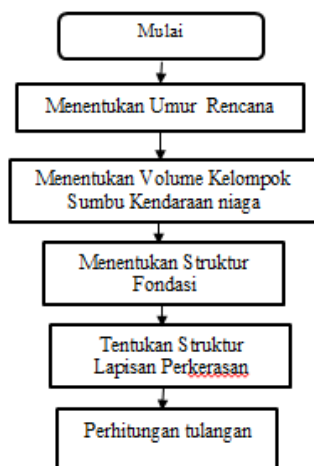


Gambar 2 diagram alir penelitian CBR desain

2.3 Analisa Perencanaan Tebal Perkerasan

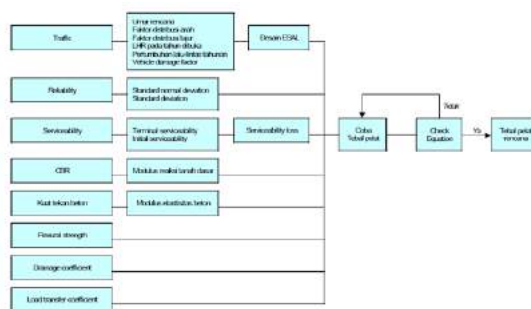
a. Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Untuk melakukan penelitian dengan metode MDP 2017 maka dibuatlah suatu bagan alir penelitian sebagai berikut.



Gambar 3 bagan alir MDP 2017

b. Metode AASHTO 1993



Gambar 4 bagan alir AASHTO 1993

3. PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan survei lalu-lintas serta uji DCP untuk memperoleh data LHR dilakukan survei lalu lintas pada jam 07.00-18.00, serta untuk memperoleh CBR tanah dilakukanlah uji DCP lapangan di beberapa titik.

3.1 Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan perhitungan jam puncak pada hari Kamis 20 Juni 2019 kendaraan kemudian didapatkan rekapitulasi LHR seperti yang terdapat pada **Tabel 2** sebagai berikut :

Tabel 1 rekapitulasi LHR pada hari kamis 20 juni 2019.

Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	emp	smp/jam	k	LHR (smp/hari/1 arah)
	(a)	(b)	(a x b)	d	e = c/d
Mobil Kendaraan	849	1	849	0,08	10.613
Opelet, Mini Bus	93	1	93	0,08	1.163
Pick Up	112	1	112	0,08	1.400
Bus Kecil	0	1,3	0	0,08	0
Bus Besar	3	1,3	4	0,08	49
Truk 2 sumbu (4 roda)	18	1,3	23	0,08	293
Truk 2 sumbu (6 roda)	34	1,3	44	0,08	553
Truk 3 sumbu	0	1,3	0	0,08	0
Truk Gandengan	0	1,3	0	0,08	0
Truk Semi Trailer	0	1,3	0	0,08	0
Total					14.069

3.2 CBR Tanah Dasar Dengan Menggunakan Alat DCP Lapangan

Perhitungan DCP dengan menggunakan Metoda Analitis (*Japan Road Association*)

Tabel 2 Rekapitulasi Nilai CBR

CBR	Jumlah yg sama/lebih besar	% yg sama lebih besar	CBR	Jumlah yg sama/lebih besar	% yg sama lebih besar
5	25	100	9,8	12	48
6	24	96	9,9	11	44
6,1	23	92	10	10	40
6,2	22	88	10,1	9	36
7	21	84	10,2	8	32
7,1	20	80	10,3	7	28
8,4	19	76	10,4	6	24
8,9	18	72	10,5	5	20
9	17	68	10,6	4	16
9,2	16	64	10,7	3	12
9,4	15	60	10,8	2	8
9,5	14	56	11,1	1	4
9,7	13	52			

$$\text{CBRRata-rata} = \frac{\text{Jumlah CBR semua titik Pengujian}}{\text{jumlah Pengujian}} = \frac{222,8}{25} = 8,9 \%$$

Nilai Maks	= 11,1 %
Nilai Min	= 5 %
Nilai R	= diambil dari grafik 2.9 yaitu 3.18
CBR segmen	= CBR rata-rata - $\frac{(CBR_{max} - CBR_{min})}{R}$
	= $8,9 - \frac{(11,1 - 5)}{3,18} = 6,99 \%$

Setelah dilakukan perhitungan CBR desain dengan menggunakan metoda analitis diperoleh nilai yaitu 6,99 %.

3.3 Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Menggunakan Metode AASHTO 1993

Perencanaan tebal lapis perkerasan pada konstruksi jalan raya dengan metoda AASHTO 1993, data-data yang diperlukan yaitu sebagai berikut :

- a. Umur Rencana : 20 tahun
- b. CBR : 6,99%
- c. Klasifikasi Jalan : Arteri
- d. LHR Total 20 Tahun Kedepan : 37329 smp/hari/1 arah
- e. Faktor Distribusi Arah (D_D) : 0,3-0,7 AASHTO 1993 (diambil 0,5)
- f. Faktor Distribusi Lajur (D_L) : 80-100 % (diambil 90% **Tabel 2.12**)
- g. *Traffic Design* (W_{18}) : 869735,3 ESAL
- h. *Reliability* (R) : 85% (**Tabel 2.13**)
- i. Standar Normal Deviasi (Z_R): 1,037 (**Tabel 2.14**)
- j. *Deviasi Standar* (S_o) : 0,30-0,40 (diambil 0,35)
- k. *Initial Serviceability* (P_o) : 4,5 (AASHTO 1993)
- l. *Terminal Serviceability Indek* (P_t) : 2,5 (**Tabel 2.15**)
- m. *Serviceability Loss* = $P_o - P_t(\Delta\psi)$: 2 (AASHTO 1993)
- n. *Resillent Modulus* (M_r) : 10500
- o. *Modulus Of Repture* (S_c') : 640 Psi
- p. *Drainage Coefficient* (C_d) : 1,175 (**Tabel 2.20**)
- q. *Load Transfer Coefficient* (j) : 2,5 – 3,1 (diambil 2,85**Tabel 2.21**)
- r. *Modulus Elastisitas* (E_c) : 4022000 Psi

- s. Modulus Reaksi Tanah Dasar (k) : 170 Pci
- t. Koefisien Perairan (C) : 0,80-0,95 (diambil 0,87)
- u. Faktor Air Hujan Yang Akan Masuk Ke Fondasi Jalan (100% x C) : 0,13
- v. *Loss of support factors (LS)* :0-1 (diambil 1 **Tabel 2.15**)

Persamaan penentuan tebal pelat (D)

kemudian untuk menentukan tebal pelat beton *rigid pavement* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$\log_{10} W_{18} = -1,283 \times 0,35 + 7,35 \log_{10}$$

$$(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{2}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{16240000}{(D + 1)^{8,46}}}$$

$$(4,22 - 0,32 \times 2,5) \times \log_{10} \frac{640 \times 1,175 \times [(D^{0,75} - 1,132)]}{215,63 \times 2,85 \times [(D^{0,75} - \frac{18,42}{(4022000 : 170)^{0,25}}]}$$

dengan nilai D dicoba-coba :

$$D = 10,41 \text{ inch} = 26,441 \text{ cm} = 27 \text{ cm}$$

Check equation : $\log_{10} W_{18} = 7,506150 - 7,506245$ **Sesuai**

3.4 Perencanaan sambungan

Perkerasan Beton bertulang bersambung (BBDT/JRCP)

Tebal pelat beton (h) = 26,441 cm = 27 cm

- Lebar pelat beton = $2 \times 3,35 = 6,7$ m
- Panjang pelat beton (L) = 8 – 15 m (diambil 10 m, PD T-14-2003)
- Koefisien gesek dan = 1,8 (**Tabel 2.30**) Hal.45 *AASHTO 1993*
- Kuat tarik ijin baja (fs) = 240 Mpa.

a. Perhitungan Rencana Sambungan

a) *Tie-Bar* (Batang Pengikat) Sambungan memanjang berdasarkan tebal pelat sebesar 10,41 in atau 27 cm maka didapatkan

Diameter = $\frac{1}{2}$ in atau 12,70 mm = 13 mm (baja ulir)

Jarak = 26 in atau 66,6 ≈ 67 cm

Panjang = 25 in atau 63,50 ≈ 65 cm

b) *Dowel* (Ruji) Sambungan susut melintang berdasarkan tebal pelat beton 10,233 in atau 27 cm maka didapatkan

Diameter = 1 ¼ in atau 31,75 mm ≈ 32 mm (baja polos)

Jarak = 12 in atau 30,48 ≈ 30 cm

Panjang = 18 in atau 45,72 ≈ 45 cm

b. Perhitungan Tulangan

a) Tulangan memanjang

Perhitungan tulangan memanjang dapat dihitung seperti berikut :

$$A_s \text{ perlu} = \frac{11,76 F \times L \times h}{f_s} = \frac{11,76 \times 1,8 \times 15 \times 260}{240} = 329,35 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

$$A_s \text{ min} = 0,14\% \times \text{luas pelat} = 0,14\% \times 270 \times 1000 = 364 \text{ mm}^2/\text{m}' > A_s \text{ perlu} \\ = 329,35 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

Digunakan diameter tulangan 12 mm, dengan :

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{A_s \text{ min}}{\frac{1}{4} \times \pi d^2} = \frac{364}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 12^2} = 3,22 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak Tulangan} = \frac{1000}{3} = 333,333 \approx 350 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ terpasang} = (1000/\text{jarak}) \times \frac{1}{4} \times \pi d^2 = (1000/250) \times 0,25 \times 3,14 \times 12^2 \\ = 322,97 \text{ mm}^2/\text{m}' > A_s \text{ min}$$

MEMENUHI SYARAT

b) Tulangan melintang

Perhitungan tulangan melintang dapat dihitung sebagai berikut :

$$A_s \text{ perlu} = \frac{11,76 F \times L \times h}{f_s} = \frac{11,76 \times 1,8 \times 6,7 \times 260}{240} = 153,644 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

$$A_s \text{ min} = 0,14\% \times \text{luas pelat} = 0,14\% \times 270 \times 1000 \\ = 364 \text{ mm}^2/\text{m}' > A_s \text{ perlu} = 153,644 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

Digunakan diameter tulangan 12 mm, dengan :

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{A_s \text{ min}}{\frac{1}{4} \times \pi d^2} = \frac{364}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 12^2} = 3,22 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak Tulangan} = \frac{1000}{3} = 333,333 \approx 350 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ terpasang} &= (1000/\text{jarak}) \times \frac{1}{4} \times \pi d^2 = (1000/350) \times 0,25 \times 3,14 \times 12^2 \\ &= 322,97 \text{ mm}^2/\text{m}^2 > A_s \text{ min} \end{aligned}$$

MEMENUHI SYARAT

3.5 Perencanaan tebal perkerasan jalan kaku dengan menggunakan metode MDP 2017

Merencanakan tebal lapis perkerasan kaku menggunakan metoda MDP 2017 pada perencanaan jalan, data-data yang diperlukan yaitu sebagai berikut :

1. Jalan terdiri dari 2 lajur 2 arah terbagi (4/2D)
2. Jenis jalan berdasarkan fungsi jalan yaitu jalan Arteri dengan golongan II.A sekunder
3. Umur rencana 20 tahun (asumsi) = 2022 – 2042
4. Nilai faktor pertumbuhan lalu lintas (i) diperoleh 4,83 berdasarkan pada sumber manual perkerasan jalan 2017
5. Faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50, penentuan untuk distribusi lajur 80% berdasarkan tabel pada sumber manual perkerasan jalan 207.
6. Menentukan volume kelompok sumbu masing-masing jenis kendaraan diperlukan untuk desain perkerasan beton semen. Umur rencana 20 tahun dan beban lalu lintas dihitung berdasarkan jumlah kelompok sumbu kendaraan berat sebagai berikut :

Kelompok sumbu 2022 = jumlah kelompok sumbu x LHR

Contoh bus besar (5B) = 2 x 49 = 98 kendaraan/hari/1 arah

Jumlah kelompok sumbu 2022-2024 = LHR 2022 x 365 x DD x DL x R₂₀

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*): merujuk pada persamaan berikut ini :

$$\text{Bus besar } R_{20} = \frac{(1+0.01 i)^{UR} - 1}{0.01 i} = \frac{(1+0.01 \times 4.83)^{20} - 1}{0.01 \times 4.83} = 32.48$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kelompok sumbu 2022-2042} &= 98 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 32,48 \\ &= 580904,8 = 5,8E+05 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan data survei sumbu kendaraan berat lalu lintas 2019 dapat dilihat pada **Tabel 3** sebagai berikut :

Tabel 3 Rekapitulasi Volume Lalu Lintas Kendaraan Berat Per Hari

Jenis Kendaraan	Gol.	LHR	Kelompok sumbu 2022	Jumlah kelompok sumbu 2022-2042
Bus Besar	5b	49	98	580904,8
Truk 2 sumbu (4 roda)	6a	293	586	3473573,6
Truk 2 sumbu (6 roda)	6b	553	1106	6555925,6
Truk 3 sumbu	7a	0	0	0
Truk Gandengan	7b	0	0	0
Truk Semi Trailer	7c	0	0	0
Kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat 2022-2042				10610404

Dari **Tabel 3** kelompok sumbu beban kendaraan maka didapatkan kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat desain (*HVAG*) yaitu 10610404.

7. Menentukan struktur fondasi

a. Nilai modulus tanah dasar yang diperoleh dari nilai DCP harus disesuaikan dengan kondisi musim. Faktor penyesuaian nilai CBR desain dengan musim transisi dengan nilai 0,80.

$$\text{CBR desain} = (\text{CBR hasil pengujian DCP}) \times \text{Faktor penyesuaian} = 6,99 \times 0,80 = 5,59\% \approx 6\%$$

b. Desain fondasi jalan minimum untuk CBR 6% didapatkan kelas kekuatan tanah dasar adalah SG6 tidak diperlukan perbaikan, dan untuk struktur perkerasan kaku berupa stabilitas semen dengan ketebalan 300 mm.

Dalam perencanaan jika dipilih stabilisasi kapur atau semen maka nilai daya dukung material (CBR) dipilih nilai terkecil dari nilai berikut:

- Daya dukung yang diperoleh dari formula berikut:

$$\text{CBR}_{\text{stabilisasi}} = \text{CBR}_{\text{tanah asal}} \times 2^{(\text{tebal lapis}$$

stabilisasi dalam mm)/150}

$$= 6 \times 2^{(300/150)} = 24 \%$$

Dari perhitungan diatas didapatkan CBR perencanaan stabilisasi tanah dasar adalah sebesar 24 %.

8. Menentukan stuktur lapisan perkerasan

Kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat desain *HVAG* adalah 10610404,

Didapatkan struktur untuk lalu lintas dengan jumlah kelompok sumbu kendaraan berat adalah: Perkerasan : beton semen dengan sambungan dengan tulangan

- Umur rencana = 20 tahun (2022 – 2042)
- Tebal pelat beton = 285 mm
- Lapis beton kurus (LMC) = 100 mm
- Lapis drainage (LFA kls A) = 150 mm
- Jenis Fondasi (Stabilisasi Semen)= 300 mm

9. Perencanaan tulangan

Menganalisis tulangan direncanakan dengan perkerasan beton bertulangan bersambung (BBDT) atau *jointed reinforced concrete pavement (JRCP)* metoda ini mengacu pada PD T-14-2003.

Parameter-parameter yang dibutuhkan untuk peresncanaan sambungan sebagai berikut.

- Tebal pelat = 28.5 cm
- Lebar Pelat = $2 \times 3,35 = 6,7$ m
- Panjang Pelat = 15 m
- Koefisien gesek antara pelat beton dengan pondasi (μ) = 1.8
- Kuat tarik ijin Baja =240 MPa
- Berat isi beton = 2400 kg/m³
- Gravitasi = 9.81 m/dt²

a. Perhitungan tulangan memanjang

$$A_s = \frac{\mu L M g h}{2 \cdot f_s} = \frac{1.8 \times 5 \times 2400 \times 9.81 \times 0.285}{2 \times 240} = 125,81 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

$$A_{s \text{ min}} = 0.1\% \times \text{luas penampang beton} = 0.1\% \times 285 \times 1000 = 285 \text{ mm}^2/\text{mI}$$

b. Perhitungan tulangan melintang

$$A_s = \frac{\mu L M g h}{2 \cdot f_s} = \frac{1.8 \times 6,7 \times 2400 \times 9.81 \times 0.285}{2 \times 240} = 168,58 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

$$A_{s \text{ min}} = 0.1\% \times \text{luas penampang beton} = 0.1\% \times 285 \times 1000 = 285 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

Dari **Tabel 4** Dipakai tulangan berbentuk bujur sangkar diameter 10 mm dengan jarak tulangan melintang dan tulangan memanjang 200 mm dengan luas penampang tulangan $393 \text{ mm}^2/\text{m}'$ ($A_s = 393 \text{ mm}^2/\text{m}' > A_{s \text{ min}} = 285 \text{ mm}^2/\text{m}'$). Berdasarkan hasil perhitungan

Tabel 4 Ukuran Dan Berat Polos Anyaman Las Bujur Sangkar.

Tulangan Memanjang		Tulangan melintang		Luas Penampang Tulangan	Berat per Satuan luas (kg/m ²)
Diameter (mm)	Jarak (mm)	Diameter (mm)	Jarak (mm)	Memanjang (mm ² /m)	Melintang (mm ² /m)
Bujur sangkar					
8	100	8	100	503	7,892
10	200	10	200	393	6,165
9	200	9	200	318	4,994
8	200	8	200	251	3,946
7,1	200	7,1	200	198	3,108
6,3	200	6,3	200	156	2,447
5	200	5	200	98	1,542
4	200	4	200	63	0,987

10. Perencanaan sambungan

Untuk menganalisis sambungan direncanakan dengan perkerasan beton bertulangan bersambung (BBDT) atau *jointed reinforced concrete pavement (JRCP)* metoda ini mengacu pada PD T-14-2003.

a. Dowel (Ruji)

Sambungan pelaksanaan melintang yang direncanakan harus menggunakan batang tulangan polos yang diletakan sepertiga tebal pelat untuk lapis fondasi stabilisasi semen.

Berdasarkan tebal pelat beton 285 mm didapatkan data untuk dowel (ruji) sebagai berikut :

- Berdiameter = 38 mm
- Panjang = 450 mm
- Jarak antar dowel = 300 mm

b. Batang pengikat (Tie-bar)

Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$l = (38,3 \times \varphi) + 60$$

$$\Phi = 16 \text{ mm}$$

$$L = (38,3 \times 16) + 60 = 672,8 \text{ mm} \sim 70 \text{ cm}$$

- Berdiameter = 16 mm (ulir)
- Panjang = 70 cm
- Jarak antar tie bar = 60 cm.

4. KESIMPULAN

Hasil dari perhitungan survei LHR pada ruas jalan Bandar Buat-Indarung kota padang, diperoleh volume jam perencanaannya (VJP) untuk seluruh kendaraan pada pukul 17.00 s/d 18.00 WIB sebesar 14.069 smp/hari/1 arah termasuk kedalam jalan Arteri dengan fungsi jalan sekunder kelas II.A. Hasil dari pengujian DCP didapatkan CBR lapangan diperoleh nilai CBR yaitu 6,99 % dapat disimpulkan bahwa pada jalan Bandar Buat-Indarung memiliki CBR normal untuk desain perkerasan kaku. Hasil perencanaan tebal perkerasan kaku pada umur rencana 20 tahun dengan menggunakan metoda AASHTO 1993 diperoleh tebal perkerasan 27 cm dengan lapisan lean concrete 10 cm dan subbase agregat kelas A 15 cm. dan MDP 2017 diperoleh tebal perkerasan 28,5 cm dengan lapisan beton kurus 10 cm dan subbase agregat kelas A 15 cm.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang sebagai donatur atau yang mendanai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan penelitian.

6. DAFTAR RUJUKAN

- Berhary, Rindu Twidi ; Pradana,M Fakhuriza ; Umam Ahmad Chatiful. 2016. "Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Kaku Dengan Metode Bina Marga 2003 Dan Metode AASHTO 1993 (Studi Kasus : Jalan Akses Tol Cilegon Barat)".[Jurnal].Universitas Sultan Ageng Tirtaysa.Banten
- Kusumaningrum, Jenni; Sulisty, Dwi. 2013. "Analisis Perbandingan Perencanaan Perkerasan Kaku Dengan Menggunakan Metode Bina Marga Dan Metode AASHTO Serta Merencanakan Saluran Permukaan Pada Ruas Jalan Abdul Wahab, Sawangan".[Jurnal].Universitas Gunadarma, Jakarta.
- Zulfa, Arnis. 2012. "Laporan Tugas Akhir Perencanaan Jalan Lubuk Begalung – Indarung KM. PDG. 6+000 – KM. PDG. 11+250 Dengan Menggunakan Metoda Pd T – 14 – 2003", Politeknik Negeri Bandung, Bandung.

- Widodo, Martin Nugroho. 2018. "Laporan Tugas Akhir Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku Pada Ruas Jalan Tol Colomadu-Karanganyer Dengan Metode AASHTO 1993 Dan Metoda Bina Marga 2002", Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Sakatra, Ade ; Satria Albert Emeraldi. 2018. "Laporan Tugas Akhir Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Dengan Menggunakan Metode Pd T-14-2003 Dan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 Pada Ruas Jalan Lintas Sumatera Solok-Padang, Koto Baru, Kabupaten Solok, Sumatera Barat". Politeknik Negeri Padang. Padang
- Suryawan, Ari. 2009. Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement). Yogyakarta.
- Kementrian Pekerjaan Umum. 2017. "Manual Desain Perkerasan Jalan 2017". Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kementrian Pekerjaan Umum. 1997. "Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)". Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kementrian Pekerjaan Umum. 2008. "Cara Uji CBR Dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP)". Departemen Pekerjaan Umum.
- Hendarsin, Shirley L. "Penuntun Praktis Perencanaan Teknik Jalan Raya", Politeknik Negeri Bandung, Bandung 2000.

PERENCANAAN KONSTRUKSI PERKERASAN KAKU MENGUNAKAN METODA Pd T – 14 – 2003 dan METODA AASHTO 1993 PADA RUAS JL. RAYA LUBUK BEGALUNG - BANDAR BUAT

Ira Yohana

Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil,
Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: irayohana96@gmail.com

ABSTRACT

Pavement is part of the traffic lane, which when we pay attention structurally to the cross section of the road, is a cross section of the structure in the most central position in a road body. On the Jl. Raya Lubuk Begalung - Bandar Buat with the current pavement conditions are flexible Pavement, there are various damages, both minor and severe damage, if left without repairs there will be severe damage that can cause a decrease in the economic rate and can also result in operational costs the vehicle will increase. With this study the authors aim to Plan Rigid Pavement Construction using two methods, namely the Pd T Method 14 - 2003 and the AASHTO 1993 Method.

Keywords: *AASHTO 1993*, Pd T 14 - 2003, *Rigid Pavement*

ABSTRAK

Perkerasan jalan adalah bagian dari jalur lalu lintas, yang bila kita perhatikan secara struktural pada penampang melintang jalan, merupakan penampang struktur dalam kedudukan yang paling sentral dalam suatu badan jalan.. Pada jalan Jl. Raya Lubuk Begalung – Bandar Buat dengan kondisi perkerasan saat ini adalah Perkerasan lentur terdapat berbagai kerusakan, baik itu kerusakan ringan maupun kerusakan berat, jika dibiarkan tanpa ada perbaikan maka akan terjadi kerusakan yang cukup parah yang dapat menimbulkan menurunnya laju perekonomian dan juga dapat mengakibatkan biaya operasional kendaraan menjadi bertambah. Dengan penelitian ini penulis bertujuan untuk Merencanakan Konstruksi Perkerasan Kaku menggunakan dua metoda yaitu Metoda Pd T 14 – 2003 dan Metoda *AASHTO 1993*.

Kata kunci: *AASHTO 1993*, Pd T 14 – 2003, Perkerasan Kaku

1. PENDAHULUAN

Pada jalan tersebut terdapat berbagai kerusakan, baik itu kerusakan ringan maupun kerusakan berat, kondisi ini tentunya akan mengganggu lalu lintas dan jika jalan tersebut dibiarkan tanpa ada perbaikan maka akan terjadi kerusakan yang cukup parah yang dapat menimbulkan menurunnya laju perekonomian dan juga dapat mengakibatkan biaya operasional kendaraan menjadi bertambah karena kerusakan bagian kendaraan akibat beban dan jalan yang bergelombang dan berlubang. Sehubungan dengan banyaknya kendaraan yang melintasi daerah ini baik mobil, ataupun truk, maka dengan itu butuhnya perbaikan jalan tersebut tepatnya pada ruas sebelah kiri dari arah Jl.Raya Lubuk begalung – Bandar Buat dengan kondisi

perkerasaan saat ini adalah Perkerasan Lentur. Dengan penelitian ini penulis bertujuan untuk Merencanakan Konstruksi Perkerasan Kaku menggunakan dua metoda yaitu Metoda Pd T 14 – 2003 dan Metoda AASHTO 1993.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perkerasan jalan adalah bagian dari jalur lalu lintas, yang bila kita perhatikan secara struktural pada penampang melintang jalan, merupakan penampang struktur dalam kedudukan yang paling sentral dalam suatu badan jalan. Lalu lintas langsung terkonsentrasi pada bagian ini, dan boleh dikatakan merupakan urat nadi dari suatu konstruksi jalan.

Perkerasan beton semen atau perkerasan adalah struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan, terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal. (Pd T-14-2003).

2.1 Rencana perkerasan menggunakan metoda Pd T-14-2003 terdiri dari beberapa langkah berikut.

1. Menentukan Umur Rencana
suatu periode tertentu dalam tahun, yang dirancang agar jalan yang direncanakan dan dipelihara dapat berfungsi selama periode tersebut.
2. Analisis Lalu lintas :
Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen mempunyai berat total minimum 5 ton.
 - Pertumbuhan lalu-lintas
$$R = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i}$$
 - Lalu lintas rencana (traffic design)
$$JSKN = 365 \times JSKNH \times R \times C$$
 - Faktor keamanan beban lalu lintas (Fkb)
3. Menentukan CBR Subgrade
Daya dukung *subgrade* ditentukan dengan pengujian *CBR* ini sesuai dengan SNI 031731-1989 atau *CBR* laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989
4. Menentukan Jenis dan Tebal *Subbase* atau *Base*
Ditentukan berdasarkan Pd T-14-2003.
5. Menentukan Mutu Beton dan Kuat tarik lentur atau kuat tekan beton pada umur 28 hari.
 - $F_{cf} = K(fc')^{0,50}$ dalam MPa atau
 - $F_{cf} = 3,13 K (fc')^{0,50}$ dalam Kg/cm²
6. Menentukan Tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE)
7. Menentukan Faktor rasio tegangan (FRT)
8. Menentukan Repetisi ijin, Repetisi fatik, Repetisi erosi (hingga diperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan akibat fatik dan atau erosi $\leq 100\%$)
9. Menentukan sambungan dan tulangan
 - Sambungan

Pada perencanaan sambungan ini dibagi menjadi dua jenis sambungan yaitu sambungan memanjang dengan batang pengikat (tie-bar) dan sambungan susut melintang dengan ruji (dowel).

- Tulangan

Perkerasan Beton Bersambung Dengan Tulangan (BBDT atau JRCP)

$$A_s = \frac{\mu.L.M.g.h}{2.f_s}$$

2.1.1 Rencana perkerasan menggunakan Metoda AASHTO 1993 terdiri dari beberapa langkah berikut.

1. Umur Rencana

Umur rencana rigid pavement umumnya diambil 20 tahun untuk konstruksi baru.

2. Analisa (*Traffic design*)

Rumus umum desain traffic (*ESAL = Equivalent Standard Axle Load*) dimana

$$W_{18} \text{ per hari} = D_D \times D_L \times \sum_{N=1}^{N_n} LHR_j \times VDF_j$$

$$W_{18} \text{ per tahun} = W_{18} \text{ per hari} \times 365$$

$$W_t = W_{18} = \frac{(1+g)^n - 1}{g}$$

3. California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio (CBR), dalam perencanaan perkerasan kaku digunakan untuk penentuan nilai parameter modulus reaksi tanah dasar (modulus of subgrade reaction : k). CBR yang umum digunakan di Indonesia berdasar besaran 6 % untuk lapis tanah dasar, mengacu pada spesifikasi (versi Kimpraswil / Departemen Pekerjaan Umum edisi 2004).

4. Material Konstruksi Perkerasan

Ditentukan berdasarkan Suryawan, 2009.

5. Perhitungan Tebal Plat

- Terminal serviceability index
- Initial serviceability
- Serviceability loss, Reliability
- Standar normal deviasi, Standar deviasi
- CBR dan Modulus reaksi tanah dasar
- Modulus elastisitas beton
- Flexural strength
- Drainage coefficient
- Load transfer coefficient.

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 7,35 \log_{10}(D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 p_t) \times \log_{10} \frac{S'_c C_a \times [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \times \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c : k)^{0,25}} \right]}$$

6. Perencanaan Sambungan dan Tulangan

- Sambungan

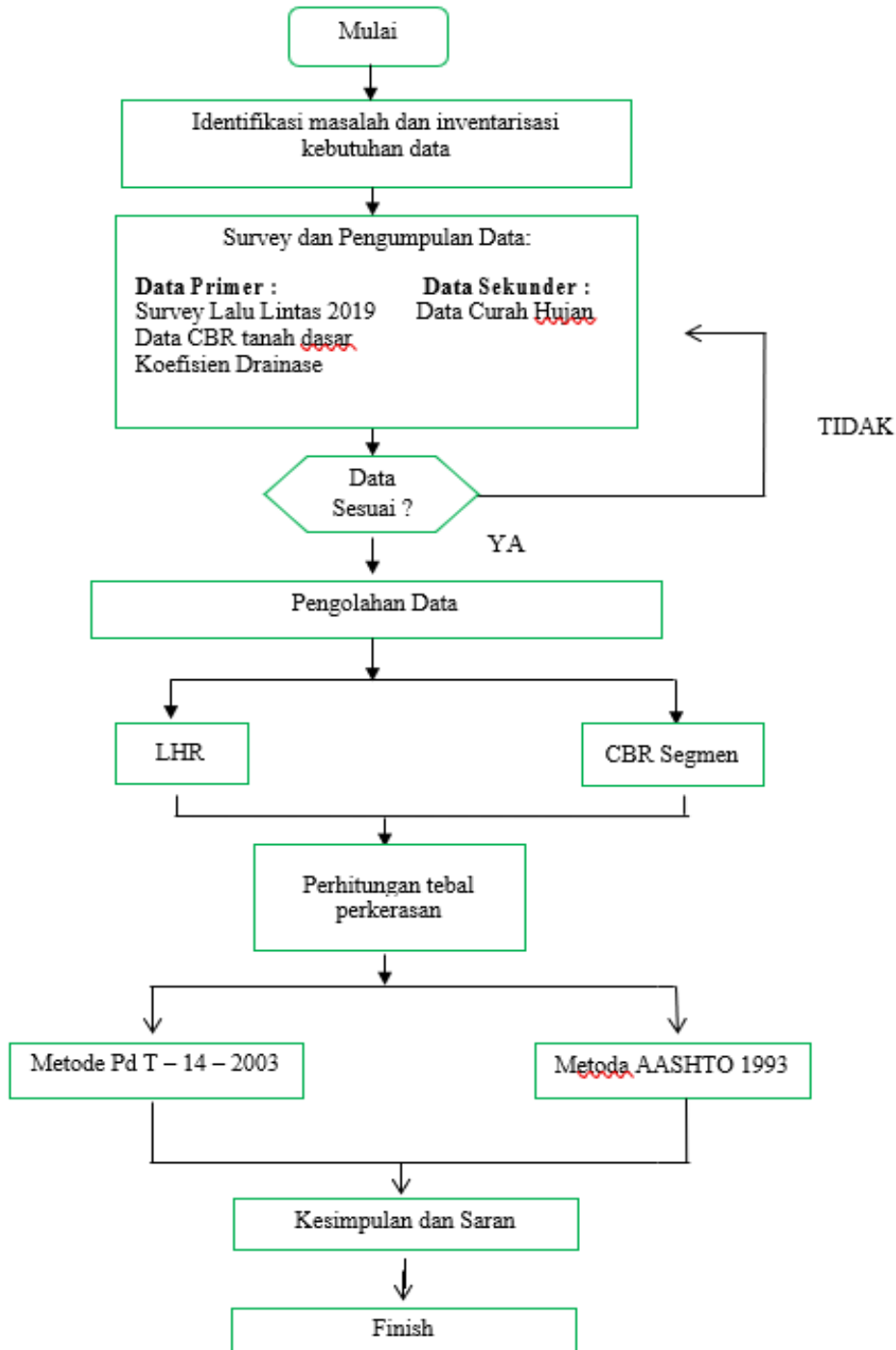
Ditentukan berdasarkan Suryawan, 2009.

- Penulangan pada tipe BBDT/JRCP

$$A_s = \frac{11,76 FL}{fs}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Bagan alir (*flow chart*) pembahasan serta analisa pada proses penyelesaian penelitian

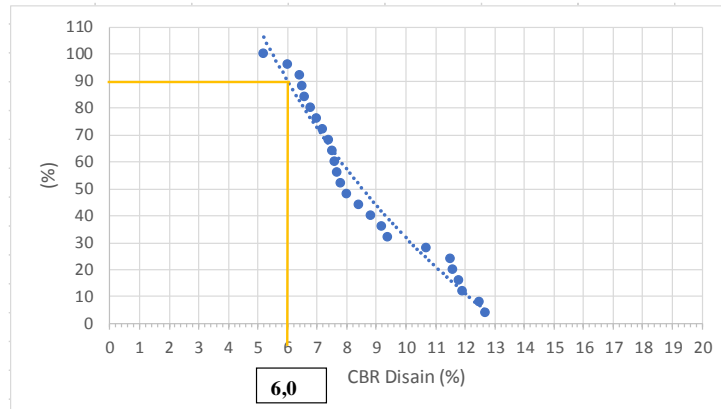


4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

a. Lalu Lintas

Jenis Kendaraan	Jumlah kend/jam /2lajur (VJP)	Jumlah kend/jam /lajur (VJP)	emp	Vjp (smp/jam)	k	LHR = VJP/k (kend/hari/1 arah)
1	2	3	4=(Tabel 2.2)	5=2x4	6=(Tabel 2.4)	7=(5:6)
Sepeda motor	896	448	0,25	224	0,08	2800
Mobil pribadi	823	411,5	1	823	0,08	10288
Opelet, mini bus	157	78,5	1	157	0,08	1963
Pick up	86	43	1	86	0,08	1075
Bus kecil	2	1	1,2	2,4	0,08	30
Bus besar	5	2,5	1,2	6	0,08	75
Truk 2 sumbu (4 roda)	52	26	1,2	62,4	0,08	780
Truk 2 sumbu (6 roda)	96	48	1,2	115,2	0,08	1440
Truk 3 sumbu	59	29,5	1,2	70,8	0,08	885
Truk gandeng	0	0	1,2	0	0,08	0
Truk Semi Trailer	0	0	1,2	0	0,08	0
		1088			TOTAL	19335

b. CBR Design



c. Penentuan Tebal Pelat Beton Menggunakan Metoda Pd T-14-2003

Dalam menentukan tebal pelat beton diperlukan beberapa data yang telah ditentukan sebelumnya yaitu sebagai berikut:

- CBR *Subgrade* Rencana : 6,0 %
- CBR *Subgrade* efektif (k) : 43 %
- Jenis dan tebal subbase : LMC tebal 10 cm
- Kuat tarik lentur beton (f'_{cf}) : 4,04 Mpa
- Jenis Bahu : Tanpa bahu beton
- Umur Rencana : 20 tahun
- JSKN Rencana : 119417014,9
- Faktor Keamanan (F_{KB}) : 1,1

Berdasarkan perhitungan maka didapat rusak fatik sebesar 0%, sedangkan rusak akibat erosi sebesar 38,92 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa angka kerusakan tersebut masih memenuhi persyaratan dimana kerusakan fatik maupun kerusakan akibat erosi lebih kecil atau mendekati dari 100%. Dari hasil analisis perhitungan tersebut maka ketebalan pelat beton sebesar 260 mm atau 26 cm dapat digunakan sebagai rigid pavement pada Jl. Raya Lubuk Begalung – Bandar Buat berdasarkan

analisis tebal *rigid pavement* menggunakan metoda Departemen Kimpraswil (Pd. T-14-2003).

4.1 Rencana sambungan dan penulangan:

a) *Tie Bar* (Batang pengikat) sambungan memanjang

$$I = (38,3 \times \emptyset) + 75 \\ = 38,3 \times 16 + 75 = 687,8 \text{ mm} = 68,78 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm}$$

b) *Dowel* (*ruji*) sambungan susut melintang

Berdasarkan tebal pelat sebesar 26 cm atau setara dengan 11 inchi maka didapatkan :

- Diameter = 32 mm baja polos
- Jarak = 30 cm
- Panjang = 45 cm

c) Penulangan

a. Tulangan memanjang

$$\text{As perlu} = \frac{1,8 \times 10 \times 2400 \times 9,81 \times 0,26}{2 \times 240} = 229,554 \text{ mm}^2/\text{m}' \\ \text{As min} = 0,14\% \times 270 \times 1000 = 364 \text{ mm}^2/\text{m}' > \text{As perlu}$$

Digunakan tulangan diameter 12 mm :

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{364}{\frac{1}{4} \times \pi \times 12^2} = 3,21 \approx 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{As terpasang} = (1000/250) \times (0,25 \times 3,14 \times 12^2) \\ = 452,4 \text{ mm}^2/\text{m}' > \text{As min} = 364 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

Memenuhi syarat

b. Tulangan melintang

$$\text{As perlu} = \frac{1,8 \times 6,7 \times 2400 \times 9,81 \times 0,27}{2 \times 240} = 153,8 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

$$\text{As min} = 0,14\% \times 260 \times 1000 = 364 \text{ mm}^2/\text{m}' > \text{As perlu}$$

Digunakan tulangan diameter 12 mm :

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{378}{\frac{1}{4} \times \pi \times 12^2} = 3,21 \approx 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{As terpasang} = (1000/250) \times (0,25 \times 3,14 \times 12^2) \\ = 452,4 \text{ mm}^2/\text{m}' > \text{As min} = 364 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

Memenuhi syarat

d. Penentuan Tebal Pelat Beton Menggunakan Metoda AASHTO 1993

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Traffic Design, ESAL:		
a	Umur Rencana	20	Tahun
b	Lalu-lintas, ESAL	41600539,23	-
2	Reliability :	90	%
a	Standard normal deviation (Z_R)	-1,282	-
b	Standard deviation (S_o)	0,3	-
3	Serviceability :		
a	Terminal serviceability (P_t)	2,5	-
b	Initial serviceability (P_o)	4,5	-
c	Serviceability Loss ($\Delta PSI = P_o - P_t$)	2	-
4	CBR dan Modulus Reaksi Subgrade :		
a	CBR Subgrade	6	%
b	Modulus of subgrade reaction	464	pci
c	Effektif Modulus of subgrade reaction (k)	160	pci
5	Kuat Tekan Beton :		
a	Mutu Beton	350	kg/cm ²
b	Modulus elastisitas beton (E_c)	4.021.700	psi
	Flexural Strength (S'_c)	640	psi
6	Koefisien Drainase (C_D)	1,15	-
7	Koefisien Transfer beban (J)	3,0	-

Berdasarkan nilai parameter diatas , kemudian untuk menentukan tebal pelat beton rigid pavement dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

Dengan nilai D dicoba – coba :

$$D = 11,04 \text{ inch} = 28,04 \approx 28 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \log_{10} W_{18} = -1,282 \times 0,3 + 7,35 \log_{10}(D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{2}{4,5-1,4} \right]}{\frac{1,624 \times 10^2}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \times 2,5) \times \log_{10} \frac{640 \times 1,15 \times [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times 3 \times [D^{0,75} - \frac{18,42}{(4.021.700:160)^{0,25}}]}$$

$$\rightarrow 7,619 = 7,619 \text{ Sesuai}$$

Rencana sambungan dan penulangan:**a) Tie Bar (Batang pengikat) sambungan memanjang**

Berdasarkan tebal pelat sebesar 11,04 In atau 28 cm maka didapatkan :

- Diameter Tie Bar = $\frac{1}{2}$ inch atau 12,70 mm \approx 13 mm (baja ulir)
- Jarak = 29 inch atau 73,66 \approx 75 cm
- Panjang = 25 inch atau 63,50 \approx 65 cm

b) Dowel (ruji) sambungan susut melintang

Berdasarkan tebal pelat sebesar 11,04 In atau 28 cm maka didapatkan :

- Diameter = $1\frac{1}{4}$ inch atau 31,75 mm \approx 32 mm (baja polos)

- Jarak = 12 *inch* atau 30,48 cm \approx 30 cm
- Panjang = 18 *inch* atau 45,72 \approx 45 cm
-

c) Perhitungan rencana tulangan:

a. Tulangan memanjang

- As perlu = $\frac{11,76 \times 1,8 \times 10 \times 280}{240} = 246,96 \text{ mm}^2/\text{m}'$
- As min = $0,14\% \times 280 \times 1000 = 392 \text{ mm}^2/\text{m}' > \text{As perlu}$
Digunakan tulangan diameter 12 mm :
- Jumlah tulangan = $\frac{392}{\frac{1}{4} \times \pi \times 12^2} = 3,46 \approx 4$ buah
- Jarak tulangan = $\frac{1000}{4} = 250$ mm
- As terpasang = $(1000/250) \times (0,25 \times 3,14 \times 12^2)$
= $452,4 \text{ mm}^2/\text{m}' > \text{As min} = 392 \text{ mm}^2/\text{m}'$

Memenuhi syarat

b. Tulangan melintang

- As perlu = $\frac{11,76 \times 1,8 \times 6,7 \times 290}{240} = 165,46 \text{ mm}^2/\text{m}'$
- As min = $0,14\% \times 280 \times 1000 = 392 \text{ mm}^2/\text{m}' > \text{As perlu}$
Digunakan tulangan diameter 12 mm :
- Jumlah tulangan = $\frac{392}{\frac{1}{4} \times \pi \times 12^2} = 3,46 \approx 4$ buah
- Jarak tulangan = $\frac{1000}{4} = 250$ mm
- As terpasang = $(1000/250) \times (0,25 \times 3,14 \times 12^2)$
= $452,4 \text{ mm}^2/\text{m}' > \text{As min} = 392 \text{ mm}^2/\text{m}'$

Memenuhi syarat

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil Analisa perencanaan tebal perkerasan kaku selama umur rencana 20 tahun dengan menggunakan metoda Pd – T – 14 – 2003 dan AASHTO 1993 sebagai berikut :

Item	Metoda Pd T - 14 - 2003	Metoda AASHTO
<i>CBR Subgrade</i>	6,0%	6,0%
<i>Subbase</i>	Aggregat Kelas A Tebal 15 cm	Aggregat Kelas A Tebal 15 cm
<i>Base</i>	<i>Lean-mix Concrete</i> , Tebal 10 cm	<i>Lean-mix Concrete</i> , Tebal 10 cm
Tebal Pelat	Beton Mutu K350 Tebal 26 cm	Beton Mutu K350 Tebal 28 cm
<i>Tie-bar</i>	D 16 mm – 750 mm (ulir)	D 13 mm – 750 mm

	Panjang 700	(ulir) Panjang 650
<i>Dowel</i>	Ø 32 mm – 300 mm Panjang 450	Ø 32 mm – 300 mm Panjang 450
Tulangan	Ø 12 mm – 250 mm	Ø 12 mm – 250 mm

Dari hasil perencanaan tebal perkerasan diatas dapat disimpulkan bahwa kedua metoda tersebut bisa diaplikasikan dilapangan. Namun untuk pelaksanaan dilapangan harus memilih salah satu hasil dari kedua metoda dengan berbagai pertimbangan sesuai dengan kondisi jalan yang direncanakan tersebut.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran dalam pelaksanaan rencana perbaikan pada Jl. Raya Lubuk Begalung – Bandar Buat nantinya sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan konstruksi yang dapat bertahan dan mencapai umur rencana yang diharapkan, hendaknya dilakukan kegiatan perawatan secara berkala sehingga jalan dapat berfungsi sesuai dengan umur rencana sehingga bisa meminimalkan terjadinya kerusakan konstruksi jalan.
2. Pada pelaksanaan di lapangan sebaiknya tetap berpedoman pada spesifikasi teknis dan gambar teknik yang telah direncanakan dan dapat mengikuti hasil dari perencanaan sehingga resiko terjadinya kesalahan pada pelaksanaan lebih kecil.

6. DAFTAR PUSTAKA

AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, Guide For Design of Pavement Structure 1993.

Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga, 1997, Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga, 1997, Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan antar Kota. Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. 2003. “Perkerasan Beton Semen Pd-T-14-2003”. Jakarta.

Indriani, Eka. dkk. 2017. Perencanaan Ulang Jalan Tol Mojokerto -Kertosono (Moker) Sesi Ii Pada Sta 8+000 – 11+000 Menggunakan Perkerasan Kaku Metode Aashto 1993 Dan Pd-T-14-2003. Skripsi. Fakultas Vokasi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Saodang, Hamirhan. 2005. Konstruksi Jalan Raya Buku 2 : Perancangan Perkerasan Jalan Raya . Bandung : Nova.

Sukirman, Silvia. 1994. Dasar – Dasar Perencanaan Geometrik Jalan Raya. Bandung: Nova.

Sukirman, Silvia. 1999. Perkerasan Lentur Jalan Raya. Bandung: Nova.

Suryawan, Ari. 2009. Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement). Yogyakarta

Umam, Ahmad Chatiful. dkk. 2016. Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Kaku Dengan Metode Bina Marga 2003 Dan Metode Aashto 1993 (Studi Kasus : Jalan Akses Tol Cilegon Barat)

EVALUASI DAN DESAIN ULANG SIMPANG PARIK UNTUK ANTISIPASI VOLUME LALU LINTAS

Sidratul Muntaha¹, Astuti Masdar², Ridha Sari³

¹Mahasiswa Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh, Payakumbuh.

Email: iralchase@gmail.com

²Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh, Payakumbuh.

Email: astuti_masdar@yahoo.com

³Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh, Payakumbuh.

Email: ridhasaridjahinar@gmail.com

ABSTRACT

Signed intersections are needed to smooth the rate of vehicles passing through the intersection. Accurate data is needed in planning a signalized intersection. Observations made at signalized intersections located at Simpang Parik, Payakumbuh City, indicate a significant density on one of the roads so that it affects other roads. To overcome this problem a study of the suitability of the cycle time at the Parik signal intersection based on traffic volume and the geometric condition of the intersection has been carried out. The research method is based on Indonesian Road Capacity Manual (MKJI 1997). The Simpang Parik consists of 4 phases, namely the first phase from the North (Tan Malaka Road), the second phase from the West (Rasyid Taher Road), the third phase from the East (KH Road Ahmad Dahlan) and the fourth phase from the South (Jalan Tan Malaka). Based on the analysis results, it is obtained that the signal cycle time is 80 seconds, while in the existing condition the signal cycle time is 104 seconds so there is a difference in cycle time of 24 seconds. Before the redesign of the signaled intersection was obtained the degree of existing saturation exceeds 0.85 which occurred on the Tan Malaka Road section and after redesigning the degree of saturation became less than 0.85. By applying this design result, the Service Level Index (LOS-level of service) can be increased

Keywords : volume, degree of saturation, design, signal

ABSTRAK

Simpang bersinyal berfungsi membantu kelancaran laju kendaraan yang melalui persimpangan. Data-data yang akurat sangat dibutuhkan dalam merencanakan sebuah simpang bersinyal. Pengamatan yang dilakukan pada simpang bersinyal yang berlokasi di Simpang Parik Kota Payakumbuh menunjukkan adanya kepadatan yang signifikan pada salah satu ruas jalan sehingga mempengaruhi ruas jalan lainnya. Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan kajian kesesuaian waktu siklus pada simpang bersinyal Parik berdasarkan volume lalu lintas dan kondisi geometrik simpang. Metode penelitian dilakukan berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Simpang Parik terdiri dari 4 fase yaitu fase pertama dari arah Utara (Jalan Tan Malaka), fase kedua dari arah Barat (Jalan Rasyid Taher), fase ketiga dari arah Timur (Jalan KH. Ahmad Dahlan) dan fase keempat dari arah Selatan (Jalan Tan Malaka). Berdasarkan hasil analisis didapatkan waktu siklus simpang bersinyal adalah 80 detik, sementara itu pada kondisi existing waktu siklus simpang bersinyal adalah 104 detik sehingga terdapat perbedaan waktu siklus sebesar 24 detik. Sebelum dilakukan desain ulang simpang bersinyal didapatkan derajat kejenuhan eksisting melebihi 0,85 yang terjadi pada ruas Jalan Tan

Malaka dan setelah dilakukan redesain didapatkan derajat kejenuhan menjadi kurang dari 0,85. Dengan diaplikasikannya hasil desain ini maka Indek Tingkat Pelayanan (LOS-level of service) menjadi meningkat.

Kata Kunci : volume, derajat kejenuhan, desain, simpang bersinyal

1. PENDAHULUAN

Pengontrol sinyal lalu lintas mempunyai fungsi yang sangat besar dalam pengaturan arus lalu lintas. Fungsi dari Pengontrol sinyal lalu lintas adalah untuk meningkatkan efisiensi kendaraan, mencegah kemacetan lalu lintas, mengurangi waktu perjalanan, mengurangi kebisingan (polusi suara) dan dapat emisi karbon dioksida yang dikeluarkan oleh kendaraan atau polusi udara (Alam, dkk, 2015). Salah satu simpang yang menggunakan pengontrol sinyal lalu lintas di Kota Payakumbuh adalah Simpang Parik. Simpang Parik ini merupakan persimpangan yang strategis di Kota Payakumbuh, karena salah satu akses penting bagi masyarakat Kabupaten 50 Kota menuju Kota Payakumbuh dan jalan Provinsi antara Kota Pekanbaru dan Kota Padang. Saat ini, Simpang Parik memiliki pengatur lalu lintas dengan menggunakan lampu lalu lintas dan juga beberapa rambu di gunakan. Pada kondisi sekarang ini pengaturan lampu lalu lintas di Simpang Parik perlu di evaluasi karena pada pengamatan ada beberapa masalah seperti pengendara yang ingin menuju Kabupaten 50 Kota antrian nya panjang jika lampu merah hingga mencapai Simpang jalan menuju SPBU, hal ini mengganggu pengendara dari Kabupaten 50 Kota jika menuju SPBU. Penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan masalah pada Simpang Bersinyal Parik dengan cara menganalisis kapasitas simpang, panjang antrian dan derajat kejenuhan, Kota Payakumbuh.

2. DESAIN SIMPANG BERSINYAL

Desain suatu simpang dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik simpang. Hariyanto (2004) melakukan penelitian yang membandingkan kekurangan dan kelebihan dari simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal untuk dijadikan pertimbangan dalam melakukan desain terhadap simpang bersinyal. Adapun karakteristik simpang bersinyal dibandingkan simpang tak bersinyal menurut Hariyanto (2004) adalah sebagai berikut 1) kemungkinan terjadinya kecelakaan dapat ditekan apabila tidak terjadi pelanggaran lalu lintas 2) lampu lalu lintas lebih memberi aturan yang jelas pada saat melalui simpang 3) simpang bersinyal dapat mengurangi konflik yang terjadi pada simpang, terutama pada jam sibuk dan 4) pada saat lalu lintas sepi, simpang bersinyal menyebabkan adanya tundaan yang seharusnya tidak terjadi.

Parameter yang dibutuhkan dalam mendesain simpang bersinyal diantaranya adalah sebagai berikut:

3. ARUS LALU LINTAS

Arus lalu lintas (Q) untuk setiap arus gerakan kendaraan ringan, kendaraan berat, dan sepeda motor (Q_{LV} , Q_{HV} , dan Q_{MC}) dikonversikan dari kendraan per jam menjadi

satuan mobil penumpang (smp) per jam dengan menggunakan ekivalen kendaraan penumpang (emp) untuk masing-masing pendekat terlindung dan terlawan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 14. Ekivalen kendraan penumpang

Jenis Kendraan	Emp untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
Kendraan berat (HV)	1,3	1,3
Kendaraan ringan (LV)	1,0	1,0
Sepeda Motor (MC)	0,2	0,4

Sumber : MKJI 1997

Arus lalu lintas dihitung dengan persamaan 1.

$$Q = Q_{LV} + Q_{HV} \times emp_{HV} + Q_{MC} \times emp_{MC} \quad 1)$$

dengan Q adalah arus lalu lintas (smp/jam), Q_{LV} adalah arus kendaraan ringan (kendaraan/jam), Q_{HV} adalah Arus kendaraan berat (kendaraan/jam), Q_{MC} adalah arus sepeda motor (kendaraan/jam), emp_{HV} adalah emp kendaraan berat dan emp_{MC} adalah emp sepeda motor

3.1 Arus Jenuh

Arus jenuh berdasarkan MKJI 1997, didefinisikan sebagai besarnya keberangkatan rata-rata antrian di dalam suatu pendekatan simpang selama sinyal hijau yang besarnya dinyatakan dalam satuan smp per jam hijau (smp/jam hijau). Arus jenuh dihitung dengan Persamaan 2. Tipe persimpangan mempengaruhi besarnya nilai satiap faktor koreksi arus jenuh. Penjelasan lebih rinci mengenai setiap faktor koreksi arus jenuh dapat ditemukan dalam MKJI (1997).

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{LT} \times F_{RT} \quad 2)$$

dengan S adalah arus jenuh (smp/waktu hijau efektif), S_0 adalah arus jenuh dasar (smp/waktu hijau efektif), F_{CS} adalah faktor koreksi arus jenuh akibat ukuran kota (jumlah penduduk), F_{SF} adalah faktor koreksi arus jenuh akibat adanya gangguan samping, F_G adalah faktor koreksi arus jenuh akibat kelandaian jalan, F_P adalah faktor koreksi arus jenuh akibat adanya kegiatan perparkiran dekat dengan lengan persimpangan, F_{LT} adalah faktor koreksi arus jenuh akibat adanya pergerakan belok kiri dan F_{RT} adalah faktor koreksi arus jenuh akibat adanya pergerakan belok kanan.

3.2 Faktor Penyesuaian Belok Kanan

Faktor penyesuaian belok kanan ditentukan sebagai fungsi dari rasio kendaraan belok kanan . yang berlaku untuk kendaraan terlindung, tanpa median, jalan dua arah, dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Rumusan faktor penyesuaian belok kanan disajikan pada Persamaan 3.

$$F_{RT} = 1,0 + P_{RT} \times 0,26 \quad 3)$$

dengan F_{RT} adalah faktor penyesuaian belok kanan dan P_{RT} adalah rasio belok kanan.

3.3 Faktor Penyesuaian Belok Kiri

Faktor penyesuaian belok kiri ditentukan sebagai fungsi dari rasio kendaraan belok kanan. Faktor penyesuaian gerakan belok kiri hanya untuk pendekatan tipe P tanpa LTOR, dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Rumusan faktor penyesuaian belok kiri disajikan pada Persamaan 4.

$$F_{LT} = 1,0 - P_{LT} \times 0,16 \quad 4)$$

dengan F_{LT} merupakan faktor penyesuaian belok kiri dan P_{LT} merupakan rasio belok kiri.

3.4 Kapasitas

Kapasitas adalah kemampuan untuk menampung arus lalu lintas maksimum per satuan waktu dinyatakan dalam smp/jam hijau. Kapasitas pada simpang dihitung pada setiap pendekat ataupun kelompok lajur di dalam suatu pendekat. Rumusan kapasitas disajikan pada Persamaan 5.

$$C = S \cdot g/c \quad 5)$$

dengan C adalah kapasitas (smp/jam hijau), S adalah arus jenuh (smp/jam hijau), adalah waktu hijau (detik) dan c adalah panjang siklus (detik).

3.5 Derajat Kejenuhan

Menurut MKJI (1997) derajat kejenuhan atau *Degree of Saturation* (DS), didefinisikan sebagai perbandingan rasio arus (Q) terhadap kapasitas (C), di gunakan Derajat Kejenuhan (DS) < 0,85. Rumusan derajat kejenuhan disajikan pada Persamaan 6.

$$DS = Q/C \quad 6)$$

dengan DS merupakan derajat kejenuhan dan Q merupakan arus lalu lintas (smp/jam).

3.6 Panjang Antrian

Panjang antrian adalah banyaknya kendaraan yang berada pada simpang tiap jalur saat nyala lampu merah. Rumus untuk menghitung rata-rata panjang antrian berdasarkan MKJI (1997), adalah: Untuk $DS < 0,5$; = 0 dan untuk derajat kejenuhan ($DS > 0,5$) di sajikan dalam persamaan 7 dan 8

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{C}} \right] \quad 7)$$

$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q_{masuk}}{3600} \quad 8)$$

dengan NQ_1 adalah Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya, NQ_2 adalah jumlah smp yang datang ada fase merah, DS adalah derajat kejenuhan, C adalah kapasitas (smp/jam), c adalah waktu siklus (detik), GR adalah rasio hijau dan Q_{masuk} adalah arus lalu lintas yang masuk di luar LTOR (smp/jam). Rumusan jumlah kendraan antri disajikan pada persamaan 9.

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \quad 9)$$

Panjang antrian (QL) didapatkan dari perkalian (NQ_{max}) dengan luar rata-rata yang digunakan per smp (20 m^2) dan pembagian dengan lebar masuk (W_{masuk}). NQ_{max} didapat dengan menyesuaikan nilai NQ dalam hal peluang yang diinginkan untuk terjadinya pembebanan lebih POL (%) dengan menggunakan grafik seperti terlihat pada Gambar 2.8 untuk perencanaan dan desain disarankan nilai $POL \leq 5 \%$, untuk operasional disarankan $POL = 5 - 10 \%$. Rumusan panjang antrian disajikan pada persamaan 10.

$$QL = NQ_{max} \times \frac{20}{W_{masuk}} \quad 10)$$

dengan QL adalah panjang antrian, NQ_{max} adalah jumlah antrian maximum dan W_{masuk} adalah lebar masuk.

3.7 Tundaan (D)

Terdapat dua tundaan pada suatu simpang yaitu tundaan geometri (DG) dan tundaan lalu lintas (DT). Sehingga Tundaan rata-rata di sajikan pada persamaan 11.

$$D = DG + DT \quad 11)$$

$$DT = c \times A + \frac{NQ_1 \times 360}{c} \quad (12)$$

dengan DT adalah tundaan lalu lintas rata-rata (dt/smp), c adalah waktu siklus yang di sesuaikan (detik), A adalah $\frac{0,5 \times (1 - GR)^2}{1 - GR \times DS}$, GR adalah rasio hijau (g/c), NQ_1 adalah jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya dan C adalah kapasitas (smp/jam). Tundaan geometrik disajikan dalam persamaan 13.

$$DG = (1 - P_{SV}) \times P_T \times 6 + (P_{SV} \times 4) \quad (13)$$

dengan DG adalah tundaan geometri (dt/smp), P_T adalah rasio kendaraan membelok pada suatu pendekat dan P_{SV} adalah Rasio kendaraan terhenti pada suatu pendekat.

3.8 Perancangan sinyal

Untuk menghitung rancangan durasi sinyal digunakan prosedur MKJI 1997, dengan tahap awal menentukan waktu merah semua untuk pengosongan pada setiap akhir fase dan hasil antar hijau (IG) per fase. Kemudian, menentukan waktu hilang (LTI) sebagai jumlah dari waktu antar hijau per siklus. Titik konflik kritis masing-masing fase (i) adalah titik yang menghasilkan waktu merah semua terbesar dengan perhitungan di sajikan menggunakan rumus persamaan 14.

$$\text{MERAH SEMUA}_i = [(L_{EV} + I_{EV})/V_{EV} - L_{AV}/V_{AV}]_{\text{MAX}} \quad (14)$$

dengan L_{EV}, L_{AV} adalah jarak dari garis henti ke titik konflik masing-masing untuk kendaraan yang berangkat dan yang datang (m), I_{EV} adalah panjang kendaraan yang berangkat (m). 5 m (LV dan HV), 2 m (MC dan UM), V_{EV}, V_{AV} adalah kecepatan masing-masing untuk kendaraan yang berangkat dan yang datang (m/det). MKJI menentukan 10 m/det untuk kendaraan bermotor, 3 m/det untuk kendaraan tak bermotor dan 1,2 m/det untuk pejalan kaki. Apabila periode merah semua telah ditentukan maka waktu hilang (LTI) untuk simpang dapat dihitung sebagai jumlah dari waktu-waktu antar hijau di sajikan dalam persamaan 15.

$$LTI = \sum (\text{MERAH SEMUA} + \text{KUNING})_i = \sum IG_i \quad (15)$$

Panjang waktu kuning pada sinyal lalu-lintas perkotaan Indonesia biasanya adalah 3,0 detik. Untuk menghitung waktu waktu hijau masing-masing fase disajikan dalam persamaan 16.

$$g_i = (c_{ua} - LTI) \times PR_i \quad (16)$$

dengan g_i adalah tampilan waktu hijau pada fase i (det), c_{ua} adalah waktu siklus sebelum penyesuaian (det), LTI adalah waktu hilang total per siklus dan Pri adalah rasio fase $FR_{crit} / \sum FR_{crit}$.

4. HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi existing simpang

Tabel 2. Geometrik simpang

Pendekat	tipe	Hambatan Samping	Median Ya/Tidak	Kelandaian (%)	LTO R	Emp untuk tipe pendekat			
						W_A	W_{ENTRY}	W_{LTO}	W_{EXIT}
Utara	Com	Rendah	Tidak	2 %	Ya	3	3,00	1,50	3,00
Barat	Com	Rendah	Tidak	2 %	Ya	2,25	2,25	1,12	2,25
Timur	Com	Rendah	Tidak	2 %	Ya	3,00	3,00	1,50	3,00
Selatan	Com	Rendah	Tidak	2 %	Ya	3,50	3,50	1,75	3,50

4.2 Volume kendaraan

Pengambilan data volume kendaraan diambil selama 4 hari yaitu hari Selasa, Rabu, Sabtu, Minggu pada waktu puncak pagi pukul (06.30 s/d 08.30 WIB), waktu puncak siang (10.30 s/d 12.30 WIB), dan waktu puncak sore (15.30 s/d 17.30 WIB).

Tabel 3. Volume kendaraan

Waktu survey	Kode pendekat	Jenis kendaraan			Jenis Kendaraan x Emp			Volume (smp/jam)
		LV	HV	MC	LV	HV	MC	
06.30-08.30	Utara	255,0	17,25	1241,50	255,0	22,40	248,30	525,73
	Barat	23,25	0,75	298,25	23,30	1,00	59,65	83,88
	Timur	37,00	30,75	318,25	37,0	40,00	63,65	140,63
	Selatan	185,25	25,72	583,75	185,3	33,40	116,75	335,44
10.30-12.30	Utara	174,50	29,75	627,50	174,5	38,70	125,50	338,68
	Barat	28,00	4,75	231,75	28,0	6,20	46,35	80,53
	Timur	80,75	30,75	131,50	80,08	40,00	26,30	147,03
	Selatan	212,25	52,0	691,75	212,3	67,60	138,35	418,20
15.30-17.30	Utara	263,25	13,50	806,75	263,3	17,60	161,35	442,15
	Barat	26,00	3,00	253,50	26,00	3,90	50,70	80,60
	Timur	44,25	28,25	231,35	44,30	36,70	46,25	127,23
	Selatan	337,75	68,00	818,75	337,8	88,40	163,75	589,9

4.3 Arus Jenuh

Untuk memperoleh nilai arus jenuh dasar yang disesuaikan, maka nilai arus jenuh dasar dikalikan terlebih dahulu dengan faktor koreksi terhadap ukuran Kota Payakumbuh

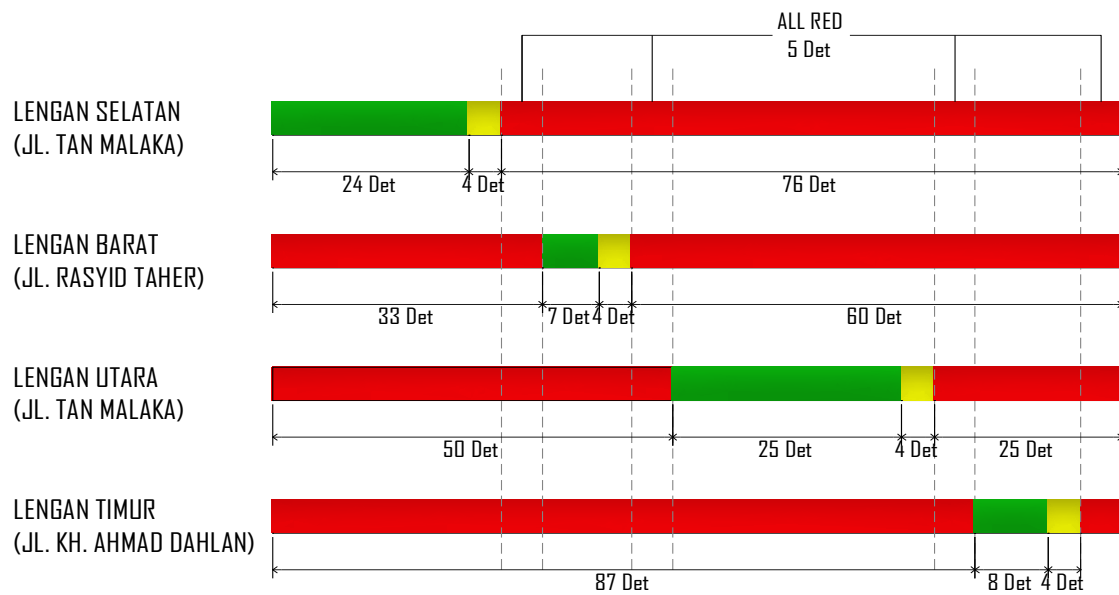
(FCS), hambatan samping (FSF), kelandaian (FG), parkir (FP), koreksi belok kanan (FRT) maupun koreksi belok kiri (FLT), faktor koreksi ini berdasarkan MKJI disesuaikan dengan geometrik, kondisi lingkungan dan lokasi Simpang Parik Kota Payakumbuh

Tabel 4. Arus jenuh

	Utara	Barat	Timur	Selatan
S_0 (smp/jam)	1800	1350	1800	2100
F_{CS}	0,83	0,83	0,83	0,83
F_{SF}	0,95	0,95	0,95	0,95
F_G	1,0	1,0	1,0	1,0
F_P	-	-	-	-
F_{RT}	1,01	1,02	1,04	1,05
F_{cs}	0,99	0,93	0,90	0,99
S	1.434,06	1.081,08	1.470,96	1.735,08

4.4 Data sinyal lalu lintas

Arus lalu lintas pada Simpang Parik dikendalikan oleh lampu lalu lintas dengan durasi masing-masing lengan.



Gambar 1. Diagram fase sinyal

4.5 Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (DS)

Hitungan kapasitas tiap lengan tergantung pada rasio waktu hijau dan arus jenuh yang disesuaikan.

Tabel 3. Kapasitas dan derajat kejenuhan

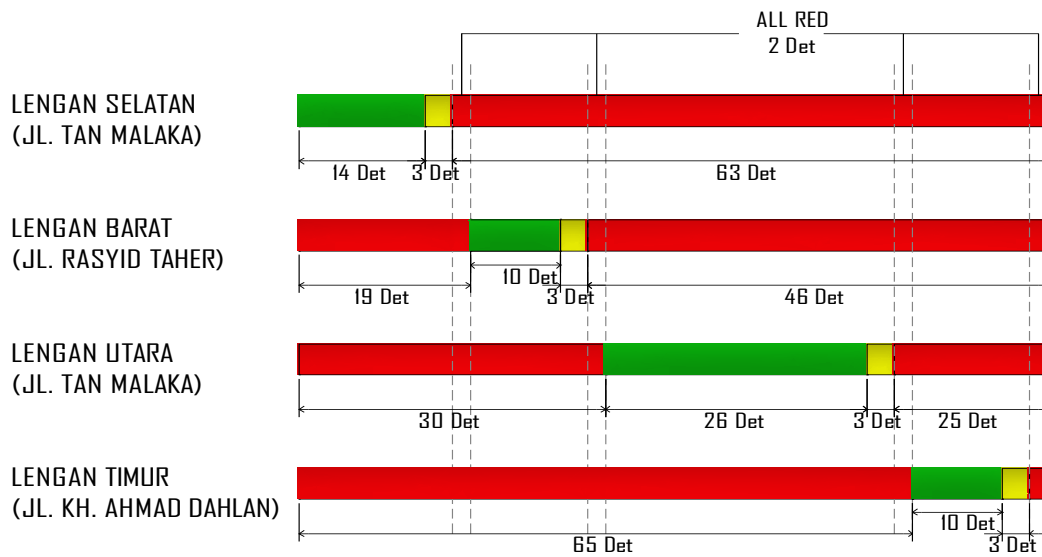
Kode pendekat	Waktu survey	Arus lalu lintas (Q) smp/jam	Arus jenuh (S) smp/jam	Durasi hijau (g) det	Waktu siklus (c) det	Kapasitas (C) Sxg/c smp/jam	Derajat kejenuhan (DS)
Utara		525,73	1.434,06	25	104	527,23	0,997
Barat	06.30-	83,88	1.081,08	7	104	111,29	0,754
Timur	08.30	140,63	1.470,96	8	104	173,05	0,813
Selatan		335,44	1.735,08	24	104	540,81	0,620
Utara		338,68	1.145,13	25	104	531,30	0,637
Barat	10.30-	80,53	1.092,15	7	104	112,43	0,716
Timur	12.30	147,03	1.485,72	8	104	174,79	0,841
Selatan		418,20	1.754,87	24	104	619,73	0,675
Utara		442,15	1.441,44	25	104	529,94	0,834
Barat	15.30-	80,60	1.075,55	7	104	110,72	0,728
Timur	17.30	127,23	1.489,41	8	104	175,23	0,726
Selatan		589,90	1.746,26	24	104	616,33	0,957

4.6 Evaluasi Kinerja Simpang Tahun 2019 dengan Perubahan Desain Sinyal (do something)

Evaluasi kinerja skenario *do something* dilakukan setelah melakukan perancangan ulang sinyal kemudian dicek kembali apakah nilai DS < 0,85.

Tabel 4. Evaluasi Kinerja Simpang Dengan Skenario *do something*

Kode pendekat	Arus lalu lintas (Q) smp/jam	Arus jenuh (S) smp/jam	Durasi hijau (g) det	Waktu siklus (c) det	Kapasitas (C) Sxg/c smp/jam	Derajat kejenuhan (DS)
Utara	525,73	1.434,06	26	80	621,43	0,846
Barat	83,88	1.081,08	10	80	135,14	0,621
Timur	140,63	1.470,96	10	80	183,87	0,765
Selatan	335,44	1.735,08	14	80	404,85	0,829



Gambar 2. Diagram fase sinyal

5. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat di simpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan data tahun 2019 dapat diketahui bahwa kapasitas Simpang Parik kota Payakumbuh perlu di evaluasi, karena pada beberapa pendekatan dengan aturan belok kiri langsung nilai DS >0,85. Hal ini dapat dibuktikan dengan hasil perhitungan DS >0,85 pada lengan Utara yaitu 0,997 dan lengan Selatan 0,917. Dengan demikian dirancang ulang pengaturan sinyal (*do something*).
2. Hasil evaluasi kinerja simpang Parik setelah rancang ulang pengaturan sinyal didapat nilai DS berubah pada masing-masing lengan dengan nilai DS < 0,85.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Alam, J., and Pandey. M.K. .2015. *Design and Analysis of a Two Stage Traffic Light System Using Fuzzy Logic*. Jurnal of information technology & software engineering. Vol.5, No. 3, pp. 1-9.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Jakarta Selatan: Direktorat Jendral Bina Marga.
- Hariyanto, J. 2004. *Sistem Pengendalian Lalu Lintas Pada Pertemuan Sebidang*. Medan: USU Digital Library.
- Hobbs, F. D (1995). *Perencanaan dan Teknik Lalu-lintas*. Yogyakarta : University Gadjadara.

PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN LENTUR MENGUNAKAN METODE MAK 2002 DAN MDP 2017 PADA RUAS JALAN SUNGAI DAREH – SIKABAU KABUPATEN DHARMASRAYA

Nadira Sastri

Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil,
Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: nadirasastri@gmail.com

ABSTRAK

Jalan raya merupakan bagian yang sangat penting dan membawa pengaruh yang sangat besar bagi pertumbuhan ekonomi masyarakat, sosial budaya, politik, maupun militer. Jalan raya juga salah satu sarana yang membantu dalam mendistribusikan barang, orang, maupun jasa dari suatu tempat ke tempat lainnya. Ruas Jalan Lintas Sumatera, Sungai Dareh – Sikabau merupakan salah satu jalan Provinsi yang terletak di Kecamatan Pulau Punjung. Kondisi jalan tersebut sering dilintasi oleh kendaraan berat yang melebihi muatan dan kendaraan ringan secara otomatis akan menambah pergerakan lalu lintas dan beban yang dipikul oleh jalan tersebut yang menyebabkan jalan tersebut akan cepat mengalami kerusakan pada perkerasannya seperti retakan, jalan bergelombang dan lubang. Dalam penelitian menggunakan Metode Analisis Komponen (MAK) 2002 dan Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017 yang digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan baru. Data – data yang digunakan dalam perencanaan perkerasan adalah data primer.

Kata kunci: MAK 2002, MDP 2017

ABSTRACT

The roads is the most important part and have big influence the economic growth of society, social culture, politics, and the military. The highway is also one of the facilities that help in distributing goods, people, and services from one place to another. The Trans-Sumatra Road Section, Sungai Dareh - Sikabau is one of the Provincial roads located in Pulau Punjung District. . The condition of the road is often crossed by heavy vehicles that are overloaded and light vehicles will automatically increase the movement of traffic and the burden borne by the road which causes the road to be quickly damaged in pavement such as cracks, bumpy roads and holes. In research using the 2002 Component Analysis Method (MAK) and the 2017 Pavement Design Manual Method (MDP) which is used in the planning of new pavement thicknesses. The data used in pavement planning are primary data.

Keywords: Component Analysis Method 2002, Pavement Design Manual Method

1. PENDAHULUAN

Ruas Ruas Jalan Lintas Sumatera, Sungai Dareh – Sikabau merupakan salah satu jalan Provinsi yang terletak di Kecamatan Pulau Punjung. Pada jalan tersebut merupakan akses utama yang menghubungkan perbatasan Provinsi Sumatera Barat dengan Provinsi Jambi pada bagian selatan dan termasuk kategori status jalan provinsi. Kondisi jalan tersebut sering dilintasi oleh kendaraan berat yang melebihi muatan dan kendaraan ringan secara otomatis akan menambah pergerakan lalu lintas dan beban yang dipikul oleh jalan tersebut yang menyebabkan jalan tersebut akan cepat mengalami kerusakan pada perkerasannya seperti retakan, jalan bergelombang dan lubang. Dalam penelitian menggunakan Metode Analisis Komponen (MAK) 2002 dan Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017 yang digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan baru. Data – data yang digunakan dalam perencanaan perkerasan adalah data primer. Hasil perencanaan tebal perkerasan dengan umur rencana 20 tahun.

2. TINJAUAN PUSTAKA

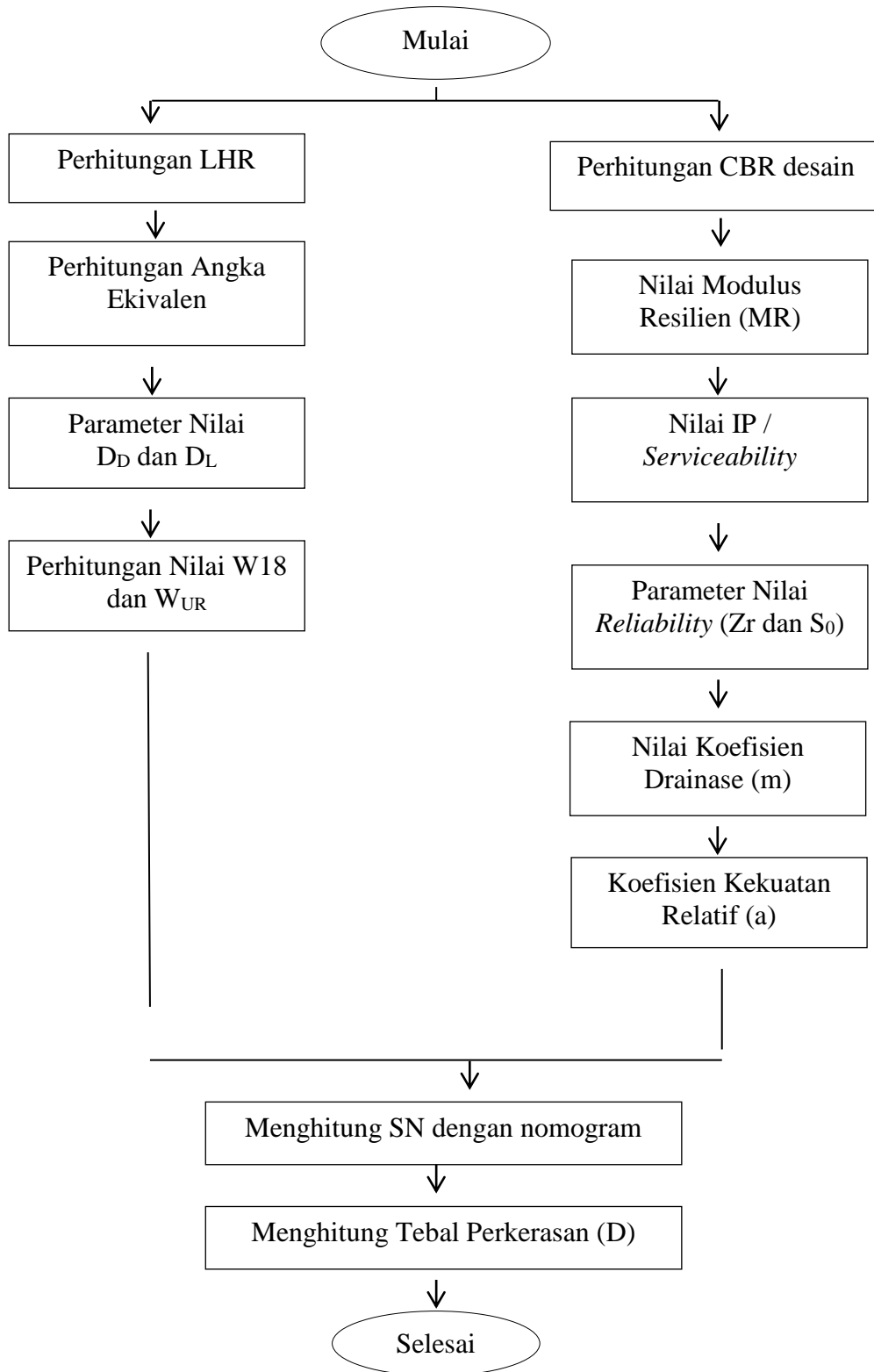
Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/ atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel (menurut Pasal 9 Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan).

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah lapis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan ikat antar material. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan meneruskan serta menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Perkerasan lentur (*flexibel pavement*) merupakan perkerasan yang terdiri atas beberapa lapis perkerasan. Susunan lapisan perkerasan lentur secara ideal antara lain lapis tanah dasar (*subgrade*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*), lapisan pondasi atas (*base course*), dan lapisan permukaan (*surface course*). (Sukirman, 1999).

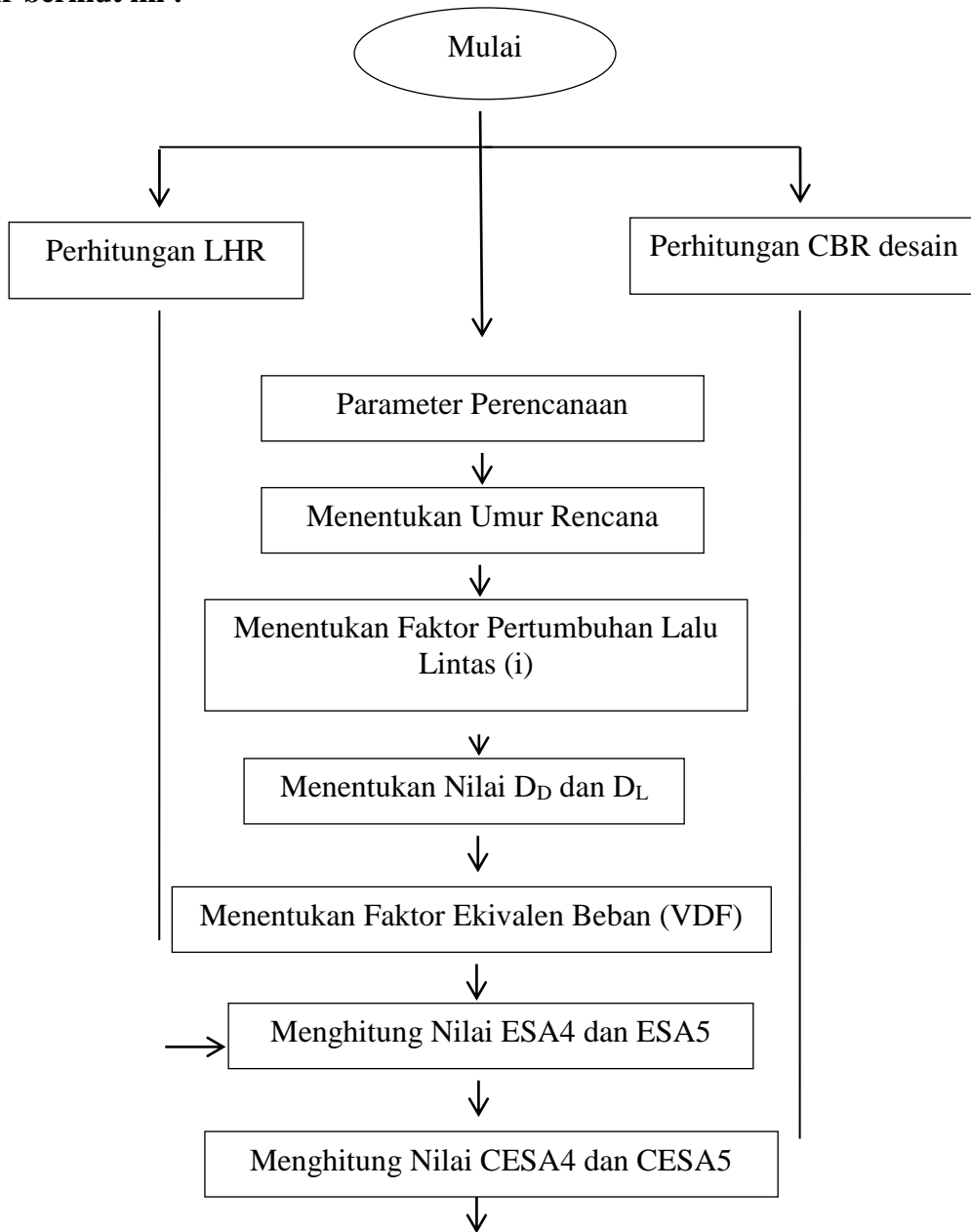
Bahan perkerasan merupakan bagian yang diutamakan di dalam pertimbangan analisa parameter perancangan perkerasan karena salah satu parameter kekuatan konstruksi jalan terletak pada pemilihan yang tepat dari material yang akan digunakan di dalam suatu rancangan perkerasan jalan (Widodo, 2014 dalam Sutrisno, 2011). Material yang diperlukan untuk konstruksi perkerasan jalan lentur adalah sebagai berikut :

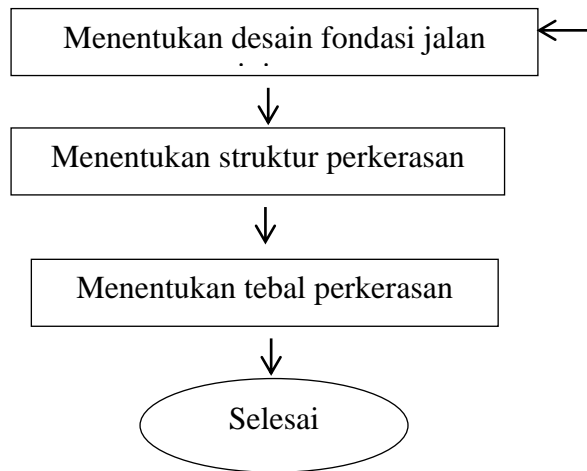
1. Tanah Dasar (*Subgrade*)
2. Agregat
3. Aspal
4. Campuran Beraspal

Tahapan parameter perencanaan tebal konstruksi perkerasan lentur menggunakan Metode Analisis Komponen (MAK) 2002 dapat dilihat pada diagram alir berikut ini :



Tahapan parameter perencanaan tebal konstruksi perkerasan lentur menggunakan Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017 dapat dilihat pada diagram alir berikut ini :





3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

e. Lalu Lintas

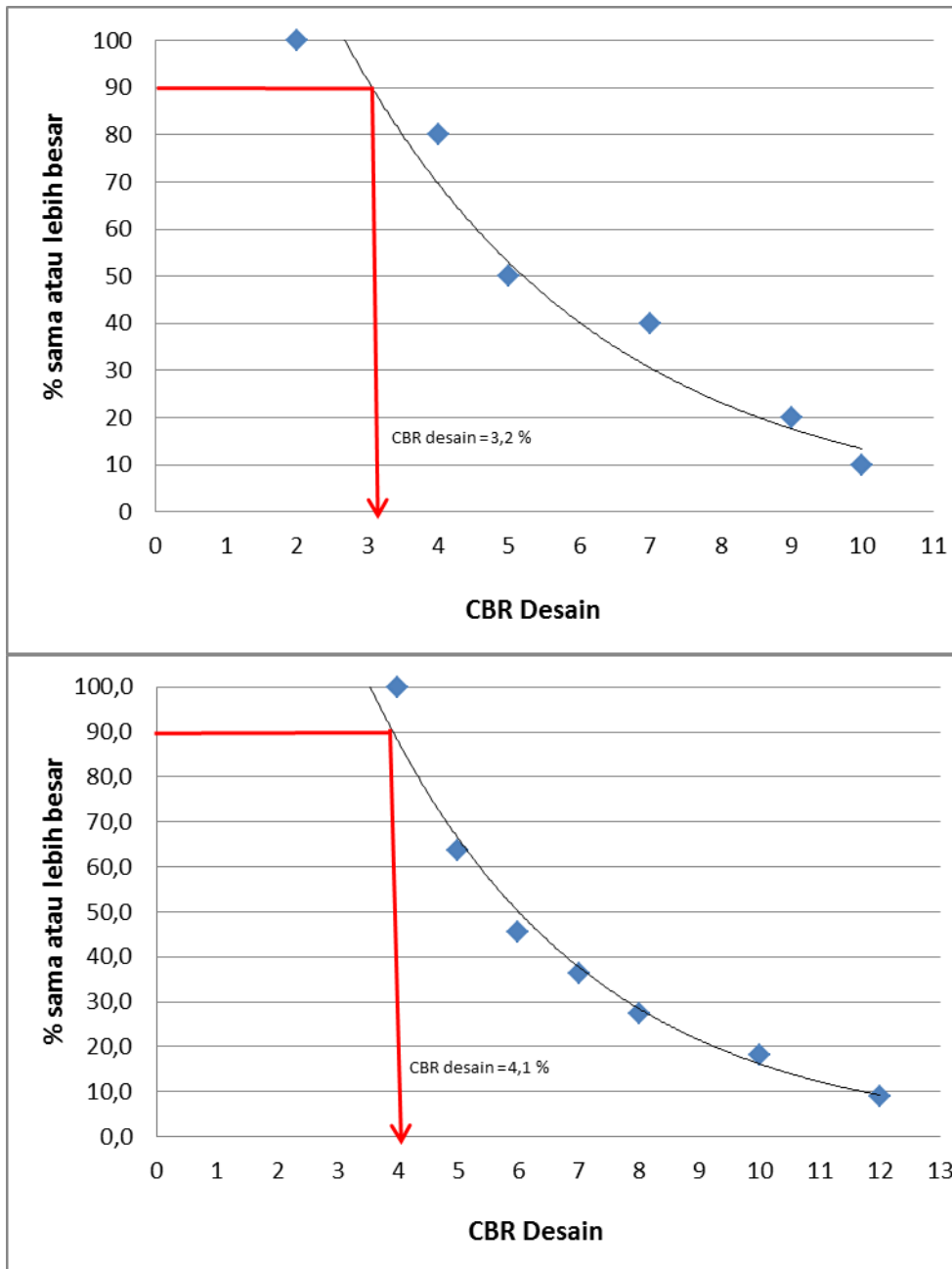
Untuk data – data hasil akhir dari nilai LHR dapat dilihat pada Tabel 1

Jenis Kendaraan	Jumlah kendaraan (VJP)	emp	smp/jam	k	LHR (VJP/k) (smp/hari/2 arah)
	a	b	c = a x b	d	e = c/d
sepeda motor	891	0,4	356,4	0,1	3564
mobil pribadi	511	1	511	0,1	5110
opelet, mini bus	1	1	1	0,1	10
pick up	90	1	90	0,1	900
bus kecil	6	1,3	7,8	0,1	78
bus besar	14	1,3	18,2	0,1	182
truk 2 sumbu (4 roda)	133	1,3	172,9	0,1	1729
truk 2 sumbu (6 roda)	95	1,3	123,5	0,1	1235
truk 3 sumbu	0	1,3	0	0,1	0
Truk gandeng	0	1,3	0	0,1	0
Truk Semi Trailer	0	1,3	0	0,1	0
Total					12808

f. CBR Design

Adapun dari pengujian CBR tiap titik pengujian mulai dari STA (0+000) sampai dengan STA (5+000) di kelompokkan menjadi 2 segmen. Dan perhitungan untuk

nilai CBR desain menggunakan metode grafis dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2



g. Perhitungan Perkerasan Jalan Dengan Menggunakan Metoda Analisis Komponen 2002

Untuk perhitungan data – data perencanaan tebal dapat dilihat sebagai berikut :

- **Nilai LHR dan angka ekuivalen beban gandar sumbu kendaraan**
Dapat dilihat pada Tabel 2 berikut :

	LHR	E (angka
--	-----	----------

	(kendaraan/hari/2arah)	ekivalen)
Kendaraan ringan (1+1) ton	14978	0,001652
Pick up (2+3) ton	2632	0,036043
Bus (3+5) ton	721	0,231855
Truk 2 sumbu (4 roda) (3+5) ton	5057	0,231855
Truk 2 sumbu (6 roda) (6+12) ton	3614	6,467485

- **Menghitung beban gandar standar untuk lajur rencana per tahun (W₁₈)**

Untuk mendapatkan nilai lalu lintas pada lajur rencana dapat dihitung dengan cara berikut :

w₁₈ per hari (perhitungan terhadap jenis kendaraan)

w₁₈ per hari = LHR x Angka ekivalen setiap jenis kendaraan

$$\begin{aligned} w_{18} \text{ per hari} &= (14978 \times 0,001652) + (2632 \times 0,036043) + (721 \times 0,231855) + (5057 \times 0,231855) + (3614 \times 0,467485) \\ &= 24840,844 \end{aligned}$$

w₁₈ per hari (perhitungan terhadap lajur dan arah)

$$\begin{aligned} w_{18} \text{ per hari} &= D_D \times D_L \times w_{18} \\ &= 0,5 \times 1 \times 24840,844 \\ &= 12420,422 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{18} \text{ per tahun} &= 365 \times 12420,422 \\ &= 4533454,03 \end{aligned}$$

- **Menghitung beban gandar standar untuk lajur rencana selama umur rencana (W_{18UR})**

$$\begin{aligned} W_{18UR} &= W_{18} \text{ pertahun} \times \frac{(1+q)^n - 1}{q} \\ &= 4533454,03 \times \frac{(1+0,05)^{20} - 1}{0,05} \\ &= 14990298,2 \end{aligned}$$

- **Menentukan Nilai IP (Indeks Permukaan)**

I_{Po} (Indeks permukaan pada awal umur rencana) = 4 (untuk material yang dipilih Laston)

I_{Pt} (Indeks permukaan pada akhir umur rencana) = 2,5 (pada jalan arteri)

- **Menghitung MR (Modulus Resilien Tanah Dasar)**

M_R = 1500 psi x CBR

Maka diperoleh nilai MR :

Untuk segment 1

$$M_R = 1500 \text{ psi} \times 3,2$$

$$M_R = 4800 \text{ Psi}$$

Untuk segment 2

$$M_R = 1500 \text{ psi} \times 4,1$$

$$M_R = 6150 \text{ Psi}$$

h. Penentuan Tebal Perkerasan Jalan Dengan Menggunakan Metoda Analisis Komponen 2002

Untuk penentuan tebal lapis perkerasan jalan lentur, data – data perencanaan dalam bentuk Tabel 3.

Data – data perencanaan	Segmen 1	Segmen 2
CBR design	3,2 %	4,1 %
Nilai Nomogram SN (Structural Number) dengan nilai :		
Reliabilitas	85 %	85 %
So	0,5	0,5
W18	$14,9902 \times 10^6$	$14,9902 \times 10^6$
Ebs (SN1)	30000 psi	30000 psi
Ebs (SN2)	18000 psi	18000 psi
Ebs (SN3)	4800 psi	6150 psi
Δ PSI	1,5	1,5
SN = $a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 + a_3 \times D_3$ (cm) dengan nilai $a_1 = 0,4$ $a_2 = 0,14$ $a_3 = 0,13$		
D1 (Laston)	20 cm	20 cm
D2 (Batu Pecah Kelas A)	15 cm	15 cm
D3 (Sirtu Kelas A)	40,5 cm	38,65 cm

i. Perhitungan Perkerasan Jalan dan Penentuan Tebal Dengan Menggunakan Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Untuk perhitungan data – data perencanaan tebal dapat dilihat sebagai berikut :

- **Menentukan UR**
Untuk perkerasan lentur, umur rencana yang diperoleh adalah 20 tahun
- **Menghitung LHR**
Nilai LHR dapat dilihat pada Tabel 4

Jenis kendaraan (golongan)	5b (bus besar)	6a (truk 2 sumbu 4 roda)	6b (truk 2 sumbu 6 roda)
LHR Survey (kend/hari/2 arah)	14	133	95
LHR awal UR 2021 (kend/hari/2 arah)	15,38	146,15	104,39

- **Menentukan Nilai VDF**
Nilai VDF dapat dilihat pada Tabel 5

Jenis Kendaraan (golongan)	Sumatera	
	Beban aktual	normal

	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5
Bus besar (5B)	1,0	1,0	1,0	1,0
Truk 2 sumbu 4 roda (6A)	0,55	0,5	0,55	0,5
Truk 2 sumbu 6 roda(6B)	4,5	7,4	3,4	4,6

- **Menghitung ESA dan CESA**

$$ESA = (\sum LHR \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

Dengan nilai DD (Faktor distribusi Arah) adalah 0,5 dan Nilai DL (Faktor distribusi Lajur) adalah 100 %.

$$R = \frac{(1 + 0,01 i)^{UR} - 1}{0,01 i}$$

$$R = \frac{(1 + 0,01 \times 4,83)^{20} - 1}{0,01 \times 4,83}$$

$$R = 32,47$$

Adapun perhitungan nilai ESA dan CESA dapat dilihat pada Tabel 6 berikut :

Jenis kendaraan	LHR	VDF4	ESA4
Bus besar	19,78	1	91138,42
Truk 2 sumbu 4 roda	169,235	0,55	476328,608
Truk 2 sumbu 6 roda	121,98	3,4	2103211,618
CESA4			2670678,646

- **Menentukan Desain Fondasi Jalan Minimum**

Untuk CBR segmen 1 = 150 cm

Untuk CBR segmen 2 = 200 cm

- **Menentukan Struktur Perkerasan**

Dari nilai CESA yang didapat adalah >2 juta ESA, maka struktur perkerasan yang diperoleh adalah AC atau HRS tipis diatas lapis pondasi berbutir

- **Menentukan Tebal Perkerasan**

Tebal perkerasan yang diperoleh untuk segmen 1 dan segmen 2 dapat dilihat pada Tabel 7 berikut :

Jenis Lapisan	Tebal Perkerasan (cm)
HRS WC	3
HRS Base	3,5
LFA Kelas A	25
LFA Kelas B	12,5
Total perkerasan	44

4. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan MAK 2002 dan MDP 2017 maka disimpulkan bahwa perhitungan dengan menggunakan MAK 2002 untuk mendapatkan tebal dari masing – masing lapisan perkerasan kita harus melakukan perhitungan lapis demi lapis. Sedangkan dengan menggunakan MDP 2017 lebih dipermudah karena pada metode ini tebal masing – masing lapis perkerasan telah ditentukan sesuai dengan nilai CESA yang didapat dalam perhitungan.

b. Saran

Adapun beberapa saran dalam pelaksanaan rencana perbaikan pada Jalan Lintas Sumatera Sungai Dareh - Sikabau nantinya sebagai berikut:

3. Untuk mendapatkan konstruksi yang dapat bertahan dan mencapai umur rencana yang diharapkan, hendaknya dilakukan kegiatan perawatan secara berkala sehingga jalan dapat berfungsi sesuai dengan umur rencana sehingga bisa meminimalkan terjadinya kerusakan konstruksi jalan.
4. Pada pelaksanaan di lapangan sebaiknya tetap berpedoman pada spesifikasi teknis dan gambar teknik yang telah direncanakan dan dapat mengikuti hasil dari perencanaan sehingga resiko terjadinya kesalahan pada pelaksanaan lebih kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Algi, Muhammad dan Pradipta Welly. 2017. *“Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan di Kabupaten Penajam, Kalimantan Timur.”* Bandung: Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Bina Marga. 2002. *Pedoman Teknis Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur*, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Bina Marga. 2017. *Manual Desain Perkerasan Jalan*, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga. 1997. *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan antar Kota*. Jakarta.
- Hendarsin, Shirley L. 2000. *Perencanaan Geometrik Jalan Raya*. Politeknik Negeri Bandung. Bandung.
- Pradani, Novita. dkk. 2016. *“Analisis Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode PD T-01-2002-B, Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) dan Metode Nottingham Pada Ruas Jalan I Gusti Ngurah Rai Palu”*. Bangka Belitung: Jurusan Teknik Sipil, Universitas Bangka Belitung.
- Saodang, Hamirhan. 2005. *Perancangan Perkerasan Jalan Raya*. Bandung: Nova
- SNI 03-1738-1989. Metode Pengujian DCP

Sukirman, Silvia. 1994. *Dasar – Dasar Perencanaan Geometrik Jalan Raya*. Bandung: Nova.

Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.

Sendow, K, Theo dan Freddy Jansen.2016.“*Analisa Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP)*.” Manado: Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi.

Undang – Undang Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan.

PENGARUH PENAMBAHAN ZAT ADITIF LATEKS (GETAH KARET) TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN LAPISAN ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)

M.Aminsyah¹, Diila Ameliya Putri²

¹ Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: Muhammad.aminsyah@yahoo.co.id

² Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: dillaamel12@gmail.com

ABSTRAK

Highway pavement is part of the economic support in Indonesia. The rapid development of the economy in Indonesia creates many problems for the pavement of the highways in the country, plus the erratic weather in this country makes the existing pavement worse. Addition of latex additives to road pavement can increase the strength of asphalt when holding a vehicle load. Mixing AC-BC asphalt and latex additives can be used as a solution for highways that receive heavy loads from vehicles and also receive standing water due to high rainfall like those in Indonesia. Addition of Latex Additives provides many advantages in the construction of road pavement, in addition to additive replacement materials, where Latex is often found in Indonesia. The use of latex also has the advantage of decreasing penetration, increasing softening point and increasing flash point. Addition of latex or natural rubber latex to asphalt can reduce the sensitivity to temperature on asphalt along with the addition of natural rubber latex. In this research Latex which was put into asphalt by 9% and asphalt content of 6.73% obtained from the results of previous studies. The durability of using this latex additive and comparison is done by varying the time of immersion done on days 0, 1, 4, 7 and 7 of day 14. In the durability of the asphalt mixture, three indicators are used, namely the Residual Strength Index (IKS), the First Durability Index (IDP), the Second Durability Index (IDK) and the durability curve. The requirements for the IKS value according to the 2010 revised 3 Bina marga general specifications are 90%. The test results show the value of the Residual Strength Index has decreased in strength with standard materials, which meet the requirements of the value of the Residual Strength Index at 0-2 days and on days 3 through 14 no longer meet the standards of > 90. However, the value of the Residual Strength Index with the Addition of Latex Additives (Gum Latex) that meets the requirements that is on 0-4 days and on days 5 through 14 no longer meets the standard of > 90. The value of the First Durability Index with standard materials is 0.531, and when the test specimen is added Latex additives the value is 0.513. The value of the Second Durability Index with standard materials is 17,379 and when the test object is added the Latex additive the value is 11,912. This shows the loss of strength in the value of IDP and IDK because it has a positive value.

Kata kunci : Latex, Campuran AC-BC and Durabilitas

1. PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan salah satu negara yang beriklim tropis, dengan curah hujan dan panas yang berganti-ganti dan kelembaban yang tinggi, sehingga sangat berpengaruh pada ketahanan (durabilitas) perkerasan jalan raya. Ditambah lagi dengan beban yang diterima oleh perkerasan jalan raya akibat bertambahnya penggunaan transportasi. Aspal beton atau *Asphalt Concrete* adalah campuran dari agregat bergradasi menerus dengan bahan bitumen. Kekakuan utama aspal beton ada pada keadaan butir agregat yang saling mengunci dan sedikit pada pasir/filler bitumen sebagai mortar. Aspal beton untuk jenis perkerasan jalan terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan atau tanpa bahan tambahan (*filler*). *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus (*wearing course*) dan diatas lapisan pondasi (*base course*). Dalam upaya meningkatkan kekuatan struktur perkerasan jalan, disamping perlu adanya penggunaan campuran beraspal panas dengan pemilihan jenis material yang baik dapat juga dengan memodifikasi dengan menggunakan zat aditif sehingga diharapkan dapat meningkatkan kinerja campuran aspal salah satu bahan yang dapat digunakan yaitu Lateks (getah karet). Bahan ini memberikan banyak keuntungan dalam konstruksi pekerjaan jalan dan juga banyak di jumpai di Indonesia. Penambahan Lateks atau getah karet kedalam aspal dapat menurunkan teperatur pada aspal seiring penambahan getah karet. Penambahan ini juga meningkatkan ketahanan (durabilitas) terhadap kerusakan yang disebabkan oleh cuaca dan beban yang diterima oleh perkerasan jalan (Wijaya, Evan et al : 2016). Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perendaman terhadap durabilitas campuran AC-BC dengan menggunakan zat aditif Lateks (Getah Karet). Manfaat dari penelitian ini adalah dengan diketahuinya durabilitas setelah dilakukannya variasi waktu terhadap perendaman perkerasan aspal beton AC-BC menggunakan zat aditif Lateks (Getah Karet), maka diharapkan dapat dijadikan bahan referensi untuk mengetahui tingkat kerusan jalan yang terendam pada selang waktu tertentu. Dan juga dapat menjadi dasar untuk meneliti kelebihan zat aditif Lateks (Getah Karet).

2. LANDASAN TEORI

2.1 Agregat

Agregat merupakan material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku besi yang dipakai secara bersama-sama dengan suatu media pengikat yang digunakan sebagai bahan utama penyusun jalan. Menurut Sukirman (2003), agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90% - 95% agregat berdasarkan presentase berat, atau 75% - 85% agregat berdasarkan presentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

2.2 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*), berwarna hitam atau coklat tua, pada temperature ruang berbentuk padat/agak padat. Jika dipanaskan pada suatu temperature tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair. Jika temperature rendah, aspal akan dapat mengeras/padat. Jenis aspal berdasarkan tempat diperolehnya terbagi atas 2 (dua) yaitu aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam adalah aspal yang didapatkan di alam

langsung seperti aspal buton yang terdapat di Indonesia dan aspal dari danau Pitch di Afrika. Sedangkan aspal minyak adalah aspal yang berasal dari residu pengilangan minyak bumi.

2.3 Lateks (Getah Karet)

Lateks merupakan getah pohon karet yang cair dan berwarna putih pekat. Lateks memiliki fungsi sebagai bahan dasar pembuatan barang yang memerlukan durabilitas dan elastisitas tinggi. Selain itu, lateks juga memiliki kriteria bermutu baik, seperti : tidak kotor/mengandung serpihan kayu, daun dan debu, kadar karet kering berkisar antara 20% - 29%, tidak tercampur dengan air, dan memiliki bau umum karet. Lateks yang baik memiliki daya lekat seperti lem kayu yang memiliki kekentalan dan warna putih pekat. Lateks banyak digunakan pada produksi ban, karet gelang, dan juga barang yang dituntut memiliki kekuatan dan kelenturan yang baik. Lateks memiliki beberapa keunggulan seperti daya elastis yang baik, plastisitas yang tinggi, tidak mudah aus (tidak mudah habis karena gesekan) dan tidak mudah panas. Selain itu, daya tahan yang tinggi terhadap keretakan, tahan hentakan yang berulang-ulang, serta daya lengket yang tinggi terhadap berbagai bahan. Sehingga lateks dapat meningkatkan durabilitas pada perkerasan jalan.

2.1 Asphal Concrete-Binder Course (AC-BC)

AC-BC (*Asphal Concrete-Binder Course*) merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus (*wearing course*) dan diatas lapisan pondasi (*base course*). Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan bawahnya yaitu base dan sub grade (tanah dasar). Karakteristik yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas. Toleransi tebalnya tidak lebih dari 4,0 mm. Tebal nominal minimum biasanya adalah 6 cm.

2.2 Pemeriksaan Marshall

Pengujian Marshall berfungsi untuk mendapatkan suatu campuran aspal yang memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan di dalam kriteria perencanaan yang telah di tentukan (SNI 06-2489-1991). Pengujian marshall meliputi pengukuran stabilitas dan pelelehan (*flow*) suatu campuran beraspal dengan butir agregat berukuran maksimum 25,4 mm (1 in).

- Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (*flow*) yang dinyatakan dalam kilogram.
- Pelelehan (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban, dinyatakan dalam mm.

2.3 Indeks Durabilitas

Durabilitas adalah kemampuan campuran bitumen untuk terus menerus melawan pengaruh air dan suhu. Faktor yang mempengaruhi sifat durabilitas mengalami

penurunan adalah air dan juga pemadatan. Sehingga untuk melihat potensi dari factor tersebut dapat diukur melalui indeks durabilitas.

2.6.1 Indeks Kekuatan Sisa

Indeks kekuatan diperoleh melalui pengujian terhadap sifat mekanik benda uji (stabilitas dan flow) yang dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama diuji stabilitas *Marshall*-nya setelah perendaman dalam air pada suhu 60°C selama waktu T1 dan kelompok kedua diuji setelah perendaman pada suhu 60° C selama waktu T2. Dari nilai stabilitas *Marshall* yang diperoleh pada kedua perendaman tersebut, ditentukan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) *Marshall* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (HUNTER, 1994) :

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\%$$

Dimana :

- S1 = nilai rata-rata stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama T1 menit (Kg)
 S2 = nilai rata-rata stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama T2 menit (Kg)
 IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

Nilai IKS yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah minimum 90%. Nilai tersebut menandakan bahwa campuran aspal masih dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh pengaruh air.

2.6.2 Indeks Durabilitas Pertama

Indeks durabilitas pertama didefinisikan sebagai jumlah kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan. Indeks durabilitas pertama dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- R = Indeks Penurunan Stabilitas (%)
 Si+1 = Persentase kekuatan sisa pada waktu ti+1
 Si = Persentase kekuatan sisa pada waktu ti
 ti , ti+1 = Periode perendaman (dimulai dari awal pengujian)

Sebagai contoh, kalau pengukuran diambil setelah 1,3,5 dan 7 hari perendaman, maka indeks kekuatan menjadi:

$$r = \frac{S_0 - S_1}{1} + \frac{S_1 - S_3}{2} + \frac{S_3 - S_5}{2} + \frac{S_5 - S_7}{2} \dots\dots\dots(3)$$

Nilai ‘r’ yang positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai ‘r’ negatif mengindikasikan adanya perolehan kekuatan.

2.6.2 Indeks Durabilitas Kedua

Indeks kekuatan kedua didefenisikan sebagai luas kehilangan kekuatan rata-rata antara kurva keawetan dengan garis $S_0 = 100$ persen. Indeks Durabilitas Kedua dapat dihitung dengan menggunakan rumusan sebagai berikut :

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_{i+1} - t_i)] \dots(4)$$

Dimana :

- S_{i+1} = prosentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1}
- S_i = prosentase kekuatan sisa pada waktu t_i
- t_i, t_{i+1} = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian)
- t_n = total waktu perendaman

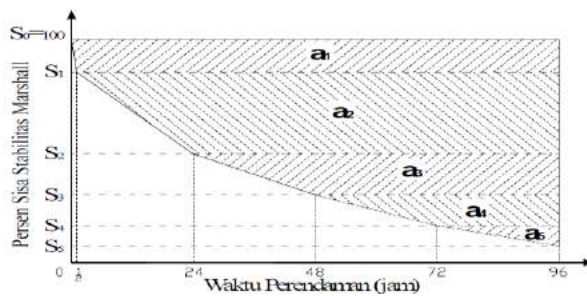
Nilai ‘a’ positif menggambarkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai ‘a’ negatif merupakan pertambahan kekuatan. Berdasarkan definisi tersebut, maka nilai $a < 100$. Oleh karena itu, memungkinkan untuk menyatakan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a) sebagai berikut :

$$S_a = (100 - a) \dots\dots\dots(5)$$

Nilai Indeks Durabilitas Kedua juga dapat dinyatakan dalam bentuk nilai absolut dari ekuivalen kehilangan kekuatan sebagai berikut:

$$A = \frac{a}{100} \times S_0 \dots\dots\dots(6)$$

1.4 Kurva Keawetan



Gambar 2.4 Skema Kurva Keawetan

Pada Gambar 2.6 diatas, indeks durabilitas kedua (a) adalah luas daerah pada kurva keawetan yang dibatasi oleh garis kurva keawetan dan garis horizontal pada persentase stabilitas yang tersisa sebesar 100% (luas daerah yang diarsir). Sedangkan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a) ditunjukkan oleh luas daerah yang berada dibawah garis kurva keawetan atau sama dengan luas daerah yang tidak diarsir

3. ANALISIS DAN PENELITIAN

3.1 Analisa

Dari praktikum yang telah dilakukan sebelumnya di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas oleh saudara Rahma Septika Syahid didapatkan kadar aspal optimum sebesar 6.73% dengan persentase penambahan Lateks (Getah Karet) sebesar 9% dari berat total aspal pada campuran AC-BC, Selanjutnya dilakukan pembuatan sampel baru dengan variasi lama waktu perendaman yaitu 0 hari, 1 hari, 4 hari, 7 hari, dan 14 hari pada *waterbath*.

3.2 Indeks Durabilitas Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)

Untuk melihat bagaimana besar nilai durabilitas yang diakibatkan oleh variasi perendaman dengan parameter Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas pertama (IDP), Indeks Durabilitas Kedua (IDK).

3.2.1 Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks Kekuatan Sisa (IKS) merupakan perbandingan dari stabilitas yang direndam selama waktu T1 dengan nilai stabilitas yang direndam selama waktu T2.

Tabel 3.1 Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Bahan Standar

Durasi Rendaman (Hari)	Stabilitas (Kg)	Stabilitas Rata - Rata (Kg)	Indeks Kekuatan Sisa/IKS (%)
0	1960.69	1873.299	100
	1890.17		
	1769.04		
1	1642.68	1780.740	95.059
	1832.22		
	1867.32		
4	1530.36	1427.774	76.217
	1362.16		
	1390.80		
7	1480.05	1371.630	73.220
	1244.88		
	1389.96		
14	1453.84	1317.264	70.318
	1173.28		
	1324.67		

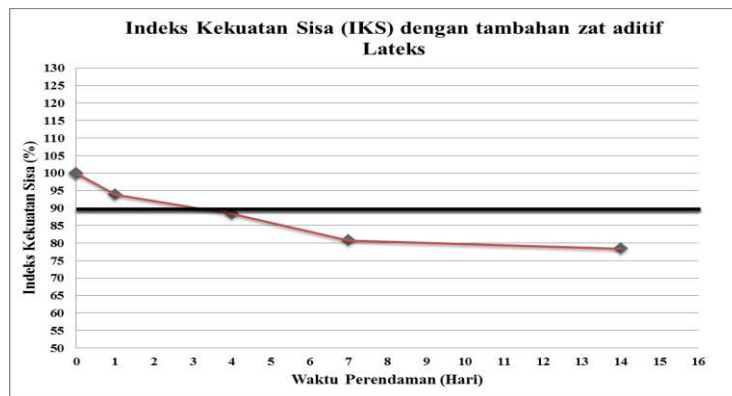


Gambar 3.1 Hubungan antara Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Bahan Standar dengan Waktu Perendaman

Hasil pengujian pada **Tabel 3.1** menunjukkan nilai Indeks Kekuatan Sisa mengalami penurunan kekuatan dengan bahan standar. Benda uji pada bahan standar yang memenuhi persyaratan yaitu pada 0-2 hari dan pada hari ke-3 hingga ke 14 tidak lagi memenuhi standar yaitu >90.

Tabel 3.2 Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dengan Zat Aditif Lateks (Getah Karet)

Durasi Rendaman	Stabilitas	Stabilitas Rata - Rata	Indeks Kekuatan Sisa/IKS
(Hari)	(Kg)	(Kg)	(%)
0	2334.15	2306.967	100
	2185.91		
	2400.84		
1	2122.85	2199.366	95.336
	2274.48		
	2200.77		
4	2168.01	2097.284	90.911
	2121.62		
	2002.22		
7	2057.33	1894.179	82.107
	1657.89		
	1967.32		
14	1614.41	1641.838	71.169
	1673.10		
	1638.00		



Gambar 3.2 Hubungan antara Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dengan Tambahan Zat Aditif Lateks (Getah Karet) dengan Waktu Perendaman

Hasil pengujian pada **Tabel 3.2** terlihat nilai Indeks Kekuatan Sisa dengan Tambahan Zat Aditif Lateks (Getah Karet) juga mengalami penurunan kekuatan. Benda uji dengan tambahan zat aditif Lateks (Getah Karet) yang memenuhi persyaratan yaitu pada 0-4 hari dan pada hari ke-5 hingga ke 14 tidak lagi memenuhi standar yaitu >90.

4.3.2 Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama (IDP) merupakan jumlah kelandaian yang berurut dari kurva keawetan (durabilitas). Hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai indeks durabilitas pertama (IDP) pada campuran ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.2 Indeks Durabilitas Pertama (IDP) bahan Standar

Durasi Rendaman	IKS (%)	$S_i - S_{i+1}$	$t_{i+1} - t_i$	r (%)	
		A	B	a/b	Kumulatif
0 Hari (0,5 jam)	100.000	-	-	-	-
1 Hari (24 jam)	95.059	4.941	23.500	0.210	0.210
4 Hari (96 jam)	76.217	18.842	72.000	0.262	0.472
7 Hari (168 jam)	73.220	2.997	72.000	0.042	0.514
14 Hari (336 jam)	70.318	2.902	168.000	0.017	0.531
Σ				0.531	

Dari hasil perhitungan pada **Tabel 3.3** terlihat bahwa nilai IDP dengan bahan standar pada campuran AC-BC yaitu sebesar 0,531, yang artinya jika nilai “r” bernilai positif maka menunjukkan adanya kehilangan kekuatan sebesar 0,531%.

Tabel 3.4 Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dengan Zat Aditif Lateks.

Durasi Rendaman	IKS (%)	$S_i - S_{i+1}$	$t_{i+1} - t_i$	r (%)	
		a	b	a/b	Kumulatif
0 Hari (0,5 jam)	100.000	-	-	-	-
1 Hari (24 jam)	91.649	8.351	23.500	0.355	0.355
4 Hari (96 jam)	84.206	7.443	72.000	0.103	0.459
7 Hari (168 jam)	80.732	3.474	72.000	0.048	0.507
14 Hari (336 jam)	79.659	1.073	168.000	0.006	0.513
Σ				0.513	

Dan pada **Tabel 3.4** terlihat nilai IDP juga bernilai positif sebesar 0,513. Yang artinya terjadi kehilangan kekuatan sebesar 0.513% ketika benda uji ditambahkan zat aditif Lateks (Getah Karet).

4.3.3 Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua (IDK) merupakan luas kehilangan kekuatan rata-rata antara keawetan dengan garis $S_0 = 100\%$. Nilai a positif mengindikasikan kehilangan kekuatan dan nilai a negatif merupakan penambahan kekuatan untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.5 Indeks Durabilitas Kedua (IDK) Bahan Standar

Durasi Rendaman	IKS (%)	$S_i - S_{i+1}$	$t_{i+1} - t_i$	$2t_n - b$	$a = [1/2t_n].a.c$		S_a
		a	b	c	e	Kumulatif f	100-e
0 Hari (0,5 jam)	100.000	-	-	-	-	-	100.000
1 Hari (24 jam)	95.059	4.941	23.500	24.500	2.522	2.522	97.478
4 Hari (96jam)	76.217	18.842	72.000	120.000	11.776	14.298	88.224
7 Hari (168 jam)	73.220	2.997	72.000	264.000	2.355	16.653	97.645
14 Hari (336 jam)	70.318	2.902	168.000	168.000	0.726	17.379	99.274
Σ					17.379		

Terlihat pada **Tabel 3.5** nilai IDK dengan bahan standar bernilai positif yaitu dengan nilai “a” sebesar 17,379% , yang mana artinya jika nilai IDK bernilai positif maka terjadi kehilangan kekuatan sebesar 17,379%.

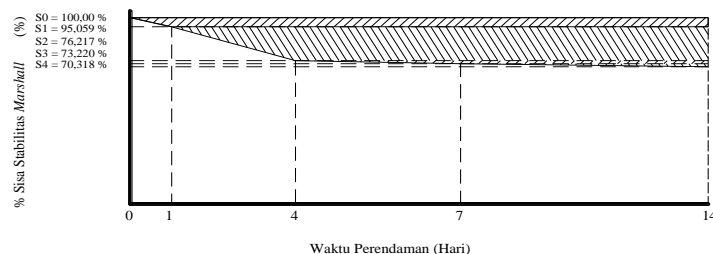
Tabel 3.6 Indeks Durabilitas Kedua (IDK) dengan Tambahan Zat Aditif Lateks

Durasi Rendaman	IKS (%)	$S_i - S_{i+1}$	$t_{i+1} - t_i$	$2t_n - b$	$a = [1/2t_n].a.c$		s_a
		a	b	c	e	Kumulatif	100-e
0 Hari (0,5 jam)	100.000	-	-	-	-	-	100.000
1 Hari (24 jam)	91.649	8.351	23.500	24.500	4.263	4.263	95.737
4 Hari (96jam)	84.206	7.443	72.000	120.000	4.652	8.915	95.348
7 Hari (168 jam)	80.732	3.474	72.000	264.000	2.730	11.644	97.270
14 Hari (336 jam)	79.659	1.073	168.000	168.000	0.268	11.912	99.732
Σ					11.912		

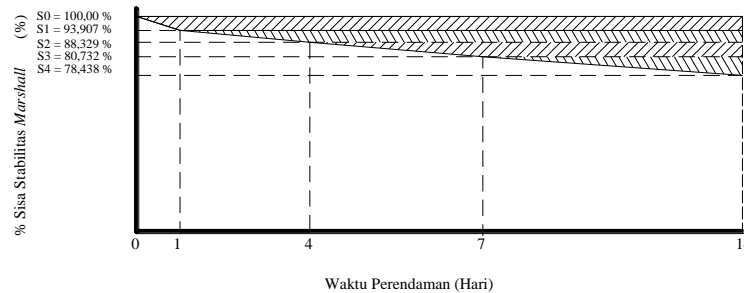
Pada **Tabel 3.6** terlihat bahwa nilai IDK dengan tambahan zat aditif Lateks (Getah Karet) juga bernilai positif yaitu dengan nilai “a” sebesar 11,912%, yang mana artinya jika nilai IDK bernilai positif maka terjadi kehilangan kekuatan sebesar 11,912%.

4.4 Grafik Keawetan

Grafik ini menunjukkan persentase stabilitas yang tersisa akibat lama waktu perendaman. Dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.3 % Sisa Stabilitas Bahan Standar VS Waktu Perendaman



Gambar 3.4 % Sisa Stabilitas dengan Tambahan Zat Aditif Lateks (Getah Karet) VS Waktu Perendaman

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai persentase sisa stabilitas baik itu pada bahan standar maupun dengan tambahan zat aditif Lateks (Getah Karet) mengalami penurunan yang diakibatkan karena semakin bertambahnya waktu perendamannya. Bagian yang diarsir merupakan persentase kehilangan stabilitas selama waktu perendaman dan terlihat juga dengan adanya penambahan zat aditif Lateks (Getah Karet) dapat meningkatkan durabilitas/ keawetan dari campuran aspal tersebut.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- 1 Durabilitas campuran AC-WC dengan penambahan zat aditif Latek (getah karet) lebih tinggi daripada durabilitas pada campuran AC-BC dengan bahan standar.
- 2 Durabilitas campuran AC-BC menggunakan bahan standar hanya memenuhi persyaratan hingga hari ke 2 durasi perendaman yaitu sebesar 95,059% yang sesuai dengan spesifikasi umur 2010 divisi 6 revisi 3 yaitu >90% dan di hari ke 3 sampai hari ke 14 tidak memenuhi spesifikasi.
- 3 Durabilitas campuran AC-BC menggunakan zat aditif Latek (getah karet) hanya memenuhi persyaratan hingga hari ke 3 yaitu sebesar 93,907 %. Dengan tambahan zat aditif lateks (getah karet) kinerja Durabilitas pada durasi perendaman lebih lama di bandingkan dengan kinerja Durabilitas bahan standar atau tanpa tambahan zat aditif .

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga. 2010. *“Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Revisi 3 Divisi VI Untuk Perkerasan Aspal. Departemen Pekerjaan Umum”*.
 Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. NOVA. Bandung.
- Craus, J. Et al. 1981. *“Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Typa and Properties”*. *Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists Technical Sessions*. San Diego, California, February 16, 17 and 18, 1981, Volume 50

- Amirudin,dkk.2013. “*Penambahan Aditif Laeks Terhadap Karakteristik Campuran Asphalt Hot Roller Sheet-Wearing Course (HRS-WC).*” Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanudin
- RSNI, 2003. *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*. In: RSNI M-01-2003. Jakarta: Pusjatan-Balitbang PU,pp. 1-18.
- Tambang,dkk.2013. “*Pengaruh Penambahan Lateks Alam Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*”. Undergraduated thesis,Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.
- Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. NOVA. Bandung.
- Sukirman, Silvia. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Granit. Jakarta.
- Wijaya Evan. 2016, “*Pengaruh Penambahan Zat Aditif Lateks Pada Beton Aspal Terhadap Stabilitas*”. Jurnal .Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Krida Wacana Jakarta Barat.

PENGARUH PENAMBAHAN SELULOSA ASETAT PADA FILTER ROKOK TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN ASPAL AC-WC (ASHPALT CONCRETE – WEARING COURSE)

M. Aminsyah¹, Faizul Abdi²

¹Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: Muhammad.aminsyah@yahoo.co.id

²Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: faizulabdi@gmail.com

ABSTRACT

Indonesia is a tropical country that has high level of rain and humidity, also a increase use of transportation so that it affect the durability of road pavement. So many effort were made to improve the quality of road pavement and one of them used polymer modified asphalt. The polymer that is often used is a type of natural polymer such a cellulose. Cigarette filters are made from cellulosa acetate which has a characteristic of thermoplastic ,resistant to pressure and heat. In this research filter cigarette waste was mixed into 9% asphalt and 6.85 asphalt content. The immersion was carried out with 5 variations of immersion ,namely 0 days,1 day, 4 days, 7 days, and 14 days.The result of the study indicate the value of the residual strength index after adding a cigarette filter until the 5th day still meets the specifications while the standard material only meets the specifications until the 4th day which is > 90% . The value of the first durability index with additions of cigarette filters is positive at 0,461% and 0.385%. And also the value of the second durabilities index with standard materials and additional cigarette filter also positive which is 10.914% and 11.664%. Positive values on the IDP and IDK mean the loss of asphalt mixture strength.

Keywords : AC-WC Mixture, Polymer Modified Asphalt, Cellulosa Acetate, Cigarette Filter Waste, and Durability.

ABSTRAK

Indonesia merupakan Negara beriklim tropis yang memiliki tingkat hujan dan kelembaban yang tinggi serta penggunaan transportasi yang meningkat sehingga berpengaruh terhadap ketahanan perkerasan jalan raya. Banyak dilakukan upaya untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan dan salah satunya menggunakan aspal modifikasi polimer. Polimer yang sering digunakan adalah jenis polimer alam seperti selulosa. Filter rokok terbuat dari selulosa asetat yang memiliki sifat thermoplastic, tahan terhadap tekanan dan panas. Oleh karena itu dilakukan penelitian yang diharapkan bisa mengatasi masalah yang terjadi pada perkerasan jalan raya. Pada penilitian ini limbah filter rokok yang disubsitusikan ke dalam aspal sebesar 9% dan kadar aspal sebesar 6,85. Kemudian dilakukan perendaman dengan 5 variasi rendaman yaitu 0 hari, 1 hari, 4 hari, 7 hari, dan 14 hari. Hasil penilitian menunjukkan nilai Indeks Kekuatan Sisa setelah ditambahkan Filter Rokok hingga hari ke 5 masih memenuhi spesifikasi sedangkan dengan bahan standar hanya memenuhi spesifikasi hingga hari ke 4 yaitu >90%. Nilai Indeks Durabilitas Pertama dengan bahan standar dan dengan tambahan Filter Rokok bernilai positif sebesar 0,461% dan 0,385%. Dan juga nilai Indeks Durabiltas Kedua dengan bahan standar dan tambahan filter rokok juga bernilai positif yaitu sebesar 10,914% dan 11,649%. Nilai positif pada IDP dan IDK berarti terjadinya kehilangan kekuatan campuran aspal.

Kata kunci : Campuran AC-WC, Aspal Modifikasi Polimer, Selulosa Asetat, Limbah Filter Rokok, dan Durabilitas.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu Negara beriklim tropis yang memiliki tingkat hujan dan kelembaban yang tinggi, sehingga sangat berpengaruh pada ketahanan (durabilitas) perkerasan jalan raya. Aspal merupakan salah satu bahan utama dalam proses pembuatan perkerasan jalan yang berfungsi sebagai bahan pengikat. Aspal memiliki bahan dasar utama yaitu hidrokarbon yang disebut bitumen dan bersifat *thermoplastics*. Namun aspal masih belum mampu mengatasi masalah yang disebabkan oleh temperatur tinggi, volume lalu lintas yang tinggi dan *over loading*. Maka dari itu untuk meningkatkan mutu lapisan perkerasan aspal beton, salah satu cara yaitu dengan menambahkan zat aditif sejenis polimer dengan aspal. Polimer yang sering digunakan adalah jenis polimer alam seperti selulosa, pati, wol dan karet. Salah satu jenis selulosa adalah selulosa asetat yang merupakan bahan pembuatan filter rokok, limbah rokok berupa puntung/filter rokok membutuhkan waktu selama lebih dar 10 tahun untuk terurai. Filter rokok terbuat dari selulosa asetat. Selulosa asetat yang terdapat pada filter rokok sebagian besar memiliki komponen berbasis karbon yang disebut pirolisis. Selulosa asetat yang memiliki sifat termoplastic, berkaitan dengan plasticizers, tahan terhadap panas dan tekanan. Oleh karena itu, karena aspal kaya akan karbon yang terkandung didalamnya dan ketika di tambahkan filter rokok yang mengandung selulosa asetat yang memiliki komponen berbasis karbon juga, sehingga karbon yang terdapat pada aspal akan semakin banyak dan diharapkan bisa mengatasi masalah-masalah yang terjadi pada perkerasan jalan raya. Maka penulis tertarik untuk dilakukan penelitian dan uji laboratorium tentang bahan tambahan dari filter rokok tersebut.

Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perendaman terhadap durabilitas campuran AC-WC dengan penggunaan limbah filter rokok sebagai zat aditif tambahannya dengan variasi perendaman 0 hari, 1 hari, 4 hari, 7 hari, dan 14 hari yang dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Perkerasan Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas. Dengan persyaratan campuran aspal beton yang digunakan merujuk ke Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3, Divisi VI untuk Perkerasan Aspal. Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Diharapkan limbah filter rokok akan dapat meningkatkan kualitas campuran aspal, baik dari segi kekuatan, ketahanan, dan juga kenyamanan bagi lalu lintas.
2. Diharapkan dengan penggunaan limbah filter rokok dapat mengurangi masalah sampah yang terjadi di Indonesia.
3. Dengan mengetahui kinerja durabilitas setelah dilakukan variasi waktu perendaman terhadap campuran aspal beton AC-WC menggunakan zat tambahan dari filter rokok, diharapkan bisa menjadi bahan referensi untuk mengetahui tingkat kerusakan jalan yang terendam.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material perekat (cementitious), berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal merupakan material yang paling umum digunakan untuk bahan pengikat agregat, oleh karena itu seringkali bitumen disebut pula sebagai aspal. (Silvia Sukirman, 2003)

2.2 Agregat

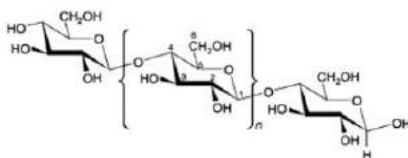
Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah atau mineral lainnya berupa agregat hasil alam maupun hasil pengolahan yang digunakan sebagai bahan utama penyusun jalan. Agregat berbentuk pecah akan memiliki gaya gesek dalam yang tinggi dan saling mengunci, sehingga akan menambah kestabilan konstruksi lapis keras guna menghasilkan stabilitas yang tinggi diisyaratkan bahwa minimum 40% dari agregat yang tertahan saringan No.4 memiliki paling sedikitnya satu bidang pecah (Kerbs and Walker, 1971).

Manurut Sukirman (2003), agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90% - 95% agregat berdasarkan presentase berat, atau 75% - 85% agregat berdasarkan presentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

2.3 Selulosa Asetat

Serat selulosa asetat dibuat berdasarkan pelarutan, yang merupakan sebuah selulosa yang mengalami reaksi asetilasi parsial. Selulosa diasetilasi dengan asetat anhidrida $(CH_3CO)_2O$, dan sebagai solven digunakan asam asetat (CH_3COOH) . Sehingga selulosa asetat memiliki gugus hidroksil dalam struktur penyusun selulosa asetat (CH_2OH) . Salah satu penggunaan terbesar serat selulosa asetat saat ini yaitu sebagai serat material pada filter rokok. Sehingga, tidak menutup kemungkinan bahwa filter rokok yang digunakan memiliki karakteristik yang sama dengan serat asetat, yaitu :

1. Bersifat termoplastik,
2. Absorpsi selektif dan penghilangan zat organik tingkat rendah,
3. Mampu berikatan dengan plasticizers, tahan terhadap panas dan tekanan.



Gambar 2.1 Struktur Kimia Selulosa Asetat

2.4 Aspal Modifikasi Polimer

Aspal modifikasi merupakan campuran antara aspal keras dengan suatu bahan tambah. Bahan tambah yang dapat digunakan sebagai modifikasi aspal salah satunya adalah

polimer. Aspal beton yang menggunakan aspal modifikasi biasanya memiliki nilai stabilitas marshall dengan rata-rata diatas 1000 kg dan lebih tinggi dari aspal biasa. Aspal modifikasi. Aspal modifikasi diperkenalkan di luar negeri lebih dari 15 tahun yang lalu dan di Indonesia pada tahun 1995 oleh shell. Produksi lokal digelar tahun 1996 untuk jalan tol berupa lapis tipis diatas perkerasan beton semen dengan hasil mencapai lebih dari 12 tahun. Ketentuan sifat-sifat campuran mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 Divisi VI Tentang Perkerasan Aspal.

2.5 Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)

Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. Lapisan permukaan pada perkerasan jalan berfungsi sebagai penahan beban roda selama masa pelayanan sehingga harus mempunyai stabilitas yang tinggi, dan harus kedap air sehingga air hujan tidak meresap ke lapisan dibawahnya. Tebal nominal minimum untuk lapisan AC-WC adalah 4 cm dan toleransi tebal yang diperbolehkan tidak lebih dari 3 mm. AC-WC *Multigrade* merupakan salah satu implementasi perkembangan teknologi *hot mix* di Indonesia, dan sangat cocok untuk jalan raya dengan lalu lintas berat dan padat.

2.6 Pemeriksaan Marshall

Pengujian marshall berfungsi untuk mendapatkan suatu campuran aspal yang memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan di dalam kriteria perencanaan yang telah di tentukan (SNI 06-2489-1991). Menurut RSNI M-01-2003 pengujian marshall meliputi 2 pengukuran :

- Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (*flow*) yang dinyatakan dalam kilogram.
- Pelelehan (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban, dinyatakan dalam mm.

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguji (*proving ring*) yang berkapasitas 2500 kg atau 5000 pon. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran.

2.7 Indeks Durabilitas

2.7.1 Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks kekuatan didapatkan dengan pengujian terhadap sifat mekanik benda uji (stabilitas dan *flow*) yang dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama diuji stabilitas *Marshall*-nya setelah perendaman dalam air pada suhu 60°C selama waktu T1 dan kelompok kedua diuji setelah perendaman pada suhu 60° C selama waktu T2. Dari nilai stabilitas *Marshall* yang diperoleh pada kedua perendaman tersebut, ditentukan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) *Marshall* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

S1 = nilai rata-rata stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama

- T1 menit (Kg)
- S2 = nilai rata-rata stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama T2 menit (Kg)
- IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

Nilai IKS yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah minimum 90%. Nilai tersebut menandakan bahwa campuran aspal masih dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh pengaruh air.

2.7.2 Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks durabilitas pertama dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- R = Indeks Penurunan Stabilitas (%)
- Si+1 = Persentase kekuatan sisa pada waktu ti+1
- Si = Persentase kekuatan sisa pada waktu ti
- ti , ti+1 = Periode perendaman (dimulai dari awal pengujian)

Sebagai contoh, kalau pengukuran diambil setelah 1,3,5 dan 7 hari perendaman, maka indeks kekuatan menjadi:

$$r = \frac{S_0 - S_1}{1} + \frac{S_1 - S_3}{2} + \frac{S_3 - S_5}{2} + \frac{S_5 - S_7}{2} \dots\dots\dots(3)$$

Nilai ‘r’ yang positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai ‘r’ negatif mengindikasikan adanya perolehan kekuatan.

2.7.3 Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks kekuatan kedua didefinisikan sebagai luas kehilangan kekuatan rata-rata antara kurva keawetan dengan garis S0 = 100 persen. Indeks Durabilitas Kedua dapat dihitung dengan menggunakan rumusan sebagai berikut :

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_{i+1} - t_i)] \dots\dots(4)$$

Dimana :

- Si+1 = prosentase kekuatan sisa pada waktu ti+1
- Si = prosentase kekuatan sisa pada waktu ti
- ti , ti+1 = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian)
- tn = total waktu perendaman

Indeks durabilitas ini menggambarkan kehilangan kekuatan satu hari. Nilai ‘a’ positif menggambarkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai ‘a’ negatif merupakan

pertambahan kekuatan. Berdasarkan definisi tersebut, maka nilai $a < 100$. Oleh karena itu, memungkinkan untuk menyatakan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a) sebagai berikut :

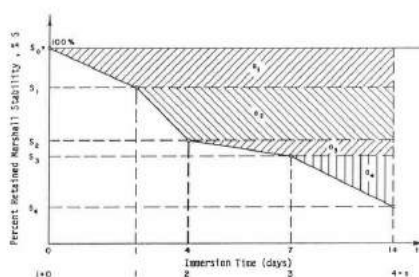
$$S_a = (100 - a) \dots\dots\dots(5)$$

Nilai Indeks Durabilitas Kedua juga dapat dinyatakan dalam bentuk nilai absolut dari ekuivalen kehilangan kekuatan sebagai berikut:

$$A = \frac{a}{100} \times S_0 \dots\dots\dots(6)$$

2.8 Kurva Keawetan

Hasil pengujian yang dilaporkan setelah didapatkan nilai indeks durabilitas kedua berdasarkan metode Durability Index Test di buat dalam bentuk grafik yang menggambarkan persentase stabilitas yang tersisa dengan waktu perendaman. Grafik ini disebut dengan grafik kurva keawetan (Durability Curve) seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Skema Kurva Keawetan (Sumber : CRAUS, J dan kawan-kawan (1981))

Pada Gambar 2.2 diatas, indeks durabilitas kedua (a) adalah luas daerah pada kurva keawetan yang dibatasi oleh garis kurva keawetan dan garis horizontal pada persentase stabilitas yang tersisa sebesar 100% (luas daerah yang diarsir). Sedangkan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a) ditunjukkan oleh luas daerah yang berada dibawah garis kurva keawetan atau sama dengan luas daerah yang tidak diarsir.

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan di laboratorium, didapatkan bahwa kadar aspal optimum sebesar 6,85% dan kadar filter rokok yang disubstitusikan adalah 9%. Kemudian dilanjutkan dengan pemeriksaan durabilitas terhadap sampel dengan kadar aspal optimum tersebut menggunakan suhu tetap 60⁰C di waterbath. Pemeriksaan durabilitas dilakukan dengan variasi waktu 0,1,4,7 dan 14 hari dengan total sampel sebanyak 15 buah.

3.1 Indeks Durabilitas Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)

3.1.1 Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks Kekuatan Sisa (IKS) merupakan perbandingan dari nilai stabilitas yang direndam selama waktu T1 dengan nilai stabilitas yang direndam selama waktu T2.

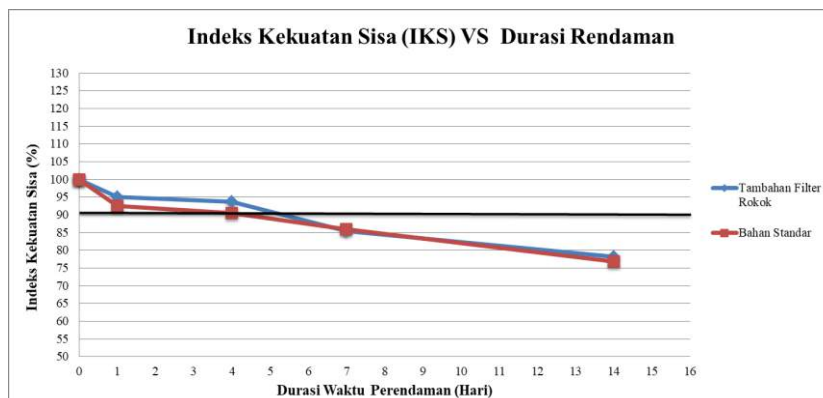
Tabel 3.1 Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Bahan Standar

Durasi Rendaman (Hari)	Stabilitas Rata - Rata (Kg)	Indeks Kekuatan Sisa/IKS (%)
0	2118,542	100,000
1	1961,809	92,602
4	1918,250	90,546
7	1822,252	86,014
14	1627,993	76,845

Tabel 3.2 Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dengan Tambahan Zat Aditif Filter Rokok

Durasi Rendaman (Hari)	Stabilitas Rata - Rata (Kg)	Indeks Kekuatan Sisa/IKS (%)
0	2190.252	100.000
1	2083.271	95.116
4	2054.352	93.795
7	1872.468	85.491
14	1714.226	78.266

Hasil pengujian pada **Tabel 3.1** menunjukkan nilai Indeks Kekuatan Sisa mengalami penurunan kekuatan dengan bahan standar sebesar 7,398%, 2,056%, 4,531%, dan 9,169%. Sedangkan pada **Tabel 3.2** terlihat nilai Indeks Kekuatan Sisa dengan Tambahan Zat Aditif Filter Rokok juga mengalami penurunan kekuatan yaitu sebesar 4,884%, 1,320%, 8,308%, dan 7,225%.



Gambar 3.1 Hubungan antara Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dengan Waktu Perendaman

Pada **Gambar 3.1** terlihat benda uji dengan tambahan zat aditif filter rokok yang memenuhi persyaratan >90 yaitu pada 0-5 hari, sedangkan dengan bahan standar hanya pada 0-4 hari. Namun dengan adanya penambahan zat aditif filter rokok tersebut memperlihatkan adanya kenaikan pada indeks kekuatan sisa pada campuran tersebut dibandingkan dengan bahan standar.

3.1.2 Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama (IDP) merupakan jumlah kelandaian yang berurut dari kurva keawetan (durabilitas).

Tabel 3.3 Indeks Durabilitas Pertama (IDP) bahan Standar

Durasi Rendaman	IKS (%)	$S_i - S_{i+1}$	$t_{i+1} - t_i$	r (%)	
		a	b	a/b	Kumulatif
0 Hari (0,5 jam)	100.000	-	-	-	-
1 Hari (24 jam)	92.602	7.398	23.500	0.315	0.315
4 Hari (96 jam)	90.546	2.056	72.000	0.029	0.343
7 Hari (168 jam)	86.014	4.531	72.000	0.063	0.406
14 Hari (336 jam)	76.845	9.169	168.000	0.055	0.461
Σ				0.461	

Dari hasil perhitungan pada **Tabel 3.3** terlihat bahwa nilai IDP dengan bahan standar pada campuran AC-WC yaitu sebesar 0,461, yang artinya jika nilai "r" bernilai positif maka menunjukkan adanya kehilangan kekuatan sebesar 0,461%.

Tabel 3.4 Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dengan Tambahan Zat Aditif Filter Rokok

Durasi Rendaman	IKS (%)	$S_i - S_{i+1}$	$t_{i+1} - t_i$	r (%)	
		A	b	a/b	Kumulatif
0 Hari (0,5 jam)	100.000	-	-	-	-
1 Hari (24 jam)	95.116	4.884	23.500	0.208	0.208
4 Hari (96 jam)	93.795	1.320	72.000	0.018	0.226
7 Hari (168 jam)	85.491	8.304	72.000	0.115	0.342
14 Hari (336 jam)	78.266	7.225	168.000	0.043	0.385
Σ				0.385	

Dan pada **Tabel 3.4** terlihat nilai IDP juga bernilai positif sebesar 0,385%. Yang artinya terjadi kehilangan kekuatan sebesar 0.385% ketika benda uji ditambahkan zat aditif filter rokok.

Dari kedua hasil tersebut dapat terlihat bahwa kehilangan kekuatan pada benda uji lebih rendah pada saat ditambahkan zat aditif filter rokok dibandingkan dengan bahan standar.

3.1.3 Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua (IDK) merupakan luas kehilangan kekuatan rata-rata antara keawetan dengan garis $S_0 = 100\%$.

Tabel 3.5 Indeks Durabilitas Kedua (IDK) Bahan Standar

Durasi Rendaman	IKS (%)	$S_i - S_{i+1}$	$t_{i+1} - t_i$	$2t_n - b$	$a = [1/2t_n].a.c$		sa 100-e
		a	b	c	E	Kumulatif	
0 Hari (0,5 jam)	100.000	-	-	-	-	-	100.000
1 Hari (24 jam)	92.602	7.398	23.500	24.500	3.776	3.776	96.224
4 Hari (96jam)	90.546	2.056	72.000	120.000	1.285	5.061	98.715
7 Hari (168 jam)	86.014	4.531	72.000	264.000	3.560	8.622	96.440
14 Hari (336 jam)	76.845	9.169	168.000	168.000	2.292	10.914	97.708
Σ					10.914		

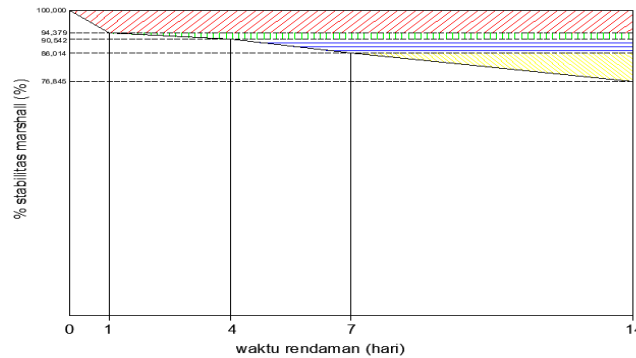
Terlihat pada **Tabel 3.5** nilai IDK dengan bahan standar bernilai positif yaitu dengan nilai "a" sebesar 10,914% , yang mana artinya jika nilai IDK bernilai positif maka terjadi kehilangan kekuatan sebesar 10,914%.

Tabel 3.6 Indeks Durabilitas Kedua (IDK) dengan Tambahan Zat Aditif Filter Rokok

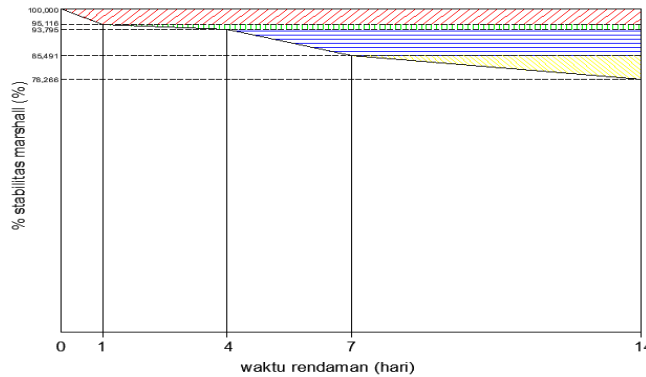
Durasi Rendaman	IKS (%)	$S_i - S_{i+1}$	$t_{i+1} - t_i$	$2t_n - b$	$a = [1/2t_n].a.c$		sa 100-e
		a	b	c	E	Kumulatif	
0 Hari (0,5 jam)	100.000	-	-	-	-	-	100.000
1 Hari (24 jam)	95.116	4.884	23.500	24.500	2.493	2.493	97.507
4 Hari (96jam)	93.795	1.320	72.000	120.000	0.825	3.318	99.175
7 Hari (168 jam)	85.491	8.304	72.000	264.000	6.525	9.843	93.475
14 Hari (336 jam)	78.266	7.225	168.000	168.000	1.806	11.649	98.194
Σ					11.649		

Pada **Tabel 4.14** terlihat bahwa nilai IDK dengan tambahan zat aditif filter rokok juga bernilai positif yaitu dengan nilai “a” sebesar 11,649%, yang mana artinya jika nilai IDK bernilai positif maka terjadi kehilangan kekuatan sebesar 11,649%.

3.2 Grafik Keawetan



Gambar 3.2 % Sisa Stabilitas Bahan Standar VS Waktu Perendaman



Gambar 3.3 % Sisa Stabilitas dengan Tambahan Zat Aditif Filter Rokok VS Waktu Perendaman

Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa nilai persentase sisa stabilitas baik itu pada bahan standar maupun dengan tambahan zat aditif Filter Rokok mengalami penurunan yang diakibatkan karena semakin bertambahnya waktu perendamannya. Bagian yang diarsir merupakan persentase kehilangan stabilitas selama waktu perendaman dan terlihat juga dengan adanya penambahan zat aditif filter rokok dapat meningkatkan durabilitas/ keawetan dari campuran aspal tersebut.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Durabilitas campuran AC-WC dengan penambahan selulosa asetat Filter Rokok lebih tinggi daripada drubalitas pada campuran AC-WC dengan bahan standar.

2. Durabilitas campuran AC-WC dengan penambahan selulosa asetat Filter Rokok masih memenuhi persyaratan hingga hari ke 5 perendaman sesuai dengan spesifikasi umum 2010 divisi 6 revisi 3 yaitu >90%.
3. Durabilitas campuran AC-WC dengan bahan standard sebagai pembanding hanya memenuhi persyaratan hingga hari ke 4 perendaman sesuai dengan spesifikasi umum 2010 divisi 6 revisi 3 yaitu >90%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga. 2014.*Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan 2010 Revisi 3 Divisi VI Untuk Perkerasan Aspal*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Krebs, R.D.and R.D. Walker. 1971.*Highway Materials*, McGraw-Hill Book Company, New York, N.Y.
- Sukirman, S. 2003.*Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.
- Craus, J. Et al. 1981.*Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Typa and Properties*. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists Technical Sessions. San Diego, California, February 16, 17 and 18, 1981, Volume 50.
- Hasan, F. 2016.*Pengaruh Substitusi Limbah Filter Rokok Terhadap Parameter Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*. Tesis. Jurusan Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh.
- Mashuri , Rahmatang dan Hamdani. 2011.*Studi Pengaruh Penambahan RoadCel-50 Terhadap Karakteristik Campuran Lapis Tipis Beton Aspal (HRS-WC)*. Journal of Transportation Management and Engineering.

PENGARUH PENAMBAHAN LATEKS PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)

M.Aminsyah¹, Rahma Septika Syahid²

¹Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email:

Muhammad.aminsyah@yahoo.co.id

²Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas,

Padang. Email: rahmaseptika25@gmail.com

ABSTRACT

Roads are supporting the smooth operation of land transportation and have a very important role for the growth of an area. So a good road pavement is needed so that traffic becomes safe and comfortable. One type of hardening used in Indonesia is flexible pavement, and the type of mixture used is Asphalt Concrete (AC) or Asphalt Concrete (Laston). Laston as a binder is known as AC-BC (Asphalt Concrete - Binder Course). As the volume of road users grows unbalanced with the growth of existing road infrastructure, it causes not only congestion but will reduce the strength and construction of the road itself. Road damage in Indonesia very often occurs, even before the road reaches the planned age. Coupled with the condition of tropical climate in Indonesia which changes so that it becomes one of the causes of damage to the pavement layer. Under these conditions indispensable bonding materials are hard, high softening point, elastic, good attachment and durable. To improve the quality of the oil asphalt, it is necessary to add other additives and in this study try mixing asphalt with latex (rubber latex). Adding latex to the asphalt mixture can provide benefits such as weather resistance and resistance to excessive deflection and deformation. The study aims to determine the effect of adding latex additives to the AC-BC concrete asphalt mixture and to determine the effect (stability) of asphalt concrete after mixed with latex. The research method used is the Marshall method which refers to the 2010 revision 6 general specifications 3. This research was conducted by testing the effect of 6.7% optimum asphalt content on the addition of latex of 3%, 6%, 9%, 12% where each made 3 test objects. The test is carried out with the stages of carrying out the preparation of test specimens, making test specimens and testing marshall. The results showed that the higher addition of latex in the AC-BC mixture further increased the parameters of Marshall, especially the stability value. While the MQ value has decreased. The highest stability value was found in the latex mixture with 9% presentation, 2708.8 kg. The lowest MQ value is found in the 9% latex mixture, 340,258 kg / mm. The results of the examination of latex substitution of the physical properties of asphalt showed that the higher levels of latex in the asphalt mixture had a good effect on asphalt, so that the asphalt had good quality.

Kata kunci : Mix AC-BC, Latex Additive, Stability

1. PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan penunjang kelancaran dari transportasi darat dan mempunyai peranan yang sangat penting bagi pertumbuhan suatu daerah. Sehingga dibutuhkan perkerasan jalan yang bagus supaya lalu lintas menjadi aman dan nyaman. Salah satu jenis perkerasan yang digunakan di Indonesia adalah perkerasan lentur, dan jenis campuran yang digunakan adalah Asphalt Concrete (AC) atau Aspal Beton (Laston).

Seiring bertumbuhnya volume pengguna jalan yang tidak seimbang dengan pertumbuhan prasarana jalan yang ada, mengakibatkan tidak saja menimbulkan kemacetan tetapi akan mengurangi kekuatan maupun dari konstruksi jalan itu sendiri. Kerusakan jalan di Indonesia sering sekali terjadi, bahkan kerusakan terjadi sebelum jalan tersebut mencapai umur rencana yang telah ditetapkan. Ditambah lagi dengan kondisi iklim tropis di Indonesia yang berubah-ubah sehingga menjadi salah satu penyebab terjadinya kerusakan pada lapisan perkerasan. Dengan kondisi iklim dan kondisi perkerasan jalan di Indonesia tersebut sangat diperlukan bahan pengikat yang bersifat keras, titik leleh tinggi, elastis, pelekatan yang baik dan tahan lama. Untuk meningkatkan mutu aspal minyak tersebut maka perlu penambahan zat aditif lain dan pada penelitian ini dicoba mencampur aspal dengan lateks (getah karet). Dengan menambahkan lateks kedalam campuran aspal dapat memberikan keuntungan seperti tahan terhadap cuaca dan tahan terhadap retakan lendutan yang berlebihan serta deformasi. Lateks merupakan sumber daya alam yang banyak dihasilkan di Indonesia.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan zat aditif lateks pada campuran aspal beton AC-BC. Mengetahui pengaruh kestabilan (stabilitas) aspal beton setelah dicampur lateks. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah: dapat meningkatkan kualitas campuran aspal, sehingga akan diperoleh konstruksi perkerasan jalan yang kuat, kaku, awet, nyaman dan aman bagi lalu lintas serta memanfaatkan sumber daya alam berupa lateks sebagai alternative bahan tambah dalam meningkatkan kinerja pada aspal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperature ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperature tertentu aspal dapat menjadi lunak/ cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan/penyiraman pada perkerasan macadam atau pelaburan. Hydrocarbon adalah bahan dasar utama dari aspal yang umum disebut bitumen, sehingga aspal sering juga disebut bitumen. (Silvia Sukirman, 1999)

2.1 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah atau mineral lainnya berupa agregat hasil alam maupun hasil pengolahan yang digunakan sebagai bahan utama penyusun jalan. Agregat berbentuk pecah akan memiliki gaya gesek dalam yang tinggi dan saling mengunci, sehingga akan menambah kestabilan konstruksi lapis keras guna menghasilkan stabilitas yang tinggi diisyaratkan bahwa minimum 40% dari agregat yang tertahan saringan No.4 memiliki paling sedikitnya satu bidang pecah (Kerbs and Walker, 1971)

Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90% - 95% agregat berdasarkan presentase berat, atau 75% - 85% agregat berdasarkan presentase

volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain (Silvia Sukirman, 2003)

2.2 Zat Aditif Lateks (Tambahan)

Zat aditif atau bahan tambah merupakan bahan yang digunakan untuk meningkatkan ikatan antara agregat dan aspal. Lateks merupakan getah pohon karet yang cair dan berwarna putih pekat yang biasa digunakan dalam pembuatan karet gelang, sarung tangan medis dan ban. Lateks kebun adalah getah pohon *Hevea Brasiliensis* berwarna putih seperti susu, dan memiliki sifat koloid. Fasa terurai pada lateks berupa molekul hidrokarbon terdiri dari satuan isoprena (C₅H₈) membentuk poliisoprena (C₅H₈)_n (partikel karet) yang terurai pada media cair yang disebut serum (partikel non karet). Hal tersebut yang mengubah getah karet menjadi lateks alami yang kental. Pada kondisi baik, lateks *Hevea* mengandung : 37% KKK terdiri dari molekul karet ,protein,lipid, dan ion logam, 53% serum: air, garam anorganik, protein, asam amino, dan karbohidrat, 10% fraksi dasar terdiri dari protein, karet, pigmen, lipid, dan ion logam.

2.4 Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)

Lapisan ini merupakan bagian dari lapis permukaan diantara lapis pondasi atas (Base Course) dengan lapis aus (Wearing Course) yang bergradasi agregat gabungan rapat/menerus, umumnya digunakan untuk jalan- jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat.

2.5 Pemeriksaan Marshall

Pengujian Marshall meliputi pengukuran stabilitas dan pelelehan (*flow*) suatu campuran beraspal dengan butir agregat berukuran maksimum 25,4 mm (1 in).

- Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (*flow*) yang dinyatakan dalam kilogram.
- Alir (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban, dinyatakan dalam mm.

Tujuan dari pengujian Marshall adalah untuk mendapatkan suatu campuran aspal yang memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan di dalam kriteria perencanaan yang telah di tentukan (SNI 06-2489-1991).

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat ini meliputi pemeriksaan berat jenis agregat, pemeriksaan berat isi agregat, pemeriksaan kekuatan agregat terhadap tumbukan, pemeriksaan keausan, dan pemeriksaan kelekatan agregat terhadap aspal. Hasil pemeriksaan agregat terhadap sifat-sifat fisis agregat batu pecah bahwa agregat yang digunakan dalam penelitian layak dan

sesuai dengan standar spesifikasi umum 2010 divisi 6 (revisi 3) untuk digunakan sebagai bahan campuran perkerasan struktur jalan raya. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada **Tabel 3.1**

Tabel 3.1 Hasil Pemeriksaan Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Nilai	Nilai Standar	Keterangan
1	Agregat kasar				
	Berat Jenis Kering	-	2.589	-	
	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	-	2.617	-	
	Berat Jenis Semu	-	2.665	-	
	Penyerapan	-	1.114%	Maks 3%	OK
2	Agregat halus				
	Berat Jenis Kering	-	2.60032017	-	
	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	-	2.668	-	
	Berat Jenis Semu	-	2.789	-	
	Penyerapan	-	2.606%	Maks 3%	OK
3	Berat Jenis Agregat	-	2.607	Min 2,5	OK
4	Berat Isi				
	Berat isi Lepas	Kg/dm ³	1.413	Min. 1	OK
	Berat Isi Goyang	Kg/dm ³	1.583	Min. 1	OK
	Berat isi Tusuk	Kg/dm ³	1.538	Min. 1	OK
5	Keausan Terhadap Mesin <i>Los Angeles</i>	%	25.566%	Maks 40%	OK
6	Kekuatan gregat Terhadap Tumbukan	%	5.068%	Maks 30%	OK
7	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	%	≥ 95%	Min. 95%	OK

3.3 Pemeriksaan Aspal Standar

Pemeriksaan aspal ini meliputi pemeriksaan penetrasi bahan bitumen, pemeriksaan titik nyala dan titik bakar, pemeriksaan daktilitas, pemeriksaan berat jenis, pemeriksaan titik lembek. Hasil pemeriksaan aspal terhadap sifat-sifat fisis aspal penetrasi 60/70 merupakan aspal yang telah memenuhi persyaratan dan sesuai dengan standar spesifikasi umum 2010 divisi 6 (revisi 3). Hasil pemeriksanan dapat dilihat pada **Tabel 3.2**

Tabel 3.2 Hasil Pemeriksaan Aspal

No	Sifat Fisis Aspal	Satuan	Nilai	Persyaratan	Keterangan
1	Berat Jenis		1.033	≥1,00	OK
2	Penetrasi	(0,1 mm)	60.20	50-70	OK
3	Titik Nyala	°C	240	≥232°C	OK
4	Titik Bakar	°C	270	≥232°C	OK
5	Titik Lembek	°C	50	> 48 °C	OK
6	Daktilitas	cm	>100	≥100	OK

3.4 Analisa Pemeriksaan Aspal yang Ditambah dengan Variasi Kadar Lateks

Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal penetrasi 60/70 dengan penambahan lateks sebesar 3%, 6%, 9%, dan 12% didapatkan kesimpulan bahwa aspal penetrasi 60/70

merupakan aspal yang telah memenuhi persyaratan dan sesuai dengan standar spesifikasi umum 2010 divisi 6 (revisi 3). Hasil pemeriksian dapat dilihat pada **Tabel 3.3**

Tabel 3.3 Pemeriksaan Aspal dengan penambahan lateks

No	Sifat Fisis Aspal	Satuan	Variasi Persentasi Lateks				
			0%	3%	6%	9%	12%
1	Berat Jenis		1.033	1.034	1.040	1.048	1.085
2	Penetrasi I	(0,1 mm)	60.20	63.80	92.20	115.60	127.00
3	Titik Nyala	°C	240	245	253	264	272
4	Titik Bakar	°C	270	273	283	285	295
5	Titik Lembek	°C	50	51	52	63	68
6	Daktilitas	cm	>100	>100	>100	>100	100

Tabel hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal dengan variasi penambahan lateks diperlihatkan pada **tabel 3.3**. Dari tabel tersebut diketahui bahwa penambahan kadar lateks ke dalam campuran aspal mengakibatkan bertambah berat jenis aspal. Berat jenis aspal tertinggi didapatkan pada penambahan lateks 12% yaitu sebesar 1,085 gr/cm³. Pemeriksaan berat jenis ini dilakukan untuk mengetahui jumlah aspal yang digunakan dalam campuran. Semakin besar nilai berat jenis aspal maka semakin kecil kandungan mineral minyak dan partikel lain didalam aspal. Semakin tinggi nilai berat jenis aspal, maka semakin baik pula kualitas aspal. Pada nilai titik lembek aspal juga mengakibatkan nilai titik lembek yang semakin tinggi. Titik lembek aspal tertinggi terdapat pada penambahan lateks 12% yaitu didapatkan suhu sebesar 68°C. Pemeriksaan titik lembek dilakukan untuk mengetahui tingkat kepekaan aspal terhadap perubahan suhu, disamping itu titik lembek juga dipengaruhi oleh kandungan paraffin (lilin) yang terdapat dalam aspal. Semakin tinggi kandungan paraffin pada aspal, maka akan semakin rendah titik lembeknya dan aspal semakin peka terhadap suhu.

Pada tabel juga dapat dilihat bahwa nilai penetrasi semakin tinggi dengan meningkatkan penambahan kadar lateks kedalam aspal. Nilai penetrasi tertinggi terdapat pada penambahan lateks 12% yaitu 127. Semakin tinggi nilai penetrasi aspal, maka semakin lunak aspal, dan sebaliknya semakin rendah nilai penetrasi aspal maka semakin tinggi tingkat kekerasan aspal. Pada nilai titik nyala dan titik bakar mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya kadar penambahan lateks kedalam aspal. Titik nyala dan titik bakar tertinggi terdapat pada variasi penambahan lateks 12 % yaitu 272°C dan 295°C. Semakin tinggi titik nyala dan titik bakar aspal, maka aspal tersebut akan semakin baik. Besarnya titik bakar tersebut tidak berpengaruh terhadap kualitas perkerasan, karena pengujian ini hanya berhubungan dengan keselamatan pelaksanaan khususnya pada saat pencampuran (mixing) terhadap bahaya kebakaran.

Pada pengujian daktilitas pada variasi getah karet 0% 3%,6%,9%,12% didapatkan nilai besar dari 100 cm. Hal ini menunjukkan bahwa dalam pengujian daktilitas dengan penambahan lateks pada campuran memenuhi nilai spesifikasi. Daktilitas yang tinggi mengindikasikan bahwa aspal semakin lentur, sehingga semakin baik digunakan sebagai bahan ikat perkerasan.

3.5 Pemeriksaan Bahan Campuran Aspal

3.5.1 Penentuan Kadar Agregat

Penentuan kadar agregat dilakukan dengan pengambilan berat masing-masing fraksi saringan sesuai dengan spesifikasi campuran aspal AC-BC dan jenis variasi campuran yang digunakan. Namun, berat agregat sesungguhnya baru dapat diketahui apabila kadar kadar agregat telah diketahui. Sebab berat akhir benda uji sebanyak 1200 gram yang dikehendaki merupakan berat agregat aspal dan aspal.

3.5.2 Penentuan Kadar Aspal Teoritis

Penentuan kadar aspal teoritis pada penelitian ini ditentukan dengan metoda luas permukaan. Metoda luas permukaan ini berdasarkan atas patokan bahwa seluruh jumlah aspal yang akan digunakan untuk menyelubungi luas permukaan aspal yang sebenarnya dari butir-butir bahan, dengan kata lain pada pengaspalan yang baik setiap butir bahan harus diselubungi dengan bahan pengikat secara sempurna. Perhitungan luas permukaan agregat ini hanya menggunakan satu variasi gradasi agregat batas tengah.

3.6 Pembuatan Benda Uji

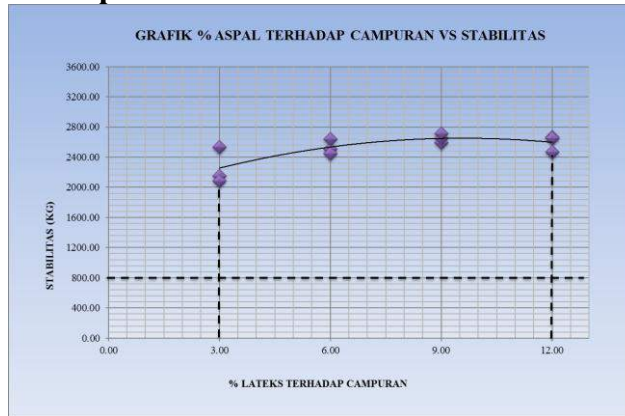
Pada penelitian ini metoda yang dipakai dalam Mix Design adalah metoda Marshall (SNI 06-2489-1991). Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemakaian metoda ini adalah: Menggunakan material yang sesuai dengan spesifikasi yang dipakai, gradasi agregat campuran harus sesuai dengan spesifikasi, berat jenis material harus diketahui. Sedangkan Mix Design dengan metoda Marshall terdiri atas: persiapan pengujian benda uji, penentuan berat jenis bulk benda uji, pengujian stabilitas dan kelelahan benda uji;

3.7 Prosedur *Marshall Test* (SNI 06-2489-1991)

Seluruh benda uji yang telah melalui proses pemadatan harus mengikuti prosedur pengujian *Marshall*, yang terdiri atas: berat benda uji, pengujian stabilitas dan kelelahan, analisis rongga dalam benda uji

3.8 Pembahasan Hasil Pengujian Marshall

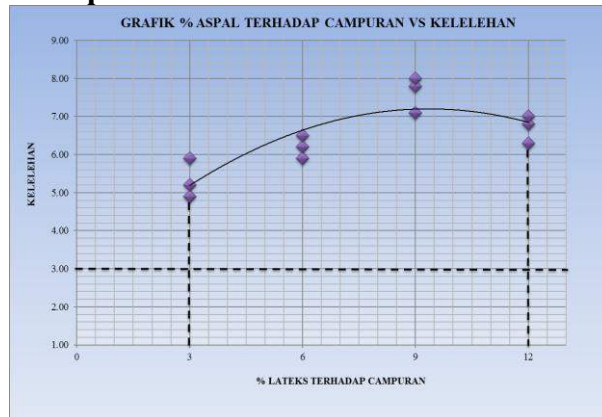
3.8.1 Tinjauan Terhadap Nilai Stabilitas



Gambar 3.1 Grafik Pengaruh Penambahan Variasi Presentase Lateks Terhadap Nilai Stabilitas

Pada **gambar 3.2** menunjukkan nilai stabilitas yang terus meningkat seiring dengan penambahan kadar lateks, namun akan turun pada titik tertentu. Pada variasi penambahan lateks 3% sampai 9% mengalami kenaikan dan pada variasi penambahan lateks 12% mengalami penurunann. Hal ini menunjukkan bahwa lateks berpengaruh baik dalam meningkatkan kestabilan aspal. Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada penambahan lateks dengan kadar 9% sebesar 2708,8 kg. Dari keseluruhan nilai stabilitas yang telah didapatkan, menunjukkan bahwa nilai stabilitas telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 yang menetapkan batas minimum nilai stabilitas yaitu 800 kg.

3.8.2 Tinjauan Terhadap Nilai Kelelehan

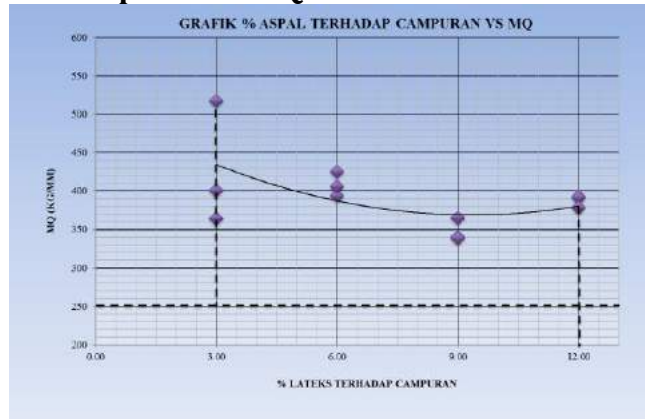


Gambar 3.2 Grafik Pengaruh Penambahan Variasi Presentase Lateks Terhadap Nilai Kelelehan

Dari **gambar 3.2** dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar lateks maka nilai kelelehan akan semakin meningkat, namun akan turun pada titik tertentu. Nilai kelelehan tertinggi dengan penambahan kadar lateks pada campuran aspal terdapat pada lateks dengan kadar 9% sebesar 8,00 mm. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga

2010 Revisi 3, nilai flow yang dihasilkan dengan penambahan variasi lateks memenuhi batas minimal yaitu 2 s.d 4 mm.

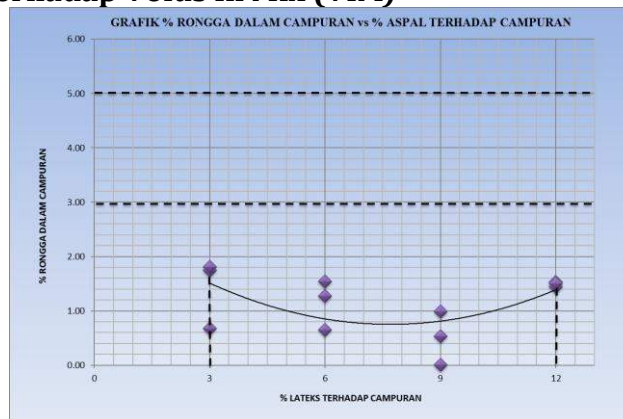
3.8.3 Tinjauan Terhadap Marshall Quotient



Gambar 3.3 Grafik Pengaruh Penambahan Variasi Presentase Lateks Terhadap Nilai Marshall Quotient

Dari **gambar 3.3** dapat dilihat bahwa nilai MQ campuran AC-BC dengan penambahan kadar lateks mulai mengalami penurunan dan kenaikan. Nilai MQ tertinggi terdapat pada kadar lateks 3% sebesar 517,276 kg/mm. Sedangkan nilai MQ terendah terdapat pada kadar lateks 9% sebesar 340,258 kg/mm. Nilai MQ campuran AC-BC dengan penambahan lateks pada campuran aspal telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan oleh Dinas Bina Marga 2010 Revisi 3 Divisi 6 yaitu ≥ 250 kg/mm.

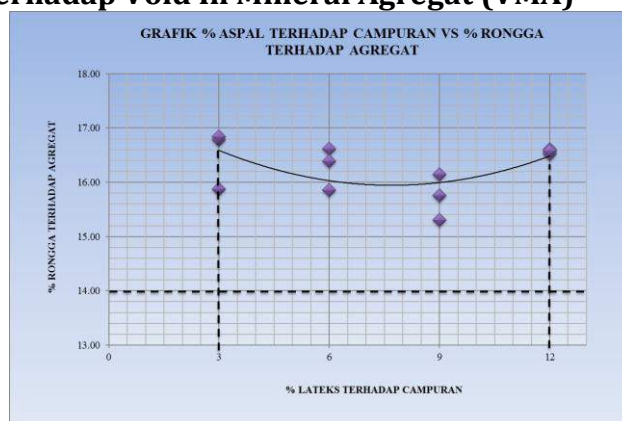
3.8.4 Tinjauan Terhadap Voids In Mix (VIM)



Gambar 3.4 Grafik Pengaruh Penambahan Variasi Presentase Lateks Terhadap Nilai VIM

Dapat dilihat pada **gambar 3.4** bahwa adanya penurunan nilai VIM yang disebabkan karena adanya peningkatan penambahan kadar lateks sebesar 3% 6% dan 7%, dan mengalami peningkatan pada kadar lateks 12% Nilai VIM yang paling rendah terdapat pada kadar lateks 9% dengan nilai 0,53%. Dari nilai VIM keseluruhan tidak ada yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Dinas Bina Marga 2010 revisi 3, yaitu antara 3 s.d 5%.

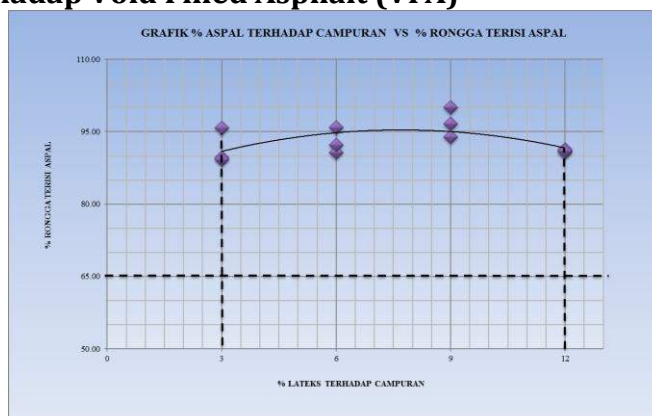
3.8.5 Tinjauan Terhadap Void In Mineral Agregat (VMA)



Gambar 3.5 Grafik Pengaruh Penambahan Variasi Presntase Lateks Terhadap Nilai VMA

Dapat dilihat pada **gambar 3.5** menunjukkan bahwa semakin meningkat jumlah kadar lateks , maka VMA semakin menurun , dan mengalami peningkatan pada penambahan kadar lateks 12% sebesar 391,939%. Dari grafik dapat dilihat bahawa nilai VMA terendah terdapat pada kadar penambahan kadar lateks 9% sebesar 15,31%. Nilai keseluruhan VMA telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu sebesar 14%.

3.8.6 Tinjauan Terhadap Void Filled Asphalt (VFA)



Gambar 3.6 Grafik Pengaruh Penambahan Variasi Lateks Terhadap Nilai VFA

Pada **Gambar 3.6** menunjukkan dengan bertambahnya kadar lateks pada campuran aspal nilai VMA mengalami kenaikan pada kadar lateks 3%, 6% dan 9% dan mengalami penurunan pada kadar lateks 12%. Nilai VMA tertinggi terdapat pada lateks 9% sebesar 96,64%. Keseluruhan nilai VFA dengan penambahan kadar lateks pada campuran aspal telah memenuhi Spesfikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 yang menetapkan batas minimum nilai VFA yaitu 65%

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa

Hasil pemeriksaan sifat fisis aspal penetrasi 60/70 setelah ditambahkan variasi presentase lateks, menunjukkan bahwa semakin besar presentase kadar lateks yang dicampurkan kedalam aspal mengakibatkan meningkatnya nilai berat jenis, penetrasi, titik lembek, titik nyala dan titik bakar. Meningkatnya sifat fisis aspal tersebut memberikan efek yang baik terhadap aspal, sehingga aspal memiliki kualitas yang baik. Penambahan kadar lateks pada campuran aspal juga mempengaruhi nilai daktilitas yang menunjukkan nilai >1000 mm. Hal ini menunjukkan bahwa aspal semakin lentur, semakin baik digunakan sebagai bahan ikat perkerasan.

Hasil pemeriksaan parameter marshall pada campuran aspal AC-BC dengan penambahan lateks menunjukkan kualitas campuran aspal semakin baik dibandingkan dengan dengan campuran aspal AC-BC standar. Nilai stabilitas pada campuran aspal dengan penambahan lateks mengalami peningkatan sedangkan nilai MQ pada campuran aspal dengan penambahan lateks mengalami penurunan. . Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada campuran lateks dengan presantasi 9% yaitu 2708,8 kg. Nilai MQ terendah terdapat pada campuran lateks 9% yaitu 340,258 kg/mm. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh penambahan lateks pada parameter marshall campuran AC-BC terutama pada stabilitas dan MQ , membuat campuran aspal mampu menahan beban dan cenderung menjadi lentur.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga. 2010. *“Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Revisi 3 Divisi VI Untuk Perkerasan Aspal. Departemen Pekerjaan Umum”*.
- Sukirman, Silvia. 1999. *“Perkerasan Lentur Jalan Raya”*. Bandung: Nova.
- Sukirman, Silvia. 2003. *“Beton Aspal Campuran Panas”*. Jakarta: Granit.
- Krebs, R.D.and R.D. Walker, 1971, *“Highway Materials, McGraw-Hill Book Company”*New York, N.Y.
- Malik Alfin et al. 2018. *“Pengaruh Penambahan Bahan Alami Lateks (Getah Karet) Terhadap Karakteristik Beton Aspal Lapis Pengikat Dengan Pengujian Marshall”* . Jurnal. Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau. Pekanbaru
- SNI 06-2489-1991, *“Metode Pengujian Campuran”*
- Samsul Bahri. 2013. *“ Pengaruh Penambahan Lateks Alam Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*. Jurnal. Jurusan Teknik Sipil Universitas Bengkulu.
- Wijaya Evan. 2016. *“ Pengaruh Penambahan Zat Aditif Lateks Pada Beton Aspal Terhadap Stabilitas”*. Jurnal .Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Krida Wacana Jakarta Barat.
- Misbah. 2015. *“Pengaruh Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai Karakteristik Campuran Panas Aspal Agregat (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall”*. Jurnal Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Padang.

Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Dengan Metoda Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003) dan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017, Pada Ruas Jalan Padang – Bukittinggi, Batang Anai

Lusyana¹, Syaifullah Ali², Firdaus Putra³

¹Teknik Sipil, Prodi DIV Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email :

²Teknik Sipil, Prodi DIV Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email :

³Mahasiswa Sarjana Terapan Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: Firdausputra805@gmail.com

ABSTRACT

Sumatra - Padang - Bukittinggi Road, Batang Anai, Padang Pariaman is the main access linking Padang - Bukittinggi City. Population growth is always increasing every year and the economic growth and development in the region is also accompanied by an increase in the level of community needs for goods and services resulting the increasing number of vehicles that will automatically increase the movement of traffic and the burden borne by the road. Planning of the rigid pavement thickness on the Padang - Bukittinggi road, Batang Anai was analyzed using 2 methods, namely the Concrete Pavement Thickness Planning (Pd T-14-2003) and the 2017 Pavement Design Manual. The results obtained from this study were rigid pavement planning (Rigid Pavement) uses a type of concrete reinforced concrete pavement with reinforcement. The thickness of the concrete slab obtained from the Cement Concrete Road Pavement Thickness Planning method (Pd T-14-2003) is 20 cm, for the thickness of the bottom foundation using a binding material in the form of cement stabilization that is 10 cm. For reinforcement used square-shaped reinforcement diameter of 8 mm with longitudinal and transverse reinforcement distance of 200 mm, for transverse joints (Dowel) that uses 33 mm diameter reinforcement with 450 mm length and distance between dowel 300 mm, while for elongated joints (Tie Bar) ie using a reinforcement with a diameter of 16 mm with a length of 70 cm and a distance between tie bars that is 75 cm. Based on the 2017 Road Pavement Design Manual method, the thickness of the concrete slab is 27.5 cm with a thin concrete layer (LMC) of 100 mm, for the drainage layer (LFA kls A), a thickness of 150 mm is obtained, and the basic soil improvement in the form of cement stabilization is equal to 300 mm. For reinforcement used square-shaped reinforcement 9 mm diameter with longitudinal and transverse reinforcement distance 200 mm, for transverse joints (Dowel) that uses 32 mm diameter reinforcement with 450 mm length and distance between dowel 300 mm, while for longitudinal joints (Tie Bar) ie using a reinforcement with a diameter of 16 mm with a length of 70 cm and a distance between tie bars that is 75 cm.

Keywords: Highway, Rigid Pavement Thickness, Reinforcement, Connections, Planning Pavement Concrete Pavement Thickness (Pd T-14-2003), 2017 Pavement Design Manual

ABSTRAK

Jalan Lintas Sumatera Padang – Bukittinggi, Batang Anai, Padang Pariaman merupakan akses utama yang menghubungkan Kota Padang – Bukittinggi, Pertumbuhan penduduk yang selalu meningkat setiap tahun dan meningkatnya perekonomian dan pembangunan di wilayah tersebut juga dibarengi dengan bertambahnya tingkat kebutuhan masyarakat akan barang dan jasa sehingga mengakibatkan bertambahnya jumlah kendaraan yang otomatis akan menambah pergerakan lalu lintas dan beban yang dipikul oleh jalan tersebut. Perencanaan tebal perkerasan kaku pada ruas jalan Padang – Bukittinggi, Batang Anai dianalisa menggunakan 2 metoda yaitu metoda Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003) dan Manual Desain Perkerasan 2017. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah perencanaan perkerasan kaku (Rigid Pavement) menggunakan jenis perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan. Tebal pelat beton yang didapat dari metoda Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003) yaitu sebesar 20 cm, untuk ketebalan pondasi bawah dengan menggunakan bahan pengikat berupa stabilisasi semen yaitu 10 cm. Untuk penulangannya yang digunakan tulangan berbentuk bujur sangkar diameter 8 mm dengan jarak tulangan memanjang dan melintang 200 mm, untuk sambungan melintang (Dowel) yaitu memakai tulangan diameter 33 mm dengan panjang 450 mm dan jarak antar dowel 300 mm, sedangkan untuk sambungan memanjang (Tie Bar) yaitu memakai tulangan berdiameter 16 mm dengan panjang 70 cm dan jarak antar tie bar yaitu 75 cm. Berdasarkan metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 didapat hasil tebal pelat beton sebesar 27,5 cm dengan lapis beton kurus (LMC) yaitu 100 mm, untuk lapis drainage (LFA kls A) didapat ketebalan sebesar 150 mm, serta perbaikan tanah dasar berupa stabilisasi semen sebesar 300 mm. Untuk penulangannya yang digunakan tulangan berbentuk bujur sangkar diameter 9 mm dengan jarak tulangan memanjang dan melintang 200 mm, untuk sambungan melintang (Dowel) yaitu memakai tulangan diameter 32 mm dengan panjang 450 mm dan jarak antar dowel 300 mm, sedangkan untuk sambungan memanjang (Tie Bar) yaitu memakai tulangan berdiameter 16 mm dengan panjang 70 cm dan jarak antar tie bar yaitu 75 cm.

Kata Kunci : Jalan Raya, Tebal Perkerasan Kaku, Penulangan, Sambungan, Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003), Manual Desain Perkerasan 2017

1. PENDAHULUAN

Jalan Lintas Sumatera Padang – Bukittinggi, Batang Anai, Padang Pariaman merupakan akses utama yang menghubungkan Kota Padang – Bukittinggi, Pertumbuhan penduduk yang selalu meningkat setiap tahun dan meningkatnya perekonomian dan pembangunan di wilayah tersebut juga dibarengi dengan bertambahnya tingkat kebutuhan masyarakat akan barang dan jasa sehingga mengakibatkan bertambahnya jumlah kendaraan yang otomatis akan menambah pergerakan lalu lintas dan beban yang dipikul oleh jalan tersebut. Hal ini akan membawa perubahan kondisi angkutan barang dan jasa yang meningkat pula, baik volume maupun berat muatannya, pada kondisi lain

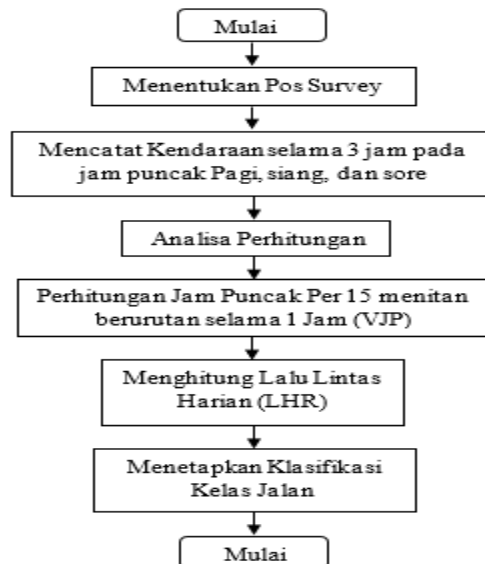
dimana jalan tersebut sering terjadi kerusakan dan sering dilakukannya perbaikan – perbaikan berupa (*Overlay*). Sehubungan dengan banyaknya kendaraan yang melintasi daerah tersebut baik mobil pribadi maupun truk, sehingga jalan tersebut butuh konstruksi yang lebih kuat yaitu dengan konstruksi perkerasan kaku (*Rigid Pavement*).

2. METODA PENELITIAN

Adapun tahapan yang dilakukan yaitu mencatat kebutuhan data, survey dan pengumpulan data, pengolahan dan analisis data, perencanaan tebal perkerasan, penuangan hasil perencanaan kedalam bentuk gambar.

2.1 Survey LHR

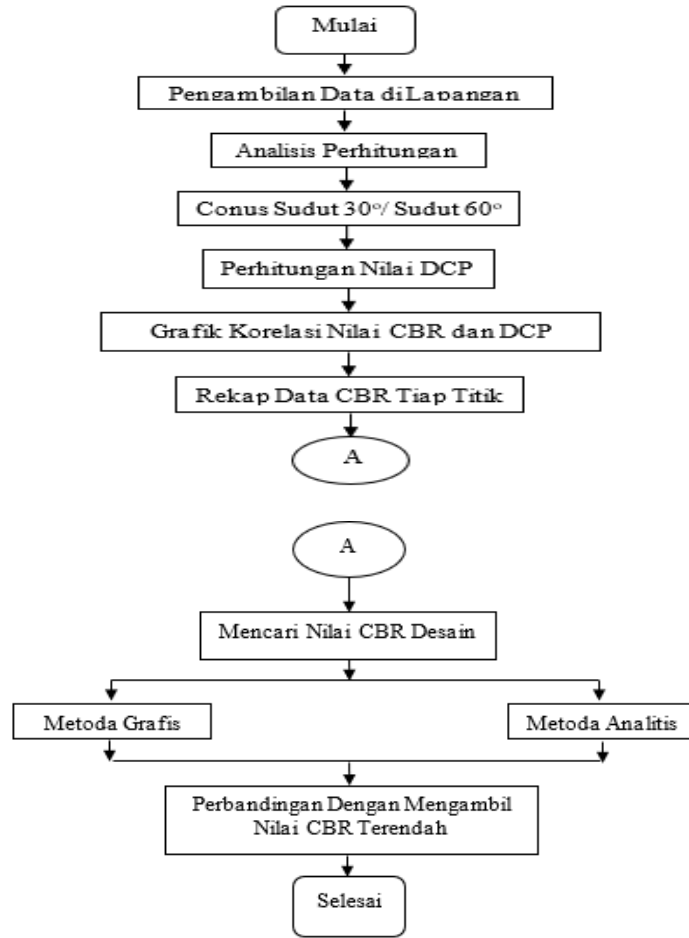
Tahapan pelaksanaan survey dapat dilihat pada diagram alir pada **Gambar 2.1** sebagai berikut :



Gambar 2.1 Bagan alir survey LHR

2.2 Survey DCP

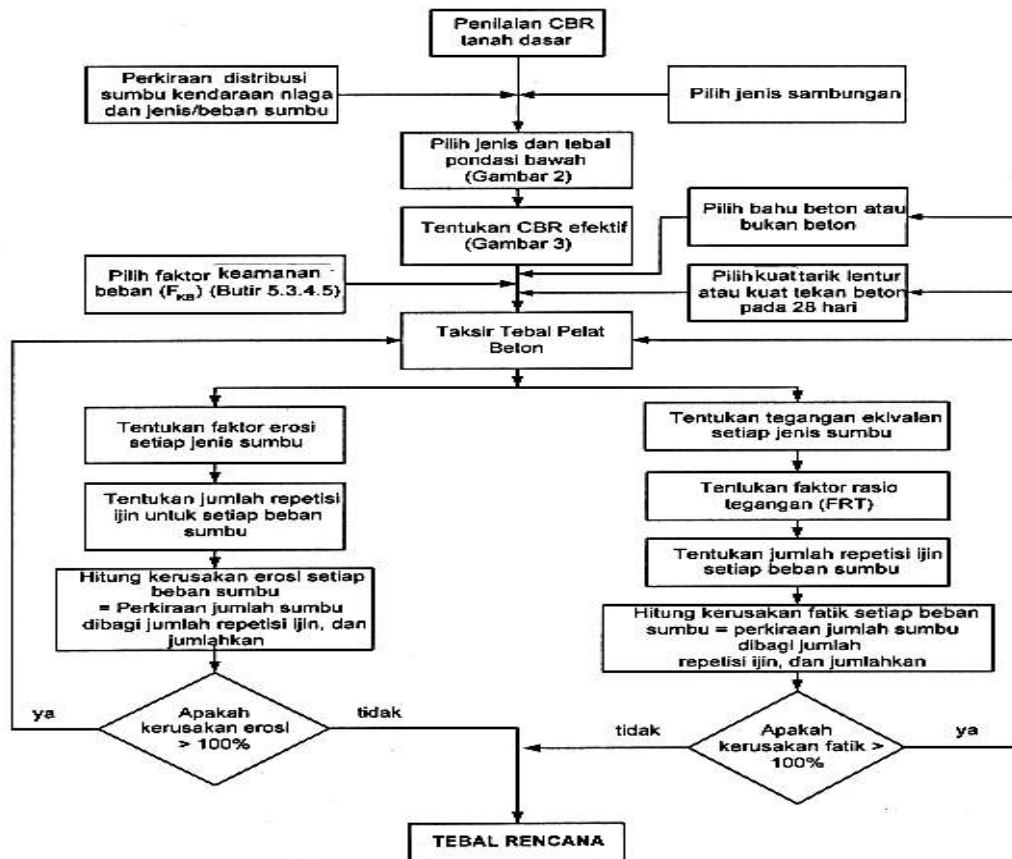
Bagan alir dalam menentukan nilai CBR dapat dilihat pada **Gambar 2.2** sebagai berikut:



Gambar 2.2 Bagan Alir Penelitian Nilai CBR

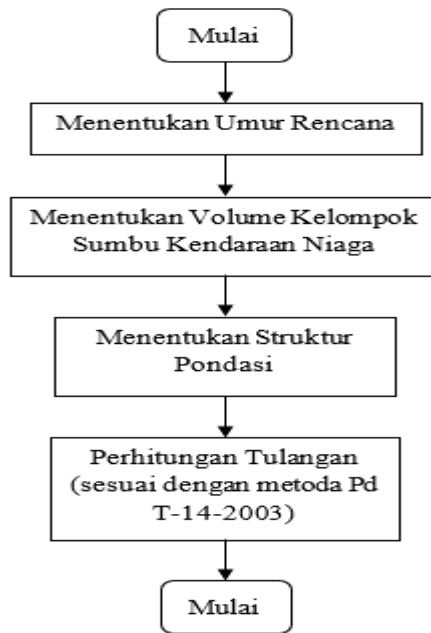
2.3 Analisis Perencanaan Tebal Konstruksi Perkerasan

1. Metoda Perencanaan Tebal Perkerasan Beton Semen (Pd T-14-2003), diagram alir dilihat pada **Gambar 2.3** sebagai berikut :



Gambar 2.3 Bagan alir perencanaan metoda perencanaan tebal perkerasan jalan (Pd T-14-2003)

2. Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017, diagram alir dilihat pada Gambar 2.4 sebagai berikut :



Gambar 2.4 Bagan alir Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

3. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Penulis akan menganalisis serta melakukan pembahasan bagaimana cara pengolahan data seperti data lalu lintas harian rata - rata (LHR) yang didapat dari hasil pengamatan survey lalu lintas dilapangan dan data CBR yang diperoleh hasil pengujian DCP dilapangan.

3.1 LHR untuk perencanaan

Rekapitulasi LHR yang digunakan untuk perencanaan dapat dilihat pada **Tabel 3.1** sebagai berikut :

Tabel 3.1 Rekapitulasi LHR untuk perencanaan

Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	LHR Awal Umur Rencana (2022)
Sedan, Jep (Gol 2)	1053	1213
Angkutan Sedang (Gol 3)	246	283
Pick Up, Micro Truk (Gol 4)	100	115
Bus Kecil (5A)	26	30
Bus Besar (5B)	42	48
Truk 2 As 4 Roda (6A)	114	131
Truk 2 As 6 Roda (6B)	241	278
Truk 3 As Tandem (7A2)	160	184

3.2 Analisa Data CBR Tanah Dasar menggunakan alat DCP (Dynamic Cone Penetration).

1) Perhitungan CBR menggunakan Metoda analitis

Berikut merupakan rekapitulasi nilai CBR dengan menggunakan metoda analitis, dapat dilihat pada **Tabel 3.2** sebagai berikut :

$$\text{CBR Rata-rata} = \frac{\text{Jumlah CBR semua titik Pengujian}}{\text{jumlah Pengujian}}$$

$$\text{CBR segmen} = \text{CBR rata-rata} - \frac{(\text{CBR max} - \text{CBR min})}{2}$$

3.3 Perancangan Tebal Perkerasan Jalan Kaku (*Rigid Pavement*)

1) Metoda Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003)

Berikut langkah – langkah dalam perencanaan tebal perkerasan kaku Metoda Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen Pd T-14-2003 :

a) Analisis lalu – lintas

- Faktor Pertumbuhan lalu-lintas (R) dihitung dengan rumus: $R = \frac{(1+i)^{UR} - 1}{i}$
- Jumlah sumbu kendaraan niaga (JSKN) selama umur rencana 20 tahun adalah:
 $\text{JSKN} = 365 \times \text{JSKNH} \times R$
 $\text{JSKN rencana} = C \times \text{JSKN}$

b) Perhitungan repitisi sumbu yang terjadi

- Perhitungan proporsi beban, beban sumbu ton = $\frac{\text{Jumlah sumbu beban}}{\text{Jumlah total sumbu}}$
- Perhitungan proporsi sumbu, proporsi sumbu ton = $\frac{\text{Jumlah sumbu}}{\text{Jumlah total sumbu}}$
- Proporsi beban x Proporsi Sumbu x Lalu lintas rencana

c) Perhitungan tebal pelat pondasi bawah

Berdasarkan grafik dari metoda (Pd T-14-2003), didapat nilai tebal pelat pondasi bawah sebesar 10 cm menggunakan bahan pengikat.

d) Menentukan CBR tanah efektif

Berdasarkan grafik dari metoda (Pd T-14-2003), didapat nilai CBR efektif tanah dasar yaitu 30 %

e) Menentukan tebal perkiraan pelat beton

Berdasarkan grafik dari metoda (Pd T-14-2003), didapat nilai tebal pelat beton yaitu 19 cm. untuk mengetahui tebal perkerasan aman atau tidak, maka harus dilakukan analisa fatik dan erosi sesuai dengan pedoman perkerasan beton

- Asumsi tebal pelat 19 cm

Dari analisa fatik dan erosi dilihat bahwa persentase rusak fatik (lelah) sebesar 45,17 % dan rusak izin erosi telah lebih besar dari 100% yaitu sebesar 129,04 %, maka tebal pelat beton sebesar 19 cm tidak dapat digunakan, maka dilakukan asumsi dengan tebal pelat 20 cm.

- Asumsi tebal pelat 20 cm

Dari analisa fatik dan erosi dilihat bahwa persentase rusak fatik (lelah) sebesar 0 % dan rusak izin erosi telah lebih kecil dari 100% yaitu sebesar 67,75 %, maka tebal pelat beton sebesar 20 cm dapat digunakan.

Jadi, dari analisa yang dilakukan dengan menganalisis 2 asumsi tebal pelat dengan tebal 190 mm dan 200 mm, maka tebal pelat yang dapat digunakan adalah 200 mm = 20 cm.

f) Perhitungan tulangan

- Perhitungan tulangan memanjang dan melintang $A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s}$
- Tebal pelat beton 200 mm didapatkan data untuk dowel (ruji) yaitu, diameter ruji = 33 mm, Panjang = 450 mm, Jarak antar dowel = 300 mm. dengan ketebalan pelat 200 mm diameter pengikat yang dipilih adalah 16 mm

2) Perencanaan Perkerasan Kaku dengan Metoda Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Berikut merupakan langkah – langkah untuk perencanaan tebal perkerasan kaku dengan metoda manual desain perkerasan jalan 2017.

- Umur rencana untuk perencanaan adalah selama 20 tahun.
- Menentukan volume kelompok sumbu kendaraan niaga.

Tabel 3.1 kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat

Jenis Kendaraan	Jumlah kelompok sumbu	Lintas Harian Rata-rata (2 Arah) 2022	kelompok sumbu 2022	jumlah kelompok sumbu 2021-2042
5B	2	48	96	3,52 x 10 ⁶
6A	2	131	262	9,61 x 10 ⁶
6B	2	278	556	2,04 x 10 ⁶
7A	3	184	368	1,35 x 10 ⁶
<u>Kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat 2022-2042</u>				4,70 x 10 ⁶

kelompok sumbu beban kendaraan maka didapatkan kumulatif kelompok sumbu kendaraan desain (HVAG) yaitu = 4,70 x 10⁶

- Menentukan struktur pondasi jalan
 - Nilai CBR desain tanah asli
CBR desain = (CBR hasil pengujian DCP) x Faktor penyesuaian
 - Nilai CBR rencana untuk stabilisasi tanah dasar

$$CBR_{\text{stabilisasi}} = CBR_{\text{tanah asal}} \times 2^{(\text{tebal lapis stabilisasi dalam mm})/150}$$

d) Menentukan struktur lapisan perkerasan

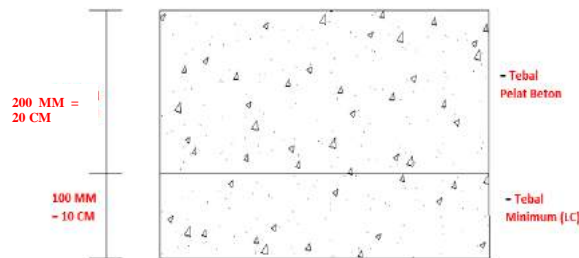
Perkerasan : beton semen dengan sambungan dengan tulangan
 Umur rencana : 20 tahun (2022 – 2042)
 Tebal pelat beton : 275 mm
 Lapis beton kurus (LMC) : 100 mm
 Lapis drainage (LFA kls A) : 150 mm

e) Perhitungan tulangan

- Perhitungan tulangan memanjang dan melintang $A_s = \frac{\mu.L.M.g.h}{2.f_s}$
- Tebal pelat beton 200 mm didapatkan data untuk dowel (ruji) yaitu, diameter ruji = 33 mm, Panjang = 450 mm, Jarak antar dowel = 300 mm. dengan ketebalan pelat 200 mm diameter pengikat yang dipilih adalah 16 mm

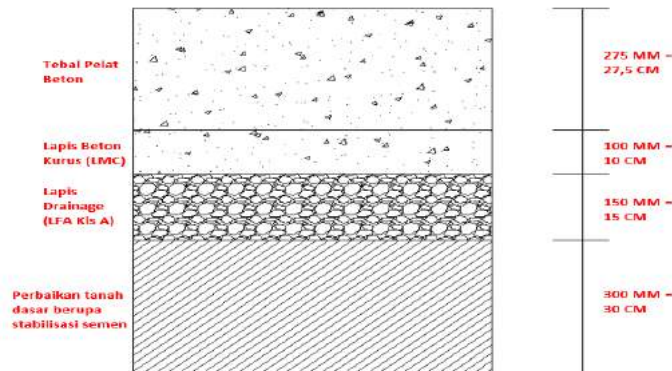
3) Gambar Rencana Tebal Perkerasan

a) Gambar detail susunan konstruksi perkerasan jalan kaku dari metoda perencanaan perkerasan jalan beton semen (Pd T-14-2003).



Gambar 3.1 Detail struktur perkerasan kaku Metoda Pd T-14-2003

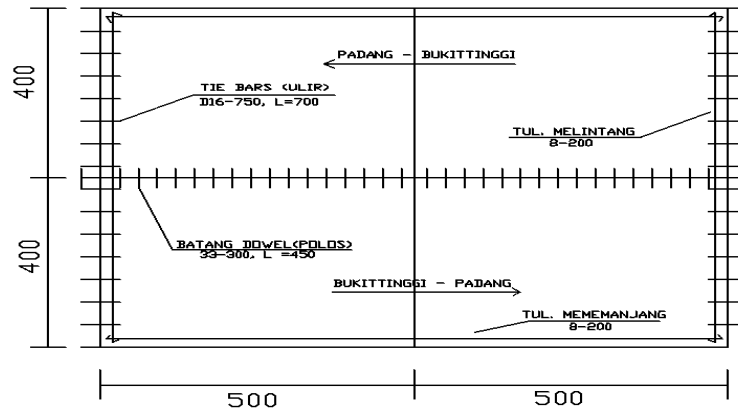
b) Gambar detail susunan konstruksi perkerasan jalan kaku dari metoda manual perkerasan jalan 2017.



Gambar 3.2 Detail struktur perkerasan kaku Metoda Manual 2017

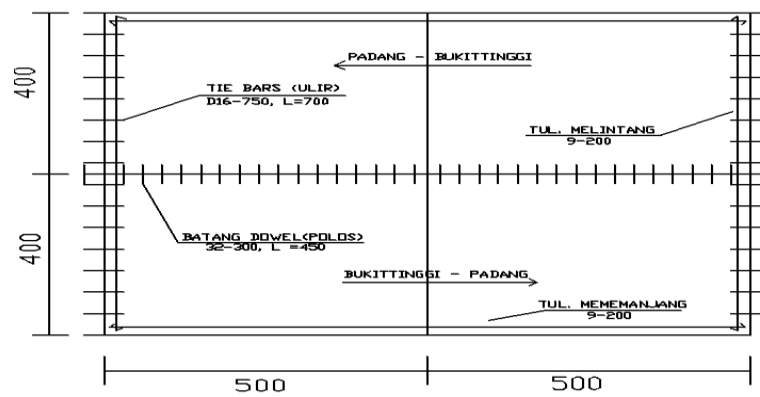
4) Gambar Potongan Tulangan Memanjang dan Melintang

- a) Gambar potongan tulangan memanjang dan melintang konstruksi perkerasan jalan kaku dari metoda perencanaan perkerasan jalan beton semen (Pd T-14-2003).



Gambar 3.3 Potongan tulangan memanjang dan melintang metoda (Pd T-14-2003)

- b) Gambar potongan tulangan memanjang dan melintang konstruksi perkerasan jalan kaku dari metoda manual desain perkerasan jalan 2017.



Gambar 3.4 Potongan tulangan memanjang dan melintang metoda manual perkerasan jalan 2017

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari tabel diatas hasil yang diperoleh dari perencanaan tebal perkerasan dengan metoda perencanaan perkerasan jalan beton semen (Pd T-14-2003) sebesar 200 mm = 20 cm, dalam metoda ini hanya didapat nilai tebal dari pondasi bawah dan lapis

perkerasan jalan. Sedangkan hasil yang diperoleh dari perencanaan tebal perkerasan dengan metoda manual desain perkerasan jalan 2017 sebesar 275 mm = 27,5 cm, dalam metoda ini didapat beberapa lapis pondasi seperti lapisan drainase (LFA kls A), lapisan beton kurus (LMC), dan tebal perkerasan jalan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Christady, Hary. Mei 2007. *Pemeliharaan Jalan Raya*. Yogyakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. Pedoman Konstruksi dan Bangunan. *Survai Pencacahan Lalu Lintas dengan cara Manual*, Pd T-19-2004-B, Jakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*, Pd T-14-2003.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Jakarta.
- Dewa, Giyyar Tantra, dkk. “*Studi Identifikasi dan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Kaku dan Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga (Studi Kasus Jalan Kawasan Industri Krakatau Cilegon)*”. [Jurnal]. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Hadijah, Ida & Harizalsyah, Mohamad. 2017. “*Perencanaan Jalan Dengan Perkerasan Kaku Menggunakan Metode Analisa Komponen Bina Marga*”. [Jurnal]. Lampung: Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Metro.
- Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga. 2017. “*Manual Desain Perkerasan Jalan*”. Jakarta.
- Lukman, Andika F, dkk. “*Rancangan Tebal Perkerasan Kaku Jalan Lingkar Selatan Kota Cilegon*”. [Jurnal]. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Serang Raya.
- Nurlianti, Sri & Hendrayana, yayat. “*Perbandingan Tebal Perkerasan Kaku Metode Bina Marga 2013 Dan AASHTO 1993 Pada Proyek Rehabilitas Jalan Dukuwarung – Karangsembung II*”. [Jurnal]. Fakultas Teknik, Universitas Majalengka.
- Putranto, Yohandika Pandu & Ridwansyah, Achmad Miraj. 2018. “*Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Ruas Jalan Tol Karangaanyar – Solo*”. [Naskah Terpublikasi]. Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.
- Suryawan, Ari. 2015. *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement)*.”Beta Offset, Yogyakarta.
- Sakatra, Ade. 2018. “*Perencanaan Tebal Konstruksi Perkerasan Kaku dengan Metoda Pd T-14-2003 dan Manual Perkerasan Jalan 2017 pada Jalan Lintas Sumatera Solok-Padang, Koto Baru, Kabupaten Solok, Sumatera Barat.*” [Tugas Akhir]. Padang : Politeknik Negeri Padang.

ANALISA NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) UNTUK PERENCANAAN TEBAL LAPISAN PERKERASAN LENTUR (STUDI KASUS PADA RUAS JALAN PANTI -TALU)

Dwina Archenita¹, Liliwarti², Syaifullah Ali³, Hadi Darma Safutra⁴

1 Teknik Sipil, Sarjana Terapan Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: Dwina_a@hotmail.com

2 Teknik Sipil, Sarjana Terapan Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: liliwartie@gmail.com

3 Teknik Sipil, Sarjana Terapan Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email:

4 Mahasiswa Teknik Sipil, Sarjana Terapan Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang. Email: hadisafutra36@gmail.com

ABSTRACT

The soil is the basis of a road pavement structure. The best soil to establish a road construction structure is soil that has a high density value. To find out the density / carrying capacity of the soil it is necessary to test California Bearing Ratio (CBR). CBR testing consists of two namely field CBR and laboratory CBR. The quality of a pavement is largely determined by the CBR value of the subgrade and also the methods used in highway planning. In this study the location of the study was carried out on the Panti-Talu Sta road section (2 + 000-7 + 000) located in Pasaman Regency, West Sumatra (this road was damaged). At this location, Dynamic Cone Penetrometer (DCP) and CBR laboratory tests were carried out, as well as a traffic survey. The results of this study indicate that the CBR value in the field is 4.52% from the 26 points tested in the DCP test and 7% for the laboratory CBR value. The thickness of the percussion layer using the 2017 Pavement Design Manual (MDP) method is obtained thick thickness with AC-WC 4 cm, AC-BC 6 cm, LPA class A 40 cm. This result will be utilized by the construction implementers / consultants and the PUPR service in planning the thickness of the pavement layer.

Keywords : Soil, Field CBR, Laboratory CBR, DCP, Pavement

ABSTRAK

Tanah merupakan dasar dari suatu struktur perkerasan jalan. Tanah yang terbaik mendirikan struktur konstruksi jalan adalah tanah yang memiliki nilai kepadatan tinggi. Untuk mengetahui kepadatan/daya dukung tanah perlu dilakukan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR). Pengujian CBR terdiri dari dua yaitu CBR lapangan dan CBR laboratorium. Kualitas dari suatu perkerasan jalan sangat ditentukan oleh nilai CBR tanah dasar dan juga metoda yang digunakan dalam perencanaan jalan raya. Pada penelitian ini lokasi penelitian dilakukan pada ruas jalan Panti-Talu Sta (2+000-7+000) yang terletak di Kabupaten Pasaman Sumatera Barat (jalan ini mengalami kerusakan). Pada lokasi ini dilakukan pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan CBR laboratorium, dan juga survey lalu lintas. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai CBR lapangan didapatkan yaitu 4,52% dari 26 titik yang dilakukan pengujian DCP dilapngan dan 7% untuk nilai CBR laboratorium . Tebal lapisan perkersan dengan menggunakan metoda Manual Desaian Perkerasan (MDP) 2017 didapat tebal tebal dengan AC-WC 4 cm, AC-BC 6 cm,

LPA kelas A 40 cm. Hasil ini akan dapat dimanfaatkan oleh para pelaksana konstruksi / konsultan dan dinas PUPR dalam merencanakan tebal lapisan perkerasan.

Kata Kunci : Tanah dasar, CBR lapangan, CBR laboratorium, Perkerasan jalan

1. PENDAHULUAN

Jalan raya adalah sarana penghubung antar suatu daerah dengan tujuan tertentu yang dapat dilalui oleh berbagai jenis kendaraan dan memenuhi standar perencanaan yang memenuhi prinsip nyaman, aman, selamat, dan sesuai dengan umur rencana. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka diperlukan suatu perencanaan jalan yang tepat dan efisien. Tanah dasar (*Sub grade*) merupakan pondasi yang menahan beban perkerasan yang berasal dari beban / kendaraan yang melewati suatu jalan, oleh karena itu perencanaan suatu jalan salah satu factor yang sangat menentukan adalah daya dukung tanah dasar (*sub grade*) dan metoda perencanaan yang tepat. Daya dukung tanah dasar ditentukan oleh nilai CBR tanah dasar. Nilai CBR tanah diperoleh dengan melakukan *Uji Dynamic Cone Penetration Test (DCP)*, dan uji CBR laboratorium. Kedua nilai tersebut terdapat perbedaan hasil yang cukup besar, karena DCP adalah insitu test, hasil dari uji ini dipengaruhi oleh kondisi cuaca saat pengujian, sedangkan CBR labor adalah benda uji yang dibuat di labor sesuai dengan standar yang berlaku (tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca). Metoda perencanaan yang digunakan juga sangat menentukan kualitas desain. Metoda perencanaan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2017

Jalan raya Panti – Talu merupakan jalan yang cukup padat dan menghubungkan antara Pasaman Barat dan Pasaman Timur dan ke Sumatera Utara, jalan ini mengalami kerusakan pada badan jalan, retak retak dan bergelombang. Untuk mengatasi hal tersebut perlu adanya tinjauan nilai daya dukung tanah dasar untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan jalan. Maka pada penelitian ini kami mencoba menggunakan daya dukung tanah dasar berdasarkan data CPT test dan CBR laboratorium untuk desain tebal lapisan perkerasan dengan metoda manual desaina perkerasan 2017.

2. STUDI PUSTAKA

Sukirman (1999), menjelaskan perkerasan jalan diletakkan di atas tanah, maka secara keseluruhan mutu dan daya tahan konstruksi perkerasan tidak lepas dari sifat tanah dasar. Tanah dasar merupakan bagian terakhir yang menerima beban roda kendaraan yang distribusikan dari lapisan permukaan. Metode yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah dasar dapat ditentukan dengan pengujian CBR (*Colifornia Bearing Ratio*) dan DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*).

Devendra Kumar Choudhary dkk, (2014) meneliti tentang metoda CBR untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan lentur, hasil menunjukkan, semakin tinggi nilai CBR maka tebal lapisan perkerasan semakin tipis.

Gill, K.S.dkk (2010), meneliti tentang Estimasi nilai CBR dengan menggunakan penetrasi dinamis (DCP), hasil memperlihatkan nilai CBR dari tes DCP dapat dibuat korelasi dengan nilai CBR laboratorium.

Wibowo (2017), meneliti tentang Analisa Desain Perkerasan Jalan Metode Bina Marga 1987, Bina Marga 2002 dan Evaluasi Struktur Perkerasan Jalan Pada (Studi Kasus Ruas Pelebaran Jalan Bantal – Mukomuko Bengkulu). Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk membandingkan metode Bina marga 1987 dan Bina Marga 2002. Hasil yang diperoleh yaitu metode Bina Marga 2002 lebih baik atau relevan karena lebih efisien/ hemat dan parameter yang digunakan lebih lengkap.

Naufal dkk (2015), Meneliti tentang Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Beberapa Metode Bina Marga Studi kasus : (Ruas Jalan Piringsurat – Batas Kedu Timur). Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk mengidentifikasi masing-masing metode sehingga menghasilkan evaluasi tiap pedoman manual desain perkerasan jalan lentur. Hasil yang diperoleh dari penelitian yaitu pada metode Bina Marga 2002 memiliki parameter perencanaan yang cukup baik namun, dalam beberapa parameter perencanaan tidak memiliki parameter acuan tulis yang jelas sehingga membingungkan para perencanaan dalam merencanakan tebal perkerasan.

Ulya dkk (2017), Meneliti tentang Analisis Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 dan Metode AASHTO 1993 (Studi Kasus Ruas Jalan Baron-Tepus). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode Manual Desain 2013 dan AASHTO 1993. Hasil yang diperoleh dari penelitian yaitu Manual Desain 2017 lebih baik dikarenakan metode ini sudah disesuaikan dengan kondisi di Indonesia.

Sukirman (1999), menjelaskan perkerasan jalan diletakkan di atas tanah, maka secara keseluruhan mutu dan daya tahan konstruksi perkerasan tidak lepas dari sifat tanah dasar. Tanah dasar merupakan bagian terakhir yang menerima beban roda kendaraan yang distribusikan dari lapisan permukaan. Metode yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah dasar dapat ditentukan dengan pengujian CBR (*Colifornia Bearing Ratio*) dan DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*).

2.1 Perencanaan tebal lapisan perkerasan jalan lentur dengan Metode Manual Desain 2017

Manual Perkerasan Jalan 2017 merupakan revisi terhadap Manual Perkerasan Jalan 2013 yang meliputi perubahan struktur penyajian untuk mempermudah pemahaman pengguna dan penambahan serta perbaikan kandungan manual

2.2 Hasil, Analisa Data dan pembahasan

2.2.1 Hasil Pengujian CBR Lapangan

Hasil yang didapatkan dalam pengujian DCP yang dilakukan dilapangan terdapat pada tabel dibawah ini :

Tabel 1. 1 Hasil pengujian DCP STA 2+000

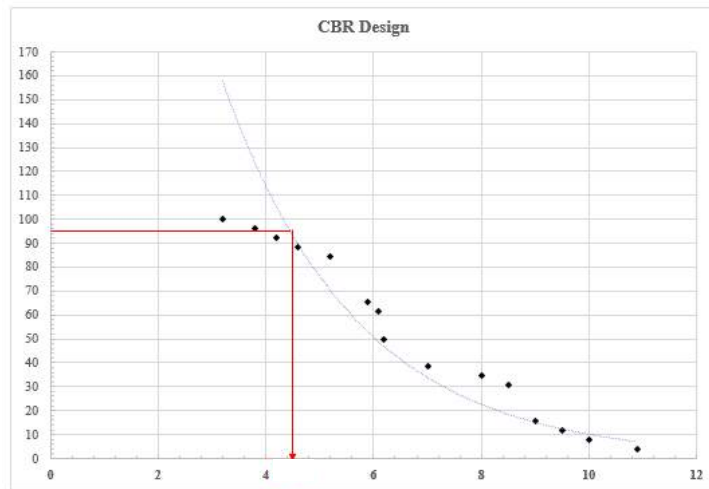
Banyak Tumbukan	Kumulatif Tumbukan	Penetrasi (mm)
-----------------	--------------------	----------------

0	0	0
2	2	35
2	4	89
2	6	111
2	8	181
2	10	254
2	12	310
2	14	351
2	16	426
2	18	478
2	20	590
2	22	701

Setelah didapat data pengujian dilapangan, data yang didapatkan 26 titik dilampirkan maka selanjunya lakukan analisa data DCP lapangan.

Tabel 1. 2 Persamaan nilai CBR titik pengujian

CBR	Jumlah	% nilai yang \geq
3,2	1	100%
3,8	1	95.15%
4,2	1	92,3%
4,6	1	88.61%
5,2	1	84.61%
5,9	5	65.38%
6,1	1	61.53%
6,2	3	50%
7	3	38.46%
8	1	34.61%
8,5	1	30.76%
9	4	15.38%
9,5	1	11.53%
10	1	7.69%
10,9	1	3.84%



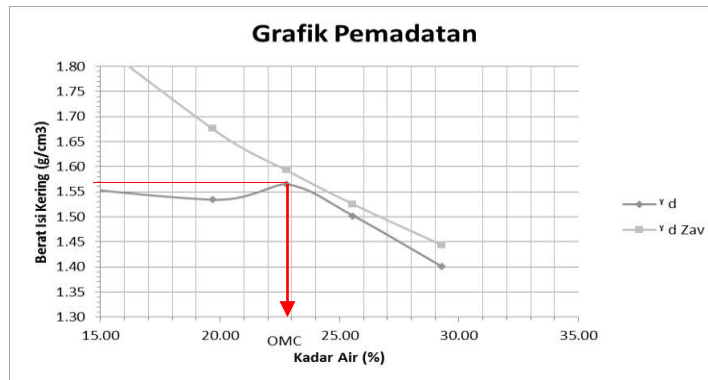
Gambar 1. 1 Grafik CBR Design

CBR desain yang didapatkan dilapangan dengan metode grafis yaitu 4,52 %.

2.2.2 Pengujian CBR Laboratorium

Nilai CBR (California Bearing Ratio) pada tanah dasar kepadatan kering maksimum kondisi terendam selama 4x24 jam pada suhu ruang, pengujian CBR Laboratorium sesuai SNI 03-1744-1989.

1. Pematatann (*Compaction*)



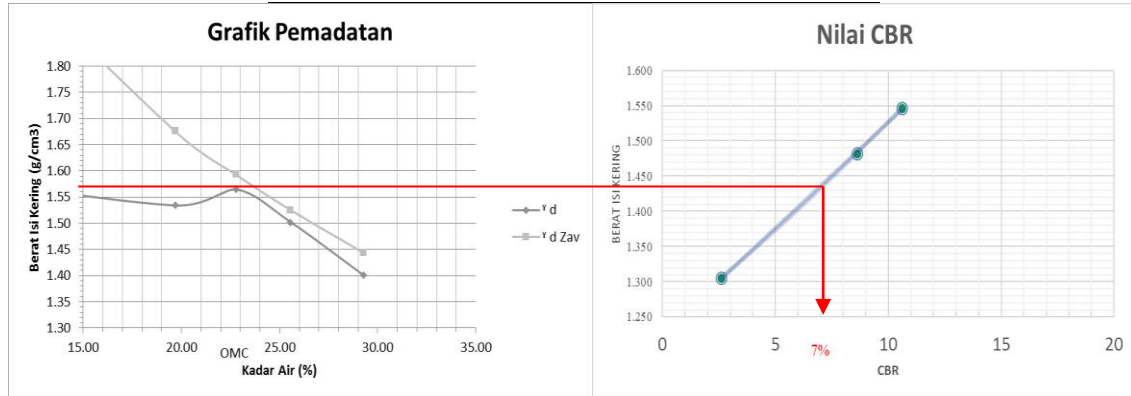
Gambar 1. 2 Grafik pematatan kering dengan kadar air titik 1

2. CBR desain laboratorium

Data hasil pengujian yang di peroleh dengan menggunakan 3 energi pematatan digambarkan dalam bentuk kurva. Data yang digambarkan tersebut menunjukkan respons tanah pada suatu rentang kadar air yang ditentukan dengan densitas kering antara minimum yang ditentukan dan densitas kering yang dihasilkan melalui pematatan dalam rentang kadar air yang ditentukan. Seperti gambar dibawah ini

Tabel 1. 3 Hasil Percobaan CBR laboratorium

	Titik 1		
Nilai CBR	2,61	8,62	10,60
Berat isi kering	1,305	1,482	1,547



Gambar 1. 3 CBR desain laboratorium

Hasil perhitungan nilai CBR lapangan dan CBR Laboratorium

Tabel 1. 4 Nilai CBR Lapangan dan CBR Laboratorium

CBR Lapangan		CBR Laboratorium
STA	CBR%	CBR%
26 titik (Lampiran)	4,52%	7%

Hasil yang didapatkan dalam melakukan pengujian CBR laboratorium dan CBR lapangan mendapatkan hasil yang berbeda, namun dalam melakukan desain perkerasan lentur menggunakan Manual Desain Perkerasan 2017 menggunakan CBR Laboratorium yaitu 7% karena nilai yang didapatkan dari CBR laboratoium tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca, kesalahan dalam pemukulan hummer, dan lain-lain. Sehingga akurasi yang didapatkan dari pengujian CBR lebih akurat dari CBR lapangan.

Perencanaan tebal lapisan perkerasan jalan lentur dengan Metode Manual Desain 2017

Adapun langkah yang harus dilakukan dalam merencanakan tebal perkerasan sebagai berikut.

- Menentukan Umur Rencana

Tabel 1. 5 Umur Rencana Perkerasan

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun) ⁽¹⁾
	Lapisan aspal dan lapisan berbutir ⁽²⁾	20
Perkerasan lentur	Fondasi jalan Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, terowongan, <i>Cement Treated Based</i> (CTB)	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan.	40
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

- Faktor pertumbuhan Lalu Lintas

Tabel 1. 6 Pertumbuhan lalu lintas

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata – rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,5	3,5	3,5	3,5
Jalan desa	1,0	1,0	1,0	1,0

Sumber : *Manual Desain Perkerasan Jalan 2017*

Faktor DD yang dipakai yaitu 100% persen karena memiliki lajur 1 untuk 2 arah

- Menghitung nilai beban sumbu standar kumulatif

Tabel 1. 7 Perhitungan nilai CESA 5

Jenis Kendaraan	ΣLHR	Jmlh					VDF5	ESA5
		hari 1 tahun	DD	DL	R			
Bus Besar (5b)	21	365	0,5	1	20,066	1	76672,99	
Truk 2 Sumbu 4 roda (6a)	31	365	0,5	1	20,066	0,5	56761,69	
Truk 2 sumbu 6 roda (6b)	8	365	0,5	1	20,066	4,6	134763,256	
Truk 3 Sumbu (7a1)	7	365	0,5	1	20,066	7,4	189693,931	
ESA5							457891,867	

Setelah mendapat nilai ESA5 selanjutnya kita tentukan *Traffic Multiplier* (TM). Nilai TM lapisan aspal untuk kondisi pembebanan yang berlebih di Indonesia adalah berkisar di antara 1,8 - 2. Jadi yang dipakai untuk menentukan CESA5 yaitu 2 yang merupakan nilai maksimum sehingga didapatkan nilai CESA5

$$\begin{aligned} \text{CESA5} &= \text{ESA5} \times \text{TM} \\ \text{CESA5} &= 457891,867 \times 2 \\ \text{CESA5} &= 915782 \text{ ESAL} \end{aligned}$$

Dalam melakukan desain pondasi nilai CBR yang dimasukan yaitu untuk CBR lapangan dengan metode grafis 4,52 % sedangkan menggunakan CBR laboratorium didapatkan nilai CBR 7%

Tabel 1. 8 Desain Fondasi jalan minimum

CBR Tanah dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan kaku	
			Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESA5)				Stabilisasi Semen ⁽⁶⁾
			< 2	2 - 4	> 4		
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar				
≥ 6	SG6		Tidak diperlukan perbaikan				
5	SG5		-	-	100		
4	SG4	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan Spesifikasi Umum, Devisi 3 – Pekerjaan Tanah) (pemadatan lapisan ≤ 200 mm tebal gembur)	100	150	200	300	
3	SG3		150	200	300		
2,5	SG2.5		175	250	350		
Tanah ekspansif (potensi pemuaian > 5%)			400	500	600		
Perkerasan di atas tanah lunak ⁽²⁾			1000	1100	1200		
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum – ketentuan lain berlaku)		Lapis penopang berbutir ^{(4) (5)}	1000	1250	1500	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur	

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Sehingga desain perkerasan lentur yang digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan lentur menggunakan Manual desain Perkerasan 2017

Tabel 1. 9 Desain perkerasan lentur opsi biaya minimum termasuk CTB

	STRUKTUR PERKERASAN									
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9	
Solusi yang dipilih	Lihat Catatan 2									
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ ESA5)	< 2	≥ 2 - 4	> 4 - 7	> 7 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200	
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)										
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245	
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300	
Catatan	1		2			3				

Hasil perhitungan tebal perkerasan lentur dengan metode Manualm Desain Perkerasan 2017 diperoleh tebal lapis permukaan AC-WC adalah 4 cm, tebal AC-BC adalah 6 cm dan LPA kelas A adalah 10 cm. Untuk desain fondasi jalan yang didapatkan menggunakan CBR laboratorium adalah 7% yaitu tidak diperlukan perbaikan sedangkan menggunakan CBR lapangan dengan nilai 4,52% didapatkan fondasi minimum lapis permukaan bawah dengan tebal 10 cm. Dalam perkembangan kedepan korelasi antara CBR laboratorium dan CBR lapangan harus dipengecekan ulang kembali terhadap nilai CBR yang didapatkan karena dapat mempengaruhi tebal lapis fondasi minimum yang didapatkan menggunakan Manual Desain Perkerasan 2017.

3. KESIMPULAN

Hasil nilai CBR yang didapat dari pengujian lapangan dan laboratorium yaitu 4,52 %, dan 7%.

Hasil tebal perkerasan menggunakan Manual Desain Perkerasan 2017 dengan AC-WC 4 cm, AC-BC 6 cm, LPA kelas A 40 cm. Untuk desain fondasi menggunakan CBR laboratorium Tidak diperlukan perbaikan dan CBR lapangan diperlukan timbunan pilihan dengan tebal 10 cm .

4. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2017. *Manual Perkerasan Jalan No.04/SE/Db/2017*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Aris,M.N.A., dkk. 2015. “*Analisi Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Beberapa Metode Bina Marga Studi Kasus : (Ruas Jalan Piringsurat-Batas Kedu Timur)*”. [Skripsi]. Universitas Diponegoro, diakses melalui <http://ejournal-sl.undip.ac.id/index.php/jkts> pada tanggal 27 Mei 2018.
- Bukhari, R.A dan Sofyan, M.S., 2002, *Rekayasa Lalu Lintas I*, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh
- Croney & Croney, 1998, *Design and Performance of Road Pavement*, 3rd Ed, McGraw.
- Gill, K.S. et all (2010) CBR Value Estimation Using Dynamic Cone Penetrometer
<https://gndec.ac.in/~jgs/ldh/conf/2010/articles/063.pdf>
- Ricky Theo dkk (2013), Analisis Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru menggunakan manual Desain Perkerasan Jalan (MDP)
<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/viewFile/14795/14364>
- Ulya, Khansa Shifatul., dkk. 2017. “*Analisa Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 dan Metode AASHTO 1993 (Studi Kasus Ruas Jalan Baron-Tepus (Planja- Tepus)*”. [Skripsi]. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, diakses melalui <http://repository.umy.ac.id/> pada tanggal 28 Mei 2018.
- Wibowo, Joko. 2017. “*Analisis Desain Perkerasan Jalan Metode Bina Marga 1987, Bina marga 2002 dan Evaluasi Struktur Perkerasan Jalan (Ruas Pelebaran Jalan Bantal-MukoMuko Bengkulu)* ”. [Skripsi]. Universitas Muhammadiyah Surakarta, diakses melalui <http://eprints.ums.ac.id/> pada tanggal 28 Mei 2018.
- Burhanuddin. 2018. *Hubungan Empiris Daya Dukung Tanah Dasar Menggunakan Alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP) dan California Bearing Ratio (CBR) Rendaman Untuk Desaian Tebal Perkerasan Jalan Raya*. Universitas Syiah Kuala.

Roy , P.Y. 2018. *Korelasi Nilai CBR Lapangan Dan CBR Laboratorium Untuk Lapisan Subgrade pada Jalan Padang Tambak Liwa-Batas Kota Liwa*. Universitas Lampung.

Aris,M.N.A., dkk. 2015. “*Analisi Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Beberapa Metode Bina Marga Studi Kasus : (Ruas Jalan Piringsurat-Batas Kedu Timur)*”. [Skripsi]. Universitas Diponegoro, diakses melalui <http://ejournal-sl.undip.ac.id/index.php/jkts> pada tanggal 27 Mei 2018.

Croney & Croney, 1998, *Design and Performance of Road Pavement*, 3rd Ed, McGraw.

Muhammadiyah Yogyakarta, diakses melalui <http://repository.umy.ac.id/> pada tanggal 28 Mei 2018.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Padang yang membantu dalam melakukan penelitian, Ibu Dwina Archenita, ST.,MT dan Liliwarti, ST.,MT yang selalu meberikan bekal pengetahuan selama melaksanakan penitian dan kepada Bapak Risnaldi yang mambantu setiap pekerjaan dilaboratorium tanah Teknik Sipil.

STUDI POTENSI PENGAPLIKASIAN JALUR KHUSUS SEPEDA MOTOR

Intan Rizki Oktavia¹, Titi Kurniati², Yosritzal²

¹Mahasiswa Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: intanrizkioktavia20@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: titi@eng.unand.ac.id

Email: yosritzal@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

Motorcycle lane is a lane for motorbike riders, which serves to reduce the number of accidents involving motorbikes. The benefit of this motorcycle lane is to reduce the number of traffic accidents, thereby eliminating conflicts with 4-wheeled vehicles and above. The purpose of this study is to identify public knowledge about motorcycle lanes and determine the relationship between characteristic variables and the potential application of motorcycle lanes. The link of the questionnaire was distributed through social media group. Respondent showed their response in 4-point of likert scale. Where score 1 corresponds to strongly agree and score 4 corresponds to strongly disagree. Number of data collected from the survey was 152. These data were analysed using crosstab analysis and tested using chi-square test. This study found that most respondents know about motorcycle lane / agree with application. However, male respondents seem to be more tolerant to those who violate the rule of motorcycle lane.

Keywords : *Motorcycle Special Lane, Chi-Square, Likert Scale*

ABSTRAK

Jalur khusus sepeda motor adalah jalur lalu lintas yang khusus dipergunakan untuk pengendara sepeda motor, yang berfungsi untuk menurunkan angka kecelakaan yang melibatkan sepeda motor. Manfaat dari jalur khusus sepeda motor ini adalah untuk menurunkan angka kecelakaan lalu lintas, sehingga menghilangkan konflik dengan kendaraan bermotor roda 4 keatas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi tentang pengetahuan masyarakat mengenai jalur khusus sepeda motor dan menentukan hubungan antara variabel karakteristik dengan potensi pengaplikasian jalur sepeda motor. Kuesioner didistribusikan ke kelompok media sosial. Responden menunjukkan respon mereka dalam skala likert 4 poin. Dimana skor 1 sesuai untuk sangat setuju dan skor 4 sangat tidak setuju. Jumlah pengumpulan data dari survei adalah 152. Data ini dianalisis menggunakan analisis crosstab dan diuji menggunakan teks chi-square. Penelitian ini menemukan bahwa sebagian besar responden tahu tentang jalur sepeda motor / setuju dengan aplikasi. Namun, responden laki-laki harus lebih toleran terhadap mereka yang melanggar aturan jalur sepeda motor.

Kata Kunci : *Jalur Khusus Sepeda Motor, Chi-Square, Skala Likert*

1. PENDAHULUAN

Kota Padang adalah ibukota dari Sumatra Barat yang mempunyai tingkat kepadatan penduduk yang relatif tinggi. Masyarakat di Kota Padang sendiripun masih banyak yang belum mengetahui tentang jalur khusus sepeda motor. Penelitian ini akan membahas mengenai jalur khusus sepeda motor yang ada di Kota Padang. Masyarakat masih banyak yang bingung mengenai jalur ini. Karena seperti yang kita ketahui di Kota Padang masih belum nampak dengan nyata jalur sepeda motor. Selama ini yang masyarakat ketahui hanya jalur khusus untuk Trans Padang. Penelitian ini akan dilakukan dengan menyebarkan kuesioner secara online. Secara tidak langsung perilaku pengendara kendaraan pribadi tersebut akan diteliti terlebih dahulu secara cermat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi tentang pengetahuan masyarakat mengenai jalur khusus sepeda motor dan menentukan hubungan antara variable karakteristik dengan potensi pengaplikasian jalur sepeda motor.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Jalur Khusus Sepeda Motor

Jalur sepeda motor atau jalur khusus sepeda motor adalah jalur lalu lintas yang khusus dipergunakan untuk pengendara sepeda motor, yang berfungsi untuk menurunkan angka kecelakaan yang melibatkan sepeda motor. Manfaat dari jalur khusus sepeda motor ini adalah untuk menurunkan angka kecelakaan lalu lintas, sehingga menghilangkan konflik dengan kendaraan bermotor roda 4 keatas. Banyak dari kita belum mengetahui mengenai perbedaan antara jalur dan lajur. Jalur adalah bagian jalan yang dipergunakan untuk lalu lintas kendaraan. Sedangkan lajur adalah bagian jalur yang memanjang dengan atau tanpa marka jalan, yang memiliki lebar cukup untuk satu kendaraan bermotor sedang berjalan, selain sepeda motor.

2.2 Skala Likert

2.2.1 Pengertian Skala Likert

Skala likert adalah pengukuran yang dikembangkan oleh Likert (1932). Skala likert mempunyai empat atau lebih butir-butir pertanyaan yang dikombinasikan sehingga membentuk sebuah skor / nilai yang merepresentasikan sifat individu, misalkan pengetahuan, sikap, dan perilaku. Dalam proses analisa data, komposit skor, biasanya jumlah atau rata-rata, dari semua butir pertanyaan dapat digunakan. Penggunaan jumlah dari semua butir pertanyaan valid karena setiap butir pertanyaan adalah indicator dari variable yang direpresentasikannya.

2.2.2 Penentuan Skor Jawaban

Skor jawaban merupakan nilai jawaban yang akan diberikan oleh responden, menurut Sugiono (2012) dijelaskan bahwa hal yang pertama yang harus kita lakukan adalah menentukan skor dari tiap jawaban yang diberikan. Contohnya, sikap yang akan kita pakai yaitu “setuju”. Selanjutnya kita menentukan banyaknya jawaban tiap pertanyaan yang akan kita berikan. Misalnya, 5 skala, berarti sangat tidak setuju, tidak setuju, setuju. Jika pertanyaan bersifat susah untuk diberikan jawaban, otomatis responden

cenderung static oleh karna itu kita dapat memberikan pilihan jawaban yang banyak, missal 7 atau 9 jawaban tiap pertanyaan. Hal ini bertujuan agar responden dapat memberikan penilaian sesuai dengan kriteria mereka berdasarkan pilihan yang ada. Dengan adanya skala jawaban untuk penentu nilai indeks interval yang akan didapat. Skala jawabannya adalah sangat setuju (4), setuju (3), tidak setuju (2), sangat tidak setuju (1).

2.2.3 Skor Ideal

Skor ideal merupakan skor yang digunakan untuk menghitung skor untuk menentukan rating scale dan jumlah seluruh jawaban. Untuk menghitung jumlah skor ideal (kriterium) dari seluruh item., digunakan rumus berikut :

$$\text{SKOR KRITERIUM} = \text{Nilai Skala} \times \text{Jumlah Responden}$$

3. METODE

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah suatu upaya untuk mendapatkan data-data yang diperlukan dalam mengidentifikasi masalah untuk dianalisis dan dibahas sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian ini. Data diambil dengan cara menyebarkan kuesioner dengan melalui media social seperti *WhatsApp*, *Line*, dan sebagainya.

3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini hanya dengan menunggu hasil tanggapan yang telah dikirim oleh responden yang mana kemudian hasilnya akan di hitung jumlah perbandingannya dan nantinya hasil yang akurat tersebut untuk kemudian akan di olah datanya dengan sedemikian rupa sehingga akan mendapat hasil yang diinginkan untuk penelitian ini. Respon responden nantinya akan dibagi 2, ada untuk pertanyaan kendaraan roda 4 dan pertanyaan kendaraan roda 2. Dibawah ini adalah penjabaran symbol tentang pertanyaan untuk roda 4 dan 2 yang akan diajukan, pertanyaannya sebagai berikut :

Tabel 3.1 Urutan symbol pertanyaan roda 4

No.	Pertanyaan Roda 4	Simbol
1.	Dengan adanya lajur khusus sepeda motor, dapat mengurangi tingkat sepeda motor, dapat mengurangi pengendara mobil & motor.	X1
2.	Dibuatnya lajur khusus sepeda motor, akan membuat pengendara motor, akan membuat pengendara mobil menjadi bisa lebih tepat waktu/cepat sampai tujuan.	X2
3.	Dengan adanya lajur khusus sepeda motor, dapat mengurangi stres saat berkendara pada pengendara mobil.	X3
4.	Dengan adanya lajur khusus sepeda motor, mobil akan lebih leluasa memacu kecepatannya.	X4
5.	Dengan adanya lajur khusus sepeda motor, akan mengurangi kemacetan.	X5
6.	Dengan adanya lajur khusus sepeda motor, maka pengendara mobil akan lebih tertib dan sesuai aturan.	X6
7.	Saat ini dengan adanya lajur khusus sepeda motor banyak membuat pengendara mobil suka ngebut.	X7
8.	Adanya lajur khusus sepeda motor itu untuk membuat pengendara sepeda motor tersebut lebih mudah untuk saling mendahului.	X8
9.	Dengan adanya lajur khusus sepeda motor dapat lebih meningkatkan keselamatan pengendara mobil.	X9
10.	Pengendara mobil yang menggunakan lajur khusus sepeda motor akan dikenakan sanksi.	X10

Tabel 3.2 Urutan symbol pertanyaan roda 2

No.	Pertanyaan Roda 2	Simbol
1.	Dibuatnya lajur khusus sepeda motor, akan membuat pengendara motor menjadi lebih bisa tepat waktu / cepat sampai tujuan.	Y1
2.	Dengan adanya lajur khusus sepeda motor, maka dapat mengurangi stres saat berkendara pada pengendara motor.	Y2
3.	Dengan adanya lajur khusus sepeda motor, motor akan lebih leluasa memacu kecepatannya.	Y3
4.	Dengan adanya lajur khusus sepeda motor, maka akan mengurangi kemacetannya.	Y4
5.	Lajur khusus sepeda motor akan diberlakukan untuk lajur kiri saja.	Y5
6.	Pada saat menggunakan lajur khusus sepeda motor akan membuat susah belok kanan.	Y6
7.	Dengan adanya lajur khusus sepeda motor, maka pengendara motor akan lebih tertib dan sesuai dengan aturan.	Y7
8.	Saat ini dengan adanya lajur sepeda motor banyak membuat pengendara motor menjadi suka ngebut.	Y8
9.	Adanya lajur khusus sepeda motor itu sendiri untuk membuat pengendara sepeda motor tersebut lebih mudah untuk saling mendahului.	Y9
10.	Dengan menggunakan lajur khusus sepeda motor dapat meningkatkan keselamatan pengendara sepeda motor itu sendiri.	Y10
11.	Pengendara sepeda motor yang tidak menggunakan lajur khusus sepeda motor akan dikenakan sanksi.	Y11

3.3 Analisa dan Pembahasan

Analisa data yang dilakukan untuk melihat proporsi pengendara yang melanggar jalur khusus sepeda motor. Serta data kuesioner dilakukan untuk melihat pemahaman responden akan aturan saat melewati jalur khusus tersebut. Serta juga akan dilakukan analisa statistik menggunakan SPSS dengan memasukkan variable yang akan dibandingkan dan nantinya akan didapatkan hasil *chi-square*. Dianalisa dan pembahasan penelitian ini akan digunakan rumus skala likert sebagai berikut :

$$\text{Rumus Index \%} = \text{Total Skor} / Y \times 100$$

Keterangan :

Total Skor : Total dari hasil kali antara jumlah jawaban responden dengan skor kali yang telah ditentukan.

Y : Skor tertinggi skala likert X jumlah responden
(missal : 4 X 91 = 364)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perolehan Data Survey

Survey pendahuluan dilakukan dengan cara membagikan kuesioner melalui social media. Responden hanya perlu mengisi kuesioner yang dibagikan melalui *WhatsApp*. Waktu pelaksanaan survey dimulai pada tanggal 9 September 2019 dan di kuesioner ini dijelaskan secara rinci agar tidak membingungkan responden.

4.2 Karakteristik Personal Responden

Ada 11 karakteristik personal responden yang diamati, sebagai berikut: Jenis kelamin, usia, pendidikan terakhir, pekerjaan, domisili (saat ini), kepemilikan SIM atas nama sendiri dan masih berlaku saat ini, kepemilikan STNK yang masih berlaku saat ini, penggunaan helm saat mengendarai sepeda motor, penggunaan jaket saat mengendarai sepeda motor, penggunaan sarung tangan saat mengendarai sepeda motor, jenis kendaraan pribadi yang lebih sering digunakan sehari-hari.

4.3 Analisis Pengetahuan Responden Dari Hasil Survey

Tabel 4.1 Tabel Presentase Nilai

Jawaban	Keterangan
0% - 25%	Sangat Tidak Setuju
25% - 50%	Tidak Setuju
50% - 75%	Setuju
75% - 100%	Sangat Setuju

Tabel presentase nilai digunakan untuk menentukan kategori indeks interval. Untuk penentuan tingkat indeks intervalnya, nilai skala likert yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Sangat Setuju = X 4
- Setuju = X 3
- Tidak Setuju = X 2
- Sangat Tidak Setuju = X 1

Namun, ada beberapa pertanyaan yang termasuk kedalam pertanyaan negative yang mana penentuan nilai nya berbeda, sebagai berikut:

- Sangat Setuju = X 1
- Setuju = X 2
- Tidak Setuju = X 3
- Sangat Tidak Setuju = X 4

Tabel 4.2 Tabel Urutan Presentase Pertanyaan Roda 4

No.	Pertanyaan Roda 4	Presentase (%)	Indeks Interval
1.	Membuat pengendara mobil lebih mudah untuk saling mendahului.	65,38	Setuju
2.	Pengendara mobil akan lebih leluasa memacu kecepatannya.	68,13	Setuju
3.	Pengendara mobil akan lebih meningkatkan keselamatannya.	71,42	Setuju
4.	Mobil akan lebih tertib dan sesuai aturan.	73,9	Setuju
5.	Dengan adanya lajur khusus membuat pengendara mobil suka ngebut.	73,9	Setuju
6.	Dengan adanya lajur khusus sepeda motor, akan mengurangi kemacetan.	76,09	Sangat Setuju
7.	Membuat pengendara mobil lebih tepat waktu / cepat sampai tujuan.	76,64	Sangat Setuju
8.	Dapat mengurangi stres pada pengendara mobil.	76,64	Sangat Setuju
9.	Mengurangi kecelakaan antara pengendara roda 4 dan roda 2.	84,34	Sangat Setuju
10.	Pengendara mobil yang menggunakan lajur khusus sepeda akan dikenakan sanksi.	89,83	Sangat Setuju

Tabel 4.3 Tabel Urutan Presentase Pertanyaan Roda 2

No.	Pertanyaan Roda 2	Presentase (%)	Indeks Interval
1.	Membuat pengendara motor lebih suka ngebut.	50,54	Setuju
2.	Membuat pengendara motor mudah untuk saling mendahului.	70,6	Setuju
3.	Pada saat menggunakan lajur khusus sepeda motor akan membuat susah belok kanan.	70,88	Setuju
4.	Lajur khusus sepeda motor akan diberlakukan untuk lajur kiri saja.	71,42	Setuju
5.	Membuat pengendara motor lebih leluasa memacu kecepatan	71,97	Setuju
6.	Pengendara sepeda motor akan lebih tertib dan sesuai aturan.	75,82	Sangat Setuju
7.	Dengan adanya lajur khusus sepeda motor, maka akan mengurangi kemacetan.	76,92	Sangat Setuju
8.	Dengan menggunakan lajur khusus sepeda motor dapat meningkatkan keselamatan pengendara sepeda motor itu sendiri.	77,19	Sangat Setuju
9.	Dapat mengurangi stres saat berkendara pada pengendara sepeda motor.	81,04	Sangat Setuju
10.	Membuat pengendara motor bisa tepat / cepat sampai tujuan.	81,59	Sangat Setuju
11.	Pengendara sepeda motor yang tidak menggunakan lajur khusus sepeda motor maka akan dikenakan sanksi.	84,06	Sangat Setuju

4.4 Analisis Statistik Hubungan Karakteristik dengan Pertanyaan

Metode analisis statistik digunakan untuk melihat hubungan antara 2 variabel dalam satu tabel. Analisis ini diuji dengan menggunakan uji Chi-Square untuk menentukan signifikansi hubungan antara satu variabel dengan variabel lainnya. Ada 3 variabel untuk dianalisis yaitu dengan kepemilikan SIM, penggunaan helm dan jenis kelamin. Hasil dari analisis statistik variabel antara kepemilikan SIM dengan pertanyaan roda 4 dan roda 2 memiliki kesimpulan bahwa tidak ada hubungan antara kepemilikan SIM vs semua pertanyaan yang diajukan. Hasil dari analisis statistik variabel antara penggunaan helm vs pertanyaan roda 4 dan roda 2 memiliki kesimpulan bahwa juga tidak ada hubungan antara kepemilikan SIM dengan semua pertanyaan yang diajukan. Namun, divariabel jenis kelamin vs semua pertanyaan untuk roda 4 dan roda 2 ada yang memiliki hubungan, karena nilai asymp.sig nya <0,05. Yang menentukan nilai asymp.sig diterima atau tidak ditentukan dari besar nilai asymp.sig nya sendiri, kalau >0,05 maka disimbolkan H_0 diterima, tapi kalau <0,05 maka disimbolkan H_0 ditolak.

Tabel 4.4 Tabel Urutan Nilai Asymp.Sig Dari Terendah Sampai Tertinggi Untuk Pertanyaan Roda 4 Dengan Perbandingan Variabel Jenis Kelamin

Pertanyaan Roda 4	Asymp. Sig	Indeks Interval			
X10	0,025	Ho Ditolak	X4	0,466	Ho Diterima
X2	0,071	Ho Diterima	X3	0,506	Ho Diterima
X7	0,162	Ho Diterima	X6	0,552	Ho Diterima
X1	0,275	Ho Diterima	X5	0,693	Ho Diterima
X8	0,279	Ho Diterima	X9	0,933	Ho Diterima

Jenis kelamin ada yang berhubungan dengan salah satu pertanyaan yang diajukan untuk pengendara roda 4 yaitu pengendara mobil yang menggunakan lajur khusus sepeda motor akan dikenakan sanksi, karena nilai asymp.sig nya dibawah nilai $H_0 > 0,05$.

Tabel 4.5 Tabel Urutan Nilai Asymp.Sig Dari Terendah Sampai Tertinggi Untuk Pertanyaan Roda 2 Dengan Perbandingan Variabel Jenis Kelamin

Pertanyaan Roda 2	Asymp. Sig	Indeks Interval			
Y11	0,025	Ho Ditolak	Y6	0,385	Ho Diterima
Y4	0,052	Ho Diterima	Y9	0,412	Ho Diterima
Y10	0,17	Ho Diterima	Y5	0,528	Ho Diterima
Y8	0,191	Ho Diterima	Y7	0,9	Ho Diterima
Y1	0,314	Ho Diterima	Y3	0,941	Ho Diterima
Y2	0,368	Ho Diterima			

Jenis kelamin ada yang berhubungan dengan salah satu pertanyaan yang diajukan untuk pengendara roda 2 yaitu pengendara sepeda motor yang tidak menggunakan lajur khusus sepeda motor akan dikenakan sanksi, karena ada yang nilai asymp.sig nya dibawah nilai $H_0 > 0,05$.

5. KESIMPULAN

1. Pada umumnya masyarakat sudah tahu mengenai jalur khusus sepeda motor dan,
2. Masyarakat pada umumnya mengapresiasi adanya jalur khusus sepeda motor karena dipersepsikan lebih aman, lebih cepat, lebih mudah namun terdapat indikasi masyarakat mentolelir pelanggaran lajur khusus sepeda motor.

6. DAFTAR PUSTAKA

Putranto, L.S., Kurniawan, H. (2007). Sebaran Posisi Sepeda Motor Di Jalur Jalan Pada Berbagai Kondisi Arus Lalu Lintas, *Jurnal Transportasi* Vol. 7 No. 1 Juni 2007: 79-86.

Departemen Pekerjaan Umum. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.

Pemerintah Indonesia. 2009. *Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Sekretariat Negara. Jakarta.

cnnindonesia.com/artikel:redaksi Jumat,12-01-2018, dikutip: Rabu,24-04-2019. Jakarta.

KEBUTUHAN INTEGRASI ANGKUTAN UMUM DI ZONA WISATA SUMATERA BARAT

Jihan Melasari¹, Purnawan²

¹Mahasiswa Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: 1.jihanmelasari@gmail.com

²Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: purnawan@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

The number of foreign and domestic tourists visiting the tourist zone in West Sumatra continues to grow. Based on data from West Sumatra Tourism Office, the number of tourist visits to West Sumatra in 2018 reached 8.1 million. From the 8.1 million people, 8,073,070 are domestic tourists and 57,638 are foreign tourists. It would increase transportation needs, in terms of facilities and infrastructure in order to support the tourism. The purpose of this study is to conduct an analysis of the use of transportation modes by respondents as tourists to the tourist zone in West Sumatra and identify respondents' preferences for the type of integrated transport system chosen to be applied in West Sumatra tourist zone. Data were obtained by distributing questionnaires online to respondents. In the data analysis, this research used logical framework analysis methods that are useful for planning, monitoring, and evaluation management of the development of a work program. The results of this study indicated that the most used transportation mode is private transportation. 70.3% of respondents stated that it was very important to make integrated transport system of public transportation and the chosen type of integrated transport system of public transportation was integrated transport network (62.9%) and integrated tariff rates and tickets (61.1%) were chosen to be implemented in order to increase transportation access to support the development of tourism in West Sumatra.

Keywords : Modes of Transportation, Tourism, Integration, Logical Framework

ABSTRAK

Jumlah wisatawan mancanegara dan wisatawan domestik yang mengunjungi zona wisata di Sumatera Barat terus bertambah. Berdasarkan data dari Dinas Pariwisata Sumatera Barat Jumlah kunjungan wisatawan ke Sumatera Barat pada 2018 mencapai 8,1 juta jiwa. Dari 8,1 juta orang tersebut, terdiri atas 8.073.070 wisatawan domestik dan 57.638 wisatawan mancanegara. Hal ini juga mengakibatkan meningkatnya kebutuhan transportasi baik dari segi sarana maupun prasarana agar dapat menunjang pariwisatanya. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan analisis tentang penggunaan moda transportasi oleh responden sebagai wisatawan menuju zona wisata yang ada di Sumatera Barat serta mengidentifikasi preferensi responden terhadap jenis integrasi yang dipilih untuk diterapkan di zona wisata Sumatera Barat. Data diperoleh dengan membagikan kuisioner secara *online* kepada para responden. Pada analisis data digunakan metode *logical framework analysis* yang berguna baik dalam perencanaan, monitoring, dan manajemen evaluasi pengembangan sebuah program kerja. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa moda transportasi terbanyak digunakan adalah angkutan pribadi. 70,3% responden menyatakan sangat penting dibuat integrasi angkutan umum dan jenis integrasi angkutan umum yang banyak dipilih adalah integrasi jaringan (62,9%) dan integrasi tarif dan tiket (61,1%) dipilih sebagai jenis yang akan diterapkan sehingga dapat

meningkatkan aksesibilitas transportasi untuk menunjang perkembangan pariwisata di Sumatera Barat.

Kata Kunci : Moda Transportasi, Pariwisata, Integrasi, Logical Framework

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data dari Dinas Pariwisata Sumatera Barat Jumlah kunjungan wisatawan ke Sumatera Barat pada 2018 mencapai 8,1 juta jiwa. Dari 8,1 juta orang tersebut, terdiri atas 8.073.070 wisatawan domestik dan 57.638 wisatawan mancanegara (Badan Pusat Statistik, 2018). Dengan terus bertambahnya jumlah wisatawan di Sumatera Barat secara langsung akan berdampak pada aktivitas transportasi karena akan ada pergerakan perpindahan orang dari tempat asal ketempat tujuan dengan menggunakan suatu moda dan ini yang disebut sebagai istilah transportasi. Hal ini juga mengakibatkan meningkatnya kebutuhan transportasi baik dari segi sarana maupun prasarana agar dapat menunjang pariwisatanya. Penyediaan sarana dan prasarana transportasi akan berdampak pada minat wisatawan untuk mengunjungi lokasi wisata yang ada. Prasarana transportasi mempunyai dua peranan utama, yaitu : sebagai alat bantu untuk mengarahkan pembangunan di daerah perkotaan dan sebagai prasarana bagi pergerakan manusia dan barang yang timbul akibat adanya pergerakan atau kegiatan di daerah perkotaan tersebut. Dari dua peran tersebut, peran pertama sering digunakan oleh perencana pengembang wilayah untuk dapat mengembangkan wilayah sesuai dengan rencana. Misalnya akan dikembangkan suatu wilayah baru dimana pada wilayah tersebut tidak akan pernah ada peminatnya bila wilayah tersebut tidak disediakan sistem prasarana transportasi. Sehingga pada kondisi tersebut sarana dan prasarana transportasi akan menjadi penting untuk aksesibilitas menuju wilayah tersebut dan akan berdampak pada tingginya minat masyarakat untuk menjalankan kegiatan ekonomi (Tamin, 1997).

Untuk mendukung pariwisata yang ada di Sumatera Barat maka perlu di buat integrasi sistem transportasi umum. Integrasi sistem transportasi umum berpengaruh terhadap sikap dan perilaku masyarakat (Eboli dan Mazzulla, 2011). Suatu sistem transportasi umum yang optimal hanya bisa dicapai melalui pemahaman yang tepat mengenai pola perjalanan masyarakat (*travel behaviour*) serta kebutuhan dan ekspektasi (*preference*) masyarakat terhadap pelayanan transportasi umum (Beirao dan Cabral, 2007). Oleh karena itu dalam penelitian ini dibutuhkan tiga sasaran yang harus dilakukan. Sasaran yang pertama adalah mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik dari responden untuk memberikan informasi mengenai gambaran umum profil dari responden sebagai wisatawan. Adapun variabel yang terkait dengan karakteristik pelaku perjalanan antara lain usia, jenis kelamin, kepemilikan kendaraan pribadi, dan pendapatan (Naes, 2006; Tamin, 2000).

Berikutnya sasaran yang kedua adalah mengidentifikasi dan menganalisis persepsi responden terhadap pemilihan moda yang digunakan dalam melakukan perjalanan wisata. Moda transportasi yang bisa dijadikan pilihan diantaranya pesawat terbang, kereta api, bus, kendaraan pribadi dan sepeda motor. Hal ini terkait dalam karakteristik perilaku perjalanan diantaranya pilihan moda dan waktu terjadinya perjalanan (Kitamura, 2009; Miro, 2005). Faktor yang mempengaruhi pemilihan moda transportasi

yaitu karakteristik pelaku perjalanan, karakteristik perjalanan dan karakteristik sistem transportasi (Warpani, 1990).

Sasaran yang ketiga adalah mengidentifikasi dan menganalisis preferensi responden terhadap tingkat kepentingan integrasi sistem transportasi umum guna mengetahui preferensi responden terhadap jenis-jenis integrasi sistem transportasi umum yang dipilih sehingga dapat meningkatkan aksesibilitas dan menunjang pariwisata di Sumatera Barat. Adapun variabel-variabel yang dibahas di dalamnya yaitu terkait dengan jenis-jenis integrasi sistem transportasi umum, antara lain integrasi fisik, jaringan, jadwal, tarif dan tiket, informasi. Dari ketiga sasaran tersebut diharapkan akan dapat mewujudkan tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pemilihan moda transportasi yang digunakan oleh responden dalam melakukan perjalanan wisata, serta untuk mengetahui pemilihan jenis integrasi angkutan umum yang dapat dibuat pada zona wisata di Sumatera Barat berdasarkan preferensi wisatawan domestik.

Dengan integrasi sistem transportasi umum yang baik, masyarakat diharapkan akan memilih moda transportasi umum sebagai alternatif dalam melakukan perjalanan karena menawarkan sebuah sistem transportasi umum yang saling terhubung satu sama lain sehingga perjalanan akan lebih mudah dan lancar (Saliara, 2014). Masyarakat yang dimaksud adalah masyarakat sebagai pelaku wisata atau disebut dengan istilah wisatawan. Wisatawan yang menjadi subjek penelitian ini adalah wisatawan domestik karena secara kuantitas mempunyai proporsi mayoritas sebagai pengunjung wisata di Sumatera Barat dibandingkan dengan wisatawan asing sehingga persepsi dan preferensinya lebih diprioritaskan. Selain itu, wisatawan domestik juga cenderung mempunyai alternatif moda transportasi yang lebih beragam jika dibandingkan dengan wisatawan asing, antara lain berupa kendaraan pribadi dan moda transportasi umum. Maka dari itu kualitas pelayanan sistem transportasi umum di Sumatera Barat akan berpengaruh besar terhadap pemilihan moda transportasi yang digunakan oleh wisatawan domestik dalam melakukan aktivitas pariwisata.

Dalam penelitian ini, sektor yang diteliti adalah sektor pariwisata yang dipengaruhi oleh integrasi sistem transportasi umum dan berkaitan dengan hal tersebut maka respondennya juga lebih spesifik, yaitu masyarakat sebagai pelaku wisata yang pernah mengunjungi tempat wisata di Sumatera Barat. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan akan dapat menjadi rekomendasi bagi pemerintah Provinsi Sumatera Barat dalam mengelola sistem transportasi umum sehingga dapat mewujudkan dan mensukseskan Sumatera Barat sebagai salah satu destinasi wisata unggulan di Indonesia.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bersifat deskriptif dengan menggunakan pendekatan kualitatif. Penelitian kualitatif bertujuan memperoleh gambaran seutuhnya mengenai suatu hal menurut pandangan masyarakat yang diteliti. Peneliti memperoleh data dengan cara membagikan *Link* kuisioner untuk diisi secara *online* yang juga disebarakan melalui jaringan-jaringan yang dimiliki oleh peneliti kepada responden yang ada di Sumatera Barat dan luar Sumatera Barat dengan URL:<https://forms.gle/rDyb3rpjnrV3R8>. Responden dalam

penelitian ini adalah wisatawan domestik yang pernah mengunjungi lokasi wisata di Sumatera Barat. Fraenkel & Wallen dalam (Amirullah, 2014) menjelaskan, besar sampel minimum untuk penelitian deskriptif sebanyak 100. Sampel yang diperoleh oleh peneliti berjumlah 501.

Teknik analisis yang digunakan terdiri dari statistika deskriptif untuk mendeskripsikan karakteristik responden, dan *Logical Framework Analysis* (LFA). Hasil kuisioner dianalisis secara persentase dan menggunakan *logical framework analysis* sederhana untuk diambil interpretasinya (USAID, 2012). LFA adalah salah satu alat analisis yang baik dalam penilaian, tindak lanjut dan evaluasi suatu proyek dengan menggunakan pendekatan logika. *International Federation of Red Cressent Societies* (2002) dalam bukunya menjelaskan bahwa *Logical Framework* digunakan untuk melihat keberhasilan ataupun ketidaktercapaian suatu program dari hasil; *impact* (jangka panjang), *outcomes* (menengah) dan *outputs* (produk); *activities* (kegiatan) dan *input* (keuangan, manusia, sumber daya material).

LFA dapat memperjelas dan membuat definisi dengan cara yang lebih persis dan logis dengan tujuan, dapat digunakan dalam meningkatkan proses implementasi, pengawasan & monitoring proyek serta evaluasi lanjutan dengan menyediakan tujuan yang didefinisikan secara jelas dan menentukan indikator-indikator sebagai alat ukur keberhasilan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Karakteristik Responden

Kuisioner penelitian ini telah diisi oleh 501 orang responden. Maka perlu diketahui karakteristik dari responden agar didapatkan gambaran umum dari para responden. Untuk proses analisisnya menggunakan statistika deskriptif. Hasil dari analisa dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Responden

Variabel	Karakteristik	Persen
Usia	< 20 tahun	29,7%
	20-35 tahun	62%
	36-45 tahun	5,8%
	45-65 tahun	2,5%
	> 65 tahun	-
Domisili	Sumatera Barat	84%
	Luar Sumatera Barat	15,8%
Profesi	Pegawai swasta	20,8%
	Pegawai negeri	11%
	Wiraswasta ,	8,2%
	Pelajar atau mahasiswa	59,9%
Pendapatan	< Rp 1.000.000	53,9%
	Rp 1.100.000 - Rp 3.000.000	18,8%
	Rp 3.100.000 - Rp 6.000.000 ,	17%
	Rp 6.100.000-Rp 10.000.000 ,	8,4%

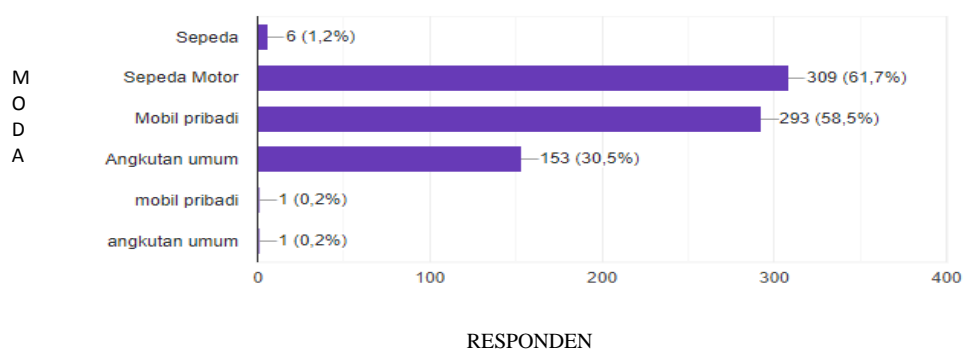
> Rp 10.000.000	1,9%
-----------------	------

Dari Tabel 1 mayoritas responden berasal dari Sumatera Barat, data ini menunjukkan bahwa wisatawan terbanyak yang mengunjungi lokasi wisatayang ada di Sumatera Barat berasal dari masyarakat Sumatera Barat itu sendiri dengan berbagai profesi yang sebagian besar berprofesi sebagai pelajar atau mahasiswa dengan rentang usia 20-30 tahun.

Dari data karakteristik responden akan diteruskan untuk melihat seberapa sering responden melakukan aktivitas perjalanan wisata dengan moda yang digunakan oleh tiap-tiap responden.

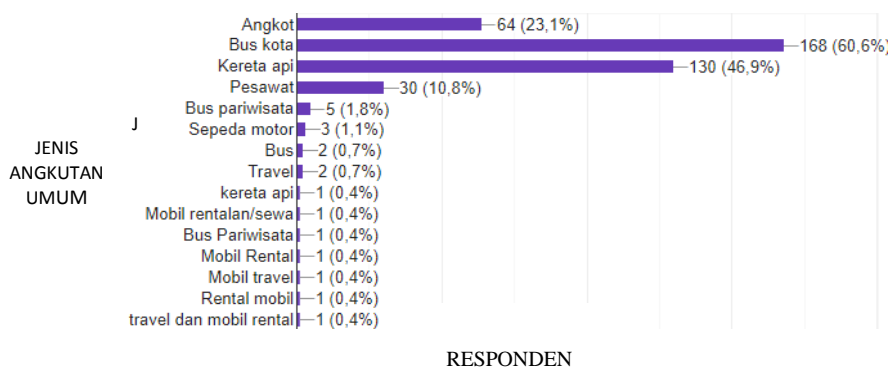
3.2 Penggunaan Moda Transportasi

Data tentang moda yang digunakan oleh responden menuju lokasi wisata dapat dilihat pada Gambar 1.



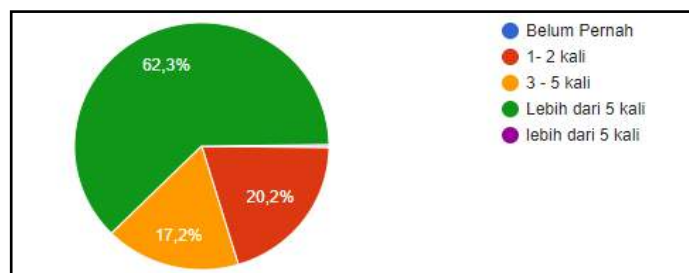
Gambar 1. Jenis Transportasi Yang Digunakan

Gambar 1 menunjukkan bahwa sepeda motor dan mobil pribadi banyak digunakan oleh responden sebagai moda transportasi menuju lokasi wisata. Namun ada juga responden yang telah menggunakan angkutan umum sebagai moda transportasinya. Hal ini menunjukkan masih kurangnya minat responden sebagai pelaku perjalanan wisata untuk menggunakan angkutan umum sebagai pilihan utamanya. Selanjutnya untuk mengetahui jenis angkutan umum apa saja yang telah digunakan responden sebagai moda menuju lokasi wisata tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



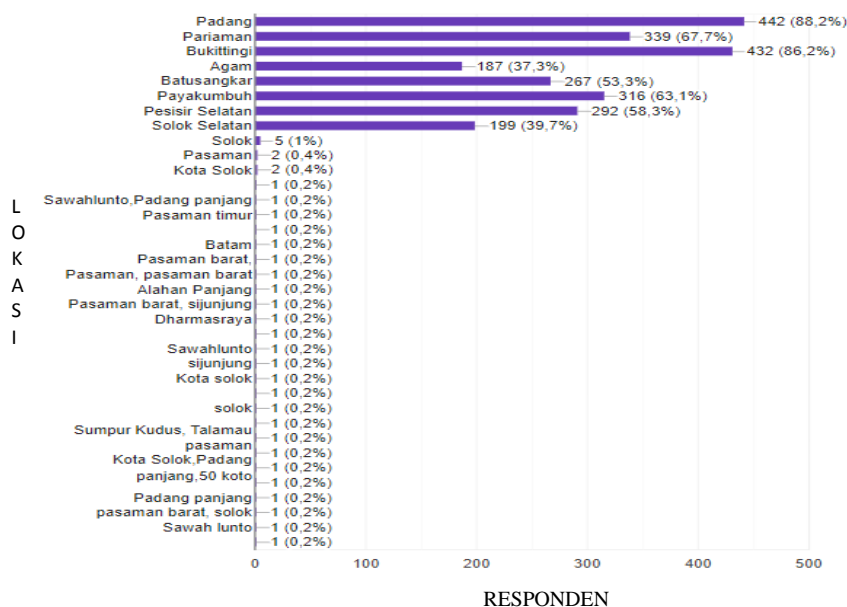
Gambar 2. Penggunaan Moda Angkutan Umum

Dari Gambar 2 menunjukkan persentase pilihan angkutan umum yg digunakan responden untuk menuju lokasi wisata. Setelah bus kota, moda kereta api juga telah digunakan sebagai moda transportasi untuk menuju lokasi wisata oleh responden. Hasil ini akan menjadi salah satu data yang digunakan dalam membuat model integrasi angkutan umum nantinya berdasarkan variabel integrasi fisik. Selanjutnya untuk mendapatkan tingkat persentase kunjungan responden ke zona wisata, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tingkat Kunjungan Wisatawan

Berdasarkan gambar 3 persentase terbesar adalah responden sudah mengunjungi zona wisata di Sumatera Barat lebih dari 5 kali, hasil ini membuktikan bahwa zona wisata di Sumatera Barat sering dikunjungi wisatawan yang secara langsung berdampak pada tingkat aktivitas transportasi. Untuk mengetahui lokasi wisata yang sering dikunjungi oleh responden dapat dilihat pada Gambar 4.

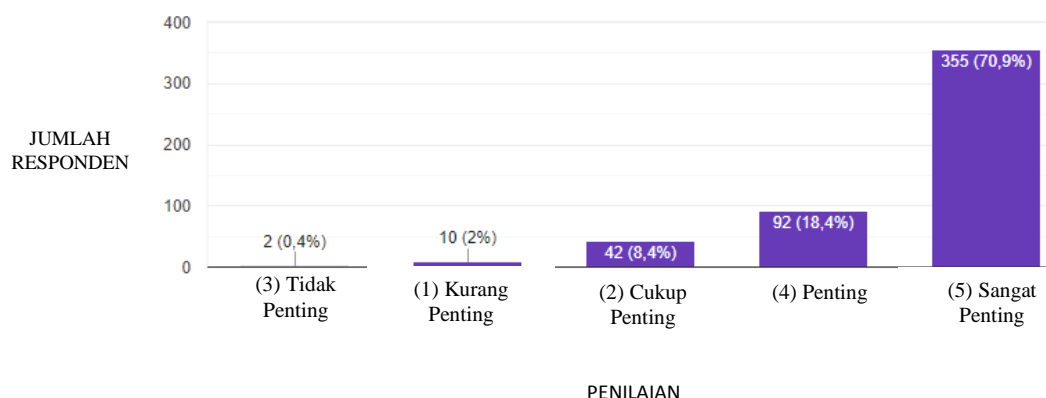


Gambar 4. Tujuan Lokasi Wisata Sumatera Barat

Dari Gambar 4, Kota Padang dan Kota Bukittinggi merupakan lokasi wisata yang paling sering dikunjungi oleh responden. Data ini nanti akan menjadi acuan untuk pemilihan lokasi wisata yang akan dibuat integrasi transportasi umum.

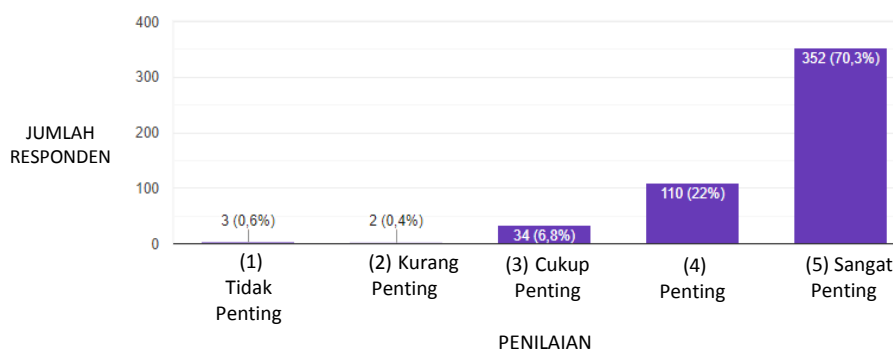
3.3 Integrasi Angkutan Umum

Pada penelitian ini juga diambil data tentang tingkat kepentingan penyediaan transportasi umum berdasarkan preferensi responden yang dapat diketahui dari Gambar 5.



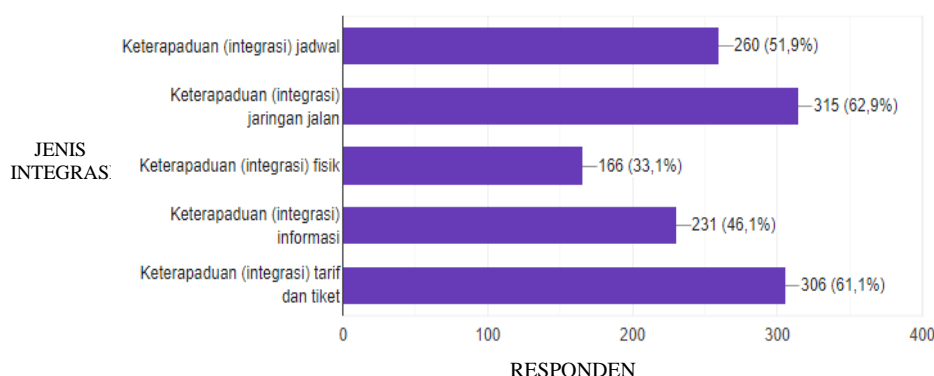
Gambar 5. Tingkat Kepentingan Penyediaan Angkutan Umum

Pada Gambar 5 nilai 1 untuk pernyataan tidak penting dan sampai pada tingkat nilai 5 untuk pernyataan sangat penting. Diketahui bahwa responden menyatakan sangat penting untuk disediakan transportasi umum menuju lokasi-lokasi wisata di Sumatera Barat yang ditandai dengan tingginya tingkat persentase responden yang memberikan nilai 5 yaitu 70,9%. Data Gambar 5 berkaitan dengan hasil jawaban responden pada Gambar 5 tentang tingkat kepentingan adanya integrasi angkutan umum, dimana responden juga menyatakan bahwa integrasi angkutan umum sangat penting dan perlu dibuat untuk kelancaran aksesibilitas menuju lokasi wisata.



Gambar 6. Tingkat Kepentingan Penyediaan Integrasi Angkutan Umum

Selanjutnya pada Gambar 7 menunjukkan hasil preferensi integrasi transportasi atau angkutan umum berdasarkan preferensi responden.



Gambar 7. Preferensi Responden Terhadap Integrasi Angkutan Umum

Dari Gambar 6 jenis integrasi dengan variabel integrasi jaringan menjadi pilihan utama berdasarkan persentase dari hasil preferensi responden (62,9%) kemudian variabel integrasi tarif dan tiket. Hasil inilah yang nantinya akan menjadi acuan untuk kelanjutan tahapan perencanaan dan pelaksanaan dalam membuat integrasi transportasi umum di zona wisata Sumatera Barat. Untuk detail hasil analisa berdasarkan tujuan dari penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Logical Framework Analysis Pemilihan Moda Transportasi Dan Kebutuhan Jenis Integrasi Angkutan Umum Di Zona Wisata Sumatera Barat Dari 501 Responden

Ringkasan	Indikator	Sumber Data	Asumsi
1	2	3	4
<i>Goal</i> Membuat integrasi transportasi umum di zona wisata	Kelancaran aksesibilitas transportasi	Jenis moda yang banyak digunakan responden menuju lokasi wisata	Saat ini moda transportasi umum masih sedikit digunakan oleh responden (30,5%) dan masih banyak menggunakan kendaraan pribadi seperti mobil pribadi (58,5%) dan sepeda motor (61,7%)
<i>Purpose</i> Memudahkan akses menuju lokasi wisata dan mengurangi kemacetan akibat wisatawan yang menggunakan kendaraan pribadi terutama pada waktu padat kunjungi atau	Meningkatkan minat wisatawan untuk berkunjung ke zona wisata dengan menggunakan angkutan umum	Tingkat kepentingan integrasi angkutan umum berdasarkan preferensi responden	70,3% responden menyatakan perlu atau penting untuk dibuat integrasi angkutan umum

hari libur.			
<i>Outcome</i> Membuat perencanaan integrasi angkutan umum	Jenis integrasi	Jumlah persentase pemilihan jenis integrasi berdasarkan preferensi responden	62,9% memilih jenis integrasi jaringan jalan
<i>Input</i> Mengumpulkan data perilaku perjalanan responden sebagai wisatawan yang pernah mengunjungi lokasi wisata di Sumatera Barat	Jumlah kunjungan responden ke zona wisata Sumatera Barat Lokasi wisata yang sering dikunjungi	Persentase jumlah kunjungan Perentase lokasi yang sering dikunjungi	62,3% responden sudah pernah mengunjungi lokasi wisata di Sumatera Barat lebih dari 5 kali. Kota padang dan Bukittinggi adalah lokasi wisata yang paling sering dikunjungi responden dengan persentase 88,2% dan 86,2%.

Berdasarkan Tabel 2 dari analisis deskriptif dan *logical framework* tersebut diketahui bahwa moda yang paling banyak digunakan responden untuk menuju lokasi wisata adalah angkutan pribadi seperti sepeda motor dan mobil pribadi. Maka dari itu responden menyatakan sangat perlu dibuat integrasi angkutan umum dengan jenis integrasi jaringan jalan sebagai pilihan utama.

4. KESIMPULAN

Dari data yang telah didapatkan berdasarkan preferensi responden maka dapat disimpulkan bahwa penyediaan integrasi angkutan umum di zona wisata Sumatera Barat sangat diperlukan untuk mempermudah dan memberikan kelancaran akses bagi wisatawan menuju lokasi tersebut dengan pilihan jenis integrasi jaringan jalan, integrasi tarif dan tiket kemudian integrasi fisik sehingga nanti dapat menunjang perkembangan serta kemajuan pariwisata dan meningkatkan minat wisatawan untuk berkunjung dengan menggunakan angkutan umum yang memadai dan terintegrasi.

5. DAFTAR PUSTAKA

Amirullah. (2014). Menentukan Ukuran Sampel. Retrieved Oktober 4, 2019, from Sinar Akademika Malang website://sinarakademikamalang.wordpress.com.

- Beirão, G dan Cabral, J. A. S. (2007). Understanding Attitudes Towards Public Transport and Private Car: A Qualitative Study. *Transport Policy*, 14(6), 478-489. doi:10.1016/j.tranpol.2007.04.009
- Badan Pusat Statistik. (2018). Sumatera Barat Dalam Angka. Katalog. Sumatera Barat
- Eboli, L dan Mazzulla, G. (2011). A Methodology for Evaluating Transit Service Quality Based on Subjective and Objective Measures from the Passenger's Point of View. *Transport Policy*, 18(1), 172-181. doi:10.1016/j.tranpol.2010.07.007
- Kitamura, R. (2009). Life-Style and Travel Demand. *Transportation*, 36(6), 679-710. doi:10.1007/s11116-009-9244-6
- Saliara, K. (2014). Public Transport Integration: The Case Study of Thessaloniki, Greece. *Transportation Research Procedia*, 4, 535552. doi:10.1016/j.trpro.2014.11.041
- Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Bandung: Penerbit ITB.
- Tamin, O.Z. (1997). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Bandung: Penerbit ITB.
- Warpani, S. P., & Warpani, I. P. (2007). *Pariwisata dalam Tata Ruang Wilayah*. Bandung: Penerbit ITB.
- Warpani, S. 1990. *Merencanakan Sistem Perangkutan*. Bandung : Penerbit ITB.
- Næss, P. (2006). Accessibility, Activity Participation and Location of Activities: Exploring the Links between Residential Location and Travel Behaviour. *Urban Studies*, 43(3),627-652. doi:10.1080/0042098050053467
- USAID. (2012). *Technical Note The Logical Framework* (2nd ed.). Retrieved from www.usaid.gov.

ANALISIS PITA PENGGADUH (*RUMBLE STRIPS*) DALAM MEREDUKSI KECEPATAN KENDARAAN PADA KAWASAN ZOSS KOTA PADANG PANJANG

Helga Yermadona¹, Deddy Kurniawan², Mira Meilisa^{3*}

^{1, 2}Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Bukittinggi. Email: helga.umsb@gmail.com¹, dedydk22@gmail.com²

^{3*}Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Bukittinggi. Email: miecko7@gmail.com^{3*}

ABSTRACT

Padang Panjang experienced enhancement of road accidents during 2016-2017. The effort to reduce road accidents is using speed limitation regulations such as the speed limit of 30 km/hour permits during ZoSS operational time which are equipped with rumble strips in three school locations, SDN 12 Silaiang Bawah, SMPN 3 Padang Panjang and SMAN 1 Padang Panjang. This study aims to analyze the rumble strips in reducing vehicle speed in the ZoSS area of Padang Panjang. The method used to collect data is through a survey of the average speed of motorcycle (MC), light vehicles (LV) and heavy vehicles (HV). The point of measuring the average speed of the vehicle performed in the initial ZoSS area before the rumble strips (V1), the area when crossing the rumble strips (V2) and the ZoSS area after passing through the rumble strips (V3). The results of changes in the average speed of the vehicle exceeded the ZoSS permit speed limit of 30 km/hour. The results of the t test showed that there was a change in the average speed of the vehicle due to rumble strips in the Padang Panjang ZoSS area. Chi square test results showed no significant changes in average speed that was affected by the rumble strips as the speed limit of ZoSS 30 km/hour.

Keywords : rumble strips, speed, ZoSS, Padang Panjang.

ABSTRAK

Kota Padang Panjang dalam kurun waktu tahun 2016-2017 mengalami peningkatan jumlah kecelakaan lalu lintas. Upaya mengurangi angka kecelakaan dapat dilakukan dengan regulasi pembatasan kecepatan seperti pada pembatasan kecepatan izin 30 km/jam pada waktu operasional ZoSS yang dilengkapi dengan pita penggaduh (*rumble strips*) di tiga lokasi sekolah yaitu SDN 12 Silaiang Bawah, SMPN 3 Padang Panjang dan SMAN 1 Padang Panjang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pita penggaduh mereduksi kecepatan kendaraan pada kawasan ZoSS Kota Padang Panjang. Metode pengambilan data melalui survei kecepatan rata-rata kendaraan sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV) dan kendaraan berat (HV). Titik pengukuran kecepatan rata-rata kendaraan dilakukan pada area awal ZoSS sebelum pita penggaduh (V1), area saat melintasi pita penggaduh (V2) dan area ZoSS setelah melewati pita penggaduh (V3). Hasil perubahan kecepatan rata-rata kendaraan melebihi dari batas kecepatan izin ZoSS 30 km/jam. Hasil uji t ada perubahan kecepatan rata-rata kendaraan akibat pita penggaduh (*rumble strips*) pada kawasan ZoSS Padang Panjang. Hasil uji *chi square* tidak ada perubahan kecepatan rata-rata kendaraan yang signifikan dipengaruhi oleh pita penggaduh agar mencapai batas izin kecepatan ZoSS 30 km/jam.

Kata Kunci : pita penggaduh, kecepatan, ZoSS, Padang Panjang.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik kota Padang Panjang dalam satu tahun terakhir (2016-2017) mengalami kenaikan persentase jumlah korban kecelakaan lalu lintas sebanyak 9,63%. Kenaikan jumlah peristiwa kecelakaan lalu lintas sebanyak 2,15% dan kenaikan jumlah kerugian material akibat kecelakaan lalu lintas sebanyak 163,87% (Badan Pusat Statistik Padang Panjang, 2018). Salah satu upaya Kemenhub untuk mengurangi angka kecelakaan lalu lintas adalah dengan membuat regulasi pembatasan kecepatan di kawasan pejalan kaki terutama kawasan sekolah yaitu dengan Zona Selamat Sekolah (ZoSS). Kota Padang Panjang memiliki tiga ZoSS yaitu SDN 12 Silaiang Bawah, SMPN 3 Padang Panjang, dan SMAN 1 Padang Panjang.

Batas kecepatan izin kendaraan pada kawasan ZoSS Padang Panjang 30 km/jam. Sesuai dengan Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat nomor SK 3236/AJ 403/DRJD/2006 waktu operasi ZoSS yang direkomendasikan 2 jam di pagi hari (06.30-08.30) dan 2 jam di siang hari (12.00-14.00) dapat disesuaikan dengan kebutuhan sekolah (Direktur Jenderal Perhubungan Darat, 2006). Fasilitas perlengkapan jalan pada ZoSS dilengkapi dengan rambu, marka, Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL), dan alat pengendali dan pengaman pengguna jalan berupa pita penggaduh (*rumble strips*) untuk mereduksi kecepatan kendaraan bermotor yang melintasinya (Direktur Jenderal Perhubungan Darat, 2018). Kondisi eksisting pita penggaduh pada kawasan ZoSS Kota Padang Panjang hanya dipakai pada awal ZoSS saja. Terdapat lima buah pita penggaduh yang dipasang pada masing-masing arah awal ZoSS seperti terlihat pada Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Pita penggaduh (*rumble strips*) pada kawasan ZoSS Padang Panjang

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pita penggaduh (*rumble strips*) dalam mereduksi kecepatan kendaraan pada kawasan ZoSS Kota Padang Panjang.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi hanya mengambil sampel kecepatan rata-rata sepeda motor (MC) kendaraan ringan (LV), dan kendaraan berat (HV) pada tiga lokasi ZoSS di Padang Panjang yaitu: SDN Silaiang Bawah, SMPN 3 Padang Panjang, dan SMAN 1 Padang Panjang.

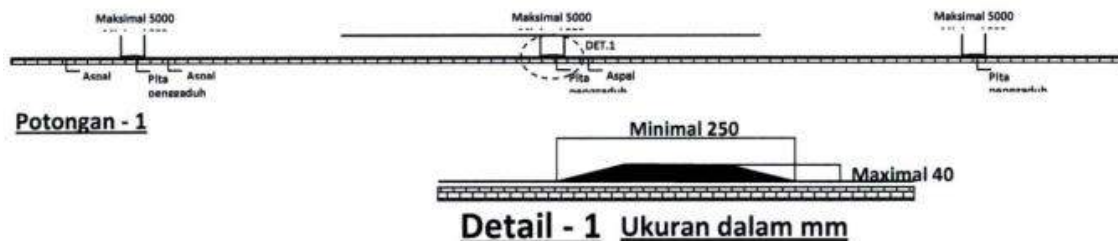
2. STUDI PUSTAKA

2.1 Pita Penggaduh (*Rumble Strips*)

Pita penggaduh (*rumble strips*) adalah penambahan tinggi perkerasan jalan (yang merupakan bagian dari marka jalan). Tujuan dibuatnya *rumble strips* adalah untuk menyadarkan pengemudi sehingga kecepatan kendaraan dapat dikurangi demi meningkatkan keselamatan lalu lintas dengan memberikan efek getaran yang dapat dikendalikan, sehingga diharapkan dapat meningkatkan kewaspadaan pengemudi dan mengurangi angka kecelakaan yang ada (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 1994).

Pita penggaduh (*rumble strips*) dalam ZoSS dengan ketentuan sebagai berikut:

- Pita penggaduh berwarna putih reflektif.
- Tebal pita penggaduh paling kecil 6 milimeter dan paling besar 12 milimeter.
- Lebar pita penggaduh paling kecil 250 milimeter dan paling besar 900 milimeter.
- Jumlah pita penggaduh minimal empat buah
- Jarak antara pita penggaduh minimal 500 milimeter dan paling jauh 5000 milimeter
- Bentuk pita penggaduh sesuai dengan Gambar 2.
- Jumlah dan jarak pita penggaduh yang dipasang sesuai hasil kajian manajemen dan rekayasa lalu lintas (Direktur Jenderal Perhubungan Darat, 2018)



Gambar 2. Detail pita penggaduh

Sumber: (Direktur Jenderal Perhubungan Darat, 2018)

2.2 Kecepatan

Kecepatan lalu lintas yang diukur adalah kecepatan setempat (*spot speed*) di lokasi sekolah, terdapat dua jenis kecepatan setempat yaitu:

- Kecepatan rata-rata waktu (*time mean speed*) yang merupakan rata-rata aritmatika kecepatan kendaraan yang melintasi suatu titik selama rentang waktu tertentu.
- Kecepatan rata-rata ruang (*space mean speed*) yang merupakan rata-rata aritmatika kecepatan kendaraan yang berada pada rentang jarak tertentu pada waktu tertentu (Direktur Jenderal Perhubungan Darat, 2018).

2.3 Penelitian yang Relevan

Beberapa penelitian yang membahas tentang kecepatan kendaraan di ZoSS dan pita penggaduh (*rumble strips*) yaitu: penelitian pada ZoSS kota Padang, rata-rata kecepatan kendaraan sebelum ZoSS lebih besar dibanding kecepatan kendaraan di ZoSS (Yermadona, 2015). Penelitian kecepatan pada kampus Limau Manis Unand, adanya penurunan kecepatan rata-rata kendaraan sebesar 10,6% ketika melewati lokasi *rumble strips* dibandingkan dengan sebelum melewati lokasi *rumble strips* (Muchlis, Purnawan, & Gunawan, 2015). Penelitian lain menyatakan bahwa pita penggaduh melintang tidak memberikan pengaruh terhadap penurunan kecepatan kendaraan ringan pada lokasi penelitian di jalan tol Cipularang (Meydita & Kusumawati, 2012). Penelitian tingkat efektifitas penerapan pita penggaduh pada kawasan ZoSS kota Pontianak, menyimpulkan penerapan pita penggaduh dengan tinggi diwabah 1 cm kurang efektif sehingga tidak terlalu berdampak pada kecepatan kendaraan yang melintasi lokasi tersebut (Idham & Saputra, 2019).

3. METODOLOGI

Metode penelitian dilakukan dengan beberapa tahap yaitu:

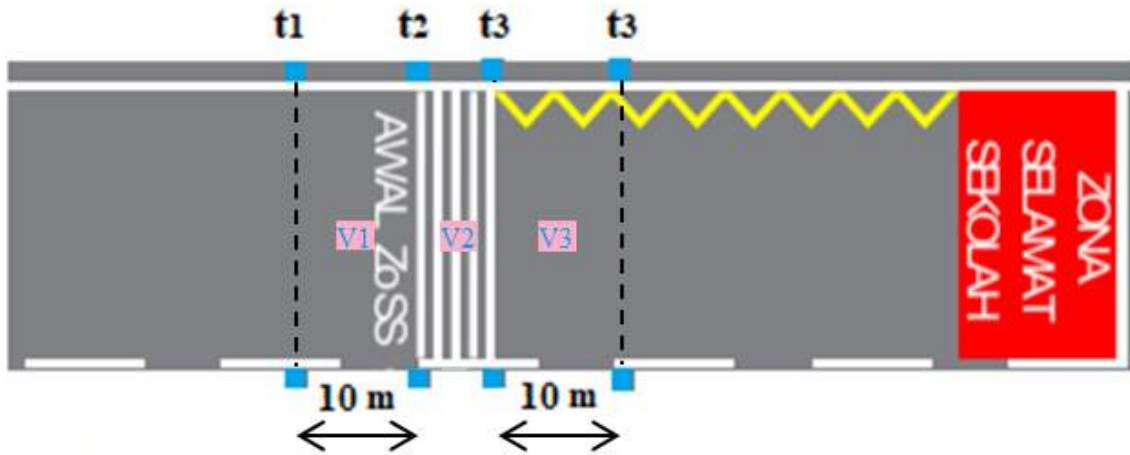
- Studi pendahuluan dengan menentukan lokasi penelitian yang dapat dilihat pada Tabel berikut ini:

Tabel 15. Lokasi penempatan pita penggaduh pada kawasan ZoSS Padang Panjang

No	Lokasi pita penggaduh pada kawasan ZoSS	Arah	
1	SDN 12 Silaiang Bawah	Padang Panjang – Padang	Padang – Padang Panjang
2	SMPN 3 Padang Panjang	Padang Panjang – Singkarak	Singkarak – Padang Panjang
3	SMAN 1 Padang Panjang	Padang Panjang – Singkarak	Singkarak – Padang Panjang

- Menentukan periode survei sesuai dengan Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat nomor SK 3236/AJ 403/DRJD/2006 mengenai waktu operasi ZoSS direkomendasikan 2 jam di pagi hari (06.30-08.30) dan 2 jam di siang hari (12.00-14.00) dapat disesuaikan dengan kebutuhan sekolah.

- c. Menentukan titik survei kecepatan rata-rata kendaraan sepeda motor (MC) kendaraan ringan (LV), dan kendaraan berat (HV) untuk mendapatkan data, seperti pada Gambar 3 berikut:

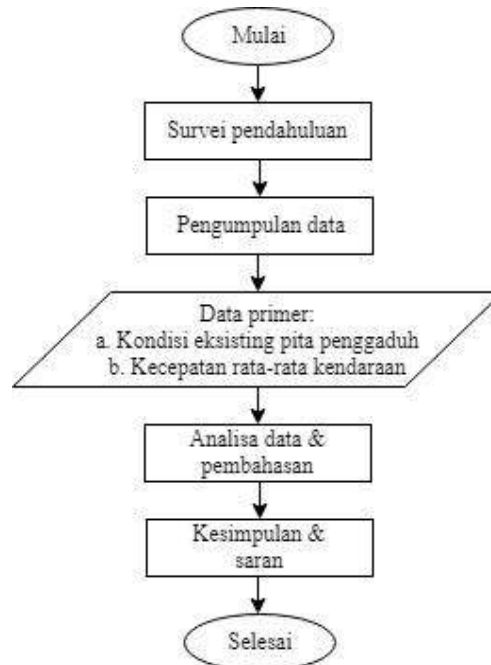


Keterangan:

- t1, t2, t3, t4 : Titik survei
- V1 : Area pengukuran kecepatan kendaraan awal ZoSS (sebelum pita pengga duh)
- V2 : Area pengukuran kecepatan kendaraan saat menggilas pita pengga duh
- V3 : Area pengukuran kecepatan kendaraan kawasan ZoSS (setelah melewati pita pengga duh)

Gambar 3. Sketsa titik survei di lapangan

Diagram alir penelitian analisis pita pengga duh (*rumble strips*) dalam mereduksi kecepatan kendaraan pada kawasan ZoSS Kota Padang Panjang ini dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:

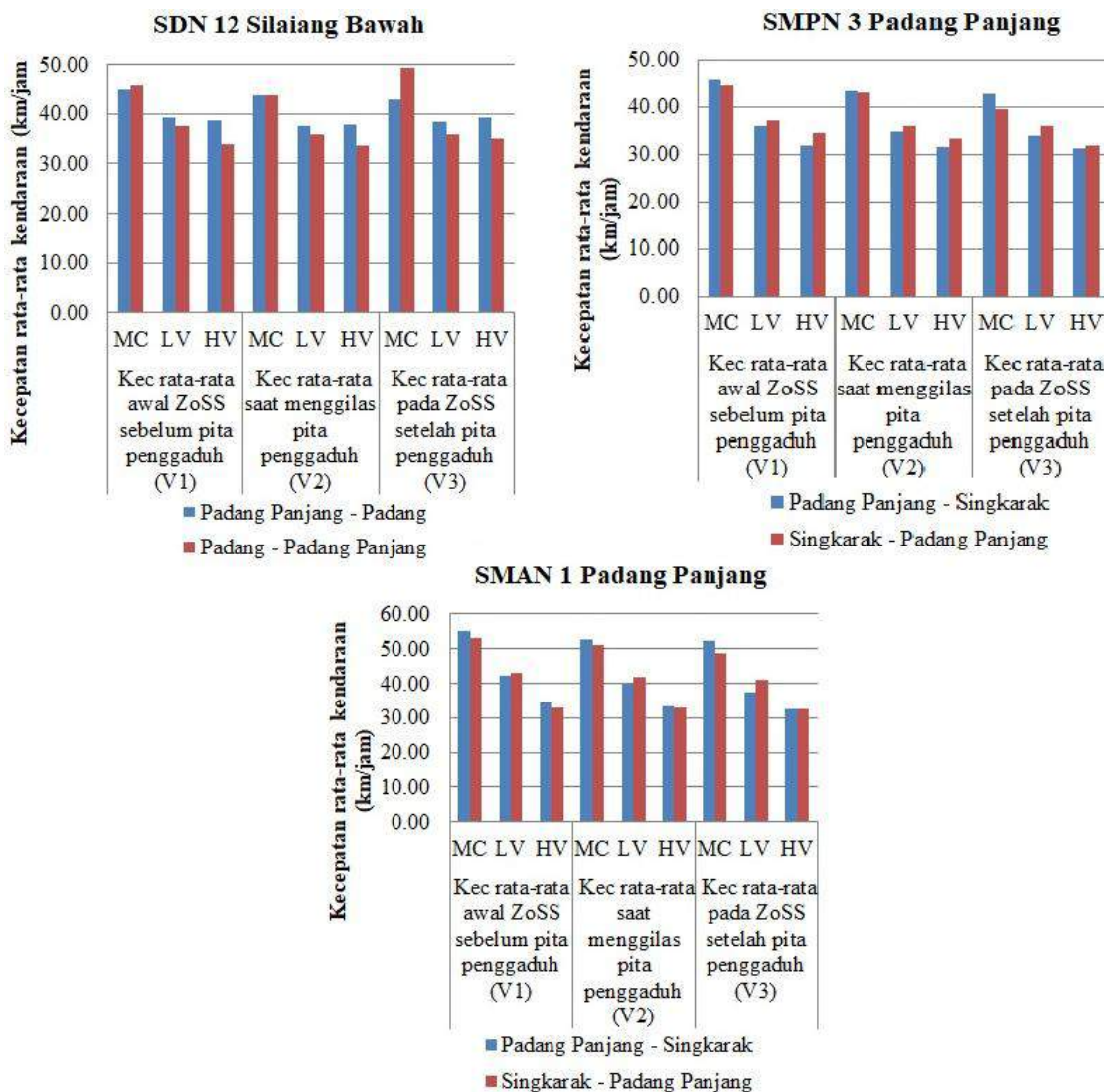


Gambar 4. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengolahan Data Survei

Hasil pengolahan data survei kecepatan rata-rata kendaraan pada tiga lokasi ZoSS di Padang Panjang dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Kecepatan rata-rata kendaraan pada kawasan ZoSS Kota Padang Panjang

Kecepatan rata-rata kendaraan sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV) dan kendaraan berat (HV) mengalami penurunan dari awal ZoSS (V1) sampai dengan pada saat melewati area pita penggaduh (V2) dan area ZoSS setelah pita penggaduh (V3), kecuali kecepatan sepeda motor (MC) dan kendaraan berat (HV) di SDN 12 Silaiang Bawah arah Padang – Padang Panjang. Kecepatan rata-rata kendaraan melebihi kecepatan izin ZoSS 30 km/jam pada waktu operasi ZoSS yang direkomendasikan.

4.2 Hasil Pengolahan Statistik

Hasil pengolahan statistik perubahan kecepatan rata-rata kendaraan menggunakan uji t dan uji *chi square*. Hasil pengolahan statistik perubahan kecepatan rata-rata kendaraan pada lokasi ZoSS SDN 12 Silaiang Bawah, SMPN 3 Padang Panjang dan SMAN 1 Padang Panjang dapat dilihat pada Tabel 2, 3 dan 4 berikut ini:

Tabel 2. Hasil pengolahan statistik perubahan kecepatan rata-rata kendaraan di SDN 12 Silaiang Bawah

Lokasi	Kendaraan	Area	Arah Padang Panjang-Padang		Arah Padang- Padang Panjang	
			Uji t	Uji <i>chi square</i>	Uji t	Uji <i>chi square</i>
SDN 12 Silaiang Bawah	Sepeda Motor (MC)	V1 – V2	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ ditolak	H ₀ ditolak
		V1 – V3	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ ditolak
		V2 – V3	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ ditolak	H ₀ diterima
	Kendaraan Ringan (LV)	V1 – V2	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ ditolak	H ₀ diterima
		V1 – V3	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima
		V2 – V3	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ ditolak	H ₀ diterima
	Kendaraan Berat (HV)	V1 – V2	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ ditolak	H ₀ diterima
		V1 – V3	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima
		V2 – V3	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ ditolak	H ₀ diterima

Tabel 3. Hasil pengolahan statistik perubahan kecepatan rata-rata kendaraan di SMPN 3 Padang Panjang

Lokasi	Kendaraan	Area	Arah Padang Panjang-Singkarak		Arah Singkarak-Padang Panjang	
			Uji t	Uji <i>chi square</i>	Uji t	Uji <i>chi square</i>
SMPN 3 Padang Panjang	Sepeda Motor (MC)	V1 – V2	H ₀ ditolak	H ₀ ditolak	H ₀ ditolak	H ₀ ditolak
		V1 – V3	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ ditolak	H ₀ diterima
		V2 – V3	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima
	Kendaraan Ringan (LV)	V1 – V2	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ ditolak	H ₀ diterima
		V1 – V3	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima

Lokasi	Kendaraan	Area	Arah Padang Panjang-Singkarak		Arah Singkarak-Padang Panjang	
			Uji t	Uji <i>chi square</i>	Uji t	Uji <i>chi square</i>
		V2 – V3	H ₀ ditolak	H ₀ ditolak	H ₀ ditolak	H ₀ ditolak
	Kendaraan Berat (HV)	V1 – V2	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ ditolak	H ₀ diterima
		V1 – V3	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima
		V2 – V3	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima

Tabel 4. Hasil pengolahan statistik perubahan kecepatan rata-rata kendaraan di SMAN 1 Padang Panjang

Lokasi	Kendaraan	Area	Arah Padang Panjang-Singkarak		Arah Singkarak-Padang Panjang	
			Uji t	Uji <i>chi square</i>	Uji t	Uji <i>chi square</i>
SMAN 1 Padang Panjang	Sepeda Motor (MC)	V1 – V2	H ₀ ditolak	H ₀ ditolak	H ₀ ditolak	H ₀ ditolak
		V1 – V3	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ ditolak	H ₀ ditolak
		V2 – V3	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima
	Kendaraan Ringan (LV)	V1 – V2	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ ditolak	H ₀ diterima
		V1 – V3	H ₀ ditolak	H ₀ ditolak	H ₀ ditolak	H ₀ diterima
		V2 – V3	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima
	Kendaraan Berat (HV)	V1 – V2	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ ditolak	H ₀ diterima
		V1 – V3	H ₀ ditolak	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima
		V2 – V3	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima

Uji t: H₀ ditolak menunjukkan ada perubahan kecepatan rata-rata kendaraan sebelum dan setelah melewati pita pengganggu, sedangkan H₀ diterima menunjukkan tidak ada perubahan kecepatan rata-rata kendaraan sebelum dan setelah melewati pita pengganggu. Uji *chi square*: H₀ ditolak menunjukkan adanya perubahan kecepatan rata-rata kendaraan yang signifikan dipengaruhi oleh pita pengganggu, sedangkan H₀ diterima menunjukkan tidak adanya perubahan kecepatan rata-rata kendaraan yang signifikan dipengaruhi oleh pita pengganggu.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Kecepatan rata-rata kendaraan mengalami penurunan dari awal ZoSS (V1) sampai dengan pada saat melewati area pita penggaduh (V2) dan area ZoSS setelah pita penggaduh (V3), kecuali kecepatan sepeda motor dan kendaraan berat di SDN 12 Silaiang Bawah arah Padang – Padang Panjang.
- b. Kecepatan rata-rata kendaraan melebihi batas izin kecepatan ZoSS 30 km/jam pada waktu operasi ZoSS yang direkomendasikan 2 jam di pagi hari (06.30-08.30) dan 2 jam di siang hari (12.00-14.00).
- c. Pada lokasi SDN 12 Silaiang Bawah, arah Padang Panjang – Padang ada perubahan kecepatan rata-rata kendaraan sebelum dan sesudah melewati pita penggaduh, kecuali untuk kendaraan ringan area V2-V3 dan kendaraan berat area V1-V2. Arah Padang – Padang panjang ada perubahan kecepatan rata-rata kendaraan sebelum dan sesudah melewati pita penggaduh, kecuali untuk sepeda motor area V1-V3, kendaran ringan area V1-V3 dan kendaraan berat area V1-V3. Uji *chi square* menunjukkan tidak adanya perubahan kecepatan rata-rata kendaraan yang signifikan dipengaruhi oleh pita penggaduh.
- d. Pada lokasi SMPN 3 Padang Panjang, arah Padang Panjang – Singkarak ada perubahan kecepatan rata-rata kendaraan sebelum dan sesudah melewati pita penggaduh, kecuali untuk kendaraan ringan area V1-V2 dan kendaraan berat. Arah Singkarak-Padang Panjang ada perubahan kecepatan rata-rata kendaraan sebelum dan sesudah melewati pita penggaduh, kecuali untuk sepeda motor area V2-V3, kendaraan ringan area V1-V3 dan kendaraan berat area V1-V3 dan V2-V3. Uji *chi square* menunjukkan tidak adanya perubahan kecepatan rata-rata kendaraan yang signifikan dipengaruhi oleh pita penggaduh, kecuali untuk sepeda motor area V1-V2 dan kendaraan ringan area V2-V3 adanya perubahan kecepatan rata-rata kendaraan yang signifikan dipengaruhi oleh pita penggaduh.
- e. Pada lokasi SMAN 1 Padang Panjang, arah Padang Panjang – Singkarak ada perubahan kecepatan rata-rata kendaraan sebelum dan sesudah melewati pita penggaduh, kecuali untuk sepeda motor area V1-V3 dan kendaraan berat area V1-V2 dan V2-V3. Arah Singkarak – Padang Panjang ada perubahan kecepatan rata-rata kendaraan sebelum dan sesudah melewati pita penggaduh, kecuali untuk sepeda motor area V2-V3, kendaraan ringan area V2-V3 dan kendaraan berat area V1-V3 dan V2-V3. Uji *chi square* menunjukkan tidak adanya perubahan kecepatan rata-rata kendaraan yang signifikan dipengaruhi oleh pita penggaduh, kecuali untuk sepeda motor area V1-V2 dan kendaraan ringan area V1-V3 adanya perubahan kecepatan rata-rata kendaraan yang signifikan dipengaruhi oleh pita penggaduh.
- f. Pada ketiga lokasi ZoSS Kota Padang Panjang ditemukan adanya perubahan kecepatan rata-rata kendaraan sebelum dan sesudah melewati pita penggaduh, tidak adanya perubahan kecepatan rata-rata kendaraan yang signifikan dipengaruhi oleh pita penggaduh agar kecepatan kendaraan mencapai batas izin saat operasional ZoSS 30 km/jam.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Padang Panjang. (2018). *Kota Padang Panjang Dalam Angka 2018*. Padang: Badan Pusat Statistik Padang Panjang.
- Direktur Jenderal Perhubungan Darat. (2006). *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor: SK.3236/AJ403/DRJD/2006 Tentang Uji Coba Penerapan Zona Selamat Sekolah di 11 (Sebelas) Kota di Pulau Jawa*. Jakarta.
- Direktur Jenderal Perhubungan Darat. (2018). *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor: SK.3582/AJ.403/DJPD/2018 tentang Pedoman Teknis Pemberian Prioritas Keselamatan dan Kenyamanan Pejalan Kaki Pada Kawasan Sekolah Melalui Penyediaan Zona Selamat Sekolah*. Jakarta.
- Idham, M., & Saputra, H. (2019). Pemanfaatan Data Gelombang Kejut Untuk Mengetahui Manfaat Pita Getar Di Jalan Raya. *Jurnal Poli-Teknologi*, 18(1), 39–44. <https://doi.org/10.32722/pt.v18i1.1286>
- Kementrian Perhubungan Republik Indonesia. (1994). *Keputusan Menteri Nomor: KM.3 Tahun 1994 Tentang Alat Pengendali dan Pengaman Pemakai Jalan*. Jakarta.
- Meydita, N., & Kusumawati, A. (2012). Pengaruh Pita Penggaduh Melintang Terhadap Kecepatan Kendaraan Ringan dan Angka Kecelakaan di Jalan Tol Cipularang. *Transportasi*, 12(3), 165–174.
- Muchlis, P. O., Purnawan, & Gunawan, H. (2015). Studi Parameter Mikroskopik dan Makroskopik Arus Lalu Lintas Akibat Pengaruh “Rumble Strips” Terhadap Perilaku Pengemudi di Kampus Limau Manis Universitas Andalas. *Rekayasa Sipil*, 11(1), 44–57.
- Yermadona, H. (2015). Uji Signifikansi Penurunan Kecepatan Kendaraan Akibat Zona Selamat Sekolah (ZoSS) Tipe 2UD-25 dan 4UD-25 di Kota Padang. *Menara Ilmu*, IX(61), 55–62.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada mahasiswa dan alumni Teknik Sipil UMSB yang telah membantu survei pengambilan data di lapangan dan Kemenristekdikti yang telah memberikan hibah penelitian skem PDP tahun anggaran 2019.

EVALUASI PEMASANGAN RAMBU PADA AKSES JALAN WISATA PANTAI AIR MANIS

Muhammad Ridwan¹, Bayu Budi Irawan², Hazmal Herman³, Uci Mardiani⁴

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Dharma Andalas, Padang. Email: mr7405925@gmail.com

²Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Dharma Andalas, Padang. Email: bay.irawan@gmail.com

³Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Dharma Andalas, Padang. Email: hazmalherman@ymail.com

⁴Teknisi Laboratorium Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: uchi.mrd@gmail.com

ABSTRACT

The new road to Air Manis Beach (Jl. Seberang Pebayan-Simpang Air Manis Beach) is an alternative access road used by the public and tourists to get to the tourist attractions of Air Manis Beach (Batu Malin Kundang). This road, which was operated at the beginning of 2018, has a length of 2.7 Km and a width of 4.5 meters. Geometric conditions on the access road of Air Manis beach tourism in general are in the form of hilly areas so that on this road there are many double and sharp bends, climbing and steep declines and combinations thereof. This certainly causes the risk of accidents to be very high. The types of vehicles that pass this road are dominated by motorbikes and private cars. Based on survey results on Sundays with the Moving Car Observer Method, traffic volume is 354 pcu / hour with an average speed of 35 km / hour. Based on the description above, a study was conducted on the evaluation of the installation of signs on the new access road to Air Manis Beach. The evaluation method used in this study is to use the guidelines of the Minister of Transportation's Regulation of the Republic of Indonesia Number PM 13 of 2014 concerning Traffic Signs. Based on the survey results it was found that the signs installed on this road section were 35 units with details of 34 units of signs in the form of warning signs and 1 unit of signs in the form of predecessor directions for majors. After analyzing, there are several signs that are not in accordance with the standard. As for the nonconformity of the standard caused by the limited space of the benefits of the road and the geometric condition of the road that is not in accordance with the standard.

Keywords : Evaluation, Sign, Road Safety, Air Manis Road.

ABSTRAK

Ruas jalan baru menuju Pantai Air Manis (Jl. Seberang Pebayan-Simpang Pantai Air Manis) merupakan salah satu akses jalan alternatif yang digunakan oleh masyarakat dan wisatawan untuk menuju tempat wisata Pantai Air Manis (Batu Malin Kundang). Ruas jalan yang dioperasikan pada awal tahun 2018 ini mempunyai panjang 2,7 Km dan lebar 4,5 meter. Kondisi geometrik pada akses jalan Wisata pantai Air Manis ini secara umum adalah berupa daerah perbukitan sehingga pada ruas jalan ini banyak terdapat tikungan ganda dan tajam, pendakian dan penurunan yang tajam serta kombinasinya. Hal ini tentunya menyebabkan risiko terjadinya kecelakaan menjadi sangat tinggi. Jenis kendaraan yang melewati ruas jalan ini didominasi oleh sepeda motor dan mobil pribadi. Berdasarkan hasil survey pada hari minggu dengan Metode Moving Car Observer

didapatkan volume lalu lintas pada adalah sebesar 354 smp/jam dengan kecepatan rata-rata 35 km/jam. Berdasarkan uraian diatas maka dilakukan penelitian tentang evaluasi pemasangan rambu pada ruas jalan baru akses Pantai Air Manis. Metode evaluasi yang digunakan dalam kajian ini adalah dengan menggunakan pedoman Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 13 Tahun 2014 Tentang Rambu Lalu Lintas. Berdasarkan hasil survey didapatkan bahwa rambu yang terpasang pada ruas jalan ini adalah sebanyak 35 unit dengan rincian 34 unit rambu dengan jenis berupa rambu peringatan dan 1 unit rambu berupa rambu pendahulu petunjuk jurusan. Setelah dilakukan analisis didapatkan beberapa kondisi rambu yang tidak sesuai dengan standar. Adapun ketidaksesuaian standar tersebut disebabkan karena keterbatasan ruang manfaat jalan dan kondisi geometrik jalan yang tidak sesuai dengan standar.

Kata Kunci : evaluasi, pemasangan, rambu, akses jalan wisata, pantai air manis

1. PENDAHULUAN

Ruas jalan baru menuju Pantai Air Manis (Jl. Seberang Pebayan-Simpang Pantai Air Manis) merupakan salah satu akses jalan alternatif yang digunakan oleh masyarakat dan wisatawan untuk menuju tempat wisata Pantai Air Manis (Batu Malin Kundang). Berdasarkan kewenangannya ruas jalan ini termasuk kepada ruas jalan Provinsi. Ruas jalan yang dioperasikan pada awal tahun 2018 ini mempunyai panjang 2,7 Km dan lebar 4,5 meter. Waktu tempuh yang digunakan untuk melintasi ruas jalan ini adalah sekitar 5-10 menit menggunakan kendaraan bermotor dengan kecepatan rata-rata 40 km/jam. Meskipun jalan ini tergolong baru, namun fasilitas rambu yang disediakan pada ruas jalan ini masih sangat minim. Berdasarkan hasil survey, pada ruas jalan ini terdapat 35 rambu keselamatan dengan rincian 34 rambu merupakan rambu peringatan dan 1 rambu petunjuk.

Penelitian tentang rambu pernah dilakukan oleh Haryadi pada tahun 2012 dengan tujuan untuk mengetahui keselarasan antara geometrik jalan terhadap pemasangan rambu dan marka sebagai petunjuk keselamatan. Penelitian ini berjudul tentang harmonisasi rambu dan marka dengan geometrik jalan pada jalan luar kota. Hasil penelitian ini adalah pemasangan rambu batas kecepatan mengalami disharmonisasi kecepatan rencana 60 Km/jam menjadi 40 Km/jam. Hal ini disebabkan oleh kondisi geometrik ruas jalan yang terdapat tikungan beruntun. Selain itu, diperlukan perhatian dalam pemasangan rambu sehingga rambu dapat terbaca dengan jelas dan efektif sehingga pengemudi dapat memberikan respon dengan waktu yang cukup.

Firgian (2014) melakukan kajian tentang evaluasi rambu dan marka jalan di Kota Pontianak. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemasangan rambu pada kondisi eksisting dan mengidentifikasi kebutuhan rambu pada beberapa ruas jalan di Kota Pontianak sesuai standar. Hasil penelitian ini adalah berupa penempatan rambu yang belum sesuai dengan standar. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi geometrik jalan sehingga dikhawatirkan pengemudi tidak dapat memberikan respon yang cukup saat berkendara.

Kondisi geometrik pada akses jalan Wisata pantai Air Manis ini secara umum adalah berupa daerah perbukitan sehingga pada ruas jalan ini banyak terdapat tikungan ganda dan tajam, pendakian dan penurunan yang tajam serta kombinasinya. Hal ini tentunya menyebabkan risiko terjadinya kecelakaan menjadi sangat tinggi. Jenis kendaraan yang

melewati ruas jalan ini didominasi oleh sepeda motor dan mobil pribadi. Berdasarkan hasil survey pada hari minggu dengan Metode Moving Car Observer didapatkan volume lalu lintas pada ruas jalan ini adalah sebesar 354 smp/jam. Berdasarkan uraian diatas maka dilakukan penelitian tentang evaluasi pemasangan rambu pada ruas jalan baru akses Pantai Air Manis tersebut.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Umum

Rambu lalu lintas adalah bagian dari perlengkapan jalan yang berupa lambang, huruf, angka, kalimat, yang berfungsi sebagai peringatan, larangan, perintah, atau petunjuk bagi pengguna jalan (Undang-Undang No. 22 Tahun 2009).

Berdasarkan Panduan Penempatan Fasilitas Perlengkapan Jalan yang dikeluarkan oleh Departemen Perhubungan Dirjen Perhubungan Darat Direktorat Bina Sarana Transportasi Perkotaan, Rambu adalah alat yang utama dalam mengatur, memberi peringatan dan mengarahkan lalu lintas. Rambu yang efektif harus memenuhi hal-hal berikut:

1. Memenuhi kebutuhan.
2. Menarik perhatian dan mendapat respek pengguna jalan.
3. Memberikan pesan yang sederhana dan mudah dimengerti.
4. Menyediakan waktu cukup kepada pengguna jalan dalam memberikan respon.

Sedangkan pertimbangan-pertimbangan yang harus diperhatikan dalam perencanaan dan pemasangan rambu adalah sebagai berikut:

1. Keceragaman bentuk dan ukuran rambu
Keceragaman dalam alat kontrol lalu lintas memudahkan tugas pengemudi untuk mengenali, memahami dan memberikan respon. Konsistensi dalam penerapan bentuk dan ukuran rambu akan menghasilkan konsistensi persepsi dan respon pengemudi.
2. Desain rambu
Warna, bentuk, ukuran, dan tingkat retrorefleksi yang memenuhi standar akan menarik perhatian pengguna jalan, mudah dipahami dan memberikan waktu yang cukup bagi pengemudi dalam memberikan respon.
3. Lokasi rambu
Lokasi rambu berhubungan dengan pengemudi sehingga pengemudi yang berjalan dengan kecepatan normal dapat memiliki waktu yang cukup dalam memberikan respon.
4. Operasi Rambu
Rambu yang benar pada lokasi yang tepat harus memenuhi kebutuhan lalu lintas dan diperlukan pelayanan yang konsisten dengan memasang rambu yang sesuai kebutuhan.
5. Pemeliharaan Rambu
Pemeliharaan rambu diperlukan agar rambu tetap berfungsi baik.

2.2 Penyelenggaraan Rambu

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 13 Tahun 2014 tentang Rambu Lalu Lintas maka Penyelenggaraan Rambu Lalu Lintas sebagaimana dimaksud dalam Pasal 31 (ayat 1) dilakukan oleh:

1. Menteri, untuk jalan nasional;
2. Gubernur, untuk jalan provinsi;
3. Bupati, untuk jalan kabupaten dan jalan desa; dan
4. Walikota, untuk jalan kota.

Sedangkan Penyelenggaraan Rambu Lalu Lintas untuk jalan tol dijelaskan dalam ayat 2 yaitu dilakukan oleh penyelenggara jalan tol setelah mendapatkan penetapan Menteri.

Dalam keputusan Direktur Jendral Perhubungan Darat (Nomor : SK.116/AJ.404/DRJD/97) tentang penyelenggaraan rambu lalu lintas meliputi:

1. Inventarisasi tingkat pertumbuhan rambu lalu lintas.
2. Survei untuk menentukan kebutuhan rambu termasuk penentuan lokasi penempatan atau pemasangannya.
3. Perkiraan kebutuhan pasang untuk 5 tahun.
4. Penyusunan program dan pengadaan rambu.

2.3 Jenis-Jenis Rambu

Jenis rambu-rambu lalu lintas yang tercantum di undang-undang pemerintah terbagi menjadi 4 yaitu :

1. Rambu peringatan adalah rambu yang digunakan untuk menyatakan peringatan bahaya atau tempat berbahaya pada jalan di depan pemakai jalan.
2. Rambu larangan adalah rambu yang digunakan untuk menyatakan perbuatan yang dilarang dilakukan oleh pemakai jalan.
3. Rambu perintah adalah rambu yang digunakan untuk menyatakan perintah yang wajib dilakukan oleh pemakai jalan.
4. Rambu petunjuk adalah rambu yang digunakan untuk menyatakan petunjuk mengenai jurusan, jalan, situasi, kota tempat, pengaturan, fasilitas dan lain-lain bagi pemakai jalan.

Secara fisik rambu-rambu dibagi menjadi 2 bagian :

1. Daun rambu adalah plat aluminium atau bahan logam lainnya tempat ditempelkan/dilekatkannya rambu.
2. Tiang rambu adalah batangan logam atau bahan lainnya untuk menempelkan atau melekatkan daun rambu.

2.3.1 Rambu Peringatan

Rambu peringatan digunakan untuk memberi peringatan kemungkinan ada bahaya atau tempat berbahaya di depan pengguna jalan. Warna dasar rambu peringatan berwarna kuning dengan lambang atau tulisan berwarna hitam. Rambu peringatan ditempatkan

pada sisi jalan sebelum tempat atau bagian jalan yang berbahaya dengan ukuran tinggi huruf sesuai dengan Tabel berikut.

Tabel 1. Korelasi kecepatan kendaraan terhadap ukuran tinggi huruf

Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Tinggi Minimal Huruf, Angka dan Simbol (mm)
10	30
20	60
30	90
40	120
50	150
60	180
70	210
80	240
90	270
100	300
>100	>300

Kriteria penempatan rambu peringatan:

1. Penempatan Rambu peringatan dengan memperhatikan kondisi lalu lintas, cuaca dan faktor geografis, geometrik, permukaan jalan dan kecepatan rencana jalan.
2. Rambu peringatan dapat dilengkapi dengan papan tambahan
3. Dalam hal jarak antara rambu peringatan dan permulaan bagian jalan yang berbahaya yang tidak dapat diduga oleh pengguna jalan, rambu dapat dipasang papan tambahan berupa keterangan yang menunjukkan jarak antara rambu dan permulaan bagian jalan dan lokasi yang berbahaya.
4. Penempatan rambu peringatan pada sisi jalan sebelum tempat berbahaya dilakukan dengan cara:
5. Paling sedikit 180 (seratus delapan puluh) meter, untuk jalan dengan kecepatan rencana lebih dari 100 (seratus) kilometer per jam
6. Paling sedikit 100 (seratus) meter, untuk jalan dengan kecepatan rencana lebih dari 80 km per jam sampai dengan 100 (seratus) kilometer per jam;
7. Paling sedikit 80 (delapan puluh) meter, untuk jalan dengan kecepatan rencana lebih dari 60 (enam puluh) kilometer per jam sampai dengan 80 (delapan puluh) kilometer per jam
8. Paling sedikit 50 (lima puluh) meter, untuk jalan dengan kecepatan rencana 60 (enam puluh) kilometer per jam atau kurang.

2.3.2 Rambu Larangan

Warna dasar rambu larangan berwarna putih dan lambang atau tulisan berwarna hitam atau merah. Penempatan Rambu Larangan memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Rambu larangan ditempatkan pada awal bagian jalan dimulainya larangan.
2. Rambu larangan dapat dilengkapi dengan papan tambahan.
3. Rambu larangan parkir dan berhenti jarak pemberlakuan rambu larangan 30 (tiga puluh) meter dari titik pemasangan rambu searah lalu lintas atau sesuai dengan yang dinyatakan dalam papan tambahan.

4. Rambu larangan parkir dan berhenti dapat ditempatkan secara berulang apabila jarak pemberlakuan rambu larangan lebih dari 30 (tiga puluh) meter.

2.3.3 Rambu Perintah

Warna dasar rambu perintah berwarna biru dan lambang atau tulisan berwarna putih serta merah untuk garis serong sebagai batas akhir perintah. Penempatan Rambu Perintah memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Rambu perintah ditempatkan sedekat mungkin pada awal dan/atau pada berakhirnya perintah.
2. Rambu perintah dapat dilengkapi dengan papan tambahan.
3. Rambu perintah mengikuti ke arah kiri dan rambu perintah mengikuti ke arah kanan ditempatkan pada sisi seberang jalan dari arah lalu lintas datang.
4. Rambu perintah mematuhi arah yang ditunjuk dan rambu perintah memilih salah satu arah yang ditunjuk ditempatkan pada sisi jalan sesuai dengan perintah yang diberikan oleh rambu tersebut.
5. Rambu perintah memasuki bagian jalan tertentu ditempatkan di sisi jalan pada bagian awal lajur atau bagian jalan yang wajib dilewati.
6. Rambu perintah menggunakan jalur atau lajur lalu lintas khusus ditempatkan pada awal bagian jalan dimulainya perintah.

2.3.4 Rambu Petunjuk

Rambu petunjuk yang menyatakan tempat fasilitas umum, batas wilayah suatu daerah, situasi jalan, dan rambu berupa kata-kata serta tempat khusus dinyatakan dengan warna dasar biru. Rambu petunjuk pendahulu jurusan, rambu petunjuk jurusan dan dan rambu penegas jurusan yang menyatakan petunjuk arah untuk mencapai tujuan antara lain kota, daerah/wilayah serta rambu yang menyatakan nama jalan dinyatakan dengan warna dasar hijau dengan lambang dan/atau tulisan warna putih. Rambu petunjuk jurusan menggunakan huruf kapital pada huruf pertama, dan selanjutnya menggunakan huruf kecil dan/atau seluruhnya menggunakan huruf kapital dan/atau huruf kecil.

Khusus rambu petunjuk jurusan kawasan dan objek wisata dinyatakan dengan warna dasar coklat dengan lambang dan/atau tulisan warna putih. Penentuan lokasi rambu petunjuk menggunakan kaedah sebagai berikut:

1. Rambu petunjuk ditempatkan sedemikian rupa sehingga mempunyai daya guna sebesar-besarnya dengan memperhatikan keadaan jalan dan kondisi lalu lintas.
2. Rambu petunjuk untuk menyatakan jarak dapat dilengkapi dengan papan tambahan atau dicantumkan pada rambu itu sendiri.
3. Rambu petunjuk dapat diulangi dengan ketentuan jarak antara rambu dan objek yang dinyatakan pada rambu dinyatakan dengan papan tambahan.
4. Rambu petunjuk ditempatkan pada sisi jalan, pemisah jalan, atau di atas ruang manfaat jalan sebelum daerah, kawasan, rute atau lokasi yang ditunjuk.
5. Rambu pendahulu petunjuk jurusan pada persimpangan di depan, rambu pendahulu petunjuk jurusan yang menunjukkan jurusan yang dituju, rambu pendahulu petunjuk jurusan yang menunjukkan jalur atau lajur sebelah kiri untuk mencapai jurusan yang dituju, rambu pendahulu petunjuk jurusan yang menunjukkan jalur atau lajur

sebelah kanan untuk mencapai jurusan yang dituju, dan rambu pendahulu petunjuk jurusan yang menunjukkan jarak jurusan yang dituju ditempatkan sedekat mungkin pada daerah, kawasan, rute, atau lokasi yang ditunjuk dengan jarak maksimum 50 (lima puluh) meter.

6. Rambu pendahulu petunjuk jurusan yang menunjukkan jalur atau lajur untuk mencapai jurusan yang dituju pada pintu keluar jalan tol ditempatkan dengan jarak paling dekat 500 (lima ratus) meter dari lokasi yang ditunjuk.
7. Rambu petunjuk penempatannya dapat diulang dengan jarak minimum 250 (dua ratus lima puluh) meter.
8. Rambu petunjuk jurusan dan rambu petunjuk batas wilayah ditempatkan sebelum lokasi yang ditunjuk.
9. Rambu petunjuk harus mencantumkan jarak sesuai dengan jarak lokasi yang ditunjuk.
10. Rambu petunjuk lokasi utilitas umum, rambu petunjuk lokasi fasilitas sosial, rambu petunjuk dengan kata-kata, rambu petunjuk batas awal jalan tol, rambu petunjuk batas awal jalan tol lingkaran dalam, rambu petunjuk lokasi putar balik, rambu petunjuk awal bagian jalan untuk kendaraan bermotor, dan rambu petunjuk akhir bagian jalan untuk kendaraan bermotor ditempatkan pada awal petunjuk dimulai.
11. Rambu petunjuk batas akhir jalan tol dan rambu petunjuk batas akhir jalan tol lingkaran dalam ditempatkan pada bagian jalan pada akhir berlakunya rambu yang bersangkutan.
12. Rambu petunjuk dengan kata-kata ditempatkan pada awal sisi ruas jalan yang menghadap arah lalu lintas.
13. Papan nama jalan ditempatkan pada bagian permulaan suatu ruas jalan dan diulang apabila bagian ruas jalan tersebut berpotongan dengan ruas jalan lainnya.
14. Rambu petunjuk lokasi simpul transportasi, rambu petunjuk lokasi fasilitas kebersihan, rambu petunjuk lokasi fasilitas komunikasi, rambu petunjuk lokasi fasilitas pemberhentian angkutan umum, rambu petunjuk lokasi fasilitas penyeberangan pejalan kaki, rambu petunjuk lokasi fasilitas parkir, rambu petunjuk fasilitas tanggap bencana dan rambu lokasi fasilitas sosial ditempatkan pada lokasi yang ditunjuk.
15. Rambu petunjuk dapat dipasang rambu yang sama dilengkapi dengan papan tambahan yang menyatakan jarak untuk petunjuk awal sebelum lokasi yang ditunjuk.
16. Rambu petunjuk lokasi fasilitas parkir ditempatkan di awal dan di akhir lokasi yang ditunjuk.
17. Rambu petunjuk lokasi rekreasi dan kebudayaan dan rambu petunjuk lokasi sarana olahraga dan lapangan terbuka ditempatkan pada lokasi yang ditunjuk.
18. Papan tambahan ditempatkan dengan jarak 5 (lima) sentimeter sampai dengan 10 (sepuluh) sentimeter dari sisi terbawah daun rambu dengan lebar papan tambahan secara vertikal tidak melebihi sisi daun rambu.
19. Papan tambahan mempunyai ukuran perbandingan antara panjang dan lebar 1 (satu) berbanding 2 (dua).
20. Papan tambahan dilarang ditempatkan pada rambu peringatan lainnya, rambu peringatan dengan kata-kata, rambu larangan dengan kata-kata, rambu petunjuk pendahulu jurusan, dan rambu petunjuk jurusan

2.3.5 Rambu Pendahulu Petunjuk Jurusan

Rambu pendahulu petunjuk jurusan adalah bagian dari rambu petunjuk yang menyediakan informasi kepada pengemudi tentang tujuan dan fasilitas-fasilitas sepanjang jalan. Rambu pendahulu petunjuk jurusan sangat penting dalam keselamatan jalan. Pengemudi yang belum mengenal tujuannya sangat bergantung kepada rambu pendahulu petunjuk jurusan. Rambu pendahulu petunjuk jurusan yang baik harus jelas dan mudah dipahami dan memberi informasi kepada pengemudi dalam memilih jalan. Pengemudi yang ragu-ragu dengan arah yang harus diikuti, dapat menimbulkan bahaya pada saat menyadari kesalahannya dalam memilih jalan, misalnya dengan melakukan pengereman, pemberhentian, mundur, atau memutar kendaraan. Prinsip-prinsip yang diperlukan dalam memasang rambu pendahulu petunjuk jurusan yang baik:

1. Seluruh rambu petunjuk harus direncanakan dengan baik. Rencana rute harus ditetapkan pada jalan-jalan primer dan sekunder
2. Harus terdapat kesinambungan pada pemilihan jurusan untuk setiap rambu. Suatu tujuan, ketika sudah dinyatakan pada satu rambu pendahulu petunjuk jurusan, harus muncul pada rambu berikutnya sepanjang jalan menuju tujuan.
3. Jumlah tujuan dalam satu rambu harus dibatasi. Tidak lebih dari 4 (empat) tujuan pada rambu yang sama atau pada kombinasi rambu. Hal ini berarti seluruh perencanaan rambu pendahulu petunjuk jurusan harus berdasarkan asumsi bahwa pengemudi memiliki peta jalan dan mengetahui pengetahuan secara umum dalam memilih rute.
4. Rambu identifikasi lokasi harus selalu memastikan tujuan yang diberikan pada rambu pendahulu petunjuk jurusan kecuali lokasi tujuan tersebut sudah sangat jelas.
5. Lokasi-lokasi atau situasi yang sama harus diberi rambu secara konsisten. Desain rambu juga harus sama untuk lokasi yang serupa.

Bentuk rambu pendahulu petunjuk jurusan pada umumnya bujur sangkar atau persegi panjang, dengan tulisan dan simbol putih pada latar belakang hijau. Rambu pendahulu petunjuk jurusan, untuk selanjutnya disebut RPPJ, harus ditempatkan pada jarak tertentu dari persimpangan, sehingga efektif baik pada siang hari maupun pada malam. Jenis rambu petunjuk pendahulu jurusan adalah sebagai berikut:

1. Rambu Diagramatik. Rambu diagramatik harus digunakan jika volume kendaraan berbelok tinggi atau bila informasi awal diperlukan untuk pertimbangan keselamatan lalu lintas.
2. Rambu diagramatik harus menunjukkan arah lokasi secara diagramatis dari persimpangan di depan. Diperlukan papan tambahan yang menunjukkan jarak antara rambu dengan persimpangan.
3. Rambu diagramatik dipasang di sisi kiri jalan. Rambu seharusnya tidak mengandung lebih dari tiga jurusan pada tiap arah. Diperlukan simbol untuk mengatasi hal tersebut.
4. Rambu diagramatik harus diikuti dengan rambu petunjuk pada persimpangan atau simpang susun.
5. Rambu Bersusun
6. Rambu bersusun dapat digunakan sebagai RPPJ pada jalan dengan volume lalu lintas yang lebih rendah, namun memerlukan informasi awal.

7. Jika digunakan rambu bersusun sebagai RPPJ, harus dilengkapi dengan papan tambahan yang menunjukkan jarak rambu dengan persimpangan. Jarak antara rambu dengan persimpangan adalah 200-400 m di luar kota dan 50-200 m di dalam kota.
8. Anak panah yang menunjukkan arah kiri dan kanan harus memiliki tangkai dan berbelok 45 derajat atau 90 derajat mengikuti desain dari persimpangan. Rambu harus menunjukkan arah dengan urutan sebagai berikut:
 - Lurus
 - Kiri
 - Kanan

2.4 Tata Cara Penempatan dan Pemasangan

Penempatan dan pemasangan Rambu Lalu Lintas harus memperhatikan:

1. Desain geometrik jalan;
2. Karakteristik lalu lintas;
3. Kelengkapan bagian konstruksi jalan;
4. Kondisi struktur tanah;
5. Perlengkapan jalan yang sudah terpasang;
6. Konstruksi yang tidak berkaitan dengan Pengguna Jalan; dan
7. Fungsi dan arti perlengkapan jalan lainnya.

Penempatan dan pemasangan Rambu Lalu Lintas harus pada ruang manfaat jalan dengan mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Jarak penempatan,
2. Ketinggian penempatan,
3. Jenis rambu,
4. Ukuran daun rambu,
5. Serta ukuran huruf, angka, dan simbol.

Berikut ini diuraikan tentang ketentuan penempatan rambu :

1. Rambu Lalu Lintas ditempatkan di sebelah kiri menurut arah lalu lintas pada jarak tertentu dari tepi paling luar bahu jalan atau jalur lalu lintas kendaraan dan tidak merintanginya lalu lintas kendaraan atau pejalan kaki.
2. Dalam hal lalu lintas satu arah dan tidak ada ruang pemasangan lain, Rambu Lalu Lintas dapat ditempatkan di sebelah kanan menurut arah lalu lintas.
3. Rambu Lalu Lintas dapat ditempatkan di atas ruang manfaat jalan apabila jumlah lajur lebih dari 2 (dua).
4. Rambu Lalu Lintas ditempatkan pada jarak paling sedikit 60 (enam puluh) sentimeter diukur dari bagian terluar daun rambu ke tepi paling luar bahu jalan.
5. Rambu Lalu Lintas dapat dipasang pada pemisah jalan (median) dan ditempatkan dengan jarak paling sedikit 30 (tiga puluh) sentimeter diukur dari bagian terluar daun rambu ke tepi paling luar kiri dan kanan dari pemisah jalan.
6. Penempatan Rambu Lalu Lintas harus tetap pada ruang manfaat jalan.

7. Pada kondisi jalan yang lurus atau melengkung ke kiri, rambu yang ditempatkan pada sisi jalan, pemasangan posisi rambu digeser 3° (derajat) searah jarum jam dan posisi tegak lurus sumbu jalan.
8. Rambu petunjuk ditempatkan sedemikian rupa sehingga mempunyai daya guna sebesar-besarnya dengan memperhatikan keadaan jalan dan kondisi lalu lintas.
9. Pada kondisi jalan yang melengkung ke kanan, rambu petunjuk yang ditempatkan pada sisi jalan, pemasangan posisi rambu tegak lurus terhadap sumbu jalan.
10. Rambu jalan yang ditempatkan pada awal pemisah jalan dan di atas daerah manfaat jalan pada jalan 1 arah, pemasangan posisi rambu tegak lurus terhadap sumbu jalan dan ditempatkan ditengah-tengah dari lebar median.
11. Posisi rambu tidak boleh terhalangi oleh bangunan, pepohonan atau benda-benda lain yang dapat berakibat mengurangi atau menghilangkan arti rambu tersebut.
12. Daun rambu harus dipasang pada tiang yang khusus disediakan untuk pemasangan daun rambu
13. Pemasangan daun rambu pada satu tiang maksimum 2 (dua) buah daun rambu.

2.5 Spesifikasi Teknis Rambu

Berdasarkan spesifikasinya maka dimensi ukuran panjang rambu sebagai berikut:

1. Rambu Lalu Lintas ditempatkan pada sisi jalan paling tinggi 265 (dua ratus enam puluh lima) sentimeter dan paling rendah 175 (seratus tujuh puluh lima) sentimeter diukur dari permukaan jalan tertinggi sampai dengan sisi daun rambu bagian bawah atau papan tambahan bagian bawah apabila rambu dilengkapi dengan papan tambahan.
2. Rambu Lalu Lintas yang dilengkapi dengan papan tambahan dan berada pada lokasi fasilitas pejalan kaki, ditempatkan paling tinggi 265 (dua ratus enam puluh lima) sentimeter dan paling rendah 175 (seratus tujuh puluh lima) sentimeter diukur dari permukaan fasilitas pejalan kaki sampai dengan sisi daun rambu bagian bawah atau papan tambahan bagian bawah.
3. Rambu pengarah tikungan ke kiri dan rambu pengarah tikungan ke kanan ditempatkan dengan ketinggian 120 (seratus dua puluh) sentimeter diukur dari permukaan jalan sampai dengan sisi daun rambu bagian bawah.
4. Dalam hal Rambu Lalu Lintas ditempatkan di atas ruang manfaat jalan, ketinggian rambu paling rendah 500 (lima ratus) sentimeter diukur dari permukaan jalan tertinggi sampai dengan sisi daun rambu bagian bawah atau papan tambahan bagian bawah.

Selanjutnya ukuran daun rambu ditentukan berdasarkan kecepatan rencana jalan.

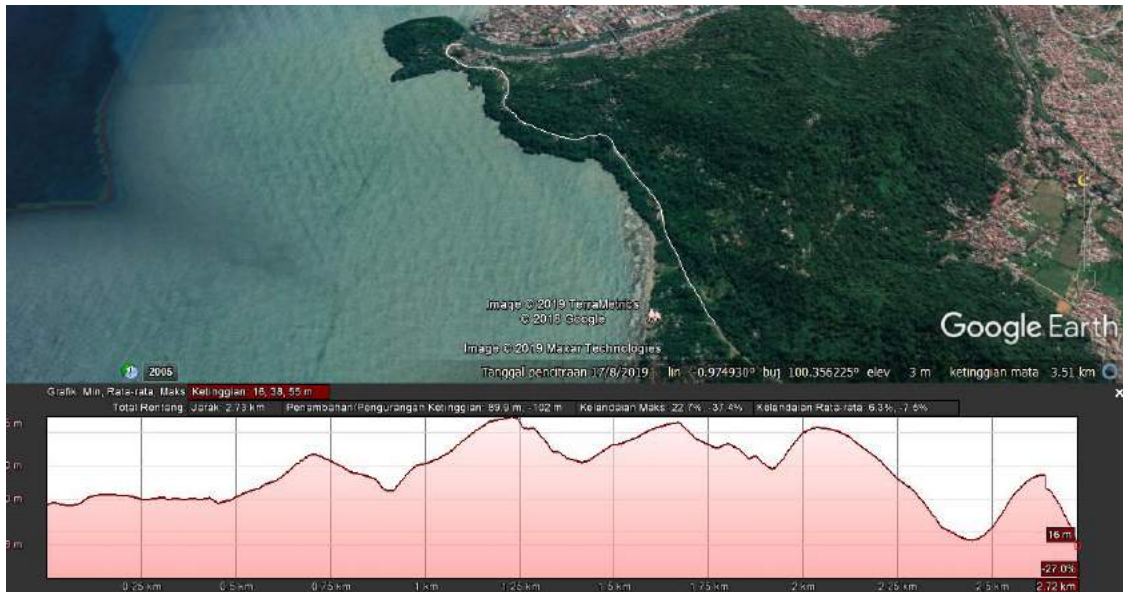
Berdasarkan ukuran daun rambu maka kategori daun rambu diuraikan sebagai berikut:

1. Daun rambu ukuran kecil dipasang pada jalan dengan kecepatan rencana sampai dengan 30 (tiga puluh) kilometer per jam.
2. Daun rambu ukuran sedang dipasang pada jalan dengan kecepatan rencana sampai dengan 60 (enam puluh) kilometer per jam.
3. Daun rambu ukuran besar dipasang pada jalan dengan kecepatan rencana sampai dengan 80 (delapan puluh) kilometer per jam.

4. Daun rambu ukuran sangat besar dipasang pada jalan dengan kecepatan rencana lebih dari 80 (delapan puluh) kilometer per jam.

3. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Lokasi kajian evaluasi pemasangan survey rambu yang terpasang pada ruas jalan akses Pantai Air Manis terletak di Kampung Seberang Pebayan dan Kelurahan Air Manis. Lokasi Kajian tersebut dapat dilihat dalam Gambar 1 Berikut ini.



Gambar 1. Lokasi Kajian Evaluasi Pemasangan Rambu Pada Akses Jalan Wisata Pantai Air Manis (Sumber: Google Earth, 2019).

Hasil evaluasi pemasangan survey rambu yang terpasang pada ruas jalan akses Pantai Air Manis disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Jenis Rambu pada Akses Jalan Pantai Air Manis

No	Rambu	Kode	Jumlah
1	Tikungan	1a	3
2	Tikungan	1b	3
3	Tikungan	1c	1
4	Tikungan	1i	1
5	Tikungan	1j	2
6	Turunan	2a	5
7	Turunan	2b	9
8	Tanjakan	2c	1
9	Tanjakan	2d	7
10	Hati-hati	8a	2
11	RPPJ	1b	1

		Total	35
--	--	-------	----

Analisis evaluasi dilakukan dengan membandingkan pemasangan kondisi eksisting dengan tata cara pemasangan rambu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 13 Tahun 2014 tentang Rambu Lalu Lintas. Berdasarkan peraturan tersebut, maka parameter yang digunakan adalah jarak penempatan dan lokasi penempatan. Hasil evaluasi selengkapnya disajikan dalam Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Evaluasi Pemasangan Rambu Terpasang Pada Ruas Jalan Akses Wisata Pantai Air Manis

No	Koordinat	Jenis Rambu	Posisi	Tinggi Rambu (Dari Perm. Jalan Sampai Ke Atas Daun Rambu) (Cm)	Tinggi Daun Rambu (Cm)	Tinggi Sampai Bagian Bawah Rambu (m)	Jarak Rambu Dari Bagian Terluar Bahu Jalan (Meter)	Jarak Rambu dari Titik Bahaya/ yg Diinformasikan (Meter)
1	S00°57.967' E100°21.053'	Peringatan Tanjakan Curam (2d)	Kiri	274	83	191	40	3
2	S00°57.970' E100°21.039'	Peringatan Tikungan ke Kiri (1a)	Kiri	269	83	186	215	50
3	S00°58.042' E100°21.052'	Peringatan Turunan Landai (2a)	Kiri	296	83	213	132	30
4	S00°58.065' E100°21.075'	Peringatan Tanjakan Curam (2d)	Kiri	270	83	187	120	50
5	S00°58.068' E100°21.079'	Peringatan Tikungan Ganda dengan Tikungan Pertama ke Kiri (1c)	Kiri	260	83	177	95	100
6	S00°58.089' E100°21.170'	Peringatan (ditegaskan penjelasan jenis peringatan dengan menggunakan papan tambahan) (8a)	Kiri	262	83	179	96	50
7	S00°58.191' E100°21.215'	Peringatan Banyak Tikungan dengan Tikungan Pertama ke Kanan (1j)	Kiri	263	83	180	154	50
8	S00°58.286' E100°21.225'	Peringatan Tanjakan Curam (2d)	Kiri	264	83	181	105	50
9	S00°58.352' E100°21.275'	Peringatan Turunan Curam (2b)	Kiri	263	83	180	88	25
10	S00°58.395' E100°21.359'	Peringatan Tanjakan Landai (2c)	Kiri	263	83	180	50	50
11	S00°58.406' E100°21.390'	Peringatan Tikungan ke Kiri (1a)	Kiri	260	83	177	58	35
12	S00°58.399' E100°21.441'	Peringatan Tikungan ke Kanan (1b)	Kiri	293	83	210	94	50
13	S00°58.397' E100°21.484'	Peringatan Tanjakan Curam (2d)	Kiri	260	83	177	210	30

No	Koordinat	Jenis Rambu	Posisi	Tinggi Rambu (Dari Perm. Jalan Sampai Ke Atas Daun Rambu) (Cm)	Tinggi Daun Rambu (Cm)	Tinggi Sampai Bagian Bawah Rambu (m)	Jarak Rambu Dari Bagian Terluar Bahu Jalan (Meter)	Jarak Rambu dari Titik Bahaya/ yg Diinformasikan (Meter)
14	S00°58.459' E100°21.523'	Peringatan Turunan Curam (2b)	Kiri	276	83	193	125	50
15	S00°58.675' E100°21.629'	Peringatan Turunan Curam (2b)	Kiri	273	83	190	102	75
16	S00°58.847' E100°21.667'	Peringatan Tanjakan Curam (2d)	Kiri	273	83	190	65	50
17	S00°58.939' E100°21.705'	RPPJ	Kiri	6050	83	5967	30	200
18	S00°58.952' E100°21.702'	Peringatan Turunan Curam (2b)	Kiri	260	83	177	30	50
19	S00°59.007' E100°21.725'	Peringatan (ditegaskan penjelasan jenis peringatan dengan menggunakan papan tambahan) (8a)	Kanan	267	83	184	80	75
20	S00°59.004' E100°21.720'	Peringatan Tanjakan Curam (2d)	Kanan	256	83	173	43	10
21	S00°58.944' E100°21.702'	Peringatan Turunan Curam (2b)	Kanan	265	83	182	30	50
22	S00°58.760' E100°21.634'	Peringatan Tanjakan Curam (2d)	Kanan	256	83	173	106	40
23	S00°58.523' E100°21.554'	Peringatan Turunan Landai (2a)	Kanan	266	83	183	45	25
24	S00°58.434' E100°21.505'	Peringatan Turunan Curam (2b)	Kanan	260	83	177	120	30
25	S00°58.399' E100°21.483'	Peringatan Tikungan ke Kiri (1a)	Kanan	263	83	180	130	30
26	S00°58.406' E100°21.424'	Peringatan Tikungan ke Kanan (1b)	Kanan	273	83	190	80	30
27	S00°58.403' E100°21.383'	Peringatan Turunan Landai (2a)	Kanan	270	83	187	20	25
28	S00°58.391' E100°21.346'	Peringatan Tanjakan Landai (2a)	Kanan	258	83	175	60	25
29	S00°58.360' E100°21.278'	Peringatan Banyak Tikungan dengan Tikungan Pertama ke Kanan (1j)	Kanan	270	83	187	20	50
30	S00°58.349' E100°21.263'	Peringatan Turunan Curam (2b)	Kanan	278	83	195	12	20
31	S00°58.078' E100°21.137'	Peringatan Turunan Curam (2b)	Kanan	262	83	179	108	50
32	S00°58.076' E100°21.132'	Peringatan Banyak Tikungan dengan Tikungan Pertama ke Kiri (1i)	Kanan	265	83	182	107	75
33	S00°58.064'	Peringatan Turunan Landai	Kanan	274	83	191	70	50

No	Koordinat	Jenis Rambu	Posisi	Tinggi Rambu (Dari Perm. Jalan Sampai Ke Atas Daun Rambu) (Cm)	Tinggi Daun Rambu (Cm)	Tinggi Sampai Bagian Bawah Rambu (m)	Jarak Rambu Dari Bagian Terluar Bahu Jalan (Meter)	Jarak Rambu dari Titik Bahaya/ yg Diinformasikan (Meter)
	E100°21.066'	(2a)						
34	S00°58.037' E100°21.035'	Peringatan Tikungan ke Kanan (1b)	Kanan	255	83	172	56	50
35	S00°58.030' E100°21.032'	Peringatan Turunan Curam (2b)	Kanan	268	83	185	68	25

Keterangan :

 Tidak Sesuai Standar

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa didapatkan kesimpulan masih banyak terdapat kondisi pemasangan rambu yang tidak sesuai dengan standar. Adapun beberapa faktor yang menyebabkan ketidaksesuaian dalam pemasangan rambu tersebut adalah :

- Kondisi geometrik jalan
- Kondisi ruang manfaat jalan yang tidak memadai

Selanjutnya dalam pemasangan rambu hendaknya mengikuti standar yang telah ditetapkan. Berkaitan dengan kondisi eksisting jalan akses Wisata Pantai Air Manis yang masih relatif baru maka diperlukan penelitian lanjutan yang berkaitan dengan perencanaan kebutuhan fasilitas keselamatan jalan. Selain itu, mengingat kondisi jalan yang sudah tidak terawat seperti terdapatnya semak belukar yang dapat mengganggu pandangan rambu dan jarak pandang saat berkendara maka diperlukan pemeliharaan jalan secara berkala.

5. DAFTAR PUSTAKA

Departemen Perhubungan. 2006. Panduan Penempatan Fasilitas Perlengkapan Jalan. Jakarta: Dirjen Perhubungan Darat, Direktorat Bina Sarana Transportasi Perkotaan.

Departemen Perhubungan, 1997, Keputusan Direktur Jendral Perhubungan Darat Nomor : SK.116/AJ.404/DRJD/97 tanggal 11 April 1997 tentang Petunjuk Teknis Penyelenggaraan Pelengkapan Jalan, Jakarta.

Firgian, dkk. 2014. Evaluasi Keberadaan Rambu Dan Marka Jalan Di Kota Pontianak . Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura Volume 2 Nomor 2.

Hariyadi, Adi. 2012. Skripsi: Harmonisasi Rambu dan Marka Dengan Geometrik Jalan Pada Jalan Luar Kota. Depok: Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Peraturan Pemerintah Nomor 32 Tahun 2011 tentang Manajemen dan Rekayasa, Analisis Dampak serta Manajemen Kebutuhan Lalu Lintas.

Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 13 Tahun 2014 tentang Rambu Lalu Lintas.

Undang-Undang No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas Angkutan Jalan.

PENGARUH PENAMBAHAN KALSIMUM HIDROKSIDA (Ca(OH)₂) PADA KARAKTERISTIK ASPAL

Tiara Fahreza¹, Hendri Warman², Zufrimar³

¹Mahasiswa Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta, Padang. Email: tiarafahreza01@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta, Padang. Email: warmanhendri@yahoo.com

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta, Padang. Email: zufrimar@bunghatta.ac.id

ABSTRACT

Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) is a flexible pavement which has gap gradations of its aggregate. Gap gradations is a gradations in which one of fraction is missing cause a cavity between the aggregates that will be filled by asphalt and filler. A way to increase the performance of asphalt mixture is with adding Calcium Hydroxide (Ca(OH)₂) or also called hydrated lime as a filler. This study aimed to find out the effect of adding Calcium Hydroxide (Ca(OH)₂) as a filler on the asphalt mixture. This study have been done on Laboratory by making some samples of HRS-WC mixtures with Optimum Asphalt Content and then adding Calcium Hydroxide as filler on level 25%, 50% and 75% of fillers weight. Each samples conducted a test, start from materials tests, Marshall Test, until testing the value of stability, flow, VIM, VMA, VFB and MQ, then analyze with comparing it with standard specifications. The results of the study found that the best mixtures of HRS-WC is a mixtures that the aggregates match with the grading gradations, with an optimum asphalt content of 8.1%, and adding 50% of Calcium Hydroxide.

Keywords : HRS-WC, Filler, Calcium Hydroxide, Optimum Asphalt Content, Marshall Test

ABSTRAK

Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi senjang. Agregat bergradasi senjang adalah gradasi agregat yang salah satu fraksi butiran ada yang dihilangkan atau ada namun hanya sedikit hingga akan terdapat rongga antara agregat yang nantinya diisi oleh aspal dan bahan pengisi (*filler*). Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja campuran aspal adalah dengan menambahkan Kalsium Hidroksida (Ca(OH)₂) atau disebut juga dengan kapur padam sebagai bahan pengisi (*filler*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan komposisi *filler* Kalsium Hidroksida (Ca(OH)₂) sebagai bahan pengisi pada campuran HRS-WC. Penelitian ini dilakukan dalam skala Laboratorium dengan membuat sejumlah campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal Optimum kemudian ditambahkan *filler* Kalsium Hidroksida (Ca(OH)₂) sebanyak 25%, 50% dan 75% dari berat *filler*. Masing-masing benda uji tersebut kemudian dilakukan pengujian, mulai dari pengujian material, *Marshall Test*, hingga pengujian nilai Stabilitas, Nilai *Flow*, nilai VIM, nilai VMA, nilai VFB dan nilai *Marshall Quotient*, lalu dilakukan analisis dengan membandingkannya dengan spesifikasi standar. Dari hasil penelitian didapat bahwa campuran terbaik dari HRS-WC adalah campuran yang mempunyai agregat yang sesuai dengan grafik gradasi

campuran, dengan Kadar Aspal Optimum sebesar 8.1% dan dengan penambahan Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sampai 50%.

Kata Kunci : HRS-WC, *Filler*, Kalsium Hidroksida, Kadar aspal optimum, *Marshall Test*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan adanya ide-ide baru dalam pelaksanaan pembangunan jalan raya sehingga semakin menambah pengetahuan untuk melakukan aplikasi yang jauh lebih baik penggunaannya untuk dapat diterapkan dalam hal pembangunan jalan raya. Perkerasan yang dipakai adalah perkerasan lentur yang menggunakan campuran aspal, agregat dan *filler* sebagai bahan penyusunnya. Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah Stabilitas, Keawetan atau Durabilitas, Kelenturan atau Fleksibilitas, Ketahanan terhadap kelelahan, Kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air dan kemudahan pelaksanaan (Sukirman, 2003).

Penggunaan jenis dan proporsi *filler* juga mempengaruhi kualitas dari campuran aspal. Penggunaan *filler* yang terlalu banyak cenderung menghasilkan campuran yang getas dan mudah retak. Sebaliknya, penggunaan *filler* yang terlalu rendah juga akan menjadikan campuran lebih peka terhadap temperatur dimana campuran akan menjadi lunak pada cuaca panas.

Salah satu perkerasan jalan yang digunakan di Indonesia adalah lapisan tipis aspal beton (Lataston) atau biasa juga disebut *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC). HRS-WC merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi senjang. Agregat bergradasi senjang adalah gradasi agregat yang salah satu fraksi butiran ada yang dihilangkan atau ada namun hanya sedikit hingga akan terdapat rongga antara agregat yang nantinya diisi oleh aspal dan bahan pengisi (*filler*).

Karakteristik campuran beton aspal sangat dipengaruhi oleh jenis dan kadar *filler* dalam campurannya. Penambahan Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) atau kapur padam dimaksudkan untuk menganalisis karakteristik dari campuran HRS-WC seperti nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA dan *Marshall Quotient* dengan penambahan komposisi *filler* sebanyak 25%, 50% dan 75%.

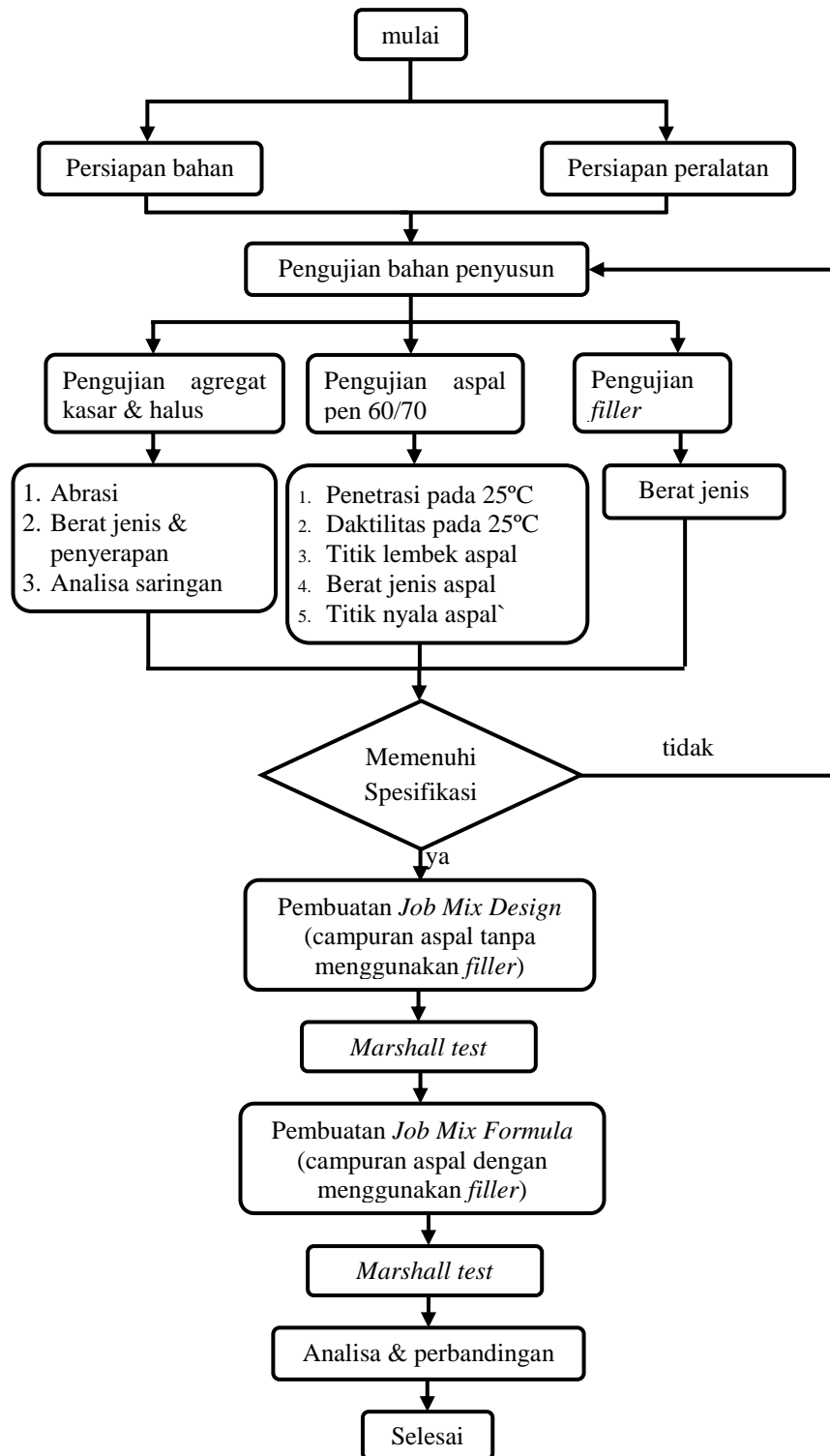
1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran aspal dengan komposisi *filler* 0%, 25%, 50% dan 75%;
2. Mendapatkan kadar aspal optimum pada campuran HRS-WC;
3. Mendapatkan karakteristik pada campuran aspal (stabilitas, kelelahan, VMA, VIM, VFA dan *Marshall Quotient*).

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Bagan Alir Penelitian



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Material Penyusun HRS-WC

3.1.1 Pengujian Agregat Kasar dan Halus

Agregat yang diuji dalam penelitian ini adalah agregat kasar tertahan saringan No.4 (4,75 mm), agregat halus lolos saringan No. 4 (4,75 mm) sampai tertahan saringan No. 200. Pengujian agregat ini meliputi pengujian keausan agregat dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, pengujian berat jenis dan penyerapan, pengujian angularitas untuk agregat halus dan pengujian analisa saringan. Hasil pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengujian agregat kasar

No.	Pengujian	Standar	Satuan	Spesifikasi		Hasil Uji	Keterangan
				Min	Maks		
1.	Abrasi dengan Mesin Los Angeles (500 putaran)	SNI 2417:2008	%	-	30	22,77	Memenuhi
Berat Jenis dan Penyerapan							
2.	Berat Jenis (bulk)	SNI 1969:2016	gr/cc	-	-	2,5	
3.	Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)		gr/cc	-	-	2,6	
4.	Berat Jenis Semu (apparent)		gr/cc	-	-	2,7	
5.	Penyerapan		%	-	3,0	1.532	Memenuhi
6.	Lolos Ayakan no. 200	SNI-03-4142-1996	%	-	2,0	1.74	Memenuhi

Tabel 2. Hasil pengujian agregat halus

No.	Pengujian	Standar	Satuan	Spesifikasi		Hasil Uji	Keterangan
				Min	Maks		
Berat Jenis dan Penyerapan							
1.	Berat Jenis (bulk)	SNI 1970:2016	gr/cc	-	-	2,5	
2.	Berat Jenis Kering		gr/cc	-	-	2,6	

	Permukaan Jenuh (SSD)					
3.	Berat Jenis Semu (apparent)		gr/cc	-	-	2,7
4.	Penyerapan		%	-	3,0	2,8
5.	Angularitas	SNI 03-6877-2002		45	-	46,8
6.	Lolos Ayakan no.200	ASTM C117:2012	%	-	10	5.04

Dari hasil pengujian agregat kasar dan halus yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan karakteristik agregat telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Maka agregat tersebut bisa digunakan sebagai bahan penyusun HRS-WC dalam penelitian ini.

3.2 Pengujian Aspal

Hasil pengujian aspal dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian aspal

No.	Pengujian	Standar Uji	Satuan	Spesifikasi		Hasil Uji	Keterangan
				Min	Maks		
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI-06-2456-1991	0,1 mm	60	70	65,2	Memenuhi
2.	Penetrasi pada 25°C (setelah TFOT)		%	≥54	-	56,1	Memenuhi
3.	Titik Lembek	SNI 2434:2011	°C	≥48	-	50,5	Memenuhi
4.	Titik Nyala	SNI 2433:2011	°C	≥232	-	317	Memenuhi
5.	Daktilitas 25°C	SNI 2432:2011	cm	≥100	-	125	Memenuhi
6.	Daktilitas 25°C (setelah TFOT)		cm	≥100	-	105	Memenuhi
7.	Berat Jenis	SNI 2441:2011		≥1,0	-	1,04	Memenuhi
8.	Kehilangan Berat	SNI-06-2441-1991	%	-	≤ 0,8	0,2	Memenuhi

3.3 Pengujian Filler

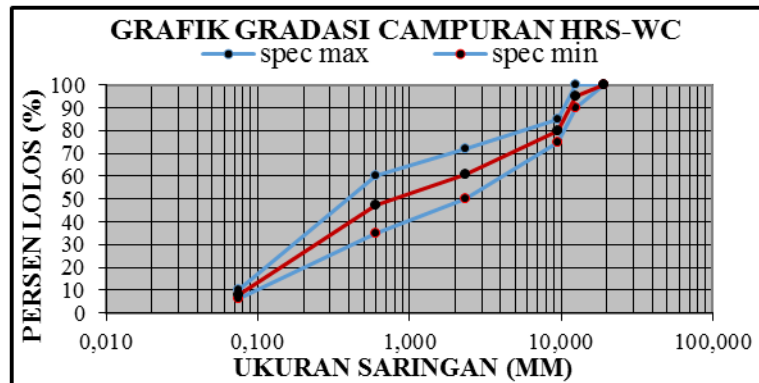
Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian filler

Pengujian	Standar	Hasil Uji
Berat Jenis	SNI 15-2531-1991	2.61

3.4 Gradasi Campuran HRS-WC

Untuk mendapatkan gradasi campuran HRS-WC, digunakan metode analitis dalam menentukan proporsi agregatnya. Penelitian ini juga menggunakan beberapa fraksi agregat diantaranya adalah fraksi agregat kasar, agregat medium dan agregat halus. Berdasarkan hasil analisis saringan maka ditentukan berat masing-masing ukuran agregat dengan persentase yang telah ditetapkan terlebih dahulu dalam target gradasi. Hasil gradasi campuran HRS-WC dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik gradasi campuran HRS-WC

Dari Gambar 1 terlihat bahwa gradasi agregat HRS-WC sudah memenuhi batas bawah dan batas atas berdasarkan spesifikasi Bina Marga Revisi 3. Maka gradasi tersebut dapat digunakan dalam campuran HRS-WC.

3.5 Pengujian Karakteristik HRS-WC

Karakteristik campuran HRS-WC dapat diketahui dengan menganalisa nilai stabilitas, *flow*, *VIM*, *VMA*, *VFA* dan *Marshall Quotient*. Masing-masing nilai diperoleh dari hasil *Marshall Test* yang memiliki spesifikasi tertentu yang telah ditetapkan. Spesifikasi tersebut merupakan acuan untuk mendapatkan nilai KAO dan campuran aspal beton yang berkualitas. Perhitungan karakteristik HRS-WC dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data perhitungan karakteristik HRS-WC

No	Karakteristik	Spec.	Kadar Aspal				
			7,2%	7,7%	8,2%	8,7%	9,2%
1.	Stabilitas	800	1899,3	1742,0	1416,1	1708,3	1539,7
2.	VIM	4,0-6,0	4,01	3,70	5,47	2,90	2,65
3.	VFB	68	76,81	78,86	71,79	83,56	85,20
4.	VMA	18	17,30	17,44	19,39	17,65	17,89
5.	Flow	3	3,36	3,40	2,58	4,15	4,08
6.	Marshall Quotient	250	566,11	512,34	549,92	411,63	377,83

Setelah didapat nilai rata-rata pengujian *Marshall* setiap pengujian, maka dilakukan penggambaran grafik karakteristik *Marshall* untuk mendapatkan nilai KAO seperti yang terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Penentuan Kadar Aspal Optimum

No.	Karakteristik	Spec.	Kadar Aspal
1.	Stabilitas (kg)	Min 800	
2.	VIM (%)	4,0 – 6,0	
3.	VFA (%)	Min 68	
4.	VMA (%)	Min 18	
5.	Flow (mm)	Min 3	
6.	Marshall Quotient (kg/mm)	Min 250	

Dari tabel kadar aspal optimum dapat dilihat kadar aspal yang memenuhi spesifikasi dalam rentang 7,7% - 8,5%. Untuk menentukan kadar aspal optimum dapat dihitung:

$$KAO = \frac{7,7\% + 8,5\%}{2} = 8,1\%$$

3.6 Pengujian Karakteristik HRS-WC dengan Penambahan *Filler* Kalsium Hidroksida (Ca(OH)₂)

Hasil pengujian karakteristik HRS-WC dengan penambahan *filler* dapat dilihat pada tabel 7.

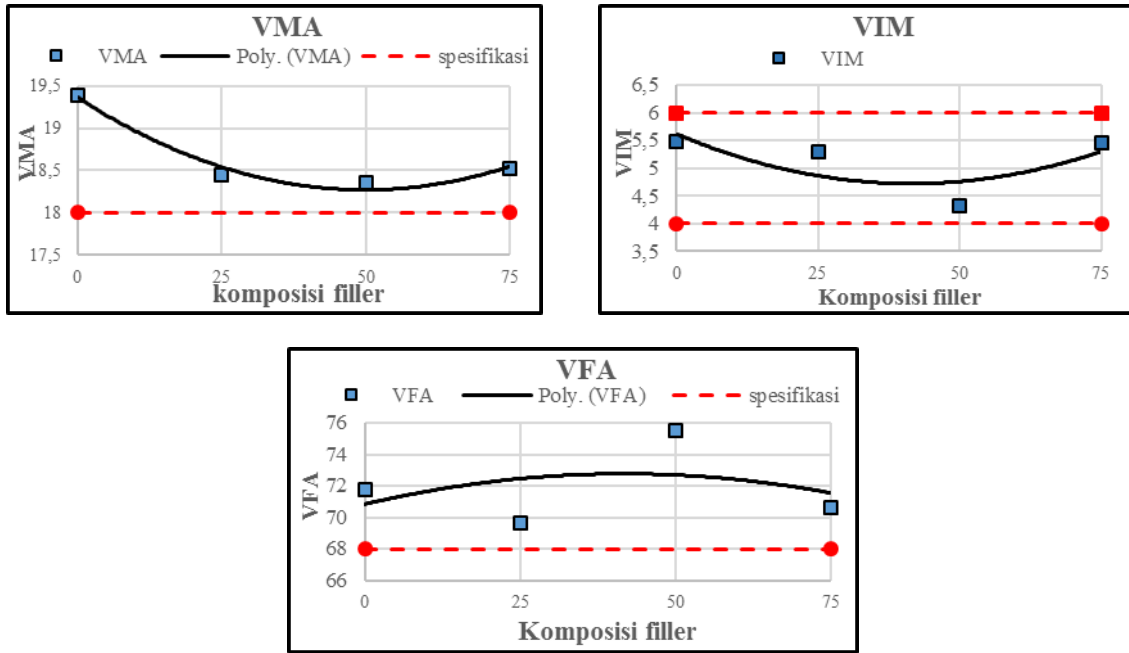
Tabel 7. Hasil pengujian Marshall untuk setiap variasi komposisi *filler*

No	Karakteristik	Spec.	Variasi Komposisi Kalsium Hidroksida (Ca(OH) ₂)			
			0%	25%	50%	75%
1.	Stabilitas (kg)	Min 800	1416.1	1786.9	1989.2	2281.4
2.	VIM (%)	4.0-6.0	5.47	5.30	4.32	5.45
3.	VFA (%)	Min 68	71.79	69.60	75.54	70.59
4.	VMA (%)	Min 18	19.39	18.45	18.36	18.52
5.	Flow (mm)	Min 3	2.58	3.13	3.95	3.05
6.	Marshall Quotient (kg/mm)	Min 250	549.92	571.81	503.60	748.01

3.6.1 VMA, VIM, VFA

Dari hasil nilai ketiga karakteristik dapat dilihat bahwa nilai VMA cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya komposisi *filler*. Hal ini dikarenakan penambahan *filler* membuat rongga yang tersedia untuk diisi oleh aspal dan udara sudah terisi oleh *filler* yang menyebabkan campuran menjadi lebih padat. Nilai VIM cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya komposisi *filler*. Jadi semakin

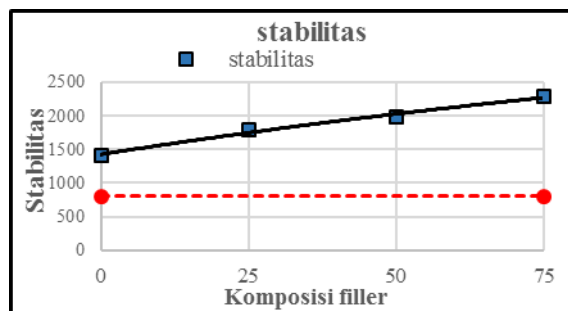
kecil nilai VIM maka rongga didalam campuran semakin kecil yang menyebabkan rongga didalam campuran menjadi semakin rapat dan membuat campuran menjadi kedap air. Dari hasil nilai karakteristik VFA dapat dilihat seiring bertambahnya komposisi *filler* cenderung meningkat. Hal ini dikarenakan seiring penambahan komposisi *filler* membuat rongga yang tersedia semakin kecil. Pada komposisi *filler* 75% terjadi penurunan nilai VFA. Hal ini dikarenakan komposisi *filler* sudah terlalu banyak masuk kedalam rongga campuran sehingga tidak tersedia lagi rongga yang menyebabkan campuran menjadi lunak dan mengalami *bleeding*. Hasil pengujian ketiga karakteristik dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik nilai VMA, VIM dan VFA pada masing-masing penambahan komposisi *filler*

3.6.2 Stabilitas

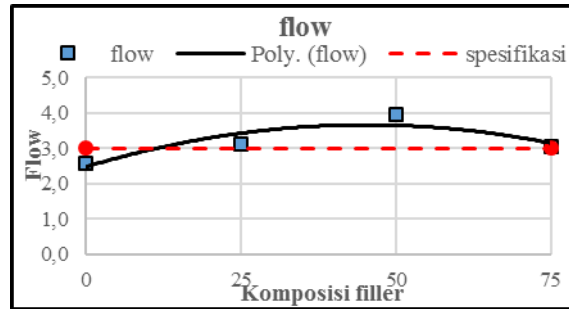
Dari hasil nilai karakteristik stabilitas dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya komposisi *filler* nilai stabilitas semakin meningkat. Hasil pengujian Stabilitas dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik nilai stabilitas pada masing-masing penambahan komposisi *filler*

3.6.3 *Flow* (Kelelehan)

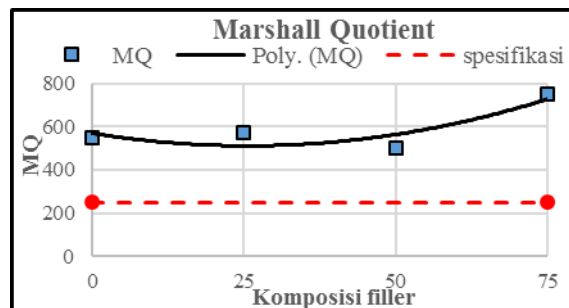
Dari hasil nilai karakteristik *flow* dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai *flow* dengan bertambahnya komposisi *filler*. Pada penambahan *filler* 75% terjadi penurunan nilai *flow*. Hal ini dikarenakan penambahan *filler* kapur padam telah melewati batas maksimum penambahan kapur padam. Hasil pengujian *flow* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik nilai *flow* pada masing-masing penambahan komposisi *filler*

3.6.4 *Marshall Quotient* (MQ)

Dari hasil nilai karakteristik MQ dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya komposisi *filler* nilai MQ mengalami kenaikan dan penurunan tetapi masih memenuhi persyaratan nilai MQ yaitu sebesar 250 kg/mm. Hasil Pengujian MQ dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik nilai MQ pada masing-masing penambahan komposisi *filler*

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan pengaruh penambahan Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) atau kapur padam pada campran HRS-WC dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian campuran Lapis tipis Aspal Beton (Lataston) atau biasa juga disebut HRS-WC diperoleh hasil Kadar Aspal Optimum sebesar 8.1%;
2. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa campuran yang terbaik pada HRS-WC ini adalah campuran yang mempunyai komposisi agregat yang sesuai dengan grafik gradasi campuran, dengan kadar aspal yang optimum yaitu sebesar 8.1% dan dengan penambahan komposisi *filler* Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sampai 50%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Dirjen Bina Marga. (2010). Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Revisi 3. *Kementerian Pekerjaan Umum, Indonesia.*
- Mashuri., Fredi Batti, Joy., Listiana. (2013). Pengaruh Penggunaan Kapur Padam sebagai Bahan Pengisi (*filler*) pada Ketahanan Pengelupasan Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC), Jurnal "MEKTEK" tahun XV No. 2, Mei 2013.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) III yang telah memfasilitasi penulis dalam melaksanakan penelitian dalam bentuk peralatan maupun ilmu. Terima kasih kepada Bapak Yuris selaku manajer mutu BPJN III, Bapak Hanafi selaku manajer teknik BPJN III yang telah membimbing penulis selama melakukan penelitian, sehingga penulis menyelesaikan penelitian dengan lancar. Dan kepada Staff laboratorium BPJN III Bang Apli, Bang Aldo dan anak-anak magang yang telah membantu penulis dalam melaksanakan penelitian baik dalam tenaga maupun ilmu.

HUBUNGAN VOLUME, KECEPATAN DAN KEPADATAN (Ruas Jalan Jhoni Anwar, Simpang Tinju - SJS Plaza, Lapai, Kota Padang)

Eko Prayitno¹, Veronika²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta, Padang. Email: ekoprayitno@bunghatta.ac.id, veronika@bunghatta.ac.id

ABSTRACT

Traffic volume can be defined as the number of vehicles that pass a certain length in a lane or road over a period of time. At a very low or empty traffic volume and a very good road (ideal), the vehicle can run the vehicle according to its wishes in the limits that are felt safe without being influenced by the presence of other vehicles. In the flow of traffic often occurs vehicles that go hand in hand with a very diverse speed and the amount of vehicle capacity that passes the same lane or road so that it will cause density. The survey carried out is a volume survey and speed survey. For the traffic flow survey the flow of vehicles is calculated at a point along the road with units of vehicles per hour and is based on a short observation time of every 15 minutes. The results of the analysis of the relationship of volume, speed, density, phase I on monday, october 7, 2019 obtained a volume value of 4877 smp/hour, speed (Us) 20.30 km/hour, density (Dj) 961.01 smp/hour. Phase II on saturday, october 12, 2019 obtained values, volume 4946 smp/hour, speed (Us) 20.61 km/hour and density (Dj) 960 smp/hour.

Keywords : volume, speed, density, traffic, vehicles

ABSTRAK

Volume lalu lintas dapat didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati bagian panjang tertentu pada suatu jalur atau jalan dalam jangka waktu tertentu. Pada volume lalu lintas yang sangat rendah atau kosong dan jalan yang sangat baik (ideal) maka kendaraan dapat menjalankan kendaraannya sesuai dengan keinginannya dalam batas yang dirasakan aman tanpa dipengaruhi oleh keberadaan kendaraan lainnya. Pada arus lalu lintas sering terjadi kendaraan yang saling beriringan dengan kecepatan yang sangat beragam serta banyaknya kapasitas kendaraan yang melewati jalur atau jalan yang sama sehingga akan menimbulkan kepadatan. Survey yang dilaksanakan adalah survey volume dan survey kecepatan. Untuk survey aliran lalu lintas dihitung aliran kendaraan yang melintas disuatu titik diruas jalan dengan satuan kendaraan per jam dan didasarkan pada waktu observasi yang singkat yaitu setiap 15 menit. Hasil analisa hubungan volume, kecepatan, kepadatan, tahap I hari Senin, 07 Oktober 2019 didapat nilai volume 4877 smp/jam, kecepatan (Us) 20,30 km/jam, kepadatan (Dj) 961,01 smp/jam. Tahap II hari Sabtu, 12 Oktober 2019 didapat nilai, volume 4946 smp/jam, kecepatan (Us) 20,61 km/jam dan kepadatan (Dj) 960 smp/jam.

Kata Kunci : volume, kecepatan, kepadatan, lalu lintas, kendaraan

7. PENDAHULUAN

Terciptanya suatu sistem transportasi yang menjamin pergerakan manusia, kendaraan dan barang secara lancar, aman, nyaman merupakan tujuan pembangunan. Jalan Jhoni Anwar, simpang tinju sampai dengan SJS Plaza merupakan Jalan Kolektor kelas IIIA dan salah satu jantung pergerakan lalulintas di Kota Padang. Dalam perencanaan,

perancangan dan penetapan berbagai kebijakan sistem transportasi, teori pergerakan arus lalu lintas memegang peranan penting. Untuk itu dilakukan survey volume, kecepatan dan kepadatan pada jalan yang dipengaruhi oleh hambatan samping yaitu adanya parkir kendaraan disepanjang jalan dan pengaruh kegiatan pusat perbelanjaan SJS Plaza.

8. LANDASAN TEORI

8.1 Volume

Volume lalu lintas dapat didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati bagian panjang tertentu pada suatu jalur atau jalan dalam jangka waktu tertentu. Volume lalu lintas yang tinggi membutuhkan lebar perkerasan jalan yang lebar, sehingga tercipta kenyamanan dan keamanan. Sebaiknya jalan yang terlalu lebar untuk volume lalu lintas rendah cenderung membahayakan, karena pengemudi cenderung mengemudikan kendaraannya pada kecepatan yang lebih tinggi.

8.2 Kecepatan

Pada volume lalu lintas yang sangat rendah atau kosong dan jalan yang sangat baik (ideal) maka kendaraan dapat menjalankan kendaraannya sesuai dengan keinginannya dalam batas yang dirasakan aman tanpa dipengaruhi oleh keberadaan kendaraan lainnya. Pada kondisi ini dapat dikatakan bahwa lalu lintas di jalan tersebut dikatakan arus bebas. Bertambahnya arus lalu lintas, pengendara akan merasa terganggu dengan kendaraan lain di jalan tersebut.

8.3 Kepadatan

Pada arus lalu lintas sering terjadi kendaraan yang saling beriringan dengan kecepatan yang sangat beragam serta banyaknya kapasitas kendaraan yang melewati jalur atau jalan yang sama sehingga akan menimbulkan kepadatan. Dengan situasi tersebut, apabila kapasitas kendaraan yang melewati jalur atau jalan tersebut melebihi layanan jalur atau jalan yang ada akan mengakibatkan kemacetan.

8.4 Hubungan Volume, Kecepatan, Kepadatan

Hubungan ketiga variabel utama lalu lintas yaitu volume, kecepatan, kepadatan mempunyai hubungan satu sama lainnya. Hubungan dasar antara variabel volume, kecepatan, kepadatan dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Q = U_s * D \quad (1)$$

Dimana :

Q : Volume (kendaraan/jam)

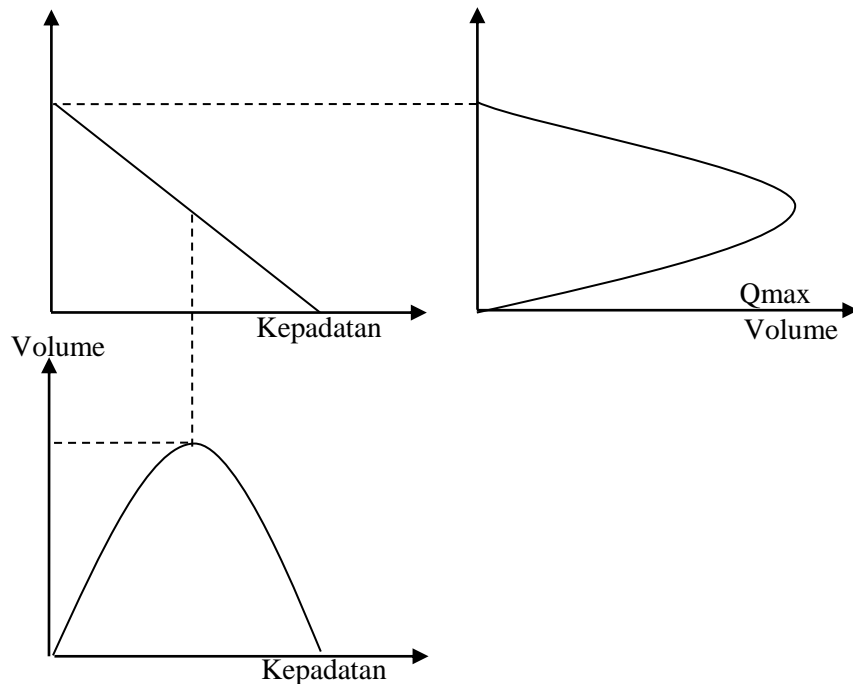
U_s : Kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

D : Kepadatan (kendaraan/jam)

Hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan dapat digambarkan secara grafis dengan menggunakan persamaan matematis yang merupakan persamaan dasar dari pergerakan arus lalu lintas.

Kecepatan

Kecepatan



Gambar 1. Grafik Hubungan Volume, Kecepatan, Kepadatan
Sumber : C. Jotin Khisty dan B. Kent Lall (2005)

9. METODOLOGI PENELITIAN

9.1 Tahap Penelitian

1. Kebutuhan data primer

- a. Pengukuran geometrik jalan, dilakukan pada ruas simpang tinju sampai depan SJS Plaza
- b. Survey volume, untuk mendapatkan jumlah kendaraan yang melewati ruas jalan tersebut
- c. Melakukan survey kecepatan dengan menggunakan space mean speed (waktu tempuh)

3. Kegiatan Survey

- a. Daerah penelitian diambil pada ruas Jalan Jhoni Anwar simpang tinju – depan SJS Plaza, Lapai, Kota Padang.
- b. Kondisi perkerasan jalan dan desain geometrik jalan dalam keadaan baik, jalan rata dan lurus

9.2 Pelaksanaan Survey Lapangan

Pelaksanaan survey dilakukan 2 (dua) kali dan dibagi menjadi 2 (dua) tahap, yaitu :

- a. Tahap 1 (satu) dilaksanakan pada hari senin 07 Oktober 2019 dan tahap II (dua) dilaksanakan pada hari sabtu 12 Oktober 2019

- b. Pelaksanaan survey kendaraan dilakukan selama 11 jam dimulai pukul 07.00 sampai pukul 18.00 Wib

9.3 Prosedur Pelaksanaan Survey

Survey yang dilaksanakan adalah survey volume dan survey kecepatan. Untuk survey aliran lalu lintas dihitung aliran kendaraan yang melintas disuatu titik diruas jalan dengan satuan kendaraan per jam dan didasarkan pada waktu observasi yang singkat yaitu setiap 15 menit.

10. HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

10.1 Analisis data survey

a. Volume

Untuk mendapatkan volume kendaraan dalam satuan mobil penumpang (smp), maka data jumlah kendaraan setiap 15 (lima belas) menit yang diperoleh dari hasil survey dikalikan dengan ekivalensi mobil penumpang (emp) untuk setiap jenis kendaraan dan kemudian dijumlahkan, maka diperoleh volume lalu lintas total setiap 15 (lima belas) menit.

Sepeda Motor (MC) = Jumlah sepeda motor x ekivalensi mobil penumpang
= $182 \times 0,25$
= 45,5 smp (dalam 15 menit)

Kendaraan Ringan (LV) = Jumlah kendaraan ringan x ekivalensi mobil penumpang
= 58×1
= 58 smp (dalam 15 menit)

Kendaraan Berat (HV) = Jumlah kendaraan berat x ekivalensi mobil penumpang
= $0 \times 1,2$
= 0 (dalam 15 menit)

Kendaraan Tak Bermotor (UM) = Jumlah kendaraan x ekivalensi mobil penumpang
= $1 \times 0,40$
= 1 smp (dalam 15 menit)

Perhitungan volume kendaraan dihitung dengan rumus :

$$Q = n/t \quad (2)$$

$$Q = 142/0,15 \\ = 946,6 \text{ smp / jam}$$

Dimana : Q = Volume kendaraan
n = jumlah volume kendaraan
t = waktu pengamatan

b. Kecepatan

Variabel kecepatan kendaraan yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan adalah kecepatan kendaraan rata-rata. Variabel ini dapat diperoleh dengan mempergunakan persamaan dibawah ini :

$$V_s = d/t \quad (3)$$

Dimana : V_s = Kecepatan rata-rata (km/jam)
d = jarak tempuh
t = Waktu tempuh kendaraan

c. Kepadatan

Variabel volume dan kecepatan telah diketahui, maka variabel kepadatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q = V_s \times D \quad (4)$$

Maka : $D = Q / U_s$

Dimana : Q = Volume kendaraan (smp/jam)

U_s = Kecepatan kendaraan (km/jam)

D = Kepadatan kendaraan (smp/jam)

10.2 Tahap I, Hubungan Volume, Kecepatan, Kepadatan (Senin, 07 Oktober 2019)

a. Hubungan Kecepatan dan Kepadatan

$$U_s = U_f - (U_f/D_j) \times D$$

$$U_s = 20,30 \text{ km/jam}$$

b. Hubungan Volume dan Kepadatan

$$Q = U_f \times D - (U_f/D_j) \times D^2$$

$$Q = 20,30 \text{ km/jam}$$

c. Hubungan Kecepatan dan Volume

$$Q = D_j \cdot U_s - (D_j/U_f) U_s^2$$

$$Q = 961,01 \text{ smp/jam}$$

d. Dari Hasil Analisa Hubungan Kecepatan, Kepadatan, Volume didapat :

i. Kecepatan (U_s) = 20,30 km/jam

ii. Kepadatan (D_j) = 961,01 smp/jam

iii. Volume atau kapasitas didapat dengan rumus

$$Q_{\max} = (D_j \cdot U_f)/4 = (961,01 \times 20,30)/4 = 4877 \text{ smp/jam}$$

10.3 Tahap II, Hubungan Volume, Kecepatan, Kepadatan (Sabtu, 12 Oktober 2019)

a. Hubungan Kecepatan dan Kepadatan

$$U_s = U_f - (U_f/D_j) \times D$$

$$U_s = 20,61 \text{ km/jam}$$

b. Hubungan Volume dan Kepadatan

$$Q = U_f \times D - (U_f/D_j) \times D^2$$

$$Q = 20,61 \text{ km/jam}$$

c. Hubungan Kecepatan dan Volume

$$Q = D_j \cdot U_s - (D_j/U_f) U_s^2$$

$$Q = 960 \text{ smp/jam}$$

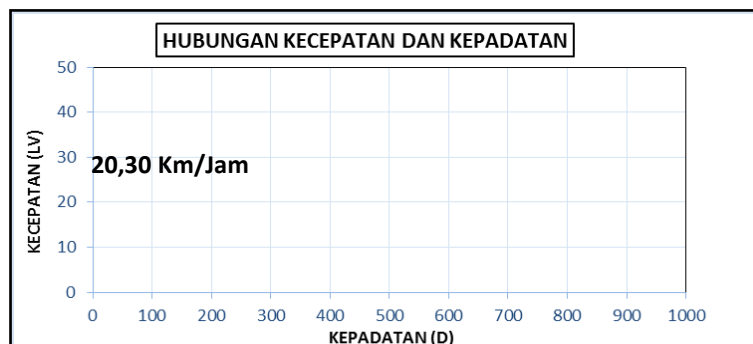
d. Hasil Analisa Hubungan Kecepatan, Kepadatan, Volume didapat :

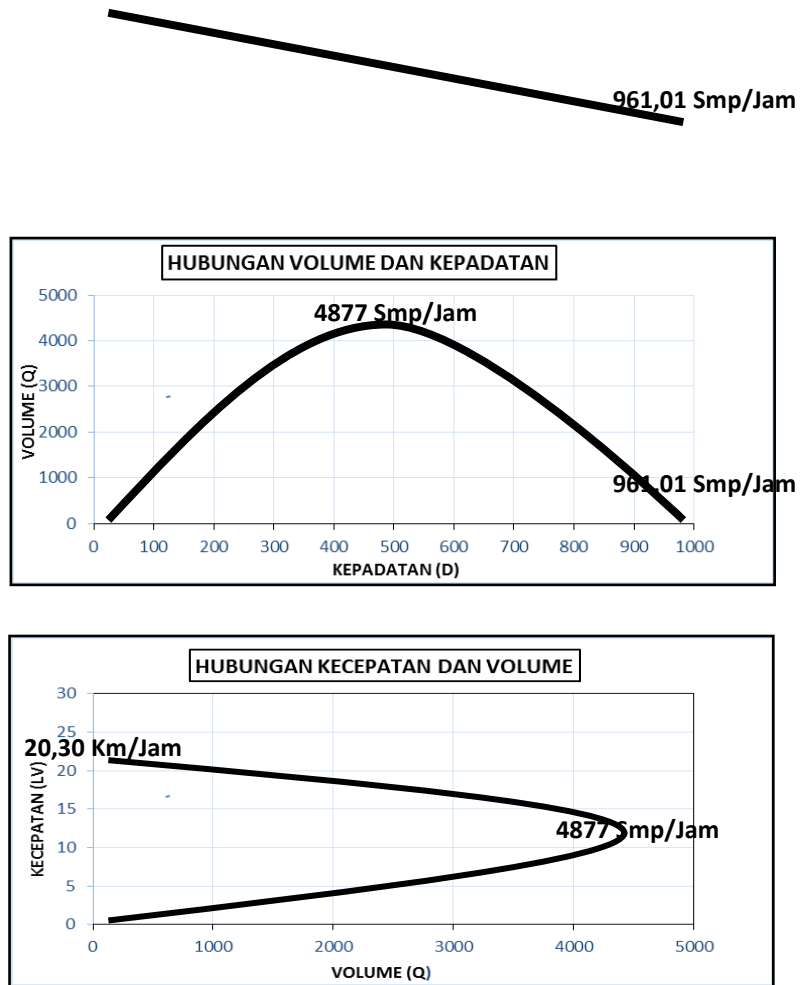
i. Kecepatan (U_s) = 20,61 km/jam

ii. Kepadatan (D_j) = 960 smp/jam

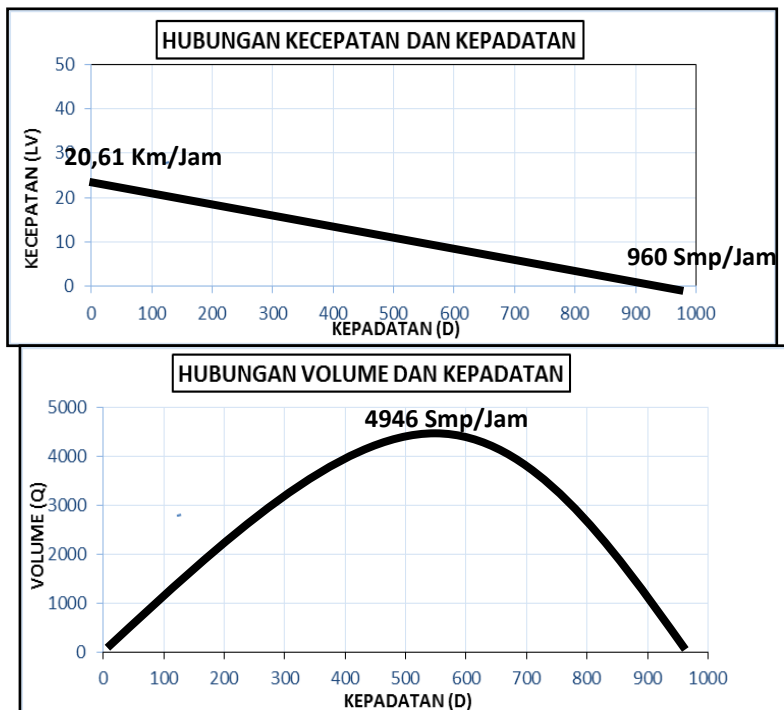
iii. Volume atau kapasitas didapat dengan rumus

$$Q_{\max} = (D_j \cdot U_f)/4 = (960 \times 20,61)/4 = 4946 \text{ smp/jam}$$

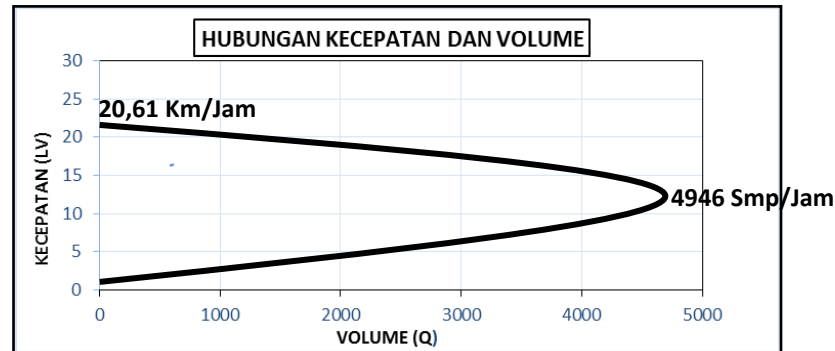




Gambar 2. Grafik hubungan volume, kecepatan, kepadatan tahap I senin 07 oktober 2019



960 Smp/Jam



Gambar 3. Grafik hubungan volume, kecepatan, kepadatan tahap II sabtu 12 oktober 2019

11. KESIMPULAN

Hasil analisa hubungan volume, kecepatan, kepadatan :

1. Tahap I hari Senin, 07 Oktober 2019 didapat nilai :
 - a. Volume = 4877 smp/jam
 - b. Kecepatan (U_s) = 20,30 km/jam
 - c. Kepadatan (D_j) = 961,01 smp/jam
2. Tahap II hari Sabtu, 12 Oktober 2019 didapat nilai :
 - a. Volume = 4946 smp/jam
 - b. Kecepatan (U_s) = 20,61 km/jam
 - c. Kepadatan (D_j) = 960 smp/jam

12. DAFTAR PUSTAKA

Bina Marga (1997), *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*, Direktorat Bina Jalan Kota (BINKOT)

Bina Marga (1997), *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota*, Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga

Khisti, C. J dan Lall, B. K (2005), *Dasar-Dasar Rekayasa Transportasi*, Penerbit Erlangga, Edisi Ketiga/Jilid 1

Lucia Ingrid Regina Lefrandt (2012), *Kapasitas dan Tingkat Pelayanan Ruas Jalan Piere Tendeau Manado Pada Arus Lalu Lintas Satu Arah*, TEKNO-SIPIL/Volume 10/No. 57

Mashuri (2006), *Model Hubungan Kecepatan, Volume dan Kepadatan Arus Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Arteri Kota Palu*, MEKTEK TAHUN VIII

Miro, F (2005), *Perencanaan Transportasi*, Penerbit Erlangga

PU (1990) *Panduan Survey dan Perhitungan Waktu Perjalanan Lalu Lintas* Direktorat Pembinaan Jalan Kota, Januari

Tamin, O. Z (2000), *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, Penerbit ITB, Bandung, Edisi Kedua

Tamin, O.Z (1992), *Hubungan Volume, Kecepatan dan Kepadatan Lalu Lintas Diruas Jalan H.R Rasuna Said*, Jurnal Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil ITB

ANALISIS KINERJA CAMPURAN BERASPAL DENGAN SUBSTITUSI PLASTIK

Aris Firman Wijaya¹, Taufik², Rini Mulyani², Veronika²

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta, Jalan Sumatera Ulak Karang Padang Sumatera Barat, 25133

² Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta, Jalan Sumatera Ulak Karang Padang Sumatera Barat, 25133

ABSTRACT

Indonesia and China contribute to more than one third of plastic waste in the ocean worldwide, which may damage marine ecosystem (Jambeck et.al., 2015) as well as global environment. Therefore, any efforts to reduce plastic waste need to be done including to recycle or re-use plastic waste and turn it into something useful. The objective of this study is to re-use plastic waste as a mixture in plastic asphalt and to examine its resistance to rain. Plastic waste used in this study was a low-density polyethylene (LDPE) type considering that the LDPE waste is abundant. However, the re-use of LDPE waste was very limited due to its low economic value. This study was conducted to examine the effect of the LDPE waste as an aggregate substitute for AC-WC mixture based on the Marshall Characteristic on the optimum bitumen content, which then partial replacement of some aggregates were made out of the total aggregates. Few variation levels of LDPE of 0%, 2%, 4%, 6% and 8% were used. Three samples were made to represent each variation. Based on the test result, it was found that the LDPE replacement tend to increase the value of stability, VIM, VMA and Marshall Quotient (MQ). In addition, the Flow and FVB values tend to decrease along with the addition of LDPE levels.

Keyword: Global Ocean, low density polyethylene, Marshall Characteristic, Optimum bitumen content, plastic asphalt.

ABSTRAK

Indonesia dan China merupakan penyumbang lebih dari sepertiga limbah plastik pada perairan global sehingga dapat merusak ekosistem laut (Jambeck et.al., 2015) dan lingkungan. Untuk itu perlu dilakukan berbagai upaya untuk mengurangi produksi limbah plastik, salah satunya melalui pengolahan kembali (*reuse*) limbah plastik menjadi sesuatu yang berguna. Hal inilah yang melatarbelakangi penelitian ini dimana limbah plastik digunakan sebagai campuran pada aspal plastik dan menguji bagaimana ketahanannya terhadap genangan air hujan. Limbah plastik yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *low density polyethylene* (LDPE), jenis limbah plastik yang banyak dihasilkan namun kurang dimanfaatkan karena dinilai kurang menarik dan memiliki daya jual yang rendah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan LDPE sebagai pengganti agregat campuran AC-WC yang ditinjau dari karakteristik Marshall pada Kadar Aspal Optimum (KAO) yang kemudian dilakukan penggantian sebagian dari total agregat. Variasi kadar LDPE yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, 6% dan 8%. Setiap variasi dibuat sebanyak tiga buah sampel. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa dengan penggantian LDPE cenderung meningkatkan Nilai Stabilitas, VIM, VMA dan Marshall Quotient (MQ). Adapun nilai Flow dan VFB cenderung menurun seiring dengan penambahan kadar LDPE.

Kata kunci : Aspal plastik, Kadar Aspal Optimum (KAO), karakteristik Marshall, low density polyethylene

1. PENDAHULUAN

Transportasi darat merupakan pilihan transportasi yang sangat banyak digunakan oleh masyarakat. Untuk menunjang transportasi darat diperlukan sarana transportasi yang baik, salah satu cara menunjang sarana transportasi yang nyaman dan aman dapat dilakukan dengan menyediakan infrastruktur jalan baik apalagi jikalau dalam penyediaannya tidak memakan biaya yang besar dan mempunyai daya tahan yang kuat.

Secara topografi Provinsi Sumatera Barat merupakan wilayah dengan keadaan berbukit dan landai, yang berada pada ketinggian 0-3.805 meter di atas permukaan laut, memiliki perairan umum yang berupa danau dan sungai, iklim daerah Sumatera Barat termasuk tropis basah, dengan curah hujan yang beragam antara 3.000-7.929 milimeter setiap tahunnya.

Berdasarkan pengamatan empiris menunjukkan bahwa timbulnya genangan air di atas permukaan jalan kebanyakan disebabkan oleh sistem drainase jalan yang tidak sesuai dengan volume air yang terencana dan juga kebiasaan masyarakat yang membuang sampah pada saluran drainase sehingga terjadi penyumbatan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Tanah saja tidak cukup kuat dan tahan, tanpa adanya deformasi yang berarti, terhadap beban roda berulang. Untuk itu perlu adanya lapis tambahan yang terletak antara tanah dan roda, atau lapis paling atas dari bahan jalan. Lapis tambahan ini dibuat dari bahan khusus yang terpilih (yang lebih baik), yang selanjutnya disebut lapis keras/perkerasan/pavement (Suprpto Tm, 2004).

2.2 Aspal

Aspal adalah kumpulan bahan-bahan tersisa dari proses destilasi minyak bumi (*atmospheric, vacuum, debotlenecking*, dan sebagainya) di pabrik kilang minyak, bahan sisa yang dianggap sudah tidak bisa lagi diproses secara ekonomis (dengan kemajuan teknologi dan kondisi mesin yang ada) untuk dapat menghasilkan produk-produk yang dapat dijual seperti misalnya sejenis bahan bakar, bahan pelumas dan lainnya (Soehartono, 2015).

Salah satu faktor yang menyebabkan aspal cepat rusak adalah genangan air hujan. Untuk menanggulangi masalah tersebut telah dilakukan beberapa percobaan, salah

satunya dengan melakukan pencampuran aspal dengan plastik sehingga diharapkan dapat meningkatkan sifat adhesif dari perkerasan aspal tersebut.

Dalam penelitian (Suroso, 2008), mengatakan bahwa penambahan plastik dengan cara kering dimana plastik ditambahkan ke dalam agregat panas akan menghasilkan karakteristik Marshall, Stabilitas Dinamis, dan Resilien Modulus yang lebih besar dari Aspal pen 60/70, namun lebih rendah dari cara basah. Namun dalam segi ekonomi cara kering diperkirakan lebih murah karena waktu pencampuran lebih cepat, tidak memerlukan alat pengaduk (mixer) dan lebih mudah di hendel dari pada cara basah.

2.3 Agregat

Agregat (batuan) didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan solid (Tenriajeng, 1999). Dalam bukunya juga mengatakan berdasarkan ASTM (1974) mendefinisikan agregat/batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen.

2.4 Plastik

Plastik secara sederhana didefinisikan sebagai material polymer yang dapat atau diekstruksi menjadi bentuk yang diinginkan dan yang mengeras setelah didinginkan atau pelerutnya diuapkan (Oxtoby, et al., 2003)

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu terdiri atas pengujian agregat (kasar, halus dan filler), aspal dan pengujian terhadap campuran (Marshall). Sedangkan metode yang akan digunakan adalah metode Marshall, dimana dari pengujian Marshall tersebut didapatkan hasil-hasil berupa komponen-komponen Marshall, yaitu stabilitas, flow, void in total mix (VITM), void filled with asphalt dan kemudian dapat dihitung Marshall Quotient.

Tabel 1 Penentuan Jumlah Benda Uji

Kadar Aspal Modifikasi (Aspal + plastik)	Kadar Aspal Optimum		Total
	Standar	Jumlah Benda Uji Modifikasi	
Aspal + 2%	3 Buah	3 Buah / % Plastik	6 buah
Aspal + 4%	3 Buah	3 Buah / % Plastik	6 buah
Aspal + 6%	3 Buah	3 Buah / % Plastik	6 buah
Aspal + 8%	3 Buah	3 Buah / % Plastik	6 buah
Sub Total			24 Buah

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Agregat

Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Tabel 2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

No.	Pengujian	Metode	Spek	Hasil
Agregat Kasar				
A. Agregat Kasar Ukuran maksimal 12.5 mm				
1	Abrasi dengan mesin los Angeles	Campuran AC Modifikasi 100 putaran 500 putaran	SNI-2417:2008	Maks. 6% 4% Maks. 30% 18%
2	Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI-2439:2011	Min. 95% Di atas 95%
3	Butir pecah pada Agregat Kasar		SNI-7619:2012	Maks 95/90 69/50
4	Material lolos Ayakan No. 200		SNI-03-4142:1996	Maks. 2% 1.20%
5	Berat Jenis Curah (Bulk)		SNI-03-1969:1990	Min. 2,5 gr 2.56
6	Berat Jenis SSD		SNI-03-1969:1990	Min. 2,5 gr 2.62
7	Berat Jenis Semu		SNI-03-1969:1990	Min. 2,5 gr 2.74
8	Penyerapan		SNI-03-1969:1990	Maks 3% 2.66%
B. Agregat Kasar Ukuran maksimal 19.1 mm				
1	Abrasi dengan mesin los Angeles	Campuran AC Modifikasi 100 putaran 500 putaran	SNI-2417:2008	Maks. 6% 4% Maks. 30% 18%
2	Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI-2439:2011	Min. 95% Di atas 95%
3	Butir pecah pada Agregat Kasar		SNI-7619:2012	Maks 95/90 714/58
4	Material lolos Ayakan No. 200		SNI-03-4142:1996	Maks. 2% 0.78%
5	Berat Jenis Curah (Bulk)		SNI-03-1969:1990	Min. 2,5 gr 2.65
6	Berat Jenis SSD		SNI-03-1969:1990	Min. 2,5 gr 2.71
7	Berat Jenis Semu		SNI-03-1969:1990	Min. 2,5 gr 2.81
8	Penyerapan		SNI-03-1969:1990	Maks 3% 2.26%

Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Tabel 3 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

No.	Pengujian	Metode	Spek	Hasil
Agregat Halus				
A. Agregat Abu Batu				
1	Nilai Setara Pasir		SNI-03-4428:1997	Min. 60% 63.36%
2	Gumpalan Lempeng dan Butir-Butir Mudah Pecah dalam Agregat		SNI-03-4141:1996	Maks. 1% 0.80%
3	Agregat lolos Ayakan No. 200		SNI-ASTM-C117:2012	Maks. 10% 2.17%
4	Berat Jenis Curah (Bulk)		SNI-1970:2008	Min. 2,5 gr 2.57
5	Berat Jenis SSD		SNI-1970:2008	Min. 2,5 gr 2.81
6	Berat Jenis Semu		SNI-1970:2008	Min. 2,5 gr 2.75
7	Penyerapan		SNI-1970:2008	Maks 3% 2.48%

No.	Pengujian	Metode	Spek	Hasil
B. Agregat Pasir				
1	Nilai Setara Pasir	SNI-03-4428:1997	Min. 60%	72.06%
2	Gumpalan Lempeng dan Butir-Butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI-03-4141:1996	Maks. 1%	0.50%
3	Agregat lolos Ayakan No. 200	SNI-ASTM-C117:2012	Maks. 10%	1.83%
4	Berat Jenis Curah (Bulk)	SNI-1970:2008	Min. 2,5 gr	2.54
5	Berat Jenis SSD	SNI-1970:2008	Min. 2,5 gr	2.81
6	Berat Jenis Semu	SNI-1970:2008	Min. 2,5 gr	2.74
7	Penyerapan	SNI-1970:2008	Maks 3%	2.89%

Hasil Pemeriksaan Aspal

Tabel 4 Hasil Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Aspal Pen.60/70	Hasil
1	Penetrasi (25° C, 100 gr, 5 det)	SNI-2456:2011	60-79	63.6
2	Titik Lembek; ° C	SNI-2434:2011	≥ 48	54°C
3	Titik Nyala; ° C	SNI-2433:2011	≥ 230	331°C
4	Daktilitas (25° C, 5 cm/men, cm)	SNI-2432:2011	≥ 100	110.33 cm
5	Kelarutan dalam Thiclilor Ethylen; % Berat	SNI-2438:2015	≥ 99	99.52%
6	Berat Jenis	SNI-2441-2011	≥ 1.0	1.02

4.2 Penentuan Kadar Aspal Rencana

Berdasarkan perencanaan campuran beraspal dengan kepadatan mutlak, formula campuran rencana dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut

$$Pb = 0.035(\%CA) + 0.045(\%FA) + 0.15(\%FF) + K$$

Keterangan :

- Nilai konstanta kira-kira 0.5 sampai 1.0 untuk Laston dan 2.0 sampai 3.0 untuk Lasaston. Untuk jenis campuran lain gunakan nilai 1.0 sampai 2.5
- CA = Agregat Kasar (Coarse Aggregate)
- FA = Agregat Halus (Fine Aggregate)
- FF = Bahan Pengisi (Filler)
- K = Konstanta (1 - 0.5)

Sehingga:

$$Pb = 0.035(54\%) + 0.045(37\%) + 0.15(9\%) + 0.5 = 5.67\%$$

Setelah mendapatkan perkiraan nilai Pb, bulatkan perkiraan nilai Pb sampai dengan 0.5% terdekat. Jika hasil perhitungan diperoleh 6.3% maka bulatkan menjadi 6.5%. Sehingga hasil Pb yang didapat pada perhitungan di atas adalah 5.67% dibulatkan menjadi 6%.

Berdasarkan pedoman perencanaan campuran beraspal dengan pendekatan kepadatan mutlak, dari persentase pada aspal optimum tersebut di ambil 3 kadar aspal di atas nilai Pb dan 2 kadar aspal di bawah nilai Pb, sehingga didapatkan interval persentase kadar aspal rencana ($\pm 0.5\%$ dan $\pm 1.0\%$ dari 6% yaitu, 5.0%; 5.5%; 6.0%; 6.5%; dan 7%). Dari persentase kadar aspal tersebut digunakan untuk membuat sampel.

4.3 Hasil Pengujian Marshall

Hasil pengujian Marshall dimasukkan ke dalam tabel spesifikasi agar lebih mudah dalam menentukan kelayakan campuran beraspal. Berikut tabel hasil pengujian tes Marshall:

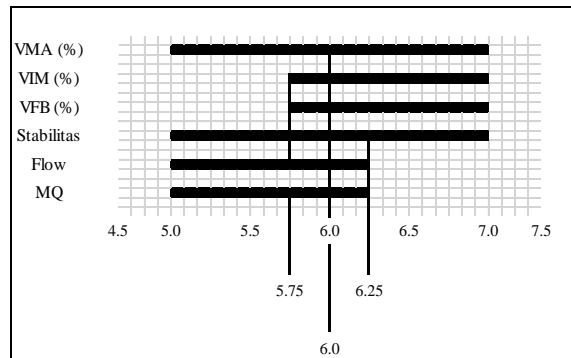
Tabel 5 Hasil pengujian Marshall

Kadar aspal	Kadar aspal terhadap campuran	VMA	VIM	VFB	Stabilitas	Flow	MQ
%	%	%	%	%	kg	mm	kg/mm
5.0	4.8	16.08	7.67	52.70	1261.6	2.9	437.80
5.5	5.2	15.74	6.23	60.45	1180.0	3.3	362.38
6.0	5.7	15.49	4.80	69.07	1112.6	3.8	291.44
6.5	6.1	15.84	4.03	74.59	1049.4	4.2	249.98
7.0	6.5	16.05	3.10	80.69	998.8	4.3	236.44

Spesifikasi Aspal Berdasarkan Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)

Laston Aus (WC)	Min	15	3	65	800	2	250
	Maks	-	5	-	-	4	-

Pencarian Kadar Aspal Optimal dilakukan dengan memasukkan hasil pengujian Marshall ke dalam diagram batang, berikut diagram batang kadar aspal optimal (KAO)



Gambar 1 Diagram batang Kadar Aspal Optimal (KAO)

4.4 Mix Design dengan penambahan plastik

Dalam penelitian ini yang akan digunakan adalah plastik jenis Low-Density Polyethylene (LDPE). Jenis plastik LDPE merupakan plastik mutu rendah yang memiliki karakteristik tingkat resistensi kimia yang sangat baik. Plastik jenis LDPE ini diambil dari kantong plastik bekas yang biasa digunakan untuk kantong pembawa barang yang berbeda-beda jenis dan warnanya, dengan ukuran yang sama dan proses pemotongannya dilakukan dengan pencacahan secara vertikal dan ukuran maksimum panjangnya 4 cm dan lebar 0.5 cm.

Dalam menentukan rancangan campuran aspal modifikasi, variasi penambahan plastik yang digunakan adalah 2%, 4%, 6% dan 8%. Penambahan variasi plastik pada agregat campuran beraspal dengan kadar aspal optimal yang telah didapatkan pada pengujian sebelumnya.

Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada masing-masing kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 6 Mix design dengan penambahan plastik

Kadar Plastik	Berat plastik terhadap Campuran	Aspal	Agregat 19.1	Agregat 12.5	Pasir	Abu Batu	Gabungan Agregat	Total Agregat Campuran
		6%	10%	44%	38%	8%		
%	(Gr)	(Gr)	(Gr)	(Gr)	(Gr)	(Gr)	(Gr)	(Gr)
2	24	72	110.4	485.76	419.52	88.32	1104	1200
4	48	72	108	475.2	410.4	86.4	1080	1200
6	72	72	105.6	464.64	401.28	84.48	1056	1200
8	96	72	103.2	454.08	392.16	82.56	1032	1200

4.5 Hasil pengujian Marshall

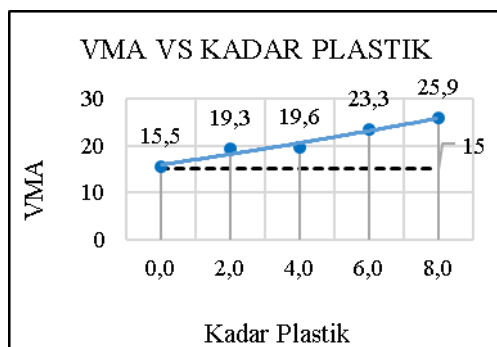
Berikut tabel pengujian Marshall berdasarkan variasi plastik yang berbeda:

Tabel 7 Hasil Uji Marshall Dengan Penambahan Variasi Plastik

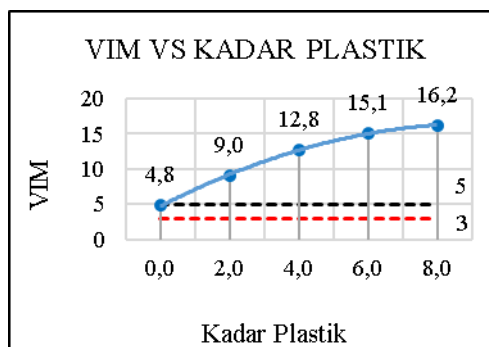
Kadar aspal	Kadar aspal terhadap campuran	VMA	VIM	VFB	Stabilitas	Flow	MQ
%	%	%	%	%	kg	mm	kg/mm
6.0	0.0	15.5	4.8	69.1	1112.6	3.8	291.4
6.0	2.0	19.3	9.0	53.1	1118.7	2.9	456.2
6.0	4.0	19.6	12.8	34.8	1592.3	2.4	676.3
6.0	6.0	23.3	15.1	35.2	1751.5	1.3	1400.8
6.0	8.0	25.9	16.2	37.4	1633.1	1.5	1126.9

Spesifikasi Aspal Berdasarkan Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)							
Laston Aus (WC)	Min	15	3	65	800	2	250
	Maks	-	5	-	-	4	-

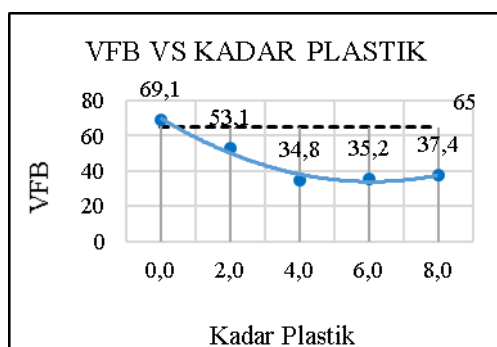
4.6 Grafik Perbandingan Campuran Beraspal Setelah Penambahan Variasi Plastik



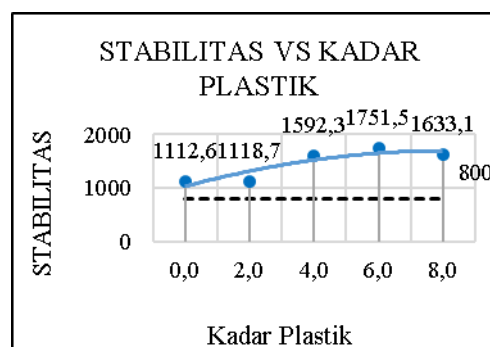
Gambar 2 Tinjauan terhadap nilai VMA



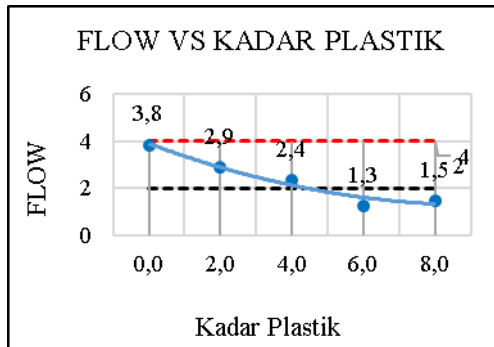
Gambar 3 Tinjauan terhadap nilai VIM



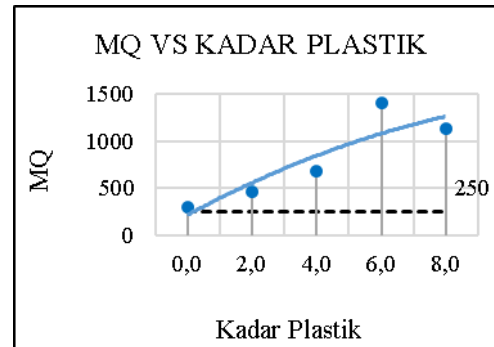
Gambar 4 Tinjauan terhadap nilai VFB



Gambar 5 Tinjauan terhadap nilai Stabilitas



Gambar 6 Tinjauan terhadap nilai Flow



Gambar 7 Tinjauan terhadap nilai MQ

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa terhadap penggantian plastik tipe Low-Density Polyethylene (LDPE) terhadap campuran beraspal AC-WC dengan metode pencampuran aspal panas, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh penggantian plastik LDPE terhadap berat total agregat pada karakteristik Marshall
 - Nilai VMA dengan spesifikasi minimal 15% telah tercapai atau terpenuhi untuk setiap kenaikan kadar plastik yang diberikan.
 - Nilai VIM setelah dilakukan penggantian sebagian volume campuran agregat terhadap variasi plastik menjadi semakin meningkat menjauhi nilai batas spesifikasi yang diizinkan oleh Bina Marga yakni maksimal 5%.
 - Nilai VFB menjadi menurun seiring digantinya sebagian volume campuran agregat terhadap variasi kadar plastik pada rentang 0% sampai 6% dan mulai meningkat setelah penggantian selanjutnya sampai dengan 8%. Nilai VFB yang didapatkan tersebut secara keseluruhan melewati batas spesifikasi yang diizinkan yakni minimal 65%.
 - Nilai stabilitas yang didapatkan menjadi semakin meningkat seiring penggantian sebagian volume campuran agregat terhadap kadar plastik pada rentang 0% sampai dengan 6% dan menurun pada penggantian selanjutnya sampai rentang 8%.
 - Nilai kelelahan atau flow yang dihasilkan akibat penggantian sebagian volume campuran agregat terhadap variasi plastik menjadi semakin menurun pada rentang 0% sampai 4% namun masih dalam batas spesifikasi kelelahan yang diizinkan dan tetap menurun seiring penggantian sebagian volume campuran agregat dengan variasi plastik sampai dengan 6% lalu meningkat pada penggantian variasi plastik sebanyak 8%.
2. Nilai Marshall Quetient akibat penggantian sebagian volume campuran agregat terhadap variasi plastik menjadi semakin meningkat pada rentang 0% sampai 6% dan menurun pada penggantian variasi plastik selanjutnya yang mana nilai Marshall Quetient tersebut masih masuk dalam spesifikasi yakni minimal 200 kg/mm. Berdasarkan karakteristik Marshall yang diperoleh setelah dilakukan penggantian

sebagian volume campuran mengakibatkan campuran menjadi lebih kaku dan getas sehingga campuran menjadi rentan terhadap kehancuran, pelepasan partikel agregat terhadap campuran, mengurangi keawetan dan kelenturan campuran sehingga tidak dapat digunakan untuk lapisan perkerasan lentur AC-WC, namun masih dapat digunakan sebagai lapis atas pada perkerasan komposit karena pada perkerasan komposit aspal yang dibutuhkan adalah aspal dengan nilai stabilitas yang tinggi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional (BNS), 2008. SNI 1969: Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BNS).
- Badan Standardisasi Nasional (BNS), 2008. SNI 1970: Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BNS).
- Badan Standardisasi Nasional (BNS), 2011. SNI 2432: Cara Uji Daktilitas Aspal, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BNS).
- Badan Standardisasi Nasional (BNS), 2011. SNI 2441: Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BNS).
- Badan Standardisasi Nasional (BNS), 2015. SNI 2438: Cara Uji Kelarutan Aspal. Jakarta, Badan Standardisasi Nasional (BNS).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 1996. SNI 03-4141: Metode Pengujian Gumpalan Lempung Dan Butir-butir Mudah Pecah Dalam Agregat, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 1996. SNI 03-4142: Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 1997. SNI 03-4428: Metode Pengujian Agregat Halus Atau Pasir Yang Mengandung Bahan Plastik Dengan Cara Setara Pasir, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2002. SNI 03-6877: Metode Pengujian Kadar Rongga Agregat Halus Yang Tidak Dipadatkan, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2004. RSNI M-06: Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Pengan Alat Marshall, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2008. SNI 2417: Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Los Angeles, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2011. SNI 2433: Cara Uji Titik Nyala Dan Titik Bakal Aspal Dengan Alat Cleveland And Cup, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2011. SNI 2434: Cara Uji Titik Lembek Aspal Dengan Alat Cincin Dan Bola, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).

- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2011. SNI 2439: Cara Uji Penyelimutan Dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat-Aspal, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2011. SNI 2456: Cara Uji Penetrasi Aspal, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2012. SNI 7619: Metode Uji Penentuan Persentase Butir Pecah Pada Agregat Kasar, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2012. SNI ASTM-C117: Metode Uji Bahan Yang Lebih Halus Dari Saringan 75 mikron (No. 200) Dalam Agregat Mineral Dengan Pencucian, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- McCarthy, N., 2018. The Countries Polluting The Oceans The Most. [Online] Available at: <https://www.statista.com/chart/12211/the-countries-polluting-the-oceans-the-most/> [Diakses 20 November 2018].
- Oxtoby, D. W., Gillis, H. P. & Nachtrieb, N. H., 2003. Prinsip-prinsip Kimia Modern. IV penyunt. Jakarta: Erlangga.
- Soehartono, I., 2015. Teknologi Aspal dan Penggunaannya. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Sukirman, S., 2003. Beton Aspal Campuran Panas, Edisi Kedua. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Suprpto Tm, 2004. Bahan dan Struktur Jalan Raya. Jogjakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM.
- Suroso, T. W., 2008. Pengaruh Penambahan Plastik Ldpe (Low Density Poly Ethilen) Cara Basah Dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal. Media Komuniakasi Teknik Sipil, Volume 16, p. 2.
- Tenriajeng, A. T., 1999. Rekayasa Jalan Raya - 2. Jakarta: Universitas Gunadarma.

SUMBER DAYA AIR

KOLAM RETENSI SEBAGAI UPAYA MITIGASI BANJIR BERBASIS KONSERVASI DAERAH ALIRAN SUNGAI BATANG AIR DINGIN

Diky Perdana¹, Nurhamidah², Ahmad Junaidi²

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

ABSTRAK

Banjir dan sistem drainase merupakan masalah utama perkotaan pada saat ini, drainase kota yang tidak mampu mengalirkan air dan luapan sungai menyebabkan genangan banjir di daerah perkotaan. Banjir akibat luapan sungai terjadi hampir setiap tahun di Kota Padang. Daerah aliran sungai Batang Air Dingin merupakan salah satu wilayah yang terdampak banjir setiap tahun. Hasil analisa arah aliran dan matriks D8 di wilayah tersebut menunjukkan genangan banjir di daerah pemukiman. Kolam retensi merupakan upaya konservasi dalam mengatasi masalah banjir di daerah perkotaan. Kolam retensi berfungsi untuk menampung sementara volume banjir yang berpotensi menggenangi pemukiman. Dengan adanya perencanaan kolam retensi diharapkan resiko yang diakibatkan oleh banjir dapat berkurang. Dengan melakukan pengolahan data curah hujan selama 10 tahun terakhir menggunakan metode rasional. Untuk debit maksimum adalah 13,55 m³/s dengan memakai periode ulang 5 tahun berdasarkan tipologi kota dan luas sub DAS Batang Air Dingin. Waktu konsentrasi yang dibutuhkan untuk mencapai debit puncak yaitu selama 63,325 menit. Perencanaan kolam retensi menggunakan model ArcSWAT yang merupakan interface dari aplikasi ArcGIS. Untuk efektivitas penggunaan kolam retensi diatas 75%, dibutuhkan volume kolam retensi minimal sebesar 38.612,607 m³. Kolam retensi dapat mencapai volume maksimum dalam waktu 2849,65 detik atau 47,494 menit.

Kata Kunci : Banjir, Batang Air Dingin, Hidrologi, Padang, Kolam Retensi

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana alam yang sering terjadi di berbagai wilayah Indonesia. Banjir bisa disebabkan oleh intensitas hujan yang tinggi ataupun tata guna lahan yang tidak baik yang menyebabkan berkurangnya kemampuan resapan tanah. DAS Batang Air Dingin yang berada di Kota Padang merupakan salah satu wilayah yang sering terdampak banjir setiap tahun. Hal ini diakibatkan oleh tingginya curah hujan yang turun dan sungai yang tidak pernah dinormalisasi yang mengakibatkan air dari sungai meluap. Kerusakan fisik yang diakibatkan oleh banjir berupa kerusakan tempat tinggal warga, ladang dan sawah yang terendam banjir, kerusakan ruas jalan, dan lainnya. Sedangkan kerugian sosial dan ekonomi yang diakibatkan banjir berupa terhambatnya pergerakan karena banjir, kegiatan ekonomi terhenti, dan penyakit yang diakibatkan banjir. Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, menjadi salah satu upaya mitigasi banjir terutama pada daerah perkotaan yang bersumber dari air hujan. Kolam retensi dapat menampung air limpasan permukaan (*run off*) atau menampung air dari drainase yang selanjutnya akan diresapkan ke dalam tanah. Penempatan kolam retensi dengan benar akan memberikan dampak yang lebih efektif dalam penanggulangan banjir pada daerah yang rawan terkena banjir.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi dan daerah banjir DAS Batang Air Dingin. Potensi daerah banjir ini digunakan sebagai dasar perencanaan kolam retensi dalam upaya mengurangi dampak bencana banjir pada DAS Batang Air Dingin. Kemudian menghitung volume tampungan kolam retensi untuk pengaplikasian kolam retensi yang lebih efektif. Manfaat dari penelitian ini dapat sebagai acuan untuk masyarakat atau pemerintah Kota Padang untuk perencanaan sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan, sebagai upaya konservasi serta sebagai bahan rujukan penelitian untuk masa yang akan datang.

Penelitian ini dilakukan pada DAS Batang Air Dingin, dengan menggunakan data curah hujan yang berasal dari stasiun Pengukuran Curah Hujan Koto Tuo. Model hidrologi yang dilakukan dengan menggunakan aplikasi ArcGIS dan ArcSWAT. Sedangkan Analisa hidrolik hanya dibatasi pada perencanaan volume kolam retensi berdasarkan analisa hidrologi dengan periode ulang 10 tahun yang telah dilakukan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir dan Penanganannya

Banjir adalah kejadian dimana meluapnya permukaan air dari badan sungai dan menggenang pada daerah yang dekat dengan dataran rendah. Kecepatan air mengalir pada dataran rendah bergantung pada bentuk daerah dan tinggi akumulasi air pada sungai (Junaidi & Nurhamidah, 2017). Pengendalian banjir merupakan kegiatan perencanaan, pelaksanaan pekerjaan pengendalian banjir, eksploitasi dan pemeliharaan, yang pada dasarnya untuk mengendalikan banjir, pengaturan penggunaan daerah dataran banjir dan mengurangi atau mencegah adanya bahaya/kerugian akibat banjir. Ada 4 strategi dasar untuk pengelolaan banjir (Kodoatie & Sugiyanto, 2002):

1. Modifikasi kerentanan dan kerugian banjir (penentuan zona atau pengaturan tata guna lahan).
2. Modifikasi banjir yang terjadi (pengurangan) dengan bantuan pengontrol (waduk) atau normalisasi sungai.
3. Modifikasi dampak banjir dengan penggunaan teknis mitigasi seperti asuransi, dan penghindaran banjir
4. Penguatan peningkatan kapasitas alam untuk dijaga kelestariannya, seperti penghijauan.

Kolam retensi merupakan salah satu upaya pengendalian banjir dengan metode struktural atau dengan membangun kolam retensi sebagai upaya pencegahan terjadinya banjir. Kolam retensi direncanakan agar dapat menampung sementara volume banjir akibat hujan agar mengurangi dampak banjir, dan dapat dialirkan kembali setelah air surut.

2.2 Sistem Drainase dan Kolam Retensi

Drainase mempunyai arti menguras, membuang, atau mengalirkan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan,

sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal (Gunadarma, n.d.). Menurut Suripin (2002) tujuan adanya sistem drainase adalah :

1. Mengalirkan air lebih dari suatu kawasan yang berasal dari air hujan maupun air buangan, agar tidak terjadi genangan yang berlebihan (banjir) pada suatu kawasan tertentu.
2. Meringankan daerah becek dan genangan air sehingga tidak ada akumulasi air tanah.
3. Menurunkan permukaan air tanah pada tingkat yang ideal.
4. Mengendalikan erosi tanah, kerusakan jalan, dan bangunan yang ada.

Kolam retensi adalah kolam yang berfungsi untuk menampung air hujan sementara waktu dengan memberikan kesempatan untuk dapat meresap ke dalam tanah yang operasionalnya dapat dikombinasikan dengan pompa atau pintu air (Dirjen Cipta Karya, 2012). Kolam retensi dibagi menjadi dua macam berdasarkan bahan pelapis dinding dan dasar kolam, yaitu kolam retensi alami dan buatan.

Kolam retensi alami adalah kolam retensi berbentuk cekungan atau bak resapan yang sudah terbentuk secara alami dan dapat dimanfaatkan baik pada kondisi aslinya atau dilakukan penyesuaian. Sedangkan kolam retensi buatan adalah kolam retensi yang dibuat sengaja didesain dengan bentuk dan kapasitas tertentu pada lokasi yang telah direncanakan sebelumnya dengan lapisan material yang kaku, seperti beton. (Astuti, Siswanto, & Suprayogi, 2016)

Terdapat tiga tipe berbeda untuk pembuatan kolam retensi yakni kolam retensi disamping badan sungai, kolam retensi didalam badan sungai, dan kolam retensi tipe *storage* memanjang.

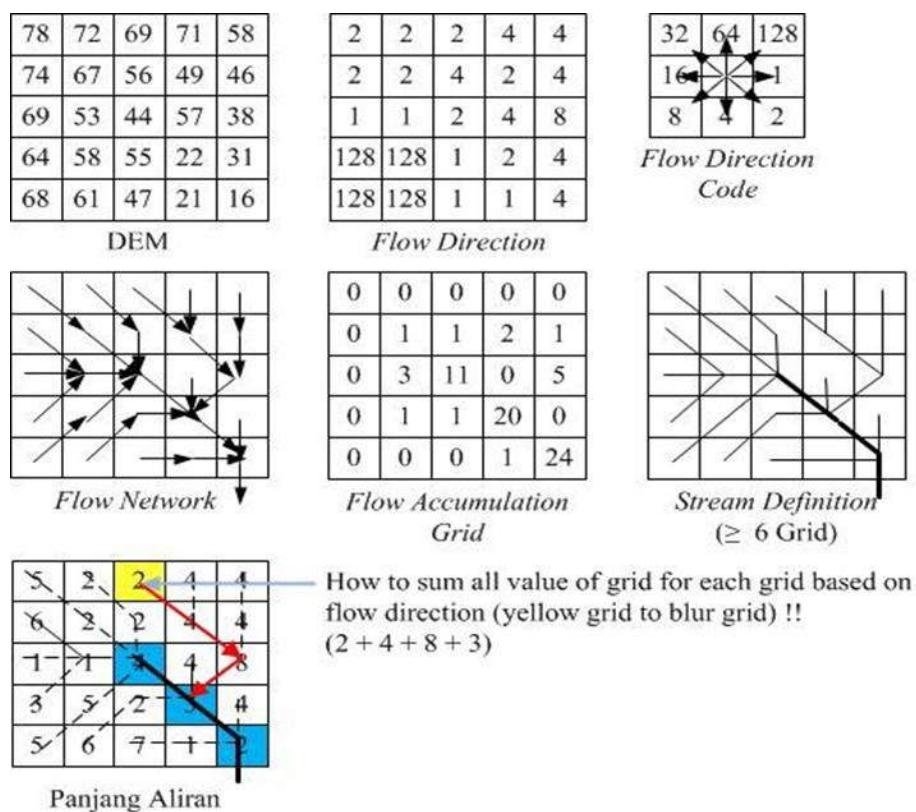
2.3 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) yang digunakan untuk memasukkan, menyimpan, memanggil kembali, mengolah, menganalisis dan menghasilkan data bereferensi geografis atau data geospasial, untuk mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan dan pengelolaan penggunaan lahan, sumber daya alam, lingkungan, transportasi, fasilitas kota, dan pelayanan umum lainnya (Beni Raharjo, 2013). Dalam penggunaan Sistem Informasi Geografis, akan dibutuhkan data-data tertentu untuk diolah dan dijadikan informasi. Ada dua tipe data yang digunakan pada SIG, yaitu (Muhammad, Daoed, & Syukur, 2017) :

1. Data spasial, merupakan sumber data keruangan dari bentuk bumi (geografis) biasanya berbentuk peta.
2. Data atribut, adalah sumber data yang terjadi dari keterangan-keterangan yang berkaitan dengan aspek sumber data keruangan, dan bersifat untuk pelengkap data spasial.

2.4 Model Hidrologi Berdasarkan SIG

Penggunaan Sistem Informasi Geografis dalam analisis hidrologi bukanlah tidak mungkin, model aliran D8 merupakan sebuah model yang menentukan arah aliran suatu wilayah (*landscape*) berdasarkan Model Elevasi Digital (DEM) (Nurhamidah, Junaidi, & Angraini, 2016).



Gambar 20. Model Aliran D8

Gambar diatas merupakan ilustrasi model aliran D8 yang digunakan pada software ArcGIS untuk menentukan arah aliran dari peta Digital Elevation Model (DEM) yang berisi data mentah elevasi. Hasil arah aliran D8 dapat digunakan untuk menentukan arah aliran serta genangan yang akan terjadi pada suatu daerah.

3. METODOLOGI PENELITIAN

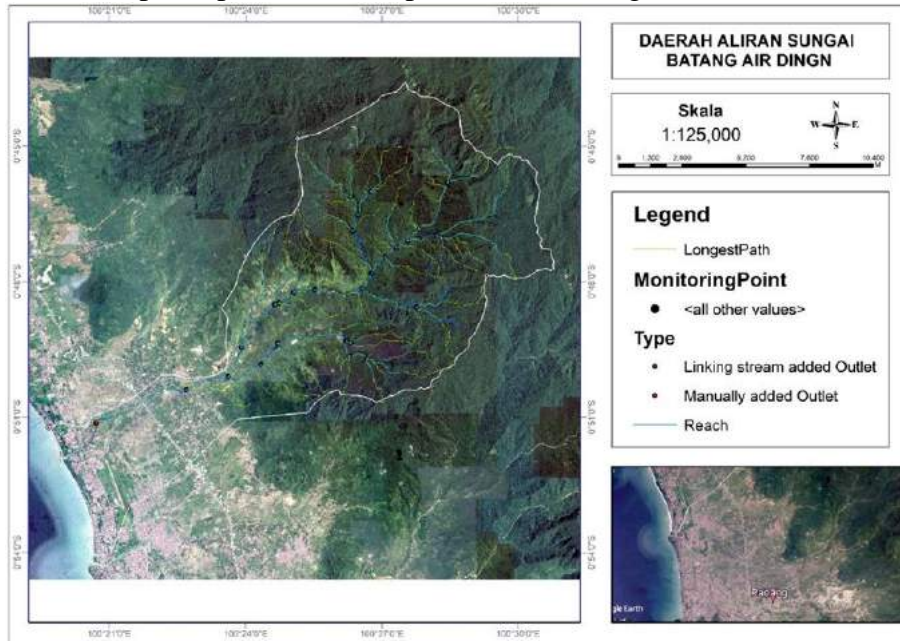
Studi menggunakan metode deskriptif. Dengan mengumpulkan dan menganalisis data yang akan diinterpretasikan sebagai hasil analisis untuk mendapatkan informasi. Kesimpulan akan berdasarkan hasil akhir dari informasi. Objek studi adalah Daerah Aliran Sungai Batang Air Dingin yang berada di Kota Padang yang sering terjadi masalah banjir setiap tahun.

Tahapan penelitian dimulai dengan pengumpulan data, berupa data DEM resolusi 8m yang didapatkan dari situs Demnas Badan Informasi Geospasial Indonesia, data curah hujan Daerah Aliran Sungai Batang Air Dingin yang berasal dari Balai Wilayah Sungai

(BBWS) Sumatera V. Lalu melakukan analisis data DEM menjadi peta potensi genangan menggunakan ArcGIS dan data curah hujan diolah dengan Microsoft Excel menjadi debit banjir dengan kala ulang rencana 5 tahun. Hasil perhitungan dijadikan landasan perencanaan kolam retensi yang akan ditempatkan di daerah terdampak banjir.

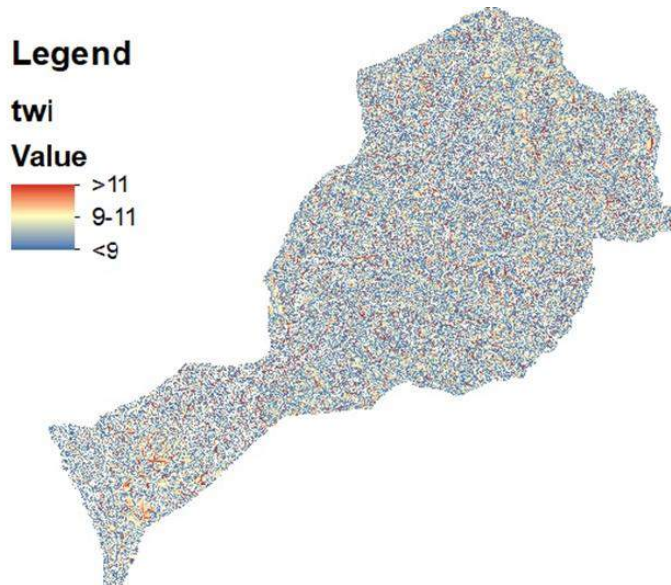
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah Aliran Sungai Batang Air Dingin berada di Kota Padang. DAS ini memiliki luas 143 km². Luas wilayah didominasi oleh Hutan Bukit Barisan di bagian hulu aliran sungai, dan daerah padat penduduk dan persawahan di bagian hilir.



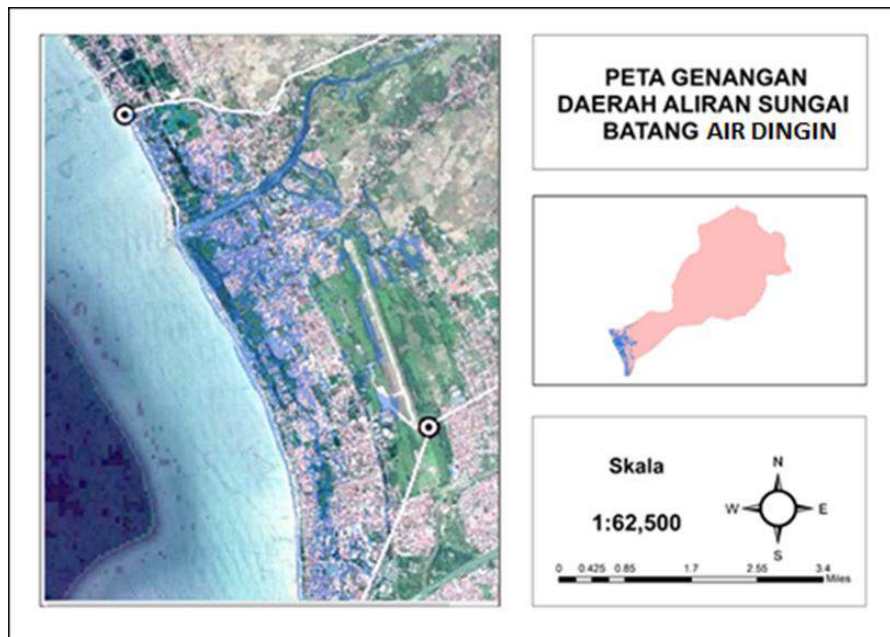
Gambar 21. Lokasi DAS Batang Air Dingin

Penentuan daerah yang terdampak banjir dilakukan dengan analisa arah aliran D8 di ArcGIS 10.3 dengan data berupa peta Digital Elevation Model (DEM) yang didapatkan dari Demnas Badan Informasi Geospasial Indonesia. Arah aliran berupa flow accumulation dan peta kemiringan berupa slope akan membentuk peta topographic wetness index yang menunjukkan genangan air.



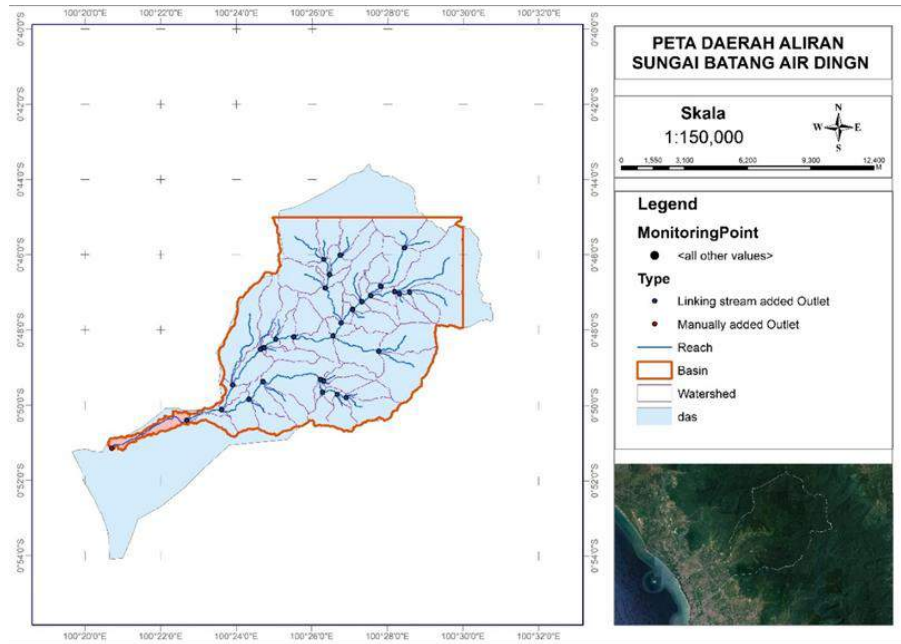
Gambar 22. Peta Topographic Wetness Index

Dari peta TWI tersebut akan didapatkan wilayah banjir dalam DAS Batang Air Dingin yang akan dijadikan landasan perencanaan kolam retensi. Area berwarna biru menunjukkan genangan banjir yang terjadi di DAS Batang Air Dingin, banjir menggenangi area pemukiman warga.



Gambar 23. Peta Genangan Banjir

Setelah mengetahui daerah terdampak banjir, maka lokasi dari kolam retensi dapat direncanakan dengan pengaplikasian sub DAS di wilayah DAS Batang Air Dingin. Penentuan Sub DAS pada DAS Batang Air Dingin dilakukan dengan menggunakan extension ArcSWAT dari ArcGIS.



Gambar 24. Sub DAS pada DAS Batang Air Dingin menggunakan ArcSWAT.

Perhitungan debit banjir dimulai dengan pengolahan data curah hujan Stasiun Hujan Koto Tuo dengan data curah hujan 10 tahun terakhir. Penggunaan curah hujan selama 10 tahun berturut-turut karena keterbatasan data yang dimiliki oleh penulis.

Tabel 16. Data Curah Hujan Harian Maksimum

No	Tahun	Curah Hujan Maks.
1	2009	82
2	2010	215
3	2011	155
4	2012	152
5	2013	174
6	2014	153
7	2015	145
8	2016	218
9	2017	140
10	2018	151

Perhitungan parameter statistik didapatkan nilai sebagai berikut :

Rata-rata (\bar{x})	= 158.5
Standar Deviasi (S)	= 38.716
Koefisien <i>Skewness</i> (C_s)	= -0.150
Koefisien <i>Curtois</i> (C_k)	= 35.350
Koefisien <i>Variasi</i> (C_v)	= 0,244

Nilai tersebut menentukan pilihan distribusi frekuensi yang akan digunakan. Syarat pemilihan distribusi yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 5. Parameter statistik diatas memenuhi syarat pemilihan untuk menggunakan analisa frekuensi Log *Pearson type III*.

No	Distribusi	Persyaratan
1	Normal	($x_{rat\pm s}$) = 68,27% ($x_{rat\pm 2s}$) = 95,44% $C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^5 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$
4	Log Persson III	Selain dari nilai di atas

Gambar 25. Parameter Statistik

Analisa frekuensi yang digunakan selanjutnya adalah perhitungan Log *Pearson type III*. Hasil dari perhitungan analisa frekuensi menghasilkan curah hujan rencana. Curah hujan rencana terdapat dalam tabel berikut :

Tabel 17. Curah Hujan Rencana

- No	- Periode Ulang (Tahun)	- Curah Hujan Rencana (mm/hari)
- 1	- 2	- 161.957
- 2	- 5	- 193.221
- 3	- 10	- 206.489
- 4	- 25	- 217.977
- 5	- 50	- 223.949
- 6	- 100	- 228.412

Curah hujan yang dihitung dalam periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Untuk perencanaan kota, curah hujan yang digunakan adalah 5 tahun, pemilihan kala ulang berdasarkan tipologi kota dapat dilihat pada **Tabel 3**.

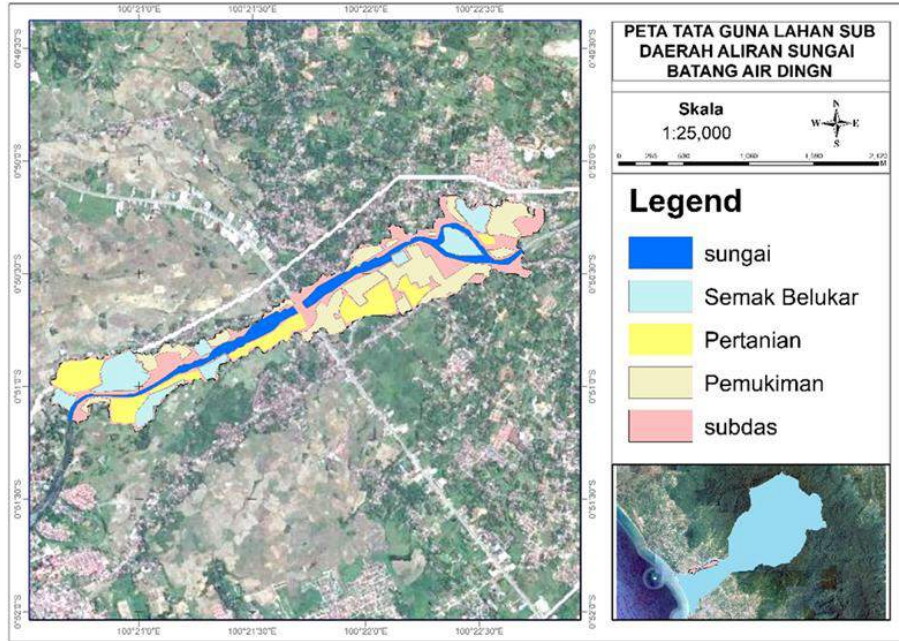
Tabel 18. Kala Ulang Berdasarkan Tipologi Kota dan Luas DAS

Tipologi Kota	Catchment Area (Ha)			
	<10	10-100	100-500	>500
Kota Metropolitan	2 th	2-5 th	5-10 th	10-25 th
Kota Besar	2 th	2-5 th	2-5 th	5-20 th
Kota Sedang/Kecil	2 th	2-5 th	2-5 th	5-10 th

Kota Padang merupakan kota besar menurut PP No.26 Tahun 2008 Pasal 16 ayat 3, karena memiliki jumlah penduduk diatas 500.000 jiwa dan tidak memiliki kota besar yang saling berhubungan dengan Kota Padang. Dengan luas sub DAS Batang Air

Dingin 190 Ha, didapatkan rentang penggunaan kala ulang curah hujan rencana antara 2 hingga 5 tahun.

Dari peta tata guna lahan yang telah dibuat di ArcGIS, didapatkan lima jenis tata guna lahan dalam sub DAS Batang Air Dingin, dan luasan tata guna lahan dapat dihitung langsung. Luasan tata guna lahan ini akan digunakan untuk menentukan nilai koefisien limpasan (C).



Gambar 26. Peta Tata Guna Lahan

Dari peta tata guna lahan tersebut, didapatkan luasan tata guna lahan. Nilai koefisien limpasan setiap jenis tata guna lahan dapat ditentukan, dengan begitu nilai koefisien limpasan komposit bisa dihitung dengan data dari tabel di bawah.

Tabel 19. Nilai Koefisien Limpasan

Tata Guna Lahan	Luas (Ha)	C
- Pemukiman	- 46.615	- 0,7
- Semak Belukar	- 30.085	- 0,07
- Pertanian	- 32.125	- 0,15
- Sungai	- 24.434	- 1
- Lahan Kosong	- 57.191	- 0,2
- Luas DAS	- 190.451	-

Untuk mendapatkan nilai koefisien limpasan komposit, digunakan rumus :

$$C = \frac{C1 \times A1 + C2 \times A2 + Cn \times An}{A1 + A2 + An}$$

Hasil dari perhitungan tersebut, didapatkan nilai koefisien limpasan sebesar 0,396

Perhitungan intensitas curah hujan menggunakan persamaan mononobe, yaitu :

$$I = \frac{R24}{24} \left[\frac{24}{Tc} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Sedangkan untuk waktu konsentrasi T_c , dapat dihitung menggunakan metode Kirpich (1940), dengan persamaan :

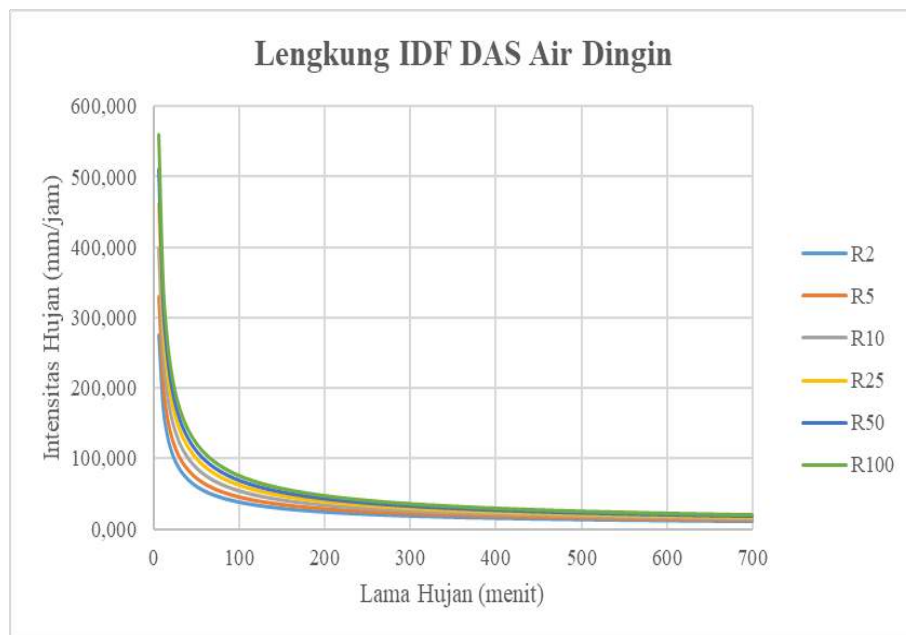
$$T_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385}$$

R24 = Curah hujan rencana

L = Panjang lintasan aliran di atas lahan

S = Kemiringan lahan

Hasil perhitungan intensitas curah hujan dengan kala ulang yang sudah ditentukan di masukkan ke dalam grafik intensitas hujan terhadap waktu atau disebut juga lengkung IDF (*Intensity Duration Frequency*).

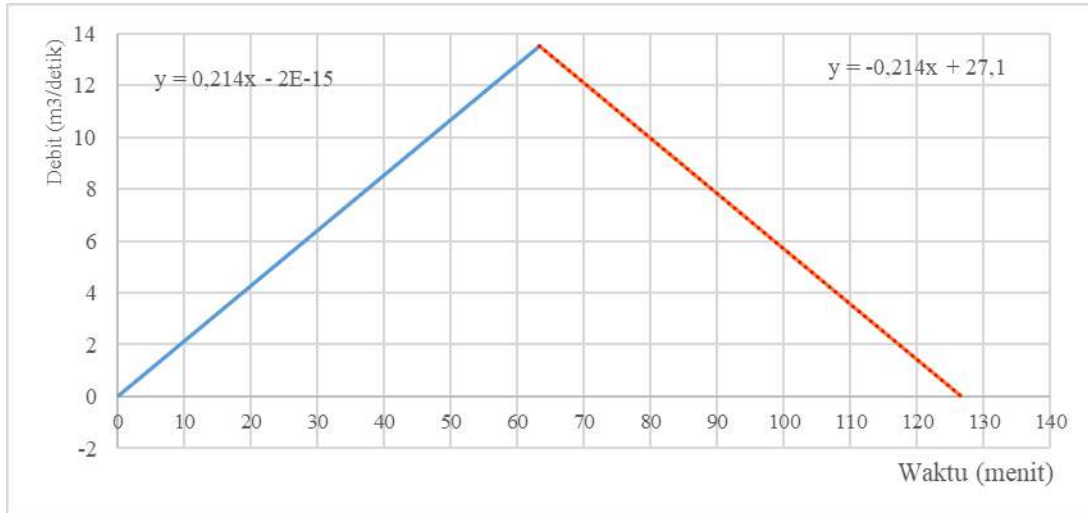


Gambar 27. Lengkung IDF DAS Batang Air Dingin

Dengan waktu konsentrasi (T_c) selama 63,325 menit, menghasilkan intensitas hujan selama waktu konsentrasi sebesar 64,62 mm/jam dengan menggunakan perencanaan kala ulang 5 tahun. dengan menggunakan metode rasional, debit banjir rencana 5 tahun dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 Q_{10} &= 0,278CIA \\
 &= 0,278 \times 0,396 \times 64,62 \text{ mm/jam} \times 1,904 \text{ km}^2 \\
 &= 13,55 \text{ mm/detik}
 \end{aligned}$$

Hubungan debit dan waktu konsentrasi dapat dilihat pada grafik hidrograf dibawah.



Gambar 28. Grafik Hidrograf Sub DAS Batang Air Dingin

Dari hidrograf diatas, dapat dihitung volume kumulatif aliran masuk (Q_{in}) terhadap waktu konsentrasi (t_c). Selama waktu pengaliran, kumulatif aliran yang masuk berupa tabel dibawah ini.

Tabel 20. Aliran Masuk Kumulatif sub DAS Batang Air Dingin

- Durasi	- Q_i	- Rata-rata	- Volume	- Vol. Kumulatif
- menit	- m^3/detik	- m^3/tk	- m^3	- m^3
0	0	0	0	0
10	2.14	1.07	64.2	64.2
20	4.28	2.14	128.4	192.6
30	6.42	3.21	192.6	385.2
40	8.56	4.28	256.8	642
50	10.70	5.35	321.0	963
60	12.84	6.42	385.2	1348.2
70	10.70	5.35	321.0	1669.2
80	8.56	4.28	256.8	1926
90	6.42	3.21	192.6	2118.6
100	4.28	2.14	128.4	2247
110	2.14	1.07	64.2	2311.2
120	0	0	0	2311.2

0	4	5	3	4
	2		0	
	- 8.		- 17	
- 4	5	- 7.4	9	- 3210
0	6	9	7	0
	- 1		6	
	0		- 28	
- 5	.	- 9.6	8	- 6099
0	7	3	9	0
	- 1		0	
	2		- 42	
- 6	.	- 11.	3	- 1033
0	8	7	7	62
	4	7	2	
- 6	- 1	- 13.	- 50	
3	3	1	1	
.	.	9	3	- 1534
3	5	5	1.	93.3
2	5	2	3	558
	- 1	4	6	
	2		- 52	
- 7	.	- 12.	4	- 1557
0	1	4	1	78
	2	8	6	
	- 9.	- 11.	- 53	
- 8	9	0	0	- 2088
0	8	5	4	18
	- 7.	- 8.9	- 48	
- 9	8	1	1	- 2569
0	4	1	4	32
	- 5.	- 6.7	- 40	
- 1	7	7	6	- 2975
0	0		2	52
	- 3.	- 4.6	0	
- 1	5	3	- 30	- 3281
0	6		5	10
	- 1.	- 2.4	- 17	
- 1	4	9	9	- 3460
2	2		2	38
0		- 0.7	8	
- 1		0	- 53	
2	- 0.	8	8	- 3514
6	0	4	3.	21.5
.	0	5	5	116
6	0		1	
5	0		2	

5. SIMPULAN DAN SARAN

Dari studi dan perencanaan kolam retensi DAS Batang Air Dingin ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

- b. Dari hasil analisa aliran D8 di ArcGIS, DAS Batang Air Dingin yang berada di utara Kota Padang mengalami banjir akibat limpasan sungai dan berdampak pada pemukiman di daerah tersebut.
- c. Intensitas hujan harian yang terjadi pada sub DAS Batang Air Dingin dengan kala ulang 5 tahunan adalah 63,325 mm/jam. Debit banjir dengan kala ulang 5 tahun yang terjadi pada sub DAS Batang Air Dingin dengan koefisien pengaliran 0,396 adalah sebesar 13,55 mm/detik.
- d. Luas daerah pengaruh yang akan digunakan sebagai perencanaan kolam retensi melalui analisa ArcSWAT adalah 190 hektare.
- e. Dibutuhkan volume kolam retensi sebesar 38.612,607 m³ di daerah sub DAS Batang Air Dingin untuk efektivitas sebesar 75% dengan waktu yang dibutuhkan selama 47,494 menit untuk mencapai volume maksimum.

Untuk penelitian lebih lanjut sebaiknya dilakukan perhitungan perencanaan kolam retensi sesuai ketersediaan lahan dan dengan memperhatikan jenis tanah dilokasi perencanaan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, D., Siswanto, & Suprayogi, I. (2016). *Analisis kolam retensi sebagai pengendalian banjir genangan di kecamatan payung sekaki*. 3(1).
- Beni Raharjo. (2013). *ArcGIS bagi Pemula*. 198. Diambil dari <http://www.raharjo.org>
- Dirjen Cipta Karya. (2012). *Tata Cara Perencanaan Kolam Detensi, Kolam Retensi dan Sistem Polder*. Diambil dari http://ciptakarya.pu.go.id/plp/upload/peraturan/buku_jilid_1_tata_cara_perencanaan_drainase.pdf
- Gunadarma. (n.d.). *Drainase Perkotaan*. Gunadarma.
- Junaidi, A., & Nurhamidah. (2017). Flood problem in Padang city: The effectiveness solution. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(10), 1210–1219. Diambil dari <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85032507021&partnerID=40&md5=7775078d0b941ecf8cb4e431c2fc1a3d>
- Kodoatie, R. J., & Sugiyanto. (2002). Banjir, Beberapa Penyebab dan Pengendaliannya dalam Perspektif Lingkungan. *Pustaka Pelajar*. Yogyakarta. <https://doi.org/10.1016/j.npg.2013.07.003>
- Muhammad, Y., Daoed, D., & Syukur, M. (2017). Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Prosiding 4th Andalas Civil Engineering (ACE) Conference 2017*, (November 2017), 325–334.
- Nurhamidah, Junaidi, A., & Anggraini, L. (2016). *An immediate review of flood characteristics on delta lowland Sumatra using D8 model spatial analysis*.

PEMODELAN TRANSPOR SEDIMEN TAPAK PADRI KOTA BENGKULU

Besper¹, Gusta Gunawan², Mawardi³, Okta Dwi Karsa⁴

¹²³⁴Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNIB, JL. W.R.Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38371, Telp (0736) 344087
Email: besperimt@yahoo.co.id

ABSTRACT

This study aims to determine the amount of sediment transport that happen in Tapak Paderi Beach and predict the changes of shoreline in 250 m for 20 years (2013-2033) using the method of Komar. The method of Komar is a method of calculating change in shoreline caused by sediment transport that consider the wave factor, shoreline, characteristics of sediment and slope of seabed. The result of this study is a model of shoreline change in coordinate (y) and coordinare (x) graphic. Coordinate (y) is a distance between the shoreline and a line of reviews whereas coordinate (x) is the length of beach. The total of sediment transport is 6789,72 m³/year. On 1st Pias occureed the biggest sediment transport, the amount is 780,36 m³/year. While the lowest sediment transport occurred in 3rd Pias in amount of 454,62 m³/year. The biggest prediction of shoreline change occurred at 1st Pias, it caused sedimentation for about 62,01 m and abrasion happened in Pias 3 for 15,26 m.

Keywords : Tapak Paderi Beach, transport sediment, shoreline change, method of Komar.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jumlah angkutan sedimen yang terjadi di Pantai Tapak Paderi dan memprediksi perubahan garis pantai sepanjang 250 m selama 20 tahun (2013-2033) dengan menggunakan metode Komar. Metode Komar menggunakan metode perhitungan perubahan garis pantai akibat transport sedimen yang mempertimbangkan faktor gelombang, garis pantai awal, karakteristik sedimen dan kemiringan dasar laut. Dari hasil penelitian diperoleh model perubahan garis pantai berbentuk grafik dalam koordinat (y) dan koordinat (x). koordinat (y) merupakan jarak antara garis pantai dan garis tinjauan sedangkan koordinat (x) merupakan absis searah pantai panjang. Diketahui bahwa total transport sedimen adalah 6789,72 m³/tahun. Pada Pias 1 terjadi transport sedimen terbesar dalam jumlah 780,36 m³/tahun. Sedangkan transport sedimen terendah terjadi di Pias 3 sebesar 454,62 m³/tahun. Prediksi perubahan garis pantai terbesar pada Pias 1 yang menyebabkan pantai sedimentasi sebesar 62,01 m dan Pias 3 memiliki abrasi sejauh 15,26 m,.

Kata Kunci : Pantai Tapak Paderi, transport sedimen, perubahan garis pantai, metode Komar.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pantai adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Garis pantai adalah garis batas pertemuan antara daratan dan air laut, dimana posisinya tidak tetap dan dapat berubah sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi. Perubahan garis pantai disebabkan oleh faktor alam dan/atau faktor manusia. Faktor alam diantaranya gelombang laut, arus laut, angin, sedimentasi sungai, kondisi tumbuhan pantai serta aktivitas tektonik dan vulkanik. Sedangkan faktor manusia antara lain pembangunan pelabuhan dan fasilitas-fasilitasnya (misalnya *breakwater*), pertambangan, pengerukan, perusakan vegetasi pantai, pertambangan, perlindungan pantai serta reklamasi pantai (Triatmodjo, 1999).

Secara geografis, Kota Bengkulu terletak di bagian Barat Pulau Sumatera yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia. Ini berarti, seluruh tepian barat di Kota Bengkulu merupakan daerah laut lepas dengan sedikit pulau yang menghalanginya. Tapak Paderi merupakan salah satu objek wisata pantai di Kota Bengkulu. Tapak Paderi juga merupakan daerah wisata sejarah dimana terdapat bangunan bersejarah benteng *Malbrough* dan pelabuhan lama sekarang dinamakan Pelabuhan Marina yang kini berfungsi sebagai kolam wisata. Namun pada kenyataannya saat ini, objek wisata Tapak Paderi telah mengalami perubahan garis pantai yang disebabkan oleh sedimentasi dan abrasi di pesisir pantai.

Berdasarkan hal ini, maka penulis akan melakukan penelitian tentang peramalan perubahan garis pantai di Tapak Paderi Kota Bengkulu dalam jangka waktu tertentu. Sehingga pada saat nantinya, pihak yang berwenang dapat mempertimbangkan hal-hal yang harus dilakukan dalam menjaga pesisir pantai di Tapak Paderi Kota Bengkulu ini.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar laju transpor sedimen yang terjadi di Pantai Tapak Paderi Kota Bengkulu.
2. Bagaimana pola perubahan garis pantai akibat transpor sedimen di Pantai Tapak Paderi Kota Bengkulu.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat tercapai beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisa besarnya transpor sedimen yang terjadi di Pantai Tapak Paderi Kota Bengkulu.
2. Memprediksi perubahan garis pantai akibat transpor sedimen di Pantai Tapak Paderi Kota Bengkulu dalam jangka waktu tertentu.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Pantai

Menurut Triatmodjo (1999), *shore* (pantai) adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Garis pantai adalah garis batas pertemuan antara daratan dan air laut dimana posisinya tidak tetap dan dapat berpindah sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi.

2.2 Gelombang Pantai

2.2.1 Energi Gelombang

Menurut Triatmodjo (1999), gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transport sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai dan menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pelindung pantai.

2.2.2 Deformasi Gelombang

Menurut Triatmodjo (1999), suatu deretan gelombang yang bergerak menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi, difraksi, refleksi, dan gelombang pecah.

2.2.3 Gelombang Pecah

Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi tiga tipe, sebagai berikut:

1. *Spilling*

Spilling biasanya terjadi apabila gelombang dengan kemiringan kecil menuju ke pantai yang datar. Gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya terjadi berangsur-angsur.

2. *Plunging*

Plunging terjadi apabila kemiringan gelombang dan dasar bertambah. Energi gelombang pecah dihancurkan dalam turbulensi, sebagian lagi dipantulkan kembali ke laut, dan tidak banyak gelombang baru terjadi pada air yang lebih dalam.

3. *Surging*

Surging terjadi pada pantai dengan kemiringan yang sangat besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang.

2.3 Pembangkitan Gelombang oleh Angin

2.3.1 Angin

Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut dapat diperoleh dari pengukuran langsung di atas permukaan laut atau pengukuran di darat di dekat lokasi peramalan yang kemudian dikonversi menjadi data angin di laut.

2.3.2 Fetch

Menurut Triatmodjo (1999), *fetch* adalah daerah di mana kecepatan dan arah angin adalah konstan. *Fetch* rerata efektif diberikan oleh persamaan berikut:

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (2.1)$$

Keterangan:

F_{eff} = fetch rerata efektif

X_i = panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*

α = deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

2.4 Sedimentasi

Sedimen adalah material atau pecahan dari batuan, mineral dan material organik yang melayang-layang di dalam air, udara, maupun yang dikumpulkan di dasar sungai atau laut oleh pembawa atau perantara alami lainnya. Sedimen pantai dapat berasal dari erosi pantai, dari daratan yang terbawa oleh sungai, dan dari laut dalam yang terbawa oleh arus ke daerah pantai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Data Angin

Data angin pada di Pantai Tapak Paderi Bengkulu. ini diperoleh dari Stasiun Klimatologi KI. II Pulau Baai Bengkulu. Data angin dicatat dan disajikan dalam pencatatan bulanan selama 10 tahun mulai dari tahun 2002 sampai tahun 2011 (Tabel 3.1).

Tabel 3.1. Pencatatan Angin Maksimum Tiap Bulan.

Thn.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mei	Juni	Juli	Ags.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.
2003	36 W	47 W	40 W	29 W	79 SE	32 SE	43 S	36 W	50 W	47 W	36 W	29 W
2004	30 W	58 W	36 W	25 S	36 W	43 W	36 W	36 S	36 W	43 S	20 W	22 W
2005	32 W	25 NW	34 W	36 W	29 W	32 W	22 W	32 S	22 W	22 W	37,9 W	45,6 W
2006	20 W	25 W	32 W	24 W	14 S	32 S	24 S	25 SE	22,2 SE	25 SE	27 SE	50 W
2007	24 W	35 W	31 W	16 W	21 W	25 W	25 S	25,2 SE	29,5 SE	25,2 S	23,7 W	38,3 W
2008	28,1 W	36,8 W	35,4 W	31 W	25,2 S	25 S	20,8 SE	25 S	26,6 SE	19 S	32,4 W	31 W
2009	22,2 W	29,5 W	28,1 W	26,6 W	31 W	19,3 W	23,7 S	20,8 S	22,2 S	23,7 S	35,4 W	28 W
2010	18 W	19 W	22 W	27 W	29 W	35 W	11 W	18 W	11 W	28 W	33 W	40 W
2011	31 W	29 W	32 W	34 W	35 W	31 W	21 W	22 S	22 S	24 S	22 W	27 W
2012	42 W	32 SE	48 W	31 SE	30 SE	34 SE	40 NW	56 S	53 S	41 S	30 SE	36 W

Sumber: Stasiun Klimatologi KI. II Pulau Baai Bengkulu

3.2 Penentuan Presentase Kejadian Angin Tiap Arah

Data angin pada Tabel 3.1. kemudian diolah untuk mengetahui presentase angin tiap arah dan dapat ditabulasikan pada Tabel 3.2.

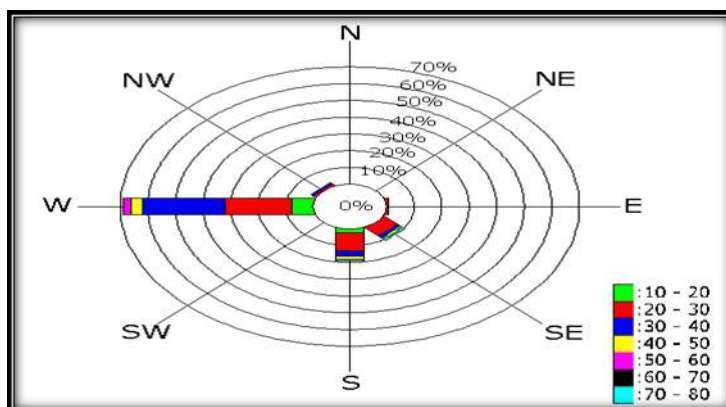
Tabel 3.2. Data Presentase Kejadian Angin di Pantai Tapak Paderi Bengkulu

Kecepatan (Km/jam)	Arah Angin							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0-10	0%							
10-20	-	-	-	-	1,67	-	5,83	-
20-30	-	-	-	6,67	11,67	-	25	0,83
30-40	-	4,17	-	0,83	1,67	-	26,67	-
40-50	-	-	-	1,67	2,5	-	6,67	0,83
50-60	-	-	-	-	1,67	-	0,83	-
60-70	0%							
70-80	-	-	-	0,83	-	-	-	-

Sumber: Hasil Perhitungan Berdasarkan Data Angin

3.3 Penentuan Arah Angin Dominan

Setelah perhitungan presentase kejadian angin yang disajikan pada Tabel 3.2., selanjutnya dibuat diagram mawar angin (*Wind Rose*) sehingga karakteristik angin dapat dibaca dengan cepat dan mudah dimengerti.



Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 3.1. Diagram Mawar Angin

3.4 Konversi Kecepatan Angin

Untuk contoh perhitungan faktor tegangan angin diambil tahun 2010 yang ditabulasikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Perhitungan Faktor Tegangan Angin Tahun 2010.

Bulan	UL (m/s)	RL	Uw (m/s)	UA (m/s)
Januari	5,00	1,40	7,00	7,78

Februari	5,28	1,33	7,02	7,80
Maret	6,11	1,30	7,94	9,09
April	7,50	1,25	9,38	11,14
Mei	8,06	1,20	9,67	11,57
Juni	9,72	1,14	11,08	13,68
Juli	3,06	1,54	4,71	4,77
Agustus	5,00	1,40	7,00	7,78
September	3,06	1,54	4,71	4,77
Oktober	7,78	1,22	9,49	11,30
November	9,17	1,15	10,54	12,87
Desember	6,94	1,27	8,82	10,33
Niai rata-rata	6,39	1,31	8,11	9,41

Sumber: Hasil Perhitungan

3.5 Penentuan Fetch Efektif



Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 3.2. Peta Fetch dari Arah Barat di Pantai Pantai Tapak Paderi Bengkulu

Hasil dari penentuan panjang fetch dirangkum dalam Tabel 3.4 untuk selanjutnya dihitung nilai *fetch* efektifnya dengan menggunakan persamaan (2.1).

Tabel 3.4. Panjang Fetch dari Arah Barat di Pantai Pantai Tapak Paderi Bengkulu

A	Cos α	Xi (Km)	Xi Cos α (Km)
42	0,743145	67,8	50,38521917
36	0,809017	409	330,8879507
30	0,866025	306	265,0037736
24	0,913545	225	205,547728
18	0,951057	204	194,0155293
12	0,978148	3338	3265,056691
6	0,994522	6252	6217,75089
0	1	6765	6765
-6	0,994522	3299	3280,927733
-12	0,978148	4471	4373,297923

-18	0,951057	4657	4429,070196
-24	0,913545	5097	4656,341198
-30	0,866025	7982	6912,614773
-36	0,809017	0,0863	0,069818167s
-42	0,743145	0,0639	0,047486954
Σ	13,51092		40946,01691

Sumber: Hasil Perhitungan

Kemudian dilakukan penentuan panjang *fetch* efektif dengan menggunakan persamaan;

$$F_{\text{eff}} = \frac{40946,02}{13,51092} = 3030,59 \text{ km}$$

3.6 Peramalan Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan

Kawasan pantai Pantai Tapak Paderi Bengkulu merupakan daerah lepas pantai dengan panjang *Fetch* efektif 3030,59 km, sehingga dalam peramalan gelombang tidak bisa lagi menggunakan grafik peramalan gelombang. Berdasarkan perhitungan didapatkan bahwa gelombang mengalami *fully developed seas* dengan tinggi gelombang di laut dalam (H) adalah 3,53 m dan periode gelombang (T) adalah 9,896 detik.

3.7 Penentuan Garis Pantai Awal

Penentuan garis pantai awal untuk kawasan Pantai Pantai Tapak Paderi Bengkulu, dilakukan dengan survei lapangan melalui pengamatan dan pengukuran secara langsung dengan menggunakan alat *theodollite*. Selanjutnya dilakukan pembagian pias pada daerah pesisir pantai untuk mempermudah perhitungan. Pembagian ini dilakukan dengan membagi pantai menjadi 10 pias sepanjang 250 meter ditambah 1 pias di ujung sebagai acuan akhir. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.3.

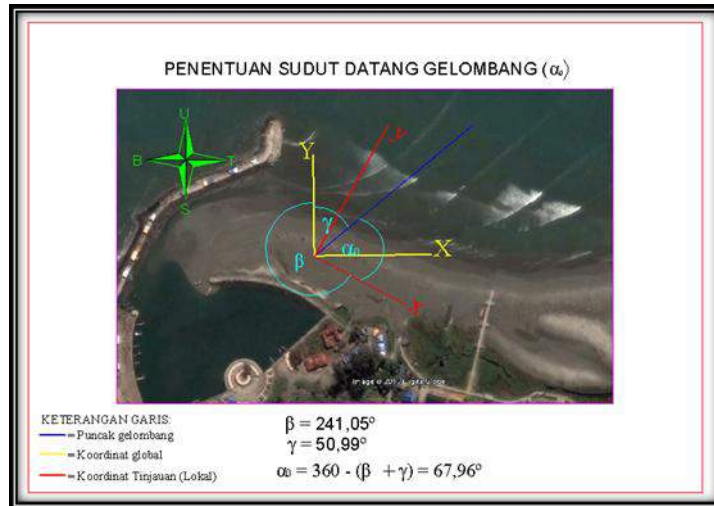


Sumber: Hasil Survei

Gambar 3.3. Pembagian Pias Pesisir Pantai

3.8 Perhitungan Sudut Datang Gelombang Pecah (α_b) dan Koefisien Refraksi (Kr)

Adapun penentuan besar sudut α_0 ini dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi *google earth* seperti terlihat pada Gambar 3.4.



Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 3.4. Perhitungan Sudut Datang Gelombang Pecah terhadap Sumbu x (α_0)

Tabel 3.5. Perhitungan nilai α_b dan Kr

Pias (i)	y_i (m)	Δx (m)	Tan α_i	α_i ($^\circ$)	α_b ($^\circ$)	Kr
1	73,32	25	-0,07	-3,82	64,14	0,61
2	74,99	25	0,10	5,62	73,58	0,61
3	72,53	25	0,15	8,60	76,56	0,62
4	68,75	25	0,12	6,57	74,53	0,61
5	65,87	25	0,08	4,51	72,47	0,61
6	63,90	25	0,06	3,43	71,39	0,61
7	62,40	25	0,05	2,75	70,71	0,61
8	61,20	25	0,03	1,47	69,43	0,61
9	60,56	25	0,01	0,76	68,72	0,61
10	60,23	25	0,01	0,53	68,49	0,61
11	60,00	25	-0,01	-0,78	67,18	0,61

Sumber: Hasil Perhitungan

3.9 Penentuan Kemiringan Dasar Laut (m)

Dalam penentuan kemiringan dasar laut ini dilakukan dengan survei lapangan melalui pengamatan dan pengukuran secara langsung dengan menggunakan alat *theodollite*. Hasil perhitungan ditabulasikan pada Lampiran 2 (L2-6) dengan kemiringan pantai rata-rata yaitu 0,013 (1:76,9). Kemiringan pantai ini selanjutnya digunakan untuk menghitung tinggi gelombang pecah dan kedalaman gelombang pecah.

3.10 Perhitungan Tinggi Gelombang Pecah (H_b) dan Kedalaman Gelombang Pecah (d_b)

Perhitungan nilai H_b dan d_b ditabulasikan dalam Tabel 4.6.

Tabel 3.6. Perhitungan H_b dan d_b

Pias (i)	K_r	m	H_0 (m)	H'_0 (m)	$\frac{H'_0}{gT^2}$	$\frac{H_b}{H'_0}$	H_b (m)	$\frac{H_b}{gT^2}$	$\frac{d_b}{H_b}$	d_b (meter)
1	0,61	0,013	3,53	2,16	0,0023	1,2	2,60	0,0027	1,19	3,09
2	0,61	0,013	3,53	2,17	0,0023	1,2	2,60	0,0027	1,19	3,09
3	0,62	0,013	3,53	2,17	0,0023	1,2	2,61	0,0027	1,19	3,10
4	0,61	0,013	3,53	2,17	0,0023	1,2	2,60	0,0027	1,19	3,10
5	0,61	0,013	3,53	2,16	0,0023	1,2	2,60	0,0027	1,19	3,09
6	0,61	0,013	3,53	2,16	0,0023	1,2	2,60	0,0027	1,19	3,09
7	0,61	0,013	3,53	2,16	0,0023	1,2	2,60	0,0027	1,19	3,09
8	0,61	0,013	3,53	2,16	0,0023	1,2	2,59	0,0027	1,19	3,09
9	0,61	0,013	3,53	2,16	0,0022	1,2	2,59	0,0027	1,19	3,09
10	0,61	0,013	3,53	2,16	0,0022	1,2	2,59	0,0027	1,19	3,09
11	0,61	0,013	3,53	2,16	0,0022	1,2	2,59	0,0027	1,19	3,09

Sumber: Hasil Perhitungan

3.11 Perhitungan Transpor Sedimen

Sebelum mencari angkutan sedimen sepanjang pantai perlu dicari terlebih dahulu nilai komponen fluks energi gelombang (P_i). Hasil perhitungan P_i ditabulasikan dalam Tabel 3.7.

Tabel 3.7. Perhitungan komponen fluks energi gelombang (P_i)

Pias (i)	ρ (t/m ³)	g (m/s ²)	H_b (m)	d_b (m)	α_b ($^\circ$)	Sin α_b	Cos α_b	P_{li}
1	1,03	9,81	2,60	3,09	64,14	0,90	0,44	18,41
2	1,03	9,81	2,60	3,09	73,58	0,96	0,28	12,76
3	1,03	9,81	2,61	3,10	76,56	0,97	0,23	10,72
4	1,03	9,81	2,60	3,10	74,53	0,96	0,27	12,12
5	1,03	9,81	2,60	3,09	72,47	0,95	0,30	13,49
6	1,03	9,81	2,60	3,09	71,39	0,95	0,32	14,17
7	1,03	9,81	2,60	3,09	70,71	0,94	0,33	14,60
8	1,03	9,81	2,59	3,09	69,43	0,94	0,35	15,39
9	1,03	9,81	2,59	3,09	68,72	0,93	0,36	15,82
10	1,03	9,81	2,59	3,09	68,49	0,93	0,37	15,95
11	1,03	9,81	2,59	3,09	67,18	0,92	0,39	16,72

Sumber: Hasil Perhitungan

Adapun hasil dari perhitungan ditabulasikan dalam Tabel 3.8.

Tabel 3.8. Perhitungan Transpor Sedimen

Pias (i)	K	ρ_s (t/m ³)	ρ (t/m ³)	g (m/s ²)	N	P_{li}	Q (m ³ /Thn)
-------------	---	---------------------------------	-------------------------------	--------------------------	---	----------	----------------------------

1	0,778	2,325	1,03	9,81	0,48	18,4057	780,355
2	0,778	2,325	1,03	9,81	0,48	12,7560	540,821
3	0,778	2,325	1,03	9,81	0,48	10,7229	454,622
4	0,778	2,325	1,03	9,81	0,48	12,1194	513,831
5	0,778	2,325	1,03	9,81	0,48	13,4857	571,760
6	0,778	2,325	1,03	9,81	0,48	14,1719	600,853
7	0,778	2,325	1,03	9,81	0,48	14,6026	619,113
8	0,778	2,325	1,03	9,81	0,48	15,3907	652,526
9	0,778	2,325	1,03	9,81	0,48	15,8178	670,635
10	0,778	2,325	1,03	9,81	0,48	15,9542	676,416
11	0,778	2,325	1,03	9,81	0,48	16,7178	708,791

Sumber: Hasil Perhitungan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pemodelan diperoleh perubahan garis pantai tahun 2013-2033 yang menyebabkan terjadi sedimentasi pada pias ke 1 dan pias ke 2 dan abrasi pada pias ke 3 sampai pias ke 10.
2. Perubahan garis pantai terbesar tahun 2013-2033 adalah sedimentasi sebesar 62,01 m pada pias ke 1 dan erosi sebesar 15,26 m pada pias ke 3.
3. Transpor sedimen di Pantai Tapak Paderi Kota Bengkulu sepanjang daerah tinjauan (250 meter) adalah 6789,72 m³/tahun
4. Transpor sedimen terbesar yang terjadi adalah sebesar 780,36 m³/tahun yang terjadi pada pias ke 1. Sedangkan transpor sedimen terendah terjadi pada pias ke 3 yaitu sebesar 454,62 m³/tahun.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Dauhan, dkk., 2013. *Analisis Karakteristik Gelombang Pecah Terhadap Perubahan Garis Pantai di Atep Oki*. Jurnal Sipil Statik, Vol.1 No.12, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Triatmodjo, B., 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Yuwono, N., 1998. *Teknik Pantai Volume III*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

HUBUNGAN LAJU INFILTRASI TERHADAP KEPADATAN TANAH DI KAWASAN PEMUKIMAN

Totoh Andayono¹, Mas Mera²

¹Mahasiswa Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: to.handayono@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: mas_mera@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

The development policy of the urban settlement area of the city of Padang to the northward, eastward and southward affects significantly to the changes of land use from conservation to settlement land which is in turn to changes in soil properties. This research is carried out in the affected land to determine the parameters of soil properties (soil density, infiltration rate, and soil permeability), and then to determine a relationship between soil density and infiltration rate. The infiltration rate in the field is determined using a double ring infiltrometer and is then analysed using the Kostikov model. The soil density parameter is determined using the sandcone, and the parameter of saturated hydraulic conductivity is determined using the hand boring and pipes that are planted 30 cm depth into the ground. The results show that the value of soil density parameter ranges from 1.61 - 2.23 gr/cm³, the average permeability is 2.8 cm/hour (the class is a bit slow) and the infiltration average-rate is 0.654 mm/hour which is classified as a class 0 (very slow). The soil infiltration rate is inversely proportional to soil density since the soil density affects the infiltration rate of 8.7% while the rest is influenced by other factors such as porosity, soil type and humidity.

Keywords : Infiltration rate, permeability, soil density, land use, settlement

ABSTRAK

Kebijakan pengembangan kawasan permukiman kota Padang ke arah utara, timur dan ke arah selatan berdampak secara signifikan pada perubahan tata-guna lahan dari lahan konservasi menjadi lahan permukiman yang akhirnya mengubah sifat-sifat tanah. Penelitian ini dilakukan di lahan terdampak tersebut untuk menentukan parameter sifat-sifat tanah (kepadatan tanah, laju infiltrasi, dan permeabilitas tanah) dan kemudian untuk mendapatkan hubungan kepadatan tanah terhadap laju infiltrasi. Laju infiltrasi di lapangan ditentukan menggunakan double ring infiltrometer dan kemudian dianalisis menggunakan model Kostikov. Parameter kepadatan tanah ditentukan menggunakan sandcone, dan parameter konduktivitas hidrolis jenuh ditentukan menggunakan hand boring dan pipa yang ditanamkan sedalam 30 cm pada tanah. Hasil studi menunjukkan bahwa nilai parameter kepadatan tanah berkisar antara 1,61 – 2,23 gr/cm³, permeabilitas rata-rata sebesar 2,8 cm/jam (kelas agak lambat) dan laju infiltrasi rata-rata sebesar 0,654 mm/jam, yang tergolong kelas 0 (sangat lambat). Laju infiltrasi tanah berbanding terbalik dengan kepadatan tanah karena kepadatan tanah berpengaruh terhadap laju infiltrasi sebesar 8,7 % sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor lain seperti porositas, jenis tanah dan kelembaban.

Kata Kunci : Laju infiltrasi, permeabilitas, kepadatan tanah, tata-guna lahan, permukiman.

1. PENDAHULUAN

Sebagian besar penduduk kota Padang mendiami wilayah dataran rendah (secara geografis 30% dari total wilayah). Wilayah tersebut merupakan kawasan pantai dan daerah-daerah di sepanjang aliran sungai (Istijono, 2013), dengan perutukan lahan sebagai daerah permukiman, komersial perkotaan, pusat bisnis, bangunan publik dan segala fasilitasnya. Berdasarkan peta zona rawan tsunami kawasan ini merupakan high risk zone, yaitu daerah yang mempunyai potensi tinggi terhadap tsunami (Oktiari dan Manurung, 2010). Selain itu sebanyak 21 sungai besar dan kecil menyusuri kota Padang yang tergabung dalam 6 Daerah Aliran Sungai (DAS) (Anggraeni, 2017), kondisi ini menyebabkan juga rentan terhadap banjir, dan berdasarkan matriks kajian risiko banjir memposisikan kota Padang pada peringkat tinggi secara sosial, fisik dan ekonomi (BNPB, 2016).

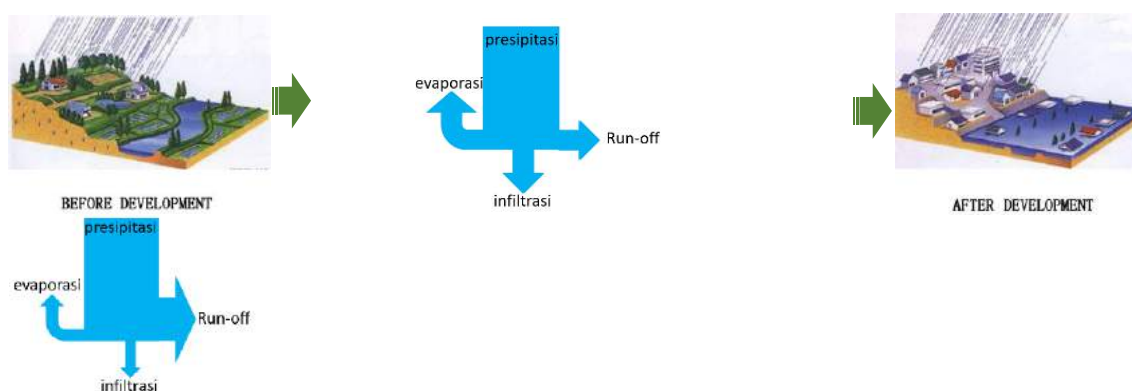
Menyikapi potensi dan kerentanan bencana tersebut Badan Perencanaan Daerah kota Padang telah membuat rencana pengembangan kota tahun 2008-2018 (BAPEDA, 2011), yaitu mendorong pengembangan kawasan permukiman perkotaan ke arah utara, timur dan ke arah selatan. DAS Air Dingin merupakan salah satu wilayah berdampak kebijakan tersebut, dimana tercatat sampai dengan tahun 2014 telah terjadi perluasan lahan secara signifikan untuk permukiman seluas 13.351 ha (Hermon, 2016). Selain itu berdasarkan analisis berbasis Sistem Informasi Geografis (GIS) sampai dengan akhir 2015 penggunaan lahan untuk permukiman mencapai 114.072 ha. Kecenderungan ini akan terus bertambah seiring dengan peningkatan jumlah penduduk (U. I., 2017) dan kebutuhan akan permukiman yang aman terhadap bencana. Perluasan lahan untuk permukiman ini biasanya juga dibarengi dengan pembangunan infrastruktur penunjang seperti jalan, fasilitas olah raga, dan fasilitas publik lainnya, tentunya perubahan fungsi lahan pada DAS Air Dingin semakin cepat.

Perubahan fungsi lahan di suatu kawasan yang awalnya sebagai daerah resapan air hujan diperkirakan dapat mengganggu rantai siklus air, disebabkan kondisi tanah mengalami perubahan seperti kepadatan tanah, porositas tanah, dan struktur tanah (de Almeida dkk, 2018; Walker dkk, 2002). Pada lahan permukiman, tanah menjadi lebih padat, porositas tanah menjadi kecil, dampak dari kondisi tersebut, saat air hujan yang jatuh di permukaan tanah sebagian besar menjadi limpasan permukaan dan langsung menuju ke saluran drainase yang terbuang ke sungai, sehingga dalam waktu yang singkat kapasitas sungai tidak mampu menampung limpasan air ini maka terjadilah banjir di sisi kiri dan kanan sungai (Olson dkk, 2013; Alaoui dkk, 2018). Di sisi lain tanah juga membutuhkan resapan air hujan sebagai cadangan air tanah. Apabila resapan air ini kecil maka volume air tanah akan menjadi berkurang (Wallace dkk, 2015). Air hujan yang meresap kedalam tanah ini disebut infiltrasi (Ebel dan Moody, 2013; Liu dkk, 2019).

Dalam banyak situasi dan kondisi, hampir sebagian besar curah hujan yang jatuh pada permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi (Locatelli dkk, 2017). Besarnya infiltrasi dipengaruhi oleh intensitas hujan, kemiringan permukaan tanah, kondisi penutupan permukaan tanah (vegetasi), kelembaban tanah dan permeabilitas tanah. Sementara ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi

permeabilitas tanah, dan faktor yang paling dominan adalah pemadatan tanah. Selama pembangunan permukiman pada umumnya tanah dipadatkan melalui tanah timbunan, pencampuran tanah, dan lalu lintas alat (Batey and McKenzie, 2006; Gregory dkk, 2006; Pitt dkk, 2008).

Pengembangan pembangunan perkotaan, selalu diiringi dengan peningkatan kekuatan tanah dengan cara melakukan pemadatan tanah, dengan tujuan untuk memperbesar daya dukung tanah dalam menahan beban struktur bangunan (Vinay & Yadav, 2015). Keadaan ini umumnya dapat meningkatkan jumlah aliran permukaan yang dihasilkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. (USEPA, 2013):



Gambar 29. Siklus air sebelum dan setelah jadi pemukiman

Ilustrasi Gambar 1 terlihat bahwa jumlah limpasan permukaan (*surface run-off*) yang dihasilkan pada daerah setelah pengembangan, dapat meningkat 5 kali dari kondisi sebelumnya bahkan mengakibatkan terjadinya genangan air dan banjir, disebabkan jumlah limpasan permukaan meningkat sedangkan laju infiltrasi berkurang (Olson dkk, 2013). Berkurangnya laju infiltrasi salah satu faktor penyebabnya adalah meningkatnya kepadatan tanah (Alaoui dkk, 2018; Das, 2015; Pitt dkk, 2002). Banjir dapat dikendalikan dengan cara mengurangi jumlah limpasan dan untuk mengurangi limpasan maka infiltrasi harus ditingkatkan (Zhang dan Peralta, 2019).

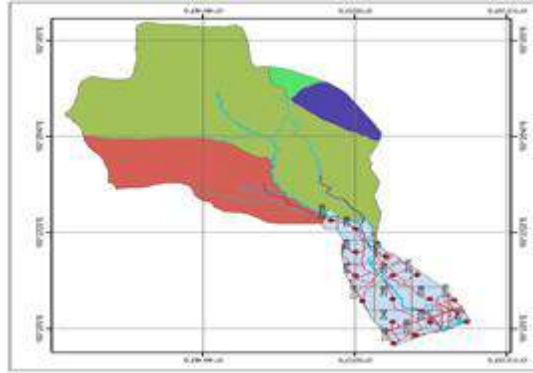
Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan laju infiltrasi dan permeabilitas tanah pada kawasan pengembangan wilayah untuk permukiman ditinjau nilai kepadatan tanahnya. Informasi nilai laju infiltrasi dan permeabilitas tanah ini penting diketahui sebagai bahan informasi bagi perencanaan kawasan, karena laju pembangunan permukiman di kawasan DAS Air Dingin hilir setelah keluarnya kebijakan pengembangan kota relatif cepat, ditandai dengan perubahan fungsi lahan yang signifikan.

2. METODOLOGI

Pengambilan data berupa pengukuran laju infiltrasi, kepadatan tanah dan konduktifitas hidrolis jenuh di lapangan dilakukan dengan metode grid. Berdasarkan grid yang telah ditentukan data yang diambil sebanyak 16 titik yang tersebar di bagian hilir DAS Air Dingin, seperti Gambar 2.

2.1 Kepadatan Tanah

Penentuan kepadatan tanah di lapangan dilakukan dengan *sandcone* (Gambar 3), dari lapisan tanah atau perkerasan tanah yang telah dipadatkan dengan cara pengukuran volume lubang secara langsung, diukur dengan menentukan berat isi keringnya (γ_d). Pengujian kepadatan tanah dengan *sandcone* mengacu pada ASTM D-1556.



Gambar 2. Lokasi studi



Gambar 3. Penentuan kepadatan tanah dengan *sandcone*



Gambar 4. Double Ring Infiltrometer Laju Infiltrasi

Pengukuran laju infiltrasi menggunakan *Double Ring Infiltrometer* (Gambar 4) yang memiliki diameter 30/55 cm dan tinggi 50 cm (Eijkelkamp, 2015). Metode pelaksanaan pengujian mengacu kepada SNI 7752 2012 (SNI, 2004). Sementara untuk mendapatkan nilai laju infiltrasi di lapangan, dilakukan pendekatan pendugaan melalui persamaan model infiltrasi Kostiakov (Chandramouli dan Natarajan, 2016): $f_p = Kt^n$, dimana f_p adalah laju infiltrasi (cm/menit), K adalah konstanta infiltrasi, t adalah waktu infiltrasi

(menit), dan n adalah pangkat exponent. Klasifikasi laju infiltrasi ditentukan berdasarkan nilai besarnya laju infiltrasi yang terjadi. Untuk menentukan kelas infiltrasi, dipakai klasifikasi menurut *U.S. Soil Conservation*.

2.2 Permeabilitas

Permeabilitas merupakan kemudahan aliran melalui media berpori yang dinyatakan sebagai koefisien permeabilitas. Terdapat 2 metode pengujian tanah untuk mendapatkan nilai konduktivitas hidrolis jenuh K , yaitu *constant head permeameter* dan *falling head permeameter*. *Constant head permeameter* ini digunakan untuk tanah yang memiliki butiran kasar (*granular*) dan memiliki koefisien permeabilitas yang tinggi (Drews, 2008; ASTM, 2006) $Q = \pi r^2 H/t$, dimana Q = debit (cm³), t = waktu (detik), dan H = tinggi muka air tanah. Nilai konduktivitas hidrolis jenuh untuk pengukuran secara insitu (Gambar 5), persamaan yang digunakan adalah:

$$K = \frac{(\pi r^2 \Delta h) / \Delta t}{2\pi L H} \ln \frac{L}{r} = \frac{Q}{2\pi L H} \ln \frac{L}{r}$$

dimana: K = Permeabilitas (cm/det), r = radius pipa selubung (cm), L = tinggi lapisan tanah yang diuji (cm), H = Tinggi muka air dalam pipa selubung dari muka air tanah (cm), Δh = Penurunan muka air di dalam bak air (cm), Δt = Durasi pengujian (detik), dan Q = jumlah volume air yang mengisi pipa lubang bor selama waktu Δt .

Metode *falling head permeamete* ini umumnya digunakan untuk tanah berbutir halus dan memiliki koefisien permeabilitas yang rendah. Pengukuran konduktivitas hidrolis jenuh secara insitu, persamaan yang dipakai adalah:

$$K = \frac{r^2}{2L\Delta t} \ln \frac{L}{r} \ln \frac{H_1}{H_2}$$

dimana: K = permeabilitas (cm/det), r = radius pipa selubung (cm), L = tebal lapisan tanah yang diuji (cm), H_1 = muka air tanah awal (cm), H_2 = muka air tanah akhir (cm), dan Δt = waktu yang dibutuhkan dari H_1 ke H_2 (detik).



Gambar 5. Pengukuran konduktivitas hidrolis jenuh

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kepadatan Tanah

Nilai kepadatan tanah diketahui dengan menentukan berat isi keringnya (γ_d), bukan dengan menentukan angka porinya. Lebih besar berat isi kering berarti lebih kecil angka porinya dan lebih tinggi derajat kepadatannya. Hasil kepadatan tanah untuk 16 lokasi pengujian tersaji pada grafik Gambar 6, dan diperoleh kepadatan tanah berkisar antara 1,61 – 2,23 gr/cm³ dengan nilai rata-rata sebesar 1,85 gr/cm³.



Gambar 6. Nilai kepadatan tanah di 16 titik

3.2 Laju Infiltrasi

Laju infiltrasi dihitung dengan menggunakan persamaan Kostiakov, sedangkan olah data memakai program *excel*. Hasilnya tersaji pada Gambar 7.



Gambar 7. Laju infiltrasi di 16 titik

Laju infiltrasi DAS Air Dingin bagian hilir berdasarkan Gambar 7, diperoleh laju infiltrasi rata-rata sebesar 0,109 cm/menit, termasuk pada zona VI/D artinya klasifikasi daerah resapan sangat rendah (0,1 – 0,2 cm/menit). Sedangkan klasifikasi infiltrasi menurut *U.S. Soil Conservation*, laju infiltrasi rata-rata sebesar 0,654 mm/jam tergolong kelas 0 (sangat lambat). Rendahnya resapan air dan relatif besarnya kepadatan tanah, mengindikasikan adanya pengaruh kepadatan terhadap infiltrasi sesuai hasil kajian yang

dikemukakan oleh Pitt dan Gregory (2009, 2006). Hubungan antara infiltrasi dan kepadatan tanah diperoleh nilai signifikansi sebesar $0,266 > 0,05$, artinya tidak ada korelasi antara kepadatan tanah dan laju infiltrasi dengan nilai r negatif (infiltrasi tanah berkorelasi negatif terhadap kepadatan tanah (semakin tinggi kepadatan tanah maka semakin rendah infiltrasi). Sedangkan hasil analisa regresi antara infiltrasi dan kepadatan tanah diperoleh koefisien determinasi (R square) sebesar 0,087, artinya bahwa pengaruh kepadatan terhadap laju infiltrasi sebesar 8,7 % sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor lain seperti porositas, jenis tanah, dan kelembaban (Sun dkk, 2018).

3.3 Permeabilitas Tanah

Penentuan permeabilitas tanah di lapangan dilakukan menggunakan metode *falling head permeameter* dan *constant head permeameter* tergantung kondisi gradasi butiran tanahnya. Hasil pengolahan data dari 16 lokasi pengujian didapatkan permeabilitas ditunjukkan Gambar 8..



Gambar 8. Permeabilitas tanah di 16 titik

Hampir semua titik penelitian menggunakan metode *constand head* kecuali pada titik 15, artinya bahwa permeabilitas tanah DAS Air Dingin bagian hilir berdasarkan klasifikasi permeabilitas modifikasi dari FAO (Rusdi dkk, 2015) tergolong kelas agak lambat (*rather slow*) dengan rata-rata sebesar 2,8 cm/jam.

4. KESIMPULAN

Laju infiltrasi di daerah pengembangan permukiman kota Padang adalah 0,109 cm/menit termasuk dalam daerah resapan sangat rendah dan tergolong kelas 0 (sangat lambat), sedangkan permeabilitas tanahnya sebesar 2,8 cm/jam masuk kelas agak lambat. Pengaruh kepadatan tanah terhadap laju infiltrasi sebesar 8,7 % dan 91,3% dipengaruhi oleh faktor lain seperti porositas, jenis tanah, dan kelembaban tanah.

5. DAFTAR PUSTAKA

Alaoui, A., M. Rogger, S. Peth, and G. Blöschl, 2018. "Does soil compaction increase floods? A review". *Journal of Hydrology*, **557**(December), 631–642. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.052>

- Anggraeni, D., 2017. "Sistem Informasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai di BPDAS Kota Padang". *Jurteksi*, **4**(1), 29–36. <https://doi.org/10.33330/jurteksi.v4i1.21>
- ASTM D2434-68, 2006. "Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)" [http://inarisk.bnpb.go.id/pdf/Buku RBI_Final_low.pdf](http://inarisk.bnpb.go.id/pdf/Buku_RBI_Final_low.pdf)
- BAPEDA, 2011. "Strategi Pembangunan Permukiman dan Infrastruktur Perkotaan Kota Padang Tahun 2011"
- Batey, T. and D. C. McKenzie, 2006. "Soil Compaction: Identification Directly in the Field". *Soil Use and Management*, **22**(2), 123–131. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00017.x>
- BNPB, 2016. *Risiko Bencana Indonesia (Indonesia's Disaster Risk)*. [http://inarisk.bnpb.go.id/pdf/Buku RBI_Final_low.pdf](http://inarisk.bnpb.go.id/pdf/Buku_RBI_Final_low.pdf)
- Chandramouli, S. and N. Natarajan, 2016. "A Comparative Study on the Infiltration Characteristics of Soils in Srikakulam District, Andhra Pradesh, India". *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **13**(1), 73–79. <https://doi.org/10.3233/AJW-160010>
- Das, B., 2015. "Impact of Compaction State and Initial Moisture on Infiltration Characteristic of Soil". *American Journal of Water Science and Engineering*, **1**(1), 1–6. <https://doi.org/10.11648/j.ajwse.20150101.11>
- Drews, A., 2008. "Standard Test Method for: *Manual on Hydrocarbon Analysis*", 6th Edition, **95**(Reapproved), 545-545–3. <https://doi.org/10.1520/mnl10913m>
- de Almeida, W. S., E. Panachuki, P. T. S. de Oliveira, R. da Silva Menezes, T. A. Sobrinho and D. F. de Carvalho, 2018. "Effect of Soil Tillage and Vegetal Cover on Soil Water Infiltration". *Soil and Tillage Research*, **175**(June 2017), 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.009>
- Ebel, B. A., and J. A. Moody, 2013. "Rethinking Infiltration in Wildfire-Affected Soils". *Hydrological Processes*, **27**(10), 1510–1514. <https://doi.org/10.1002/hyp.9696>
- Eijkelkamp, 2015. "Double Ring Infiltrometer Manual". *Double Ring Infiltrometer*, 1–9.
- Gregory, J. H., M. D. Dukes, P. H. Jones and G. L. Miller, 2006. "Effect of Urban Soil Compaction on Infiltration Rate". *Journal of Soil and Water Conservation*, **61**(3), 117–124.
- Hermon, D., 2016. "Estimate of Changes in Carbon Stocks Based on Land Cover Changes in the Leuser Ecosystem Area (LEA) Indonesia". *Forum Geografi*, **29**(2), 188. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v29i2.1487>
- Istijono, B., 2013. "Tinjauan Lingkungan dan Penanggulangan Abrasi Pantai Padang - Sumatera Barat". *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, **9**(2), 42. <https://doi.org/10.25077/jrs.9.2.42-49.2013>

- Liu, Y., Z. Cui, Z. Huang, M. López-Vicente and G. L. Wu, 2019. "Influence of Soil Moisture and Plant Roots on the Soil Infiltration Capacity at Different Stages in Arid Grasslands of China." *Catena*, **182**(January 2018). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104147>
- Locatelli, L., O. Mark, P. S. Mikkelsen, K. Arnbjerg-Nielsen, A. Deletic, M. Roldin and P. J. Binning, 2017. "Hydrologic Impact of Urbanization with Extensive Stormwater Infiltration". *Journal of Hydrology*, **544**, 524–537. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.11.030>
- Oktiari, D. and S. Manurung, 2010. "Model Geospasial Potensi Kerentanan Tsunami Kota Padang". *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, **11**(November 2010), 140–146.
- Olson, N. C., J. S. Gulliver, J. L. Nieber, and M. Kayhanian, 2013. "Remediation to Improve Infiltration into Compact Soils". *Journal of Environmental Management*, **117**, 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.057>
- Pitt, R., S-E. Chen, S. E. Clark, J., 2002. "Compacted Urban Soils Effects on Infiltration and Bioretention Stormwater Control Designs". *Global Solutions for Urban Drainage*, 1–21.
- Pitt, R., S-E. Chen, S. E. Clark, J. Swenson and C. K. Ong, 2008. "Compaction's Impacts on Urban Storm-Water Infiltration". *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **134**(5), 652–658.
- Rusdi, M., R. Roosli, and M. S. S. Ahmad, 2015. "Land Evaluation Suitability for Settlement Based on Soil Permeability, Topography and Geology Ten Years After Tsunami in Banda Aceh, Indonesia". *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, **18**(2), 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.04.002>
- SNI., 2004. *Tata cara pengukuran laju infiltrasi di lapangan menggunakan infiltrometer cincin ganda dengan cincin dalam tertutup.*
- Sun, D., H. Yang, D. Guan, M. Yang, J. Wu, F. Yuan, Y. Zhang, 2018. "The Effects of Land Use Change on Soil Infiltration Capacity in China: A meta-analysis". *Science of the Total Environment*, **626**, 1394–1401. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.104>
- U. I., 2017. "Prioritas Pengembangan Kawasan Permukiman pada Wilayah Rawan Banjir di Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat". *Majalah Ilmiah Globe*, **19**(1), 83. <https://doi.org/10.24895/mig.2017.19-1.537>
- U. S. E. P. A., 2013. "Protecting Water Quality from Urban Runoff". *EPA 841-F-03-003*.
- Vinay, A. and H. Yadav, 2015. "Study and Comparison of Soil Compaction Between Laboratory and Field to Simulate Field Compaction for Rural Roads". *International Research Journal of Engineering and Technology*, **2**(4), 2086–2092. <https://www.irjet.net/archives/V2/i4/Irjet-v2i4336.pdf>
- Walker, R., S. Perz, M. Caldas, L. Guilherme, and T. Silva, 2002. "Land Use and Land Cover Change in Forest Frontiers: The Role of Household Life Cycles".

International Regional Science Review. **25**(2), 169-199.
<https://doi.org/10.1177/016001760202500202>

Wallace, C. D., R. T. Bailey and M. Arabi, 2015. "Rainwater Catchment System Design Using Simulated Future Climate Data". *Journal of Hydrology*, **529**, 1798–1809.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.08.006>

Zhang, J. and R. C. Peralta, 2019. "Estimating Infiltration Increase and Runoff Reduction Due to Green Infrastructure". *Journal of Water and Climate Change*, **10**(2), 237–242. <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.354>

PENGENDALIAN KERUSAKAN AKIBAT SUNGAI DAN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI

Andy Ikhvan¹, Mas Mera²

¹Mahasiswa Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: andy.van3867@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: mas_mera@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

Most of the land in the West Sumatra Province is in the hills and mountains. As a result, the rivers in this region have a relatively steep-average slope which results in high flow rates and tends to damage which is in turn disasters in the region. This research focuses on grouping significant variables in relation to river-damage control and watershed management based on the results of previous studies. For this reason, the discussion is grouped into three categories, namely: watershed management; flood risk management; and river-damage control. The present study results show that the most influential thing in watershed management is the environmental aspect of the river. Meanwhile the most influential in flood risk management is to build structures to reduce the risk, and the most influential in river-damage control is climate change and land use. To get optimal results, integrated efforts need to be made from these three categories.

Keywords : river-damage control, watershed, disaster mitigation, climate change, land use

ABSTRAK

Sebagian besar daratan di Provinsi Sumatera Barat berada di daerah perbukitan dan pegunungan. Akibatnya, sungai-sungai di wilayah ini mempunyai kemiringan rata-rata yang relatif curam sehingga menghasilkan kecepatan aliran yang tinggi dan cenderung merusak yang berakhir pada bencana di wilayah ini. Penelitian ini diarahkan pada pengelompokan variabel-variabel yang signifikan dalam kaitannya dengan pengendalian kerusakan akibat sungai dan pengelolaan daerah aliran sungai berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya. Untuk itu, pembahasan dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu: pengelolaan daerah aliran sungai; pengelolaan risiko banjir; dan pengendalian kerusakan akibat sungai. Hasil studi menunjukkan bahwa hal yang paling berpengaruh dalam pengelolaan daerah aliran sungai adalah aspek lingkungan sungai. Sementara itu yang paling berpengaruh dalam pengelolaan risiko banjir adalah membangun struktur untuk mengurangi risikonya. dan yang paling berpengaruh dalam hal pengendalian kerusakan akibat sungai adalah perubahan iklim dan tata-guna lahan. Untuk mendapatkan hasil yang optimal perlu dilakukan usaha terpadu dari ketiga kategori tersebut.

Kata Kunci : Pengendalian kerusakan akibat sungai, daerah aliran sungai, risiko bencana, perubahan iklim, tata-guna lahan.

1. PENDAHULUAN

Strategi pengelolaan sungai yang berbeda menghasilkan dampak yang berbeda pada sistem sungai itu. Hal ini juga bergantung pada bagaimana masa depan mengungkap fenomena alam yang terjadi, seperti adanya perubahan iklim yang berdampak pada sistem navigasi, kerusakan akibat banjir (*flood damages*) dan perubahan morfologi sungai. Dampak akan dievaluasi secara berbeda oleh orang-orang memiliki cara pandang berbeda tentang pengelolaan sungai, dan apa yang dianggap dapat diterima sekarang mungkin menjadi tidak dapat diterima di masa depan (Offermans dan Valkering, 2016).

Sebelum tahun 1990, upaya pengelolaan sungai sebagian besar difokuskan pada modifikasi fisik yang dipimpin oleh orang-orang yang terlatih dalam ilmu teknik klasik, yang mana orang-orang ini memiliki niat baik walaupun dengan sedikit atau tanpa pelatihan formal. Tidak ada standar restorasi sungai profesional, kecuali untuk gelar teknik. Keahlian khusus yang digunakan dalam restorasi sungai didasarkan pada kombinasi teori dasar ditambah pengalaman lapangan selama bertahun-tahun (MacBroom dan Milone, 2011). Meningkatnya ilmu pengetahuan dan teknologi telah banyak mengungkap hal-hal yang belum terselesaikan pada masa lalu, sehingga paradigma dalam pengelolaan sungai juga berubah sesuai dengan perkembangan saat ini (Watson dkk, 2002).

Fenomena alam seperti perubahan iklim yang terjadi akhir-akhir ini dan perubahan tata-guna lahan akibat meningkatnya laju pertumbuhan penduduk serta deforestasi untuk daerah pemukiman, pertanian, pertambangan dan pemanfaatan kayu sebagai bahan kebutuhan manusia menjadi pemicu timbulnya bencana banjir, longsor serta aliran debris akibat aliran sungai (Cheng dkk, 2003).

Hal di atas sangat menarik dibahas oleh para peneliti sejak 30 tahun terakhir berkaitan dengan pengelolaan sungai dan bencana yang ditimbulkannya (Brookes, 1995). Dalam mereduksi kerusakan yang terjadi akibat bencana yang timbul dari perubahan kondisi alam yang terjadi, para peneliti, para pengelola sungai dan pembuat keputusan berupaya mempelajari dari segala disiplin ilmu untuk membuat pembaruan dalam pengelolaan sungai, serta mitigasi (Birkland dkk, 2003) yang diperlukan dan pengelolaan risiko yang akan terjadi (Zoltay dkk, 2010). Oleh karena itu, studi yang sekarang ini ditekankan kepada topik pengelolaan kerusakan akibat sungai (*river-damage control*) berserta isu yang terkait dengan melakukan klasifikasi terhadap artikel-artikel dari beberapa penelitian dan buku terkait topik yang telah dipublikasikan di skala Internasional. Tinjauan ini bertujuan untuk mendapatkan pengertian yang lebih baik dan detail terhadap topik ini guna mendapatkan ‘celah’ untuk penelitian lebih lanjut.

2. METODOLOGI

Banyak penelitian yang sudah dilakukan baik secara empiris maupun teoritis terkait isu kerusakan akibat sungai (*river damages*), tetapi pembahasan inti permasalahan relatif sama sesuai kondisi lingkungan dan lokasi objek penelitian. Untuk mendapatkan benang merah dari topik yang dibahas, maka dilakukan pengelompokan berdasarkan beberapa

kategori dengan variabel pengaruh: efek hidrolik, perubahan morfologi sungai, dan mitigasi lingkungan. Para peneliti yang banyak membahas variabel tentang terjadinya kerusakan pada konstruksi bangunan karena efek hidrolik seperti Perdikaris dkk (1987), Nagata dkk (2005), Carvalho dan Martins (2009), Kim dkk (2010), MacWilliams dkk (2010), Bao dan Zhao (2011), Ghobadian and Meratifashi (2012), Hariri-Ardebili (2019), Reeve dkk (2019) dan Sunik dkk (2019). Kemudian kerusakan akibat adanya perubahan morfologi sungai dibahas oleh seperti Dhiaksa dkk (n.d.), Chin (1999), Birkland dkk (2003), Parker dkk (2003), Martín-Vide dan Andreatta (2006), Chartrand dkk (2011), Chiu dkk (2014), Harada dkk (2018) dan Parsapour-Moghaddam dan Rennie (2018). Selain itu ada peneliti yang memperhatikan upaya mitigasi kerusakan lingkungan seperti Nagata dkk (2005), Zhang dan Singh (2005), Vanoni (2006), Lin dkk (2008) dan Radspinner dkk (2010).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Para peneliti terdahulu seperti Parker dkk (2003), Martín-Vide dan Andreatta (2006), Lin dkk (2008), Liu dkk (2011), Chiu dkk (2014), Piton dan Recking (2016a), dan Chen dkk (2017) banyak mengungkapkan yang berkaitan dengan kerusakan akibat sungai adalah terjadinya perubahan morfologi sungai, terutama menyangkut keseimbangan dasar sungai, khususnya pada sungai-sungai di daerah pegunungan yang memiliki kemiringan dasar sungai yang curam. Selanjutnya, untuk sungai-sungai yang umumnya berada di daerah yang lebih datar pembahasan lebih difokuskan kepada permasalahan pengelolaan banjir pada bantaran sungai dan angkutan sedimen seperti yang dilakukan peneliti Birkland dkk (2003), Cheng dkk (2003), Zhang dan Singh (2005), Wu dkk (2005), Vanoni (2006), MacWilliams dkk (2010), Radspinner dkk (2010), dan Gong dkk (2011). Secara umum konsep pengelolaan sungai didefinisikan oleh beberapa peneliti dalam dua katagori yaitu pengelolaan berkaitan dengan daerah aliran sungainya sendiri dan pengelolaan dampak yang akan timbul, serta mengantisipasi risiko yang terjadi.

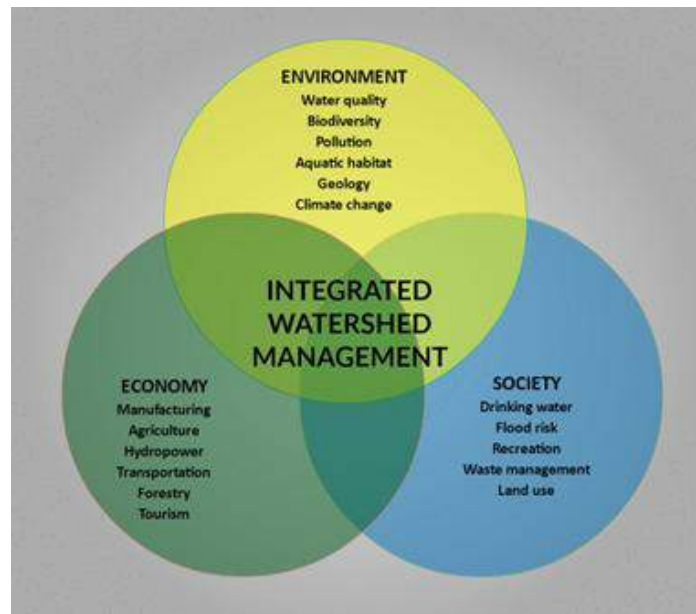
3.1 Pengelolaan Daerah Aliran Sungai

Menurut Zoltay dkk (2010) dan Montgomery dkk (1995), pengelolaan daerah aliran sungai (*watershed management*) mengintegrasikan antara beberapa elemen yang terdapat pada lingkungan, sosial-masyarakat, kegiatan ekonomi dalam sebuah sistem daerah aliran sungai (DAS), termasuk pengelolaan sumber air tanah dan permukaan, sistem pengolahan dan distribusi air, permintaan dan kebutuhan manusia, pengolahan limbah dan sistem pengumpulan, fasilitas penggunaan air kembali, infrastruktur distribusi air baku untuk pertanian dan bisnis manufaktur, penyimpanan akuifer dan fasilitas isi ulang, curahan hujan, penggunaan lahan, serta transportasi. Selanjutnya Watson dkk (2002) mengusulkan bahwa paradigma baru dalam pengelolaan daerah aliran sungai adalah dengan menghitung seluruh variabel lingkungan yang berpengaruh dalam daerah aliran sungai secara terintegrasi dan menganalisisnya termasuk perubahan tata-guna lahan yang terjadi. Oleh karena adanya perubahan alam (perubahan iklim, bentang alam) atau akibat perilaku manusia (perubahan tata-guna lahan) ataupun keduanya dalam sebuah daerah aliran sungai maka pengelolaan daerah aliran sungai tidak hanya mencakup perubahan karakteristik kedua hal di atas tapi juga melakukan

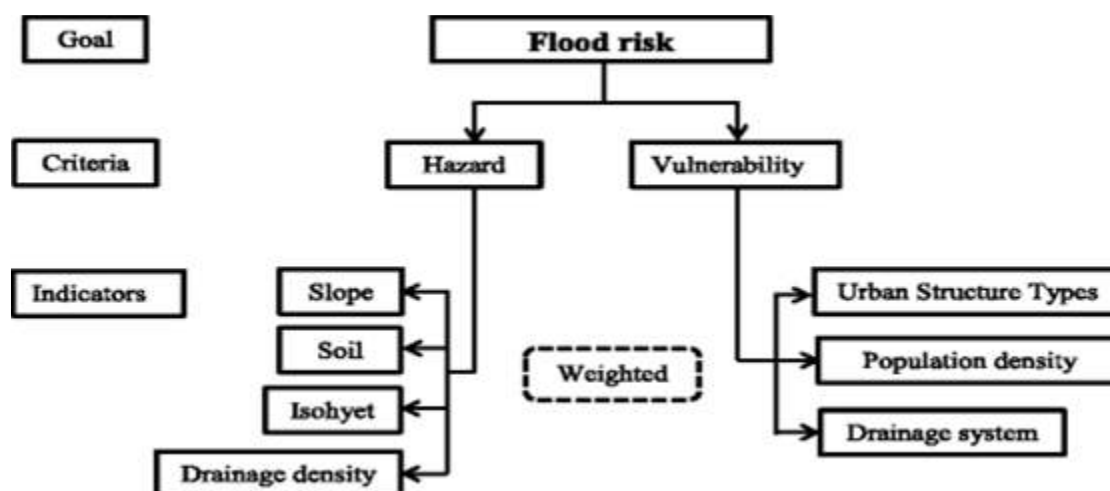
mitigasi akibat perubahan yang terjadi (Cheng dkk, 2003). Secara umum konsep pengelolaan DAS dapat digambarkan seperti pada Gambar. 1.

3.2 Pengelolaan Risiko Banjir

Pengelolaan risiko banjir (*flood risk management*) adalah kegiatan yang dapat menentukan penggunaan struktur pengurangan risiko banjir seperti bendungan, tanggul/tembok banjir, dan bypass yang sesuai, pembuatan peraturan bangunan, pemeriksaan banjir, pengelolaan penggunaan lahan, membuat sistem informasi publik, kegiatan penyadaran dan rencana tindakan darurat yang berdampak kepada penurunan risiko. Secara kolektif, hal tersebut mampu mengurangi risiko keselamatan jiwa, dan mempromosikan penggunaan lahan dataran banjir secara bijak untuk pertumbuhan ekonomi dan peningkatan ekosistem dan lingkungan (Davis, 2013). Konsep dari pengelolaan risiko bencana yang diakibatkan oleh sungai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 30. Konsep pengelolaan daerah aliran sungai



Gambar 2. Konsep pengelolaan risiko banjir

3.3 Pengendalian Kerusakan Akibat Sungai

Pada umumnya kerusakan akibat sungai (*river damages*) adalah kerusakan yang timbul karena banjir (*flood damages*), aliran sedimen/debris dan longsor pada sungai sehingga mengakibatkan rusaknya lingkungan di sekitar sungai yang menimbulkan kerugian serta mengancam kehidupan manusia akibat aktifitas manusia itu sendiri pada lingkungan di sekitar atau adanya fenomena alam seperti; perubahan iklim (Cheng dkk, 2003). Untuk mengendalikan kerusakan tersebut maka upaya yang telah dilakukan oleh banyak professional di bidang ini adalah dengan melakukan perlindungan dan restorasi bantaran banjir ke kondisi alamiah dengan membangun bangunan sungai serta dengan cara non-struktural (Shabman, 1994). Sebagian besar pekerjaan restorasi pada akhirnya memiliki tujuan memperbaiki kondisi ekologis, tetapi seringkali melibatkan modifikasi fisik pada sungai untuk membentuk pola aliran namun hasilnya berdampak pada lingkungan sungai (Kondolf dan Downs, 2004). Topik ini cukup menarik dibahas lebih lanjut mengingat Sumatera Barat merupakan provinsi yang mempunyai banyak sungai dengan topografi daerah pegunungan yang sangat rentan terjadinya bencana banjir, aliran debris ('galodo' dalam bahasa daerah Minang) serta longsor akibat sungai. Pembahasan yang lebih detail pada topik ini sangat bermanfaat dalam memitigasi kerugian atau korban jiwa akibat bencana yang timbul serta mereduksi biaya dan kerusakan lingkungan.

3.4 Identifikasi Konsep Keilmuan Pada Topik Pengendalian Kerusakan Akibat Sungai

Prinsip dasar mengendalikan kerusakan akibat sungai adalah mengendalikan banjir, aliran debris, longsor dengan mempertimbangkan perlindungan pada bantaran banjir, jalur transportasi serta sarana-prasarana yang berada di kawasan aliran sungai dengan membuat stabilisasi alur sungai, dimana upaya ini tidak hanya saat aliran banjir saja tetapi juga pada saat aliran normal (Wu dkk, 2005). Dari pembahasan di atas dapat dilihat ada banyak konsep keilmuan yang dapat dikembangkan sesuai paradigma pengelolaan sungai yang berbasis pada kelestarian lingkungan yang berkelanjutan.

Perpaduan penanganan secara teknik dan lingkungan berdasarkan pada nilai ekonomi yang diperoleh menjadi landasan penting dalam pengelolaan sungai, hal ini agar investasi yang dilakukan lebih bernilai ekonomis dan ramah lingkungan. Konsep teknik pengendalian daerah aliran sungai (*watershed management technique*) dapat dikembangkan menjadi *flood plain restoration*, *flood proofing engineering*, dan *land use restoration*. *Flood plain restoration* dapat pula dikembangkan menjadi *river training and ecological engineering*, *bank protection and risk reduction*, *flood control eco-engineering*, dan *river-flood management*. Sementara itu *flood proofing engineering* dapat pula diuraikan menjadi *flood channel restoration*, *hydraulic evaluation of river engineering*, dan *technique of levee stability*. Bidang *land use restoration* dapat pula dikembangkan menjadi *slope protection and mitigation*, *land slide analysis and forecasting*, dan *river-bed engineering*.

4. KESIMPULAN

Hasil studi menunjukkan bahwa hal yang paling berpengaruh dalam pengelolaan daerah aliran sungai adalah aspek lingkungan sungai. Sementara itu yang paling berpengaruh dalam pengelolaan risiko banjir adalah membangun struktur untuk mengurangi risikonya. dan yang paling berpengaruh dalam hal pengendalian kerusakan akibat sungai adalah perubahan iklim dan tata-guna lahan. Untuk mendapatkan hasil yang optimal perlu dilakukan usaha terpadu dari ketiga kategori tersebut.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bao, H. J. and L. N. Zhao, 2011. "Hydraulic Model with Roughness Coefficient Updating Method Based on Kalman Filter for Channel Flood Forecast". *Water Science and Engineering*, **4**(1), 13–23. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2011.01.002>
- Birkland, T. A., R. J. Burby, D. Conrad, H. Cortner and W. K. Michener, 2003. "River ecology and flood hazard mitigation". *Natural Hazards Review*, **4**(1), 46–54. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2003\)4:1\(46\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:1(46))
- Brookes, A., 1995. "Challenges and Objectives for Geomorphology in U. K". *River Management*, **20**, 593–610.
- Carvalho, R. F. and R. Martins, 2009. "Stepped Spillway with Hydraulic Jumps: Application of a Numerical Model to a Scale Model of a Conceptual Prototype". *Journal of Hydraulic Engineering*, **135**(7), 615–619. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000042](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000042)
- Chartrand, S. M., M. Jellinek, P. J. Whiting, and J. Stamm, 2011. "Geometric Scaling of Step-Pools in Mountain Streams: Observations and Implications". *Geomorphology*, **129**(1–2), 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.01.020>
- Chen, X., J. Chen, W. Zhao, Y. Li and Y. You, 2017. "Characteristics of a Debris-Flow Drainage Channel with a Step-Pool Configuration". *Journal of Hydraulic Engineering*, **143**(9). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001352](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001352)

- Cheng, J., H. Wu, J. Hwang, C. Hsieh and K. N. Brooks, 2003. *Watershed Management for Mitigation of Disasters Caused by Extreme Hydrologic and Tectonic Events in Taiwan*.
- Chin, A., 1999. "The Morphologic Structure of Step-Pools in Mountain Streams". *Geomorphology*, **27**(3-4), 191-204. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(98\)00083-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(98)00083-X)
- Chiu, C.-L., C.-M. Fan and S.-C. Tshung, 2014. "Numerical Modeling for Periodic Oscillation of Free Overfall in a Vertical Drop Pool". *Journal of Hydraulic Engineering*, **139**(July), 04016035. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY)
- Davis, D. W., 2013. "Sustainable Flood Risk Management". *World Environmental and Water Resources Congress 2013: Showcasing the Future - Proceedings of the 2013 Congress*, 2665-2677.
- Dhiaksa, A., W. Candraqarina, B. Penelitian, P. Rawa, P. Litbang, S. Daya, n.d. *Evaluasi Desain Sekat Kanal Tipe Drainpile di Sei Ahas Kalimantan Tengah*.
- Ghobadian, R. and E. Meratifashi, 2012. "Modified Theoretical Stage-Discharge Relation for Circular Sharp-Crested Weirs". *Water Science and Engineering*, **5**(1), 26-33. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2012.01.003>
- Gong, Z., C. K. Zhang, C. B. Zuo and W. D. Wu, 2011. "Sediment Transport Following Water Transfer from Yangtze River to Taihu Basin". *Water Science and Engineering*, **4**(4), 431-444. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2011.04.007>
- Harada, E., H. Ikari, Y. Shimizu, A. Khayyer and H. Gotoh, 2018. "Numerical Investigation of the Morphological Dynamics of a Step-and-Pool Riverbed Using DEM-MPS". *Journal of Hydraulic Engineering*, **144**(1), 1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001392](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001392)
- Hariri-Ardebili, 2019. "Anatomy of the Vibration Characteristics in Old Arch Dams by Random Field Theory". *Engineering Structures*, **179**(January), 460-475. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.10.082>
- Kim, J. S., C. J. Lee, W. Kim and Y. J. Kim, 2010. "Roughness Coefficient and its Uncertainty in Gravel-bed River". *Water Science and Engineering*, **3**(2), 217-232. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2010.02.010>
- Kondolf, G. M. and P. Downs, 2004. "Learning from River Restoration Projects". *World Water and Environmental Resources Congress*, Salt Lake City, Utah, United States. <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40737%282004%29428>
- Lin, B. S., C. H. Yeh and H. P. Lien, 2008. "The Experimental Study for the Allocation of Ground-sills Downstream of Check Dams". *International Journal of Sediment Research*, **23**(1), 28-43. [https://doi.org/10.1016/S1001-6279\(08\)60003-7](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(08)60003-7)
- Liu, H. X., Z. Y. Wang, G. A. Yu and K. Zhang, 2011. "Experimental Study on Evolution of Bed Structures of Natural Mountain Rivers". *Water Science and Engineering*, **4**(2), 192-203. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2011.02.007>

- MacBroom, J. G. and P. E. Milone, 2011. “World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability”, *Proceedings of the 2011 World Environmental and Water Resources Congress*, 2613–2617.
- MacWilliams, M. L., M. R. Tompkins, R. L. Street, G. M. Kondolf and P. K. Kitanidis, 2010. “Assessment of the Effectiveness of a Constructed Compound Channel River Restoration Project on an Incised Stream”. *Journal of Hydraulic Engineering*, **136**(12), 1042–1052. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000196](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000196)
- Martín-Vide, J. P. and A. Andreatta, 2006. “Disturbance Caused by Bed Sills on the Slopes of Steep Streams”. *Journal of Hydraulic Engineering*, **132**(11), 1186–1194
- Montgomery, D. R., G. E. Grant and K. Sullivan, 1995. “Watershed Analysis As a Framework for Implementing Ecosystem Management”. *JAWRA - Journal of the American Water Resources Association*, **31**(3), 369–386. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1995.tb04026.x>
- Nagata, N., T. Hosoda, T. Nakato and Y. Muramoto, 2005. “Three-Dimensional Numerical Model for Flow and Bed Deformation Around River Hydraulic Structures”. *Journal of Hydraulic Engineering*, **131**(12), 1074–1087. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2005\)131:12\(1074\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2005)131:12(1074))
- Offermans, A. and P. Valkering, 2016. “Socially Robust River Management: Role of Perspective Dependent Acceptability Thresholds”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, **142**(2), 1–9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000615](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000615)
- Parker, G., C. M. Toro-Escobar, M. Ramey and S. Beck, 2003. “Effect of Floodwater Extraction on Mountain Stream Morphology”. *Journal of Hydraulic Engineering*, **129**(11), 885–895. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2003\)129:11\(885\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:11(885))
- Parsapour-Moghaddam, P. and C. D. Rennie, 2018. “Calibration of a 3D Hydrodynamic Meandering River Model Using Fully Spatially Distributed 3D ADCP Velocity Data”. *Journal of Hydraulic Engineering*, **144**(4), 1–14. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001424](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001424)
- Perdikaris, B. P. C., A. M. Asce, A. M. Calomino and A. Chudnovsky, 1987. “Specimens were Tested under 4-point Bending, and the Crack Lengths were Calibrated from Compliance Measurements of the Crack-Mouth-Opening Displacement (CMOD) in a Series of Static Tests of Beams with a Midspan Precast Notch (5, 29, 31)”. *The fatigu*. **112**(8), 776–791.
- Piton, G., and A. Recking, 2016a. “Design of Sediment Traps with Open Check Dams. I: Hydraulic and Deposition Processes”. *Journal of Hydraulic Engineering*, **142**(2), 1–16. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001048](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001048)
- Radspinner, R. R., P. Diplas, A. F. Lightbody and F. Sotiropoulos, 2010. “River Training and Ecological Enhancement Potential Using In-stream Structures”. *Journal of Hydraulic Engineering*, **136**(12), 967–980. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000260](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000260)

- Reeve, D. E., A. A. Zuhaira and H. Karunarathna, 2019. “Computational Investigation of Hydraulic Performance Variation with Geometry in Gabion Stepped Spillways”. *Water Science and Engineering*, **12**(1), 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.04.002>
- Shabman, L., 1994. “Responding to the 1993 Flood: The Restoration Option”, *JCWRE - Journal of Contemporary Water Research and Education*, **95**(1), 26-30. <https://opensiuc.lib.siu.edu/jcwre/vol95/iss1/5/>
- Sunik, Rispiningtati, V. Dermawan, W. Soetopo and L. M. Limantara, 2019. “Modeling of Sequent Depth Ratio for Hydraulic Jump Under Sluice Gate Using Baffle Block and Sill”. *International Journal of GEOMATE*, **16**(53), 47–52. <https://doi.org/10.21660/2019.53.25467>
- Vanoni, V. A. (Ed), 2006. *Sedimentation Engineering*. 418p. <https://doi.org/10.1061/9780784408230>
- Watson, L. T., V. K. Lohani, D. F. Kibler, R. L. Dymond, N. Ramakrishnan and C. A. Shaffer, 2002. “Integrated Computing Environments for Watershed Management”. *Journal of Computing in Civil Engineering*, **16**(4), 259–268. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2002\)16:4\(259\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2002)16:4(259))
- Wu, B., G. Wang, J. Ma and R. Zhang, 2005. “Case Study: River Training and its Effects on Fluvial Processes in the Lower Yellow River, China”. *Journal of Hydraulic Engineering*, **131**(2), 85–96. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2005\)131:2\(85\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2005)131:2(85))
- Zhang, L. and V. P. Singh, 2005. “Frequency Analysis of Flood Damage”. *Journal of Hydrologic Engineering*, **10**(2), 100–109. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2005\)10:2\(100\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2005)10:2(100))
- Zoltay, V. I., R. M. Vogel, P. H. Kirshen and K. S. Westphal, 2010. “Integrated Watershed Management Modeling: Generic Optimization Model Applied to the Ipswich River Basin”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, **136**(5), 566–575. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000083](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000083)

ANALISIS INDEKS KEKERINGAN METODE KEETCH BYRAM DROUGHT INDEX (KBDI), STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI), DAN TEORI RUN DI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) KAMPAR PROVINSI RIAU

Novreta Ersyi Darfia¹, Widdya Rahmalina²

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Abdurrah

Email : novreta@univrab.ac.id

²Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Abdurrah

Email : widdya.rahmalina@univrab.ac.id

ABSTRACT

Drought is a phenomenon that often occurs and causes disasters in various regions in Indonesia. The impact of drought occurs in various sectors, especially agriculture, plantations, forestry, water resources, and the environment. Information on the potential for drought is needed for prevention or mitigation to reduce the negative impacts caused. Riau Province is one of the regions in Indonesia that lies on the equator where the temperature caused by the heat of the sun's rays is higher and longer when compared to areas far from the equator. This study analyzes the drought index in the Kampar watershed in Riau Province using three calculation methods, namely the Keetch Byram Drought Index (KBDI), the Standardized Precipitation Index (SPI), and the Run Theory. The drought index of the KBDI method results that the drought in the Kampar watershed is dominated by the "Medium" nature of 55%. "Extreme" drought only happened 2 (two) times, namely in July 2014 and July 2015. Analysis of the drought by the SPI method gives the result that in the Kampar watershed the drought is dominated by the "Normal" nature of 78.33%. "Extreme Dry" drought only happened once July 2015. The Theory Run method drought index results that the longest drought duration in the Kampar watershed is 35 (thirty five) months, from December 2012 to October 2015. While the largest number of droughts is 3223.6 mm which occurred in October 2015.

Keywords : drought index, Kampar watershed, KBDI, SPI, Run Theory

ABSTRAK

Kekeringan merupakan fenomena yang sering terjadi dan menimbulkan bencana di berbagai daerah di Indonesia. Dampak kekeringan terjadi pada berbagai sektor terutama pertanian, perkebunan, kehutanan, sumberdaya air, dan lingkungan. Informasi mengenai potensi kekeringan sangat diperlukan untuk pencegahan ataupun penanggulangan untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan. Provinsi Riau adalah salah satu daerah di Indonesia yang terletak pada garis khatulistiwa dimana temperatur yang diakibatkan panas sinar matahari lebih tinggi dan lebih lama bila dibandingkan dengan daerah yang jauh dari garis khatulistiwa. Penelitian ini melakukan analisis indeks kekeringan di DAS Kampar yang berada di Provinsi Riau dengan menggunakan tiga metode perhitungan, yaitu Keetch Byram Drought Index (KBDI), Standardized Precipitation Index (SPI), dan Teori Run. Indeks kekeringan metode KBDI menghasilkan bahwa kekeringan di DAS Kampar didominasi oleh sifat "Sedang" yaitu sebesar 55%. Kekeringan "Ekstrim" hanya terjadi

sebanyak 2 (dua) kali yaitu pada Juli 2014 dan Juli 2015. Analisis kekeringan dengan metode SPI memberikan hasil bahwa di DAS Kampar kekeringan didominasi oleh sifat “Normal” yaitu sebesar 78,33%. Kekeringan “Ekstrim Kering” hanya terjadi 1 (satu) kali yaitu pada Juli 2015. Indeks kekeringan metode Teori Run menghasilkan bahwa durasi kekeringan terpanjang di DAS Kampar adalah selama 35 (tiga puluh lima) bulan yaitu dari Desember 2012 hingga Oktober 2015. Sedangkan jumlah kekeringan terbesar adalah 3223,6 mm yang terjadi pada Oktober 2015.

Kata Kunci : indeks kekeringan, DAS Kampar, KBDI, SPI, Teori Run

1. PENDAHULUAN

Kekeringan merupakan fenomena yang sering terjadi dan menimbulkan bencana di berbagai daerah di Indonesia. Kekeringan berhubungan dengan keseimbangan antara kebutuhan dan pasokan air untuk berbagai keperluan. Dampak kekeringan terjadi pada berbagai sektor terutama pertanian, perkebunan, kehutanan, sumberdaya air, dan lingkungan.

Informasi mengenai potensi kekeringan sangat diperlukan untuk pencegahan ataupun penanggulangan untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan (Aprilliyanti, 2017). Tingkat kekeringan suatu daerah dapat diketahui dengan menghitung indeks kekeringannya. Indeks kekeringan merupakan suatu perangkat utama untuk mendeteksi, memantau, dan mengevaluasi kejadian kekeringan karena indeks kekeringan dapat menyederhanakan keterkaitan kompleks antara parameter iklim dan parameter lainnya. Indeks membuat informasi tentang anomali iklim lebih mudah untuk disampaikan kepada khalayak pengguna yang beragam dan memungkinkan para ilmuwan untuk menilai secara kuantitatif anomali iklim dalam hal intensitas, durasi, tingkat spasial, dan frekuensi (Anzar, 2014).

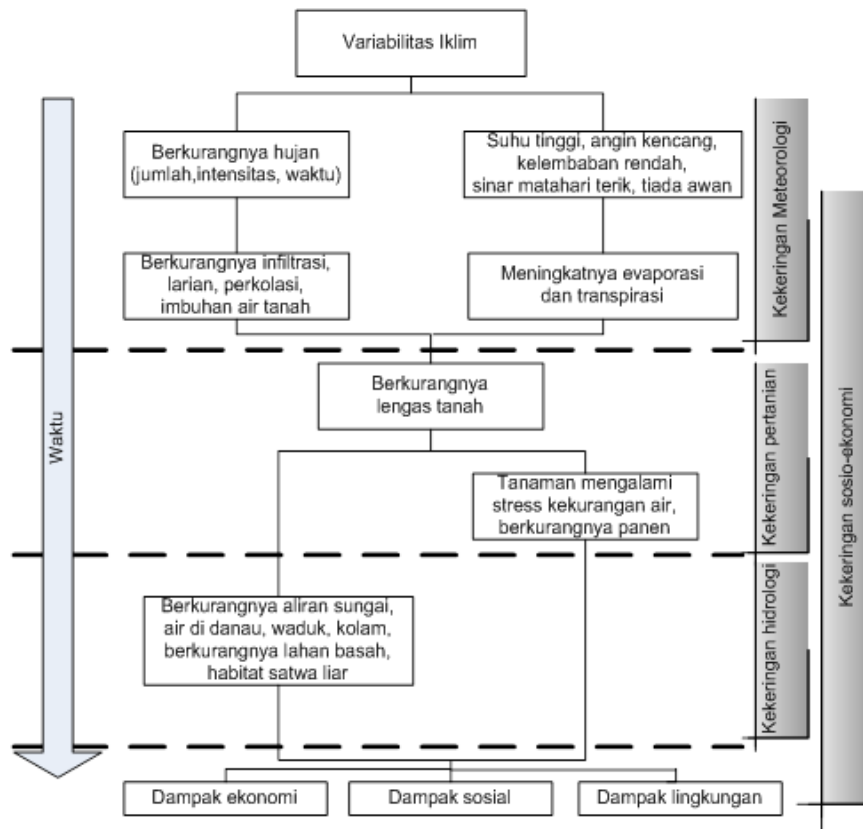
Provinsi Riau adalah salah satu daerah di Indonesia yang terletak pada garis khatulistiwa dimana temperatur yang diakibatkan panas sinar matahari lebih tinggi dan lebih lama bila dibandingkan dengan daerah yang jauh dari garis khatulistiwa. Provinsi Riau merupakan salah satu provinsi yang rawan kebakaran di Indonesia yang mengalami kejadian kebakaran hutan dan lahan setiap tahunnya. Kerusakan hutan di Riau merupakan yang paling menjadi sorotan di Indonesia bahkan dunia. Berdasarkan deteksi Satelit NOAA 18 Tahun 2013, terlihat bahwa Provinsi Riau memiliki titik hotspot yang lebih besar dibandingkan provinsi lain di Indonesia. Setiap tahunnya Riau menghasilkan kabut yang disebabkan kebakaran hutan dan lahan (Darfia, 2016).

Penelitian ini melakukan analisis indeks kekeringan di DAS Kampar yang berada di Provinsi Riau dengan menggunakan tiga metode perhitungan, yaitu Keetch Byram Drought Index (KBDI), Standardized Precipitation Index (SPI), dan Teori Run. Ketiga metode ini akan dianalisa untuk mengetahui karakteristik masing-masing metode. Diharapkan dari penelitian ini dapat memberikan informasi tambahan yaitu tentang kondisi kekeringan yang terjadi di DAS Kampar guna mendukung dalam manajemen pola pemanfaatan lahan serta dapat membantu untuk kepentingan perencanaan (desain) di DAS Kampar.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Definisi Kekeringan

Kekeringan adalah kekurangan curah hujan dari biasanya atau kondisi normal bila terjadi berkepanjangan sampai mencapai satu musim atau lebih panjang akan mengakibatkan ketidakmampuan memenuhi kebutuhan air yang dicanangkan. Hal ini akan menimbulkan dampak terhadap ekonomi, sosial, dan lingkungan alam. Setiap kekeringan berbeda dalam intensitas, lama, dan sebaran ruangnya. Gambar 1 menggambarkan peranan hujan dalam memicu kekeringan yang berdampak luas pada kehidupan masyarakat pada khususnya dan negara pada umumnya.



Gambar 1. Kekeringan Meteorologi, Pertanian, Hidrologi, dan Sosio-Ekonomi

(sumber: National Drought Mitigation Center (NDMC), 2006)

2.2 Indeks Kekeringan

Indeks kekeringan merupakan suatu perangkat utama untuk mendeteksi, memantau, dan mengevaluasi kejadian kekeringan. Kekeringan memiliki karakter multi-disiplin yang membuat tidak adanya sebuah definisi yang dapat diterima oleh semua pihak di dunia. Demikian pula tidak ada sebuah indeks kekeringan yang berlaku universal (Niemeyer, 2008).

2.3 Keetch Byram Drought Index (KBDI)

Indeks kekeringan adalah jumlah yang mewakili pengaruh bersih (net) evapotranspirasi dan presipitasi dalam menghasilkan defisiensi kelembaban kumulatif pada serasah tebal atau lapisan tanah bagian atas. Indeks kekeringan merupakan jumlah yang berkaitan dengan daya nyala (flammability) bahan-bahan organik pada tanah (Keetch & Byram, 1968).

Tabel 1. Klasifikasi Skala Nilai KBDI (Keetch & Byram, 1968)

Nilai KBDI	Kategori
0 - 999	Rendah
1000 - 1499	Sedang
1500 - 1749	Tinggi
1750 - 2000	Ekstrim

2.4 Standardized Precipitation Index (SPI)

Standardized Precipitation Index (SPI) merupakan indeks kekeringan yang banyak digunakan untuk mengkarakterisasi kekeringan meteorologis, yang dikembangkan oleh McKee et al pada tahun 1993. Metode ini merupakan metode yang mengukur kekurangan/defisit curah hujan pada berbagai skala waktu berdasarkan kondisi normalnya. Pada rentang waktu yang singkat, SPI berkaitan erat dengan kelembaban tanah, sementara pada rentang waktu yang lebih panjang, SPI dapat dihubungkan dengan air tanah dan waduk.

Tabel 2. Klasifikasi Skala Nilai SPI (Mckee, 1993)

Nilai SPI	Kategori
≥ 2.00	Ekstrim Basah
1.50 - 1.99	Sangat Basah
1.00 - 1.49	Basah
-0.99 - 0.99	Normal
-1.00 - -1.49	Kering
-1.5 - -1.99	Sangat Kering
≤ -2.00	Ekstrim Kering

2.5 Teori Run

Prinsip perhitungan teori run mengikuti proses peubah tunggal (univariate), seri data, $X(t,m)$, dari peubah hidrologi dalam hal ini hujan bulan m dan tahun ke t . Dengan menentukan rata-rata curah hujan jangka panjang sebagai median, $Y(m)$, maka dapat dihasilkan peubah baru dengan cara mengurangkan seri data dengan median yaitu (Departemen PU, 2004) :

- a. run positif, disebut surplus.
- b. run negatif, disebut defisit.

3. HASIL, ANALISA DATA, DAN PEMBAHASAN

Data curah hujan merupakan komponen utama dalam menganalisa indeks kekeringan. Data yang diperlukan adalah data seri dengan panjang data yang cukup panjang. Pada penelitian ini, data hujan yang digunakan adalah data hujan yang berasal dari 11 (sebelas) stasiun hujan yang berada di sekitar lokasi penelitian. Stasiun hujan tersebut yaitu Stasiun Batu Bersurat, Stasiun Gema, Stasiun Kemang, Stasiun Koto Baru, Stasiun Lipat Kain, Stasiun Lubuk Ogung, Stasiun Muara Lembu, Stasiun Pantai Raja, Stasiun Pasar Kampar, Stasiun Silam, dan Stasiun Sorek. Panjang data hujan yang digunakan adalah selama 15 (lima belas) tahun yaitu dari tahun 2004 hingga tahun 2018.

Analisis indeks kekeringan KBDI (*Keetch Byram Drought Index*), selain memerlukan data hujan juga memerlukan data suhu. Pada lokasi penelitian hanya terdapat 2 (dua) stasiun klimatologi yaitu Stasiun Koto Baru dan Stasiun Pasar Kampar. Sama halnya dengan data hujan, panjang data suhu yang digunakan adalah selama 15 (lima belas) tahun yaitu dari tahun 2004 hingga tahun 2018.

3.1 Indeks Kekeringan Metode KBDI

Perhitungan indeks kekeringan metode KBDI menghasilkan indeks kekeringan harian pada lokasi penelitian. Perhitungan dimulai ketika hujan selama satu minggu berjumlah 150 – 200 mm (Keetch & Byram, 1968). Setelah didapat indeks kekeringan harian, dihitung indeks kekeringan bulanan yaitu dengan mencari rataannya. Skala yang dihasilkan dari perhitungan KBDI ini di antara 0 sampai dengan 2000.

Indeks kekeringan KBDI dan sifat kekeringan KBDI pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut.

Tabel 3. Indeks Kekeringan KBDI DAS Kampar

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sep	Okt	Nov	Des
2004	541,3	666,8	1059,4	940,8	1143,9	1601,3	1432,2	1560,9	1652,1	1190,3	818,0	542,5
2005	980,4	1483,4	1294,9	1111,9	1206,6	1352,4	1351,7	1404,5	1346,3	1125,5	886,5	1061,4
2006	672,6	1131,0	1361,2	1169,2	1186,3	1241,6	1522,9	1656,4	1240,4	1514,4	951,5	627,3
2007	789,4	1159,3	1149,0	895,1	1008,6	1181,9	1500,8	1405,9	1015,9	822,7	1021,6	987,4
2008	1227,6	1175,9	586,3	890,9	1445,6	1407,8	1432,9	1530,2	930,3	983,4	1067,3	1223,3
2009	1249,7	1272,4	1103,4	1028,5	1410,5	1649,5	1516,6	1454,2	1327,7	1233,1	820,5	661,6
2010	724,0	987,5	1128,1	988,6	1359,8	1460,5	1026,8	997,2	1117,1	1383,7	1358,5	1093,1
2011	977,6	1081,2	1241,0	1243,0	1178,6	1401,7	1697,3	1489,4	1388,5	1192,0	992,8	893,0
2012	1345,4	1141,5	1312,8	1227,7	1390,0	1551,7	1428,6	1602,0	1383,5	1157,9	821,9	921,6
2013	1254,8	1323,3	1524,0	1605,5	1578,7	1558,1	1516,2	1431,1	1491,0	1505,5	1369,7	1427,3
2014	1384,8	1531,4	1567,5	1487,2	1427,3	1633,5	1775,5	1728,0	1677,0	1629,9	1404,7	1287,5
2015	1304,6	1368,4	1375,6	1169,4	1366,0	1514,5	1783,1	1678,7	1726,3	1705,9	942,0	768,0
2016	1158,9	1413,0	1639,7	1676,7	1559,1	1525,9	1588,6	1610,7	1585,6	1469,0	1057,0	1202,7
2017	1550,1	1529,3	1308,5	1440,2	1339,8	1505,0	1586,0	1575,2	1491,8	1581,3	1208,8	1365,9
2018	1480,8	1663,0	1400,7	1401,5	1598,8	1640,6	1637,1	1652,9	1640,4	1323,4	1182,2	1170,3

Tabel 4. Sifat Kekeringan KBDI DAS Kampar

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
2004	RENDAH	RENDAH	SEDANG	RENDAH	SEDANG	TINGGI	SEDANG	TINGGI	TINGGI	SEDANG	RENDAH	RENDAH
2005	RENDAH	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	RENDAH	SEDANG
2006	RENDAH	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	TINGGI	TINGGI	SEDANG	TINGGI	RENDAH	RENDAH
2007	RENDAH	SEDANG	SEDANG	RENDAH	SEDANG	SEDANG	TINGGI	SEDANG	SEDANG	RENDAH	SEDANG	RENDAH
2008	SEDANG	SEDANG	RENDAH	RENDAH	SEDANG	SEDANG	SEDANG	TINGGI	RENDAH	RENDAH	SEDANG	SEDANG
2009	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	TINGGI	TINGGI	SEDANG	SEDANG	SEDANG	RENDAH	RENDAH
2010	RENDAH	RENDAH	SEDANG	RENDAH	SEDANG	SEDANG	SEDANG	RENDAH	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG
2011	RENDAH	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	TINGGI	SEDANG	SEDANG	SEDANG	RENDAH	RENDAH
2012	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	TINGGI	SEDANG	TINGGI	SEDANG	SEDANG	RENDAH	RENDAH
2013	SEDANG	SEDANG	TINGGI	TINGGI	TINGGI	TINGGI	TINGGI	SEDANG	SEDANG	TINGGI	SEDANG	SEDANG
2014	SEDANG	TINGGI	TINGGI	SEDANG	SEDANG	TINGGI	EKSTRIM	TINGGI	TINGGI	TINGGI	SEDANG	SEDANG
2015	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG	TINGGI	EKSTRIM	TINGGI	TINGGI	TINGGI	RENDAH	RENDAH
2016	SEDANG	SEDANG	TINGGI	TINGGI	TINGGI	TINGGI	TINGGI	TINGGI	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG
2017	TINGGI	TINGGI	SEDANG	SEDANG	SEDANG	TINGGI	TINGGI	TINGGI	SEDANG	TINGGI	SEDANG	SEDANG
2018	SEDANG	TINGGI	SEDANG	SEDANG	TINGGI	TINGGI	TINGGI	TINGGI	TINGGI	SEDANG	SEDANG	SEDANG

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa pada lokasi penelitian mengalami 4 (empat) kondisi kekeringan yaitu “Rendah”, “Sedang”, “Tinggi” dan “Ekstrim” dengan intensitas yang berbeda. Kondisi kekeringan “Rendah” terjadi sebanyak 17,22%, kekeringan “Sedang” sebanyak 55%, kekeringan “Tinggi” sebanyak 26,67%, dan kekeringan “Ekstrim” terjadi sebanyak 1,11%. Terlihat bahwa di DAS Kampar dari tahun 2004 sampai dengan tahun 2018 didominasi tingkat kekeringan “Sedang”. Dapat terlihat juga bahwa KBDI minimum bernilai 541,3 dan KBDI maksimum bernilai 1783,1. Kekeringan “Ekstrim” terjadi sebanyak 2 (dua) kali yaitu pada bulan Juli 2014 dan 2015, sedangkan kekeringan “Rendah” paling banyak terjadi antara bulan November hingga bulan Januari, dan kekeringan “Tinggi” paling banyak terjadi antara bulan Juni hingga bulan Agustus.

3.2 Indeks Kekeringan Metode SPI

Indeks kekeringan SPI dan sifat kekeringan SPI pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut.

Tabel 5. Indeks Kekeringan SPI DAS Kampar

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
2004	0,327	0,749	0,281	0,835	0,119	-0,419	0,550	-0,082	-0,253	0,588	0,471	0,865
2005	-0,081	-0,423	0,540	-0,039	0,738	0,070	0,859	0,322	0,420	0,612	0,282	0,078
2006	1,250	0,602	-0,464	0,467	0,247	1,202	-0,516	0,093	-0,054	-0,069	0,504	0,899
2007	0,881	0,720	0,185	1,100	0,950	1,087	0,608	0,303	1,066	1,255	-0,066	0,206
2008	0,516	0,103	1,764	0,698	-0,561	0,557	0,336	0,689	1,122	0,539	-0,043	-0,426
2009	0,291	0,595	0,777	0,441	-0,133	0,355	0,465	0,526	0,211	0,455	0,606	1,370
2010	1,066	0,697	0,676	0,663	0,058	0,966	1,543	1,293	0,867	-0,660	-0,277	0,221
2011	1,112	-0,216	-0,118	0,707	0,384	0,225	-0,564	0,357	0,168	0,717	0,057	0,412
2012	-0,743	1,109	-0,226	0,139	0,154	-0,723	0,469	0,091	-0,039	0,571	0,646	-0,009
2013	-1,022	-0,865	-1,060	-1,542	-0,768	-0,689	-0,362	-0,551	-0,760	-0,811	-1,492	-1,384
2014	-1,139	-1,790	-1,358	-1,304	-0,638	-1,908	-1,119	-0,615	-1,397	-1,293	-1,160	-0,717
2015	-0,936	-1,187	0,036	-0,846	-0,784	-0,848	-2,098	-0,802	-1,789	-1,441	0,168	-0,027
2016	-0,823	-1,120	-1,512	-1,629	-0,417	-1,051	-0,124	-1,517	-0,420	-1,077	-0,290	-1,791
2017	-0,263	0,320	0,183	0,067	0,652	0,573	-0,163	0,455	0,639	-0,443	0,263	0,066
2018	-0,467	0,056	0,208	-0,124	-0,016	-0,046	-0,094	-0,184	-0,151	0,719	0,080	0,068

Tabel 6. Sifat Kekeringan SPI DAS Kampar

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
2004	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2005	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2006	Basah	Normal	Normal	Normal	Normal	Basah	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2007	Normal	Normal	Normal	Basah	Normal	Basah	Normal	Normal	Basah	Basah	Normal	Normal
2008	Normal	Normal	angat Basa	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Basah	Normal	Normal	Normal
2009	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Basah
2010	Basah	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	angat Basa	Basah	Normal	Normal	Normal	Normal
2011	Basah	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2012	Normal	Basah	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2013	Kering	Normal	Kering	angat Kering	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	angat Kering	Kering
2014	Kering	angat Kering	Kering	Kering	Normal	angat Kering	Kering	Normal	Kering	Kering	Kering	Normal
2015	Normal	Kering	Normal	Normal	Normal	Normal	ekstrim Kering	Normal	angat Kering	Kering	Normal	Normal
2016	Normal	Kering	angat Kering	angat Kering	Normal	Kering	Normal	angat Kering	Normal	Kering	Normal	angat Kering
2017	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2018	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal

Metode SPI menghasilkan 7 (tujuh) skala sifat yaitu ekstrim basah, sangat basah, basah, normal, kering, sangat kering, dan ekstrim kering. Tidak hanya memperhitungkan kekeringan, metode SPI juga memperhitungkan kebasahan.

Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa pada lokasi penelitian, sifat kekeringan metode SPI bervariasi dari sangat basah hingga ekstrim kering. Tidak terdapat sifat ekstrim basah. Sifat “Sangat Basah” terjadi 1,11%, “Basah” 6,67%, “Normal” 78,33%, “Kering” 8,33%, “Sangat Kering” 5%, dan “Ekstrim Kering” 0,56%. Dapat disimpulkan bahwa Metode SPI di lokasi penelitian didominasi oleh sifat “Normal”. Sifat “Ekstrim Kering” hanya terjadi 1 (satu) kali yaitu pada bulan Juli 2015.

3.3 Indeks Kekeringan Metode Teori Run

Berbeda dengan indeks kekeringan KBDI dan SPI yang memiliki klasifikasi sifat kekeringan, indeks kekeringan metode Teori Run menghasilkan durasi kekeringan terpanjang dan jumlah kekeringan terbesar. Durasi kekeringan terpanjang dan jumlah kekeringan terbesar pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8 berikut.

Tabel 7. Durasi Kekeringan Terpanjang Metode Teori Run

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
2004	0	0	0	0	1	2	0	1	2	0	0	0
2005	1	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
2006	0	0	1	0	0	0	1	2	3	4	0	0
2007	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
2008	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2
2009	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	3
2011	0	1	2	0	0	0	1	2	3	0	0	0
2012	1	0	1	0	0	1	0	1	2	0	0	1
2013	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2014	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
2015	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	0	0
2016	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2017	13	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
2018	2	3	0	1	2	0	1	2	3	0	0	1

Tabel 8. Jumlah Kekeringan Terbesar Metode Teori Run

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	42,8	0,0	44,7	90,9	0,0	0,0	0,0
2005	28,7	75,5	0,0	28,2	0,0	12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6
2006	0,0	0,0	83,1	0,0	0,0	0,0	53,0	73,3	95,9	121,8	0,0	0,0
2007	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	11,0	0,0
2008	0,0	0,5	0,0	0,0	53,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,3	84,1
2009	0,0	0,0	0,0	0,0	21,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2010	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	80,2	128,2	129,3
2011	0,0	19,9	50,6	0,0	0,0	0,0	57,4	60,5	64,1	0,0	0,0	0,0
2012	96,1	0,0	46,0	0,0	0,0	50,5	0,0	20,2	42,8	0,0	0,0	1,4
2013	114,6	175,8	305,7	458,8	527,6	576,4	610,9	665,1	748,7	833,3	986,6	1145,5
2014	1251,9	1364,7	1510,7	1636,2	1681,9	1778,2	1859,7	1925,6	2046,7	2155,6	2282,0	2382,4
2015	2480,5	2562,6	2567,4	2658,9	2713,6	2768,2	2887,5	2966,5	3097,6	3223,6	0,0	0,0
2016	91,5	182,6	344,1	497,1	523,8	594,2	619,5	731,1	788,2	904,5	932,5	1112,9
2017	1159,6	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	27,1	0,0	0,0	63,7	0,0	12,7
2018	91,8	100,2	0,0	12,3	13,7	0,0	31,6	69,5	105,4	0,0	0,0	1,1

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa durasi kekeringan terpanjang di DAS Kampar adalah 35 (tiga puluh lima) bulan yang terjadi mulai dari Desember 2012 hingga Oktober 2015. Sedangkan jumlah kekeringan terbesar adalah 3223,6 mm yang terjadi pada Oktober 2015.

4. KESIMPULAN

Dari analisis indeks kekeringan yang telah dilakukan menggunakan 3 (tiga) metode perhitungan yaitu metode KBDI, metode SPI, dan metode Teori Run di DAS Kampar, didapatkan kesimpulan antara lain:

1. Indeks kekeringan metode KBDI menghasilkan bahwa kekeringan di DAS Kampar didominasi oleh sifat “Sedang” yaitu sebesar 55%. Kekeringan “Ekstrim” hanya terjadi sebanyak 2 (dua) kali yaitu pada Juli 2014 dan Juli 2015.
2. Analisis kekeringan dengan metode SPI memberikan hasil bahwa di DAS Kampar kekeringan didominasi oleh sifat “Normal” yaitu sebesar 78,33%. Kekeringan “Ekstrim Kering” hanya terjadi 1 (satu) kali yaitu pada Juli 2015.
3. Indeks kekeringan metode Teori Run menghasilkan bahwa durasi kekeringan terpanjang di DAS Kampar adalah selama 35 (tiga puluh lima) bulan yaitu dari Desember 2012 hingga Oktober 2015. Sedangkan jumlah kekeringan terbesar adalah 3223,6 mm yang terjadi pada Oktober 2015.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2004. *Perhitungan Indeks Kekeringan Menggunakan Teori Run*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Anzar, Lisa Arnita. 2014. *Kajian Keandalan Indeks Kekeringan Berbasis Parameter Meteorologi terhadap Indeks Kekeringan Berbasis Parameter Hidrologi (Studi Kasus : DAS Citarum)*. Tesis, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Aprilliyanti, Titi., Zainuddin, Muhammad. 2017. *Pemetaan Potensi Kekeringan Lahan se-pulau Batam menggunakan Teknik Sistem Informasi Geografis (SIG) dan Penginderaan Jauh*. Majalah Geografi Indonesia Vol. 31, No.1, Maret 2017 (91-94)
- Darfia, Novreta Ersyi., Kusuma, M. Syahril Badri., dan Kuntoro, Arno Adi. Analisis Indeks Kekeringan di DAS Rokan Provinsi Riau Menggunakan Data CFSR. *Jurnal Rab Construction Research*, Volume 1, No 2, Desember 2016.
- Keetch, J. J. Byram. 1988. *A Drought Index for Forest Control*. US Department of Agriculture Forest Science Southeastern Forest Experiment Station Asheville. North Carolina.
- Keetch, J. J., and G. M. Byram. 1968. *A Drought Index for Forest Fire Control*. USDA Forest Service Research Paper SE-38.
- McKee, Thomas B, Nolan J and John Kleist. 1993. *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*. Eight Conference on Applied Climatology. California.
- National Drought Mitigation Center. 2006. *What Is Drought*. USA.
- Niemeyer, Stefan. 2008. *New Drought Indices*. Institute for Environment and Sustainability. Italy.

ANALISIS EFEKTIFITAS BANGUNAN PENGAMAN PANTAI TERHADAP ABRASI (STUDI KASUS PANTAI KOTA PADANG)

Muhammad Fauzi¹ Nelvi Andesi²

¹Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNIB, Bengkulu. Email:
fauzi70_ros@[yahoo.com](mailto:fauzi70_ros@yahoo.com)

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, UNIB Jl. W.R Supratman Kandang Limun,
Bengkulu. Email: nelviandesi@gmail.com

ABSTRACT

Padang City Beach is located in the West Padang Subdistrict, which is along the purus to the arau stem. The characteristics of the Padang city coast facing the Indian Ocean make Padang city beach have a high vulnerability to waves and beach abrasion. The purpose of this study was to determine the amount of abrasion that occurred on the coast of the city of Padang with the construction of a beach that has been built a long time ago. The research method is primary data collection in the form of direct wave measurements, secondary data is wind data for the last 10 years (2009-2018) and tidal data for 5 years (2014-2018). The results of the GENESIS program run in 2019-2022 the maximum abrasion value that occurred was -4.74 meters and the maximum sedimentation rate was 6.50 meters. It can be concluded that the rate of abrasion and sedimentation on the coast of the City of Padang has a balanced value, so that the safety building in the form of revetments and groynes on the Padang City Beach functions effectively in dealing with abrasion on the Padang coast.

Keywords: *Padang Beach, Abrasion, Revetment, Groin, Genesis.*

ABSTRAK

Pantai Kota Padang terletak di Kecamatan Padang Barat yaitu sepanjang purus sampai batang arau. Karakteristik pantai kota Padang yang berhadapan dengan Samudra Hindia menjadikan Pantai kota Padang memiliki kerawanan yang tinggi terhadap gelombang dan abrasi pantai. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui besar abrasi yang terjadi di pantai kota padang dengan adanya bangunan pantai yang telah dibangun sejak lama. Metode penelitian yaitu pengumpulan data primer berupa pengukuran gelombang secara langsung, Data sekunder adalah data angin selama 10 tahun terakhir (2009-2018) dan data pasang surut selama 5 tahun (2014-2018). Hasil run program GENESIS tahun 2019-2022 nilai abrasi maksimum yang terjadi sebesar -4,74 meter dan laju sedimentasi maksimum 6,50 meter. Dapat kesimpulan bahwa laju abrasi dan sedimentasi di pantai Kota Padang memiliki nilai seimbang, sehingga bangunan pengaman yaitu berupa revetment dan groin di Pantai Kota Padang berfungsi dengan efektif dalam mengatasi abrasi di pantai padang.

Kata kunci: Pantai Padang, Abrasi, Revetment, Groin, Genesis.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Provinsi Sumatera Barat yaitu salah satu provinsi di Indonesia yang berada di Pulau Sumatera yang memiliki luas total wilayah 42.297,30 km². Provinsi Sumatera Barat memiliki garis pantai sepanjang 84 km. Daerah pantai dimanfaatkan oleh pemerintah Sumatera Barat untuk pengembangan serta pertumbuhan ekonomi masyarakat yang menjadikan pantai sebagai tempat wisata. Pantai Kota Padang terletak di kecamatan Padang Barat yang membentang dari daerah [Purus](#) hingga muara [Batang Arau](#). Pantai Kota Padang merupakan bagian dari perairan ekosistem laut dalam Samudera Hindia, sehingga Pantai Kota Padang memiliki kerawanan yang tinggi terhadap gelombang dan abrasi yang nantinya berpengaruh pada perubahan garis pantai (Istijono, 2014).

Pantai Kota Padang mengalami perubahan garis pantai 2-3,4 m dari tahun 1990-2010, penyebab utama proses perubahan garis Pantai Kota Padang adalah arus dan tinggi gelombang yang besar. Tinggi gelombang pantai yang besar menghasilkan kecepatan arus yang besar pula, sehingga material pantai mudah terangkut dan tergerus (Fajri dkk, 2012).

Upaya dalam pengamanan Pantai Kota Padang telah dimulai pada tahun 1968 sedangkan kegiatan fisiknya dimulai pada tahun 1969. Konsep dasar penanggulangan yang dijalankan adalah meredam pengaruh energi gelombang laut dengan pemasangan batu dan pasir di pantai yang terancam stabilitasnya sehingga tercapai kelancaran arus sedimentasi di perairan pantai secara alami. Bangunan pengamanan Pantai Kota Padang selama ini sudah bekerja dengan baik dalam mengatasi abrasi dan perubahan garis pantai, akan tetapi seperti yang kita lihat pada saat ini bangunan pengamanan Pantai Kota Padang sudah banyak mengalami kerusakan dan penurunan fungsi, salah satunya terjadinya keruntuhan material pada *revetment* dan *groin*.

Berdasarkan hal ini, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang analisis efektifitas bangunan pengamanan pantai terhadap abrasi (studi kasus di Pantai Kota Padang). Sehingga menjadi masukan dan pertimbangan bagi pemerintah dalam mengevaluasi kinerja bangunan pengamanan daerah pesisir Pantai Kota Padang.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s) di Pantai Kota Padang.
2. Bagaimana cara mengetahui laju abrasi 3 tahun yang akan datang di Pantai Kota Padang dengan menggunakan program GENESIS.
3. Bagaimana menganalisis efektifitas bangunan pengamanan pantai untuk menanggulangi abrasi di Pantai Kota Padang dengan menggunakan program GENESIS.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui tinggi gelombang signifikan (Hs) dan periode gelombang signifikan (Ts) di Pantai Padang Kota Padang
2. Mengetahui laju abrasi yang terjadi di Pantai Padang 3 tahun yang akan datang dengan menggunakan program GENESIS.
3. Menganalisis efektifitas Bangunan pengaman pantai terhadap penanggulangan abrasi di Pantai Padang Kota Padang dengan menggunakan program GENESIS.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Gelombang

Gelombang adalah pergerakan naik turunnya air laut disepanjang permukaan air yang membentuk kurva atau grafik sinusoidal Gelombang pantai umumnya gelombang yang dibangkitkan oleh angin (*Wind-generated waves*) dan secara periodik gelombang yang terjadi juga disebabkan karena pasang surut.

2.2 Gelombang Signifikan

Gelombang signifikan disebut juga sebagai gelombang *representatif* dimana gelombang ini digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan-bangunan pantai yang didapat dari hasil pilih tinggi dan periode gelombang individu (*individual wave*) yang mewakili suatu deretan (*spectrum*) gelombang.

2.3 Gelombang Pecah

Menurut Lalenoh (2016), apabila terdapat gelombang yang menjalar dari tempat yang dalam menuju ke tempat yang makin lama makin dangkal, pada suatu lokasi tertentu gelombang tersebut akan pecah.

2.4 Gelombang Laut Dalam Ekuivalen

Pemakaian gelombang ini untuk menetapkan tinggi gelombang yang mengalami refraksi, difraksi, dan transformasi lainnya.

$$H'_0 = K'x \quad K_r \quad x$$

$$H_0 \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- H'0 = Tinggi gelombang laut dalam ekuivalen
- H0 = Tinggi gelombang laut dalam
- K' = Koefisien refraksi
- Kr = Koefisien refraksi

2.5 Run-Up Gelombang

Besar koefisien nilai *Run-Up* didapatkan berdasarkan fungsi bilangan *irrebarren* .

$$I_r = \frac{\tan \theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{1/2}} \dots \dots \dots ($$

2)

Keterangan:

Ir = Bilangan *Irribaren*

Θ = Sudut kemiringan struktur

H = Tinggi gelombang di lokasi bangunan

Lo = Panjang gelombang di laut dalam

2.6 Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi (naik turunnya) muka air laut karena gaya tarik benda-benda di langit, terutama bulan dan matahari terhadap massa air laut di bumi. Elevasi puncak bangunan ditentukan oleh elevasi muka air pasang untuk mengurangi limpasan air, sementara kedalaman alur pelayaran dan perairan pelabuhan ditentukan oleh muka air surut. Gelombang besar yang datang ke pantai pada saat air pasang menyebabkan kerusakan pantai sampai jauh ke daratan (Triatmodjo, 1999).

2.7 Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah (Aprilia, 2018). Kecepatan angin diukur dengan anemometer, dan biasanya dinyatakan dengan knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui khatulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau $1 \text{ knot} = 1,852 \text{ km/jm} = 0,5 \text{ m/detik}$ lagi (Triadmodjo, 1999).

2.8 Fetch

fetch adalah jarak yang ditempuh oleh angin dari arah pembangkitan gelombang atau daerah pembangkitan gelombang.

$$\frac{F_{\text{eff}}}{\cos \alpha} = \frac{\sum X_i \cdot \cos \alpha_i}{\cos \alpha} \quad (3)$$

Keterangan:

F_{eff} = *Fetch* rata – rata efektif (Panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*).

α = Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Data Angin

Data kecepatan dan arah angin maksimum disajikan dalam pencatatan bulanan selama 10 tahun terakhir mulai dari tahun 2009-2018 yang bersumber dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Teluk Bayur. Hasil pencatatan arah angin maksimum untuk setiap tahunnya didominasi oleh angin yang bertiup dari utara (*Nort*).

3.2 Penentuan Persentase Angin Tiap Arah

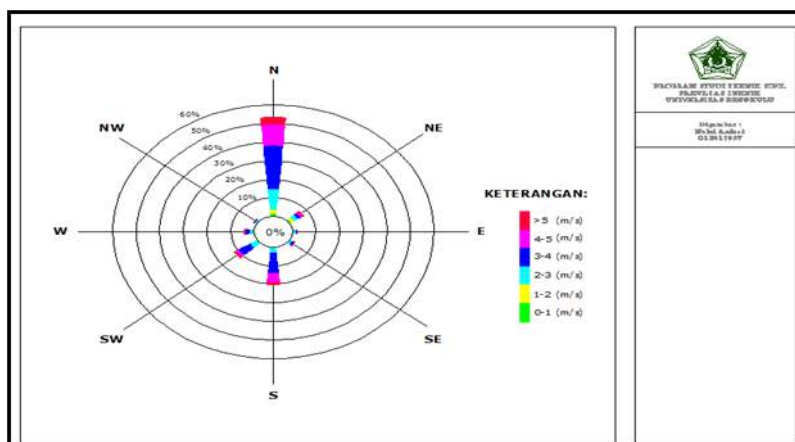
Perhitungan persentase angin tiap arahnya digunakan sebagai dasar pembuatan mawar angin. Mawar angin dapat mempermudah dalam pembacaan kecepatan dan arah angin dominan yang terjadi. Hasil lengkap perhitungan data persentase kejadian angin dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 21. Penentuan Persentase Angin Tiap Arah

Direction	North	North-East	East	South-East	South	South-West	West	North-West
$0 \leq ws < 1$	1.369%	0.630%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
$1 \leq ws < 2$	1.752%	1.013%	0%	0%	0.027%	0.055%	0%	0%
$2 \leq ws < 3$	11.336%	1.670%	0.438%	0.520%	2.437%	2.766%	1.177%	0.383%
$3 \leq ws < 4$	23.521%	1.862%	0.602%	1.232%	10.926%	6.106%	1.725%	0.575%
$4 \leq ws < 5$	11.583%	1.150%	0.383%	0.301%	5.394%	1.643%	0.274%	0.219%
$ws \geq 5$	3.724%	0.657%	0.246%	0.110%	1.123%	0.602%	0.301%	0.164%

Sumber: Hasil Perhitungan Berdasarkan Data Angin, 2019.

Data angin beberapa tahun disajikan dalam bentuk tabel atau diagram yang disebut *wind rose* (Mawar angin). Gambar mawar angin seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Mawar Angin

Peramalan Tinggi Gelombang Signifikan (H_s) dan Periode Gelombang Signifikan (T_s) yang terjadi 10 tahun terakhir dapat kita lihat seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Penentuan Persentase Angin Tiap Arah

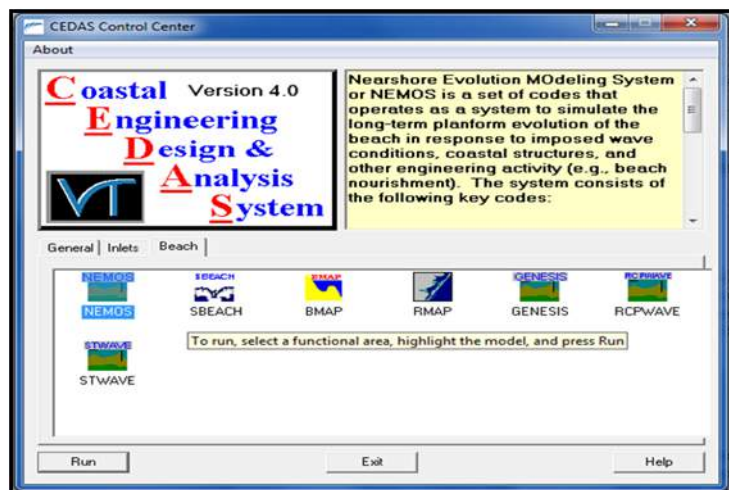
Tahun	Kec. Maksimal (m/s)	RL	UW (m/s)	UA (m/s)	H_s (m)	T_s (dtk)
-------	---------------------	----	----------	----------	-----------	-------------

2009	9	1,2	10,8	13,255	1,6	5,6
2010	8	1,23	9,84	11,821	1,45	5,45
2011	8	1,23	9,84	11,821	1,45	5,45
2012	18	1	18	24,845	2,9	6,9
2013	7	1,25	8,75	10,231	1,25	5,25
2014	8	1,23	9,84	11,821	1,45	5,45
2015	10	1,1	11	13,557	1,70	5,75
2016	8	1,23	9,84	11,821	1,45	5,45
2017	15	1,05	15,75	21,082	2,35	6,4
2018	7	1,25	8,75	10,231	1,25	5,25

Sumber : Hasil Perhitungan Berdasarkan Data BMKG,2019.

3.3 Prediksi Laju Abrasi Pantai Padang Menggunakan Program Genesis

Program Genesis yang digunakan pada penelitian ini adalah Genesis pada program CEDAS (*Coastal Engineering Design & Analysis System*), program Genesis adalah program yang menunjukkan posisi awal garis pantai dan posisi garis pantai setelah beberapa tahun dengan adanya bangunan pantai atau tanpa bangunan pelindung pantai. yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan Menu Cedas/Genesis

Program Genesis menggunakan asumsi dasar yang digunakan dalam perhitungan yaitu *one-line shoreline change model* (model perubahan garis pantai satu garis), Untuk dapat menggunakan Genesis, harus melewati beberapa tahapan seperti:

1. *Grid Generator*

Tahap input data batimetri pantai yang telah dibuat dalam bentuk format .xyz

2. *WWWL Data (Wind, Wave and Water Level Data)*

tahap ini data gelombang hasil dari analisa data angin satu tahun yaitu contoh pada tahun 2014 dimasukkan kedalam program *CEDAS/NEMOS/WWLL Data*.

3. *WISPH3*, dan *WSAV (Wave Station Analysis and Visualization)*.

3.4 Hasil Prediksi Pada Tahun 2019-2022

Hasil *output* diketahui nilai laju abrasi dan sedimentasi pantai yang terjadi, terlihat selisih dari perubahan koordinat melintang garis pantai berupa ada yang bernilai positif dan negative, dimana Positif Menunjukkan Sedimentasi dan negative menunjukkan abrasi dapat dilihat pada Gambar 3 tahun 2019-2022. Posisi garis pantai sangat dipengaruhi oleh abrasi, sehingga dapat dilihat perubahan garis Pantai Kota Padang pada tahun 2022 pada Gambar 4.

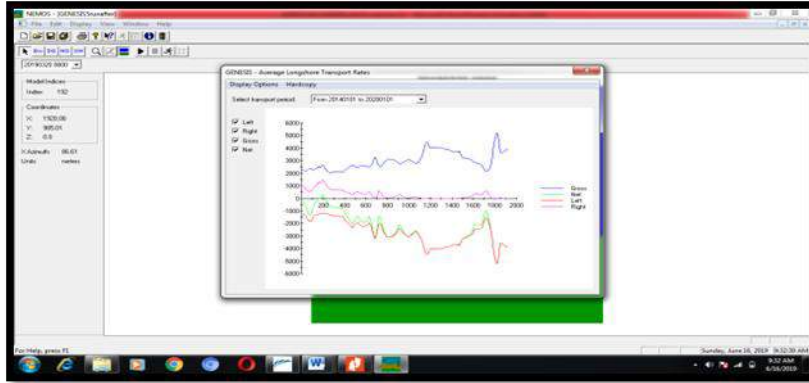
SHORELINE	CHANGE	AFTER	3 YEARS	=	26340	TIME	STEPS.	DATE	IS	20220101
0.00	0.60	1.01	1.37	1.61	1.26	1.07	-0.25	-0.63	-1.93	
-2.21	-2.19	-1.24	-1.55	-1.07	-1.58	-0.02	-0.83	-1.21	-0.13	
0.94	1.47	1.03	1.49	1.01	1.50	0.90	0.38	0.71	0.79	
0.41	0.16	-0.02	0.83	0.58	0.52	0.50	0.39	1.40	1.74	
1.92	1.09	1.50	1.46	1.16	1.03	1.17	0.08	-0.79	-1.35	
-0.81	-0.21	0.30	1.01	0.87	0.24	0.78	0.28	-0.17	-0.18	
0.36	-1.00	-0.27	2.06	2.02	2.56	3.20	2.03	-0.21	-2.57	
-3.98	-2.55	0.58	1.41	2.74	2.97	2.05	1.40	1.45	0.94	
0.74	-0.23	0.03	-0.61	-0.32	-1.00	-0.86	-1.61	-0.98	-1.62	
-0.94	0.62	1.03	1.35	1.48	0.97	0.88	0.64	0.30	0.63	
-0.84	-0.49	-0.27	-0.48	-0.20	-0.21	0.64	1.60	1.50	2.51	
1.30	2.57	2.62	2.92	2.58	1.59	0.98	-0.08	-1.60	-0.72	
-0.24	0.27	-0.24	0.22	-0.63	0.03	0.12	-0.34	0.17	-0.24	
-0.34	0.02	-0.68	-0.48	-0.21	0.25	-0.52	-0.67	-0.43	-0.27	
-0.38	-0.27	-0.20	-0.36	-0.46	-0.68	0.25	-1.42	-2.33	-1.15	
-1.05	-0.95	-1.05	-1.07	-0.62	-1.33	-0.96	-1.09	-1.69	-2.15	
-2.21	-0.88	-0.76	-1.02	-0.16	-0.55	-0.76	-0.90	-1.69	-2.58	
-0.83	0.58	1.82	4.24	4.57	5.42	5.70	6.50	6.40	3.82	
3.16	1.86	-1.70	4.74	3.76	-0.59	-0.57	-0.01	0.11	0.51	
-0.16	0.17	0.00								

Gambar 3. Hasil Laju Shoreline tahun 2019-2022

SHORELINE	POSITION	AFTER	3 YEARS	=	26340	TIME	STEPS.	DATE	IS	20220101
-180.34	-181.17	-181.99	-182.82	-183.65	-184.48	-185.32	-186.18	-187.06	-187.97	
-188.91	-189.89	-190.91	-191.98	-193.09	-194.24	-195.42	-196.63	-197.87	-199.11	
-200.35	-201.58	-202.79	-203.97	-205.12	-206.23	-207.31	-208.34	-209.32	-210.27	
-211.17	-212.03	-212.84	-213.62	-214.35	-215.03	-215.66	-216.24	-216.73	-217.19	
-217.60	-217.96	-218.26	-218.51	-218.71	-218.87	-218.99	-219.09	-219.15	-219.20	
-219.24	-219.26	-219.26	-219.26	-219.24	-219.21	-219.16	-219.08	-218.99	-218.86	
-218.71	-218.52	-218.29	-218.03	-217.73	-217.39	-217.02	-216.62	-216.18	-215.72	
-215.22	-214.69	-214.13	-213.53	-212.89	-212.21	-211.50	-210.74	-209.94	-209.11	
-208.26	-207.39	-206.51	-205.64	-204.77	-203.91	-203.07	-202.25	-201.44	-200.64	
-199.85	-199.06	-198.20	-197.38	-196.55	-195.70	-194.82	-193.91	-192.97	-192.01	
-191.01	-189.99	-188.92	-187.82	-186.66	-185.45	-184.17	-182.82	-181.37	-179.84	
-178.20	-176.47	-174.63	-172.71	-170.71	-168.64	-166.51	-164.36	-162.18	-160.00	
-157.82	-155.66	-153.51	-151.38	-149.28	-147.19	-145.12	-143.07	-141.03	-139.01	
-137.01	-135.03	-133.07	-131.12	-129.21	-127.32	-125.45	-123.62	-121.82	-120.04	
-118.31	-116.61	-114.95	-113.34	-111.77	-110.26	-108.81	-107.42	-106.07	-104.64	
-103.43	-102.30	-101.24	-100.25	-99.32	-98.47	-97.68	-96.97	-96.32	-95.74	
-95.23	-94.77	-94.37	-94.02	-93.71	-93.42	-93.14	-92.85	-92.54	-92.17	
-91.71	-91.16	-90.47	-89.62	-88.61	-87.40	-86.00	-84.42	-82.66	-80.76	
-78.74	-76.64	-74.50	-72.35	-70.21	-68.11	-66.05	-64.03	-62.04	-60.07	
-58.11	-56.15	-54.20								

Gambar 4. Shoreline Position tahun 2022

Grafik transport sedimen pantai yang di akibatkan oleh adanya abrasi dan sedimentasi tahun pada tahun 2022 dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik Laju Shoreline tahun 2022

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dalam penelitian ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan data BMKG dalam waktu 10 tahun 2009-2018, tinggi gelombang signifikan (H_s) terbesar adalah setinggi 2,9 meter dan periode gelombang signifikan terbesar adalah sebesar 6,9 detik.
2. Hasil dari run program Genesis pada tahun 2019-2022 dapat diketahui nilai abrasi maksimum sebesar -4,74 meter dari posisi awal garis pantai.
3. Hasil dari program Genesis menunjukkan bahwa abrasi dan sedimentasi yang terjadi adalah seimbang hal ini dibuktikan dengan nilai sedimentasi maksimum tahun 2019-2022 sebesar 6,50 meter dan abrasi maksimum sebesar -4,74 meter dari posisi awal garis pantai, sehingga perubahan garis pantai sangat kecil, oleh karena itu bangunan pengaman pantai padang yaitu *revetment* dan *groin* bekerja dengan efektif dalam mengatasi masalah abrasi di Pantai Kota Padang.

4.2 Saran

Saran yang dapat dikemukakan dalam melakukan simulasi laju abrasi dan sedimentasi pantai dengan menggunakan program Genesis antara lain, yaitu:

- a. Pengolahan data yang menjadi *input* dalam program Genesis diperlukan ketelitian, seperti data gelombang, *bathimetri* dan lainnya sebelum melakukan simulasi. Hal ini dikarenakan jumlah data yang banyak, sehingga apabila kurang teliti dalam pengolahan data *input* akan mengakibatkan hasil simulasi yang salah.
- b. Penggunaan program Genesis perlu dilakukan latihan simulasi secara berulang-ulang demi kelancaran penggunaan program pada saat melakukan simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggista D, 2018. *Analisis Bangunan Revetment terhadap tinggi gelombang di Pantai Berkas Kota Bengkulu*. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil. Bengkulu: Universitas Bengkulu.
- Aprilia, H.E., 2018. *Analisis Bangunan Pengaman Pantai (Groin) di Tapak Padri Bengkulu*. Skripsi. Teknik Sipil Universitas Bengkulu
- Chadwick, A., Fleming, C., dan Reeve, D., 2005. *Coastal Engineering: Process, Theory and Design Practice*. New York: Spon Press.
- Fajri dkk, 2012. *Simulasi Perubahan Garis Pantai Teluk Belitung Kabupaten Kepulauan Meranti Menggunakan Program Genesis*. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil. Pekanbaru. Universitas Riau.
- Istijono, B dkk., 2014. *Analisis Penilaian Kinerja Bangunan Pengaman Pantai Terhadap Abrasi di Kota Padang*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Andalas.
- Kakisna, 2009. Estimasi Efektifitas Penggunaan Groin untuk Mengatasi Erosi pada Kawasan Pesisir Pantai Utara Teluk Baguala Ambon. *Jurnal Teknologi. Volume 6, Nomor 2*.
- Lalenoh, L., Mamoto. J. D., Dundu, A. K. T. 2016. *Perencanaan Bangunan Pengamanan Pantai Pada Daerah Pantai Mangatasik Kecamatan Tombariri Kabupaten Minahasa, Jurnal Sipil Statik, Volume 4, No. 12*.
- Pemprov Sumatera Barat, 2018. *Geografi*. <https://sumbarprov.go.id/geografis/>.16 Februari 2019, 19:36 WIB.
- Triatmodjo, B., 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Allah SWT, atas ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Penulis menyadari penelitian ini tidak akan selesai tanpa usaha, doa, dukungan dan dorongan dari berbagai pihak. Semua teman-teman yang telah ikut andil dalam membantu penulis melakukan penelitian dan telah memberikan dukungan kepada penulis.

EVALUASI KINERJA DAERAH PENGALIRAN SUNGAI AIR BENGKULU MELALUI PENDEKATAN DEBIT PUNCAK MENGGUNAKAN HIDROGRAF SATUAN

Gusta Gunawan¹, Besperi², Putri Ersi Mareta³, Oki Kurniawan⁵, Rulintan⁵

¹Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Kota Bengkulu. Email: mgunawan42443@gmail.com

²Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Kota Bengkulu. Email: besperi@yahoo.com

^{3,4,5}Mahasiswa Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Kota Bengkulu. Email: putri_em@yahoo.com

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the method of calculating peak discharge in the Air Bengkulu River Basin. The data used are rainfall from various rain gauge stations found in DPS Air Bengkulu. The rain data was sourced from the Sumatra River Basin Region VII and the Bengkulu Province BMKG. The method for calculating peak discharge is calculated using 4 (four) unit hydrograph methods, namely Gama 1, Nakayasu, SCS and Snyder. The results showed that the peak discharge (Q_p) of the Air Bengkulu river using the four hydrographs was as follows the peak discharge of the HSS SCS method 960.92 m³ / sec, Nakayasu 995.87 m³ / sec, Snyder 1,026,151 m³ / sec and Gama 1 of 668.12 m³ / sec. The conclusion of this study is the peak discharge obtained from 4 (four) methods, namely Nakayasu, SCS, and Snyder and Gama 1 can be used to predict peak discharge in the Air Bengkulu River Basin. The difference in results obtained is influenced by the rain data used.

Keywords : Peak Discharge, Synthetic Unit Hydrograph, the Soil Conservation Service (SCS), Return Period

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi metode perhitungan debit puncak di Daerah Pengaliran Sungai Air Bengkulu. Data yang digunakan adalah curah hujan dari berbagai stasiun penakar hujan yang terdapat di DPS Air Bengkulu. Data hujan tersebut bersumber dari dari Balai Wilayah Sungai Sumatera VII dan BMKG Provinsi Bengkulu. Metode untuk menghitung debit puncak dihitung menggunakan 4 (empat) metode hidrograf satuan yaitu Gama 1, Nakayasu, SCS dan Snyder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit puncak (Q_p) sungai Air Bengkulu menggunakan keempat hidrograf tersebut adalah sebagai berikut debit puncak metode HSS SCS 960,92 m³/detik, Nakayasu 995,87 m³/detik, Snyder 1.026,151 m³/detik dan Gama 1 sebesar 668,12 m³/detik.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah debit puncak yang diperoleh dari 4(empat) metode yaitu Nakayasu, SCS, dan Snyder dan Gama 1 bisa digunakan untuk memprediksi debit puncak di DAS Air Bengkulu. Perbedaan hasil yang diperoleh dipengaruhi oleh data hujan yang digunakan.

Kata kunci : Debit Puncak, Hidrograf Satuan Sintetik, Soil Conservation Service (SCS), Snyder, Nakayasu, Air Bengkulu.

ABSTRAK

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana alam yang menempati posisi kedua setelah bencana angin puting beliung (Firmansyah, 2019). Bencana tersebut mengindikasikan terjadinya degradasi lingkungan terutama di bagian hulu DAS yang berfungsi sebagai daerah resapan air (Supangat, 2011) dan adanya alih fungsi lahan di DAS bagian tengah dan hilir yang tidak terkontrol.

Perubahan alih fungsi lahan dan curah hujan yang tinggi menimbulkan perubahan pada debit puncak yang terjadi. Debit puncak dapat dikatakan sebagai debit kritis yang menyebabkan banjir (Asdak C. , 2014). Debit puncak terjadi ketika seluruh aliran permukaan yang berada di Daerah Aliran Sungai (DAS) mencapai titik *outlet*.

Para peneliti menggunakan berbagai metode untuk melakukan pendugaan debit puncak salah satunya adalah menggunakan model matematis yaitu menggunakan hidrograf satuan sintesis (HSS). Jenis hidrograf yang dikembangkan oleh para peneliti juga banyak jenisnya. Adapun model hidrograf yang telah dikembangkan, diantaranya adalah hidrograf satuan sintesis (HSS) Gama I, Nakayasu, *Snyder*, SCS, ITB I dan ITB II (Natakusumah, 2014).

Para peneliti terdahulu yang telah menggunakan model hidrograf satuan sintesis tersebut dalam melakukan estimasi debit puncak di DAS Air Bengkulu, diantara para peneliti yang telah menggunakannya antara lain : Parinduri (2019) untuk menganalisis debit puncak sungai Air Bengkulu menggunakan HSS Nakayasu. Negara (2018) menggunakan HSS untuk menganalisis debit puncak air Bengkulu menggunakan HSS Gama 1 dan HSS Nakayasu. Dari berbagai model yang digunakan terdapat perbedaan dalam menghitung waktu puncak (T_p). Padahal data tentang waktu puncak juga dibutuhkan dalam manajemen resiko banjir. Adanya perbedaan hasil perhitungan debit puncak dan waktu puncak dari berbagai HSS yang telah diterapkan di sungai Air Bengkulu menyebabkan para pihak mengalami kesulitan dalam mengambil keputusan

Oleh karena itu, penelitian tentang estimasi debit puncak dan waktu puncak banjir perlu dilakukan secara terus menerus dengan berbagai metode sampai menghasilkan suatu model yang bisa mewakili kondisi sesungguhnya dari objek yang diteliti. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung mengevaluasi kinerja sungai Air Bengkulu melalui pendekatan debit puncak menggunakan HSS *Soil Conservation Service* (SCS), lalu membandingkannya dengan HSS Nakayasu dan HSS Snyder.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir

Banjir merupakan salah satu bencana yang kerap melanda saat musim penghujan tiba. Banjir adalah suatu kondisi dimana tidak tertampungnya air dalam saluran pembuangan atau bertambahnya aliran air di dalam saluran pembuangan. Banjir merupakan peristiwa alam yang dapat menimbulkan kerugian harta benda penduduk serta dapat menimbulkan korban jiwa.

Faktor penyebab banjir antara lain adalah perubahan guna lahan, pembuangan sampah, erosi dan sedimentasi, kawasan kumuh di sepanjang sungai, sistem pengendalian banjir yang tidak tepat, curah hujan tinggi, fisiografi sungai, kapasitas sungai yang tidak memadai, pengaruh air pasang, penurunan tanah, bangunan air, kerusakan bangunan pengendali banjir. (Kodoatie & Syarief, 2010) .

2.2 Hidrograf Satuan

Hidrograf satuan adalah hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan lebih (*exces rainfall*) yang terjadi merata diseluruh DPS (daerah pengaliran sungai), dengan intensitas tetap dalam satuan waktu (Departemen Pekerjaan Umum, 1999)

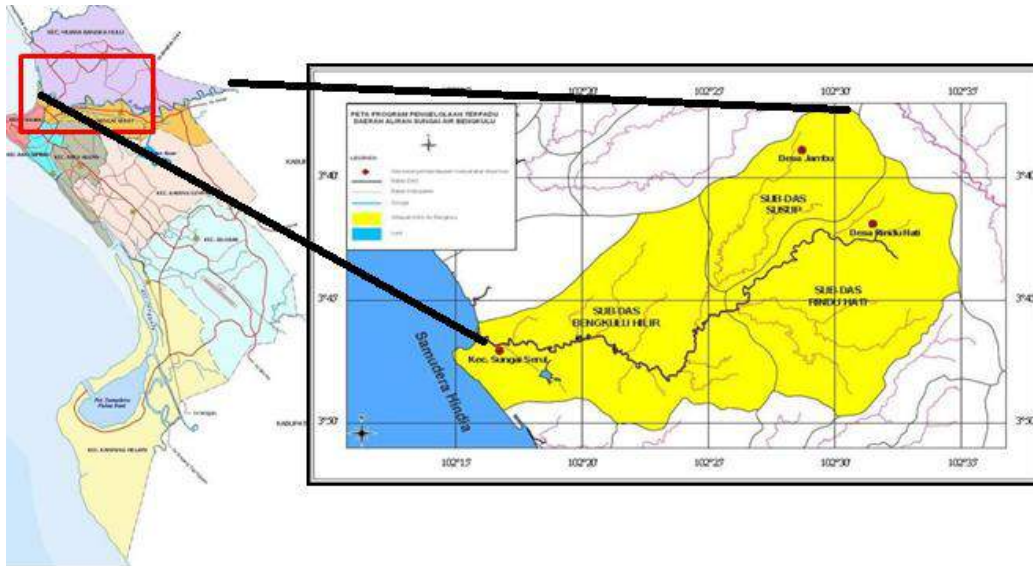
Hidrograf satuan sintetis telah digunakan oleh para ahli hidrologi untuk menghitung debit kritis atau debit puncak. Adapun model hidrograf yang telah dikembangkan, diantaranya adalah hidrograf satuan sintetis (HSS) Gama I, Nakayasu, *Snyder*, SCS, ITB I dan ITB II dan lain-lain (Natakusumah, 2014).

HSS SCS dikembangkan oleh Victor Mockus tahun 1950 untuk menyediakan bentuk standar hidrograf satuan yang menggunakan fungsi hidrograf tanpa dimensi. Koordinat hidrograf ini telah ditabelkan sehingga mempersingkat waktu untuk perhitungan hidrograf (Kawet dkk, 2013). Koordinat debit diekspresikan sebagai rasio antara debit q dengan debit puncak q_p dan absis waktu diekspresikan sebagai rasio waktu t dengan waktu puncak t_p , dimana waktu naik T_p dapat diekspresikan sebagai bagian dari waktu puncak t_p dan lamanya hujan efektif t_r .

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Secara geografis DAS Bengkulu terletak di bagian Utara Provinsi Bengkulu dengan koordinat geografis dari 5°40'02'' Lintang Selatan sampai 100°40'104'' Bujur Timur. Peta lokasi DAS Air Bengkulu dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 13. Lokasi Penelitian DAS Air Bengkulu

3.2 Metode Penelitian

3.2.1 Pengumpulan Data

Data-data yang akan dikumpulkan adalah data primer dan data sekunder. Data primer yang dikumpulkan berupa dimensi sungai seperti lebar, kedalaman dan kecepatan aliran. Data Sekunder yang dibutuhkan pada penelitian ini ialah peta DAS Air Bengkulu yang diperoleh dari BPDAS Bengkulu dan data Curah Hujan diperoleh dari Badan Wilayah Sungai Sumatera VII (BWSS VII) dan Badan Meterologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Provinsi Bengkulu.

3.3 Pengolahan Data.

Tahapan pelaksanaan pengolahan data penelitian dijelaskan pada sub bab berikut:

1. Data hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian tahun 2009-2018.
2. Perhitungan curah hujan harian maksimum rerata untuk tiap-tiap tahun data dengan metode *Partial Series*.
3. Parameter statistik yang dihitung yaitu Nilai rata-rata (\bar{X}), Deviasi standar (S_d), Koefisien kemencengan (C_s), Koefisien Kurtosis (C_k), dan Koefisien variasi (C_v).
4. Uji kecocokan sebaran menggunakan Chi-Kuadrat dan *Smirnov-Kolmogorov*, dengan kriteria pengujian:

Untuk Uji Chi-Kuadrat jika nilai f^2 Hitungan $< F^2$ cr (diterima).

Untuk Uji *Smirnov-Kolmogorov* jika nilai $D_{maks} < D_0$ kritis (diterima).

5. Menganalisis debit aliran dasar (*base flow*) digunakan persamaan sebagai berikut :

$$D = \frac{\text{Panjang Total Tingkat Sungai}}{\text{Luas DAS (A)}}$$

6. Analisis Hidrograf Satuan menggunakan parameter luas DAS (A), panjang sungai utama, panjang sungai ke pusat DAS (L_c), tinggi hujan satuan (R), durasi hujan satuan (T_r), koefisien waktu (C_t), koefisien manning (n).

7. Perhitungan *Time Lag* (t_p)

8. Perhitungan waktu puncak (T_p)

9. Perhitungan mencari waktu dasar hidrograf satuan (T_b)

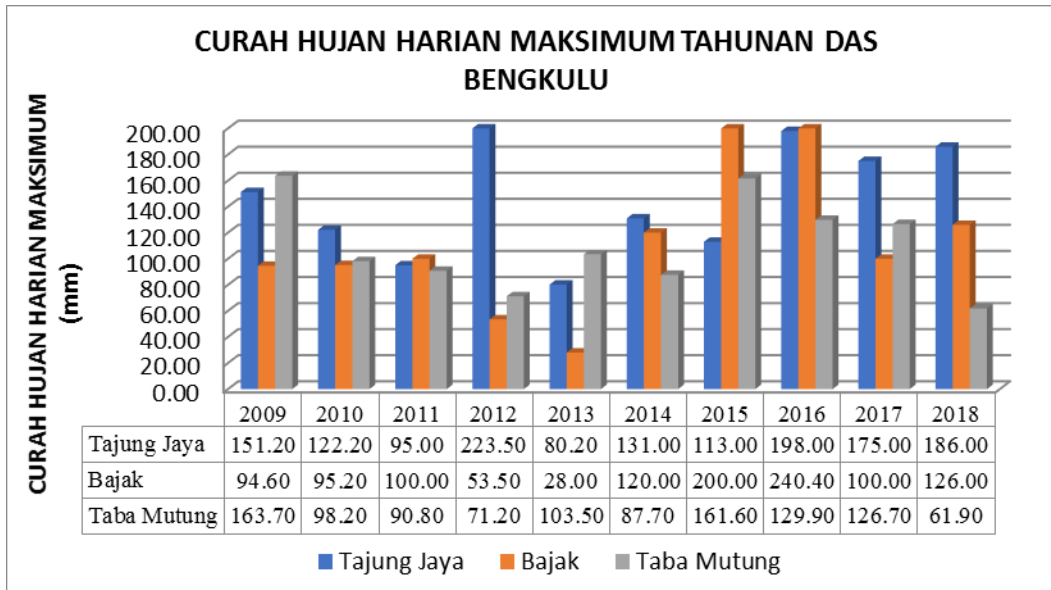
10. Perhitungan debit puncak akibat tinggi hujan satu satuan $R=1$ mm yang jatuh selama durasi hujan satu satuan $T_r=1$ jam.

11. Pehitungan selanjutnya dilakukan menggunakan Tabel SCS, Nakayasu, Snyder, dan Gama 1.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Curah Hujan

Data curah hujan diperoleh dari tiga stasiun hujan yaitu Tanjung Jaya, Bajak dan Taba Mutung. Data curah hujan yang digunakan untuk perhitungan dengan metode SCS diperagakan pada Gambar 2.



Gambar 2. Data Curah hujan dari Tiga Pos Stasiun Hujan DAS Air Bengkulu

Data hujan yang digunakan untuk tiga metode lainnya tidak dilampirkan pada paper ini mengingat keterbatasan dari jumlah halaman yang tersedia dalam penulisan makalah.

4.1.1 Parameter Statistik

Parameter statistic dari berupa nilai Deviasi standar (Sd), Koefisien kemencengan (Cs), Koefisien kortosis (Ck) dan Koefisien variasi (Cv) adalah sebagai berikut :

a. **Rata-rata:**

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{1463,14}{10} = 146,31$$

b. **Deviasi standar**

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{2561,02}{10-1}} = 16,869$$

c. **Koefisien kemencengan (Skewness)**

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n \{(X_i - \bar{X})^3\}}{(n-1)(n-2)Sd^3} = \frac{10 \times (11678,82)}{(10-1)(10-2) \times 16,869^3} = 0,338$$

d. **Koefisien kurtosis**

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{(X_i - \bar{X})^4\}}{Sd^4} = \frac{\frac{1}{10} \times 1052760,69}{16,869^4} = 1,300$$

e. *Koefisien variasi*

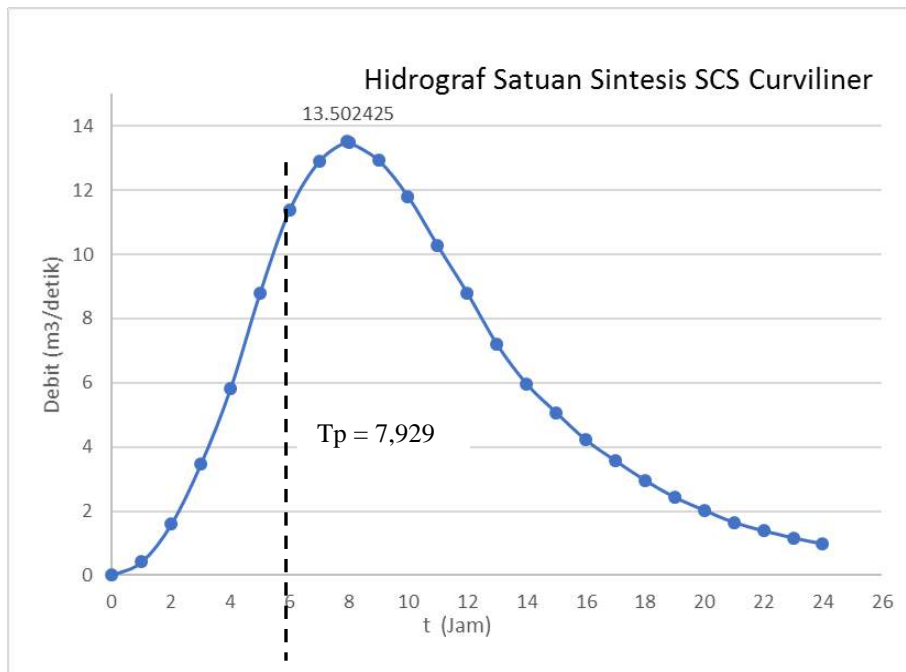
$$Cv = \frac{Sd}{\bar{X}} = \frac{16,869}{146,31} = 0,115$$

4.1.2 Debit Aliran Dasar (*Base Flow*)

Dengan pertimbangan bahwa lokasi studi tidak tersedia data debit pengamatan untuk mengetahui debit aliran dasar, maka perhitungan Debit Aliran Dasar (*Base Flow*) dihitung dengan membagi antara panjang sungai dengan luas DAS dimana diketahui panjang total sungai yaitu 40 km dan luas DAS 166,1 km sehingga diperoleh nilai D yaitu 0,241 dan aliran dasar Q_B diperoleh sebesar $3,348 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

4.1.3 Perhitungan Hidrograf Satuan**4.1.4 Sintetis *Soil Conservation Service (SCS)***

Pada makalah ini hanya disajikan satu metode saja yaitu Hidrograf Satuan Sintetis SCS. Parameter yang digunakan yaitu Luas DAS (A) = 515 km^2 , Panjang sungai utama (L) = 40 km, Panjang Sungai ke pusat DAS (L_c) = 20 km, Tinggi Hujan Satuan (R) = 1 mm, Durasi Hujan Satuan (T_r) = 1 jam, Koefisien Waktu (C_t) = 1, Koefisien manning (n) = 0,3 sehingga diperoleh nilai *Time Lag* (t_p) sebesar 7,429 jam dan waktu puncak (T_p) selama 7,929 jam dan debit puncak sebesar $13,529 \text{ m}^3 \text{ S}^{-1}$. Perhitungan selanjutnya dilakukan dengan tabel SCS sehingga menghasilkan hidrograf SCS seperti yang disajikan pada Gambar 3.



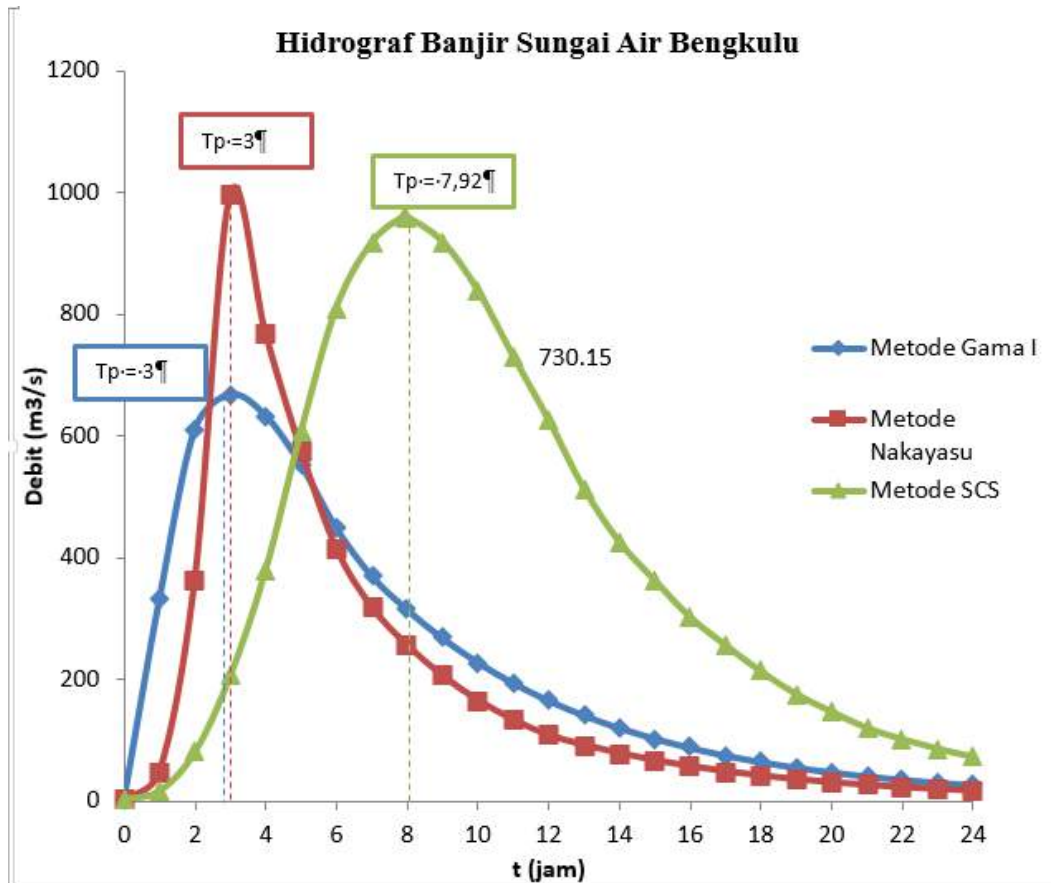
Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Gambar 3. Hidrograf Satuan Sintetis SCS

Dari Gambar 3 diketahui bahwa UH (*Unit Hydrograph*) pada saat $t = 7,929$ jam adalah waktu dimana puncak atau nilai maksimum untuk nilai UH $13,50 \text{ m}^3/\text{detik}$, dan pada saat $t = 24$ jam nilai minimum untuk nilai UH $0,98 \text{ m}^3/\text{detik}$.

4.1.5 Evaluasi Hidrograf Banjir DPS Air Bengkulu

Evaluasi debit puncak banjir pada penelitian dilakukan dengan membandingkan HSS SCS dengan HSS Snyder dan HSS Nakayasu. Debit puncak yang dihasilkan oleh ketiga hidrograf tersebut disajikan pada Gambar 4 :



Gambar 4. Hidrograf Satuan DPS Air Bengkulu

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa metode HSS Gama I menghasilkan analisis debit puncak rencana yang lebih kecil dibandingkan dengan analisis menggunakan

metode HSS SCS dan HSS Nakayasu. Perbedaan hasil debit puncak yang diperoleh terletak pada data sekunder yaitu curah hujan harian maksimum yang digunakan sebagai input. Data hujan yang digunakan pada masing-masing metode bersumber dari alat pengukur hujan yang berbeda-beda sehingga menghasilkan debit puncak yang berbeda pula. Data hujan metode HSS-SCS berasal dari pos hujan Bajak, Tanjung Jaya, dan Taba Mutung, sedangkan pos Hujan untuk metode HSS Snyder, data hujan diperoleh dari Pos Hujan Taba Penanjung, Pos Hujan Karang Tinggi dan Pos Hujan UNIB. Data hujan untuk metode HSS Nakayasu dan Gamma 1 berasal dari pos hujan lainnya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, perbandingan debit puncak pada DAS Air Bengkulu menggunakan metode HSS SCS 960,92 m³/detik, Nakayasu menghasilkan debit 995,87 m³/detik, Gama I menghasilkan debit 668,12 m³/detik, dan Snyder 1026,151 m³/detik. Kesimpulan dari penelitian ini adalah debit puncak yang diperoleh dari 4(empat) metode yaitu Nakayasu, SCS, dan Snyder dan Gama 1 bisa digunakan untuk memprediksi debit puncak di DAS Air Bengkulu. Perbedaan hasil yang diperoleh dipengaruhi oleh data hujan yang digunakan sebagai masukan dalam perhitungan hidrograf.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, M. (2011). *Hidrologi Teknik*. Makassar: Universitas Hasanudin, Makassar.
- Amri, K., & Syukron, A. (2014). ANALISIS DEBIT PUNCAK DAS PADANG GUCI KABUPATEN KAUR PROVINSI BENGKULU. *Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu*, 2(2), 1-12.
- Asdak. (2007). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM-Press.
- Asdak, C. (2014). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Budiyanto, S., Tarigan, S. D., Sinukaban, N., & Murti Laksono, K. (2017). The Impact of Land Use on Hydrological Characteristics in Kaligarang Watershead. *International Journal of Science and Engineering*, 2(8), 12-130.
- Coppola, & Damon, P. (2007). *Introduction to International Disaster Management*. England, UK: Elsevier, Oxford.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1999). Direktorat Jenderal Pengairan. Dalam D. B. Teknik, *Panduan Perencanaan Bendungan Tipe Urugan Volume 2*. Jakarta.
- Firmansyah. (2019, April 29). *banjir dan longsor Bengkulu*. Diambil kembali dari kompas.com: <https://regional.kompas.com/>
- Hardianti. (2014). *Siklus Hidrologi*. Palembang: E-Print Politeknik Sriwijaya, Palembang.

- Kodoatie, R. J., & Syarief, R. (2010). *Tata Ruang Air*. Yogyakarta: Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Leh, M., Bajwa, S., & Chaubey, I. (2011). Impact of land use change on erosion risk: An integrated remote sensing, geographic information system and modeling methodology. *Land Degradation & Development*, 35-39.
- Retnowati, D., Lasminto, U., & Savitri, Y. R. (2015). Studi Pengendalian Banjir dan Genangan pada Sistem Drainase Kali Puncang Sidoarjo. *Studi Pengendalian Banjir dan Genangan*, 22-29.
- Rosyidie, A. (2013, Desember). Banjir : Fakta dan Dampaknya, Serta Pengaruh dari Perubahan Guna Lahan. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 24(3), 241-249.
- Sari, D. P. (2019, oktober selasa). *Kompas*. (B. Galih, Editor, D. M. Purnamasari, Produser, & Kompas.Com) Dipetik oktober 08, 2019, dari Kompas Web Site: <https://nasional.kompas.com/>
- Sasrodarsono, S., & Takeda, K. (2006). *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Supangat, A. B. (2011). Karakteristik hidrologi berdasarkan parameter morfometri DAS di kawasan Taman Nasional Beru Betiri. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 275-283.
- Suryatmo, I. S. (2016). *Pemodelan Luapan Banjir Sungai Air Bengkulu Menggunakan HEC- GeoRAS*. Bengkulu: Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.
- UNESCO. (2017). *Petunjuk Praktis Partisipasi Masyarakat dalam Penanggulangan Banjir*. Jakarta: UNESCO Office.
- Utomo, A. P., Suprayogo, D., & Sudarto. (2014). Estimasi Sebaran Daerah Rawan Banjir Bandang Sub DAS Brantas Kota Batu : Aplikasi model genriver dan sistem informasi geografi. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 2(1), 7-14.
- Waskito, S. N., Hadiani, R. R., & Setiono. (2016, Desember). Analisis Banjir 2 Harian Maksimum Tahunan dengan Arcgis di DAS Temon. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 1168-1175.
- Wigati, R., Soedarsono, & Mutia, T. (2016). Analisis Banjir Menggunakan Software HEC-RAS 4.0.1 (Studi Kasus Sub-DAS Ciberang HM 0+00 - HM 34+00). *Jurnal Fondasi*, 5(2), 35-42.
- Wigati, R., Soedarsono, & Mutia, T. (2016). Analisis Banjir Menggunakan Software HEC-RAS 4.1.0 (Studi Kasus Sub-DAS Ciberang HM 0+00 - HM 34+00). *Jurnal Fondasi*, 5(2), 52-63.
- Zahara, L. S. (2014). Estimasi Sebaran Daerah Rawan Banjir Menggunakan Model HEC- RAS dan Kerugian Masyarakat di Wilayah Sub DAS Citarik. *Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas MIPA, IPB*, 50-62.

STUDI PERUBAHAN TINGGI MUKA AIR AKIBAT PENGARUH FLOODWAY (Studi Kasus Sungai Batang Kandis, Padang)

Amelia Fedora^{a,*}, Beni Febrian^{a,b}, Sadtim^b, Wisafri^b

^aProgram Studi Perencanaan Irigasi dan Rawa, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang

Limau Manis, Padang, Indonesia E-mail : fedoraamelia@gmail.com, benifebrian1902@gmail.com

^bJurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang Limau Manis, Padang, Indonesia

E-mail : sadtim61@gmail.com, wisafri@gmail.com

ABSTRACT

The problem of flooding is already familiar to us. Many factors cause flooding, such as a riverbed that is unable to accommodate the flow through the river. An actual example is the Batang Kandis river located in the northern part of the city of Padang 0 ° 48 '20.39" South Latitude and 100 ° 21 '22.71" East Longitude. One of the government's efforts in tackling the flood that occurred was to build a floodway. In this study, the authors analyzed how the influence of the floodway that was built on the flooding problem that occurred and river modeling was carried out by analyzing the flow profile using the HEC-RAS application version 4.1.0. The location of the floodway is directly related to the sea, there is the influence of tides on the floodway. Back Water that occurs when the highest tide = 1.75 meters is as far as 56 meters in the direction of the floodway using the standard stage method. The results of river modeling with the application of HEC-RAS version 4.1.0, the condition of the river without the floodway modeled (Benchmark 1 - 135) is not able to accommodate the discharge when the return period is 10 years and 25 years, because all stakes have overflowed. After the floodway was built by the Government, the condition of the upstream river that was modeled (Benchmark 1 - 36) was also not able to accommodate the discharge during the return period of 10 years and 25 years, because all stakes also overflowed. While the floodway capacity (P 0-10) alone is capable of accommodating 100 years return discharge of 1040,026 m³ / sec, with floodway dimensions as high as 5.50 meters, an average width of 62 meters. From the studies and calculations that have also been carried out by looking at the existing condition of the river, the solution to the problem of flooding that occurs in the upstream (Benchmark 1-36) Batang Kandis is by normalizing such as river widening, embankment making, river dredging and other flood control alternatives.

Keywords: Banjir, Floodway, HEC-RAS.

ABSTRAK

Masalah banjir memang sudah tidak asing lagi bagi kita. Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya banjir, seperti palung sungai yang tidak mampu menampung debit yang melewati sungai. Sebagai contoh aktual adalah sungai Batang Kandis yang terletak di bagian utara kota Padang 0°48'20,39" Lintang Selatan dan 100°21'22,71" Bujur Timur. Salah satu upaya pemerintah dalam menanggulangi banjir yang terjadi adalah dengan membangun floodway. Dalam penelitian ini, penulis menganalisis

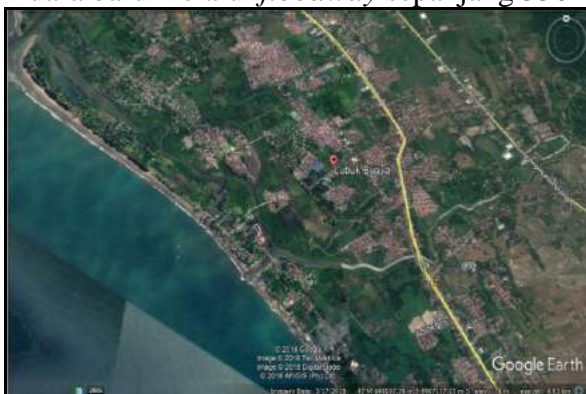
bagaimana pengaruh floodway yang dibangun terhadap masalah banjir yang terjadi dan dilakukan pemodelan sungai dengan menganalisa profil aliran menggunakan aplikasi HEC-RAS versi 4.1.0. Lokasi floodway berhubungan langsung dengan laut, terdapat pengaruh pasang-surut air laut terhadap floodway. Back Water (Air Balik) yang terjadi saat pasang tertinggi = 1.75 meter adalah sejauh 56 meter ke arah floodway menggunakan metode tahapan standar. Hasil pemodelan sungai dengan aplikasi HEC-RAS versi 4.1.0, kondisi sungai tanpa floodway yang dimodelkan (Patok 1 – 135) tidak mampu menampung debit kala ulang 10 tahun dan 25 tahun, karena semua patok mengalami peluapan. Setelah dibangun floodway oleh Pemerintah, kondisi sungai di bagian hulu yang dimodelkan (Patok 1 – 36) juga tidak mampu menampung debit kala ulang 10 tahun dan 25 tahun, karena semua patok juga mengalami peluapan. Sementara kapasitas floodway (P 0 - 10) sendiri mampu menampung debit kala ulang 100 tahun sebesar 1040.026 m³/dt, dengan dimensi floodway setinggi 5.50 meter, lebar rata-rata 62 meter. Dari studi dan perhitungan yang telah dilakukan juga dengan melihat kondisi eksisting sungai, solusi untuk permasalahan banjir yang terjadi di bagian hulu (Patok 1 -36) Batang Kandis adalah dengan melakukan normalisasi seperti pelebaran sungai, pembuatan tanggul, pengerukan sungai dan alternatif pengendalian banjir lainnya.

Keywords: Banjir, *Floodway*, HEC-RAS.

1. PENDAHULUAN

Tinggi muka air sungai di setiap penampang sungai selalu berbeda-beda dan tinggi muka air mengikuti kontur sungai berdasarkan topografinya. Pada saat musim kemarau, tinggi muka air di sungai relatif rendah dan tak jarang juga dijumpai air sungai kering. Sebaliknya pada saat musim hujan, tinggi muka air relatif tinggi dan terkadang melewati bantaran sungai sehingga menyebabkan banjir. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti palung sungai yang tidak mampu menampung debit yang terjadi, perubahan tata guna lahan, Lokasi Penelitian penyebab banjir lainnya.

Salah satu wilayah yang sering terjadi banjir adalah DAS (Daerah Aliran Sungai) Batang Kandis yang melintasi bagian utara kota Padang yang hampir setiap tahun meluap dan menimbulkan banjir. Salah satu upaya dari pemerintah untuk menanggulangi bencana banjir pada DAS Batang Kandis adalah dengan membangun *floodway* yang langsung bermuara ke laut. Sehingga, sungai Batang Kandis bermuara di dua muara, yaitu muara lama (Sungai Batang Anai) dan Muara Baru (*floodway*). Pengendalian banjir yang telah direncanakan adalah membangun tanggul sepanjang 3,18 km di sungai Batang Kandis, 4,15 km di sungai Batang Kasang dan membuat muara baru melalui *floodway* sepanjang 550 m (Eka, 2007).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Dari pengendalian banjir yang telah dibuat oleh pemerintah, penulis mencoba menganalisis perubahan tinggi muka air akibat pengaruh *floodway* dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS versi 4.1.0.

2. TINJAUAN PUSTAKA DAN METODOLOGI

2.1 Banjir

Banjir merupakan permasalahan umum terjadi di sebagian wilayah Indonesia, terutama di daerah padat penduduk misalnya di kawasan perkotaan. Oleh karena itu kerugian yang ditimbulkannya bisa sangat besar baik dari segi materi maupun kerugian jiwa. Maka sudah selayaknya permasalahan banjir perlu mendapatkan perhatian yang serius dan merupakan permasalahan kita semua. Dengan anggapan bahwa, permasalahan banjir merupakan masalah umum, sudah semestinya dari berbagai pihak perlu memperhatikan hal-hal yang dapat mengakibatkan banjir dan sedini mungkin diantisipasi, untuk memperkecil kerugian yang ditimbulkan (Kodoatie, 2013).

Pada penelitian ini, penulis membahas pengendalian banjir di Batang Kandis Kota Padang yang menggunakan metode struktur, yaitu *Floodway* dan Normalisasi Sungai sebagai hasil dari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya.

2.2 Pasang Surut Air Laut

Pasang surut adalah gerakan naik turunnya muka air laut, dimana amplitudo dan fasenya berhubungan langsung terhadap gaya geofisika yang periodik, yakni gaya yang ditimbulkan oleh gerak reguler benda-benda angkasa, terutama bulan, bumi dan matahari. Naik turunnya muka laut akibat gaya geofisika ini disebut pasang surut gravitasi (gravitational tides). Disamping itu, gerak muka laut juga dipengaruhi oleh adanya variasi tekanan atmosfer dan angin. Sistem gerak ini disebut pasang surut meteorologi (meteorological tides) (Wangsadipura, Ir Mulyana, WD, S.Legowo, 2011).

Berdasarkan topografi di lokasi penelitian, *floodway* terhubung langsung ke laut. Hal tersebut membuktikan terdapat pengaruh pasang air laut yang mempengaruhi aliran di sungai Batang Kandis.

2.3 Analisis Hidrologi

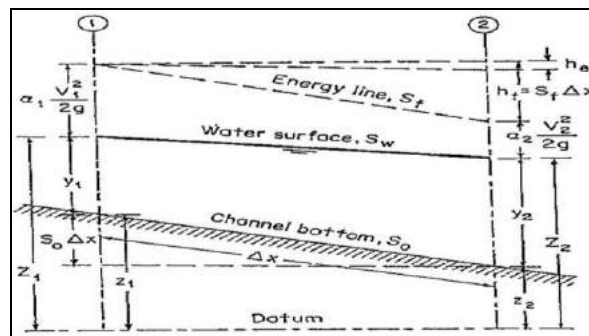
Dalam analisis frekuensi data hujan atau debit guna memperoleh nilai hujan rencana atau debit rencana, dikenal beberapa distribusi probabilitas kontinu yang sering digunakan yaitu, yaitu : Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson Type III (Kamiana, 2011: 26-34). Selanjutnya dilakukan uji probabilitas, dimaksudkan untuk mengetahui apakah persamaan distribusi probabilitas yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Terdapat 2 metode pengujian distribusi

probabilitas, yaitu Metode Chi-Kuadrat (χ^2) dan Metode Smirnov-Kolmogorof (Kamiana, 2011: 36-43). Dari kedua uji probabilitas, didapatkan 1 distribusi probabilitas, yang telah diterima oleh kedua uji. Setelah itu dilakukan perhitungan debit banjir rencana, yaitu debit maksimum di sungai atau saluran ilmiah dengan periode ulang tertentu. Ada beberapa metode empiris yang dipakai untuk menghitung debit banjir, antara lain (Kamiana, 2011: 96-102).

2.4 Analisis Hidraulika

Analisa hidraulika digunakan untuk menentukan kapasitas saluran dengan memperhatikan sifat-sifat hidraulika yang terjadi pada saluran drainase tersebut. Sifat-sifat tersebut meliputi jenis aliran (*steady* atau *unsteady*), angka kekasaran (*manning*) dan sifat alirannya (kritis, sub kritis dan superkritis). Pada analisa hidrolika didapatkan hasil nilai luas penampang saluran (A), keliling basah saluran (P), jari-jari hidrolis (R), kecepatan aliran (V), dan debit (Q) (P. Zia dan Faldi, 2018)

Selanjutnya dilakukan perhitungan profil aliran berubah lambat laun. Tujuan utama dari perhitungan profil permukaan aliran adalah untuk menentukan bentuk lengkung permukaan aliran berubah lambat laun dengan cara menghitung besarnya kedalaman aliran menurut jaraknya dari satu penampang kontrol. Semua penyelesaian dari persamaan aliran berubah lambat laun harus dimulai dari penentuan kedalaman aliran di penampang kontrol dan dilanjutkan dengan perhitungan kedalaman aliran ke arah hulu atau ke arah hilir, yaitu ke arah mana kontrol aliran beroperasi. (Anggrahini, 2005: 241). Aliran berubah lambat laun banyak terjadi akibat pasang surut di muara saluran atau akibat adanya bangunan-bangunan air atau pasang surut air laut terutama pada saat banjir akan berpengaruh sampai ke hulu atau ke hilir. Untuk perhitungan pada penelitian ini dipakai metode tahapan standard (*standard step method*).



Gambar 2. Derivasi Metode Tahapan Langsung

Persamaan Metode Tahapan Standar :

$$Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f + h_e \quad (1)$$

2.5 Pemodelan Sungai dengan Aplikasi HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran sungai, River Analysis Sistem (RAS), dibuat oleh Hydrologic Engineering Center (HEC) yang merupakan satuan kerja di bawah US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS versi terbaru saat ini, versi 4.1.0, beredar sejak Januari 2010.

HEC-RAS memiliki empat komponen dalam satu dimensi : 1) hitungan profil muka air aliran permanen, 2) simulasi aliran tak permanen, 3) hitungan transpor sedimen, 4) hitungan kualitas air. Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama, *routine* hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan. HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan (Istiarto, 2014: 2-3).

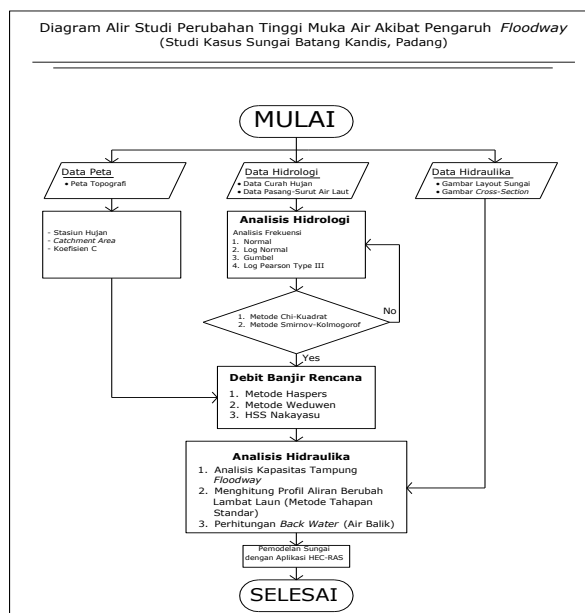
Dalam HEC-RAS, ada 2 jenis asumsi yaitu aliran *steady* dan aliran *unsteady*. Aliran *steady* adalah aliran yang parameter alirannya seperti kecepatan (v), tidak berubah (konstan) selama selang waktu tertentu, sedangkan aliran *unsteady* adalah aliran yang memiliki parameter aliran selalu berubah selama selang waktu tertentu (Tri C, 2011: 19). Pada penelitian ini penulis menggunakan aliran *steady*.

Untuk aliran permanen, HEC-RAS menghitung profil muka air di sepanjang alururut dari satu tampang lintang ke tampang lintang berikutnya. Muka air dihitung dengan memakai persamaan energi yang diselesaikan dengan metode yang dikenal sebagai metode tahapan standar pada persamaan (1).

Terdapat analisa profil aliran, yaitu elevasi muka air pada alur sungai perlu dianalisis untuk mengetahui pada bagian manakah terjadi luapan air pada sungai, sehingga dapat ditentukan dimensi untuk rancangan-rancangan perbaikan sungai. Pada program HEC-RAS 4.1.0 menggunakan pengaturan data dimana dengan data geometri yang sama bisa dilakukan kalkulasi data aliran yang berbeda-beda. Data geometri terdiri dari layout pemodelan disertai *cross section* untuk saluran-saluran yang dijadikan model. Data aliran ditempatkan terpisah dari data geometri. Data aliran bisa dipakai salah satu antara data aliran tunak (*steady*) atau data aliran tak tunak (*unsteady*). Dalam masing-masing data aliran tersebut harus terdapat *boundary condition* dan *initial condition* yang sesuai agar pemodelan dapat dijalankan. Selanjutnya dilakukan kalkulasi dengan membuat skenario simulasi. Skenario harus terdiri dari satu data geometri dan satu data aliran. Pada software HEC-RAS ini, dapat ditelusuri kondisi air sungai dalam pengaruh hidrologi dan hidraulikanya, serta penanganan sungai lebih lanjut sesuai kebutuhan. Dari hasil analisa tersebut dapat diketahui ketinggian muka air dan kapasitas tampungan sungai tidak mencukupi (M. Izzam, 2011).

2.6 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah :



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini, penulis memiliki 2 buah data, data primer dan data sekunder. Data primer berupa foto lokasi penelitian yang langsung diambil oleh penulis di lokasi penelitian. Selanjutnya data sekunder berupa data hidrologi, data penampang sungai, data peta topografi, dan data pasang surut air laut. Data hidrologi berupa data curah hujan, stasiun hujan Kasang diperoleh dari kantor Dinas PSDA, Provinsi Sumatera Barat. Data penampang sungai diperoleh sebagai data sekunder dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan dari kantor Balai Wilayah Sungai Sumatera V, kota Padang. Data peta topografi diperoleh dari kantor Balai Wilayah Sungai Sumatera V, kota Padang. Data pasang surut air laut digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari kantor Balai Wilayah Sungai Sumatera V, kota Padang pada tahun 2008.

Pengolahan data dimulai dengan melakukan analisis hidrologi untuk mendapatkan debit banjir rencana pada sungai Batang Kandis. Dilanjutkan dengan analisis hidraulika, yaitu 1) Analisis Kapasitas Tampung *Floodway*, 2) Perhitungan Profil Aliran Berubah Lambat Laun Menggunakan Metode Tahapan Standar, 3) Perhitungan *Back Water* (Air Balik) dari Pasang-Surut Terhadap *Floodway*. Tahap akhir dilakukan pemodelan sungai menggunakan aplikasi HEC-RAS versi 4.1.0, pemodelan sungai yang dilakukan, yaitu 1) Kondisi Sungai Tanpa *Floodway*, 2) Kondisi Sungai Bagian Hulu. Dalam pemodelan sungai menggunakan aplikasi HEC-RAS versi 4.1.0, terdapat A) Daerah Komputasi Pemodelan, B) Kondisi Batas Pemodelan, C) Kondisi Pemodelan dan D) Tahapan Pemodelan. Hasil pemodelan sungai menggunakan aplikasi HEC-RAS versi 4.1.0 berupa tinggi muka air di sepanjang sungai yang dimodelkan, dan pada akhirnya kita dapat mengetahui pengaruh *floodway* terhadap masalah banjir yang terjadi setiap tahunnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Hidrologi

3.1.1 Perhitungan Curah Hujan Rencana dan Periode Ulang

Curah hujan yang digunakan selama 15 tahun (2004-2018) dengan stasiun hujan Kasang. Perhitungan curah hujan rencana menggunakan 4 (empat) distribusi probabilitas, yaitu : Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson Type III. Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan Curah Hujan Rencana

Periode Ulang	Gumbel	Normal	Log Normal	Log Pearson Type III
2	209.43	216.15	211.60	209.30
5	261.49	255.52	252.81	251.95
10	295.96	276.15	277.51	279.43
25	339.52	296.31	303.98	313.42
50	371.83	312.24	326.68	338.32
100	403.90	325.37	346.65	363.27

3.1.2 Uji Distribusi Probabilitas

Setelah didapatkan nilai curah hujan rencana, selanjutnya dilakukan uji distribusi probabilitas. Hasil dari curah hujan rencana yang terpilih akan digunakan untuk menghitung debit banjir rencana. Berikut ini hasil dari uji distribusi probabilitas :

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Uji Distribusi Probabilitas

Distribusi Probabilitas	Uji Chi-kuadrat (χ^2)		Uji Smirnov-Kolmogorof	
	ΔP terhitung	ΔP kritis	ΔP terhitung g	ΔP kritis
Normal	6.000	5.991	0.189	0.338
Gumbel	0.667	5.991	0.133	0.338
Log Normal	6.000	5.991	0.095	0.338
Log Pearson Type III	1.333	5.991	0.938	0.338

Syarat distribusi probabilitas yang diterima oleh kedua uji adalah nilai ΔP terhitung < ΔP kritis. Dari tabel 2, kita dapat melihat distribusi probabilitas yang diterima oleh kedua uji adalah distribusi probabilitas gumbel.

3.1.3 Perhitungan Debit Banjir Rencana

Dari beberapa perhitungan metode debit banjir periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun sehingga diperoleh hasil rekapitulasi perhitungan debit banjir seperti tabel dibawah ini.

Tabel 3. Rekapitulasi Debit Banjir Beberapa Metode Empiris

Periode Ulang (tahun)	Metode		
	Haspers (m ³ /dt)	Weduwen (m ³ /dt)	HSS Nakayasu (m ³ /dt)
2	481.239	361.808	193.267
5	600.875	434.169	241.313
10	680.094	506.531	273.127
25	780.171	607.837	313.318
50	854.418	687.435	343.136
100	928.116	759.796	372.733

Debit yang digunakan adalah debit dengan metode haspers, karena debit 10 tahun metode haspers mendekati debit banjir aktual di lapangan. Untuk pemodelan sungai dengan HEC-RAS, debit yang digunakan adalah debit periode ulang 10 tahun dan 25 tahun metode haspers, dengan mempertimbangkan nilai ekonomi serta resiko yang mungkin timbul.

3.2 Analisis Hidraulika

3.2.1 Analisis Kapasitas Tampung Floodway

Perhitungan kapasitas *floodway* dilakukan untuk mengetahui kondisi penampang sungai di lapangan (eksisting).

Diketahui Data :

B (Lebar Penampang) rata-rata (P0-P10)

$$= 62 \text{ m (As Built Drawing, BWS V)}$$

H (Kedalaman air)

$$= 5.5 \text{ m (As Built Drawing, BWS V)}$$

I (Kemiringan dasar saluran)

$$\text{Elevasi Hulu Sungai Batang Kandis} = -2.848 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi Hilir Sungai Batang Kandis} = -3.000 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Sungai Yang Ditinjau} = 250 \text{ m}$$

Sehingga, $I = \frac{\Delta H}{\text{Panjang Sungai Yang Ditinjau}}$

$$= \frac{[-2.848 - (-3.000)]\text{m}}{250 \text{ m}}$$

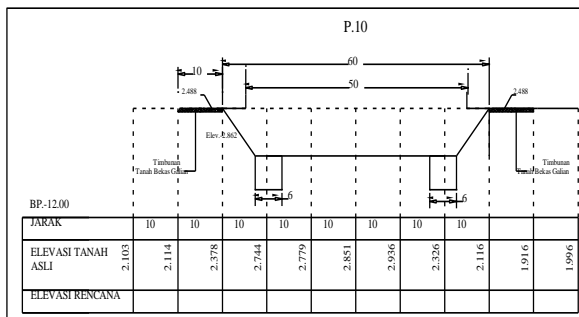
$$I = 0.00061$$

n (Koefisien Manning)

$$= 0.025 \text{ (Pasangan Batu)}$$

m (Kemiringan dinding)

$$= 1 : 1$$



Gambar 4. Contoh Salah Satu Penampang *Floodway*, P.10 Batang Kandis

sehingga,

Q (Debit Aliran)

$$= A \times V$$

A (Luas Tampang Basah)

$$= (b + m \times h) \times h$$

$$= (62 + 1 \times 5.5) \times 5.5$$

$$= 371.250 \text{ m}^2$$

P (Keliling Basah)

$$= b + 2 \times h \sqrt{1 + m^2}$$

$$= 62 + 2 \times 5.5 \sqrt{1 + 1^2}$$

$$= 77.556 \text{ m}$$

R (Jari-Jari Hidrolis)

$$= \frac{A}{P}$$

$$= \frac{371.250}{77.556}$$

$$= 4.787 \text{ m}$$

V(Kecepatan Aliran)

$$= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0.025} \times 4.787^{2/3} \times 0.00061^{1/2}$$

$$= 2.801 \text{ m/dt}$$

Q (Debit Aliran) = A x V

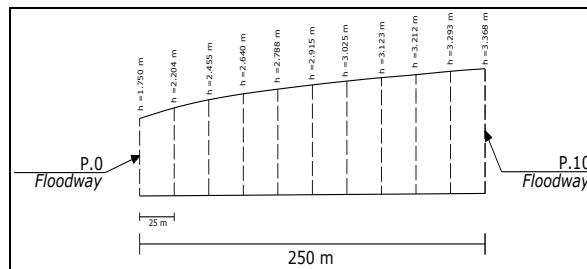
$$= 313.490 \text{ m}^2 \times 2.553 \text{ m/dt}$$

$$= 1040.026 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Jadi kapasitas *floodway* dalam menampung debit adalah 1040.026 m³/dt.

3.2.2 Perhitungan Profil Aliran Berubah Lambat Laun

Pada penelitian ini, perhitungan profil aliran berubah lambat laun menggunakan metode tahapan standar karena lebih cocok dengan kondisi di lapangan. Perhitungan profil aliran ini dimulai dari P.0 sampai dengan P.10, P.0 merupakan patok awal *floodway* yang langsung terhubung ke laut sedangkan P.10 merupakan patok yang terletak di persimpangan antara aliran yang akan menuju ke muara lama dan yang ke muara baru (*floodway*).



Gambar 5. Profil Permukaan Aliran Berubah Lambat Laun dengan Cara Tahapan Standar

3.2.3 Perhitungan Back Water (Air Balik) dair Pasang Surut Terhadap Floodway

Diketahui Data :

$$\text{HWL (High Water Level)} = 2.500 \text{ m}$$

Dari gambar 5 diatas, dapat dilihat :

El. Muka Air Pada Jarak 100 m dari *Floodway*

= 2.455

El. Muka Air Pada Jarak 200 m dari *Floodway*

= 2.640 m

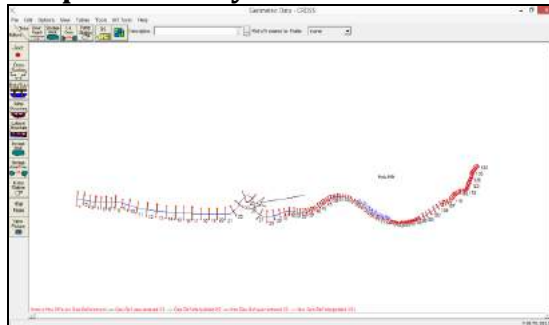
Back water (air balik) yang terjadi di *floodway* adalah dengan menyamakan elevasi muka air pada profil aliran berubah lambat laun dengan *High Water Level* (HWL) yang terjadi di *floodway* dilakukan dengan menginterpolasi elevasi muka air pada jarak 100 m dan 200 m dari *floodway* karena *High Water Level* (HWL) *floodway* berada diantara dua posisi jarak tersebut. Sehingga, *back water* (air balik) yang terjadi di *floodway* sejauh 56 m.

3.3 Pemodelan Sungai Menggunakan Aplikasi HEC-RAS

Pemodelan sungai dimodelkan dengan aplikasi HEC-RAS versi 4.1.0. Asumsi yang digunakan dalam pemodelan HEC-RAS ini adalah :

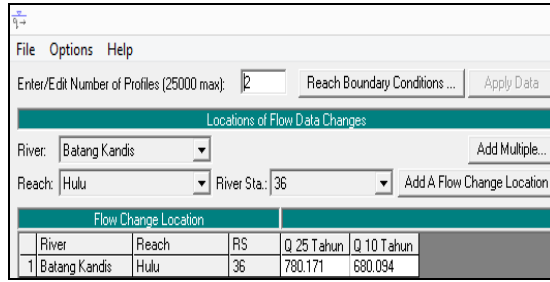
- Aliran di modelkan dengan *steady flow* (aliran tunak).
- Angka koefisien manning yang dipakai sesuai dengan kondisi existing sungai dengan $n = 0.025$ (pasangan batu)

3.3.1 Kondisi Sungai Tanpa *Floodway*

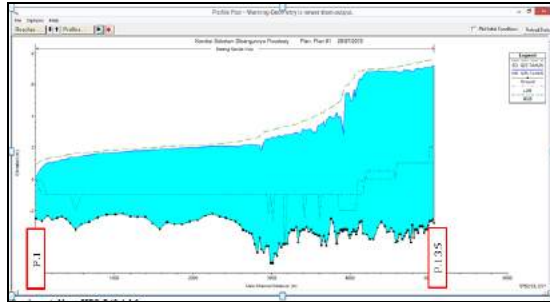


Gambar 6. Skema Geometrik Kondisi Sungai Tanpa *Floodway*

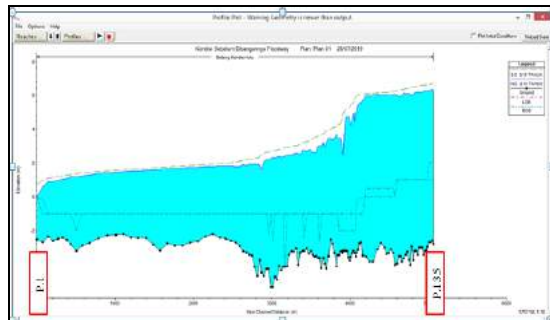
Setelah penggambaran skema geometrik sungai, selanjutnya di masukkan debit periode ulang 10 tahun dan 25 tahun dari metode haspers.



Gambar 7. Input Q 25 Tahun dan Q 10 Tahun



Gambar 8. Sungai Batang Kandis P.135 – P.1 Tanpa Floodway Q 25 Tahun (TFL Q 25)



Gambar 9. Sungai Batang Kandis P.135 – P.1 Tanpa Floodway Q 10 Tahun (TFL Q 10)

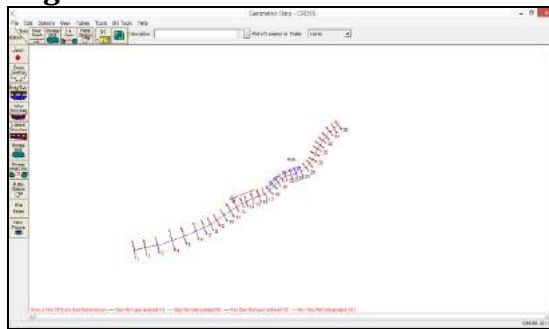
Tabel 4. Tanpa Floodway Q 25 Tahun dan Q 10 Tahun

STA	Jarak	Tinggi Muka Air Q 25 Tahun	Tinggi Muka Air Q 10 Tahun	Bantaran Sungai
P.1	0.0	2.68	2.55	2.53
P.10	489.5	4.22	3.99	1.90
P.20	826.5	4.79	4.54	2.18
P.30	1049.5	4.33	4.08	1.62
P.40	1337.21	6.03	5.86	3.49

P.50	1621.98	6.81	6.43	3.15
P.60	1848.57	6.55	6.12	0.74
P.70	2181.17	7.67	7.17	2.62
P.80	2600.82	7.56	7.05	1.24
P.90	3000.73	8.58	7.96	1.37
P.100	3416.67	10.59	9.79	3.55
P.110	3875.32	11.17	10.37	4.05
P.120	4371.59	10.05	9.25	3.93
P.130	4797.49	10.53	9.72	4.18
P.135	5161.63	10.21	9.40	3.81

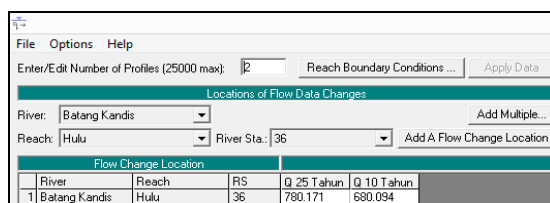
Berdasarkan tabel 4 diatas, kondisi sungai tanpa *floodway* setelah dimasukkan debit periode ulang 25 tahun dan 10 tahun terlihat bahwa sungai sebelum dibangun *floodway* tidak mampu menampung debit banjir yang terjadi karena terlihat pada gambar 8 dan gambar 9 debit yang terjadi melewati bantaran kanan dan kiri sungai.

3.3.2 Kondisi Sungai Bagian Hulu

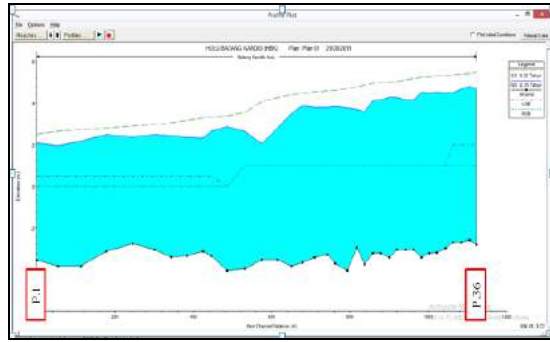


Gambar 10. Skema Geometrik Kondisi Sungai Bagian Hulu

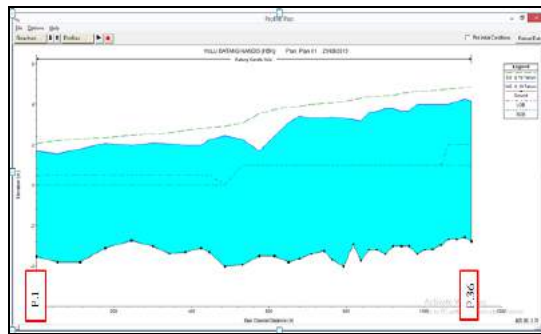
Setelah penggambaran skema geometrik sungai, selanjutnya di masukkan debit periode ulang 10 tahun dan 25 tahun dari metode haspers.



Gambar 11. Input Q 25 Tahun dan Q 10 Tahun



Gambar 12. Hulu Batang Kandis Q 25 Tahun (HBK Q 25)



Gambar 13. Hulu Batang Kandis Q 10 Tahun (HBK Q 10)

Tabel 5. Hulu Batang Kandis Q 25 Tahun dan Q 10 Tahun

STA	Jarak	Tinggi Muka Air Q 25 Tahun	Tinggi Muka Air Q 10 Tahun	Bantaran Sungai
P.1	0.0	5.6	5.2	3.6
P.5	243.1	5.1	4.7	2.7
P.10	489.5	6.0	5.6	3.3
P.15	679.0	7.3	6.9	4.8
P.20	826.5	7.8	7.3	5.1
P.25	942.2	7.7	7.2	4.4
P.30	1049.5	7.7	7.2	4.2
P.35	1149.1	7.4	6.8	3.6
P.36	1171.7	7.5	7.0	3.8

Berdasarkan tabel 5 diatas, kondisi sungai dengan *floodway* setelah dimasukkan debit periode ulang 25 tahun dan 10 tahun terlihat bahwa sungai setelah dibangun *floodway* pada bagian hulu masih tidak mampu menampung debit banjir yang terjadi

karena terlihat pada gambar 12 dan gambar 13 debit yang terjadi melewati bantaran kanan dan kiri sungai.

4. KESIMPULAN

Pemodelan sungai dengan aplikasi HEC-RAS menggunakan debit periode ulang 10 tahun dan 25 tahun dengan mempetimbangkan resiko yang mungkin terjadi diperoleh dari hasil metode haspers yang sesuai dengan debit di lapangan. Didapatkan perubahan profil muka air di sungai Batang Kandis dengan kondisi terjadi luapan di sepanjang sungai yang dimodelkan. Dalam analisis hidraulika yang dihitung, diperoleh bahwa kapasitas *floodway* mampu menampung debit sebesar 1040.026 m³/dt setara dengan debit periode ulang 100 tahun metode haspers. Kondisi pemodelan pertama, sungai sebelum dibangunnya *floodway* (penampang P.135 – P.1) sungai tidak mampu menampung debit banjir yang terjadi. Kondisi pemodelan kedua, kondisi sungai di bagian hulu (penampang P.36 – P.1), ternyata masih terjadi luapan di sungai. Sementara kapasitas *floodway* sendiri mampu menampung debit periode ulang 100 tahun. Dari penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan rekomendasi pada sungai di bagian hulu (P.36–P.1) perlu dilakukan normalisasi seperti pelebaran sungai, membuat tanggul, pengerukan sungai dan alternatif pengendalian banjir lainnya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Allah SWT karena sampai saat ini kami masih diberi nikmat dan rahmat yang tiada terhingga. Terima kasih banyak kami ucapkan kepada dosen pembimbing, dan pihak-pihak yang telah membantu kami dalam menyelesaikan *Full paper* ini, semoga dapat berguna sebagaimana mestinya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini MSc, Ir. 2005. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Surabaya : Srikandi.
- Aprizon, Putra, dkk. 2017. *Prediksi Erosi Lahan Pada DAS Air Dingin Bagian Hulu di Kota Padang*. Padang : Universitas Negeri Andalas.
- Damayanti, Eka. 2007. *Pengendalian Banjir Batang Kandis Kota Padang*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada. diakses melalui <http://etd.repository.ugm.ac.id> pada tanggal 01 April 2019.
- Eriza, C., Istiarto dan Sujoni, J. 2008. *Unjuk Kerja Alternatif Pengendalian Banjir Batang Anai dan Batang Kandis Sumatera Barat*. Civil and Enviromental Engineering Department Faculty Of Engineering. No. XVIII/2-May 2008 diakses melalui <https://www.researchgate.net> pada tanggal 22 November 2018.
- Istiarto. 2014. *Simulasi Aliran 1-Dimensi dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS*. Yogyakarta : Istiarto.
- Kamiana, I Made. 2011. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Kodoatie, Robert J. 2013. *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*. Yogyakarta : Andi.

- Liputan6.com. Empat Kelurahan di Padang Terendam Banjir-News Liputan6.com. diakses melalui <https://www.liputan6.com> pada tanggal 23 November 2018 Pukul 08.20 WIB.
- M. Izzam, Habib. 2011. *Studi Perencanaan Saluran Banjir (Floodway) di Avour Sarangan Kecamatan Wonoasri Kabupaten Madiun.* diakses melalui pengairan.ub.ac.id pada tanggal 23 November 2018.
- Mera, Mas Ph.D. 2010. *Hidrolika Saluran Terbuka (Open-Channel Hydraulics).* Universitas Andalas Padang : CV. FERILA.
- Putri Zia, Yayank dan Aprio, Faldi. 2018. *Analisis Pengaruh Sudetan (shortcut) Muara Sungai Batang Antokan Terhadap Tinggi Genangan Banjir.* Politeknik Negeri Padang : Perpustakaan.
- Marona, Seri. 2018. *Simulasi Pengaruh Muara Baru (Floodway) Terhadap Pengendalian Banjir Batang Kandis .* Universitas Andalas : Perpustakaan.
- Tri Cahyono, Agung. 2011. *Perencanaan Pengendalian Banjir Kali Kemuning, Sampang.* diakses melalui <http://digilib.its.ac.id/public/ITSUndergraduate-16949-3107100014-Paper.pdf> pada tanggal 05 April 2019.

PERENCANAAN TUBUH BENDUNGAN TARAM KAB. LIMA PULUH KOTA

Rival Tri Putra¹, Elvi Syamsuir², Ridha Sari³, Astuti Masdar⁴

¹Mahasiswa Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh.

Email: rival3putra@gmail.com

²Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh.

Email: elvisyamsuir237@gmail.com

³Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh.

Email: ridhasariidjahinar@gmail.com

⁴Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh.

Email: astuti_masdar@yahoo.com

ABSTRACT

According to Government Regulation Number 37 Article 1 of 2010 concerning Dams, that a dam is a building in the form of earth, rock, concrete, and / or stone pairs that are built in addition to holding and storing water, can also be built to hold and accommodate mine waste (tailings), or collect mud to form a reservoir. A dam functions as a water catcher and stores it in the rainy season when river water flows in large quantities and exceeds the needs whether for use, irrigation, drinking water, industry or others. The purpose of this study is to plan the Taram Dam body, analyze the Taram Dam load, analyze the stability of the Taram Dam and describe the Taram Dam body structure plan. The method used in this study is a quantitative method by collecting data and field surveys. The result of the research is that the Technical Data of the dimensions of the planned dam are the dam height of 51,79 m, the width of the dam peak 10,5 m, the dam length 420 m, the upstream slope 1: 3, the downstream slope 1: 3. The forces acting on the Dam Taram is the body's own weight dam 471546,80 T, Hydrostatic Water Pressure 1038,31 T/m, Hydrodynamic Water Pressure 1090,23 T/m, Active Soil Pressure 3615,66 T/m, Passive Soil Pressure 14344,24 T/m , Upward Pressure Force 25,93 kg/m² and Earthquake Force 171454,90 T with Corrected Earthquake Force 135449,37 T. Based on analysis of the stability of the bolster, shear stability, stability to the carrying capacity of the soil and underground erosion manually calculated the result of the calculation shows that Taram Dam is safe against these forces.

Keywords : dam, dam body, dam stability

ABSTRAK

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 37 Pasal 1 Tahun 2010 tentang Bendungan, bahwa bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, beton, dan atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (tailing), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Sebuah bendungan berfungsi sebagai penangkap air dan menyimpannya di musim hujan waktu air sungai mengalir dalam jumlah besar dan yang melebihi kebutuhan baik untuk keperluan, irigasi, air minum, industri atau yang lainnya. Tujuan dari penelitian ini adalah merencanakan tubuh Bendungan Taram, menganalisa beban Bendungan Taram, menganalisa stabilitas Bendungan Taram dan menggambarkan rencana struktur tubuh Bendungan Taram. Metoda yang digunakan

dalam penelitian ini adalah metoda kuantitatif dengan cara pengumpulan data dan survey lapangan. Hasil penelitian didapatkan Data Teknis dimensi bendungan yang telah direncanakan adalah tinggi bendungan 51,79 m, lebar puncak bendungan 10,5 m, panjang bendungan 420 m, kemiringan hulu 1 : 3, kemiringan hilir 1 : 3. Gaya-gaya yang bekerja pada Bendungan Taram adalah berat sendiri tubuh bendungan 471546,80 T, Tekanan Air Hidrostatik 1038,31 T/m, Tekanan Air Hidrodinamik 1090,23 T/m, Tekanan Tanah Aktif 3615,66 T/m, Tekanan Tanah Pasif 14344,24 T/m, Gaya Tekan ke Atas 25,93 kg/m² dan Gaya Gempa 171454,90 T dengan Gaya Gempa Terkoreksi 135449,37 T. Berdasarkan analisis stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap geser, stabilitas terhadap daya dukung tanah dan erosi bawah tanah yang dihitung secara manual didapatkan hasil perhitungan yang menyatakan Bendungan Taram aman terhadap gaya-gaya tersebut.

Kata Kunci : bendungan, tubuh bendungan, stabilitas bendungan

1. PENDAHULUAN

Banjir bukan masalah yang ringan. Banjir dapat terjadi akibat naiknya permukaan air lantaran curah hujan yang diatas normal, perubahan suhu, tanggul/bendungan yang bobol, pencairan salju yang cepat, terhambatnya aliran air di tempat lain (Ligal, 2008).). Melihat besarnya bahaya tersebut maka sangat diperlukan penanganan khusus dari berbagai pihak, baik dari pemerintah maupun masyarakat.

Kenagarian Taram, Kecamatan Harau, Kabupaten Lima Puluh Kota, merupakan salah satu wilayah yang sering terkena banjir bila musim penghujan tiba. Dampak yang ditimbulkan oleh banjir tersebut telah mengganggu aktivitas warga dan menyebabkan banyak kerugian materil maupun imateril.

Banjir yang melanda Kenagarian Taram terjadi hampir setiap tahunnya. Tercatat dari www.harianhaluan.com pada tanggal 15 Januari 2016 juga terjadi banjir yang mengakibatkan tergenangnya belasan hektar sawah yang saat itu padinya sedang berbuah. Pada tahun 2017 juga terjadi banjir tepatnya tanggal 3 Maret 2017 dan juga mengakibatkan kerusakan beberapa infrastruktur (Jalan, tebing, bendungan, bangunan irigasi, dan lain-lain) serta lahan pertanian dan perikanan milik warga setempat (www.limapuluhkotakab.go.id).

Tahun 2018 Badan Wilayah Sungai Sumatera V telah mensosialisasikan tentang akan dibangunnya Bendungan Taram sebagai solusi penanganan masalah banjir di daerah ini. Selain tujuan tersebut, pembangunan bendungan ini diharapkan dapat menunjang peningkatan status sosial ekonomi dengan pemenuhan swasembada pangan, irigasi, upaya konservasi, pengendalian banjir, pariwisata dan banyak manfaat lain. Namun sebenarnya bendungan juga menyimpan potensi bahaya yang cukup besar jika tidak dikelola dengan baik. Sebagaimana disebutkan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat nomor 27/PRT/M/2015, pasal 2 dinyatakan bahwa Pembangunan Bendungan dan Pengelolaannya dilaksanakan berdasarkan Konsepsi Keamanan Bendungan yang terdiri dari 3 pilar, yaitu : (a) keamanan struktur berupa aman terhadap kegagalan struktur, aman terhadap kegagalan hidraulis dan aman terhadap kegagalan rembesan (b) operasi, pemeliharaan dan pemantauan dan (c) kesiapsiagaan tindak darurat.

2. DIMENSI TUBUH BENDUNGAN

Penentuan dimensi tubuh bendungan diantaranya tinggi bendungan, lebar mercu bendungan, panjang bendungan, kemiringan lereng tubuh bendungan.

a. Tinggi bendungan

Tinggi bendungan adalah perbedaan antara elevasi permukaan pondasi dan elevasi mercu bendungan. Untuk menentukan tinggi bendungan secara optimal harus memperhatikan tinggi ruang bebas dan tinggi air untuk operasi waduk (Soediby, 1993 : 219).

Untuk menentukan tinggi bendungan terlebih dahulu harus menentukan tinggi jagaan (H_f) yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$H_f \geq \Delta h + (h_w \text{ atau } \frac{h_e}{2}) + h_a + h_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

dengan Δh adalah tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk yang terjadi akibat timbulnya banjir abnormal, h_w adalah tinggi ombak akibat tiupan angin, h_e adalah tinggi gelombang akibat gempa, h_a adalah tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk, apabila terjadi kemacetan-kemacetan pada pintu bangunan pelimpah, h_i adalah tinggi tambahan yang didasarkan pada tingkat urgensi dari waduk.

b. Lebar mercu bendungan

Guna memperoleh lebar minimum mercu bendungan, biasanya dihitung dengan rumus sebagai berikut (Sosrodarsono, 1977 : 174) :

$$B = 3,6 \cdot H^{\frac{1}{3}} - 3 \quad \dots\dots\dots (2)$$

dengan B adalah lebar mercu bendungan (m), H adalah tinggi bendungan (m).

c. Panjang bendungan

Panjang bendungan adalah seluruh panjang mercu bendungan yang bersangkutan, termasuk bagian yang digali pada tebing–tebing sungai di kedua sisi ujung mercu tersebut.

d. Kemiringan lereng bendungan

Pada tubuh bendungan urugan mempunyai kemiringan lereng tertentu, dalam perencanaannya dapat menggunakan persamaan berikut :

$$FS_{\text{hulu}} = \frac{m - k \cdot \gamma}{1 + k \cdot \gamma \cdot n} \text{tg}\phi \geq 1,1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$FS_{\text{hilir}} = \frac{n - k}{1 + k \cdot n} \text{tg}\phi \geq 1,1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

dengan FS_{hulu} adalah faktor keamanan lereng bagian hulu, FS_{hilir} adalah faktor keamanan lereng bagian hilir, m adalah kemiringan lereng hulu, n adalah kemiringan lereng hilir, k adalah koefisien gempa, ϕ adalah sudut geser dalam.

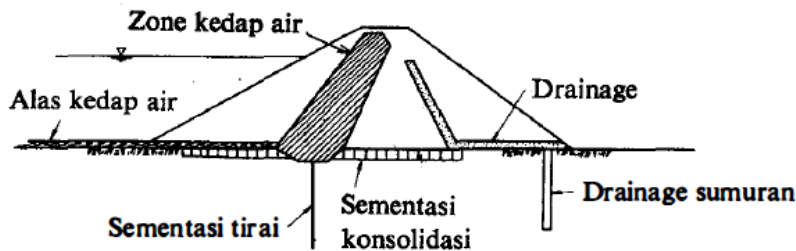
Tabel 1. Hasil Perhitungan Dimensi Bendungan

Dimensi Tubuh Bendungan	Hasil Perhitungan
Tinggi bendungan	51,79 m
Lebar mercu bendungan	10,50 m
Panjang bendungan	420 m
Kemiringan lereng bendungan	Hulu 1 : 3 Hilir 1 : 3

3. ANALISIS STABILITAS BENDUNGAN

a. Rembesan pada pondasi

Pondasi suatu bendungan berfungsi sebagai pendukung semua beban yang diteruskan oleh bendungan yang bersangkutan. Apabila nilai permeabilitas dan harga lugeon lebih dari angka yang telah ditentukan maka perlu dilakukan treatment pondasi bendungan, salah satunya adalah dengan cara grouting. Grouting adalah salah satu perbaikan pondasi bendungan yang merupakan pekerjaan dimana suatu cairan campuran antara semen dan air diinjeksikan dengan tekanan ke dalam rongga, pori, rekahan dan retakan batuan yang selanjutnya cairan tersebut dalam waktu tertentu akan menjadi padat dan menjadi satu kesatuan dengan tanah yang ada.



Gambar 1. Sistem pencegahan kebocoran pada bendungan urugan

Sementasi tirai salah satu dari jenis perbaikan pondasi yang dimaksudkan agar dalam lapisan pondasi terbentuk semacam tirai kedap air yang disebut tirai-sementasi untuk mengurangi debit filtrasi yang melalui pondasi bendungan dengan cara memaksa aliran filtrasi mengalir melalui ujung bawah tirai tersebut. Sebagai perkiraan yang sangat umum, kedalaman sementasi data digunakan rumus empiris sebagai berikut :

$$d = \frac{1}{3} h + c \quad \dots\dots\dots (5)$$

dengan d adalah kedalaman pengeboran (m), h adalah tinggi tekanan statis air (m), c adalah koefisien (8 s/d 20).

Perhitungan debit rembesan sebelum digrouting :

$$Q_0 = \frac{K_1 \cdot H \cdot Z_f}{L_1} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Perhitungan debit rembesan sesudah digrouting :

$$Q = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot H \cdot Z_f}{K_2 \cdot L_1 + K_1 \cdot L_2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

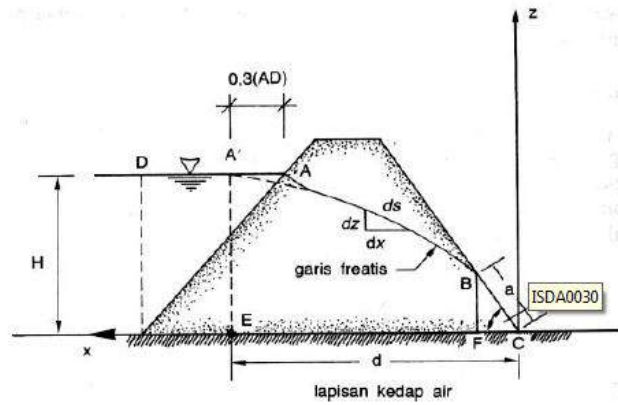
Efektivitas grouting terhadap debit rembesan (Ec) :

$$E_c = \frac{Q_0 - Q}{Q_0} \quad \dots\dots\dots (8)$$

dengan E_c adalah efektivitas debit akibat grouting (%), Q₀ adalah besarnya debit sebelum digrouting, Q adalah besarnya debit setelah digrouting, K₁ adalah koefisien permeabilitas sebelum digrouting, K₂ adalah koefisien permeabilitas setelah digrouting, L₁ adalah panjang aliran rembesan, L₂ adalah lebar daerah yang digrouting.

b. Rembesan pada tubuh bendungan

A. Casagrande (1937) memberikan cara untuk menghitung rembesan lewat tubuh bendungan yang berasal dari pengujian model.



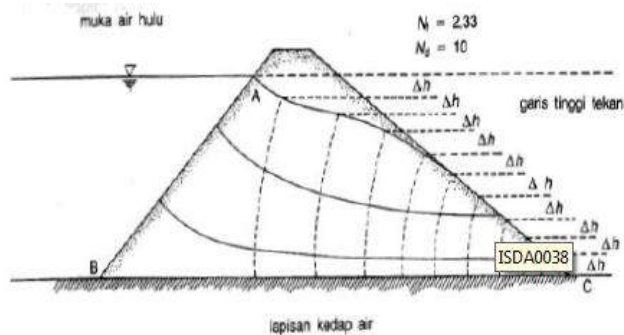
Gambar 2. Hitungan rembesan cara Cassagrande

Besarnya debit rembesan dapat ditentukan dengan persamaan :

$$q = k_a \cdot \sin^2 \alpha \quad \dots\dots\dots (9)$$

Debit rembesan juga dapat ditentukan dengan menggunakan metode jaring arus (flownet) dengan persamaan :

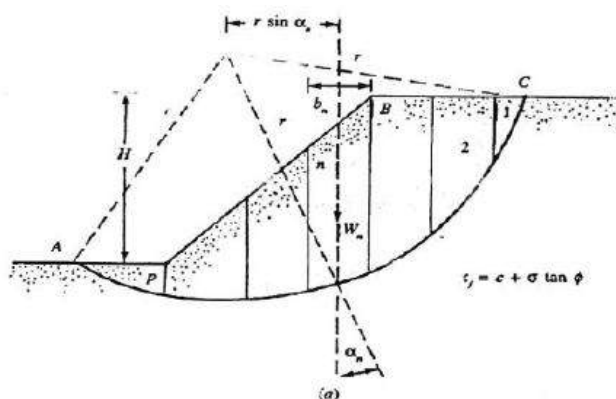
$$q = K \cdot h \cdot L \cdot \frac{N_f}{N_d} \quad \dots\dots\dots (10)$$



Gambar 3. Penggambaran jaring arus pada bendungan

c. Stabilitas lereng tubuh bendungan

Analisis stabilitas dengan menggunakan metode irisan, dapat dijelaskan dengan memperhatikan Gambar 4 dengan AC merupakan lengkungan lingkaran sebagai permukaan bidang longsor percobaan.



Gambar 4. Sketsa sederhana analisis stabilitas lereng metode Fellenius

Untuk menentukan angka keamanan maka digunakan persamaan:

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \cdot \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad \dots\dots\dots (11)$$

dengan F_s adalah faktor keamanan, $\Delta L_n = \frac{b_n}{\cos \alpha_n}$ dan b_n adalah lebar potongan irisan ke-n.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Stabilitas Bendungan

No	Kondisi	Angka keamanan		Keterangan
		Hasil	SF	
1	Guling	53,8	> 1,5	Aman
2	Geser	4,28	> 1,64	Aman
3	Daya Dukung Tanah	205,90	> 70	Aman
4	Erosi Bawah Tanah	334226,7	> 0,00004	Aman

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan diperoleh beberapa hasil yaitu data teknis dimensi bendungan yang telah direncanakan adalah tinggi bendungan 51,79 m, lebar puncak bendungan 10,5 m, panjang bendungan 420 m, kemiringan hulu 1 : 3, kemiringan hilir 1 : 3. Beban atau gaya-gaya yang bekerja pada Bendungan Taram adalah berat sendiri tubuh bendungan 471546,80 T, tekanan air hidrostatik 1038,31 T/m, tekanan air hidrodinamik 1090,23 T/m, tekanan tanah aktif 3615,66 T/m, tekanan

tanah pasif 14344,24 T/m, gaya tekan ke atas 25,93 kg/m² dan gaya gempa 171454,90 T dengan gaya gempa terkoreksi 135449,37 T. Analisis stabilitas bendungan terhadap guling, stabilitas terhadap geser, stabilitas terhadap daya dukung tanah dan erosi bawah tanah yang dihitung secara manual didapatkan hasil perhitungan yang menyatakan Bendungan Taram aman terhadap gaya-gaya tersebut.

Disarankan untuk penelitian perencanaan bendungan selanjutnya, sebaiknya bukan hanya menghitung tubuh bendungan saja, tapi lengkap dengan bangunan pendukungnya untuk memperdalam ilmu tentang bangunan-bangunan air dan referensi harus diperbanyak lagi untuk menghindari/meminimalisir kesalahan yang mungkin saja terjadi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Casagrande, A. 1937. *Seepage through dams. Journal New England Water Works*, Vol. 51, No. 2, pp 295-336.
- Ligal, S. 2008. Pendekatan Pencegahan dan Penanggulangan Banjir. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*, Vol. 8, No. 2, pp 162-169.
- Menteri PUPR Republik Indonesia. 2015. *Peraturan Menteri PUPR Republik Indonesia Nomor 27/PRT/M/2015 tentang Bendungan*. Jakarta : Menteri PUPR Republik Indonesia.
- Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2010.18 Februari 2010. *Bendungan*. Jakarta.
- Soedibyo. 1993. *Teknik Bendungan*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, S dan K. Takeda. 1977. *Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta : Pradnya Paramita.

SIMULASI DEBIT BANJIR PADA SUNGAI BATANG MAHAT MENGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK DAN DATA HUJAN SATELIT

Angga Syahputra¹, Ansa Pamungkas Sukiman², Dalrino³, Aguskamar⁴

¹Mahasiswa D IV Perencanaan Irigasi dan Rawa, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang. Email: anggakirigaya@gmail.com

²Mahasiswa D IV Perencanaan Irigasi dan Rawa, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang. Email: ansamomo@gmail.com

³Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang. Email: dalrino350@gmail.com

⁴Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang. Email: aguskamar@pnp.ac.id

ABSTRACT

Flooding on March 3, 2017 has submerged an area of 17,397 km² in Nagari Pangkalan, Lima Puluh Kota Regency. Flooding is caused by the overflow of Batang Mahat River which is the upstream of the Kampar watershed due to high rainfall that occurred at that time. The prediction of the amount of flood discharge that occurred at that time was complicated by the malfunctioning of the Batang Mahat AWLR Post during the flood incident and the position of rainfall station away from the catchment area. This has the potential to cause deviations from the predicted flood discharge values. Numerical simulations to estimate the amount of discharge that occurs has been carried out. Hydraulic flow variable value is obtained through mathematical modeling using HEC-RAS. Flood inundation area conditions were simulated using Q-GIS. Determination of flood discharge is analyzed utilizing the value of rainfall recorded at the rainfall post and compared with the results of the analysis using TRMM satellite data. The simulation results have been validated by comparing the height of the water level obtained with field data that occurred during a flood. Placement of flooded areas was also carried out on simulated inundation maps and the results were obtained. The simulation results get a flood discharge value is 2,745 m³ / sec with return period not exceeding the PMF. The maximum discharge capacity of the Batang Mahat River is also obtained at 595 m³ / sec. The height of the discharge that occurred has resulted in a length of 3.5 km from 9.7 km in length of the river which is simulated experiencing flooding. The results of the plotting of the inundation map also showed the submergence of two villages, Pangkalan Village and Manggilang Village

Keywords : Batang Mahat River, Rainfall, HEC-RAS, Q-GIS, PMF

ABSTRAK

Banjir pada tanggal 3 Maret 2017 telah menenggelamkan lahan seluas 17,397 km² di Nagari Pangkalan, Kabupaten Lima Puluh Kota. Banjir diakibatkan oleh meluapnya Sungai Batang Mahat yang merupakan hulu dari DAS Kampar akibat tingginya curah hujan yang terjadi saat itu. Prediksi besaran debit banjir yang terjadi saat itu dipersulit dengan tidak berfungsinya Pos AWLR Sungai Batang Mahat saat kejadian banjir serta jauhnya posisi stasiun curah hujan dari daerah catchment. Hal ini sangat berpotensi menyebabkan penyimpangan terhadap nilai debit banjir prediksi. Simulasi numerik untuk memperkirakan besaran debit yang terjadi saat kejadian banjir telah dilakukan. Nilai variabel hidraulik aliran didapatkan melalui pemodelan matematik menggunakan HEC-RAS. Kondisi luas genangan banjir disimulasikan menggunakan Q-GIS. Penentuan debit

banjir dianalisa memanfaatkan nilai curah hujan yang tercatat pada pos curah hujan dan dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan data hujan satelit TRMM. Hasil simulasi telah divalidasi dengan cara membandingkan ketinggian muka air yang didapatkan dengan data lapangan yang terjadi saat banjir. Penempatan lokasi daerah tergenang juga dilakukan terhadap peta genangan simulasi dan mendapatkan kesesuaian hasil. Hasil simulasi mendapatkan nilai debit banjir sebesar 2.745 m³/detik dengan periode ulang tidak melebihi PMF. Didapatkan juga kapasitas tampungan debit maksimum Sungai Batang Mahat sebesar 595 m³/detik. Ketinggian debit yang terjadi telah mengakibatkan sepanjang 3,5 km dari 9,7 km panjang sungai yang disimulasikan mengalami banjir. Hasil plotting terhadap peta genangan juga memperlihatkan terendamnya dua desa yaitu Desa Pangkalan dan Desa Manggilang.

Kata Kunci : Sungai Batang Mahat, Curah hujan, HEC-RAS, Q-GIS, PMF

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir pada Nagari Pangkalan, Kabupaten Lima Puluh Kota merupakan permasalahan rutin yang terjadi setiap tahunnya. Banjir telah menimbulkan dampak yang merugikan masyarakat. Banjir pada kejadian tanggal 3 Maret 2017 merupakan salah satu yang terbesar dan memiliki dampak yang begitu parah karena telah menggenangi hampir keseluruhan dari Desa Pangkalan khususnya di wilayah Sub DAS Batang Mahat. Selain terjadinya alih fungsi lahan di sepanjang aliran sungai dan juga di hulu sungai, sejumlah dugaan penyebab kejadian banjir lainnya bermunculan diantaranya tentang masalah keberadaan Waduk Koto Panjang di hilir Nagari Pangkalan dan adanya penyempitan alur sungai.

Dalam penanggulangan permasalahan banjir, keterbatasan data hidrologi keraplah dijumpai. Sedangkan, tuntutan penanggulangan yang cepat, tepat, dan segera dari masyarakat merupakan tantangan tersendiri bagi pemerintah ataupun instansi terkait dalam melakukan upaya penanggulangan banjir. Tuntutan tersebut menimbulkan munculnya metode baru dalam memperoleh data hidrologi dengan memanfaatkan perkembangan teknologi informasi seperti data satelit.

Di era globalisasi dan komunikasi, perkembangan teknologi sangatlah cepat. Pemanfaatan teknologi banyak dilakukan dalam berbagai bidang. Teknologi yang dimaksud dalam hal ini adalah program aplikasi. Diantaranya program aplikasi yang berhubungan dengan hidrolika adalah HEC-RAS dan Q-GIS.

Terjadinya peristiwa banjir di Nagari Pangkalan akibat meluapnya Sungai Batang Mahat dan salah satu upaya dalam pemanfaatan teknologi yang telah tersedia. Maka tujuan penelitian ini adalah memperoleh nilai debit air banjir serta mensimulasikan genangan banjir.

1.2 Tujuan

1. Dapat membandingkan data curah hujan Sta. Suliki dan Sta. Tanjung Pati terhadap data curah hujan satelit.

2. Dapat mengetahui besaran nilai debit air banjir yang terjadi.
3. Dapat mengetahui periode ulang terjadinya air banjir.
4. Dapat mengidentifikasi daerah-daerah yang mengalami *over topping*.
5. Dapat mengetahui kapasitas tampungan sungai.
6. Dapat mensimulasikan genangan banjir.

2. STUDI PUSTAKA

Penggunaan program HEC-RAS dalam mensimulasi debit air banjir sebelumnya telah banyak dilakukan pada penelitian di berbagai daerah. Program HEC-RAS telah diaplikasikan dalam analisis kapasitas penampang Sungai Batang Mahat terhadap besaran debit banjir menggunakan pendekatan model matematik. Hasil simulasi diperoleh solusi umum yang disarankan adalah dengan melakukan normalisasi penampang sungai dengan bertujuan untuk memperbesar penampang basah aliran. Hal ini dilakukan dengan memberikan pelebaran penampang lebar dasar ke arah hulu di Batang Mahat (Dalrino, 2018). Penggunaan HEC-RAS juga diterapkan dalam analisa kapasitas pengendalian banjir dengan perbandingan metode HSS, HEC-HMS dan HEC-RAS di daerah aliran sungai Sei Sikambing, Kabupaten Deli Serdang. Hasil Simulasi HEC-RAS menyatakan bahwa Sungai Sei Sikambing memiliki kapasitas pengendalian debit banjir, namun sangat rentan terhadap banjir dan erosi tanah melihat dari kontur sungai dan kondisi limbah (Sitohang, L.T., 2016).

Adapun jurnal penelitian lainnya yang berkaitan dengan penyebab terjadinya banjir pada Sungai Batang Mahat juga dijadikan sebagai tinjauan pustaka penelitian. Laju sedimentasi yang cukup besar di hulu di Sungai Batang Mahat akibat pengaruh perubahan tata guna lahan juga terindikasi sangat berpotensi mengakibatkan terjadinya pendangkalan sungai yang selanjutnya dapat berdampak pada terjadinya banjir (Herdianto, R., 2018). Peningkatan usaha tani gambir di lahan miring mengganggu upaya konservasi tanah dan air. Hal ini dapat dibuktikan:pertama, setiap pembukaan lahan baru untuk kebun umumnya dilakukan pada areal yang berasal dari hutan lahan miring:kedua, baban bakar kayu untuk pengolahan daun gambir masih diambil dari hutan: ketiga, kebun gambir yang tidak produktif ditinggalkan dan dibuat kebun baru (sistem ladang berpindah):keempat, budidaya tanaman gambir yang tidak melakukan upaya konservasi tanah dan air (Yunus, M., 2002).

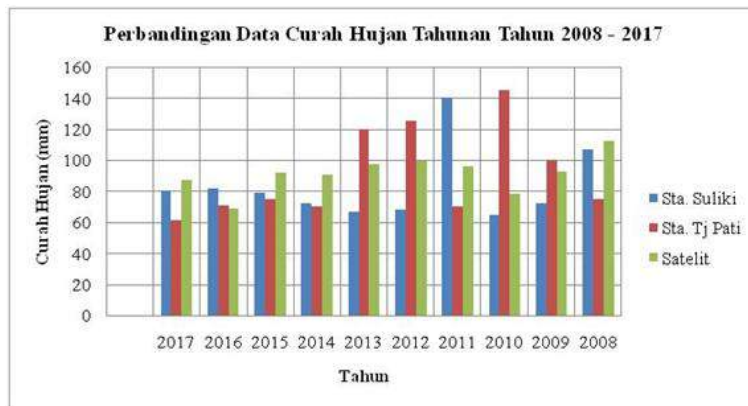
Disebabkan kurangnya informasi berupa data curah hujan dan data debit air di sekitar lokasi kejadian banjir. Oleh karenanya, digunakan data curah hujan satelit sebagai pembanding dalam analisa hidrologi. Data curah hujan satelit yang dimaksud adalah data curah hujan yang diperoleh dengan memanfaatkan satelit penelitian TRMM yang secara resmi berakhir beroperasi pada tanggal 15 April 2015 setelah habis cadangan bahan bakarnya. Kemudian satelit penelitian TRMM fungsinya digantikan dengan satelit penelitian GPM yang telah mulai mengorbit di angkasa pada tanggal 27 Februari 2014. Berikut jurnal-jurnal penelitian berkaitan dengan pemanfaatan data

curah hujan satelit yang digunakan sebagai landasan atau pedoman dalam penulisan penelitian ini. Perhitungan keseimbangan air pada pembangkit listrik tenaga air Maninjau menggunakan TRMM dan data debit. Hasil analisa menunjukkan TRMM dan hujan permukaan memiliki perbedaan antara air masuk terhadap air keluar saat hujan terjadi langsung di atas danau. Namun, TRMM sendiri tidak dapat menjelaskan sisa air setelah terjadinya hujan (Istijono, B., 2014).

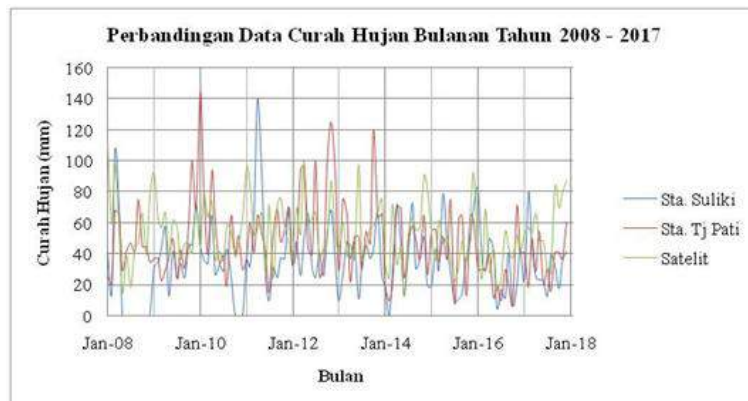
3. HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Perbandingan Data Curah Hujan

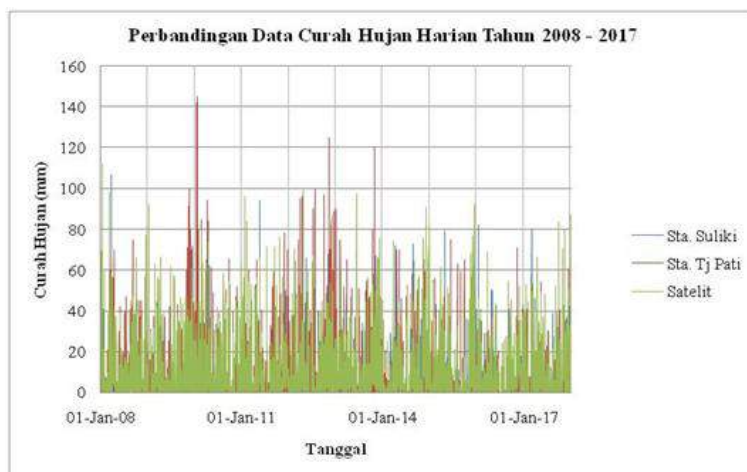
Data curah hujan yang akan digunakan dalam analisa merupakan stasiun curah hujan terdekat lokasi kejadian banjir yaitu Sta. Suliki dan Sta. Tanjung Pati. Agar memiliki hasil analisa yang lebih baik, maka digunakan data curah hujan satelit yang digunakan sebagai pembandingan terhadap data analisa. Data curah hujan yang akan digunakan dalam analisa berjumlah 10 tahun dengan rentang data mulai dari tahun 2008 s.d. 2017.



Gambar 31. Grafik Perbandingan Data Curah Hujan Tahunan



Gambar 32. Grafik Perbandingan Data Curah Hujan Bulanan



Gambar 33. Grafik Perbandingan Data Curah Hujan Harian

3.2 Analisa Hidrologi

Kajian ini menggunakan data hujan dari stasiun yang terdekat dengan Sub DAS Batang Mahat yakni 2 (dua) Stasiun Suliki dan Stasiun Tanjung Pati karena tidak adanya stasiun pengukur curah hujan yang berada dalam lokasi kajian ini. Kemudian digunakan data curah hujan satelit sebagai pembading. Kajian ini menggunakan data pengamatan dari tahun 2008 s.d. 2017 (sepuluh tahun). Dari data curah hujan dilakukan analisa distribusi frekuensi, uji kekesuaian, uji kecocokan dan di akhir dilakukan Analisa debit banjir Rencana dengan metode yang terpilih yakni Rasional. Pada tabel 1 dapat dilihat Debit Rencana dari hasil perhitungan dengan Metoda Rasional :

Tabel 22. Debit Rencana Metoda Rasional pada beberapa periode ulang Menggunakan Data Curah Hujan Sta. Suliki dan Sta. Tanjung Pati

Kala Ulang	2	5	10	20	25	50	100	1000	PMF
Debit	1.312	1.490	1.592	1.681	1.698	1.788	1.865	2.092	6.977

Tabel 23. Debit Rencana Metoda Rasional pada beberapa periode ulang Menggunakan Data Curah Hujan Satelit

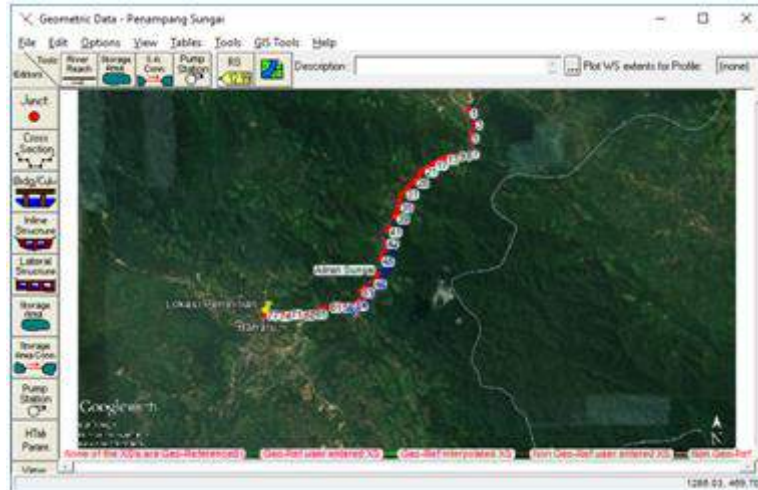
Kala Ulang	2	5	10	20	25	50	100	1000	PMF
Debit	1.391	1.541	1.620	1.685	1.697	1.758	1.809	1.945	4.239

3.3 Simulasi Debit Banjir Menggunakan Program HEC-RAS

Pemodelan dengan HEC-RAS versi 4.1 didasarkan dari data geometrik sungai yang diambil hasil survey dan pengukuran yang dilakukan oleh Tim Balai Wilayah Sungai Sumatera V dan Dinas PSDA Provinsi Sumatera Barat pasca banjir 3 Maret 2017.

3.3.1 Skematik Pemodelan

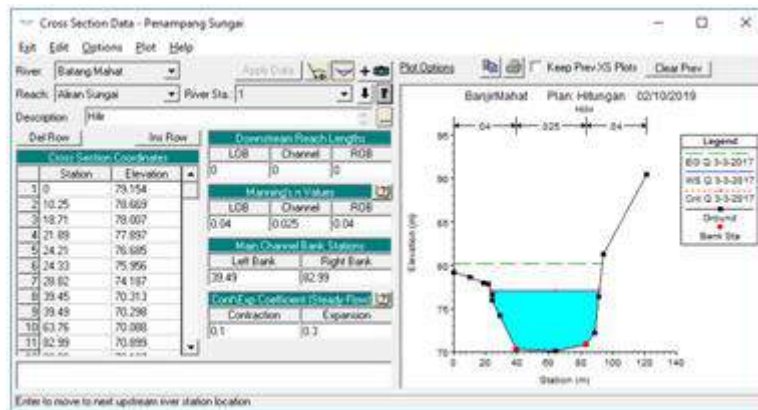
Pada Gambar 4, diperlihatkan model skema Sungai Batang Mahat.



Gambar 34. Skematik Pemodelan Sungai Batang Mahat

3.3.2 Data Geometrik Sungai

Pada Gambar 5, terlihat proses input geometrik penampang sungai



Gambar 35. Inputing geometrik penampang melintang sungai

3.3.3 Kondisi Batas

Kajian ini menggunakan *Steady Flow Analisis* yang memerlukan kondisi batas (*boundary condition*) :

1. Kondisi batas hulu digunakan hasil perhitungan debit banjir seperti terlihat pada Tabel 1.
2. Kondisi batas hilir : elevasi muka air banjir tanggal 3 Maret 2017 di Jembatan Tanjung balik setinggi ± 77.102 m dan kedalaman air 7.014 m (lihat Gambar 6).



Gambar 36. Inputing kondisi batas *steady flow analisist*

3.3.4 Validasi Data

1. Data elevasi muka air banjir dari pengukuran dari bekas tanda-tanda banjir yang berada di lokasi. Salah satu nya adalah bekas tanda banjir di *abutment* Jembatan Pangkalan memiliki elevasi $\pm 92,63$ m dpl dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 37. Tinggi muka air pada Jembatan Pangkalan

2. Hasil wawancara dan pengukuran diperoleh data elevasi muka air pada saat kejadian banjir 3 Maret 2017 di Jembatan Tanjung Balik memiliki elevasi $\pm 77,102$ m dpl.



Gambar 38. Tinggi muka air pada Jembatan Tanjung Balik

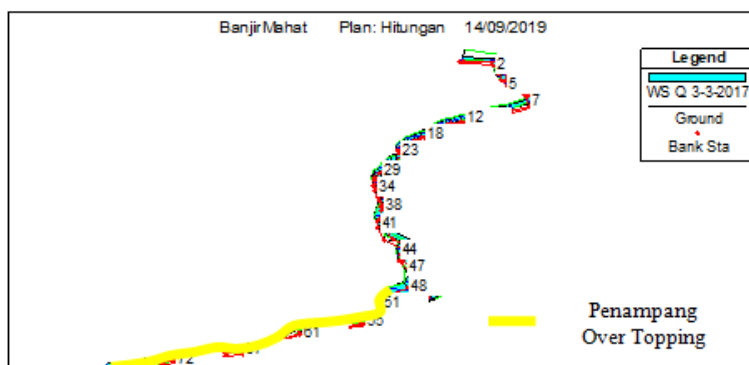
- Berdasarkan hasil wawancara, pada kejadian tanggal 3 Maret 2017 diketahui Pos AWLR Sungai Batang Mahat terendam secara keseluruhan oleh banjir. Akan tetapi pada pencatatan tinggi muka air dan debit air sungai, diperoleh nilai tinggi muka air sebesar 2,39 m dengan debit 417 m³/detik pada tanggal 3 Maret 2017. Berdasarkan fakta tersebut, penulis menyimpulkan bahwa data Pos AWLR Sungai Batang Mahat tidak dapat digunakan dalam analisa hidrologi karena memiliki nilai yang tidak sesuai dengan kondisi lapangan.

3.3.5 Pelaporan

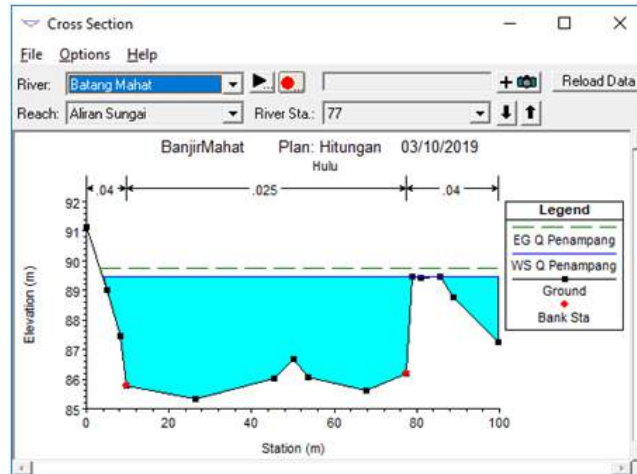
Setelah melakukan simulasi, maka diperoleh hasil sebagai berikut.

Plan: 01 Batang Mahat Aliran Sungai RS. 1 Profile: Q 3-3-2017					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	80.19	Wt. m/Val.	0.040	0.025	0.040
Vel Head (m)	3.09	Reach Len. (m)			
W.S. Elev (m)	77.10	Flow Area (m2)	61.21	294.72	38.96
Cut W.S. (m)	77.10	Area (m2)	61.21	294.72	38.96
E.G. Slope (m/m)	0.003269	Flow (m3/s)	199.76	2419.95	125.29
Q Total (m3/s)	2745.00	Top Width (m)	16.08	43.50	8.38
Top Width (m)	67.95	Avg. Vel. (m/s)	3.26	8.21	3.22
Vel Total (m/s)	6.95	Hyd. Depth (m)	3.81	6.78	4.65
Max Ch Dpth (m)	7.01	Conv. (m3/s)	3483.4	42199.2	2184.9
Conv. Total (m3/s)	47867.5	Wetted Per. (m)	17.82	43.52	11.59
Length Wtd. (m)	70.09	Shear (N/m2)	110.77	218.40	108.36
Min Ch El (m)	1.26	Stream Power (N/m.s)	5811.89	0.00	0.00
Alpha		Cum Volume (1000 m3)			
Froth Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			
C & E Loss (m)					

Gambar 39. Tabel Hasil Simulasi Debit Banjir



Gambar 40. Penampang Sungai yang Mengalami *overtopping*

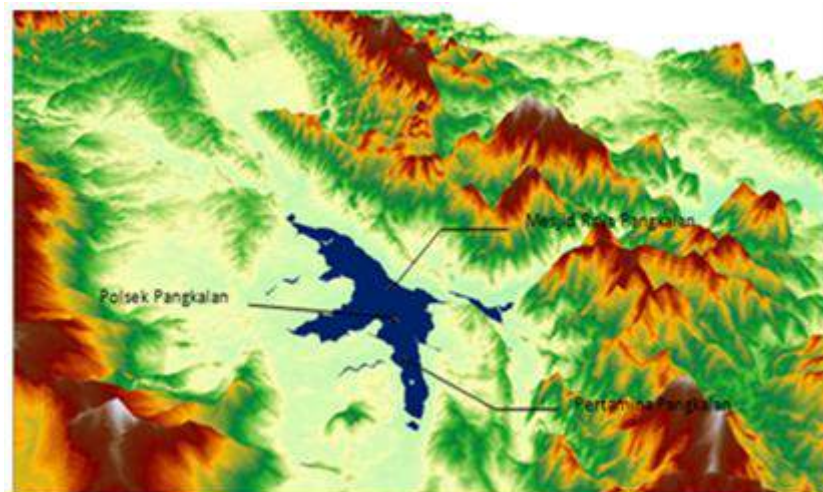


Gambar 41. Kapasitas Tampung Sungai Batang Mahat

3.4 Pemetaan Genangan Banjir

Pemetaan genangan dengan program aplikasi bersistem GIS menggunakan data DEM jenis DEMNAS kemudian air dianimasikan dengan data *shapefile* berdasarkan kondisi batas elevasi muka air pada hulu sungai ± 93 m.

Berdasarkan Gambar (25) dan (26) diketahui bahwa hasil simulasi banjir menggenangi beberapa *landmark* yang terdapat pada Desa Pangkalan. Beberapa *landmark* tersebut diantaranya: Masjid Raya Pangkalan, Kantor Polsek Pangkalan, dan Pertamina Pangkalan.



Gambar 42. Koordinat *landmark* yang Disuperposisikan Terhadap Genangan Banjir

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dalam kajian ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Grafik perbandingan menunjukkan data curah hujan satelit memiliki rentang data yang tidak terlalu jauh dibandingkan terhadap data curah hujan Sta. Suliki dan Sta. Tanjung Pati.
2. Debit air banjir pada kejadian 3 Maret 2017 sebesar 2.745 m³/detik.
3. Banjir pada kejadian 3 Maret 2017 terjadi dengan periode ulang banjir tidak melebihi PMF.
4. Sepanjang 3,5 km dari 9,7 km panjang sungai yang disimulasikan mengalami banjir. Banjir terjadi mulai dari Sta 77 (hulu) hingga Sta 48 yang berjumlah 30 stasioning.
5. Kapasitas alamiah Sungai Batang Mahat hanya memiliki kapasitas tampungan debit maksimum sebesar 595 m³/detik.
6. Dengan elevasi muka air \pm 93 m, terjadi genangan banjir yang mengakibatkan terendamnya dua desa yaitu Desa Pangkalan dan Desa Manggilang dengan luas genangan sebesar 17,397 km².
7. Maka penulis menyimpulkan bahwa banjir pada 3 Maret 2017 dengan debit banjir 2.745 m³/detik merupakan fenomena besarnya curah hujan yang mengakibatkan debit air melebihi kapasitas tampung Sungai Batang Mahat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Istijono, Revalin Herdianto, Dalrino, Adek Rizaldi. 2014. Estimation of Water Balance for Maninjau Hydropower using TRMM and Discharge Data. Conference Paper: 1-7.
- Dalrino, Sadtim, Hartati, Indra Agus. 2018. Analisis Kapasitas Penampang Sungai Batang Mahat Terhadap Besaran Debit Banjir Menggunakan Pendekatan Model Matematik. JIRS. XV(2): 1-11.
- Lamhot Trisaputra Sihotang, Syahrizal, Ivan Indrawan. 2016. Analisa Kapasitas Pengendalian Banjir dengan Perbandingan Metode HSS, HECHMS Dan HEC-RAS di Daerah Aliran Sungai Sei Sikambang, Kabupaten Deli Serdang. Jurnal Teknik Sipil USU. 5(1): 1-10.
- M. Yunus. 2002. Kajian Usaha Tani Gambir di Lahan Miring dan Upaya Konservasi Tanah dan Air (Studi Kasus Sub DAS Batang Mahat Kabupaten 50 Kota, Sumatera Barat. Institut Teknologi Bandung. Skripsi.
- Revalin Herdianto, Bambang Istijono, Elvi Roza Syofyan, Dalrino. 2018. Investigation of Pangkalan Floods: Possible Reasons and Future Directions. International Journal on Advance Science Engineering Information Technology. 8(6): 1-6.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada Politeknik Negeri Padang selaku tempat penulis kuliah. Kemudian kepada pembimbing yang telah mencurahkan waktu dan pikirannya dalam membimbing penulis dalam menulis makalah ini. Seterusnya kepada Balai Wilayah Sungai V dan Dinas Pengelola Sumber Daya Air Sumatetra Barat selaku pihak yang menyediakan data penunjang dalam penelitian.

Optimasi Embung Menggunakan Program Linear (Studi Kasus Embung Lembang Besar Kabupaten Lampung Utara)

Apriza^{1,*}, *Orbit Mutiara Febrian*²

¹ Program Pasca Sarjana Magister Teknik, Universitas Bandar Lampung

¹ Staf di Pemerintah Kota Bandar Lampung

ABSTRACT

Embung Lembang Besar merupakan embung yang terletak di Desa Negeri Sakti, Kecamatan Sungkai Selatan Kabupaten Lampung Utara. Embung ini dibangun pada tahun 2016 dengan tujuan untuk menampung kelebihan air pada musim hujan, agar dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan masyarakat terutama untuk pertanian pada musim kering. Luas areal potensial untuk pertanian di sekitar Embung Lembang Besar adalah 866 hektar. Namun karena keterbatasan sumber daya air yang ada masyarakat hanya dapat memanfaatkan lahan areal untuk pertanian seluas 2 hektar untuk sawah tadah hujan dengan pendapatan pertahun nya Rp. 29.363.000,-.

Dengan ketersediaan air yang ada, dilakukan studi optimasi pola tanam agar dapat memaksimalkan keuntungan hasil usaha tani berdasarkan luas tanaman yang optimal. Untuk analisis ini digunakan program linear dengan program bantu software POM-QM for Windows. Volume andalan yang tersedia dan kebutuhan air setiap periode musim tanam dijadikan batasan dan kendala yang digunakan sebagai input untuk pengoperasian program linearnya. Hasil dari perhitungan ini digunakan untuk mengetahui luas sawah yang bisa ditanami sesuai dengan jenis tanaman dan musim tanamnya serta keuntungan hasil tani optimum yang akan diperoleh pada daerah Embung Lembang Besar.

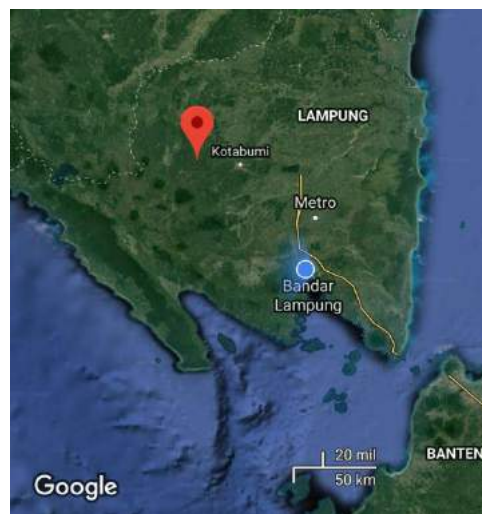
Dari hasil optimasi diperoleh pola tanam yang menghasilkan keuntungan optimum yaitu : Padi – Padi –Padi dengan awal masa tanam di Bulan November. Keuntungan yang diperoleh selama 1 tahun masa tanam adalah sebesar Rp.142.681.500,- (seratus empat puluh dua juta enam ratus delapan puluh satu ribu lima ratus rupiah), dengan persentase peningkatan keuntungan dari kondisi eksisting sebesar 485,92%.

Kata kunci : Embung Lembang Besar, optimasi, program linear.

1. PENDAHULUAN

Embung Lembang Besar yang berada di Desa Negeri Sakti Kabupaten Lampung Utara dibangun dengan tujuan untuk menampung kelebihan ketersediaan air pada musim penghujan dan memanfaatkannya pada musim kemarau. Kurangnya ketersediaan air pada musim kemarau membuat masyarakat sekitar kesulitan untuk memenuhi kebutuhan air terutama untuk pertanian dan peternakan serta kebutuhan air baku. Untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat sekitar terpaksa membeli atau mencari sumber air hingga ketempat yang jauh, bahkan untuk mengurangi beban kebutuhan air mereka sampai menjual hewan ternak yang mereka miliki, sementara itu pada musim penghujan ketersediaan air sangat melimpah dan aliran permukaannya cukup besar.

Agar ketersediaan air yang ada pada embung dapat mencukupi kebutuhan air daerah sekitar embung perlu adanya studi optimasi, hal tersebut yang melatar belakangi dilakukanya studi optimasi pada Embung Lembang Besar. Salah satu upaya untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumberdaya air yang terbatas sedangkan kebutuhan masyarakat akan air semakin meningkat adalah pengelolaan DAS dengan metode Program Linear yang dapat mendistribusikan air secara optimum. Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh optimasi pengalokasian sumberdaya air pada Embung Lembang Besar sehingga kebutuhan akan air dapat terpenuhi secara efektif dan efisien.



Gambar 1. Peta Lokasi Embung Lembang Besar

1.1 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah mengoptimasi Embung Lembang Besar dalam upaya peningkatan produksi pertanian menggunakan Program Linear.

Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui nilai keuntungan dan pola tanam yang optimum pada daerah Embung Lembang Besar.

2. Untuk Mengetahui besar lahan optimum yang bisa digunakan untuk lahan pertanian pada setiap musim .
3. Menganalisis hasil optimasi.

1.2 Kajian Pustaka

1.2.1 Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan Irigasi adalah jumlah volume air yang diperlukan untuk untuk memenuhi kebutuhan evaporasi, kehilangan air, kebutuhan air untuk tanaman dengan memperhatikan jumlah air yang diberikan oleh alam melalui hujan dan kontribusi air tanah (Sosrodarsono dan Takeda, 2003).

Kebutuhan air sawah untuk padi ditentukan oleh faktor-faktor berikut (Standar Perencanaan Irigasi KP-01, 1986) :

a. Curah Hujan Efektif.

Curah hujan efektif merupakan curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat digunakan tanaman untuk pertumbuhannya. Curah hujan efektif dimanfaatkan oleh tanaman untuk pertumbuhannya. Curah Hujan ini dimanfaatkan oleh tanaman untuk memenuhi kehilangan air akibat evapotranspirasi tanaman, perkolasi, dan lain-lain.

Curah hujan efektif untuk padi adalah 70% dari curah hujan tengah bulanan yang terlampaui 80% dari waktu periode tersebut. Untuk curah hujan efektif untuk palawija ditentukan dengan periode bulanan (terpenuhi 50%) dikaitkan dengan tabel ET tanaman rata-rata bulanan dan curah hujan rata-rata bulanan (USDA (SCS), 1996).

b. Perkolasi

Perkolasi adalah gerakan air ke bawah dari zona tidak jenuh, yang tertekan diantara permukaan tanah sampai ke permukaan air tanah (zona jenuh). Daya perkolasi (P) adalah laju perkolasi maksimum yang dimungkinkan, yang besarnya dipengaruhi oleh kondisi tanah dalam zona tidak jenuh yang terletak antara permukaan tanah dengan permukaan air tanah.

Pada tanah-tanah lempung berat dengan karakteristik pengolahan (*puddling*) yang baik, laju perkolasi dapat mencapai 1-3 mm/hari. Pada tanah-tanah yang ringan laju perkolasi bisa lebih tinggi.

c. Penyiapan lahan.

Untuk perhitungan kebutuhan irigasi selama penyiapan lahan, digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor Zijlstra (Standar Perencanaan Irigasi KP-01, 1986).

Untuk tanah bertekstur berat tanpa retak – retak kebutuhan air untuk penyiapan lahan diambil 200 mm. Setelah transplantasi selesai, lapisan air disawah akan ditambah 50 mm. Secara keseluruhan, ini berarti bahwa lapisan air yang diperlukan menjadi 250 mm

untuk penyiapan lahan dan lapisan air awal setelah transplantasi selesai. Bila lahan telah dibiarkan bera selama jangka waktu yang lama (2,5 bulan atau lebih), maka lapisan air yang diperlukan untuk penyiapan lahan diambil 300 mm, termasuk 50 mm untuk penguapan setelah transplantasi (Standar Perencanaan Irigasi KP-1, 1986).

d. Penggunaan Konsumtif

Kebutuhan air untuk konsumtif tanaman merupakan kedalaman air yang diperlukan untuk memenuhi evapotranspirasi tanaman yang bebas penyakit, tumbuh di areal pertanian pada kondisi cukup air dari kesuburan tanah dengan potensi pertumbuhan yang baik dan tingkat lingkungan pertumbuhan yang baik.

e. Pergantian lapisan air (*Water Layer Requirement*)

Pergantian lapisan air menurut masa penyiapan lahan adalah 1,7 mm/hari untuk masa penyiapan lahan 45 hari.

Dalam analisis kebutuhan air irigasi, dibahas mengenai tinjauan umum yang juga ikut mempengaruhi besarnya kebutuhan air meliputi pola tanam, perencanaan golongan tanaman, perkolasi, koefisien tanaman, efisiensi irigasi.

1. Koefisien Tanaman

Koefisien tanaman diberikan untuk menghubungkan evapotranspirasi (Eto) dengan evapotranspirasi tanaman acuan (Etc) dan dipakai dalam rumus Penman. Koefisien yang dipakai harus didasarkan pada pengalaman yang terus menerus

proyek irigasi di daerah studi. Besarnya nilai suatu Koefisien tanaman tergantung dari umur dan jenis tanaman yang ada. Koefisien tanaman ini merupakan faktor yang dapat digunakan untuk mencari besarnya air yang habis terpakai untuk tanaman untuk masa pertumbuhannya.

Tabel 1. Koefisien Tanaman Padi dan Palawija

Periode Tengah Bulan	Padi	Palawija
1	1,1	0,5
2	1,1	0,95
3	1,05	0,96
4	1,05	1,05
5	0,95	1,02
6	0	0,95
7	-	0
8	-	-

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP – 01 : 1986

2. Efisiensi irigasi

Efisiensi merupakan persentase perbandingan antara jumlah air yang dapat digunakan untuk pertumbuhan tanaman dengan jumlah air yang dikeluarkan dari pintu pengambilan. Air yang diambil dari sumber air yang dialirkan ke areal irigasi tidak semuanya dimanfaatkan oleh tanaman. Biasanya Efisiensi Irigasi dipengaruhi oleh besarnya jumlah air yang hilang di perjalanannya dari saluran primer, sekunder hingga tersier.

Tabel 2. Efisiensi Irigasi

Jaringan	Efisiensi Irigasi (%)
Primer	80
Sekunder	90
Tersier	90
Total EI	65

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-01, 1986

1.2.2 Evaporasi, Transpirasi dan Evapotranspirasi

Evaporasi adalah Peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara disebut evaporasi atau penguapan (Sosrodarsono, 1976).

Transpirasi adalah Peristiwa penguapan dari tanaman disebut dengan (Sosrodarsono, 1976).

Semua jenis tanaman memerlukan air untuk kelangsungan hidupnya, dan masing-masing jenis tanaman berbeda-beda kebutuhannya. Hanya sebagian kecil air yang tinggal di dalam tubuh tanaman, sebagian besar air setelah diserap lewat akar dan dahan di transpirasikan lewat daun.

Jumlah kadar air yang hilang dalam tanah oleh evapotranspirasi tergantung pada (Soemarto, 1986) :

- a. Adanya persediaan air yang cukup (hujan,dll).
- b. Faktor-faktor iklim (suhu, kelembaban, dll).
- c. Tipe dan cara kultivasi tumbuhan.

Evapotranspirasi merupakan gabungan dari proses penguapan air bebas (evaporasi) dan penguapan melalui tanaman (transpirasi). Evaporasi Potensial (Eto) adalah air yang menguap melalui permukaan tanah dimana besarnya adalah jumlah air yang akan digunakan tanaman untuk perkembangannya (Suhardjono, 1994).

1.2.3 Debit Andalan

Debit andalan merupakan debit dari suatu sumber air (mis: sungai) yang diharapkan dapat disadap untuk keperluan irigasi (SPI KP-1 : 1986). Misalnya ditetapkan debit andalan 80% berarti akan dihadapi resiko adanya debit-debit yang lebih kecil dari debit andalan sebesar 20% pengamatan (Soemarto, CD : 1987). Dengan demikian diharapkan debit tersebut cukup untuk keperluan penyediaan air. Di lokasi Embung Lembang Besar tidak terdapat pencatat debit, sehingga untuk melakukan analisa ketersediaan air yang dipresentasikan dalam bentuk debit rerata bulanan (time-series) atau dalam bentuk debit andalan 80%. Oleh karena itu diperlukan analisa pengalihan data hujan menjadi aliran, yang dalam studi ini menggunakan metode NRECA (*Non Recorded Catchment Area*).

1.2.4 Optimasi Menggunakan Program Linier

Model optimasi adalah penyusunan model suatu sistem yang sesuai dengan keadaan nyata, yang nantinya dapat diubah kedalam model matematis dengan pemisahan elemen-elemen pokok agar suatu penyelesaian sesuai dengan sasaran atau tujuan pengambilan keputusan tercapai (Montarcih, 2008).

Pada dasarnya program linier memiliki tiga unsur penting (Montarcih, 2008), yaitu :

1. Variabel Putusan

Variabel putusan merupakan variabel yang akan dicari dan memberi nilai yang paling baik bagi tujuan yang hendak dicapai.

2. Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah fungsi matematika yang harus dimaksimumkan atau diminimumkan dan dapat mencerminkan tujuan yang hendak dicapai.

3. Fungsi Kendala

Fungsi kendala adalah fungsi matematika yang menjadi kendala bagi usaha untuk memaksimumkan atau meminimumkan fungsi tujuan, mewakili kendala yang harus dicapai.

Bentuk matematika untuk pemecahan masalah dengan program linier adalah sebagai berikut :

Fungsi Tujuan = maksimasi

$$Z_{\max} = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

Fungsi kendala :

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$$

Non negativity

$$X_1 \geq 0 ; X_2 \geq 0 ; \dots ; X_n \geq 0$$

Dengan :

Z_{max} = fungsi tujuan

X_n = Variabel

C_n = koefisien variabel

A_{mn} = jumlah sumber daya m yang dikonsumsi oleh setiap unit kegiatan n,

B_m = jumlah sumber daya m yang tersedia untuk dialokasikan,

M = sumber daya yang terbatas

n = jumlah kegiatan yang memerlukan sumber daya yang terbatas

Dalam penelitian ini tujuan yang akan dicapai adalah untuk memperoleh optimasi keuntungan dan luas lahan tanam berdasarkan ketersediaan air yang ada.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini bersifat deskriptif yang merupakan kajian berdasarkan data-data yang sesuai kondisi dilapangan dan bertujuan untuk mengevaluasi kondisi pada tahun kajian berdasarkan analisis secara teoritis dan empiris yang kemudian ditarik kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan.

2.1 Metode Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder meliputi data luas areal lahan pertanian yang bersumber dari Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung, data curah hujan periode 20 tahun yang diperoleh dari Stasiun Hujan Bukit Kemuning, data klimatologi dengan metode Penman yang telah dimodifikasi, debit andalan dengan metode NRECA.

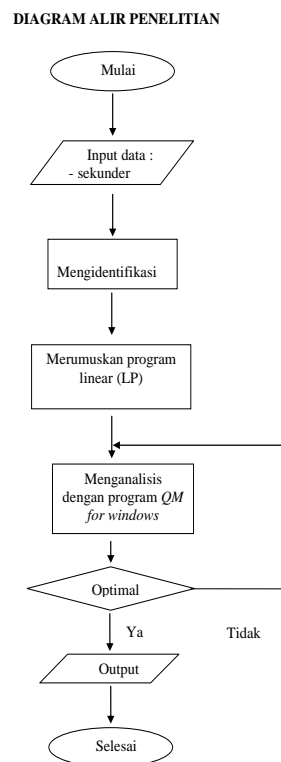
2.2 Pengolahan Data

Setelah data yang dibutuhkan terkumpul, maka langkah – langkah selanjut nya yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa potensi ketersediaan air yang ada pada daerah Embung Lembang Besar.
2. Melakukan analisa kebutuhan air tanaman.
3. Menghitung kebutuhan air irigasi daerah irigasi Embung Lembang Besar.
4. Optimasi pola tanam dan luas areal pertanian dengan menggunakan program linear.

Hasil dari analisa dengan menggunakan program linear (dengan bantuan *software QM for Windows*) maka diperoleh pola tata tanam yang ideal.

Selanjutnya berdasarkan rumusan masalah dan tujuan yang digunakan dalam penyelesaian penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir berikut :



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Embung Lembang Besar

Secara umum luas peruntukan lahan di Desa Lembang Besar adalah sebagai berikut:

1. Sawah tadah hujan = 2 ha
2. Ladang/tegalan = 866 ha

Pola tanam yang diterapkan oleh masyarakat sekitar Embung Lembang Besar adalah Padi – Padi /Palawija dengan luas areal tanam 2 ha dan pendapatan pertahun sekitar Rp.29.363.000,-

3.2 Evapotranspirasi Potensial

Perhitungan klimatologi ini meliputi temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban relatif dan lama penyinaran matahari yang berguna untuk menghitung evapotranspirasi. Perhitungan Evapotranspirasi Potensial dihitung dengan menggunakan Metode Penman Modifikasi FAO. Langkah – langkah berikut merupakan contoh perhitungan dalam menentukan nilai evapotranspirasi potensial dengan Penman Modifikasi (pada bulan Januari dan seterusnya) :

1. Suhu rerata ($^{\circ}\text{C}$) = $23,81^{\circ}\text{C}$
2. Kecepatan angina (u) = $133,34\text{ km/hari m/dt}$
3. Kelembaban relatif (RH) = $77,36\%$
4. Kecerahan matahari (n/N) = $44,34\%$
5. Nilai angot radiasi matahari yang mencapai atmosfer (R_a) lihat lampiran 1.1, untuk letak lokasi studi $7^{\circ}45'$, $R_a = 15,50\text{ mm/hari}$
6. Nilai tekanan uap rerata nyata (e_a) pada temperature rerata $t = 23,81^{\circ}\text{C}$ dari lampiran 1.2 diperoleh $29,44\text{ mm/hg mbar}$.
7. Tekanan uap jenuh rerata (e_d) didapat dengan :
$$e_d = e_a \cdot (\text{RH rerata} / 100)$$
$$= 29,44(77,36 / 100)$$
$$= 22,77\text{ mm/hg mbar}$$
8. Nilai w dapat dilihat pada lampiran 1.2, dengan $t = 23,81^{\circ}\text{C}$ maka diperoleh nilai $w = 0,73$
9. Nilai $1-w$ dapat dilihat pada lampiran 1.2, dengan $t = 23,81^{\circ}\text{C}$ maka dengan interpolasi diperoleh nilai $1 - w = 0,27$
10. Dari lampiran 1.5 diperoleh nilai $f(t)$, dengan $t = 23,81^{\circ}\text{C}$ maka nilai $f(t) = 15,46$
11. Radiasi gelombang pendek (R_s)

$$R_s = (0,25 + (0,5 * n/N)) * R_a$$

$$\begin{aligned} &= (0,25 + 0,5 * 44,34\%) * 15,50 \\ &= 7,31 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

12. Perbedaan tekanan uap diperoleh dari :

$$\begin{aligned} e_a - e_d &= 29,44 - 22,77 \\ &= 6,67 \text{ mm hg mbar} \end{aligned}$$

13. $f(e_d)$ diperoleh dari :

$$\begin{aligned} f(e_d) &= 0,34 - 0,044 * e_d^{0,5} \\ &= 0,34 - 0,044 * 22,77^{0,5} \\ &= 0,13 \text{ mm hg mbar} \end{aligned}$$

14. Sedangkan nilai $f(n/N)$ diperoleh dari hitungan :

$$\begin{aligned} f(n/N) &= 0,1 + 0,9(n/N / 100) \\ &= 0,1 + 0,9 (44,34 / 100) \\ &= 0,50 \end{aligned}$$

15. Fungsi angin diperoleh dari :

$$\begin{aligned} f(u) &= 0,27 (1 + (u/100)) \\ &= 0,27 (1 + (133,34/100)) \\ &= 0,63 \end{aligned}$$

16. Kemudian nilai R_{n1} dapat diperoleh dengan :

$$\begin{aligned} R_{n1} &= f(t) * f(e_d) * f(n/N) \\ &= 15,46 * 0,13 * 0,50 \\ &= 1,00 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= R_{ns} - R_{n1} \\ &= 7,31 - 1,00 \\ &= 6,31 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

17. Faktor koreksi dapat diperoleh dari tabel c untuk bulan Januari adalah 1,13.

$$\begin{aligned}
 18. \text{ Eto} &= c.(W.R_n + (1-W).f(u).(e_a - e_d)) \\
 &= 1,13 * [(0,73 * 6,31 + (1 - 0,73) * (0,63) * (29,44 - 22,77))] \\
 &= 1,13 * [4,61 + (0,27) * (0,63) * (6,67)] \\
 &= 6,46 \text{ mm/hari}
 \end{aligned}$$

3.3 Analisis Kebutuhan Air Untuk Irigasi

Kebutuhan air untuk irigasi ialah jumlah volume air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan evapotranspirasi, kehilangan air, kebutuhan air untuk tanaman dengan memperhatikan jumlah air yang diberikan oleh alam melalui hujan dan kontribusi air tanah. Suatu pertumbuhan tanaman sangat dibatasi oleh ketersediaan air yang didalam tanah. Kekurangan air akan mengakibatkan terjadinya gangguan aktivitas fisiologis tanaman, sehingga pertumbuhan tanaman akan terhenti. Kebutuhan air untuk tanaman pada suatu jaringan irigasi merupakan air yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman yang optimal tanpa kekurangan air yang dinyatakan dalam Netto Kebutuhan Air Lapang (*Net Field Requirement, NFR*).

Kebutuhan air di sawah ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut (Standar Perencanaan Irigasi KP 1 : 1986) :

1. Curah Hujan Efektif

Berdasarkan data Lampiran 1. Rekapitulasi Data Hujan Stasiun Pengamatan R.235 Bukit Kemuning diambil contoh data hujan pada Bulan Januari Periode I diketahui :

$$R_{\text{rata-rata}} = 188,0 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 R_{80} &= 188 \times 0,8 \\
 &= 150,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung curah hujan efektif tanaman padi dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}
 R_{\text{epadi}} &= (R_{80} \times 0,7) / 15 \\
 &= (150,4 \times 0,7) / 15 \\
 &= 7,018 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung curah hujan efektif tanaman palawija digunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 R_{\text{epalawija}} &= (R_{80} \times 0,5) / 15 \\
 &= (150,4 \times 0,5) / 15
 \end{aligned}$$

$$= 5,01 \text{ mm}$$

2. Perkolasi

Laju perkolasi pada berbagai jenis tanah disawah dalam Standar Perencanaan Irigasi KP-01 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3 Tingkat Laju Perkolasi pada Berbagai Tekstur tanah

No.	Jenis Tanah	Tekstur	Laju Perkolasi (mm/hari)
1	Sandy Loam/Geluh Pasir		3 – 6
2	Loam/Geluh		2 - 3
3	Clay Loam/Geluh Berliat		1 - 2

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-01, 1986.

Dalam penelitian ini tekstur tanah sawah yang berada pada daerah persawahan Embung Lembang Besar termasuk kedalam golongan tanah bertekstur Loam/Geluh sehingga nilai Perkolasi yang diambil adalah 2 mm/hari.

3. Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan dapat dihitung dengan menggunakan Metode yang dikembangkan oleh Van De Goor Ziljlstra (Standar Perencanaan Irigasi KP-01, 1986). Adapun contoh perhitungan kebutuhan air untuk penyiapan lahan pada bulan Januari adalah sebagai berikut :

Diketahui :

$$E_t = 6,46 \text{ mm/hari}$$

$$P = 2 \text{ mm}$$

$$T = 30 \text{ hari (jangka waktu penyiapan lahan)}$$

$$S = 250 \text{ mm (200 mm + 50 mm) air untuk penjenuhan}$$

$$e = \text{bil. Eksponen (2,7182)}$$

Kemudian dihitung :

$$E_o = 1,1 \times E_t$$

$$= 1,1 \times 6,46$$

$$= 7,11 \text{ mm.}$$

$$\begin{aligned}M &= E_o + P \\ &= 7,11 + 2 \\ &= 9,11\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T/S &= 30/250 \\ &= 0,12\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K &= (M \times T)/S \\ &= (9,11 \times 30)/250 \\ &= 1,09\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e^k &= e^{1,09} \\ &= 2,97\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_r &= M \cdot e^k / e^k - 1 \\ &= 9,11 \cdot 2,97 / 2,97 - 1 \\ &= 13,73 \text{ mm/hari.}\end{aligned}$$

4. Kebutuhan Air untuk konsumtif tanaman

Kebutuhan air untuk konsumtif tanaman merupakan kedalaman air yang diperlukan untuk memenuhi evapotranspirasi tanaman yang bebas penyakit, tumbuh di areal pertanian pada kondisi cukup air dari kesuburan tanah dengan potensi pertumbuhan yang baik dan tingkat lingkungan pertumbuhan yang baik. Berikut ini adalah contoh perhitungan kebutuhan air untuk konsumtif tanaman pada bulan Desember periode 1 :

Diketahui :

$$E_{to} \text{ Bulan Desember periode 1} = 6,20 \text{ mm/hari}$$

$$K_c \text{ (koefisien tanaman padi tengah bulan 1)} = 1,1$$

Dihitung :

$$E_{tc} = K_c \times E_{to}$$

$$E_{tc} = 1,1 \times 6,20$$

$$E_{tc} = 6,82 \text{ mm/hari.}$$

Hasil perhitungan kebutuhan air konsumtif tanaman periode selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran 5.

5. Penggantian Lapisan air (*Water Layer Requirement*)

Pergantian air menurut masa penyiapan lahan adalah 1,7 mm/hari untuk masa penyiapan lahan 45 hari (Standar Perencanaan Irigasi KP-01, 1986).

Selama setengah bulan berarti diberikan :

$$W_{lr} = 50 \text{ mm}/15\text{hari} = 3,3 \text{ mm/hari}$$

Selama satu bulan diberikan

$$W_{lr} = 50 \text{ mm}/30 \text{ hari} = 1,67 \text{ mm/hari}$$

Dari kelima faktor tersebut maka perkiraan kebutuhan air irigasi ialah sebagai berikut (Standar Perencanaan Irigasi Bagian Penunjang, 1986) :

Kebutuhan air bersih di sawah untuk tanaman padi (NFR)

Contoh perhitungan Kebutuhan air untuk penyiapan lahan tanaman padi :

- Bulan November periode 1

Diketahui :

$$R_{e\text{padi}} = 2,43 \text{ mm/hari}$$

$$I_r = 14,19 \text{ mm/hari}$$

Dihitung :

$$NFR_{\text{padi}} = I_r - R_e \text{ (masa penyiapan lahan)}$$

$$= 14,19 - 2,43$$

$$= 11,76 \text{ mm/hari}$$

Contoh perhitungan kebutuhan air untuk masa pertumbuhan tanaman padi

- Bulan Desember periode 1

Diketahui :

$$E_{tc\text{padi}} = 6,82 \text{ mm/hari}$$

$$P = 2 \text{ mm}$$

$$W_{lr} = 0,83 \text{ mm/hari}$$

$$R_{e_{padi}} = 5,88 \text{ mm/hari}$$

Dihitung :

$$\begin{aligned} NFR_{padi} &= Etc + P + W_{lr} - Re \text{ (untuk masa pertumbuhan)} \\ &= 6,82 + 2 + 0,83 - 5,88 \\ &= 3,77 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

2. Kebutuhan air bersih di sawah untuk tanaman padi (NFR)

Contoh perhitungan Kebutuhan air tanaman palawija :

- Bulan November periode 1

Diketahui :

$$E_{to} = 7,16 \text{ mm/hari}$$

$$K_c = 0,5$$

$$R_{e_{palawija}} = 1,74 \text{ mm/hari}$$

$$P = 2 \text{ mm/hari}$$

Dihitung :

$$\begin{aligned} Etc &= E_{to} \times K_c \\ &= 7,16 \times 0,5 \\ &= 3,58 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} NFR_{palawija} &= Etc + P - R_{e_{palawija}} \\ &= 3,58 + 2 - 1,74 \\ &= 3,84 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

3. Kebutuhan pengambilan air (DR)

Kebutuhan pengambilan air adalah jumlah debit air yang ditentukan oleh satu hektar sawah untuk kebutuhan tanaman.

Berikut ini contoh perhitungan kebutuhan pengambilan air untuk tanaman padi pada Bulan November periode 1:

Diketahui :

$$\text{NFR}_{\text{padi}} = 11,76 \text{ mm/hari}$$

$$\text{EI} = 65 \%$$

$$1/8,64 = \text{konversi ke lt/dt/ha}$$

Dihitung :

$$\text{DR} = \text{NFR}/(\text{EI} \times 8,64) \text{ (lt/dt/ha)}$$

$$= 11,76/(0,65 \times 8,64)$$

$$= 2,09 \text{ lt/dt/ha}$$

Untuk mengetahui kebutuhan air tanaman padi dan palawija pada setiap musim tanam per satuan luas nya maka dilakukan penjumlahan kebutuhan pengambilan air per musim tanam.

Jumlah kebutuhan air tanaman padi pada periode musim tanam I adalah :

$\text{DR}_{\text{padi total musim tanam I}}$

$$= \text{DR}_{\text{Nov1}} + \text{DR}_{\text{Nov2}} + \text{DR}_{\text{Des1}} + \text{DR}_{\text{Des2}} + \text{DR}_{\text{Jan1}} + \text{DR}_{\text{Jan2}} + \text{DR}_{\text{Feb1}} + \text{DR}_{\text{Feb2}}$$

$$= 2,09 + 1,96 + 0,67 + 0,73 + 0,67 + 0,74 + 0,65 + 0$$

$$= 7,51 \text{ lt/dt/ha}$$

$$= (7,51 \times 10^{-3} \text{ m}^3) \times 3600 \text{ dt} \times 24 \text{ jam} \times 90 \text{ hari}$$

$$= 58.397,76 \text{ m}^3/ \text{ musim tanam I}$$

Jumlah kebutuhan air tanaman palawija pada periode musim tanam I adalah :

$\text{DR}_{\text{palawija total musim tanam I}}$

$$= \text{DR}_{\text{Nov1}} + \text{DR}_{\text{Nov2}} + \text{DR}_{\text{Des1}} + \text{DR}_{\text{Des2}} + \text{DR}_{\text{Jan1}} + \text{DR}_{\text{Jan2}} + \text{DR}_{\text{Feb1}} + \text{DR}_{\text{Feb2}}$$

$$= 0,68 + 1,16 + 0,67 + 0,71 + 0,64 + 0,61 + 0 + 0$$

$$= 4,47 \text{ lt/dt/ha}$$

$$= (4,47 \times 10^{-3} \text{ m}^3) \times 3600 \text{ dt} \times 24 \text{ jam} \times 90 \text{ hari}$$

$$= 34.758,72 \text{ m}^3/ \text{ musim tanam I}$$

3.4 Analisis Debit Andalan

Di lokasi Embung Lembang Besar tidak terdapat pencatat debit, sehingga untuk melakukan analisis ketersediaan air yang dipresentasikan dalam bentuk debit rerata bulanan (time-series) atau dalam bentuk debit andalan 80%. Oleh karena itu diperlukan analisis pengalihan data hujan menjadi aliran, yang dalam studi ini menggunakan metode NRECA (*Non Recorded Catchment Area*). Data debit andalan hasil analisis dengan metode NRECA yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung dapat dilihat pada Lampiran 7.

3.5 Analisis Hasil Usaha Tani

Hasil usaha tani merupakan hasil pendapatan bersih petani yang didapat dari penerimaan petani dikurangi biaya produksi yang dikeluarkan petani tiap hektarnya. Penerimaan petani yaitu banyaknya hasil produksi tanaman tiap hektar dikalikan dengan harga produksi tanaman tersebut. Hasil perhitungan ini berupa pendapatan bersih untuk masing-masing tanaman yang akan dipakai

sebagai fungsi tujuan pada perhitungan keuntungan yang akan dicapai. Perhitungan hasil analisis usaha tani dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Analisis Usaha Tani Di Desa Lembang Besar

No.	Uraian	Padi	Palawija
1	Harga Produk (Rp./Ton)	2.000.000	1.500.000
2	Rata-rata Produksi Sawah (Ton/Ha)	6	4
3	Hasil Produksi (Rp./Ha)	12.000.000	6.000.000
4	Biaya Produksi (Rp./Ha)	6.159.250	2.688.000
5	Pendapatan (Rp./Ha)	5.840.750	3.312.000

Sumber : Dinas Pertanian dan Tanaman Pangan Kabupaten Lampung Utara

3.6 Model Matematika Optimasi

Untuk memperoleh hasil yang efektif, dengan maksud mendekati kondisi kenyataan yang ada dengan metode yang dipakai maka analisis ini dilakukan dengan mengambil batasan yang mengacu pada persyaratan sesuai kondisi di lapangan sebagai berikut :

1. Luas daerah potensi seluas 866 Ha, dengan luas sawah tadah hujan seluas 2 ha sesuai dengan kondisi eksisting dan sebagian kecil ditanami padi dan jagung.
2. Untuk ketersediaan air yang akan digunakan untuk mengoptimasi luas lahan ialah dengan menjumlahkan volume andalan sungai sesuai dengan musim tanam sebagai berikut :

Tabel 5. Debit Andalan Embung Lembang Besar pada Periode Musim Tanam Rencana

Musim Tanam	Volume Andalan (m ³)
I	599.682,11
II	791.228,09
III	315.507,96

Sumber : Hasil Perhitungan

3. Model yang digunakan sebagai berikut :

Maximumkan :

$$Z = A.X_{1a} + B.X_{1b} + A.X_{2a} + B.X_{2b} + A.X_{3a} + B.X_{3b} , \text{ dimana :}$$

Z = Nilai tujuan yang akan dicapai (maximumkan keuntungan (Rp))

A = Pendapatan produksi padi (Rp/Ha)

B = Pendapatan produksi palawija (Rp/Ha)

X_{1a} = Luasan areal tanam padi musim Tanam I (Ha)

X_{1b} = Luasan areal tanam palawija musim Tanam I (Ha)

X_{2a} = Luasan areal tanam padi musim Tanam II (Ha)

X_{2b} = Luasan areal tanam palawija musim Tanam II (Ha)

X_{3a} = Luasan areal tanam padi musim Tanam III (Ha)

X_{3b} = Luasan areal tanam palawija musim Tanam III (Ha)

Fungsi batasan yang digunakan sebagai berikut :

1. Luas Maksimum :

$$X_{1a} + X_{1b} \leq X_t$$

$$X_{2a} + X_{2b} \leq X_t$$

$$X_{3a} + X_{3b} \leq X_t$$

Keterangan :

X_t = Luas daerah optimasi (= 868 Ha)

2. Volume Andalan Sungai :

$$V_{p1}.X_{1a} + V_{j1}.X_{1b} \leq V_{s1}$$

$$V_{p2}.X_{2a} + V_{j2}.X_{2b} \leq V_{s2}$$

$$V_{p3}.X_{3a} + V_{j3}.X_{3b} \leq V_{s3}$$

Keterangan :

V_{pi} = Kebutuhan air padi tiap musim

V_{ji} = Kebutuhan air palawija tiap musim

V_{s1} = Volume andalan pada musim Tanam I = 599.682,11 m³ (Tabel 4.6)

V_{s2} = Volume andalan pada musim Tanam II

= 791.228,09 m³ (Tabel 4.6)

V_{s3} = Volume andalan pada musim Tanam III

= 315.507,96 m³ (Tabel 4.6)

Maksimumkan

$$Z = 5840750.X_{1a} + 3312000.X_{1b} + 5840750.X_{2a} + 3312000.X_{2b} + 5840750.X_{3a} + 3312000.X_{3b}$$

Persamaan Kendala :

- $X_{1a} + X_{1b} \leq 868$
- $X_{2a} + X_{2b} \leq 868$
- $X_{3a} + X_{3b} \leq 868$
- $58.397,76 X_{1a} + 34.758,72 X_{1b} \leq 599.682,11$
- $71.772,48 X_{2a} + 43.856,64 X_{2b} \leq 791.228,09$
- $100.621,44 X_{3a} + 63.218,88 X_{3b} \leq 315.507,96$
- $X_{1a}, X_{1b}, X_{2a}, X_{2b}, X_{3a}, X_{3b} \geq 0$

Selanjutnya, persamaan–persamaan tersebut dimasukkan kedalam tabel simpleks untuk dilakukan iterasi. Sebagai alat bantu penyelesaian optimasi dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan program *QM for Windows*.

4. KESIMPULAN

Studi optimasi di Daerah Embung Lembang Besar ini dimaksudkan untuk mendapatkan keuntungan maksimum hasil produksi pertanian dan luas tanam optimum

yang ada dengan ketersediaan air yang ada. Dengan ditunjang data-data serta program yang telah disiapkan, berdasarkan analisa sebagaimana telah dijabarkan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Debit andalan pada Embung Lembang Besar adalah sebesar 1.706.418,16 m³ per tahun.
2. Kebutuhan air tanaman padi terbesar terjadi pada musim tanam III yaitu sebesar 100.621,44 m³/ha, sedangkan kebutuhan air tanaman padi terkecil terjadi pada musim tanam I sebesar 58.397,76 m³/ha. Kebutuhan air tanaman palawija terbesar terjadi pada masa tanam III yaitu sebesar 63.218,88 m³/ha dan kebutuhan air tanaman palawija terkecil terjadi pada masa tanam I sebesar 34.758,72 m³/ha.
3. Berdasarkan hasil optimasi dengan Program Linier software POM QM didapat keuntungan maksimum per tahun dengan luas tanam optimum sebagai berikut :
 - a. Hasil optimasi menunjukkan benefit yang diperoleh dari hasil pertanian di DAS Embung Lembang besar adalah sebesar Rp.142.681.500,- per tahun.
 - b. Luas tanam optimum untuk musim tanam I seluas 10,2689 ha, pada musim tanam II seluas 11,0241 ha dan musim tanam III seluas 3,1356 ha.
 - c. Diperoleh Pola Tanam Optimum yaitu Padi – Padi – Padi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Deptan Pedoman Teknis Konservasi Air Melalui Pengembangan Embung. Jakarta: (2007)
- Asdak, C. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.(2002)
- Departemen PU. Standar Perencanaan Irigasi (KP-01). Direktorat Jenderal Pengairan Departemen PU. CV. Galang Persada, Jakarta. (1986)
- Dimiyati, T. T. & A. Dimiyati. Operations Research; Model-model pengambilan keputusan. Bandung: Sinar Baru Algensindo. (2004)
- Harto, Sri. Analisis Hidrologi. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama. (1993)
- Linsley, R.K., M.A. Kohler and J.L.H. Paulus. Hidrologi Untuk Insinyur (Terjemahan). Erlangga, Jakarta. (1990)
- Manan, S. Pengaruh Hutan Dan Manajemen Daerah Aliran Sungai. IPB, Bogor. (1976)
- Montarjih, Lily. Pengaruh Perubahan Cuaca Terhadap Optimasi Irigasi dengan Program Linier. Malang: C.V. Citra Malang. (2008)
- Montarjih, Lily & Soetopo, Widandi. Pengantar Manajemen Teknik Sumber Daya Air. Malang: CV. Citra Malang.(2009)

- Seyhan, E. Dasar-dasar Hidrologi. Terjemahan. Gajah Mada University Press, Yogyakarta. (1990)
- Soemarto, C. D. Hidrologi Teknik. Surabaya: Usaha Nasional. (1999)
- Sosrodarsono, S. dan Takeda, K. Hidrologi Untuk Pengairan. Jakarta: Paradnya Paramita. (2003)
- Soemarto, C. D. Hidrologi Teknik Edisi 1. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional. (1986)
- Sosrodarsono, S. dan Takeda, K. Hidrologi untuk Pengairan. Jakarta: Pradnya Paramita. (2006)
- Sosrodarsono, S & Takeda, K. Hidrologi untuk Pengairan. Jakarta: PT. Pradnya Paramita. (1976)
- Suhardjono. Kebutuhan Air Tanaman. Malang: Institut Teknologi Nasional. (1994)
- Suyitno, H. Program Linear. Semarang: Jurusan Pendidikan Matematika FPMIPA IKIP Semarang. (1997)

ANALISIS KEMAMPUAN PENAMPANG MELINTANG SUNGAI BATANG ARAU DALAM MENGALIRKAN DEBIT BANJIR

Zerha Fajserly^{1*}, Zahrul Umar², Hartati³, Dalrino³

¹ Program Studi Perencanaan Irigasi dan Rawa, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang, Limau Manis, Padang, Indonesia

² Pengurus HATHI Cabang Sumatera Barat

³ Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang, Limau Manis, Padang, Indonesia

*zerhafajserly.zf@gmail.com

ABSTRACT

Batang Arau River is the main river in the Batang Arau River Basin (DAS) located in the Palinggam area, Padang Selatan District, Padang City. At this research location, precisely in the downstream area of the Batang Arau river, there are two streams flowing into the Batang Arau River, namely the flow from the flood divider weir located in the Lubuk Begalung area and the Batang Jirak watershed. The division of this flow was made during the Dutch administration to overcome the problem of flooding at that time. In 1985 the Batang Arau normalized through the Padang City Flood Control Project by dividing flood discharges with a 25-year return period of 200 m³ / s was channeled through Batang Arau and 400 m³ / s was channeled to the flood channel (Dinas PU BBWS V West Sumatra). In this study, the authors conducted a study to find out how the cross-section of the river or river cross section in carrying out flood discharge by modeling the cross-section of the river using the HEC-RAS 4.0 software. Primary data from this study are in the form of direct measurements in the field with one cross section and then for modeling on the HeC-RAS it is assumed that the two cross sections are the same. The results of modeling with the HEC-RAS software are in the form of debits that can be flowed from the weir divider to the Batang Arau river flow with a planned flood return period of 25 years.

Keywords: Flood, Canal Flood, Re-Period, Hec-Ras 4.0

ABSTRAK

Sungai Batang Arau merupakan sungai utama pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Batang Arau yang terletak di daerah Palinggam, Kecamatan Padang Selatan Kota Padang. Pada lokasi penelitian ini tepatnya di daerah hilir sungai Batang Arau terdapat dua aliran yang mengalir ke Sungai Batang Arau yaitu aliran dari bendung pembagi banjir yang terletak di daerah Lubuk Begalung dan aliran Sub DAS Batang Jirak. Pembagian aliran ini dibuat pada masa pemerintahan Belanda untuk mengatasi masalah banjir pada waktu itu. Pada tahun 1985 dilakukan normalisasi Batang Arau melalui Proyek Pengendalian Banjir Kota Padang dengan membagi debit banjir dengan periode ulang 25 tahun sebesar 200 m³/dt dialirkan melalui Batang Arau dan 400 m³/dt dialirkan ke banjir kanal (Dinas PU BBWS V Sumatera Barat). Pada penelitian ini, penulis melakukan penelitian untuk mengetahui berapa kemampuan penampang melintang sungai batang arau dalam mengalirkan debit banjir dengan melakukan pemodelan penampang sungai menggunakan *software* HEC-RAS 4.0. Data primer dari penelitian ini berupa hasil pengukuran langsung di lapangan dengan satu *cross section* kemudian untuk pemodelan pada HeC-RAS diasumsikan dengan dua *cross section* yang sama. Hasil dari pemodelan dengan *software* HEC-RAS ini

berupa debit yang dapat dialirkan dari bendung pembagi ke aliran sungai Batang Arau dengan periode ulang banjir rencana 25 tahun.

Kata Kunci: Banjir, Banjir Kanal, Periode Ulang, Hec-Ras 4.0

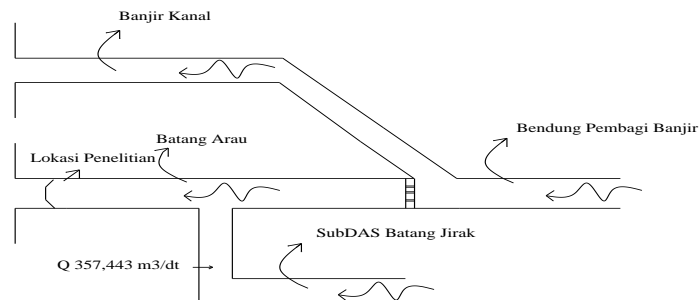
1. LATAR BELAKANG

Kota Padang terletak di pantai barat Pulau Sumatera merupakan ibu Kota Sumatera Barat yang memiliki 6 sungai salah satunya yaitu sungai Batang Arau. Provinsi Sumatera Barat terletak sepanjang pesisir barat Sumatera bagian tengah, [dataran tinggi Bukit Barisan](#) di sebelah timur, dan sejumlah [pulau](#) di [lepas pantainya](#) seperti [Kepulauan Mentawai](#). Secara geografis, Sungai Batang Arau terletak pada $0^{\circ}48''$ sampai dengan $0^{\circ}56''$ LS dan $100^{\circ}21'$ sampai dengan $100^{\circ}33'$ BT, dengan ketinggian 0 sampai dengan 1.210 meter dari permukaan laut (dpl). Sungai Batang Arau merupakan sungai utama pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Batang Arau, yang sumber airnya berasal dari sungai Lubuk Paraku, sungai Padang Idas, dan sungai Lubuk Sarik. Gambar 1 menyajikan lokasi penelitian yang berada di daerah Palinggam, Kecamatan Padang Selatan, Kota Padang.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Sewaktu zaman penjajahan Belanda, pusat Kota Padang terletak di pinggir Batang Arau seperti di Muara, Pasar Gadang, Pasar Mudik dan sekitar Palinggam. Batang Arau sering banjir dan mengganggu aktivitas kehidupan masyarakat dan perdagangan waktu itu, maka untuk mengatasinya Pemerintah Belanda pada tahun 1926 membuat Banjir Kanal (*flood way*) untuk membagi sebagian debit air Batang Arau ke laut melalui Banjir Kanal. Gambar 2 sketsa pengaliran aliran sungai Batang Arau menuju lokasi penelitian.



Gambar 2. Sketsa pengaliran aliran sungai Batang Arau menuju lokasi penelitian.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai berapa kemampuan penampang melintang sungai Batang Arau di lokasi penelitian dalam mengalirkan debit banjir. Penelitian ini dapat menjadi acuan berapa debit yang dapat dialirkan dari bendung pembagi banjir di daerah Lubuk Begalung untuk meminimalisir terjadinya limpasan permukaan yang berdampak terhadap peningkatan debit banjir.

1.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung / pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik / stasiun yang ditinjau (Triatmodjo,2010). Daerah Aliran Sungai dapat didefinisikan sebagai suatu daerah yang dibatasi oleh topografi alami, dimana semua air hujan yang jatuh didalamnya akan mengalir melalui suatu sungai dan keluar melalui outlet pada sungai tersebut, atau merupakan satuan hidrologi yang menggambarkan dan menggunakan satuan fisik - biologi dan satuan kegiatan sosial ekonomi untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya alam. (Suripin, 2001).

Menurut I Made Sandy (1985), seorang Guru Besar Geografi Universitas Indonesia; Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah bagian dari muka bumi, yang airnya mengalir ke dalam sungai yang bersangkutan, apabila hujan jatuh. Sebuah pulau selamanya terbagi habis ke dalam Daerah-Daerah Aliran Sungai. Antara DAS yang satu dengan DAS yang lainnya dibatasi oleh titik-titik tertinggi muka bumi berbentuk punggung yang disebut stream divide ataubatas daerah aliran (garis pemisah DAS). Bila suatu stream divide itu merupakan jajaran pebukitan disebut stream divide range. (Hallaf H.P., 2006).

1.2 Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi merupakan salah satu bagian analisa awal dalam perancangan bangunan-bangunan hidraulik dimana informasi dan besaran-besaran yang diperoleh dalam analisa hidrologi merupakan masukan penting dalam analisa selanjutnya. Langkah-langkah dalam analisis hidrologi untuk menentukan nilai rata-rata curah hujan harian maksimum dalah sebagai berikut ini.

1. Menentukan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) dan hujan kawasan.
2. Menganalisis distribusi curah hujan dengan periode ulang T tahun.
3. Menganalisis frekuensi curah hujan.
4. Mengukur disperse.
5. Memilih jenis sebaran.
6. Menguji kecocokan sebaran.

7. Menghitung debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana di atas pada periode ulang T tahun.

1.3 Analisis Uji Distribusi Frekuensi Curah Hujan

1.3.1 Uji Chi – Kuadrat

Metode Uji kesesuaian Chi Kuadrat biasanya digunakan untuk menguji apakah distribusi pengamatan dapat disamai dengan baik oleh distribusi teoritis, yakni menguji kebenaran distribusi yang digunakan pada perhitungan frekuensi analisis. Uji Chi Kuadrat ini menggunakan parameter χ^2 (Hadisusanto, Nugroho, 2011:49) dimana metode ini diperoleh berdasarkan rumus:

$$\chi^2 = \sum \frac{(E_f - O_f)^2}{E_f} \quad (\text{Hadisusanto, Nugroho, 2011:39})$$

Dimana:

χ^2 = Harga chi kuadrat

E_f = Frekuensi (banyaknya pengamatan) yang diharapkan, sesuai pembagian kelas.

O_f = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

Nilai χ^2 hasil perhitungan nilainya harus lebih kecil dari harga χ^2_{cr} (Chi kuadrat kritis), untuk derajat nyata tertentu (*level of significance*), yang sering diambil 5%. Adapun derajat

Derajat nyata atau drajat kepercayaan (α) tertentu yang sering diambil adalah 5%. Derajat kebebasan (Dk) dihitung dengan rumus :

$$Dk = K - (p + 1)$$

$$K = 1 + 3,3 \log n$$

Dimana:

Dk = Derajat kebebasan

P = Banyaknya parameter, untuk Chi kuadrat adalah 2

K = Jumlah kelas distribusi

N = Banyaknya data

Selanjutnya distribusi probabilitas yang dipakai untuk menentukan curah hujan rencana adalah distribusi probabilitas yang mempunyai simpangan maksimum terkecil dan lebih kecil dari simpangan kritis.

$$\chi^2 < \chi^2_{\text{kritis}}$$

Dimana:

χ^2 = parameter Chi kuadrat terhitung

χ^2_{cr} = parameter Chi kuadrat kritis

1.3.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

Metode Smirnov-Kolmogorov tidak jauh beda dengan Metode Lilliefors. Uji Smirnov Kolmogorov digunakan untuk menguji apakah data itu berdistribusi normal atau tidak. Syarat uji Smirnov Kolmogorov antara lain :

1. Data berskala interval atau ratio (kuantitatif)
2. Data tunggal atau belum dikelompokkan pada tabel distribusi frekuensi
3. Dapat untuk nilai jumlah data (n) besar maupun kecil

Langkah-langkah perhitungan, yaitu :

- 1) Urutkan data (X_i) dari besar kekecil atau sebaliknya.
- 2) Tentukan peluang empiris masing-masing data yang sudah diurut tersebut $P(X_i)$ dengan rumus tertentu misalnya :

$$P(X_i) = \frac{i}{n+1}$$

Dimana:

n = Jumlah data

i = Nomor urut data (setelah diurut dari besar ke kecil atau sebaliknya)

- 3) Tentukan peluang teoritis masing-masing data yang sudah diurut tersebut $P'(X_i)$ berdasarkan persamaan distribusi probabilitas yang dipilih (gumbel, normal dan sebagainya).
- 4) Hitung selisih (ΔP_i) antara peluang empiris dan teoritis untuk setiap data yang sudah diurut:

$$\Delta P_i = P(X_i) - P'(X_i)$$

- 5) Tentukan apakah $\Delta P_i < \Delta P_{kritis}$, jika tidak artinya distribusi probabilitas yang dipilih tidak dapat diterima, demikian sebaliknya.
- 6) ΔP_{kritis} lihat di tabel.

1.4 Pemodelan Sungai dengan Menggunakan HEC-RAS

HEC-RAS adalah sebuah sistem yang didesain untuk penggunaan yang interaktif dalam lingkungan yang bermacam-macam. Ruang lingkup HEC-RAS adalah menghitung profil muka air dengan pemodelan aliran steady dan unsteady, serta penghitungan pengangkutan sedimen. Element yang paling penting dalam HEC-RAS adalah tersedianya geometri saluran, baik memanjang maupun melintang. HEC-RAS adalah singkatan dari *Hydraulic Engineering Centre-River Analysis System*. HEC-RAS merupakan program aplikasi yang didesain untuk memodelkan aliran sungai, program *River Analysis System (RAS)*, dibuat oleh *Hydrologic Engineering Centre (HEC)* yang merupakan satu divisi didalam *Institute for Water Resources (IWR)*, di bawah *US Army Corps of Engineers (USACE)*. HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*) (Istiaro, 2014)

2. METODE PENELITIAN

Tahap penelitian dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Tinjauan pustaka
2. Pengumpulan data primer dan data sekunder
3. Menghitung hujan rencana dan debit banjir rencana

4. Melakukan pengukuran penampang melintang dan memanjang lokasi studi
5. Melakukan pemodelan dengan HEC-RAS 4.0
6. Mencari alternatif upaya pengendalian banjir baik penanganannya secara fisik - struktural maupun non fisik-non struktural.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer berupa data pengukuran penampang melintang di titik lokasi pada satu *cross section*, berikut penyajian data pengukuran *cross* sungai di lokasi penelitian pada tabel 1. Data sekunder berupa data curah hujan harian dari stasiun hujan Gunung Nago dan stasiun hujan Bungus yang diperoleh dari kantor Dinas PSDA, Provinsi Sumatera Barat.

Tabel 1. Data pengukuran *cross* sungai di lokasi penelitian

Station	Elevation (m)
0	3.8
1.5	3.8
3	3.8
5	3
7	2.8
10	2.6
17	0.8
19	0.8
22	0.8
24	0.8
40	0.8
44	1.2
46	1.4
50	1.8
54	2.2
56	2.4
64	3.8
66	3.8

Pengolahan data dimulai dengan melakukan analisis hidrologi untuk mendapatkan debit banjir rencana pada sungai Batang Arau. Dilanjutkan dengan analisis hidraulika, yaitu 1) Analisis kapasitas tampung penampang di lokasi penelitian, 2) Pemodelan penampang dengan aplikasi HEC-RAS 4.0. Pemodelan sungai yang dilakukan, yaitu a. Kondisi dengan debit banjir rancangan kala ulang 25 tahun dari Sub DAS Batang Jirak, b. Kondisi Sungai dengan debit rancangan kala ulang 25 tahun Sub DAS Batang Jirak ditambah 100 m³/dt debit yang dicoba tambahkan untuk menggambarkan kondisi debit pada penampang dari Bendung Pembagi di bagian hulu daerah Lubuk Begalung c. Kondisi dengan debit rancangan kala ulang 25 tahun Sub DAS Batang Jirak ditambah 62 m³/dt debit dari bendung pembagi di Daerah Lubuk Begalung, karna sebelumnya

dengan percobaan debit 100 m³/dt mengalami luapan maka dilakukan percobaan dengan debit lebih kecil.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Curah hujan harian yang digunakan selama 10 tahun (2009-2018) dengan stasiun hujan Gunung Nago dan stasiun hujan Bungus. Perhitungan curah hujan rencana menggunakan 4 (empat) distribusi probabilitas, yaitu : Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson Type III. Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Curah Hujan Rencana

Periode Ulang	Hujan Rencana Harian Maksimum			
	Metode Distribusi Probabilitas			
	Normal(mm)	Log Normal(mm)	Gumbel(mm)	Log Pearson Tipe III (mm)
2	150,363	139,519	135,819	126,804
5	211,848	191,369	227,799	179,851
10	244,055	225,817	285,642	230,018
20	270,41	258,56714	341,1197	283,5313
25	275,383	265,267	353,089	314,790
50	300,416	301,688	412,929	397,031
100	320,91	335,200	466,742	499,067

3.1 Uji Distribusi Probabilitas

Setelah didapatkan nilai curah hujan rencana, selanjutnya dilakukan uji distribusi probabilitas. Hasil dari curah hujan rencana yang terpilih akan digunakan untuk menghitung debit banjir rencana. Hasil uji distribusi probabilitas disajikan pada Tabel 3.

No	Distribusi Probabilitas		X2 Terhitung	ΔP terhitung	X2 Kritis	ΔP Kritis	Keterangan	
	Chi-kuadrat	Smirnov-Kolmog	Chi-kuadrat	Smirnov-Kolmog	Chi-kuadrat	Smirnov-Kolmog	Chi-kuadrat	Smirnov-Kolmog
1	Normal		11	0,231	5,991	0,41	Tidak diterima	Diterima
2	Gumbel		8	0,207	5,991	0,41	Tidak diterima	Diterima

3	Log Normal	3	0,137	5,991	0,41	Diterima	Diterima
4	Log Pearson	4	0,083	5,991	0,41	Diterima	Diterima

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Uji Distribusi Probabilitas

Syarat distribusi probabilitas yang diterima oleh kedua uji adalah nilai ΔP terhitung < ΔP kritis. Dari tabel 2, kita dapat melihat distribusi probabilitas yang diterima oleh kedua uji adalah distribusi probabilitas log normal.

3.2 Perhitungan Debit Banjir Rencana

Dari beberapa perhitungan metode debit banjir periode ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun sehingga diperoleh hasil rekapitulasi perhitungan debit banjir seperti tabel dibawah ini.

Periode Ulang (tahun)	Metode		
	Rasional (m ³ /dt)	Hasper (m ³ /dt)	weduwen(m ³ /dt)
2	188,000	198,270	340,891
5	257,866	271,953	409,069
10	304,286	320,908	477,247
25	357,443	376,970	572,697
50	406,521	428,728	647,693

Tabel 4. Rekapitulasi debit banjir beberapa metode empiris

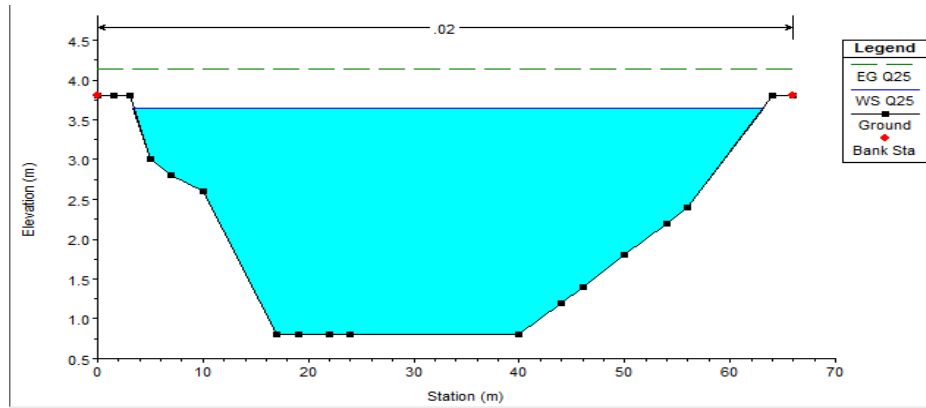
Debit yang digunakan untuk banjir rencana yaitu debit dengan metode rasional kala ulang 25 tahunan

3.3 Analisis Kemampuan Tampang Melintang

3.3.1 Analisis Kapasitas Penampang Sungai dengan Debit dari Sub DAS Batang Jirak

Berdasarkan perhitungan debit banjir rancangan didapat debit banjir Sub DAS Batang Jirak dengan periode ulang 5 tahun sebesar 257, 886 m³/dt, 10 tahun sebesar 304,286 m³/dt dan periode ulang 25 tahun sebesar 357,443 m³/dt. Pemodelan sungai yang dilakukan, yaitu 1) Kondisi dengan debit 25 tahun dari Sub DAS Batang Jirak, 2) Kondisi Sungai dengan debit 25 tahun Sub DAS Batang Jirak ditambah 100 m³/dt debit dari Bendung Pembagi di bagian hulu daerah Lubuk Begalung 3) Kondisi dengan debit 25 tahun Sub DAS Batang Jirak ditambah 62 m³/dt debit dari Bendung Pembagi di bagian hulu daerah Lubuk Begalung dengan menggunakan simulasi HEC-RAS 4.0 didapat muka air di penampang melintang sungai sebagai berikut:

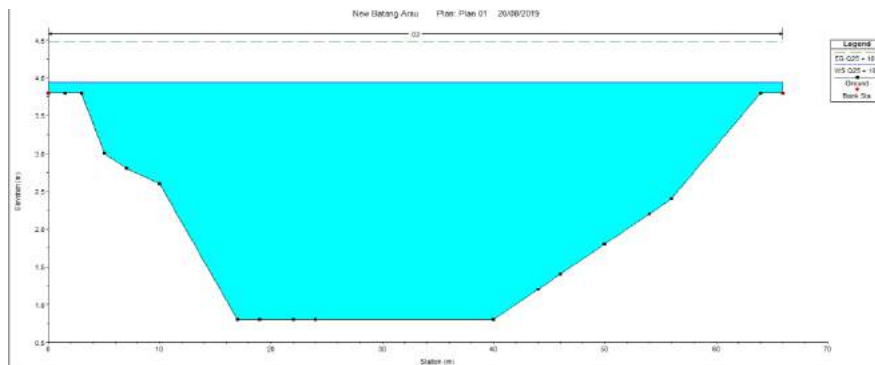
1. Kondisi debit periode ulang 25 tahun Sub DAS Batang Jirak



Gambar 3. Cross section sungai debit banjir kala ulang 25 tahun

Pada gambar 3 terlihat kondisi air belum meluap dari penampang melintang sungai. Dengan tinggi tanggul 3,8 m, muka air banjir rencana dengan tinggi 3,7 m masih berada 0,10 m dibawah tanggul.

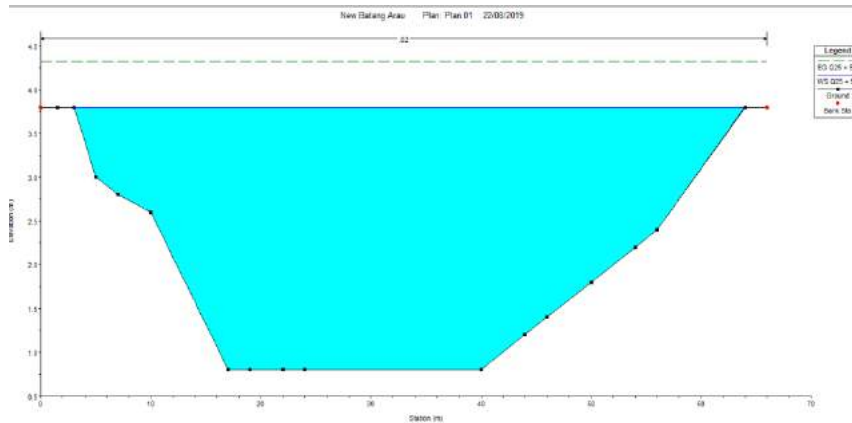
2. Kondisi debit Sub DAS Batang Jirak ditambah debit 100 m³/dt debit dari Bendung Pembagi Lubuk Begalung



Gambar 4 cross sungai debit 25 tahun ditambah 100 m³/dt debit Batang Arau

Pada gambar 4 terlihat kondisi air sudah meluap dengan tinggi luapan 0.15 m diatas tanggul.

3. Kondisi debit Batang Jirak ditambah debit 62 m³/dt debit dari Bendung Pembagi Lubuk Begalung.



Gambar 5. cross sungai debit 25 tahun ditambah 62 m³/dt debit Batang Arau

Tinggi muka air banjir 3.8 m, sama dengan tinggi tanggul sungai 3.8 m. Jadi dalam kondisi penampang melintang Batang Arau sekarang, debit yang bisa dialirkan sebesar 62 m³/dt.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan pemodelan sungai menggunakan aplikasi HEC-RAS dengan debit periode ulang 25 tahun Sub DAS Batang Jirak, kemampuan penampang melintang di daerah lokasi penelitian mampu mengalirkan debit tambahan dari Bendung Pembagi banjir yang berada di Lubuk Begalung sebesar 62 m³/dt. Jadi, total debit yang dapat dialirkan penampang melintang sungai Batang Arau di lokasi penelitian yaitu sebesar 419,443 m³/dt.

4.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan saran kepada peneliti berikutnya untuk meneliti pengaruh sedimentasi pada penampang sungai di lokasi penelitian dan saran untuk pemerintah setempat untuk melakukan normalisasi seperti pengerukan tumpukan sedimen yang menyebabkan pendangkalan dan perubahan dimensi sungai sebagai alternatif pencegahan banjir.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan nikmat dan rahmat yang tiada terhingga. Terima kasih banyak kami ucapkan kepada dosen pembimbing, dosen penguji dan orang tua serta pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan *Full paper* ini, semoga dapat berguna sebagaimana mestinya.

6. DAFTAR PUSTAKA

I Made Shandy (1985). *Republic Indonesia Geografi Regional*. Jakarta: Jurusan Geografi FMIPA UI.

- Suripin. 2004, *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Andi. Yogyakarta
- Hadisusanto, Nugroho. 2011, *Aplikasi Hidrologi*. Malang : Jogja Media Utama
- Hallaf, H.P.,2005 *Geomorfologi Sungai dan Pantai*. Jurusan Geografi FMIPA UNM.Makassar..
- Triatmodjo, B. 2010. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset
- Istiarto. 2014. Modul Pelatihan Simulasi Aliran 1- Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS. Universitas Gadjah Mada,c
<http://istiarto.staff.ugm.ac.id/docs/hidter/HEC-RAS%20Dasar%20Simple%20Geometry%20River%20Okt12.pdf> diakses tanggal 5 Oktober 2016

TINJAUAN GERUSAN LOKAL DI HILIR BENDUNG KOTO TUO SUNGAI BATANG AIR DINGIN KOTA PADANG

Ath Thariq¹, Muhammad Hisyam², Dalrino³ Aguskamar⁴

¹Mahasiswa D IV Perencanaan Irigasi dan Rawa, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang. Email: ateha01@gmail.com

²Mahasiswa D IV Perencanaan Irigasi dan Rawa, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang. Email: muhammadhisyam900@gmail.com

³Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang. Email: dalrino350@gmail.com

⁴Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang. Email: aguskamar@pnp.ac.id

ABSTRACT

Koto Tuo Dam suffered damage in 2016, due to local scouring that occurred right at the building's downstream. Without any security for scouring at the foot of the weir. Impact on the scouring downstream of the weir. With this case, this research was conducted to analyze the scour downstream of Koto Tuo Dam. Cold Water Watershed (DAS) is one of the watersheds located in Koto Tengah Subdistrict, Padang City which empties into the ocean. Geographically, it is located at 0 45 " - 0 55" South Latitude and 100 20 - 100 30' East Longitude and at an altitude of 0 - 1808 meters above sea level, with an area of 12477.32 ha. Depth of scour in the field is 1.7 m. The depth of the scour was analyzed using 3 methods, namely the Demle and Khatsuaria Method, the Verones Method 1976, and the Lacey Method. The result that is close to the field condition is the scour depth using the Verones Method with 100 years Q that is close to 1,673 m scouring downstream of the Koto Tuo Dam. With the results of the analysis, it can be a recommendation for construction in the safety of downstream weirs, namely using an empty stone pair or X Box stone pair to minimize the possibility of scouring downstream of the weir.

Keywords : 1, Scouring 2, Weir 3, Verones Method

ABSTRAK

Bendung Koto Tuo mengalami kerusakan pada 2016, akibat gerusan lokal yang terjadi tepat pada hilir bangunan. Tanpa adanya pengamanan terhadap gerusan di kaki bendung. Berdampak pada terjadinya gerusan di hilir bendung tersebut. Dengan adanya kasus tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisa gerusan di hilir Bendung Koto Tuo. Daerah aliran sungai (DAS) Air Dingin merupakan salah satu DAS yang terletak di Kecamatan Koto Tengah Kota Padang yang bermuara langsung ke lautan. Secara geografis terletak pada 0 45" - 0 55" Lintang Selatan dan 100 20 – 100 30' Bujur Timur dan berada pada ketinggian 0 – 1808 mdpl, dengan luas 12477.32 ha. Kedalaman gerusan di lapangan diperoleh sebesar 1,7 m. Kedalaman gerusan dianalisa dengan menggunakan 3 metode, yaitu Metode Demle dan Khatsuaria, Metode Verones 1976, dan Metode Lacey. Hasil yang mendekati kondisi lapangan yaitu kedalaman gerusan menggunakan Metode Verones dengan Q 100 tahun yaitu mendekati gerusan sebesar 1.673 m pada hilir Bendung Koto Tuo. Dengan adanya hasil analisa tersebut dapat menjadi rekomendasi konstruksi untuk pengaman di hilir bendung yaitu menggunakan pasangan batu kosong atau pasangan batu X Box untuk memperkecil kemungkinan terjadinya gerusan di hilir bendung.

Kata Kunci : 1, Gerusan 2, Bendung 3, Metode Verones

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bendung adalah suatu bangunan air dengan kelengkapan yang dibangun melintang sungai atau sudetan yang sengaja dibuat untuk meninggikan taraf muka air atau untuk mendapatkan tinggi terjun, sehingga air dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi ke tempat yang membutuhkannya (Moch.Memed dan Erman Mawardi, 2015)

Bendung Koto Tuo mengalami kerusakan pada 2016, akibat gerusan lokal yang terjadi tepat pada hilir bangunan. Tanpa adanya pengamanan terhadap gerusan di kaki bendung. Berdampak pada terjadinya gerusan di hilir bendung tersebut. Dengan adanya kasus tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisa gerusan di hilir Bendung Koto Tuo. Daerah aliran sungai (DAS) Air Dingin merupakan salah satu DAS yang terletak di Kecamatan Koto Tangah Kota Padang yang bermuara langsung ke lautan. Secara geografis terletak pada 0 45” - 0 55” Lintang Selatan dan 100 20 – 100 30’ Bujur Timur dan berada pada ketinggian 0 – 1808 mdpl, dengan luas 12477.32 ha. Kedalaman gerusan di lapangan diperoleh sebesar 1,7 m. Kedalaman gerusan dianalisa dengan menggunakan 3 metode, yaitu Metode Demle dan Khatsuaria, Metode Verones 1976, dan Metode Lacey. Gerusan lokal (*local scouring*) yang terjadi tepat di hilir bangunan diakibatkan oleh menumpuknya sedimen ditahan oleh hulu bendung, jika dasar sungai menjadi dangkal atau lebar, terisi pasir dan kerikil, maka hal ini dapat dijadikan petunjuk bahwa dasar tersebut sedang mengalami agradasi secara berangsur – angsur. aliran air yang melimpas diatas ambang bangunan, mempunyai energi yang cukup besar sehingga mampu menggerus dasar sungai dan membuat gerusan ke hilir.

Dampak dari gerusan lokal harus diwaspadai karena berpengaruh pada keamanan bangunan air. Mengingat kompleks dan pentingnya permasalahan di atas, maka kami menulis judul” **“TINJAUAN GERUSAN LOKAL DI HILIR BENDUNG KOTO TUO DI BATANG AIR DINGIN KOTA PADANG”**

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh besarnya debit dan waktu pada gerusan lokal yang terjadi
2. Mendapatkan nilai Hujan Rencana dan Debit sungai rencana
3. Mendapatkan nilai Kedalaman gerusan di hilir bendung
4. Memberikan rekomendasi terhadap gerusan yang terjadi di hilir Bendung Koto Tuo

2. STUDI PUSTAKA

Menurut Neill (1973), pengertian gerusan [scour] adalah penurunan dasar sungai karena erosi di bawah elevasi permukaan alami atau datum yang diasumsikan.

Menurut Legono [1990], gerusan adalah proses semakin dalamnya dasar sungai karena interaksi antara aliran dengan material dasar sungai. Menurut Raudkivi dan Etterma [1983], gerusan dibedakan atas tiga tipe, yaitu :

1. Gerusan umum (*general scour*), gerusan ini terjadi tidak berkaitan sama sekali dengan ada atau tidaknya bangunan hidraulik. Gerusan ini disebabkan oleh energi dari aliran air.
2. Gerusan terlokalisir (*localized scour / constriction scour*) di alur sungai, terjadi karena penyempitan alur sungai sehingga aliran menjadi lebih terpusat.
3. Gerusan lokal (*local scour*) di sekitar bangunan, karena pola aliran lokal di sekitar bangunan sungai.

2.1 Faktor yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan

Kedalaman gerusan yang terjadi disekitar bangunan air, jembatan dan penyempitan air dipengaruhi beberapa faktor yang antara lain adalah :

a. Kecepatan aliran pada alur sungai

Kedalaman gerusan lokal maksimum rata-rata di sekitar pilar sangat tergantung pada nilai relatif kecepatan alur sungai (perbandingan antara kecepatan rerata aliran dan kecepatan geser), nilai diameter butiran (butiran seragam/ tidak seragam) dan lebar pilar. Dengan demikian maka gerusan lokal maksimum rerata tersebut merupakan gerusan lokal maksimum dalam kondisi setimbang.

Rumus Kecepatan Aliran

$$V = Q/A$$

Dimana

$$Q = \text{Debit m}^3/\text{det}$$

$$A = \text{Luas Penampang}$$

b. Debit

Debit merupakan salah satu factor yang mempengaruhi kedalaman gerusan baik pada kondisi air normal maupun kondisi banjir.

Rumus Q

$$Q = A.V$$

Dimana

A = Luas Penampang

V = Kecepatan

c. Tinggi Muka Air

Tinggi muka air sangat mempengaruhi terjadinya gerusan, semakin tinggi muka air di hulu maka tinggi muka air di hilir akan lebih tinggi dan terjadi loncatan energy yang tinggi.

d. Lebar Bendung

Lebar bendung sangat mempengaruhi terjadinya gerusan, semakin sempit lebar bendung maka akan berpengaruh pada kecepatan aliran.

e. Ukuran Butir Material Dasar

Kedalaman gerusan maksimum pada media alir *clear water scour* sangat dipengaruhi adanya ukuran butiran material dasar relatif b/d_{50} pada sungai alami maupun buatan. Untuk sungai alami umumnya koefisien ukuran butir relatif b/d_{50} pada kecepatan relatif $U/U_c = 0,90$ pada kondisi clear water dan umumnya kedalaman gerusan relatif y_s/b tidak dipengaruhi oleh besarnya butiran dasar sungai selama $b/d_{50} > 25$.

2.2 Tinggi Muka Air

Merupakan tinggi muka air di atas mercu bendung dan tinggi muka air di hilir bendung.

2.2.1 Tinggi Muka Air di Atas Mercu

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot B_e} \cdot H_1^{1.5}$$

Dimana :

Q = Debit (m^3/dt)

Cd = Koefisien debit ($C_d = C_0.C_1.C_2$)

g = Percepatan gravitasi (m/dt^2)

Be = Lebar efektif Mercu (m)

H1/D = Tinggi energy/air di atas mercu (m)

2.2.2 Tiggi Muka Air di Hilir Bendung

Persamaan yang digunakan :

5. Perhitungan $Vu = \sqrt{2g \cdot (P + H1 - 1)}$
6. Perhitungan $Yu = \frac{Q}{Be \cdot Vu}$
7. Perhitungan Froud $= \frac{Vu}{\sqrt{g \cdot Yu}}$
8. Perhitungan Y2 = Lihat Gambar 6.2 KP.02

Dimana :

- P = Tinggi Mercu + 1 m
- Fr = Nilai Froude
- Hd = Ketinggian MA di hulu bendung
- g = Percepatan gravitasi 9.81 m/dt
- Vu = Kecepatan aliran di terjunan
- Q = Debit periode
- Be = Lebar efektif Bendung
- Yu = Tinggi loncatan di terjunan
- Y2 = Tinggi loncatan di hilir bendung

2.3 Analisa Saringan

Analisa saringan adalah suatu kegiatan analisis untuk mengetahui ukuran tribusi agregat kasar maupun dengan menggunakan ukuran standar tertentu yang ditunjukkan dengan lobang saringan (mm) dan untuk nilai agregat kasar maupun halus yang akan kita gunakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Hidrologi

Data curah hujan yang digunakan pada lokasi studi terdiri dari Stasiun Kasang, Stasiun Bendung Koto Tuo. Diambil data selama 15 tahun dari tahun 2003 sampai 2017. Analisa debit banjir dengan menghitung debit (Q) periode ulang. Periode ulang yang digunakan adalah 100 tahun, Debit banjir yang terjadi sebesar 220,62 m³/detik dengan metode HSS Nakayasu

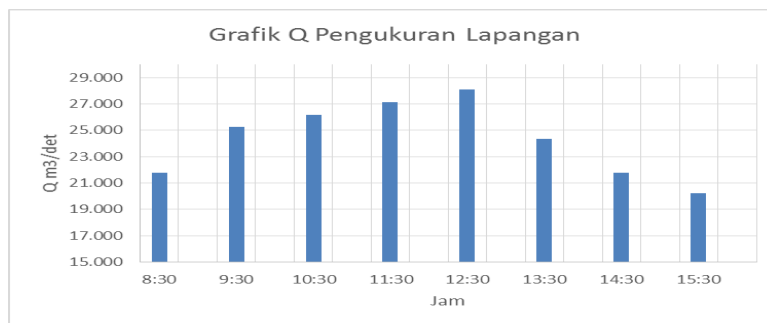
3.2 Analisa Debit Lapangan

Tabel 1 Perhitungan Tabel Q Pengukuran Lapangan

h	A	b	m	i	P	R	v	Q (m ³ /dt)
0.78	6.81	15.02	1	0.0175	17.226	0.395	3.197	21.769
0.82	7.47	15.07	1	0.0175	17.389	0.430	3.380	25.246
0.83	7.64	15.09	1	0.0175	17.438	0.438	3.425	26.164
0.84	7.81	15.10	1	0.0175	17.476	0.447	3.470	27.103
0.85	7.99	15.12	1	0.0175	17.524	0.456	3.517	28.103
0.81	7.30	15.06	1	0.0175	17.351	0.421	3.333	24.329
0.78	6.81	15.02	1	0.0175	17.226	0.395	3.197	21.769
0.76	6.50	14.99	1	0.0175	17.140	0.379	3.109	20.208

Tabel 2 Q Pengukuran Lapangan

jam mulai	T	Q m3/dt	Q Puncak m3/det
8:30	1 jam	21.769	28.103
9:30	1 jam	25.246	
10:30	1 jam	26.164	
11:30	1 jam	27.103	
12:30	1 jam	28.103	
13:30	1 jam	24.329	
14:30	1 jam	21.769	
15:30	1 jam	20.208	



Gambar 3.1 Grafik Q Pengukuran Lapangan

Q pengukuran lapangan di dapat Q puncak 28.103 m3/det dengan asumsi merupakan Q periode ulang 2 tahun yang mendekati Q lapangan adalah Q yang dihitung dengan menggunakan Metode Nakayasu.

3.3 Analisa Kedalaman Gerusan

3.4 Metode Demle & Khatsuaria

$$S = A \times (q \times h_o)^{0.5-h2}$$

3.5 Metode Verones 1976

$$S = (K \times (HT^{0,225} \times q^{0,54}))$$

3.6 Metode Lacey

$$S = 0.47 \times (Q / f)^{1/2}$$

Keterangan :

S = kedalaman gerusan yang terjadi di hilir bangunan (m)

A = Konstanta digunakan 0.9

Ho = Tinggi muka air di hulu [m]

q = Debit persatuan lebar (m²/dt)

h2 = Tinggi muka air di hilir (m)

K = 0.4

HT = Tinggi Muka Air di hulu (m)

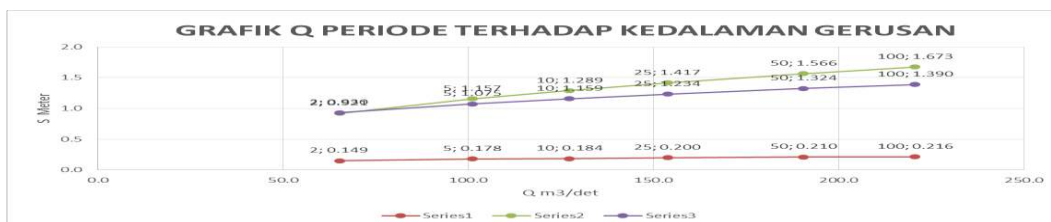
Q = debit (m³/dt)

f = faktor lumpur, 1.76 Dm^{0.6}

Dm = diameter butiran

Tabel 3 Rekapitulasi Semua Metode Terhadap Q

Periode Ulang (Tahun)	Debit Rencana Berdasarkan Data Hujan	Demle & Khatsuaria	Verones 1976	Lacey
	Nakayasu (m ³ /dt)	S [m]	S [m]	S [m]
2	65.2	0.149	0.921	0.930
5	101.19	0.178	1.157	1.075
10	127.37	0.184	1.289	1.160
25	153.77	0.200	1.417	1.234
50	190.56	0.210	1.566	1.325
100	220.62	0.216	1.673	1.390

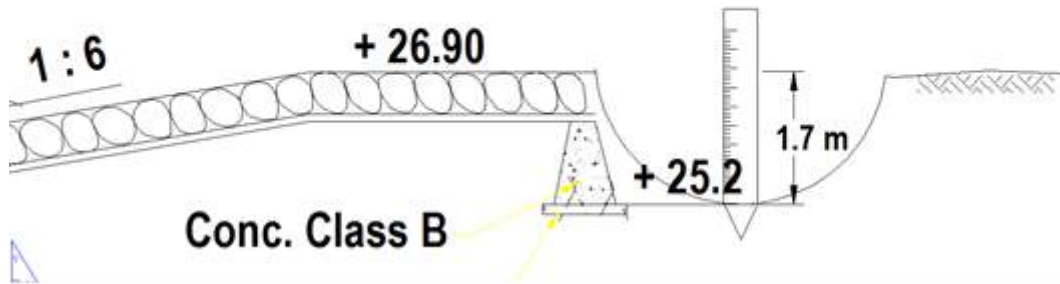


Gambar 4.1 Grafik Kedalaman Gerusan Dengan 3 Metode

3.7 Analisa Perhitungan Kedalaman Gerusan Terhadap Q Periode

Kedalaman gerusan dianalisa dengan menggunakan 3 metode, yaitu Metode Demle dan Khatsuaria, Metode Verones 1976, dan Metode Lacey. Pada hilir bendung Elevasi +26.59 sebagai titik awal pengukuran, dilakukan pengukuran kedalaman gerusan menggunakan papan ukur dan didapat kedalaman gerusan 1.7 m pada hilir bendung. Metode yang mendekati hasil lapangan sedalam 1.7 m yaitu Metode Verones

dengan Q 100 tahun yang mendekati gerusan sebesar 1.673 m pada hilir Bendung Koto Tuo.



Gambar 4.12 Pengecekan Kedalaman Gerusan di Lapangan

3.8 Rekomendasi Pengaman Terhadap Gerusan

3.8.1 Perencanaan Kolam Olak

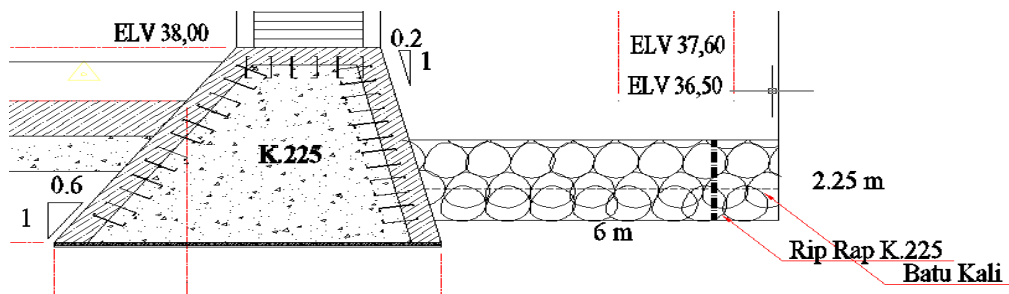
Persamaan yang digunakan :

9. Perhitungan $V_u = \sqrt{2g \cdot (P + H1 - 1)}$
10. Perhitungan $Y_u = \frac{Q}{B_s \times V_u}$
11. Perhitungan Froud = $\frac{V_u}{\sqrt{g \cdot Y_u}}$
12. Perhitungan Y_2 = Lihat Gambar 6.2 KP.02
13. Perhitungan L_d & $L_j = 1$. $L_d = 5 \times Y_2$
 2. $L_j = 5 (Y_2 - Y_u)$

Maka Panjang Kolam Olak = $L_d + L_j$

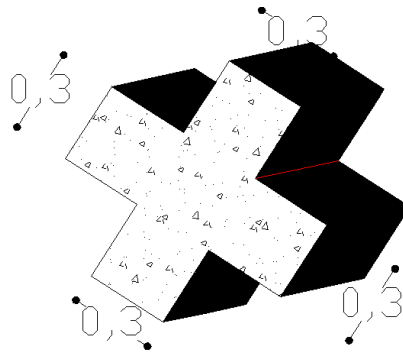
$$9.25 + 7.20 = 16.45 \text{ m}$$

3.8.2 Pemasangan Batu Kosong Rip Rap



Gambar 4.13 Pasangan Batu kosong Rip rap

3.8.3 Pemasangan Batu Pemecah Energi X – Box



Gambar 4.14 Batu Pemecah Energi X – Box

4. KESIMPULAN

1. Dari hasil perhitungang debit banjir dengan tiga metode yaitu: metode Melchior, Metode Hasper, dan Metode Nakayasu, diperoleh debit yang mendekati dengan debit lapangan adalah metode Nakayasu sebesar $65.20 \text{ m}^3/\text{dt}$ dengan periode ulang 2 tahun.
2. Dari tiga (3) metode yang digunakan untuk menghitung kedalaman gerusan yaitu metode Metode Demle & Khatsuaria, Metode Verones 1976, dan Metode Lacey dengan debit banjir periode, metode yang mendekati gerusan 1.7 m di lapangan adalah metode Verones 1976 dengan kedalaman gerusan adalah 1.673 meter.
3. Dari hasil hitungan terhadap Kolom Olakan, diperoleh panjang yang dibutuhkan 16.45 meter. Sedangkan kondisi di lapangan hanya tersedia 14.5 meter. Dengan demikian maka terjadi loncatan air di luar Kolam Olak yang pada gilirannya menyebabkan gerusan lokal pada hilir Bendung Koto Tuo.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Umar, Zahrul., Utama, Lusi., & Warti Lili. (2016) Pengaruh Angkutan Sedimen Terhadap Banjir di Batang Lampasi Kota Payakumbuh Sumatera Barat. Prosiding HATHI 3.
- Revalin Herdianto, Indra Agus, Mukhlis. (2007) Studi Ketinggian Lantai Mercu Bendung Gergaji Untuk Peredaman Energi Dengan Model Fisik Dua Dimensi.
- Reski Wahyudi, Junaidi, Ahmad Junaidi (2017) Evaluasi Hidrolis Bangunan Pengendali Stabilitas Sungai Pada Batang Air Dingin Dan Rekomendasi Penanganannya [Studi Kasus Bangunan Terjun Koto Pulau].
- Wisafri, Indra Agus, Apwiddhal. (2014) Studi Kedalaman dan Pola Gerusan Lokal Yang Terjadi Di Hilir Bendung dengan Kolam Olakan tipe Bucket dan USBR III.

Aryu Putra Pratama Ogi, Anif Bahrul, Umar Zahrul, (Perencanaan Bendung Koto Tuo Dengan Menggunakan Mercu Bulat Dan Kolam Peredam Energi Tipe Bak Tenggelam di Sungai Batang Aie Dingin Kecamatan Koto Tangah Kota Padang.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada Politeknik Negeri Padang selaku tempat penulis kuliah. Kemudian kepada pembimbing yang telah mencurahkan waktu dan pikirannya dalam membimbing penulis dalam menulis makalah ini. Seterusnya kepada Balai Wilayah Sungai V dan Dinas Pengelola Sumber Daya Air Sumatetra Barat selaku pihak yang menyediakan data penunjang dalam penelitian.

ANALISIS EFEKTIFITAS MODEL KONSEPTUAL GR4J UNTUK KETERSEDIAAN AIR DI DAS KAMPAR

Jusatria ¹⁾, Manyuk Fauzi ²⁾, Imam Suprayogi ³⁾

¹Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Riau
Email : jusatria2901@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Riau
Email : manyuk.fauzi@unri.ac.id

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Riau
Email : drisuprayogi@yahoo.com

ABSTRAK

Rainfall-runoff model for water availability in the Kampar Kanan sub DAS which has an important role other than as a catch for the Kampar River as well as where the PLTA Koto Panjang reservoir is located. The hydrological model to be used is the GR4J Model (*Genie Rural a 4 parametres Journalier*) developed by Perrin, et al. (2003). The study area at the AWLR Bingkuang Lake station. The study area includes the Rain recording Pantai Raja station and the Pasar Kampar station of climatology station. To determine the success of the model using the R^2 and R equations to calculate the deviation that occurs. In the calibration, verification and simulation step with 5 schemes (2010-2015). The calibration step is the best GR4J scheme 3 model with R^2 14,524% and the value R 0,421. While the verification stage of the highest R^2 is in Scheme 5 with an R^2 of 8.337%, while the R value of R is 0.643. The last step is simulation. Water availability in the Kampar watershed is available throughout the year.

Keywords : Permodelan, GR4J, calibration, verification, simulation

ABSTRACT

Model *Rainfall-runoff* untuk ketersediaan air pada sub DAS Kampar Kanan yang memiliki peranan penting selain sebagai tangkapan bagi sungai Kampar juga sebagai dimana waduk PLTA Koto Panjang berada. Pemodelan hidrologi yang akan digunakan yaitu Model GR4J (*Genie Rural a 4 parametres Journalier*) yang dikembangkan oleh Perrin, dkk (2003). Model GR4J adalah model sederhana karena hanya terfokus pada empat parameter. Daerah studi pada stasiun AWLR Danau Bingkuang. Daerah studi mencakup stasiun pencatat Hujan Pantai raja dan stasiun klimatologi stasiun pasar Kampar. Untuk menentukan keberhasilan model digunakan persamaan R^2 dan R untuk menghitung simpangan yang terjadi. Pada tahap kalibrasi, verifikasi dan simulasi dengan 5 Skema (2010-2015). Pada tahap kalibrasi yaitu pada model GR4J skema 3 dengan R^2 14,524 % dan nilai R 0,421. Sedangkan tahap verifikasi nilai R^2 tertinggi terletak pada Skema 5 dengan nilai R^2 8,374 %, sementara nilai R nilai R 0,643. Tahap terakhir adalah simulasi. Ketersediaan Air pada DAS Kampar tersedia sepanjang tahun.

Kata Kunci : Permodelan, GR4J, Kalibrasi, Verifikasi, Simulasi.

1. PENDAHULUAN

Sub DAS Kampar kanan yang berasal dari mata air gunung gadang yang mengalir 22 Kecamatan yang berada di Provinsi Riau dan Sumatera Barat. DAS di Provinsi Riau memiliki peranan penting dalam menjaga lingkungan, termasuk menjaga kualitas air, mencegah banjir kekeringan saat menemukan model simulasi aliran sungai dengan pemodelan hujan debit merupakan tujuan kebanyakan ahli hidrologi.

Kebutuhan air yang terus meningkat sehingga menyebabkan ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air. Untuk mencapai keseimbangan tersebut antara kebutuhan air dan ketersediaan air di masa yang akan datang, maka diperlukan upaya pengkajian komponen tersebut. Penemuan dari *rainfall-runoff* merupakan pengembangan model hujan debit yang memungkinkan menggunakan data curah hujan secara komprehensif untuk memeperkirakan besarnya debit. Pemodelan *rainfall-runoff* ini sering digunakan karena keterbatasan ketersediaan data debit dari aliran sungai yang ditinjau, dalam pemodelan *rainfall-runoff* biasanya melibatkan analisa statistik untuk memprediksi data ke depan. Tetapi biasanya terjadi kesulitan untuk membuat suatu struktur dalam suatu model karena pemodelan *rainfall-runoff* sangat bergantung kepada perilaku *catchment area*. Selain itu struktur suatu model berhubungan dengan banyak parameter.

Model yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Model GR4J (*Genie Rural a 4 parametres Journalier*) yang dikembangkan oleh Perrin, dkk (2003).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemodelan GR4J

Pemodelan *rainfall-runoff modelling* merupakan usaha pertama dari ahli hidrologi untuk meramalkan aliran (*flows*) yang diharapkan terjadi dari sutau kejadian hujan. Model hidrologi yang dikembangkan oleh Perrin *et al.* (2003) yang berbasis pada empat parameter *rainfall-runoff* adalah model *Genie Rural a 4 parametres Journalier* (GR4J).

Model *GR4J* mengoptimasi empat parameter bebas yaitu:

$X1$ =Kapasitas maksimum dari *production store* (mm)

dengan range parameter model $X1 = (100-1200)$.

$X2$ =Koefisien perubahan *groundwater* (mm)

dengan range parameter model $X2 = (-5 - 3)$.

$X3$ =Kapasitas maksimum *routing store* (mm)

dengan range parameter model $X3 = (20-300)$.

$X4$ =Waktu saat debit puncak unit hidrograf *UHI* (hari)

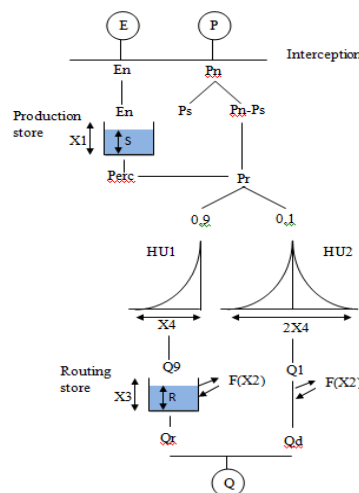
dengan range parameter model $X4 = (1.1-2.9)$.

Production Store (X1) adalah tampungan dipermukaan tanah yang bisa menampung air dari hujan yang terjadi. Tampungan ini mengalami proses evapotranspirasi dan perkolasi. Besarnya tampungan ini sangat dipengaruhi oleh jenis tanah yang ada pada suatu DAS, semakin kecil porositas tanah maka semakin besar *production store* yang ada.

Groundwater (X2) adalah fungsi dari perubahan air tanah yang mempengaruhi besarnya *routing store*. Ketika memiliki nilai negatif maka air masuk ke *aquifer* dalam dan ketika memiliki nilai positif maka air dari *aquifer* keluar dan masuk ke tampungan (*routing store*).

Routing storage (X3) adalah kapasitas air yang bias ditampung dalam pori-pori tanah. Besarnya nilai *routing store* ini tergantung dari jenis dan kelembaban tanah.

Time Peak (X4) adalah waktu saat puncak ordinat unit hidrograf banjir yang dihasilkan pada pemodelan *GR4J*. Ordinat unit hidrograf ini dihasilkan dari *runoff* yang terjadi, dimana 90% aliran merupakan aliran lambat yang masuk ke dalam tanah dan 10% aliran merupakan aliran cepat yang mengalir di permukaan tanah.



Gambar 1. Diagram model *rainfall-runoff* GR4J (Perrin, 2003)

Sumber : Jurnal Dhemi Harlan (2009)

Pada Gambar 1 merupakan diagram dari model GR4J, tahapan dalam pengerjaan model GR4J sebagai berikut:

Input data curah hujan (P) dan evapotranspirasi potensial (E) kemudian definisikan P menjadi Net *rainfall* Pn dan E menjadi Net evapotranspirasi En

Jika $P \geq E$ maka $Pn = P - E$ dan $En = 0$ (1)

Jika $P \leq E$ maka $E_n = E - P$ dan $P_n = 0$ (2)

mencari nilai P_s dari P_n yaitu nilai P_n yang mengisi *production store*, dirumuskan sebagai berikut:

$$P_s = \frac{x_1 \left(1 - \left(\frac{S}{x_1}\right)^2\right) \tanh\left(\frac{P_n}{x_1}\right)}{1 + \frac{S}{x_1} \tanh\left(\frac{P_n}{x_1}\right)} \quad (3)$$

Kasus lain jika $P < E$ maka E_s dirumuskan sebagai berikut:

$$E_s = \frac{s \left(2 - \frac{S}{x_1}\right) \tanh\left(\frac{E_n}{x_1}\right)}{1 + \left(1 - \frac{S}{x_1}\right) \tanh\left(\frac{E_n}{x_1}\right)} \quad (4)$$

E_s merupakan nilai evapotranspirasi yang masih bisa terjadi pada tampungan *production store*. Nilai dari E_s dipengaruhi oleh perbandingan dari volume kosong dari tampungan serta perbandingan dari evapotranspirasi netto dan tinggi tampungan. Dalam pemodelan ini *production store* S tidak pernah melebihi X_1 . sehingga *production store* dirumuskan sebagai berikut:

$$S = S - E_s + P_s \quad (5)$$

Di dalam *production store*, perkolasi dirumuskan sebagai berikut:

$$Perc = S \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{4}{9} \frac{S}{x_1} \right)^4 \right]^{-\frac{1}{4}} \right\} \quad (6)$$

$Perc$ dianggap selalu lebih rendah dari S . Sehingga nilai tampungan bias dirumuskan sebagai berikut:

$$S = S - Perc \quad (7)$$

Sebagian $P_n - P_s$ dari P_n dan sebagian perkolasi dari *production store* bergabung dan mencapai *routing store*

$$Pr = Perc + (P_n - P_s) \quad (8)$$

Jumlah air yang mencapai *routing store* dibagi menjadi aliran cepat dan aliran lambat. Aliran cepat di *routing* dengan unit hidrograf UH1 dan aliran lambat dengan UH2. 90% dari Pr dirouting oleh unit hidrograf UH1 dan sisanya di *routing* dengan UH2. Koefisien ini bukanlah angka yang tidak bisa dirubah, menurut penelitian yang telah dilakukan Edijatno pada 144 das yang terdapat di Prancis memperlihatkan kerja model yang optimal dengan koefisien tersebut. UH1 didefinisikan berdasarkan waktu, t sebagai berikut:

$$t \leq 0, SH1(t) = 0 \quad (9)$$

$$0 < t < X_4, SH1(t) = \left(\frac{t}{X_4}\right)^{0.125} \quad (10)$$

$$\text{untuk } t \geq X_4, SH1(t) = 1 \quad (11)$$

Seperti SH1, SH2 dicari sebagai berikut:

$$\text{Untuk } t \leq 0, SH2(t) = 0 \quad (12)$$

$$\text{Untuk } 0 < t < X_4, SH2(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{t}{X_4}\right)^{\frac{5}{2}} \quad (13)$$

$$\text{Untuk } 0 < t < 2X_4, SH2(t) = 1 - \frac{1}{2} \left(2 - \frac{t}{X_4}\right)^{\frac{5}{2}} \quad (14)$$

$$\text{untuk } t \geq 2X_4, SH2(t) = 1 \quad (15)$$

UH1 dan UH2 dirumuskan sebagai berikut

$$UH1 = SH1_j - SH1_{j-1} \quad (16)$$

$$UH2 = SH2_j - SH2_{j-1} \quad (17)$$

Perubahan groundwater, F dirumuskan sebagai berikut:

$$F = X_2 \left(\frac{R}{X_2}\right)^{7/2} \quad (18)$$

Dimana R adalah ketinggian dari routing store, dengan catatan R tidak pernah melebihi X3, ketinggian routing store berubah seiring bertambahnya Q₉ dari UH1 dan F, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R_0 = \max(0; R + Q_9 + F) \quad (19)$$

Debit Q_r dari tampungan dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_r = R \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{R}{X_3}\right)^4 \right]^{-\frac{1}{4}} \right\} \quad (20)$$

Dimana Q_r selalu lebih rendah dari R. Ketinggian tampungan kemudian dapat dihitung dengan persamaan:

$$R = R + Q_r \quad (21)$$

Air yang berasal dari routing (penelusuran) disebut Q_d dan dihitung dengan persamaan:

$$Q_d = \max(0; Q_1 + F) \quad (22)$$

Debit total, Q bisa dihitung dengan persamaan :

$$Q = Q_r + Q_d \quad (23)$$

2.2 Kalibrasi Model

Kalibrasi dari model GR4J merupakan suatu proses dalam mengoptimalkan atau secara sistematis menyesuaikan nilai parameter model untuk mendapatkan satu set parameter yang memberikan estimasi terbaik dari debit sungai yang akan diamati.

Untuk menentukan keandalan model adalah R^2 dan R . indikator statistik tersebut dirasa cukup dalam mengevaluasi kinerja model dalam hal membandingkan antara hasil model dengan data yang diamati. Nilai optimal untuk R^2 mendekati satu dan bias mendekati nol.

Dalam menghitung penyimpangan yang terjadi menggunakan metode *Nash-Sutcliffe Coefficient* (R^2)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{Si} - Q_{Mi})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{Mi} - Q_m)^2} \times 100\% \quad (24)$$

Dengan :

R^2 = Koefisien *Nash-Sutcliffe*

Q_{Si} = Nilai Simulasi Model

Q_{Mi} = Nilai observasi

Q_m = Rata-rata nilai observasi

N = Jumlah data

R^2 memiliki beberapa kriteria seperti yang diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel. 1 Kriteria Nilai Nash-Sutcliffe *Efficiency* (R^2) GR4J

Nilai R^2	Interpretasi
$R^2 > 0,75$	Baik
$0,36 < R^2 < 0,75$	Memuaskan
$R^2 < 0,36$	Tidak memuaskan

Sumber : Motovilov, dkk (1999)

Koefisien korelasi menunjukkan kekuatan (*strength*) hubungan linear dan arah hubungan dua variable acak. Untuk memudahkan melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variable dibuat kriteria sebagai berikut.

Tabel. 2 Kriteria Nilai koefisien korelasi (R)

Nilai Koefisien Korelasi (R)	Interpretasi
0	Tidak ada Korelasi
0 – 0,25	Sangat Lemah
0,25 – 0,5	Sedang
0,5 – 0,75	Kuat
0,75 – 0,99	Sangat Kuat
1	Korelasi Sempurna

2.3 Verifikasi Model

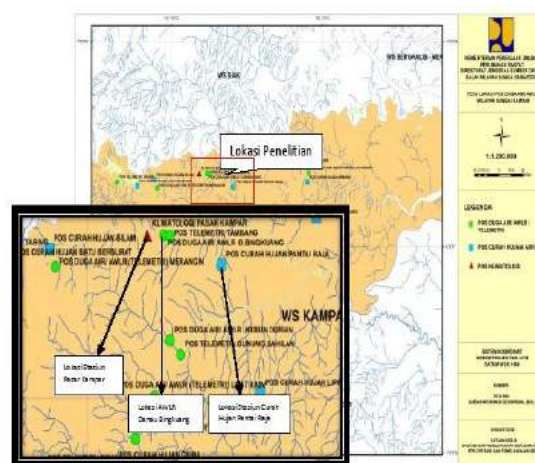
Verifikasi model menurut Pechlivanidis, et al (2011) merupakan suatu proses setelah tahap kalibrasi selesai dilakukan yang berfungsi untuk menguji kinerja model pada data diluar periode kalibrasi. Kinerja model biasanya lebih baik selama periode kalibrasi dibanding verifikasi, fenomena seperti ini disebut dengan divergensi model. Ketika tingkat divergensi tidak dapat diterima, maka pemodel harus memeriksa struktur model dan prosedur kalibrasi yang sesuai ataupun asumsi yang pantas merevisinya.

2.4 Simulasi Model

Merupakan proses terakhir setelah proses kalibrasi dan verifikasi dilaksanakan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian dilakukan pada aliran Kampar kanan. Daerah studi pada stasiun AWLR Danau Binguang yaitu seluas 3958 km². Daerah studi mencakup satu stasiun pencatat hujan yaitu stasiun pantai raja, dan stasiun klimatologi yaitu stasiun pasar kampar



Gambar 2. Peta lokasi Penelitian

3.1 Pengumpulan Data

Data Sekunder yang digunakan dalam penelitian ini mulai dari Tahun 2010 hingga Tahun 2015. Berikut adalah data-data yang digunakan:

a. Data curah hujan

Data curah hujan berupa data curah hujan harian biasa diperoleh dari stasiun Pantai Raja kecamatan kampar mulai dari Tahun 2010 hingga Tahun 2015. Letak geografi stasiun koordinat : 0° 17' 33" LU/ 101° 24'30"BT dengan ketinggian dari permukaan laut 20 m. Data curah hujan diperoleh dari Badan Wilayah Sungai III Pekanbaru.

b. Data Klimatologi

Data klimatologi diperoleh dari Stasiun Pasar Kampar yaitu pada Tahun 2010 hingga Tahun 2015. Letak Geografi stasiun Pasar Kampar 0° 21' 28" LU / 101° 11' 00"BT dengan ketinggian dari permukaan laut 50 m. Data klimatologi yang dibutuhkan adalah suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, tekanan udara, total lapisan awan dan lama penyinaran matahari yang diperoleh dari Badan Wilayah Sungai III Pekanbaru .

c. Data Debit DAS Kampar kanan

Data Debit Sungai/AWLR dari stasiun Danau Bingkuang yaitu pada Tahun 2010 hingga Tahun 2015. Letak Geografis 00° 22' 23" LS 101° 13' 31" BT. Data Debit diperoleh dari Badan Wilayah Sungai III Pekanbaru.

3.2 Analisis Penelitian

Tahapan analisis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

Berikut analisa penelitian yang dilakukan:

1. Mempersiapkan data – data yang dibutuhkan seperti data curah hujan, data temperatur, data debit serta luas DAS.
2. Melakukan uji konsistensi data hujan dan data debit. Uji konsistensi dilakukan dengan metode RAPS.
3. Menentukan evapotranspirasi dengan *Cropwhat* 8.0.
4. Melakukan input parameter X_1 , X_2 , X_3 , dan X_4 pada model GR4J dengan cara coba-coba (*solver*) untuk selanjutnya dilakukan proses tahap kalibrasi menggunakan *Microsoft excel*.
5. Setelah kalibrasi kemudian lakukan verifikasi (konfigurasi panjang tahun) menggunakan *Microsoft excel*. Verifikasi, yaitu suatu proses untuk menguji kinerja

model pada data diluar periode kalibrasi. Proses verifikasi dilakukan dengan menggunakan variabel dan parameter yang memberikan nilai R^2 yang tertinggi dalam tahap kalibrasi untuk masing – masing skema. Percobaan verifikasi dilakukan setelah tahun pada kalibrasi. Selanjutnya hasil verifikasi masing – masing skema dihitung nilai R^2 dan R.

6. Simulasi, yaitu proses terakhir setelah proses kalibrasi dan verifikasi dilaksanakan.
7. Menentukan Debit Andalan pada DAS Kampar.
8. Memberikan kesimpulan dan saran.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permodelan GR4J ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Excell* 2010. Penentuan nilai setiap parameter dengan menggunakan bantuan *Solver* untuk mendapatkan nilai parameter yang optimum tanpa batasan parameter dengan nilai R^2 yang maksimum. Hasil dari *solver* untuk parameter X1 sampai parameter X4 dapat dilihat dalam tabel pada Tabel 3.

Tabel. 3 Nilai Optimal dari parameter GR4J

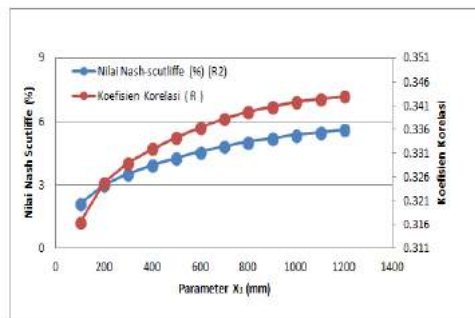
Koefisien Parameter		(R ²)%	R
X1	7,00	5,487	0,342
X2	2,00		
X3	2,00		
X4	3,00		

4.1 Hasil Analisis

Setelah melakukan solver, maka parameter akan berubah dan nilai R2 akan menunjukkan angka paling tinggi tetapi masih menunjukkan nilai yang belum baik sehingga harus melakukan perubahan dengan mencoba nilai diluar batasan parameter. Batasan parameter X1 adalah $\ln(1200) \leq X1 \leq \ln(100)$ dengan nilai $7.09 \leq X1 \leq 4.6$, batasan parameter X2 adalah $\operatorname{asinh}(-5) \leq X1 \leq \operatorname{asinh}(3)$ dengan nilai $1.81 \leq X1 \leq -2.31$, batasan parameter X3 adalah $\ln(20) \leq X1 \leq \ln(300)$ dengan nilai $5.70 \leq X1 \leq 2.99$.

4.2 Tahap Percobaan untuk Parameter X1

Percobaan menggunakan parameter X1 yaitu Kapasitas maksimum dari *production store* (mm). Percobaan dapat dilihat pada gambar 3 grafik perilaku parameter X1 berikut.

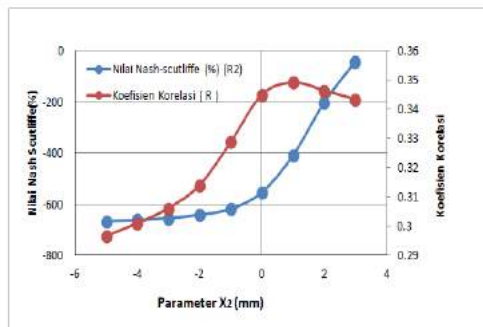


Gambar 3. Grafik Perilaku Parameter X1

Nilai R^2 cenderung mengalami kenaikan di batas atas dan batas bawah dari parameter X1, ini menunjukkan bahwa nilai nash cenderung meningkat pada kapasitas tampungan disurface yang tinggi, Kapasistas ini tergantung dari jenis tanah dan kelembapan tanah, hal ini dipengaruhi oleh besarnya curah hujan dan evapotranspirasi. Angka kapasitas tampungan yang tinggi menunjukkan bahwa jenis tanah pada Das kampar memiliki porositas yang cukup rendah.

4.3 Tahap Percobaan untuk Parameter X2

Percobaan menggunakan parameter X2 yaitu Koefisien perubahan groundwater (mm). Percobaan dapat dilihat pada Gambar 4 Grafik prilaku parameter X2 berikut.

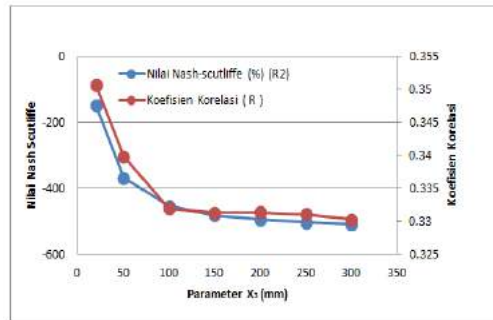


Gambar 4. Grafik Perilaku Parameter X2

Nilai R^2 cenderung mengalami kenaikan pada batas atas dari parameter X2, ini menunjukkan bahwa air yang terdapat pada lapisan tanah, akan masuk ke *aquifer*. DAS Kampar memberikan konstriusi pada besarnya air yang terdapat pada tampungan (storage).

4.4 Tahap Percobaan untuk Parameter X3

Percobaan menggunakan parameter X3 yaitu Kapasitas maksimum routing store (mm). Percobaan dapat dilihat pada Gambar 5 Grafik prilaku parameter X3 berikut.

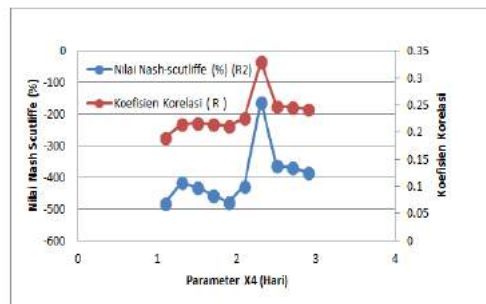


Gambar 5. Grafik Perilaku Parameter X3

Nilai R^2 cenderung mengalami penurunan pada batas bawah dari parameter X3, ini menunjukkan bahwa DAS Kampar memiliki *routing storage* yang besar, karena pori-pori tanah yang cukup gembur. Kapasitas maksimum *routing storage* ini ditentukan oleh 90% dari total *runoff* yang terjadi pada aliran lambat, sehingga besarnya tampungan dari *runoff* yang masuk kedalam tanah ditentukan oleh jenis tanah.

4.5 Tahap Percobaan untuk Parameter X4

Percobaan menggunakan parameter X4 yaitu Waktu saat debit puncak unit hidrograf UH1 (hari). Percobaan dapat dilihat pada Gambar 6 Grafik perilaku parameter X4 berikut.



Gambar 6. Grafik Perilaku Parameter X4

4.6 Konfigurasi Panjang Data

Data yang tersedia pada penelitian ini selama 6 tahun (2010-2015), oleh sebab itu percobaan kalibrasi selalu dimulai dari tahun 2010, dan verifikasi menyesuaikan tahun setelah kalibrasi dan simulasi dimulai dari tahun 2010. Untuk mempermudah membedakan percobaan, maka percobaan dilakukan dengan beberapa skema. Skema tersebut dapat dilihat pada Tabel. 4 di bawah ini.

Tabel. 4 Skema dari Kalibrasi ,Verifikasi dan simulasi GR4J

Ske ma	Kalibrasi (Tahun)	Verifikas i (Tahun)	Simula si (Tahun)
1	2010	2011- 2015	2010- 2015
2	2010- 2011	2012- 2015	2010- 2015
3	2010- 2012	2013- 2015	2010- 2015
4	2010- 2013	2014- 2015	2010- 2015
5	2010- 2014	2015	2010- 2015

4.7 Analisis Kalibrasi , Verifikasi dan Simulasi GR4J dan IHACRES

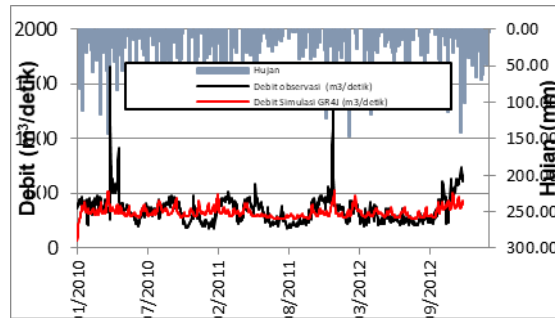
Data yang tersedia selama 6 tahun(2010-2015), Untuk mempermudah membedakan percobaan, maka percobaan akan dilakukan dengan 5 skema, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5. berikut.

Tabel 5. Analisis Percobaan Kalibrasi,Verifikasi dan simulasi GR4J

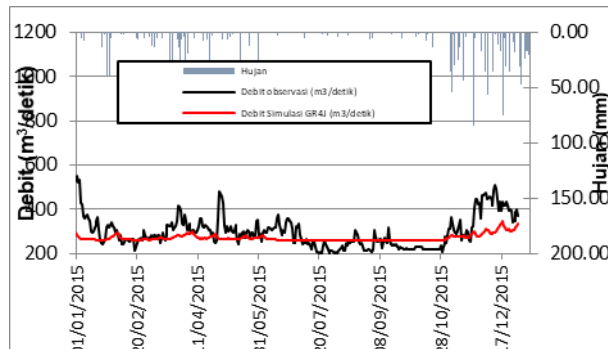
Skema	Kalibrasi (Tahun)	Verifikasi (Tahun)	Simulasi (Tahun)	R ² (%) Kalibrasi	R ² (%) Verifikasi	R ² (%) Simulasi	R Kalibrasi	R Verifikasi	R Simulasi
1	2010	2011-2015	2010-2015	-9,656	5,487	1,612	0,162	0,342	0,324
2	2010-2011	2012-2015	2010-2015	5,068	3,301	1,612	0,329	0,310	0,324
3	2010-2012	2013-2015	2010-2015	14,524	3,445	1,612	0,421	0,342	0,324
4	2010-2013	2014-2015	2010-2015	1,279	-215,74	1,612	0,297	0,110	0,324
5	2010-2014	2015	2010-2015	1,325	8,374	1,612	0,278	0,643	0,324

Sumber: Hasil Perhitungan (2019).

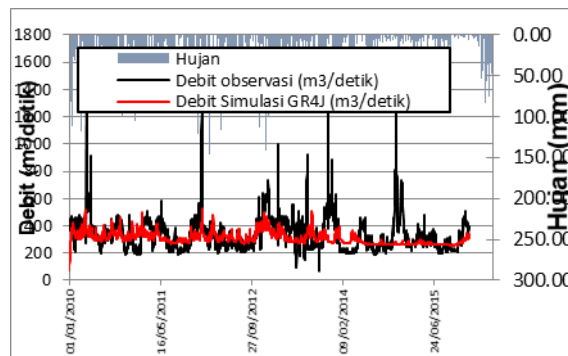
yang memberikan estimasi terbaik dalam memodelkan hujan aliran di stasiun Danau Bingkuang pada tahap kalibrasi bahwa nilai R² tertinggi pada tahap kalibrasi terletak pada skema 3 dengan nilai R² 14,524 % dan nilai R tertinggi pada skema 3 dengan nilai R 0,421 dapat dilihat pada Gambar 7. Pada tahap verifikasi nilai R² tertinggi terletak pada Skema 5 dengan nilai R² 8,374 %, sementara nilai R nilai R 0,643 dapat dilihat pada Gambar 8. sedangkan Pada tahap simulasi nilai R² dengan nilai 1,612 % dan R dengan nilai 0,324 dapat dilihat pada Gambar 9. Hasil Menunjukkan bahwa nilai R² memenuhi dengan kategori memuaskan ($0,36 < R^2 < 0,75$) dan nilai R dengan kategori sedang ($0,25 - 0,5$).



Gambar 7. Grafik Hidrograf Hasil Kalibrasi Skema 3 Menggunakan Model GR4J



Gambar 8. Grafik Hidrograf Hasil Verifikasi Skema 5 Menggunakan Model GR4J



Gambar 9. Grafik Hidrograf Hasil Simulasi Menggunakan Model GR4J

4.8 Analisa Ketersediaan Air

Analisa ketersediaan air di sungai Kampar kanan dilakukan dengan menganalisis debit andalan dari sungai. Debit andalan adalah debit minimum sungai untuk kemungkinan terpenuhi yang sudah ditentukan yang dapat dipakai untuk irigasi, pembangkit listrik dan air minum .

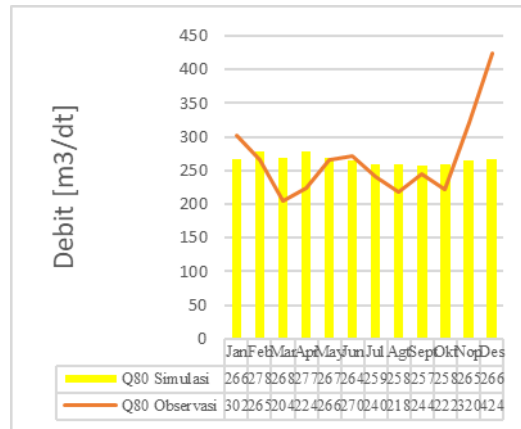
Tingkat keandalan debit dapat terjadi berdasarkan probabilitas kejadian, mengikuti rumus weibull (sri Harto, 1993) sebagai berikut:

$$P\% = \frac{m_2}{n_2 + 1} \times 100\%$$

P% = Probabilitas %

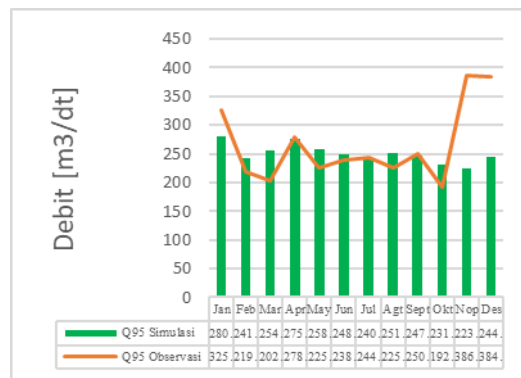
m₂ = Nomor Urut Data

n₂ = Jumlah Data



Gambar 10. Grafik Distribusi Debit Andalan 80%

Pada Gambar 10. Grafik debit andalan untuk keperluan irigasi dengan probabilitas 80% debit maksimum simulasi terjadi pada bulan Februari sebesar 278,2 m³/detik dan debit maksimum observasi terjadi pada bulan Desember sebesar 424,9 m³/detik sedangkan debit andalan minimum simulasi terjadi pada bulan September sebesar 257 m³/detik dan debit minimum observasi terjadi pada bulan Maret sebesar 204 m³/detik.



Gambar 11. Grafik Distribusi Debit Andalan 95%

Pada Gambar 11. debit andalan untuk ketersediaan air pembangkit Listrik dengan probabilitas 95% debit maksimum simulasi terjadi pada bulan Januari sebesar 280,9 m³/detik dan debit maksimum observasi terjadi pada bulan November sebesar 386,3 m³/detik sedangkan debit andalan minimum simulasi terjadi pada bulan November

sebesar 223,9 m³/detik dan debit andalan observasi minimum terjadi pada bulan Oktober sebesar 192 m³/detik. Secara keseluruhan ketersediaan air di lokasi DAS Kampar tersedia sepanjang tahun.

5. KESIMPULAN

Hasil dari Analisis Efektivitas Konseptual model GR4J untuk ketersediaan air di DAS Kampar (Sub DAS Kampar Kanan) menyatakan pada tahap kalibrasi model GR4J nilai tertinggi berdasarkan nilai R² dan R yang ditampilkan dari pemodelan terletak pada skema 3 dengan nilai R² 14.524 % dan nilai R tertinggi dengan nilai R 0.421. Selanjutnya yaitu tahap verifikasi GR4J nilai tertinggi R² dan R terletak pada Skema 5 dengan nilai R² 8.347 % dan nilai R 0.643. Tahap terakhir yaitu tahap simulasi model GR4J nilai tertinggi R² 1.612 % dan nilai R 0.324.

Ketersediaan air pada DAS Kampar Kanan berdasarkan analisis untuk keperluan irigasi dengan probabilitas 80% debit maksimum terjadi pada bulan Februari sebesar 278,2 m³/detik dan debit andalan minimum terjadi pada bulan September sebesar 257 m³/detik. Sedangkan Ketersediaan air untuk pembangkit Listrik dengan probabilitas 95% debit maksimum terjadi pada bulan Januari sebesar 280,9 m³/detik sedangkan debit andalan minimum terjadi pada bulan November sebesar 223,9 m³/detik.

Dalam Penelitian ini sebaiknya lebih berhati-hati dalam proses kalibrasi pada saat penentuan durasi *warm up* yang memberikan nilai R² dan R optimal untuk masing-masing skema dan dilakukan penelitian berkelanjutan dalam hal regional parameter model khususnya di DAS Kampar.

6. DARTAR PUSTAKA

- [1] Allen, R. G., Peireira, L., S., aes, D., Smith, M. 1998. Crop evaporation guidelines for computing crop water requirements Rome : Food and Agricultur organization. FAO Irrigation and drainage paper 56.
- [2] Alban de Lavenne, DKK. 2016. *Spatial variability of the parameters of a distributed hydrological model*. Hydrosystems and Bioprocesses Reserch Unit (HBAN)
- [3] Brotwiryatmo, S., H. 1993. *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- [4] Harlan, Dhemi, dkk. 2009. *Penentuan Debit Harian Menggunakan Pemodelan Rainfal Runoff GR4J Untuk Analisa Unit Hidrograf Pada DAS Citarum Hulu*. Jurnal Teknik Sipil ITB.
- [5] Indarto. 2010. *Hidrologi Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. BumiAskara. Jakarta.
- [6] Motovilov, Y.G., Gottschalk, L., Engeland, K. & Rodhe, A. 1999. *Validation of a Distributed Hydrological Model Against Spatial Observations*. Elsevier Agricultural and Forest Meteorology. 98 : 257-277.

- [7] Sri Harto Br., 1993. *Analisa Hidrologi*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- [8] Triadmojo, Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- [9] Tovani, Ega., 2014. *Analisis Efektivitas Model GR4J Guna Pengalihragamaan Hujan Menjadi Debit (Studi Kasus : DAS Siak Hulu)*. Skripsi S-1. Program Studi Teknik Sipil . Universitas Riau. Pekanbaru

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada para pembimbing telah membantu dalam menyempurnakan penelitian ini, kepada pada BWSS III saya ucapkan terimakasih juga atas pemberian data-data untuk melengkapi penelitian ini dan kepada keluarga serta rekan seperjuangan FT. Teknik Pascasarjana.

KOMPARASI MODEL PERAMALAN DEBIT SUNGAI MENGUNAKAN ANN, WAVELET- ANN UNTUK MENDUKUNG SISTEM DETEKSI DINI BANJIR DI SUNGAI SIAK

Imam Suprayogi¹, Joleha², Manyuk Fauzi³, Alfian⁴, Suprasman⁵

1,2,3,4,5 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Riau, Pekanbaru.

Email: drisuprayogi@yahoo.com

ABSTRACT

The main objective of the research is to conduct water balance analysis on the Batang Samo Barrage for the fishery needs of Rokan Hulu Regency for the projected year 2026. **The method of approach on this research** uses water balance and a model of rainfall runoff Rational methods. Data required is pond area data from the Farm and Fisheries Office of Rokan Hulu District, contour map, rainfall data of the Rambah Samo Station 2005-2014 from BWS III Sumatera, climatology data from the Rambah Utama station of the year 2005-2014, map watershed. **The main results of the research** proved that Batang Samo Barrage existing data year 2016 has a dependable of 0.115 m³/dt to supply the water demand for fisheries sector. The impact of the addition of Fish pond in the community in the year 2025 is predicted to result in a decrease in water availability in Barrages so that the efforts are made by building an area of 4 ha capacity of 80,000 m³ are expected to supply water for four months. Furthermore, lack of water for a duration of time eight months solved by optimizing watershed in Barrage the discharge range between 1.293 – 2,657 m³/s so as to adequately availability of water fisheries sector in District of Rokan Hulu for the next ten years.

Keywords: water balance, barrage, dependable flow, pond, fishery sector

ABSTRAK

Peramalan aliran sungai dalam suatu proses hidrologis memiliki peran yang strategis untuk dapat menghasilkan manajemen, perencanaan, dan penggunaan sumber daya air secara akurat dan berkelanjutan. Upaya merealisasikan suatu analisis proses hidrologi yang didiskripsikan di atas, dibutuhkan model yang merupakan penyederhanaan fenomena alam yang sesungguhnya. **Tujuan utama penelitian** adalah mengembangkan model hidrologi runtun waktu untuk kebutuhan peramalan debit sungai sehingga diperoleh informasi yang akurat untuk dapat dijadikan sebagai pengamatan dalam beberapa waktu ke depan di suatu penampang sungai. **Metode pendekatan** yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan komponen softcomputing Artificial Neural Network (ANN) dan gabungan model antara Transformasi Wavelet – Artificial Neural Network (W-ANN). Data pendukung penelitian diperoleh dari pencatatan AWLR Stasiun Pantai Cermin dari tahun 2002–2012 yang berupa *stage hydrograph* untuk ditransformasikan menjadi *discharge hydrograph* menggunakan persamaan *rating curve* yang telah dibuat oleh BWS III Sumatera. **Hasil utama penelitian membuktikan** bahwa model W – ANN untuk kebutuhan peramalan debit sungai satu hari ke depan (t + 1) di Sungai Siak menggunakan software MATLAB 7.0 menghasilkan nilai koefisien korelasi 0.951 yang lebih tinggi bila dibandingkan ANN sebesar 0.948, meskipun kedua model ANN dan Wavelet - ANN memiliki derajat hubungan sangat kuat $0.75 < R < 0.99$.

Kata kunci : model, peramalan, debit sungai, Softcomputing, ANN, Wavelet - ANN

1. PENDAHULUAN

Sungai Siak merupakan salah satu sungai besar yang mendapatkan perhatian secara Nasional, karena sungai tersebut memiliki fungsi dan peranan yang sangat vital dalam perkembangan wilayah dan ekonomi baik secara lokal, regional maupun nasional. Sungai Siak adalah salah satu sungai yang secara keseluruhan dari hulu hingga hilirnya berada di wilayah Provinsi Riau yang melewati beberapa Kabupaten/Kota, yaitu Kabupaten Rokan Hulu, Kabupaten Kampar, Kota Pekanbaru, Kabupaten Bengkalis dan Kabupaten Siak (**Sudiana dkk, 2007**). Masih dikatakan oleh **Sudiana dkk (2007)** berdasarkan kondisi fisik tersebut Sungai Siak memiliki manfaat yang sangat besar bagi semua pihak yaitu sumber air domestik bagi masyarakat di sepanjang Sungai Siak, sumber air baku (*intake*) bagi PDAM Kota Pekanbaru, sumber air baku untuk industri, sumber mata pencaharian bagi nelayan di sepanjang Sungai Siak dan sarana transportasi.

Bersumber dari Paparan Menteri Pekerjaan Umum pada acara Seminar Penyelamatan dan Pelestarian Daerah Aliran Sungai (DAS) Siak di Pekanbaru 6 Agustus 2005 bahwa DAS Siak termasuk DAS kritis, kawasan rawan bencana banjir dan longsor, terjadi berbagai pencemaran, erosi dan sedimentasi. Kejadian banjir di Provinsi Riau akibat meluapnya Sungai Siak dan anak-anak sungainya merupakan indikator adanya perubahan ekosistem pada DAS tersebut. Perubahan ekosistem tersebut disebabkan oleh wilayah dalam DAS Siak merupakan daerah yang potensial berkembang bagi kegiatan sosial ekonomi masyarakat.

Masih bersumber dari Paparan Menteri Pekerjaan Umum yang mengacu hasil penelitian yang dilakukan oleh Tim Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta bahwa Sungai Siak memiliki kedalaman 20-29 meter merupakan sungai terdalam di Indonesia, namun saat ini terjadi penumpukan sedimen di dasar sungai yang telah mencapai ketinggian 8 meter atau sepertiga dari kedalaman sungai. Hal ini mengindikasikan adanya erosi yang cukup besar di bagian hulu sungai. Adanya sedimen dapat mengganggu pelayaran terutama saat muka air surut di musim kemarau. Di lain pihak, dalam musim hujan dapat terjadi bahaya banjir karena berkurangnya kapasitas sungai dalam menampung aliran air.

Peramalan aliran sungai dalam suatu proses hidrologis memiliki peran yang penting agar dapat menghasilkan manajemen, perencanaan, dan penggunaan sumber daya air secara akurat dan berkelanjutan. Untuk keperluan analisa hidrologi diperlukan data hidrologi yang panjang, tetapi sering dijumpai data yang tersedia tidak lengkap atau bahkan tidak ada sama sekali. Sesuai dengan karakteristik fenomena hidrologi suatu daerah pengaliran sungai, aliran sungai berubah-ubah tidak beraturan, oleh karena itu sukar untuk meramalkan besarnya debit yang melintasi penampang sungai secara pasti pada suatu saat tertentu. Untuk mendekati fenomena tersebut maka perlu dikembangkan suatu analisa sistem hidrologi dengan menggunakan model yang

merupakan penyederhanaan kenyataan alam yang sebenarnya (**Hadihardaja, dkk, 2005**).

Banyak fenomena keteknikan dan alam yang sulit dan rumit, yang perlu didekati (diprediksi) dengan model fisik dan/atau model matematik, sehingga dalam kesehariannya para ilmuwan akan selalu bergelut dengan pemodelan. Dalam pemodelan, tentu mengandung ketidaksamaan atau kesalahan. Kesalahan tersebut mungkin dikarenakan skemanya, asumsi-asumsi, ataupun karena faktor manusianya (**Pratikto, 1999**). Kesalahan merupakan bentuk ketidakberdayaan ilmuwan atas ketidakmampuannya dalam menerangkan seluruh fakta yang diperoleh merangkai dalam sebuah model. Tugas utama ilmuwan adalah bagaimana menerangkan suatu fakta/fenomena suatu model sedemikian hingga akan mempunyai kesalahan sekecil-kecilnya (**Iriawan, 2005**).

Pada dekade terakhir ini, model *softcomputing* sebagai cabang dari ilmu kecerdasan buatan diperkenalkan sebagai alat peramalan seperti sistem berbasis pengetahuan, sistem pakar, logika *fuzzy*, *artificial neural network* (ANN) dan algoritma genetika. Dasar pemilihan model *softcomputing* sebagai *tool* dalam pemodelan sistem, pemodelan *softcomputing* sangat menguntungkan bekerja pada sistem tak linier yang cukup sulit model matematikanya, serta fleksibilitas parameter yang dipakai yang biasa merupakan kendala pada *tool* yang lain. (**Purnomo, 2005**).

Sebelum dilakukan proses peramalan menggunakan ANN, diduga bahwa data mentah runtun waktu (*time series*) mempunyai pola-pola tersembunyi yang dipengaruhi oleh variabel waktu, misalnya pola *trend*, musiman, siklus atau random. Pola-pola ini dapat menjadi masukan tambahan bagi ANN, sehingga diharapkan kemampuan ANN untuk melakukan proses peramalan dapat meningkat (**Yustanti, 2005**).

Metode gabungan Transformasi Wavelet dan komponen *softcomputing* ANN telah diaplikasikan untuk memprediksi debit aliran di Sungai Lou, Kota Shanwey, Provinsi Guangdong, China. Hasil penelitian membuktikan bahwa metode pendekatan Transformasi Wavelet - ANN terbukti menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik dalam memprediksi debit aliran bila dibandingkan metode ANN yang diukur menggunakan kriteria uji parameter statistik koefisien korelasi (R) dan koefisien efisiensi (CE) (**Ju, dkk, 2008**). Penelitian sejenis juga telah dilakukan dengan mengaplikasikan metode gabungan antara Wavelet - ANN untuk memprediksi debit aliran di Sungai Brahmaputra, India. Hasil penelitian membuktikan bahwa metode pendekatan Transformasi Wavelet - ANN menghasilkan tingkat akurasi yang akurat guna memprediksi debit aliran untuk empat hari ke depan (Qt+4) menggunakan kriteria uji parameter statistik koefisien korelasi (R) dan koefisien efisiensi (CE) (**Dadu, dkk, 2013**).

Merujuk keberhasilan penelitian terdahulu terkait penerapan cabang Artificial Intelligence dalam rekayasa sumberdaya air dengan upaya menggabungkan metode transformasi wavelet untuk proses filtering data dan model *softcomputing* yang komponennya seperti ANN yang memiliki keunggulan spesifik (generik) pengenalan pola data, maka tujuan utama penelitian adalah mengembangkan varian model hidrologi

runtun waktu untuk peramalan debit sungai beberapa waktu ke depan di suatu penampang sungai sebagai salah satu input data penting untuk membangun Sistem Deteksi Dini Banjir di Sungai Siak.

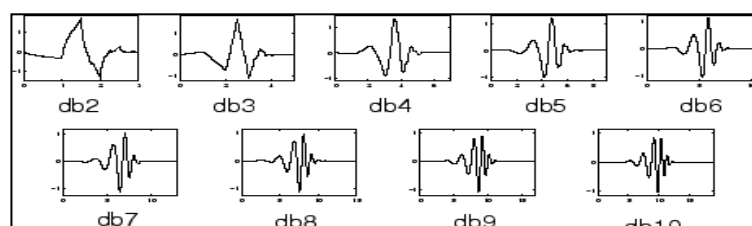
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Transformasi Wavelet

Algoritma pembelajaran dengan ANN tidak dilakukan modifikasi sehingga prosedur yang digunakan untuk pelatihan dan peramalan menggunakan algoritma yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya. Sedangkan untuk pra-proses dengan menggunakan metode transformasi wavelet, dilakukan modifikasi yaitu proses dekomposisi dan rekonstruksi dilakukan sebelum proses peramalan, asumsi yang digunakan adalah bahwa data yang akan dipelajari dalam arsitektur ANN yang telah ditentukan merupakan data yang sudah dihilangkan *noise*-nya, bukan koefisien waveletnya. Algoritma dekomposisi dapat dilihat sebagai berikut :

1. Pilih fungsi wavelet.
2. Masukkan level dekomposisi (j)
3. IF $\text{mod}(N/2^j) = 0$ THEN langkah 4 ELSE ulangi langkah 2
4. Menghitung nilai koefisien wavelet yaitu koefisien Aproksimasi (A) dan koefisien Detail (D)
5. Plot nilai koefisien wavelet (cA dan cD) yang diperoleh untuk mengetahui kesesuaian pola datanya terhadap data asli.

Proses penghilangan *noise* (*denoised*) dapat dilakukan dengan cara menggunakan nilai *threshol*d tertentu untuk melakukan filter terhadap data koefisien detail (*high-pass component*) kemudian direkonstruksi kembali menjadi bentuk awal, atau rekonstruksi dilakukan hanya dari koefisien aproksimasi saja, komponen detail tidak diikuti dalam proses rekonstruksi. Sebelum dilakukan proses peramalan data runtun waktu debit aliran sungai sebagai input model ANN terlebih dahulu dilakukan proses penyaringan data menggunakan Metode Transformasi Wavelet. Transformasi Wavelet Diskrit memiliki keluarga diantaranya adalah Haar, Daubechies, Symlets, Coiflets. Wavelet Daubechies merupakan salah satu jenis Transformasi Wavelet Diskrit yang paling terkenal dan banyak dipergunakan dalam bidang citra digital, audio, kelistrikan dan hal-hal lain yang berhubungan dengan penggunaan sinyal. Wavelet Daubechies merupakan penyempurnaan dari Wavelet Haar yang memiliki panjang Wavelet dua kali dari ordenya ($2N$). Wavelet Daubechies disingkat dengan *db* diikuti dengan jumlah ordenya, misalnya *db5* untuk wavelet daubechies yang mempunyai orde 5. Dalam setiap orde, wavelet daubechies memiliki level dalam tingkatan dekomposisinya. Angka level dari wavelet daubechies menunjukkan berapa kali sinyal akan melakukan proses dekomposisi.



Sumber : Rajae, dkk (2010)

Gambar 1. Fungsi Wavelet Daubechies Berdasarkan Orde-nya

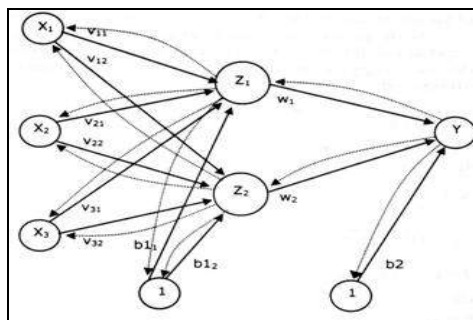
2.2 Model ANN

Seperti halnya otak manusia, jaringan syaraf juga terdiri dari beberapa *neuron*, ada hubungan *neuron-neuron* tersebut. *Neuron-neuron* akan mentransformasikan informasi yang diterima melalui sambungan keluarnya menuju ke *neuron-neuron* yang lain. Pada jaringan syaraf hubungan ini dikenal dengan nama bobot. Informasi tersebut disimpan pada suatu nilai tertentu pada bobot tersebut (**Camelio dkk. 2013**).

Selanjutnya pada jaringan syaraf, *neuron-neuron* akan dikumpulkan dalam lapisan-lapisan (*layer*) yang disebut dengan lapisan *neuron* (*neuron layers*). Biasanya *neuron-neuron* pada suatu lapisan akan dihubungkan dengan lapisan-lapisan sebelum dan sesudahnya (kecuali lapisan *input* dan lapisan *output*). Informasi yang diberikan pada jaringan syaraf akan dirambatkan lapisan ke lapisan, mulai dari lapisan input sampai ke lapisan output melalui lapisan yang lainnya, yang sering dikenal dengan dengan nama lapisan tersembunyi (*hidden layer*). Tergantung pada algoritma pembelajarannya, bisa jadi informasi tersebut akan dirambatkan secara mundur pada jaringan.

2.3 Algoritma Pembelajaran Backpropagation

Backpropagation adalah algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh perceptron dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron-neuron yang ada pada lapisan tersembunyinya. Algoritma backpropagation menggunakan *error output* untuk mengubah nilai-nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur (*backward propagation*). Untuk mendapatkan *error* ini, tahap perambatan maju (*upward propagation*) harus dikerjakan terlebih dahulu. Pada saat perambatan maju, neuron-neuron diaktifkan dengan menggunakan fungsi aktivasi (**Fausset. 1996**). Selanjutnya arsitektur jaringan backpropagation dapat dilihat seperti pada Gambar 2 di bawah ini.



Sumber : Fausset (1996)

Gambar 2. Arsitektur Jaringan Backpropagation

Ada tiga fase Pelatihan backpropagation, untuk fase pertama, yaitu propagasi maju. Dalam propagasi maju, setiap sinyal masukan dipropagasi (dihitung maju) ke layar tersembunyi hingga layar keluaran dengan menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Fase kedua, yaitu propagasi mundur. Kesalahan (selisih antara keluaran jaringan dengan target yang diinginkan) yang terjadi dipropagasi mundur mulai dari garis yang berhubungan langsung dengan unit-unit di layar keluaran. Fase ketiga, yaitu perubahan bobot. Pada fase ini dilakukan modifikasi bobot untuk menurunkan kesalahan yang terjadi. Ketiga fase tersebut diulang-ulang terus hingga kondisi penghentian dipenuhi (**Fausset, 1996**).

Algoritma pelatihan untuk jaringan dengan satu layar tersembunyi dengan fungsi aktivasi sigmoid biner adalah sebagai berikut :

- Langkah 0 : Inisialisasi semua bobot dengan bilangan acak kecil
- Langkah 1 : Jika kondisi penghentian belum terpenuhi, lakukan langkah 2-9
- Langkah 2 : Untuk setiap pasang data pelatihan lakukan langkah 3-8

Fase I : Propagasi maju

- Langkah 3 : Tiap unit masukan menerima sinyal dan meneruskannya ke unit tersembunyi di atasnya
- Langkah 4: Hitung semua keluaran di unit tersembunyi z_j ($j = 1, \dots, p$)

$$z_net_j = v_{j0} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ji}$$

- Langkah 5 : Hitung semua keluaran jaringan di unit y_k ($k = 1, 2, \dots, m$)

$$y_net_k = w_{k0} + \sum_{i=1}^n z_i w_{ki}$$

$$y_k = f(y_net_k) = \frac{1}{1 + e^{-y_net_k}}$$

Fase II : Propagasi mundur

- Langkah 6 : Hitung faktor unit keluaran berdasarkan kesalahan disetiap unit keluaran y_k ($k = 1, 2, \dots, m$)

$$\partial_k = (t_k - y_k) f'(y_net_k) = (t_k - y_k) y_k (1 - y_k)$$

∂_k merupakan unit kesalahan yang akan dipakai dalam perubahan bobot layar di bawahnya (langkah 7). Hitung suku perubahan bobot w_{kj} (yang akan dipakai nanti untuk merubah bobot w_{kj}) dengan laju percepatan α)

$$\Delta w_{kj} = \alpha \partial_k z_j \quad k = 1, 2, \dots, m ; \quad j = 0, 1, \dots, p$$

- Langkah 7 : Hitung faktor ∂_k unit tersembunyi berdasarkan kesalahan disetiap unit tersembunyi z_j ($j = 1, 2, \dots, p$)

$$\partial_{net_j} = \sum_{k=1}^m \partial_k w_{kj}$$

Faktor ∂ unit tersembunyi :

$$\partial_j = \partial_{net_j}(z_{net_j}) = \partial net_j^2$$

Hitung suku perubahan bobot v_{ji} (yang akan dipakai nanti untuk merubah bobot v_{ji})

$$\Delta v_{ji} = \alpha \partial_j z_i \quad ; j = 1, 2, \dots, p ; i = 0, 1, \dots, n$$

Fase III : Perubahan bobot

- Langkah 8 : Hitung semua perubahan bobot perubahan bobot garis yang menuju ke unit keluaran :

$$w_{kj}(\text{baru}) = w_{kj}(\text{lama}) + \Delta w_{kj} \quad (k = 1, \dots, m ; j = 0, 1, \dots, p)$$

Setelah pelatihan selesai dilakukan, jaringan dapat dipakai untuk pengenalan pola. Dalam hal ini, hanya propagasi maju (langkah 4 dan 5) saja yang dipakai untuk menentukan keluaran jaringan.

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Perancangan Model ANN

Perancangan arsitektur jaringan dengan struktur ANN disesuaikan dengan format training data, yaitu jaringan dengan satu masukan terdiri dari data hasil persamaan *rating curve* berupa debit sungai runtun waktu pada saat waktu t (Q_t) dan satu output yaitu debit sungai pada saat waktu ke $t+1$ (Q_{t+1}). Selanjutnya secara matematis dapat diformulasikan dalam bentuk Persamaan 1 sebagai berikut.

$$Q_{t+1} = f(Q_t) \quad \text{untuk } n = 1 \quad (1)$$

Langkah selanjutnya dilakukan penyusunan skema konfigurasi model peramalan debit sungai runtun waktu yang diharapkan mampu untuk meramalkan debit sungai untuk satu hari ke depan (H_{t+24}). Ada dua tahap yang sangat penting pada proses peramalan menggunakan struktur ANN algoritma backpropagation yaitu proses training data dan proses testing data (Suprayogi, 2009). Aplikasi dengan struktur ANN membutuhkan data training dan data testing. Keduanya berisi pola *input/output*. Jika training data dipergunakan untuk melatih struktur ANN, testing data digunakan untuk menilai unjuk kerja struktur ANN.

Ada tiga tahap dalam membangun model peramalan debit sungai pada hulu DAS Siak menggunakan pendekatan ANN algoritma Backpropagation yaitu tahapan proses training, proses testing, dan proses validasi model. Penggunaan data pada tahap training, testing dan validasi model untuk membangun model ANN algoritma backpropagation disusun seperti Tabel 1 di bawah ini

Tabel 1. Komposisi Data Pada Tahap Training, Testing dan Validasi Model ANN dan Model W-ANN

Input Data	Tahapan	Awal Data Input	Akhir Data Input	Awal Data Target	Akhir Data Target
Debit Sungai (Q _t)	Training (70%)	20/8/2014	25/11/ 2014	21/8/2014	26/11/2014
	Testing (30%)	26/11/ 2014	23/12/ 2014	27/11/ 2014	24/12/2014
	Validasi (100%)	20/8/ 2014	23/12/2014	21/8/ 2014	24/12/ 2014

3.2 Diskripsi Pola Penggabungan Model Wavelet - ANN

Model Transformasi Wavelet memiliki keunggulan mereduksi *noise* (*denoise*) pada data runtun waktu sedangkan ANN memiliki keunggulan proses peramalan. Dengan menggabungkan antara Transformasi Wavelet yang berfungsi sebagai proses filtering data dan ANN memiliki spesifik generik sebagai proses peramalan dengan harapan akan meningkatkan unjuk kerja model. Ilustrasi penggabungan antara Transformasi Wavelet dan ANN selengkapnya disajikan seperti pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 3. Diskripsi Penggabungan Model Wavelet- AN

3.3 Perancangan Model Wavelet -ANN (W-ANN)

Selanjutnya perancangan arsitektur jaringan dengan struktur W - ANN disesuaikan dengan format training data, yaitu jaringan dengan satu masukan terdiri dari data hasil pengukuran debit runtun waktu pada saat waktu t (Q_t) yang telah dihilangkan *noise* nya menggunakan keluarga Daubechies Wavelet untuk level 1, level 2 dan level 3 dan satu output yaitu debit pada saat waktu ke $t+1$ (Q_{t+1}). Selanjutnya secara matematis dapat diformulasikan dalam bentuk persamaan 1 sebagai berikut.

$$Q_{t+1} = f(dB L n Q_t) \text{ untuk } n = 1, 2 \text{ dan } 3 \quad (1)$$

3.4 Training Model ANN

Proses training model dipergunakan untuk melatih struktur ANN. Pada tahap training model menggunakan metode ANN algoritma backpropagation terlebih dahulu dilakukan proses uji parameter statistik koefisien korelasi (R) untuk mendapatkan nilai R yang terbaik dari enam parameter model ANN yaitu neurons, transfer function, epochs, max fail, learning rate, dan momentum. Adapun nilai hasil pengujian enam parameter selanjutnya disajikan seperti pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Nilai Parameter Terbaik dari Model ANN pada Tahap Training Data

Uji Statistik	neuron	Transfer function		Parameter			
		layer 1	layer 2	epochs	max fail	learning rate	momentum
Nilai R	15 0.967	tansig 0.969	pureline 0.969	10000 0.972	10000 0.972	0,01 0.972	0,90 0.972

Sumber : Hasil Analisis

3.5 Testing Model ANN dan W-ANN

Setelah dilakukan proses training data yang bertujuan untuk melatih struktur ANN maka langkah selanjutnya dilakukan proses testing data model ANN dan W-ANN dengan menggunakan 30% data selain data yang digunakan proses training. Adapun hasil selengkapnya disajikan seperti pada Tabel 3 di bawah ini

Tabel 3. Hasil Proses Testing Data dari model ANN dan W-ANN

Model	ANN	W-ANN	Tingkat Korelasi
Nilai R	0.978	0.97456	Sangat Kuat

Sumber : Hasil Analisis

3.6 Validasi Model Model ANN dan W-ANN

Validasi model menurut Refsgaard (2000) merupakan upaya memvalidasi penggunaan model untuk memperoleh perkiraan yang dapat digunakan oleh para pengelola sumberdaya air. validasi model merupakan proses terakhir setelah proses training dan proses testing. Hasil analisis proses validasi data dengan input data 100% menggunakan program Toolbox Matlab 7.0 yang hasilnya disajikan Tabel 5 di bawah ini yang mendiskripsikan hubungan antara varian Model peramalan debit sungai menggunakan ANN dan W-ANN dengan data Observasi.

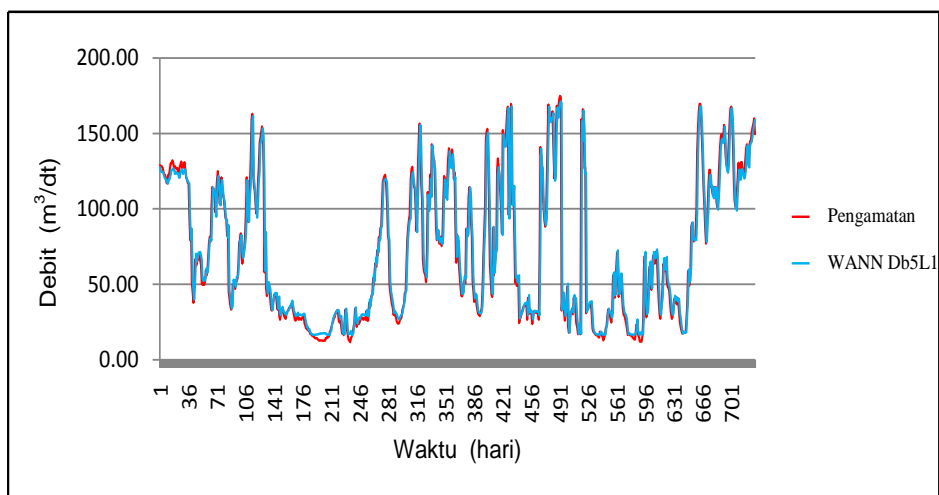
Tabel 4. Hasil Proses Validasi Data dari model ANN dan W-ANN

Model	ANN	W-ANN	Tingkat Korelasi
Nilai R	0.942	0.965	Sangat Kuat

Sumber : Hasil Analisis

3.7 Hasil Peramalan Debit Sungai Menggunakan ANN dan W-ANN

Rekomendasi penggunaan model setelah melalui proses training, testing dan validasi model, yang mendiskripsikan unjuk kerja model W-ANN untuk kebutuhan peramalan debit sungai satu hari ke depan (Q_{t+1}) dan data pengukuran yang mendiskripsikan grafik pola hubungan antara nilai debit sebagai fungsi waktu antara Model W-ANN Db Level 1 dan Hasil Pengukuran (observed) yang selengkapnya disajikan seperti pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 4. Grafik Hubungan Nilai Debit sebagai Fungsi Waktu Model W-ANN Db Level 1 dan Hasil Observasi

Dengan merujuk Gambar 2 di atas, yang mendiskripsikan grafik hubungan antara nilai debit sebagai fungsi waktu antara hasil Model W-ANN Db Level 1 dan Hasil Pengukuran (observed) membuktikan bahwa model W-ANN merupakan model terbaik bila dibandingkan ANN untuk kebutuhan peramalan debit sungai satu hari ke depan ($t + 1$) yang diuji menggunakan nilai koefisien korelasi dengan nilai berturut-turut 0.951 dan 0.948 dengan klasifikasi model W-ANN dan ANN memiliki derajat hubungan sangat kuat ($0.75 < R < 0.99$).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa pola penggabungan metode transformasi wavelet untuk proses filtering data dan ANN sebagai salah satu komponen softcomputing yang memiliki keunggulan spesifik (generik) pengenalan pola data, maka model W-ANN adalah model terbaik untuk

kebutuhan peramalan debit sungai satu hari ke depan ($t + 1$) di Sungai Siak bila dibandingkan ANN yang diuji menggunakan parameter statistik koefisien korelasi dengan nilai berturut – turut 0.951 dan 0.948 dan kedua model baik W-ANN dan ANN memiliki derajat hubungan sangat kuat $0.75 < R < 0.99$ sehingga model W-ANN sangat layak untuk dijadikan sebagai salah satu input data untuk pengembangan Sistem Deteksi Dini Banjir di Sungai Siak.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Camelio, A. S., Farias, N., Celso, A., G., Santos, Artur, M., G., Lourenco, Tatiane, C., Carniero, 2013, Kohonen Neural Networks for Rainfall Run off Modeling : Case Study of Pianco River Basin, *Journal of Urban and Environmental Engineering* Vol.7 No.1 pp 176-182
- Dadu, K., S., and Deka, P., C., 2013, Multistep Lead Time Forecasting of Hydrologic Time Series Using Daubechies Wavelet – Artificial Neural Network Hybrid Model. *International Journal Sciencetific Engineering and Research (IJSER)* 2013. Vol. 4. 115-124
- Fausset,L.,1996, *Fundamentals of Neural Networks, Architectures, Algorithms, and Applications*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Hadihardaja, I., K., Sutikno., 2005, Pemodelan Curah Hujan–Limpasan Menggunakan Artificial Neural Network (ANN) dengan Metode Backpropagation, *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung (ITB)*, vol 12 No 4 Oktober 2005, hal 249-257
- Jang, J.S.R., Sun C.T. dan Mizutani, E., (1997), *Neuro Fuzzy and Soft Computing*. Prentice Hall, London.
- Ju, Q., Yu, Z., Hao, Z., She, C., Ou, G., and Liu, D, 2008, Streamflow Simulation With an Integrated Approach of Wavelet Analysis and Artificial Neural Networks Fourth International Conference on Natural Computation. IEEE Computer Society Publication, 2008.203, 564-570
- Purnomo, M.H, (2004), *Teknologi Soft Computing : Prospek dan Implementasinya Pada Rekayasa Medika dan Elektrik*, Pidato Pengukuhan Untuk Jabatan Guru Besar Dalam Ilmu Artificial Intelligent Pada Fakultas Teknologi Industri (TI) Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Pratikto, W.A., (1999), *Aplikasi Pemodelan Di Teknik Kelautan*, Pidato Pengukuhan Untuk Jabatan Guru Besar Dalam Bidang Aplikasi Numerik dan Mekanika Fluida Pada Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknik Kelautan (FTK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Refsgaard, J.C. 2000. Towards a Formal Approach to Calibration and Validation of Models Using Spatial Data, Dalam R. Grayson & G. Blöschl. *Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling*. Cambridge University Press, Cambridge, 329 – 354.

Sudiana, N., Soewandhita, H., (2007), Pola Konservasi Sumberdaya Air DAS Siak, Jurnal Alami Volume 12 Nomor 1 , Tahun 2007.

Suprayogi, I., 2009, Model Peramalan Intrusi Air Laut di Estuari Menggunakan Softcomputing, Disertasi , Bidang Keahlian Manajemen dan Rekayasa Sumberdaya Air, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), Surabaya

Iriawan, N., (2005), Pengembangan Simulasi Stokhastik Dalam Statistika Komputasi Data Driven, Pidato Pengukuhan Untuk Jabatan Guru Besar Dalam Bidang Statistik Komputasi dan Proses Stokhastik Pada Jurusan Statistik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Yustanti, W,2004, Peramalan Data Time Series Menggunakan Metode Gabungan Transformasi Wavelet Dan ANN, Tesis, Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik Informatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai (BWS) III Sumatera yang telah berkenan memberi ijin penggunaan data – data guna mendukung penelitian ini.

ANALISIS PREDIKSI KESEIMBANGAN AIR PADA BENDUNG BATANG SAMO UNTUK PENGEMBANGAN SEKTOR PERIKANAN DI KABUPATEN ROKAN HULU

Joleha¹, Imam Suprayogi², Ermiyati³, Nurdin⁴, Gussyafri⁵

^{1,2,3,4}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.

ABSTRACT

The main objective of the research is to conduct water balance analysis on the Batang Samo Barrage for the fishery needs of Rokan Hulu Regency for the projected year 2026. **The method of approach on this research** uses water balance and a model of rainfall runoff Rational methods. Data required is pond area data from the Farm and Fisheries Office of Rokan Hulu District, contour map, rainfall data of the Rambah Samo Station 2005-2014 from BWS III Sumatera, climatology data from the Rambah Utama station of the year 2005-2014, map watershed. **The main results of the research** proved that Batang Samo Barrage existing data year 2016 has a dependable of 0.115 m³/dt to supply the water demand for fisheries sector. The impact of the addition of Fish pond in the community in the year 2025 is predicted to result in a decrease in water availability in Barrages so that the efforts are made by building an area of 4 ha capacity of 80,000 m³ are expected to supply water for four months. Furthermore, lack of water for a duration of time eight months solved by optimizing watershed in detention ponds the discharge range between 1.293 – 2,657 m³/s so as to adequately availability of water fisheries sector in District of Rokan Hulu for the next ten years.

Keywords: water balance, barrage, dependable flow, pond, fishery sector

ABSTRAK

Tujuan utama dari penelitian adalah melakukan analisis neraca keseimbangan air pada Bendung Batang Samo untuk kebutuhan sektor perikanan Kabupaten Rokan Hulu untuk proyeksi tahun 2026. **Metode pendekatan** pada penelitian ini menggunakan (water balace)_dan model hujan debit metode Rasional. Data yang dibutuhkan adalah data luas kolam dari Dinas Peternakan dan Perikanan Kabupaten Rokan Hulu, peta Kontur, data Curah Hujan Stasiun Rambah Samo tahun 2005- 2014 dari BWS III Sumatera, data Klimatologi dari Stasiun Rambah Utama tahun 2005- 2014, peta Daerah Tangkapan Air (DTA). **Hasil utama penelitian membuktikan** bahwa Bendung Batang Samo data eksisting tahun 2016 memiliki debit andalan sebesar 0,115 m³/dt untuk mensuplai kebutuhan air sektor perikanan. Seiring terjadinya penambahan luas kolam ikan di masyarakat maka pada tahun 2025 diprediksi akan memicu terjadi penurunan ketersediaan air di Bendung Batang Samo sehingga upaya dilakukan dengan membangun embung seluas 4 ha berkapasitas 80.000 m³ yang diperkirakan akan mampu memasok air selama 4 bulan. Selanjutnya kekurangan air di waduk selama kurun waktu 8 bulan diatasi dengan mengoptimalkan Daerah Tangkapan Air (DTA) di waduk yang besaran debit berkisar antara 1,293 – 2.657 m³/dt sehingga mampu mencukupi ketersediaan air akan kebutuhan sektor perikanan di Kabupaten Rokan Hulu untuk sepuluh tahun ke depan.

Kata kunci : keseimbangan air, bendung, debit andalan, kolam, sektor perikanan,

1. PENDAHULUAN

Bendung Batang Samo dibangun pertama kali pada tahun 1985 yang berlokasi di desa Suka Maju Kecamatan Rambah Kabupaten Rokan Hulu. Bendung Batang Samo mengairi Daerah Irigasi seluas kurang lebih 400 ha. Permasalahan mendasar di Bendung Batang Samo adalah menurunnya debit air sebesar 30.05% (Abror, 2014), untuk kebutuhan layanan irigasi tidak bisa optimal karena adanya pengambilan air secara langsung untuk keperluan mengairi kolam ikan yang ada di sekitar saluran primer irigasi. Menurunnya debit pada Bendung Batang Samo tersebut menyebabkan ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air untuk keperluan irigasi dan perikanan.

Kabupaten Rokan Hulu adalah salah satu Kabupaten yang menyumbang produksi hasil perikanan air tawar di Provinsi Riau. Dipertegas hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Rinaldi, dkk (2014) menyatakan bahwa perkembangan produksi perikanan budidaya di Kabupaten Rokan Hulu setiap tahunnya mengalami peningkatan rata-rata 25% per tahun, sedangkan untuk pengaruh perikanan budidaya terhadap produksi sebesar 80.8%.

Perkembangan produksi perikanan seperti yang dilustrasikan tersebut di atas, berimplikasi kebutuhan air untuk pengembangan sektor perikanan di Kabupaten Rokan Hulu memiliki kecenderungan terus meningkat. Dipertegas dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Saputra (2017) bahwa Bendung Batang Samo yang melimpas di atas mercu Bendung dianggap perlu dialih fungsikan dan dibuat saluran intake baru untuk pengembangan daerah perikanan di hilir sungai Batang Samo. Hasil perhitungan debit andalan yang didapatkan dari limpasan mercu Bendung sebesar 0.115 m³/dt. Tujuan utama dari penelitian ini adalah melakukan analisa keseimbangan air pada bendungan batang Samo untuk kebutuhan Perikanan di Kabupaten Rokan hulu untuk tahun yang diproyeksikan 2026.

2. ANALISA DAN PEMBAHASAN

2.1 Analisis Keseimbangan Air kondisi Eksisting

Merujuk standar peraturan SNI 19-6728.1-2002 tentang Penyusunan neraca sumber daya – Bagian 1: Sumber daya air spasial menyatakan bahwa kebutuhan air untuk perikanan air tawar di kolam atau sawah maka kebutuhan air untuk perikanan 1.3/l/det/ha (Muhnashrah, 2006). Data luas kolam kondisi eksisting Desa Suka Maju, Kecamatan Rambah, Pasir Pengaraian, Provinsi Riau dari tahun 2011 – 2016 disajikan seperti pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 24. Diskripsi Tahun terhadap Perubahan Luas Kolam (m²)

No Tahun Luas Kolam (ha)

1	2011	84.85
2	2012	85.67
3	2013	86.67
4	2014	88.19
5	2015	88.19
6	2016	88.19

Sumber : Dinas Peternakan dan Perikanan Kabupaten Rokan Hulu

Merujuk Tabel 1 di atas, untuk luas kolam 84,85 ha pada tahun 2011 maka air yang dibutuhkan untuk sektor perikanan ($Q_{\text{perikanan}}$) adalah $1,3 \text{ l/dt/ha} \times 84,85 \text{ ha}$ sebesar 110.305 lt/dt. Hasil analisis kebutuhan air dari tahun 2012 – 2016 selanjutnya disajikan dalam bentuk Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Diskripsi Tahun terhadap Debit Eksisting (lt/dt)

No Tahun Debit Eksisting (lt/dt)

1	2011	110.305
2	2012	111.371
3	2013	112.671
4	2014	114.647
5	2015	114.647
6	2016	111.371

Sumber : Hasil Analisis

Neraca air yang mendiskripsikan perbandingan antara ketersediaan dan kebutuhan air. Dengan masih merujuk Tabel 1 dan Tabel 2 di atas, maka dapat dilakukan penyusunan neraca air pada kondisi eksisting periode waktu 2011 – 2016 seperti yang disajikan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Diskripsi Luas Kolam Ikan dari Tahun 2011 – 2016 terhadap Kebutuhan Air Perikanan di Rokan Hulu

No	Tahun	Ketersediaan Air Eksisting (lt/dt)	Kebutuhan Air Eksisting (lt/dt)	Surplus / Defisit (lt/dt)
1	2011	115	110.305	Surplus / 4.95
2	2012	115	111.371	Surplus / 3.629
3	2013	115	112.671	Surplus / 2.329
4	2014	115	114.647	Surplus / 0.353
5	2015	115	114.647	Surplus / 0.353
6	2016	115	111.371	Surplus / 0.353

Sumber : Hasil Analisis

Masih merujuk Tabel 3 di atas, yang mendiskripsikan pol ahubungan antara ketersediaan air dan kebutuhan selama periode tahun 2011 – 2016 untuk sektor Perikanan di Kabupaten Rokan Hulu mengalami kelebihan air (surplus), namun diduga kecenderungan kebutuhan air ke depan akan mengalami peningkatan sejalan dengan bertambahnya luasan kolam ikan.

2.2 Analisis Keseimbangan Air kondisi Pada Tahun Proyeksi

Analisis prediksi penambahan luasan kolam ikan di Kabupaten Rokan Hulu dari tahun 2017 – 2025 menggunakan pendekatan rumusan pertumbuhan yang hasil selengkapnya dari penambahan luas kolam ikan di Kabupaten Rokan Hulu yang selengkapnya disajikan seperti pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Diskripsi Perubahan Luas Kolam dari Tahun 2017 – 2026 terhadap Kebutuhan Air Sektor Perikanan di Rokan Hulu

No	Tahun	Luas Kolam (ha)	Debit Ketersediaan Air (lt/dt)	Debit Kebutuhan Air (lt/dt)	Surplus / Defisit (lt/dt)
1	2017	88.76	115	115.54	Defisit /0.538
2	2018	89.56	115	116.43	Defisit/1.430
3	2019	90.247	115	117.32	Defisit/2.321
4	2020	90.93	115	118.21	Defisit/3.212
5	2021	91.618	115	119.11	Defisit /4.104
6	2022	92.304	115	120.00	Defisit/4.995
7	2023	92.99	115	120.887	Defisit /5.887
8	2024	93.675	115	121.778	Defisit/6.778
9	2025	94.361	115	122.669	Defisit/7.669
10	2026	95.047	115	123.561	Defisit/8.561

Sumber : Hasil Analisis

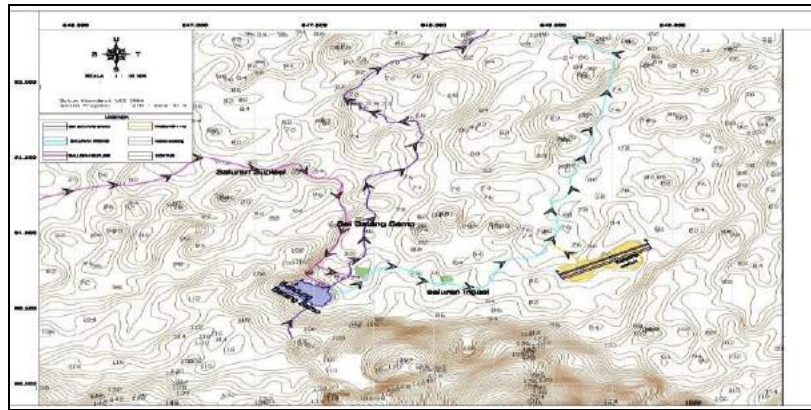
2.3 Skenario Penyediaan Air Sektor Perikanan

Pengembangan sektor Perikanan di Kabupaten Rokan Hulu di masa mendatang menggunakan kajian analisis dari Tahun 2017 – 2026 dengan merujuk Tabeln 4 di atas, maka ketersediaan air untuk kebutuhan sektor Perikanan akan mengalami defisit air sebesar 8.6 lt/dt pada tahun 2026. Upaya mengatasi kondisi defisit air tersebut, langkah penanggulangannya dilakukan penyusunan skenario penyediaan air dengan melakukan alternatif pembangunan waduk kecil dan/ atau mengoptimalkan Daerah Tangkapan Air (DTA) di Waduk Rencana.

2.4 Rencana Lokasi dan Analisis Volume Waduk

Merujuk peta rupa bumi dengan skala 1:10.000 maka penetapan lokasi Pembangunan waduk direncanakan di Kecamatan Rambah, Pasir Pengaraian, Provinsi Riau. Peta kontur posisi waduk rencanakan berada di kaki bukit dan cekungan (tampungan

muka air tanah) dengan rencana luas waduk 40.000 m² atau 4 ha dengan kedalaman waduk rata-rata adalah 6 meter dimana ketinggian posisi waduk berada pada elevasi ± 81 m dpl yang untuk selanjutnya dengan sistem gravitasi air yang keluar dari outlet waduk dialirkan ke kolam ikan dimana rata-rata kolam ikan berada pada elevasi ±75 m dpl. Diskripsi pola koneksi antara waduk dengan posisi kolam ikan disajikan seperti pada Gambar 1 di bawah ini

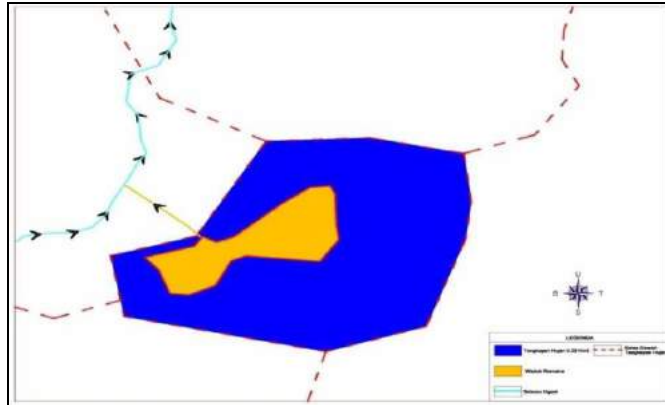


Gambar 1. Peta Kontur Lokasi Rencana Waduk

Selanjutnya berdasarkan Gambar 1 di atas, berupa lay out dan peta kontur dari lokasi rencana waduk untuk selanjutnya dilakukan pengambilan di tiga lokasi potongan melintang dari waduk rencana yang dianggap representatif sehingga mewakili sebagai input analisis volume waduk yang diperoleh nilai elevasi terendah 79 m, elevasi tertinggi 85 m dpl serta elevasi waduk rata-rata pada elevasi 81 m dpl. Untuk analisis volume waduk dapat dihitung dengan cara pengurangan rata-rata elevasi dari waduk dengan nilai elevasi waduk terendah dikalikan dengan luas waduk rencana sehingga diperoleh volume waduk rencana kurang lebih 80.000 m³.

2.5 Analisis Hidrologi

Model hujan debit menggunakan pendekatan metode Rasional dipergunakan untuk menetapkan besaran sumbangan debit untuk pemenuhan kebutuhan air Perikanan di Kabupaten Rokan Hulu dengan tahun proyeksi tahun 2026. Daya dukung data curah hujan 10 tahun yang diperoleh dari Stasiun Hujan Rambah Utama bersumber dari BWS III Sumatera Pekanbaru dari tahun 2005 hingga tahun 2014 yang dipergunakan untuk kebutuhan analisis Intensitas Curah Hujan Bulanan menggunakan Rumus Mononobe, luas daerah tangkapan air (DTA) seluas 0.24 km² yang selengkapnya disajikan seperti pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Daerah Tangkapan Air

Sebagai ilustrasi, dengan nilai koefisien aliran (C) sebesar 0.5, nilai intensitas curah hujan (I) sebesar 65,78 mm/jam dan luas daerah tangkapan air (A) seluas 0.23 km² maka akan diperoleh debit pada Bulan Januari sebesar 0.21 m³/dt. Hasil rekapitulasi nilai debit dari bulan Januari sampai Desember menggunakan metode Rasional selengkapnya disajikan seperti pada Tabel 5 Di bawah ini.

Tabel 5. Diskripsi Perubahan Luas Kolam dari Tahun 2017 – 2026 terhadap Kebutuhan Air Sektor Perikanan di Rokan Hulu

No	Tahun	Koefisien Pengaliran	Intensitas Curah Hujan (mm/jam)	Daerah Tangkapan Air (km ²)	Debit Aliran (m ³ /dt)
		(1)	(2)	(3)	0.278. (1).(2).(3)
1	Januari	0.5	65.577	0.23	2.1
2	Februari	0.5	54,856	0.23	1.75
3	Maret	0.5	62.507	0.23	1.98
4	April	0.5	77.923	0.23	2.49
5	Mei	0.5	52.250	0.23	1.67
6	Juni	0.5	42.213	0.23	1.35
7	Juli	0.5	40.457	0.23	1,29
8	Agustus	0.5	49.995	0.23	1,60
9	September	0.5	52.832	0.23	1,69
10	Oktober	0.5	59.646	0.23	1.91
11	Nopember	0.5	75.163	0.23	2.40
12	Desember	0.5	83.097	0.23	2.66

Sumber : Hasil Analisis

2.6 Analisis Kehilangan Air Pada Tampungan Waduk

Analisis evapotranspirasi potensial (ET_o) diperlukan untuk menganalisis kehilangan air pada tampungan waduk. Berdasarkan pencatatan data klimatologi dari Stasiun Klimatologi Rambah Utama yang terdiri dari kelembaban udara, temperatur, penyinaran sinar matahari dan kecepatan angin, yang untuk selanjutnya dilakukan analisis menggunakan program bantu Cropwat 8.0 hasil selengkapnya disajikan seperti pada Gambar 3 di bawah ini .

Country	Batang Samo		Station	Rambah Utama			
Altitude	46	m.	Latitude	0.53	°N	Longitude	100.20 °E
Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ET _o
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	21.1	34.3	93	24	4.8	16.2	3.46
February	22.2	35.2	90	22	4.3	16.0	3.52
March	21.4	36.2	91	27	4.3	16.2	3.64
April	21.4	36.1	85	28	4.9	16.7	3.71
May	22.0	35.3	89	24	5.2	16.3	3.51
June	24.0	36.4	85	29	6.9	18.1	3.96
July	22.4	37.1	82	29	5.9	16.9	3.79
August	21.4	36.3	89	31	4.9	16.3	3.65
September	21.0	35.4	84	28	2.0	12.4	2.87
October	21.0	36.4	89	29	1.7	11.9	2.81
November	21.3	34.4	87	27	3.4	14.2	3.16
December	20.2	34.4	85	27	3.9	14.6	3.18
Average	21.6	35.6	87	27	4.3	15.5	3.44

Sumber : Hasil Running Program Bantu Cropwat 8.0

Gambar 3. Hasil perhitungan Evapotranspirasi Potensial (ET_o)

2.7 Neraca Keseimbangan Waduk

Neraca Keseimbangan Waduk adalah didasarkan atas inflow waduk yang bersumber dari hasil analisis debit menggunakan model hujan debit dengan menggunakan pendekatan Metode Rasional, pengurangan air akibat proses Evapotranspirasi dan kebutuhan air untuk perikanan tahun 2026. Adapun hasil selengkapnya disajikan seperti pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Neraca Air Waduk Untuk Kebutuhan Air Pada Sektor Perikanan di Rokan Hulu Tahun 2026

No	Bulan	Inflow Waduk (m ³ /dt)	Evapotranspirasi (m ³ /dt)	Kebutuhan Air Perikanan (m ³ /dt)	Tampungan Waduk (m ³ /dt)
		(1)	(2)	(3)	(1) - (2) - (3)
1	Januari	0.21	0.107	0.123	1.866
2	Februari	1.75	0.099	0.123	1.512
3	Maret	1.98	0.113	0.123	1.748
4	April	2.49	0.111	0.123	2.257
5	Mei	1.67	0.109	0.123	1.439
6	Juni	1.35	0.119	0.123	1.108
7	Juli	1,29	0.117	0.123	1.053
8	Agustus	1,60	0.113	0.123	1,362
9	September	1,69	0.086	0.123	1,480
10	Oktober	1.91	0.087	0.123	1.697
11	Nopember	2.40	0.095	0.123	2.185
12	Desember	2.66	0.099	0.123	2.435

Sumber : Hasil Analisis

Selanjutnya dengan masih merujuk Tabel 6 di atas, penyusunan skenario penyediaan air untuk kebutuhan sektor perikanan di Kabupatn Rokan Hulu dengan pembangunan waduk kecil serta mengoptimalkan Daerah Tangkapan Air (DTA) untuk inflow waduk maka ketersediaan air sepanjang tahun 2026 dari bulan Januari sampai Desember akan mengalami surplus dengan ketersediaan air tertinggi pada bulan Desember 2026 sebesar 2.435 lt/dt dan yang terendah pada bulan Juni 2026 sebesar 1.053 lt/dt dengan kebutuhan sektor perikanan di Kabupaten Rokan Hulu rata-rata pada tahun 2026 sebesar 123 lt/dt atau setara 0.123 m³/dt .

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan ketersediaan air pada Bendung Batang Samo yang berlokasi di Desa Suka Maju Kecamatan Rambah Kabupaten Rokan Hulu di atas, maka dapat disimpulkan bahwa debit andalan pada kondisi eksisting tahun 2016 yang tersedia 0.115 m³/dt untuk sektor Perikanan mengalami *surplus* (kelebihan air), akan tetapi seiring kecenderungan penambahan luas kolam ikan masyarakat maka diprediksi ketersediaan air sektor Perikanan dengan tahun proyeksi sepuluh tahun ke depan (2017-2026) akan mengalami *defisit air* (kekurangan air) sehingga dilakukan upaya penyediaan air dengan melakukan pembangunan fisik waduk seluas 4 ha berkapasitas tampung 80.000 m³ serta mengoptimalkan Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk yang besaran debitnya berkisar antara 1,293 – 2.657 m³/dt sehingga mampu mencukupi ketersediaan air untuk kebutuhan sektor perikanan di Kabupaten Rokan Hulu untuk sepuluh tahun ke depan.

4. DAFTAR PUSTAKA

- Abror, M. 2014. Optimasi Pola Tanam Irigasi dengan Menggunakan Program Linear (Studi Kasus di Kaiti Samo Kabupaten Rokan Hulu). Tugas Akhir Program Sarjana (S1), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau. Pekanbaru (unpublished).
- Dinas Peternakan dan Perikanan. 2016. *Data Luas Kolam Ikan di Kabupaten Rokan Hulu Tahun 2016*. Unit Pengelola Teknis Dinas (UPTD), Dinas Peternakan dan Perikanan Kabupaten Rokan Hulu.
- Muhnashrah. 2006. Studi Potensi dan Pemanfaatan Air Anak Sungai Maros Untuk Kawasan Wisata Pendidikan Puca Kabupaten Maros Provinsi Sulawesi Selatan. Tugas Akhir Program Sarjana (S1), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung. Bandung (unpublished).
- Rinaldi., Bathara, L dan Hamid, H. 2014. Analisis Perkembangan Produksi Perikanan Budidaya di Kabupaten Rokan Hulu Provinsi Riau. Tugas Akhir Program Sarjana (S1), Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau. Pekanbaru (unpublished).
- Saputra, S. D. 2017. Model Persamaan *Rating Curve* menggunakan Pendekatan Regresi Untuk Analisis Ketersediaan Air Perikanan pada Bendung Batang Samo Kabupaten Rokan Hulu, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil D3, Universitas Riau. Pekanbaru (unpublished).

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai (BWS) III Sumatera dan Dinas Peternakan dan Perikanan Kabupaten Rokan Hulu yang telah berkenan memberi ijin dan penggunaan data – data guna mendukung penelitian ini dan Saudara Rando Wirawinata, A.Md dan Muhammad Ikhsanudin, A.Md yang telah membantu mengumpulkan data-data serta pengolahan peta untuk melengkapi kajian penelitian.

APLIKASI PROGRAM LINIER UNTUK KEBUTUHAN OPTIMASI ALOKASI AIR DAERAH IRIGASI OKAK SAMO KAITI KABUPATEN ROKAN HULU

Bochari¹ Joleha², Imam Suprayogi³, Nurdin⁴, Gussyafri⁵

1,2,3,4,5Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.

1,2,3,4Departement of Civil Engineering, Faculty of Engineering,
Riau of University, Pekanbaru
Email: jolehas@yahoo.com

ABSTRAK

Tujuan utama dari penelitian ini adalah membangun model optimasi untuk menjamin ketersediaan air untuk tanaman padi dan jagung di Daerah Irigasi Okak Samo Kaiti serta mendapatkan keuntungan maksimum untuk setiap musim panen. **Metode pendekatan** yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan pendekatan operasi riset *mathematical programming* (MP) yaitu Program Linier dengan didukung software QM for Windows 3.

Data penelitian berupa data curah hujan harian Stasiun Rambah Utama dari tahun 2005 sampai tahun 2014 diperoleh dari BWS III Sumatera Pekanbaru, data klimatologi dari Stasiun Rambah Utama untuk tahun 2015, data luas area pemanfaatan lahan pertanian DI OSAKA serta data debit saluran irigasi dan saluran *suplesi* pada tahun 2015–2016 dari Dinas Pertanian dan Dinas Bina Marga dan Pengairan Kabupaten Rokan Hulu dan data perhitungan keuntungan bersih per hektar setiap tanaman pada tahun 2016 dari Dinas Ketahanan Pangan dan Perikanan dan Dinas Pertanian Kabupaten Rokan Hulu. **Hasil utama penelitian membuktikan** bahwa besar keuntungan maksimum dari hasil optimasi menggunakan Program Linier untuk DI OSAKA adalah sebesar Rp. 9.573.685.000,00 dengan komposisi luasan masing-masing tanaman pada musim tanam I (awal musim Maret periode I) untuk luas tanaman padi 840,60 ha dan luas tanaman jagung 75.85 ha.

Kata kunci : Optimasi, alokasi air, Daerah Irigasi, Keuntungan maksimal, Riset Operasi, Program Linier

ABSTRACT

The main objective of this research is to build an optimization model to guarantee water availability for rice and corn crops in the Okak Samo Kaiti irrigation area as well as get maximum benefit for each harvest season. The method of approach used in this research is to use the mathematical Programming (MP) research operation approach of linear Programama with supported QM software for Windows. Research data in the form of daily rainfall data the Rambah Utama station from 2005 until 2014 is obtained from BWS III Sumatera Pekanbaru, data climatology from the Rambah Utama station for the year 2015, data on the utilization area of the Okak Samo Kaiti irrigation are agricultural land as well as the debit data on irrigation channels and Suplesi channels in 2015 – 2016 from the Agriculture office and the Department of Bina Marga and irrigation of Rokan Hulu District and net profit calculation data per Hectares of each plant in 2016 from the Food

Security and Fisheries Department and the Agriculture Department of Rokan Hulu regency. The main results of the study proved that the maximum profit from the results of the optimization using the linear Program for OSAKA is Rp. 9,573,685,000.00 with the composition of the area of each plant in the planting season I (beginning of March period I) For the area of rice plants 840.60 ha and the area of corn plant 75.85 ha.

Keywords : optimization, water allocation, irrigation area, maximum gain, operations research, linear programs

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Rokan Hulu merupakan salah satu kabupaten yang menjadi lumbung beras bagi Provinsi Riau. Banyak wilayah di kabupaten ini yang dijadikan sebagai lahan pertanian atau Daerah Irigasi (DI). Salah satunya persawahan eks transmigrasi di Desa Rambah Baru yang luas potensialnya mencapai 1654 Ha. (Abror, 2014). Sedangkan DI Samo hanya dialiri oleh air dari Bendung Batang Samo saja, yang direncanakan untuk mengairi daerah seluas kurang lebih 400 Ha. (Eka Putra dkk, 2008).

Bendung Batang Samo masih belum bisa mengairi luas potensialnya yang mencapai 1654 Ha. Sehingga untuk mengoptimalkan daerah potensial di daerah Kaiti-Samo yang mencapai 1.654 Ha tersebut, dibangunlah bendungan Kaiti yang akan memberikan distribusi air ke Bendung Samo melalui saluran pembawa (*suplesi*) yang masuk melalui pintu 3 pada bendungan Batang Samo dan langsung masuk kedalam bangunan *intake*. Bendungan Kaiti direncanakan mampu mengairi daerah irigasi seluas 900 s/d 1.200 Ha. (Eka Putra dkk, 2008).

Pada tahun 2013 saluran pembawa (*suplesi*) dari Bendungan Kaiti yang awalnya masuk melalui pintu 3 dialihkan aliran melalui talang dan langsung masuk kedalam saluran primer dan tidak melalui bangunan *intake*. Pada penelitian Mukhlis Abror tahun 2014 didapat kehilangan air pada saluran primer adalah sebesar 30,05 %. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor yaitu perubahan bentuk tampang saluran serta, pengambilan air untuk mengairi tambak dan kolam ikan milik warga setempat.

Sebagai solusi dari masalah tersebut maka dicari sumber air lain yang terdekat dengan area Bendungan Kaiti dan Bendungan Batang Samo, maka dipilihlah solusi dengan membangun bendung lagi pada Batang Pegadis untuk menambah kekurangan air tersebut. Menurut hasil penelitian pada tahun 2002, Batang Pegadis dapat memberikan tambahan air sebesar 680 ltr/det yang diperkirakan mampu mengairi daerah irigasi seluas 900 Ha. Namun setelah dilakukan penelitian lagi ternyata batang Pegadis hanya mampu memberikan tambahan air sebesar 400 ltr/det. Walaupun demikian Pemerintah Daerah Kabupaten Rokan Hulu tetap akan membangun Bendung Batang Pegadis ini pada tahun 2014. Air dari Bendung Pegadis ini disuplai kedalam saluran *suplesi* Kaiti – Samo pada jarak 3 km dari Bendungan Kaiti atau 4 km dari Bendungan Batang Samo. (Eka Putra dkk, 2008).

Pada tahun 2015 Balai Wilayah Sungai Sumatera III melakukan pengembangan sistem irigasi untuk Daerah Irigasi Okak Samo Kaiti (DI OSAKA) seluas ± 2.246 Ha dari luas potensial total DI OSAKA ± 3.246 Ha. Pembangunan dilaksanakan dari 2015 sampai

dengan 2017. Saluran irigasi ini dibangun karena adanya tambahan air dari Bendungan Pegadis, sehingga dapat memenuhi kebutuhan air untuk pengembangan sistem irigasi DI Samo Kaiti seluas potensialnya 1.654 Ha menjadi DI OSAKA seluas 3.246 Ha. Dengan adanya pengembangan sistem irigasi pada DI OSAKA dapat meningkatkan hasil pertanian dan kesejahteraan petani. Salah satu cara untuk meningkatkan hasil pertanian pada tiap satuan luasnya adalah dengan menggunakan pengaturan cara pemberian air irigasi yang baik dan juga agar lebih optimal. Tujuan utama dari penelitian ini adalah membangun model optimasi dengan program linier untuk menjamin ketersediaan air untuk tanaman padi dan jagung di Daerah Irigasi OSAKA serta mendapatkan keuntungan maksimum untuk setiap musim panen.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Model optimalisasi adalah penyusunan model suatu sistem yang sesuai dengan keadaan nyata, yang nantinya dapat diubah ke dalam model matematis dengan pemisahan elemen-elemen pokok agar suatu penyelesaian sesuai dengan sasaran atau tujuan pengambilan keputusan tercapai (Wijaya dkk, 1995). Pada dasarnya program linier memiliki tiga unsur penting (Wijaya dkk, 1995), yaitu Variabel Putusan merupakan variabel yang akan dicari dan memberi nilai yang paling baik bagi tujuan yang hendak dicapai, Fungsi Tujuan adalah fungsi matematika yang harus dimaksimalkan atau diminimumkan, dan mencerminkan tujuan yang hendak dicapai dan Fungsi kendala adalah fungsi matematika yang menjadi kendala bagi usaha untuk untuk memaksimalkan atau meminimumkan fungsi tujuan, mewakili kendala yang harus dicapai. Bentuk matematika untuk pemecahan masalah dengan Program Linier adalah sebagai berikut :

Fungsi tujuan maksimisasi

$$Z_{\max} = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad (1)$$

Fungsi kendala :

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1 \quad (2)$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2 \quad (3)$$

.....

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m \quad (4)$$

Non negativity :

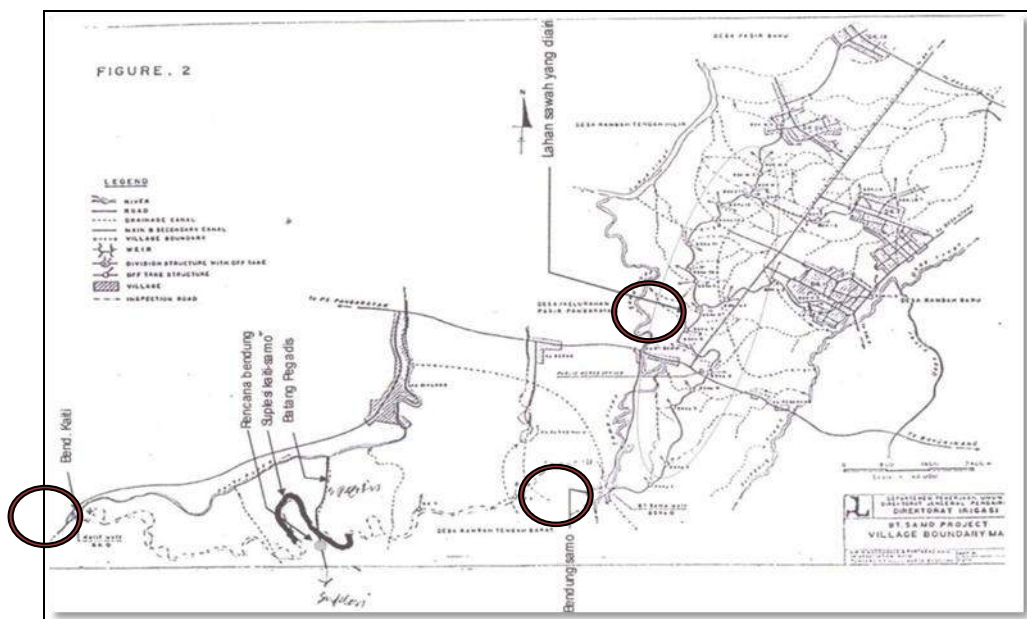
$$X_1 \geq 0; X_2 \geq 0; \dots ; X_n \geq 0 \quad (5)$$

Dimana Z_{\max} adalah fungsi tujuan (*objective function*), X_n adalah variabel, C_n adalah koefisien variabel (*cost*), a_{mn} adalah jumlah sumber daya m yang dikonsumsi oleh setiap unit kegiatan n, b_m adalah jumlah sumber daya m yang tersedia untuk

dialokasikan, m adalah jumlah sumber daya yang terbatas dan n adalah jumlah kegiatan yang memerlukan sumber daya yang terbatas.

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian adalah di Daerah Irigasi Okak Samo Kaiti (DI OSAKA) Desa Pasir Baru, Suka Maju, Sialang Jaya, Rambah Samo Tengah Barat, Rambah tengah Hilir, Kecamatan Rambah dan Desa Rambah Baru, Rambah Utama, Desa Pasir Makmur, Desa Karya Mukti Kecamatan Rambah Samo, Kabupaten Rokan Hulu, Provinsi Riau. Luas potensial DI OSAKA adalah 3.246 Ha dengan luas potensial sebelumnya adalah 1654 Ha.



Gambar 1 Lokasi Penelitian DI OSAKA Kabupaten Rokan Hulu

Model optimasi adalah penyusunan model suatu sistem yang sesuai dengan keadaan nyata, yang nantinya dapat diubah ke dalam model matematis dengan pemisahan elemen- elemen pokok agar suatu penyelesaian sesuai dengan sasaran atau tujuan pengambilan keputusan tercapai (Montarcih, 2008).

Model optimasi DI OSAKA merupakan salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan dalam pengelolaan dan pemanfaatan air yang didasarkan pada ketersediaan air irigasi di lokasi yang bersumber dari Bendung Kaiti Samo, Bendung Kaiti, dan Bendung Batang Pegadis dengan harapan mampu untuk menghasilkan keuntungan hasil produksi yang maksimum dengan jenis komoditi padi dan jagung. Untuk mendapatkan hasil yang realistis, maka penyusunan model optimasi menggunakan Program Linier harus mengacu pada persyaratan yang sesuai dengan kondisi di wilayah penelitian sebagai berikut ini :

1. Luas lahan total DI Kaiti Samo adalah 3.246 ha.
2. Hasil usaha tani pada wilayah penelitian disajikan pada tabel berikut :

Tabel 1. Keuntungan Usaha Tani Kabupaten Rokan Hulu

No	Jenis Komoditi	Keuntungan
1	Padi	Rp 11.182.217,93
2	Jagung	Rp 2.292.719,01

Sumber : Dinas Pertanian Kabupaten Rokan Hulu

3. Untuk ketersediaan air yang akan digunakan untuk mengoptimasi luas lahan ialah dengan menjumlahkan volume andalan sungai sesuai dengan musim tanam sebagai berikut :

Tabel 2. Volume Andalan

No	Bulan		Q _{80%} (m ³ /det)	Volume Andalan (m ³)
1	Januari	I	1,103	1429488
		II	1,103	1429488
2	Februari	I	1,103	1429488
		II	1,103	1429488
3	Maret	I	1,103	1429488
		II	1,103	1429488
4	April	I	1,103	1429488
		II	1,103	1429488
5	Mei	I	1,103	1429488
		II	1,103	1429488
6	Juni	I	1,103	1429488
		II	1,103	1429488
7	Juli	I	1,103	1429488
		II	1,103	1429488
8	Agustus	I	1,103	1429488
		II	1,103	1429488
9	September	I	1,103	1429488
		II	1,103	1429488
10	Oktober	I	1,103	1429488
		II	1,103	1429488
11	November	I	1,103	1429488
		II	1,103	1429488
12	Desember	I	1,103	1429488
		II	1,103	1429488

$$\text{Volume Andalan m}^3 = Q_{80\%} \times (60 \times 60 \times 24 \times 15)$$

Sumber: Perhitungan

Tabel 3. Kebutuhan Air Setiap Musim Tanam

Awal Tanam	Musim	Padi-Padi-Padi (m ³ /ha)	Padi-Padi-Palawija (m ³ /ha)
November I	MT I	6.877,71	4.703,76
	MT II	6.596,17	4.394,76
	MT III	6.486,20	4.427,96

Sumber: Perhitungan

3.1 Pemodelan Optimasi Program Linier

\Model matematis untuk analisa optimasi menggunakan Program Linier terdiri dari fungsi tujuan untuk memaksimalkan keuntungan bersih (Z) dan fungsi kendala adalah menetapkan batasan-batasan dalam melakukan analisa optimasi :

1. Fungsi Tujuan

Optimasi yang dicari adalah kombinasi luasan sawah yang ditanami padi dan jagung. Maka untuk membangun rumusan matematis disusun merupakan fungsi dari dua peubah yaitu X_p dan X_j yang masing-masing menunjukkan besarnya luasan areal baku sawah yang ditanami berturut-turut tanaman padi dan jagung. Tujuannya adalah memaksimalkan keuntungan bersih (Z), maka tersusun persamaan 6 sebagai berikut.

$$\text{Maksimalkan } Z = C_p \cdot X_p + C_j \cdot X_j \quad (6)$$

Nilai keuntungan bersih masing-masing tanaman, berdasarkan data yang dikumpulkan dari Dinas Pertanian dan Dinas Ketahanan Pangan dan Perikanan Kabupaten Rokan Hulu, adalah untuk padi (C_p) sebesar Rp. 11.182.217,93/ha, untuk jagung (C_j) sebesar Rp. 2.292.719,01/ha. Sehingga persamaan 6 dapat dirubah menjadi persamaan 7

$$\text{Maksimalkan } Z = 11.182.217,93 X_p + 2.292.719,01 X_j \quad (7)$$

2. Fungsi Kendala

Kendala adalah batasan-batasan dalam melakukan analisa optimasi. Untuk mencari pendekatan antara kenyataan yang ada terhadap metode yang dipakai, maka pada analisis ini dilakukan dengan mengambil batasan-batasan sebagai berikut :

- Pendekatan perhitungan optimasi berdasarkan pada satu pola tanam. Dalam analisis ini dilakukan pada bulan Maret sampai dengan Juni.
- Volume andalan saluran irigasi dan saluran suplesi DI OSAKA adalah 1.355.824 m³ (V_w)

- Daerah Irigasi Okak Samo Kaiti mempunyai luas areal 1.517 ha (A_{total}), dianggap seluruhnya ditanami dengan jenis tanaman padi dan jagung. (Sumber : SP Lahan Dinas Pertanian, 2016)
- Berdasarkan pertimbangan faktor-faktor sosial ekonomi maka luas masing-masing tanaman diberi batasan sebagai berikut :
 - a) Luas padi minimal 25 % dari luas areal seluruhnya.
 - b) Luas jagung minimal 5 % dari luas areal seluruhnya.

Terdapat enam rumusan kendala, yaitu : **pertama** batasan volume andalan saluran irigasi dan saluran suplesi DI OSAKA, **kedua** batasan luas maksimal keseluruhan Daerah Irigasi, **ketiga hingga keempat** adalah batasan luas minimal penanaman untuk dua jenis tanaman yaitu padi dan jagung.

- **Kendala pertama**

Batasan volume andalan bendungan Batang Samo, bendungan Kaiti dan bendungan Batang Pegadis yang diharapkan selama musim kemarau (Maret sampai Juni) dapat ditunjukkan dalam rumus persamaan 8 sebagai berikut :

$$V_p \cdot X_p + V_j \cdot X_j \leq V_w \quad (8)$$

Dimana V_p dan V_j adalah volume air selama satu musim tanam pada Maret sampai dengan Juni yang dibutuhkan setiap jenis tanaman per satuan luas. Besarnya volume air tersebut adalah berturut-turut untuk tanaman padi (V_p) adalah 6.877,71 m³/ha dan jagung (V_j) adalah 4.703,76 m³/ha. Sedangkan V_w adalah volume andalan Bendung Batang Samo, Bendung Kaiti dan Bendung Batang Pegadis sebesar 1.429.488 m³. Maka persamaan kendala untuk batasan volume andalan Bendung Batang Samo, Bendung Kaiti dan Bendung Batang Pegadis pada persamaan (8) menjadi persamaan (9) :

$$6.877,71 X_p + 4.703,76 X_j \leq 1.429,488 \quad (9)$$

- **Kendala kedua**

Luas baku sawah yang tersedia adalah merupakan jumlah luas penanaman untuk keseluruhan dari kedua jenis tanaman, dengan mengikuti persamaan 10.

$$X_p + X_j \leq A_{bs} \quad (10)$$

Luas baku sawah, A_{bs} adalah sebesar 1.517 ha yang dalam hal ini sebagai batasan maksimal sawah yang dapat ditanami. Sehingga rumusan kendala menjadi seperti persamaan 11 sebagai berikut :

$$X_p + X_j \leq 1.517 \quad (6)$$

- **Kendala ketiga hingga keempat**

Luas areal yang ditanami padi dan jagung dengan mengikuti persamaan 11 dan 12 yaitu sebagai berikut :

$$X_p \leq A_p \quad (12)$$

$$X_j \leq A_j \quad (13)$$

Dimana A_p dan A_j adalah batasan minimal luasan areal yang ditanami padi dan jagung. Luasan areal tersebut berturut-turut untuk tanaman padi sebesar 10 % dari luas baku sawah atau seluas 151,7 ha, untuk jagung seluas 5 % dari luas baku sawah atau seluas 75,85 ha. Sehingga persamaan 7 dan 8 dapat ditulis kembali sebagai persamaan 14 dan 15.

$$X_p \leq 151,7 \quad (14)$$

$$X_j \leq 75,85 \quad (15)$$

- **Kendala kelima hingga keenam**

Kemudian dari persamaan-persamaan (7), (9), (11), (14), (15), dan ditambah satu lagi batasan besaran X_p dan X_j adalah peubah-peubah tidak negatif (*non-negativity variable*), dengan kata lain peubah-peubah tersebut mempunyai nilai lebih besar atau sama dengan nol

$$X_p \geq 0 \quad (16)$$

$$X_j \geq 0 \quad (17)$$

- **Rumusan Program Linier**

Kemudian dari persamaan-persamaan (2), (4), (6), (9), (10), dan ditambah satu lagi batasan besaran X_p dan X_j adalah peubah-peubah tidak negatif (*non-negativity variable*), dengan kata lain peubah-peubah tersebut mempunyai nilai lebih besar atau sama dengan nol, maka dapat disusun satu perangkat rumusan Program Linier sebagai berikut :

Fungsi Tujuan

$$\text{Maksimalkan } Z = 11.182.217,93 X_p + 2.292.719,01 X_j$$

Fungsi Pembatas :

$$6.877,71 X_p + 4.703,76 X_j \leq 1.429.488$$

$$X_p + X_j \leq 1.517$$

$$X_p \leq 151,7$$

$$X_j \leq 75,85$$

$$X_p \geq 0$$

Selanjutnya persamaan fungsi tujuan dan persamaan fungsi pembatas tersebut di atas, dimasukkan sebagai input pada program bantu QM for Windows 3 yang disusun seperti tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Input Model Optimasi Awal Tanam

Objective		Instruction			
<input checked="" type="radio"/> Maximize <input type="radio"/> Minimize		Enter the name for this constraint. Almost any character is			
	X_p	X_j		RHS	Equation form
Maximize	11182220	2292719			Max 1.118222E+07 X_p +
Kendala Pertama	6877.71	4703.76	<=	1429488	6877.71 X_p + 4703.76 X_j <=
Kendala Kedua	1	1	<=	1517	X_p + X_j <= 1517
Kendala Ketiga	1	0	>=	151.7	X_p >= 151.7
Kendala Keempat	0	1	>=	75.85	X_j >= 75.85

Untuk hasil running program bantu QM for Windows 3 dengan menggunakan input yang telah tersusun seperti pada Tabel 1 di atas, maka akan diperoleh nilai keuntungan bersih (Z) sebesar Rp. 9.573.685.000,00 dengan komposisi luasan masing-masing tanaman pada musim tanam I (awal musim Maret periode I) untuk luasan tanaman padi (X_p) 840,60 ha dan luasan tanaman jagung (X_j) 75,85 ha

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa besar keuntungan maksimum dari hasil optimasi menggunakan pendekatan Riset Operasi *Mathematical Programming* (MP) dari Program Linier untuk diaplikasikan di DI OSAKA adalah sebesar Rp. 9.573.685.000,00 dengan komposisi luasan masing-masing tanaman pada musim tanam I (awal musim Maret periode I) untuk luas tanaman padi 840.60 ha dan luas tanaman jagung 75.85 ha.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abror, M. 2014. Optimasi Pola Tanam Irigasi dengan Menggunakan Program Linear (Studi Kasus di Kaiti Samo Kabupaten Rokan Hulu). Tugas Akhir Program Sarjana (S1), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau. Pekanbaru (unpublished).
- Yulianri, R. 2014. Optimasi Alokasi Air Untuk Irigasi Dengan Menggunakan Program Linier (Studi Kasus Daerah Irigasi Air Manjuntjo Kiri Kabupaten Mukomuko).

- Tugas Akhir Program Sarjana (S1), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Bengkulu. Pekanbaru (unpublished).
- Putra, K. A. C. E, Pratama, H. 2008. Perencanaan Bangunan Suplesi Pegadis Daerah Irigasi Batang Samo Riau. Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil D3, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang (unpublished).
- Riyawan, E, Andri. 2014. Optimasi Pola Tanam Daerah Irigasi Kaiti Samo Kabupaten Rokan Hulu Menggunakan Program Linier, Laporan Tugas Mata Kuliah Manajemen Sumber Daya Air (MSDA), Program Studi Magister, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau. Pekanbaru (unpublished).
- Talitha, J. 2010. Studi Optimasi Pola Tanam pada Daerah Irigasi Jatiroto dengan Menggunakan Program Linier, Tugas Akhir Program Sarjana (S1), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Surabaya (unpublished).
- Wijaya, F, Anwar, N. 1995. Analisa Optimasi Pengoperasian Waduk Pancal Menggunakan Program Linier, Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XII Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI), Surabaya

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai (BWS) III Sumatera dan Dinas Pertanian Kabupaten Rokan Hulu, Dinas Ketahanan Pangan Kabupaten Rokan Hulu, Dinas Peternakan dan Perikanan Kabupaten Rokan Hulu yang telah berkenan memberi ijin dan penggunaan data – data guna mendukung penelitian ini dan Muhammad Ikhsanudin, AMd yang telah membantu mengumpulkan data-data untuk melengkapi kajian penelitian.

PENILAIAN INDEKS KINERJA DAERAH IRIGASI SIMANDOLAK-PANGEAN

Manyuk Fauzi¹, Siswanto¹, Ermiyati¹

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Email: manyukfauzi@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

The Simandolak-Pangean irrigation area is one of the irrigation areas in Riau province where the authority is in the central government. In accordance with PUPR Regulation No. 14 of 2015 the area of Simandolak-Pangean irrigation area is 3.034 Ha. The sustainability of the function of the irrigation network system must receive attention. Thus assessing the performance of the irrigation system becomes important. With the performance evaluation, the real need for maintenance operations is obtained. Irrigation network maintenance operation itself is a series of efforts to regulate irrigation water including its disposal and efforts to maintain and secure the irrigation network so that it always functions properly. The guideline used in evaluating the performance of irrigation network systems is Minister of PUPR Regulation No. 12 of 2015. The results of the study show that the performance index of the main irrigation system of the irrigation area of Siamdolak-Pangean, Kuantan Singingi Regency, Riau Province is 65.79% or has less performance.

Keywords : irrigation area, performance index, operation maintenance, simandolak-pangean

ABSTRAK

Daerah irigasi Simandolak-Pangean merupakan salah satu daerah irigasi yang berada di provinsi Riau dimana kewenangannya ada di pemerintah pusat. Sesuai Permen PUPR Nomor 14 Tahun 2015 luasan daerah irigasi Simandolak-Pangean 3.034 Ha. Keberlanjutan dari fungsi sistem jaringan irigasinya harus mendapat perhatian. Dengan demikian penilaian kinerja dari sistem irigasi tersebut menjadi penting. Dengan adanya penilaian kinerja tersebut maka diperoleh angka kebutuhan nyata operasi pemeliharaan. Operasi pemeliharaan jaringan irigasi sendiri merupakan serangkaian upaya pengaturan air irigasi termasuk pembuangannya dan upaya menjaga serta mengamankan jaringan irigasi agar selalu berfungsi dengan baik. Pedoman yang digunakan dalam penilaian kinerja sistem jaringan irigasi adalah Peraturan Menteri PUPR Nomor 12 Tahun 2015. Hasil kajian menunjukkan bahwa indeks kinerja sistem jaringan irigasi utama daerah irigasi Siamdolak-Pangean Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau adalah 65,79% atau memiliki kinerja kurang.

Kata Kunci : daerah irigasi, indeks kinerja, operasi pemeliharaan, simandolak-pangean

7. PENDAHULUAN

Daerah irigasi (DI) Simadolak-Pangean sesuai Peraturan Menteri PUPR Nomor 14 tahun 2015 merupakan daerah irigasi (permukaan) yang menjadi kewenangan pemerintah pusat. Pasal 9 Peraturan Menteri PUPR No. 14/2015 menyatakan bahwa

pemerintah pusat mempunyai wewenang dan tanggungjawab melakukan pengembangan dan pengelolaan sistem irigasi primer dan sekunder pada daerah irigasi yang luasnya lebih dari 3000 ha, daerah irigasi lintas daerah provinsi, daerah irigasi lintas negara, dan daerah irigasi strategis nasional. Daerah irigasi Simandolak-Pangean sebagaimana lampiran Peraturan Menteri PUPR No. 14/2015 memiliki luas 3.034 ha. Daerah irigasi Simandolak-Pangean menurut sejarahnya merupakan gabungan dari DI Simandolak dan DI Pangean.

DI Simandolak sendiri terdiri dari DI Simandolak 1 dan DI Simandolak 2 dengan luasan masing-masing secara berurutan 976 Ha dan 1.087 Ha. DI Simandolak 1 berada di wilayah administrasi desa Tebing kecamatan Benai, sedangkan DI Simandolak 2 berada di desa Jalur Patah kecamatan Sentajo Raya. Sementara itu, DI Pangean memiliki luas 971 Ha dan berada di wilayah administrasi desa Pangean kecamatan Pangean. Usia guna dari masing-masing bendung mencapai 48 tahun untuk bendung Simandolak 1, 43 tahun untuk bendung Simandolak 2 dan 37 tahun untuk bendung Pangean. Dengan semakin besar usia guna suatu sarana/prasarana maka perlu mendapat perhatian lebih untuk kegiatan operasi pemeliharannya. Dengan demikian besarnya angka kebutuhan nyata operasi pemeliharaan menjadi sangatlah penting bagi sistem DI Simandolak-Pangean.

Kajian tentang Angka Kebutuhan Nyata Operasi dan Pemeliharaan (AKNOP) Irigasi yang menjadi kewenangan Pemerintah Pusat belum terpenuhi sebagaimana yang diharapkan, dimana masih terdapatnya kesimpangsiuran data inventarisasi sarana/prasarana jaringan irigasi. Dampaknya perencanaan fisik maupun perencanaan operasi dan pemeliharaan jaringan irigasi belum maksimal menyentuh lokasi-lokasi baik yang memerlukan pembangunan, peningkatan, rehabilitasi, maupun pemeliharaan saja. Namun sebelum menetapkan besarnya AKNOP, dibutuhkan adanya suatu penilaian kinerja dari sistem jaringan irigasi yang ada. Penilaian Kinerja adalah menilai kinerja sarana/prasarana yang ditinjau secara teknis dan sesuai dengan Undang-undang/Peraturan lain yang berkaitan dengan kegiatan tersebut. Menurut Kusumo (2013) penilaian kinerja merupakan bentuk dari kegiatan pemantauan dan evaluasi dari suatu sarana/prasaran guna mendapatkan data-data penyusunan program. Sedangkan AKNOP sendiri merupakan Angka Kebutuhan Nyata Operasi dan Pemeliharaan yang memberikan prinsip, justifikasi, serta estimasi dan evaluasi dari kegiatan operasi dan pemeliharaan yang akan dikerjakan termasuk komponen biayanya. Penilaian Kinerja dan AKNOP ini menjadi acuan (*reference*) penentuan skala kegiatan operasi dan pemeliharaan kedepan.

McLoughlin (2007) menyatakan bahwa sistem irigasi dan drainase akan mengalami penurunan pada kemampuan dan kinerja, apalagi jika pelaksanaan operasi pemeliharaan berjalan dengan tidak cukup baik. Penelitian pada daerah irigasi Simandolak-Pangean telah dilakukan Supriadi (2006) tentang kebutuhan biaya operasi pemeliharaan. Namun hasil penelitian tidak menunjukkan besarnya indeks kinerja daerah irigasi Simandolak-Pangean. Penyusunan anggaran Operasi Pemeliharaan (OP) suatu daerah irigasi harus melalui evaluasi kinerja sistem, dimana hal tersebut merupakan amanat Peraturan Menteri PUPR No. 12/2015. Masalah periodisasi penilaian kinerja sesuai peraturan harus dilakukan tiap tahun. Tri Rahajeng (2011) dalam hasil kajiannya juga menyatakan

bahwa penilaian kinerja sistem irigasi sebaiknya dilakukan setiap tahun, hal tersebut guna penyusunan program tindak lanjut seperti perbaikan berat, rehabilitasi serta operasi dan pemeliharaan jaringan irigasi yang lebih terarah dan tepat guna.

8. METODOLOGI

Rencana kegiatan operasi pemeliharaan dalam AKNOP berbasis kinerja dan berbasis *outcome* dalam indikator kegiatan dan pelaksana kegiatan dinyatakan dalam suatu matriks pendanaan operasi pemeliharaan. Secara ringkas dapat disampaikan bahwa nilai strategis kegiatan operasi dan pemeliharaan sebagai berikut :

- a. Menjamin umur teknis infrastruktur sumber daya air. Kegiatan OP bertujuan untuk menjaga tingkat keberfungsian infrastruktur sumber daya air sesuai dengan umur teknis. Bahkan dengan OP yang baik, infrastruktur sumber daya air dapat difungsikan melebihi umur teknisnya.
- b. Perhatian Pemerintah terhadap OP. Pemerintah Pusat mendorong pemenuhan kebutuhan Operasi dan Pemeliharaan sarana dan prasarana sumber daya air, seperti pemenuhan Angka Kebutuhan Nyata Operasi dan Pemeliharaan (AKNOP) pada pengelolaan irigasi. Namun saat ini masih perlu dilakukan peningkatan kapasitas SDM pelaksana OP.
- c. Mendorong Pemerintah Daerah untuk pengalokasian OP. Melalui arah kebijakan Dana Alokasi Khusus (DAK) Bidang Irigasi, Pemerintah Daerah didorong untuk mengalokasikan kegiatan Operasi dan Pemeliharaan melalui APBD sebagai dana pendamping DAK bidang Irigasi.

Penilaian indeks kinerja sistem irigasi sesuai Permen PUPR No. 12/2015 meliputi : a). prasarana fisik; b). produktivitas tanaman; c). sarana penunjang; d). organisasi personalia; e). dokumentasi dan f). kondisi kelembagaan P3A. Indikator dan bobot guna evaluasi indeks kinerja sistem irigasi dapat digambarkan sebagai berikut :

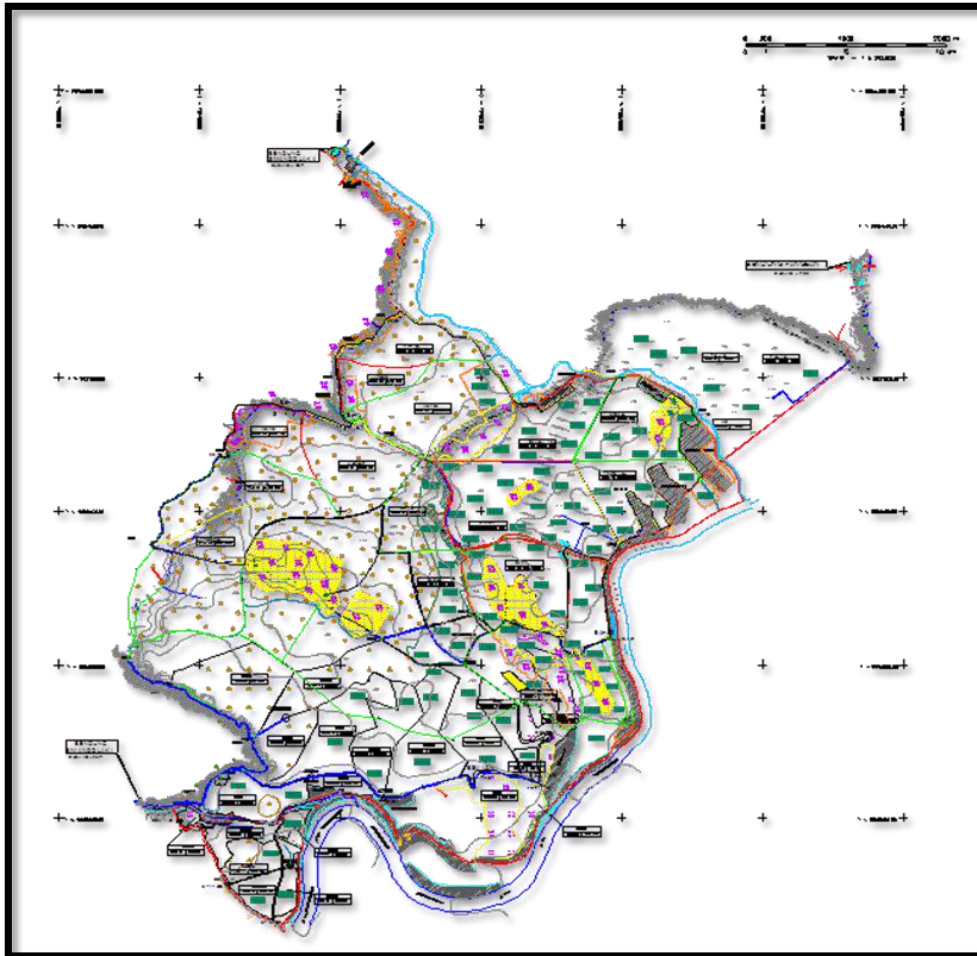


Gambar 43. Indikator dan Bobot Penilaian Indeks Kinerja Sistem Daerah Irigasi

Berdasarkan Indeks Kinerja Sistem Irigasi (IKSI) maka interpretasi dari nilai indeks kinerja sistem irigasi sebagai berikut :

- a) 80-100 : kinerja sangat baik
- b) 70-79 : kinerja baik
- c) 55-69 : kinerja kurang dan perlu perhatian
- d) < 55 : kinerja jelek dan perlu perhatian

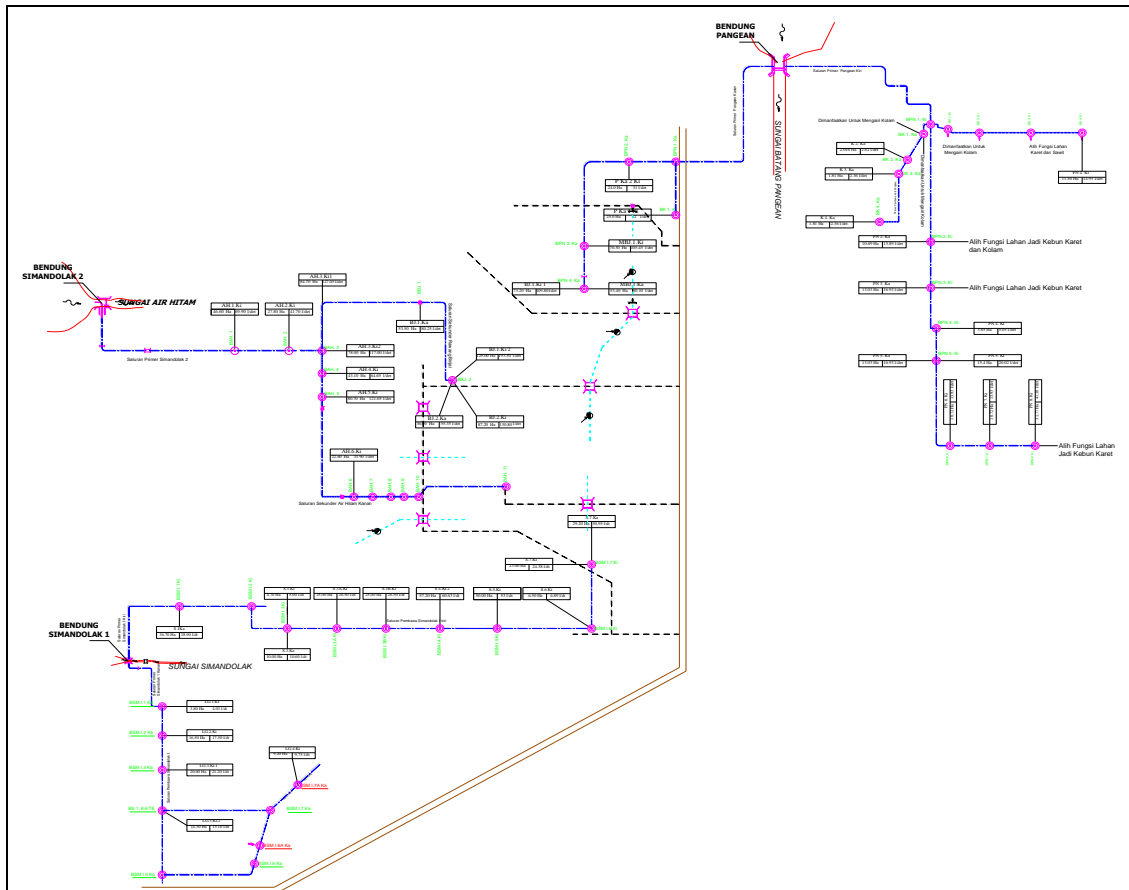
Peta situasi daerah irigasi Simandolak-Pangean yang berada di Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Situasi Daerah Irigasi Simandolak-Pangean

9. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelusuran merupakan kegiatan penting dalam penilaian indeks kinerja sarana/prasarana daerah irigasi. Data yang diperoleh merupakan potret kondisi riil, dan pada akhirnya harus dilakukan penilaian terhadap kondisi yang terekam sesuai peraturan yang berlaku. Penelusuran dilaksanakan berdasarkan peta skema jaringan irigasi dan peta skema bangunan irigasi. Skema jaringan irigasi Simandolak-Pangean ditampilkan pada Gambar 3.

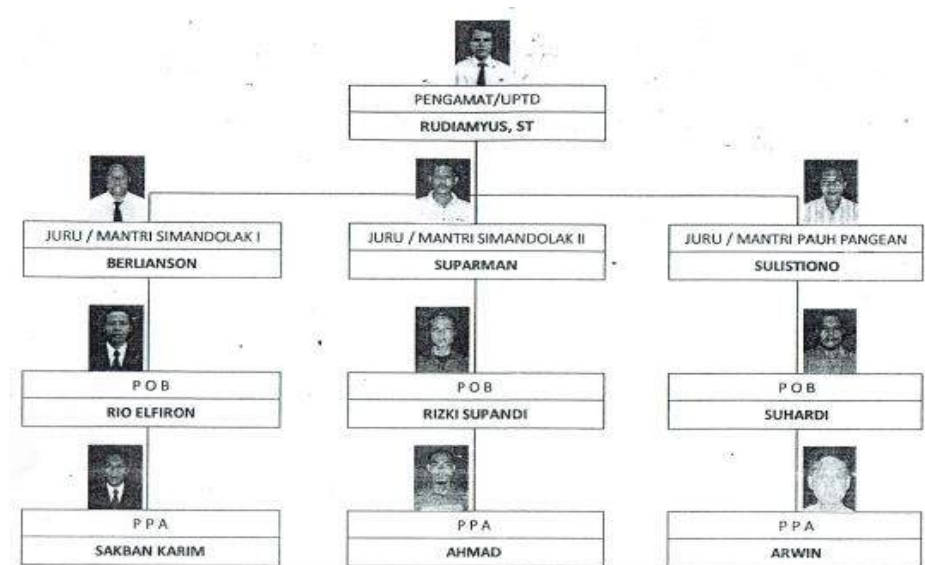


Gambar 3. Skema Jaringan Irigasi Simandolak-Pangean

Sesuai Gambar 3, maka DI Simandolak I terdiri atas 2 *intake*, dimana *intake* kiri melayani luas baku sawah sebesar 700 ha dalam 3 desa, yaitu desa Tebing Tinggi, desa Koto Simandolak, dan desa Pulo Ingu, sedang yang sebelah kanan melayani luas efektif lahan sawah sebesar 276 Ha dalam 1 desa, desa Tebing Tinggi. Sementara itu, DI Simandolak 2 yang membendung Sei Pulo Loeh, melayani irigasi 2 desa, yaitu desa Jalur Patah di Kecamatan Sentajo Raya dan desa Rawang Binjai di kecamatan Pangean. Bendung Simandolak 2, hanya terdapat 1 buah *intake*, merupakan saluran primer kanan dengan area layanan 1.087 ha. Sedangkan sumber air daerah irigasi Pangean adalah batang Pangean, dengan target layanan seluas 971 ha, serta melayani irigasi di 5 desa, yaitu desa Penghijauan, desa Pauh Anget Hulu, desa Koto Tinggi, desa Pulo Tengah, dan desa Pulo Kumpai. Bendung Pangean

mempunyai 2 pintu intake, terdiri dari saluran primer kiri yang melayani lahan sawah 546 Ha dari 3 desa, desa Koto Tinggi, desa Pulo Tengah dan desa Pulo Kumpai, selanjutnya saluran primer kanan memiliki luas layanan sebesar 425 Ha untuk 2 desa, desa Penghijauan dan desa Pauh Anget Hulu.

Dengan area irigasi mencapai 3.034 ha, DI Simandolak Pangean dikelola oleh 10 orang staf. Staf tersebut terdiri dari pengamat atau Unit Pengelola Teknis Daerah (UPTD), juru/mantri bendung Simandolak 1, juru/mantri Simandolak 2, juru/mantri Pangean, petugas operator bendung (POB) dan petugas pintu air (PPA). Status kepegawaian staf tersebut terdiri dari 1 staf berstatus aparatur sipil negara atau pegawai negeri sipil, sedangkan lainnya non PNS. Struktur organisasi atau kelembagaan daerah irigasi Simandolak-Pangean sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Organisasi Daerah Irigasi Simandolak-Pangean

Dalam Fauzi (2017), beberapa data selain prasarana fisik, dalam kajian ini diperoleh berdasarkan dokumen-dokumen yang ada serta hasil wawancara dengan pengamat dan juru. Informasi yang berhubungan dengan evaluasi kinerja antara lain :

- a. Kondisi jaringan yang mengalami kerusakan dan penyebabnya.
- b. Kelembagaan.
- c. Produktivitas panen padi mencapai 4,5 ton/ha.
- d. Kegiatan kelompok tani termasuk perannya dalam kegiatan pemeliharaan.
- e. Ketersediaan kantor, rumah dinas, kendaraan bermotor dan alat-alat untuk kegiatan operasi pemeliharaan.
- f. Riwayat kegiatan operasi pemeliharaan yang sudah dilakukan pada tahun-tahun sebelumnya beserta biaya yang harus dikeluarkan.

Berdasarkan data-data tersebut di atas serta hasil penelusuran lapangan maka dilakukan analisis evaluasi kinerja sarana/prasarana daerah irigasi Simandolak-Pangean sebagaimana Tabel 1.

Tabel 25. Indeks Kinerja Daerah Irigasi Simandolak-Pangean

No.	Komponen	Yang Ada (%)	Maksimum (%)	Maksimum (%)	Optimum (%)
1	Prasarana fisik	28,22	45,0	25,0	35,0
2	Produktivitas tanam	11,57	15,0	10,0	12,5
3	Sarana penunjang	2,00	10,0	5,0	7,5
4	Organisasi personalia	13,40	15,0	7,5	10,0
5	Dokumentasi	3,10	5,0	2,5	5,0
6	Kelembagaan P3A/GP3A/IP3A	7,50	10,0	5,0	7,5
	Total	65,79	100,0	55,0	77,5

Hasil kajian menunjukkan bahwa nilai indeks kinerja berada dalam interval 55% hingga 69%. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa indeks kinerja sarana/prasarana daerah irigasi Simandolak-Pangean adalah kurang dan perlu perhatian.

10. DAFTAR PUSTAKA

- Fauzi, M., Sandhyavitri A., Sutikno S. 2017. Penilaian Indeks Kinerja Daerah Irigasi Berdasarkan Peraturan Menteri PUPR Nomor 12 Tahun 2015, Kongsferensi Nasional Teknik Sipil dan Infrastruktur-1, Universitas Jember, Jember
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. *Penilaian Kinerja Sistem Irigasi (Permukaan) Kewenangan Pusat*. Workshop Penilaian Kinerja Sistem Irigasi (Permukaan) Kewenangan Pusat, Jakarta, 29-30 Maret 2017
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2015. Peraturan Menteri PUPR No. 14/PRT/M/2015 tentang Kriteria dan Penetapan Status Daerah Irigasi. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2015. Peraturan Menteri PUPR No. 12/PRT/M/2015 tentang Eksploitasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta
- Kusumo, S. E., Hadiani, R. R. dan Sobriah. 2013. Kinerja Dan Angka Kebutuhan Nyata Operasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi Tambak Desa Tluwuk Kabupaten Pati, Jurnal Teknik Sipil, Magister Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, 4(1), 32-39
- McLoughlin. 2007. *O&M Budget Irrigation System Level in Third World : Economic and Explore Alternative*, Journal of The American Water Resources Association, 4 (3), 599-607
- Supriadi dan Jayadi, R. 2006. Analisis Kebutuhan Biaya Operasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi di Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau : Studi Kasus di Daerah Irigasi Simadolak, Tesis, Universitas Gajah Mada
- Tri Rahajeng, Sobriyah dan Wahyudi, A.H. 2012. Kinerja Sistem Irigasi Daerah Irigasi (DI) Krisak Kabupaten Wonogiri, Tesis, Universitas Sebelas Maret

OPTIMALISASI PENGGUNAAN LAHAN POLA AGROFORESTRI DI WADUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR KOTO PANJANG MENGUNAKAN PROGRAM LINIER

Nurdin¹, Imam Suprayogi², Joleha³

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email:
Nurdin.gis@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email:
drisuprayogi@yahoo.com

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email:
jolehas@yahoo.com

ABSTRACT

ABS Simple and complex agroforestry pattern that are run simultaneously in the cultivation area in the Koto Panjang Hydroelectric Power Reservoir (PLTA) based on ArcSWAT simulations that provide surface flow (Q_{surf} as large as 37.20 mm far smaller than Q_{surf} (existing land use in 2014) = 102.12 mm. The types of plants that can support simple and complex agroforestry patterns are those that are in accordance with the principle of conservation of land from local plants in the catchment area. Four types of plant fillings namely; coffee and cocoa for simple agroforestry patterns, gambier and ambon / kepok bananas for complex agroforestry patterns are the types of plants that predominate as filler types in catchments. To optimize the land with these types of fillers were analyzed using Quantitative Methods (QM) software for Windows 4 based on objective functions and constraint functions produce coffee filler types in simple agroforestry patterns and gambier for complex agroforestry patterns. If prior to optimizing the land by planting coffee, cocoa, gambier and ambon / kepok bananas, a net profit of Rp. 359,113,963,811,06. The optimal results of developing land with filler types that are feasible to be developed are only coffee plants and gambier plants, while for cacao and ambo / kepok bananas only in accordance with the available area, so a net profit of Rp. 951,426,300,000 with an increase in economic value of Rp. 592,312,336,188.94 for one year.

Keywords : Land use scenarios, Decreasing runoff, Filling plants, Land Optimization

ABSTRAK

Pola agroforestri sederhana dan kompleks yang dijalankan secara bersamaan pada kawasan budidaya di DTA Waduk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Koto Panjang berdasarkan simulasi ArcSWAT yang memberikan aliran permukaan (Q_{surf} sebesar 37,20 mm jauh lebih kecil dari Q_{surf} (eksisting penggunaan lahan tahun 2014) = 102,12 mm. Jenis tanaman yang dapat mendukung pola agroforestri sederhana dan kompleks tersebut adalah jenis tanaman yang sesuai prinsip konservasi lahan dari tanaman lokal di lingkungan DTA. Empat jenis tanaman pengisi yakni; kopi dan kakao untuk pola agroforestri sederhana, gambir dan pisang ambon/kepok untuk pola agroforestri kompleks adalah jenis tanaman yang mendominasi sebagai jenis tanaman pengisi di DTA. Untuk

mengoptimalkan lahan dengan jenis tanaman pengisi tersebut dianalisis menggunakan software Quantitative Methods (QM) for Windows 4 berdasarkan fungsi tujuan dan fungsi kendala menghasilkan jenis tanaman pengisi kopi pada pola agroforestri sederhana dan gambir untuk pola agroforestri kompleks. Jika sebelum optimalisasi lahan dengan penanaman kopi, kakao, gambir dan pisang ambon/kepok, maka diperoleh keuntungan bersih sebesar Rp. 359.113.963.811,06. Hasil optimalisasi pengembangan lahan dengan jenis tanaman pengisi yang layak dikembangkan hanya jenis tanaman kopi dan tanaman gambir, sedangkan untuk kakao dan pisang ambo/kepok hanya sesuai luasan yang ada, sehingga diperoleh keuntungan bersih sebesar Rp. 951.426.300.000 dengan peningkatan nilai ekonomi sebesar Rp. 592.312.336.188,94 selama satu tahun.

Kata Kunci : Skenario penggunaan lahan, Penurunan limpasan, Tanaman pengisi, Optimalisasi lahan.

1. PENDAHULUAN

Daerah Tangkangan Air (DTA) Waduk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Kotopanjang berada dalam tiga Kabupaten yakni, Kampar seluas 73.506,46 ha (22,25%), Pasaman, dan Lima Puluh Kota seluas 256.816,96 ha (22,25%). Merujuk dari Nurdin *et al* (2019), didalam Peta Penggunaan lahan tahun 2014 kawasan ini mempunyai kawasan hutan seluas 142,160.07 ha (44.431%) dan kawasan budidaya seluas 177,799.41 ha (55.569%) dari luas daratan DTA. Berdasarkan BPS Kabupaten Pasaman (2016) DTA yang didominasi Kecamatan Mapat Tunggul Selatan dengan pertumbuhan penduduk 1,56% dan BPS Kabupaten Lima Puluh Kota (2016) diaman DTA pada kabupaten ini didominasi oleh Kecamatan Kapur IX dengan pertumbuhan penduduk 1,02%, Kecamatan Bukik Barisan dengan pertumbuhan penduduk 0,85%, Kecamatan Pangkalan Koto Baru dengan pertumbuhan 0,82%. Sedangkan berdasarkan BPS Kabupaten Kampar (2016) DTA di kabupaten terdapat pada Kecamatan XIII Koto Kampar dengan pertumbuhan penduduk 1,48%, dan Kecamatan Koto Kampar Hulu dengan pertumbuhan penduduk 3,81%. Menurut Suasti *et al* (2012) pertumbuhan penduduk yang cenderung meningkat mengakibatkan proses pembangunan yang berlangsung juga sangat pesat, sehingga menyebabkan perubahan pola penggunaan lahan, dimana ruang terbangun semakin mendominasi dan mendesak ruang-ruang alami untuk berubah fungsi.

Menurut Nurdin *et al* (2019) penggunaan ArcSWAT 2012 telah melakukan tiga skenario terhadap penggunaan lahan tahun 2014 yang bertujuan untuk memperkecil koefisien limpasan menjaga ketersediaanair yang berkelanjutan di DTA Waduk PLTA Koto Panjang. Pada skenario III penerapan gabungan pola agroforestri sederhana + kompleks yang dijalankan secara bersamaan pada kawasan budidaya di DTA, dimana skenario I (agroforestri sederhana) direncanakan pada kawasan pertanian lahan kering, perkebunan, sawah, tanah terbuka dengan luas lahan 103.608,34 ha (32,38%), skenario II (agroforestri kompleks) direncanakan pada kawasan pertanian lahan kering bercampur semak, semak/belukar dengan luas lahan 72.273,11 ha (22,56%) dan skenario III (agroforestri sederhana + agroforestri kompleks) dengan luas lahan 175.881,45 (54,94%) dari luas daratan DTA. Penggunaan lahan pada skenario III ini dapat memberikan aliran permukaan (Q_{surf} sebesar 37,20 mm jauh lebih kecil dari Q_{surf} (eksisting) = 102,12 mm.

Penggunaan lahan pada skenario III pada kawasan budidaya di DTA Waduk PLTA Koto Panjang telah memberikan aliran permukaan Q_{surf} yang lebih baik, namun penggunaan tanaman pengisi pada pola agroforestri sederhana dan kompleks yang cocok dan optimal dalam memberikan nilai ekonomi pada masyarakat sekitar DTA belum diketahui. Untuk mendapatkan penggunaan lahan sebagai tanaman pengisi pada pola agroforestri sederhana dan kompleks yang optimal dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak program linier *Quantity Methode (QM) For Windows*.

2. STUDI PUSTAKA

Rao (1984) mengungkapkan, model dalam Riset Operasi diantaranya Teknik Pemrograman Matematika berguna untuk mencari harga optimum fungsi beberapa variabel yang memenuhi sekumpulan kendala. Beberapa model diantaranya melibatkan penggunaan kalkulus dan metode numerik dalam penyelesaiannya. Model-model yang termasuk dalam teknik ini antara lain : Metode Kalkulus, Pemrograman Tak Linier, Pemrograman Geometri, Pemrograman Kuadratis, Pemrograman Linier, Pemrograman Dinamis, Pemrograman Bilangan Bulat, Metode Jaringan : CPM dan PERT, Teori Permainan, Pemrograman Terpisah, Pemrograman Sasaran Ganda, dll (Siang,2014 : 4).

Program linear merupakan salah satu solusi untuk memperoleh hasil maksimal dan membantu menyelesaikan persoalan yang dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Permasalahan yang bisa diselesaikan dengan program linear adalah yang berkaitan dengan memaksimalkan ataupun meminimalkan sesuatu. Seorang matematikawan Rusia L.V. Kantorovich pada tahun 1939 berhasil menemukan pemecahan masalah yang berkaitan dengan program linier. Pada waktu itu Kantorovich bekerja pada kantor perusahaan Uni Soviet. Dia diberi tugas untuk mengoptimalkan produksi pada industri plywood. Kantorovich kemudian muncul dengan teknik matematis yaitu sebagai pemrograman linier. Matematikawan Amerika: George B. Dantzig secara independen juga mengembangkan pemecahan masalah tersebut, dimana hasil karyanya pada masalah tersebut pertama kali dipublikasikan pada tahun 1947. Selanjutnya, sebuah teknik yang lebih cepat, tetapi lebih rumit, yang cocok untuk memecahkan masalah program linier dengan ratusan atau bahkan ribuan variabel, dikembangkan oleh matematikawan Bell Laboratories, Narendra Karmarkar pada tahun 1983. Program linier sangat penting khususnya dalam perencanaan militer dan industri (Niswarni, 2012 : 22).

Pemecahan masalah dengan menggunakan model matematika ini sangat menguntungkan bagi pengguna karena tidak hanya fungsi tujuan dan nilai optimum dari variabel dapat kita ketahui tapi kita juga dapat memberikan interpretasi ekonomi dan melakukan analisis sensitivitas yang didasarkan pada proses iterasi. Dua macam fungsi Program Linear yakni, fungsi tujuan yang mengarahkan analisis untuk mendeteksi tujuan perumusan masalah, serta fungsi kendala yang bertujuan untuk mengetahui sumber daya yang tersedia dan permintaan atas sumber daya tersebut (Ratna et al., 2015 : 6). Untuk memudahkan dalam pembahasan program linier ini dapat menggunakan program bantu berupa perangkat lunak diantaranya adalah Quantitative Methods (QM) for Windows. Mengutip dari Harsanto (2011 : 3) QM for Windows

merupakan perangkat lunak yang dikembangkan dan menyertai buku-buku teks seputar manajemen operasi yang diterbitkan oleh Prentice-Hall's.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Skenario penggunaan lahan yang dapat menurunkan aliran permukaan (Q_{surf} eksisting) = 102,12 mm menjadi $Q_{surf} = 37,20$ mm adalah pada skenario III berupa penerapan pola agroforestri sederhana dan kompleks yang dijalankan secara bersamaan pada kawasan budidaya di DTA Waduk PLTA Koto Panjang pada kawasan pertanian lahan kering, perkebunan, sawah, tanah terbuka, pertanian lahan kering bercampur semak, semak/belukar dengan luas lahan 175.881,45 (54,94%) dari luas daratan DTA (Nurdin *et al*, 2019). Berdasarkan Rianse (2010), untuk pola agroforestri sederhana merupakan penanaman pepohonan secara tumpang sari dengan beberapa jenis tanaman semusim. Jenis pohon yang bernilai ekonomi tinggi misalnya kelapa, karet, cengkeh, jati, dan jenis pohon yang bernilai ekonomi rendah seperti, dadap, lamtoro, kaliandra, dan jenis tanaman semusim seperti padi, jagung, kedelai, kacang-kacangan, ubi kayu, sayur-sayuran dan rerumputan lainnya. Pada pola agroforestri kompleks ditanami dengan tanaman berbasis pohon dan buah seperti durian, rambutan, dan pisang, tanaman perdu diantaranya gambir.

Tiga kecamatan yang wilayah adminitrasinya 100% ada dalam wilayah DTA yakni; Kecamatan Bukik Barisan, Kapur IX dan Pangkalan Koto Baru Kabupaten Lima Puluh Kota, dijadikan sebagai tolak ukur untuk memprediksi luas dan produktivitas jenis tanaman pengisi eksisting dalam DTA karena sebagian lahan sudah ada tanaman rendah tahunan yang ditanamai misalnya kopi, pisang ambon/kepok, kakao, gambir, petai jeruk, rambutan, sawo, belimbing, jambu biji, jambu air, pepaya, sirsak dan lain-lain. Sesuai dengan prinsip konservasi lahan jenis tanaman rendah tahunan yang ditanam pada kawasan budidaya dapat berfungsi sebagai pencegah erosi, dikarenakan penyebarannya tidak teratur perlu dilakukan pengelolaan pola tanam secara terencana dengan mengedepankan jenis tanaman lokal yang mengutamakan prioritas masyarakat setempat. Strategi yang dijalankan agar pola agroforestri sederhana dan kompleks ini dapat berjalan secara bersamaan adalah mencari luas lahan yang optimal untuk setiap jenis tanaman pengisi dalam DTA. Luas tanam lahan yang dicanangkan untuk pola agroforestri sederhana/komplek di DTA dalam tiga kecamatan ini telah ada tanaman pengisi rendah tahunan dan tanaman semusim seluas 20.004,52 ha (17,79%) mendekati 20%. Jika diasumsikan luas lahan untuk jenis tanaman rendah tahunan efektif hanya sebesar 50% dari luas lahan agroforestri sederhana/komplek dan dikurangi luas tanaman rendah tahunan pengisi 20% yang sudah tertanam, sehingga luas lahan masih bisa disisipi dengan tanaman rendah tahunan sebesar 30%. Sehingga luas lahan yang bisa ditanam adalah 52.734,43 ha dari 175.781,44 ha luas lahan agroforestri sederhana dan kompleks di DTA. Dengan rincian 31.082,50 ha luas lahan agroforestri sederhana dan 21.651,93 ha luas agroforestri kompleks.

Berdasarkan data BPS Kabupaten Lima Puluh Kota (2017) jenis tanaman pengisi dalam tiga kecamatan yang luasnya 100% dalam DTA didominasi ditanaman yang sesuai dengan konsep konservasi untuk pola agroforestri sederhana adalah kopi dan kakao, serta agroforestri kompleks gambir dan pisang ambon/kepok. Sesuai dengan ungkapan

Ukrita (2013) ekspor kopi Sumatera Barat masih kecil dikarenakan tingkat ekspor yang dilakukan sedikit dikarenakan mutu/kualitas yang dibutuhkan untuk keperluan ekspor kurang terpenuhi. Sedangkan Herman (2010) biji kakao harganya juga cukup mahal, lebih banyak untuk kepentingan ekspor, dimana Indonesia merupakan salah satu pengeksport kakao Dunia dan Sumatera Barat merupakan pemasok utama kakao di Indonesia bagian Barat. Pola agroforestri kompleks menggunakan tanaman gambir dan pisang ambon/kepok diantara tanaman tinggi yang sudah ada maupun tanaman tinggi baru. Menurut Nasution *et al.* (2015) Indonesia merupakan produksi gambir terbesar di Dunia yang sebagian besarnya dihasilkan dari Kabupaten Limapuluh Kota Sumatera Barat. Menurut Fairuzi (2008) pisang ambon/kepok dibutuhkan untuk kepentingan domestik selain untuk Sumatera Barat juga untuk pasar Pekanbaru dan Jakarta yang dijadikan dalam berbagai produk.

Tabel 1. Perkiraan keuntungan tanaman kopi, kakao, gambir dan pisang ambon/Kapok

Uraian	Jenis tanaman pengisi			
	Kopi	Kakao	Gambir	Pisang ambon/kepok
Dalam 3 kecamatan				
Luas panen (ha)	282,00	623,00	12.139,00	49,22
Produksi (ton)	367,00	503,06	8.929,39	1.921,50
Produktivitas (ton/ha)	1,30	0,81	0,74	39,04
Luas AS (ha)	69.730,79			
Luas AK (ha)				42.696,85
Rasio luas panen/luas AS (%)	0,40	0,89		
Rasio luas panen/luas AK (%)			28,43	0,12
Perkiraan dalam DTA				
Luas AS (ha)	103.608,34			
Luas AK (ha)	72.173,11			
Luas panen (ha)	419,01	925,67	20.519,30	83,20
Produksi (ton)	545,30	747,46	15.093,90	3.248,03
Harga (Rp/ton)	23.500.000,00	32.083.333,50	27.500.000,00	2.404.186,11
Penghasilan kotor (Rp)	12.814.569.762,95	29.698.713.417,78	564.280.646.653,35	200.027.286,55
Pengasilan bersih (Rp/ha)	19.334.783,33	18.579.458,43	16.263.500,00	1.183.821,24
Rasio penghasilan bersih/penhasilan kotor (%)	63,22	57,91	59,14	49,24
Keuntungan bersih (Rp)	8.101.371.004,14	17.198.524.940,23	333.715.574.430,79	98.493.435,90
Jumlah keuntungan bersih (Rp)	359.113.963.811,06			

Keterangan : AS = Agroforestri sederhana, AK = Agroforestri kompleks

Sumber : Listyati *et al.* (2017), Rusdiana dan Martono (2014), Widowati *et al.* (2015), Ermiami dan Rosmeilisa (2005), BPS Kabupaten Lima Puluh Kota (2017), dan hasil olahan dan analisa

Luas panen empat jenis tanaman pengisi dalam DTA dipreksi berdasarkan luas panen dalam tiga kecamatan seperti dalam Tabel 1. Berdasarkan perbandingan luas panen masing-masing jenis tanaman dengan luas agroforestri sederhana dan kompleks didapat rasio masing-masing sebesar 0,40% untuk tanaman kopi dan 0,89% untuk tanaman kakao dan 28,43% untuk tanaman gambir serta 0,12% untuk tanaman pisang ambon/kepok. Dari rasio masing-masing jenis tanaman ini menghasilkan luas panen dalam DTA untuk masing-masing kopi seluas 419,01 ha, kakao seluas 925,67 ha, gambir seluas 20.519,50 ha yang merupakan luasan terbesar, dan pisang ambon seluas 83,20 ha yang merupakan luasan terkecil. Berdasarkan luas panen masing-masing jenis tanaman pengisi dalam DTA dan produktivitas dalam tiga kecamatan untuk tanaman kopi 1,30 ton/ha, kakao 0,81 ton/ha, gambir 0,74 ton/ha dan pisang ambon/kepok 39,04 ton/ha menghasilkan perkiraan produksi hasil panen empat jenis tanaman pengisi dalam DTA yakni; kopi sebanyak 545,30 ton, kakao sebanyak 747,46 ton, gambir sebanyak 15.093,90 ton, dan pisang ambon/kepok sebanyak 3.248,03 ton. Berdasarkan perkiraan produksi hasil panen tersebut dan harga produksi untuk tanaman kopi seharga Rp. 23.500.000/ton, kakao seharga Rp.32.083.333/ton, gambir seharga Rp.27.500.000/ton, serta pisang ambon/kepok seharga Rp. 2404.186,11/ton menghasilkan perkiraan penghasilan kotor dalam DTA untuk jenis tanaman pengisi untuk kopi seharga Rp. 12.814.569.762,95, kakao seharga Rp. 29.698.713.417,78, gambir seharga Rp. 564.280.646.653,35, dan pisang ambon/kepok seharga Rp. 200.027.286,55.

Besarnya biaya produksi empat jenis tanaman pengisi kopi, kakao, gambir, dan pisang ambon/kepok mengacu dari beberapa hasil penelitian. Listyati *et al* (2017) memperoleh keuntungan bersih penjualan kopi Rp. 11.417.600 dari keuntungan kotor seharga Rp. 18.059.500 dikurangi biaya produksi sebesar Rp. 6.641.900, dengan rasio keuntungan bersih terhadap keuntungan kotor sebesar 63,22%. Pada tanaman kakao mengacu pada hasil penelitian Rusdiana dan Martono (2014) memperoleh keuntungan bersih Rp. 12.225.000, dari keuntungan kotor penjualan kakao adalah Rp. 21.630.000 dikurangi biaya produksi sebesar Rp. 9.105.000 dengan rasio keuntungan bersih/kotor sebesar 57,91%. Tanaman gambir mengacu pada Ermiati dan Rosmeilisa (2005) keuntungan bersih sebesar Rp. 11.642.500 dari keuntungan kotor pada penjualan gambir sebesar Rp. 19.687.500 jika dikurangi biaya produksi sebesar Rp. 8.045.000 di, sehingga rasio perbandingan antara pendapatan bersih/keuntungan kotor sebesar 59,14%. Tanaman pisang ambon/kepok didasarkan pada hasil penelitian Widowati *et al.* (2015), memperoleh keuntungan bersih sebesar Rp. 6.278.350 dari keuntungan kotor hasil penjualan pisang kepok sebesar Rp. 12.750.000 jika dikurangi biaya produksi sebesar Rp. 6.471.650, sehingga diperoleh rasio perbandingan keuntungan bersih/kotor sebesar 49,24%. Dari rasio penghasilan bersih/penghasilan kotor ini diperoleh jumlah penghasilan bersih untuk tanaman kopi sebesar Rp 8.101.371.004,14, kakao sebesar Rp.17.198.524.940,23, gambir sebesar Rp. 333.715.574.430,79, dan pisang ambon/kepok sebesar Rp. 1.183.821,24 dengan total keuntungan bersih (eksisting) selama satu tahun adalah sebesar Rp. 359.113.963.811,06

Optimalisasi penggunaan lahan dengan empat jenis tanaman pengisi yakni; kopi dan kakao untuk pola agroforestri sederhana, gambir dan pisang ambon/kepok untuk pola

agroforestri kompleks, yang dijalankan dan dianalisis menggunakan software Quantitative Methods (QM) for Windows 4 berdasarkan fungsi tujuan dan fungsi kendala. Rumusan matematis terdiri dari fungsi empat peubah yaitu dua peubah XS1 menunjukkan luasan lahan agroforestri sederhana yang ditanami kopi, XS2 ditanami tanaman kakao, dua peubah XK1, menunjukkan luasan lahan agroforestri kompleks yang ditanami gambir dan XK2 di tanami tanaman pisang ambon/kepok.

Dengan nilai keuntungan bersih/ha masing-masing untuk jenis tanaman kopi adalah sebesar Rp. 19.334.783,33/ha dan kakao adalah Rp. 18.579.458,43/ha, untuk jenis tanaman gambir adalah sebesar Rp. 16.263.500/ha serta untuk jenis tanaman pisang ambon/kepok adalah dan Rp. 1.183.821,24/ha, maka Tujuannya adalah memaksimalkan keuntungan bersih (Z) dapat digambarkan dalam persamaan :

$$\text{Maksimalkan } Z = 19.334.783.XS1 + 18.579.458.XS2 + 16.263.500.XK1 + 1.183.821.XK2$$

Kendala pertama adalah adalah luas maksimal lahan agroforestri sederhana yang layak ditanam dengan tanaman pengisi kopi seluas 31.082,50 ha. Kendala kedua adalah luas maksimal lahan agroforestri kompleks yang layak ditanam tanaman pengisi gambir dan pisang ambon/kepok yakni, seluas 21.651,93 ha. Kendala ketiga hingga keenam adalah batasan minimal lahan agroforestri sederhana dan kompleks (eksisting), dimana tanaman kopi dengan luas 419,01 ha, kakao seluas 925,67 ha, gambir seluas 20.519,30 ha dan pisang ambon/kepok seluas 83,20 ha.

Berdasarkan variabel XS1, XS1, XK1 dan XK2 yang merupakan peubah-peubah tidak negatif (non-negativity variable) mempunyai nilai lebih besar dari nol, yang membentuk persamaan-persamaan sebagai input pada program bantu QM for Windows 4 untuk menyelesaikan program linier, dengan seperangkat rumus matematik program linier :

$$\text{Maksimal } Z = 19.334.783.XS1 + 18.579.458.XS2 + 16.263.500.XK1 + 1.183.821.XK2$$

Dengan pembatas :

$$XS1 + XS2 \leq 31.082,50$$

$$XK1 + XK2 \leq 21.651,9$$

$$XS_i \geq 419,01$$

$$XS2 \geq 926,67$$

$$XK1 \geq 20.519,30$$

$$XK2 \geq 83,20$$

Hasil optimalisasi lahan agroforestri sederhana dengan jenis tanaman pengisi kopi, dan kakao serta lahan agroforestri kompleks dengan jenis tanaman pengisi gambir dan pisang ambon/kepok pada aplikasi program linier QM for Windows 4 adalah berupa :

Luas masing-masing jenis tanaman pengisi : Lahan tanaman kopi XS1 = 30.155,83 ha

Lahan tanaman kakao XS2 = 926,67 ha Lahan tanaman gambir XK1 = 21.568,73 ha

Lahan tanaman pisang ambon/kepok XK2 = 83,20 ha

Nilai keuntungan bersih yang didapat $Z = \text{Rp. } 951.426.300.00$.

Batas minimal lahan yang di input untuk tanaman pengisi kopi adalah seluas tanaman kopi yang ada di DTA yakni, 419,01 ha, dimana batas maksimal lahan agroforestri adalah seluas 31.082,50 ha, dengan luas lahan hasil optimasi untuk tanaman kopi seluas 30.155,83 ha. Sisa lahan agroforestri sederhana yang diperuntukan hanya tersisa seluas 926,67 ha sama dengan luas minimal lahan untuk tanaman kakao yang sudah tertanam (input) maupun dengan luas tanaman kakao output pada model QM for Windows 4 sama yakni, seluas 926,67 ha. Artinya untuk mendapatkan pemanfaat lahan yang optimal luas lahan kopi yang masih bisa dikembangkan seluas 29.736,82 ha, sedangkan lahan tanaman kakao tidak layak untuk dikembangkan.

Begitu juga dengan lahan untuk tanaman pengisi gambir dengan luas lahan minimal input yakni, seluas 20.519,30 ha, dengan batas maksimal pada lahan agroforestri kompleks adalah seluas 21.651,93 ha. Dari luas lahan hasil optimasi untuk tanaman gambir seluas 21.568,73 ha, lahan agroforestri kompleks yang masih tersisa hanya seluas 83,20 ha sama dengan luas lahan pisang ambon/kepok minimal (input) yakni seluas 83,20 ha. Oleh karenanya luas lahan gambir yang optimal bisa untuk dikembangkan adalah seluas 1.049,43 ha, sedangkan lahan pisang ambon/kepok sudah tidak layak untuk dikembangkan.

Jika sebelum optimalisasi lahan dengan penanaman kopi seluas 419,01 ha, kakao seluas 925,67 ha, gambir seluas 20.519,90 ha, dan pisang ambon/kepok 83,20 ha, maka diperoleh keuntungan bersih sebesar $\text{Rp. } 359.113.963.811,06$. Dari hasil optimalisasi lahan didapatkan luas pengembangan lahan pengisi dengan jenis tanaman kopi seluas 29.736,82 ha, dan seluas 1.049,43 ha untuk lahan tanaman gambir, maka dari penambahan luas pengembangan tersebut diperoleh keuntungan bersih sebesar $\text{Rp. } 951.426.300.000$. Dengan kata lain besarnya peningkatan nilai ekonomi bagi masyarakat yang ada di sekitar DTA Waduk PLTA Koto Panjang setelah optimalisasi lahan adalah sebesar $\text{Rp. } 592.312.336.188,94$ seperti disajikan dalam Tabel 2

Tabel 2. Keuntungan bersih sebelum dan setelah optimalisasi lahan

Luas tanam sebelum optimalisasi (ha)	Keuntungan bersih sebelum optimalisasi (Rp)	Luas tanam setelah optimalisasi (ha)	Keuntungan bersih setelah optimalisasi (Rp)	Peningkatan ekonomi setelah optimalisasi (Rp)
419,01	8.101.371.004,14	30.155,83	544.604.803.108,46	536.503.432.104,32
926,67	17.198.524.940,23	926,67	17.198.524.940,23	
20.519,30	333.715.574.430,79	21.568,73	389.524.478.515,41	55.808.904.084,62
83,20	98.493.435,90	83,20	98.493.435,90	
	359.113.963.811,06		951.426.300.000,00	592.312.336.188,94

Sumber : Hasil Output QM for Windows

Jika jumlah petani yang ada adalah sebanyak 35.899 orang, maka dengan keuntungan bersih eksisting sebelum optimalisasi lahan sebesar $\text{Rp. } 359.113.963.811,06$, maka setiap petani mendapat sebesar $\text{Rp. } 10.003.453,13$ /petani

selama satu tahun atau Rp. 833.621,09/petani ssetiap bulan. Sedangkan dengan keuntungan bersih setelah dioptimalisasi sebesar Rp. 951.426.300.000, maka setiap petani mendapatkan keuntungan bersih Rp. 26.502.863,59 selama satu tahun atau sebesar Rp. 2.208.571,966/petani setiap bulan. Dengan kata lain terjadi peningkatan nilai ekonomi untuk setiap petani sebesar Rp. 16.499.410,46/tahun atau sebesar Rp. 1.374.950,87/bulan.

4. KESIMPULAN

1. Optimalisasi lahan di DTA dengan menggunakan Quantitative Methods (QM) for Windows 4 menghasilkan jenis tanaman pengisi kopi pada pola agroforestri sederhana dan gambir untuk pola agroforestri kompleks dapat meningkatkan nilai sosial dan ekonomi masyarakat.
2. Jika sebelum optimalisasi lahan dengan penanaman kopi, kakao, gambir dan pisang ambon/kepok, maka diperoleh keuntungan bersih sebesar RP. 359.113.963.811,06, hasil optimalisasai pengembangkan lahan pengisi yang layak dikembangkan hanya jenis tanaman kopi dan tanaman gambir, sedangkan untuk kakao dan pisang ambo/kepok hanya sesuai luasan yang ada diperoleh keuntungan bersih sebesar Rp. 951.426.300.000 dengan peningkatan sebesar Rp. 592.312.336.188,94 selama satu tahun
3. Penerapan pola agroforestri sederhana dan kompleks dapat meningkatkan nilai ekonomi untuk setiap petani sebesar Rp. 16.499.410,46/tahun atau sebesar Rp. 1.374.950,87/bulan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- BPS Kabupaten Lima Puluh Kota. 2017, *Kabupaten Lima Puluh Kota dalam angka 2017*, BPS Kabupaten Lima Puluh Kota, Sari Lamak.
- BPS Kabupaten Pasaman. 2016. *Kabupaten Pasaman dalam angka 2016*, Badan Pusat Statistik Kabupaten Pasaman, Lubuk Sikaping.
- Ermianti A. F. Dan P. Rosmeilisa. 2001. Analisis Usaha Tani Gambir di Sumatera Barat (Studi Kasus, Kecamatan Harau, Kabupaten 50 Kota). *Jurnal LITTRI*. 7 (3) : 67 – 73.
- Fairuzi, S. 2008, Prospek Pengembangan Pisang di Sumatera Barat, *Jurnal Agribisnis Kerakyatan* 1 (1) : 59-68.
- Harsanto, 2011, Naskah Tutorial QM For Windows, *Magister Managemet Universitas Pajajaran*. Bandung.
- Listyati, D., B. Sdjarmoko, A. M. Hasibuan, dan Randriani. 2017. Analisis Usaha Tani dan Rantai Tata Niaga Kopi Robusta di Bengkulu. *Jurnal Tanaman Industri Dan Penyegar (JTIDP)*. 4 (3) : 145-154.

- Nasution, A. H., S. W. Asmarantaka, dan L. M. Baga. 2015. Efisiensi pemasaran gambir di Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatera Barat. *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan*. 9 (2) : 221 – 239.
- Niswarni. 2012. Peningkatan hasil belajar Program Linier melalui pendekatan Matematika realistik di kelas X Jasa Boga 1 Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 6 Palembang. *Jurnal Pendidikan Matematika* 6 (2) : 19 – 28.
- Nuridin, Syaiful, H., Zulkarnain, dan Sukendi, 2019, Hydrological Characteristics Analysis due to Changes in Land Use With the SWAT Model in the Koto Panjang Hydropower Catchment Crea, *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 10 (02) : 330–340.
- Rianse, U., dan Abdi. 2010. *Agroforestri solusi sosial dan ekonomi pengelolaan sumber daya hutan*. ALFABETA. Bandung.
- Rusdiana, S., dan B, Martono. 2014. Analisis Fianasial Disersifikasi Usaha Perkenunan Kakao Rakyat dan Ternak Kambing di Tingkat Petani. *Jurnal SIRINOV*. 2 (3) : 157-170.
- Siang, J. J. 2014. Riset Operasi dalam Pendekatan Algoritmis.CV. ANDI OFFSET. Yogyakarta.
- Suasti, Y, D. Herman, dan Ahyuni. 2012. Dampak pertamabahan penduduk terhadap konversi lahan di Kota Padang. Direktorat Dampak Kependudukan Badan Kependudukan dan Keluarga Berencana Nasional. Jakarta.Ukrita (2013)
- Widowati, R., M. R. R., S. P. Rahayu. 2015. Perbaikan teknologi budidaya pisang kepok dan analisis usahatannya di Kabupaten Kutai Timur, Kalimantan Timur. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1 (7) : 1678-1682.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Panitia ACE Conference 2018 di Universitas Andalas Padang, khususnya Editor yang mempublikasin artikel ini dalam sebuah Prosiding yang mempunyai ISBN dan diunggah secara online.

ANALISIS USAHA TANI PADI DI KECAMATAN BUNGA RAYA KABUPATEN SIAK

Siswanto¹, Rian Tri Komara¹, Windy Wahyuni²

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Email: sis_wanto@yahoo.com

²Mahasiswa Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

ABSTRACT

This study aims to determine the cost of production facilities, labor costs, and other expenses in one year to obtain the feasibility of rice farming in the Flower Raya District. Bunga Raya District is a mainstay food barn in Riau Province. Naturally water needs for plants can be met by rain water, but the availability of water in the dry season can still be met by taking water from secondary channels that have been made as long storage. In order to calculate the feasibility of rice farming in Bunga Raya District with a special review to irrigate rice fields, a pumping machine is needed to irrigate the rice fields whether or not they can be calculated from the production costs compared to the results obtained. Calculation of production costs during the planting period starts from the beginning of land management, nurseries, fertilizing, pesticides, maintenance, water supply with pumps to harvesting and selling the harvest. The results obtained from the rice crop business is the amount of rice production obtained then multiplied by the selling price or total income, $\text{Benefit} = \sum \text{Production} \times \text{Price of grain}$. Comparison between Benefit and Cost (Benefit Cost Ratio) will give an idea of the feasibility of a rice planting business and how much profitability.

Keywords : water pump, rice crop business, benefit cost ratio

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui biaya sarana produksi, upah tenaga kerja, dan pengeluaran lainnya dalam satu tahun sehingga diperoleh angka kelayakan usaha tani padi di Kecamatan Bunga Raya. Kecamatan Bunga Raya ini merupakan lumbung pangan andalan di Provinsi Riau. Secara alamiah kebutuhan air untuk tanaman dapat dipenuhi oleh air hujan, namun ketersediaan air pada musim kemarau masih dapat dipenuhi dengan mengambil air dari saluran sekunder yang telah dibuat sebagai *long storage*. Guna menghitung kelayakan usaha tani tanaman padi di Kecamatan Bunga Raya dengan tinjauan khusus untuk mengairi sawah diperlukan mesin pompa untuk mengairi sawah apakah layak atau tidak bisa dihitung dari biaya produksi dibandingkan dengan hasil yang diperoleh. Perhitungan biaya produksi selama masa tanam dimulai dari awal pengolahan tanah, pembibitan, pemupukan, pestisida, perawatan, pemberian air dengan pompa sampai pemanenan dan penjualan hasil panen. Hasil yang diperoleh dari usaha tanaman padi adalah jumlah produksi padi yang diperoleh kemudian dikalikan dengan harga jual atau total penghasilan, $\text{Benefit} = \sum \text{Produksi} \times \text{Harga gabah}$. Perbandingan antara Benefit dengan Cost (Benefit Cost Ratio) akan memberikan gambaran kelayakan usaha tanam padi dan berapa nilai keuntungannya.

Kata Kunci : pompa air, analisa usaha tani, benefit cost ratio

1. PENDAHULUAN

Daerah Irigasi Rawa Siak Kiri adalah merupakan salah satu Daerah Irigasi Rawa yang besar dan potensial sebagai penghasil beras di Propinsi Riau khususnya Kabupaten Siak sebagai andalan lumbung padi. Daerah Irigasi Rawa ini dibuka untuk transmigrasi tahun 1982 memiliki luas 8.000 Ha, dan 5.600 Ha merupakan lahan pertanian yang dimanfaatkan untuk persawahan, namun pada tahun 2017 lahan sawah fungsional tersisa 2.222 Ha. Dimana sumber air mengandalkan air dari kubah gambut (*Doum*) yang terletak diantara Sungai Siak dan Sungai Siak Kecil. Namun akibat alih fungsi lahan menjadi perkebunan kelapa sawit sehingga air dari kubah gambut ini volumenya berkurang. Dengan berkurangnya debit pada musim kemarau maka suplay untuk persawahan juga akan semakin berkurang, sehingga banyak persawahan yang beralih fungsi menjadi kebun sawit.

Untuk menampung air hujan pada saat berlebih telah dilakukan pelebaran saluran sekunder yang pada awalnya lebar 4 m menjadi 8 – 10 m dan jarak antara sekunder 800 m dibuat saluran sekunder baru ditengahnya sehingga jarak antar sekunder menjadi 400 m. Air yang tertampung di saluran sekunder sebagai long storage ini dapat dimanfaatkan untuk mengairi sawah apabila diperlukan untuk menunjang pengairan tetapi harus dilakukan pemompaan karena muka air disaluran lebih rendah dibanding dengan muka tanah sawah.

Pada saat ini di Daerah Irigasi Rawa juga sudah dibangun pompa air untuk pengairan yang diambil dari Sungai Siak dengan kapasitas 600 lt/dt yang diharapkan dapat membantu mengatasi kekurangan air pada waktu musim kemarau. Air dari pompa air in dialirkan pada saluran sekunder untuk mengisi air dan untuk pengairan ke sawah harus dipompa lagi dengan pompa portable yang ditanggung oleh petani sendiri. Penelitian ini akan menganalisa biaya yang dikeluarkan petani dalam 1 kali tanam untuk yang melakukan tanam lebih awal, sehingga pada saat pengolahan tanah membutuhkan pompa air untuk mengalirkan air kesawah.

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menghitung biaya produksi tanaman padi pada musim tanam kemarau dimana air hujan masih kurang yang dibantu dengan air yang tersimpan pada saluran sekunder. Tujuannya agar dapat perbandingan apakah masih layak dilakukan dengan menggunakan pompa apabila air diambil dari saluran sambil menunggu musim hujan.

Untuk menghiitung kelayakan usaha tani tanaman padi di Kecamatan Bunga Raya dengan tinjauan khusus untuk untuk mengairi sawah diperlukan mesin pompa untuk mengairi sawah apakah layak atau tidak bisa dihitung dari biaya produksi dibandingkan dengan hasil yang diperoleh. Untuk menghitung biaya produksi selama masa tanam dapat dirunut mulai dari awal pengolahan tanah sampai pemanenan dan penjualan hasil panen.

Biaya untuk usaha tanaman padi dapat dirinci sebagai berikut :

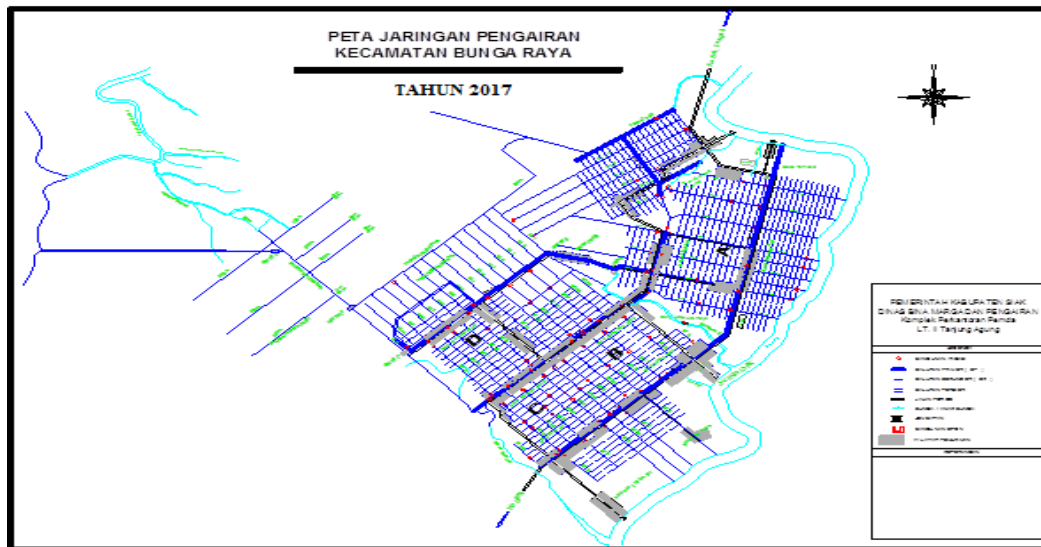
- Biaya pengolahan tanah yang dikeluarkan adalah tenaga kerja, sewa mesin dan berapa kali pengolahan tanah.
- Biaya bibit dan penanaman meliputi jenis bibit dan jumlah dan harga, biaya persemaian dan penanaman berupa tenaga kerja atau sewa mesin,
- Biaya Pupuk berupa jenis pupuk, jumlah yang digunakan, harga dan berapa kali dilakukan pemupukan serta tenaga kerja yang dibutuhkan.
- Biaya pestisida berupa jenis bahan kimia yang digunakan, volume, harga dan berapa kali dilakukan penyemprotan.
- Biaya sewa mesin berupa sewa mesin pompa air, sewa mesin pemanenan padi.
- Biaya sewa lahan berupa sewa lahan untuk sawah disini walapun punya sendiri akan dihitung sebagai komponen biaya produksi yang tetap.
- Semua biaya yang dikeluarkan akan dijumlahkan dan disebut sebagai total cost untuk usaha tanaman padi selama satu musim $Cost = \sum \text{Biaya Produksi}$

Hasil yang diperoleh dari usaha tanaman padi adalah jumlah produksi padi yang diperoleh kemudian dikalikan dengan harga jual atau disebut sebagai total penghasilan , $Benefit = \sum \text{Produksi} \times \text{Harga gabah}$.

Kelayakan analisa biaya tanaman padi dapat dihitung dengan membandingkan antara Benefit dengan Cost (BCR). Apabila $BCR > 1$ maka dapat dikatakan menguntungkan, kalau $BCR = 1$ maka dapat dikatakan impas dan bila $BCR < 1$ dapat dikatakan rugi.

2. METODOLOGI

Lokasi penelitian berada Daerah Irigasi Rawa Siak Kiri berada di Kecamatan Bunga Raya Kabupaten Siak Provinsi Riau letak geografis antara $0^{\circ}39'$ – $1^{\circ}04'$ LU dan $101^{\circ}58'$ – $102^{\circ}13'$ BT. Peta jaringan pengairan dapat dilihat pada Gambar 1. Sebagai sampel untuk penelitian penghitungan biaya produksi diambil 10 sampel petak sawah seperti pada Tabel 1.

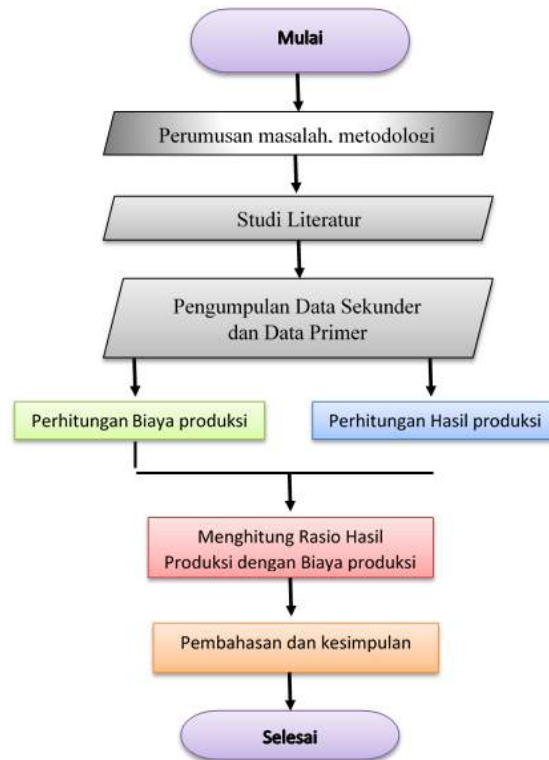


Gambar 1. Situasi Daerah Irigasi Rawa Bunga Raya

Tabel 26. Luas Sawah Untuk Sampel Penelitian

No.	Nama	Luas Lahan (Ha)	Desa
1.	Sukarno	0.996	Bunga Raya
2.	Badru Zaman	0.976	Bunga Raya
3.	Wagiman	1.082	Kemuning Muda
4.	Dul Latip	1.013	Kemuning Muda
5.	Rasito	1.033	Buantan Lestari
6.	Sardi	0.989	Buantan Lestari
7.	Mukti	0.912	Langsat Permai
8.	Saifulloh	0.967	Langsat Permai
9.	Asdimah	0.984	Jaya Pura
10.	Slamet S	0.96	Jaya Pura

Data sekunder diperoleh dari pihak lain meliputi data klimatologi, data curah hujan, harga saprodi dan lain-lain. Sedangkan data primer dari survey sendiri meliputi data luas sawah, penggunaan pupuk, peralatan, tenaga kerja, hasil panen melalui wawancara dan kuesioner. Data primer ini dicatat dalam formulir kebutuhan dan penggunaan saprodi, tenaga, peralatan dan diisi periode 2 minggu selama masa tanam padi musim tersebut. Bagan alir penelitian dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHSAN

Hasil pengumpulan data yang secara periodik dipantau dengan form kuesioner kemudian ditabelkan diolah dengan excel untuk menghitung biaya produksi dan juga hasil panen. Pengeluaran biaya produksi dikelompokkan untuk biaya yang sejenis dan dibagi menjadi beberapa tahap yaitu : tahap pengolahan tanah, tahap pembibitan, pemupukan, obat obatan pestisida, tahap pemeliharaan, kebutuhan pompa air irigasi, tahap pemanenan dan hasil panen. Masing-masing tahap dirinci pengeluaran untuk kebutuhan alat, pupuk, bibit, tenaga kerja yang merupakan unsur biaya produksi. Hasil panen dikalikan dengan harga jual merupakan penghasilan dari usaha tanaman padi tersebut. Perhitungan analisa biaya untuk dalam usaha tani ditampilkan sebagai berikut.

**Tabel 2. Analisis Biaya Untuk
Pengolahan Tanah**

NO	SAMPel	SATUAN	SEPTEMBER		OKTOBER		NOVEMBER		DESEMBER		JANUARI		TOTAL	HARGA SATUAN	BIAYA
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II			
1	PETAK 1														1,000,000.00
	Sewa Traktor	Hr			2								2	500,000.00	1,000,000.00
2	PETAK 2														1,000,000.00
	Sewa Traktor	Hr		2									2	500,000.00	1,000,000.00
3	PETAK 3														1,000,000.00
	Sewa Traktor	Hr		2									2	500,000.00	1,000,000.00
4	PETAK 4														1,000,000.00
	Sewa Traktor	Hr		2									2	500,000.00	1,000,000.00
5	PETAK 5														1,000,000.00
	Sewa Traktor	Hr			2								2	500,000.00	1,000,000.00
6	PETAK 6														1,000,000.00
	Sewa Traktor	Hr			2								2	500,000.00	1,000,000.00
7	PETAK 7														1,000,000.00
	Sewa Traktor	Hr	2		2								2	500,000.00	1,000,000.00
8	PETAK 8														1,000,000.00
	Sewa Traktor	Hr	2										2	500,000.00	1,000,000.00
9	PETAK 9														1,000,000.00
	Sewa Traktor	Hr	2										2	500,000.00	1,000,000.00
10	PETAK 10														1,000,000.00
	Sewa Traktor	Hr	2										2	500,000.00	1,000,000.00

Tabel 3. Analisis Biaya Untuk Pompa

NO	SAMPel	SATUAN	SEPTEMBER		OKTOBER		NOVEMBER		DESEMBER		JANUARI		TOTAL	HARGA SATUAN	BIAYA
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II			
1	PETAK 1														1,300,000
	Sewa Pompa	Hr	2	2									4	250,000	1,000,000
	Tenaga Kerja	OH	2	2									4	75,000	300,000
2	PETAK 2														975,000
	Sewa Pompa	Hr		2									2	250,000	500,000
	Tenaga Kerja	OH		2									2	75,000	150,000
3	PETAK 3														325,000
	Sewa Pompa	Hr		1									1	250,000	250,000
	Tenaga Kerja	OH		1									1	75,000	75,000
4	PETAK 4														325,000
	Sewa Pompa	Hr		1									1	250,000	250,000
	Tenaga Kerja	OH		1									1	75,000	75,000
5	PETAK 5														650,000
	Sewa Pompa	Hr		1	1								2	250,000	500,000
	Tenaga Kerja	OH		1	1								2	75,000	150,000
6	PETAK 6														650,000
	Sewa Pompa	Hr		1	1								2	250,000	500,000
	Tenaga Kerja	OH		1	1								2	75,000	150,000
7	PETAK 7														1,300,000
	Sewa Pompa	Hr	2	1		1							4	250,000	1,000,000
	Tenaga Kerja	OH	2	1		1							4	75,000	300,000
8	PETAK 8														975,000
	Sewa Pompa	Hr	2	1									3	250,000	750,000
	Tenaga Kerja	OH	2	1									3	75,000	225,000
9	PETAK 9														975,000
	Sewa Pompa	Hr	1	1	1								3	250,000	750,000
	Tenaga Kerja	OH	1	1	1								3	75,000	225,000
10	PETAK 10														650,000
	Sewa Pompa	Hr	1		1								2	250,000	500,000
	Tenaga Kerja	OH	1		1								2	75,000	150,000

Tabel 4. Analisis Biaya Untuk Pemupukan

NO	SAMPSEL	SATUAN	SEPTEMBER		OKTOBER		NOVEMBER		DESEMBER		JANUARI		TOTAL	HARGA SATUAN	BIAYA
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II			
1	PETAK 1														1815000
	UREA	Kg	-	75	-	25	-	25	-	25	-	-	150	2300	345000
	NPK	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KNO ₃	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KCL	Kg	-	50	-	-	50	-	50	-	-	-	150	5000	750000
	SP 36	Kg	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	100	2700	270000
	Tenaga Kerja	OH	-	1	-	1	1	1	1	1	-	-	6	75000	450000
2	PETAK 2														1365000
	UREA	Kg	-	-	75	-	30	-	20	-	25	-	150	2300	345000
	NPK	Kg	-	-	50	-	50	-	25	-	25	-	150	3000	450000
	KNO ₃	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KCL	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SP 36	Kg	-	-	25	-	25	-	25	-	25	-	100	2700	270000
	Tenaga Kerja	OH	-	-	1	-	1	-	1	-	1	-	4	75000	300000
3	PETAK 3														1865000
	UREA	Kg	-	-	75	-	25	-	25	-	25	-	150	2300	345000
	NPK	Kg	-	-	50	-	50	-	25	-	25	-	150	3000	450000
	KNO ₃	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	5000	500000
	KCL	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SP 36	Kg	-	-	25	-	25	-	25	-	25	-	100	2700	270000
	Tenaga Kerja	OH	-	-	1	-	1	-	1	-	1	-	4	75000	300000
4	PETAK 4														955000
	UREA	Kg	-	-	50	-	50	-	50	-	-	-	150	2300	345000
	NPK	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KNO ₃	Kg	-	-	3	-	3	-	1	-	1	-	8	5000	40000
	KCL	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SP 36	Kg	-	-	75	-	25	-	25	-	25	-	100	2700	270000
	Tenaga Kerja	OH	-	-	1	-	1	-	1	-	1	-	4	75000	300000
5	PETAK 5														1800000
	UREA	Kg	-	-	75	-	25	-	25	-	25	-	150	2300	345000
	NPK	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KNO ₃	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KCL	Kg	-	-	75	-	25	-	25	-	25	-	150	5000	750000
	SP 36	Kg	-	-	50	-	-	-	50	-	50	-	150	2700	405000
	Tenaga Kerja	OH	-	-	1	-	1	-	1	-	1	-	4	75000	300000
6	PETAK 6														1715000
	UREA	Kg	-	-	75	-	25	-	25	-	25	-	150	2300	345000
	NPK	Kg	-	-	25	-	25	-	25	-	25	-	100	3000	300000
	KNO ₃	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KCL	Kg	-	-	25	-	25	-	50	-	-	-	100	5000	500000
	SP 36	Kg	-	-	25	-	25	-	25	-	25	-	100	2700	270000
	Tenaga Kerja	OH	-	-	1	-	1	-	1	-	1	-	4	75000	300000
7	PETAK 7														1700000
	UREA	Kg	-	50	-	50	-	25	-	25	-	-	150	2300	345000
	NPK	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KNO ₃	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KCL	Kg	-	25	-	25	-	25	-	25	-	-	100	5000	500000
	SP 36	Kg	-	50	-	25	-	25	-	25	-	25	150	2700	405000
	Tenaga Kerja	OH	-	1	-	1	1	1	1	1	-	-	6	75000	450000
8	PETAK 8														1915000
	UREA	Kg	-	50	-	25	-	25	-	25	-	-	150	2300	345000
	NPK	Kg	-	50	-	50	-	50	-	25	-	25	200	3000	600000
	KNO ₃	Kg	-	2	-	2	-	2	-	2	-	6	14	5000	70000
	KISERIT	Kg	-	25	-	25	-	-	-	25	-	25	100	1800	180000
	KCL	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SP 36	Kg	-	-	-	25	-	25	-	25	-	25	100	2700	270000
	Tenaga Kerja	OH	-	1	-	1	1	1	1	1	-	-	6	75000	450000
9	PETAK 9														1365000
	UREA	Kg	-	25	-	25	-	50	-	25	-	25	150	2300	345000
	NPK	Kg	-	25	-	25	-	25	-	25	-	-	100	3000	300000
	KNO ₃	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KCL	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SP 36	Kg	-	25	-	25	-	25	-	-	-	25	100	2700	270000
	Tenaga Kerja	OH	-	1	-	1	1	1	1	1	-	-	6	75000	450000
10	PETAK 10														1565000
	UREA	Kg	-	50	-	30	-	25	-	25	-	20	150	2300	345000
	NPK	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KNO ₃	Kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KCL	Kg	-	25	-	25	-	30	-	10	-	10	100	5000	500000
	SP 36	Kg	-	25	-	25	-	20	-	15	-	15	100	2700	270000
	Tenaga Kerja	OH	-	1	-	1	1	1	1	1	-	-	6	75000	450000

Tabel 5. Analisis Biaya Panen

NO	SAMPSEL	SATUAN	DESEMBER		JANUARI		TOTAL	HARGA SATUAN	HASIL
			I	II	I	II			
1	PETAK 1								3,210,000
	Hasil Panen (kg)	6,800							
	Mesin Panen (10% Panen)	Kg			680	680	4,500		3,060,000
	Operator	OH			3				
	Langsir Gabah dari Sawah	Org			15	15	10,000		150,000
2	PETAK 2								3,030,000
	Hasil Panen (kg)	6,400							
	Mesin Panen (10% Panen)	Kg			640	640	4,500		2,880,000
	Operator	OH			3				
	Langsir Gabah dari Sawah	Org			15	15	10,000		150,000
3	PETAK 3								3,160,000
	Hasil Panen (kg)	6,800							
	Mesin Panen (10% Panen)	Kg			680	680	4,500		3,060,000
	Operator	OH			3				
	Langsir Gabah dari Sawah	Org			10	10	10,000		100,000
4	PETAK 4								3,120,000
	Hasil Panen (kg)	6,600							
	Mesin Panen (10% Panen)	Kg			660	660	4,500		2,970,000
	Operator	OH			3				
	Langsir Gabah dari Sawah	Org			15	15	10,000		150,000
5	PETAK 5								3,165,000
	Hasil Panen (kg)	6,700							
	Mesin Panen (10% Panen)	Kg			670	670	4,500		3,015,000
	Operator	OH			3				
	Langsir Gabah dari Sawah	Org			15	15	10,000		150,000
6	PETAK 6								3,210,000
	Hasil Panen (kg)	6,800							
	Mesin Panen (10% Panen)	Kg			680	680	4,500		3,060,000
	Operator	OH			3				
	Langsir Gabah dari Sawah	Org			15	15	10,000		150,000
7	PETAK 7								2,690,000
	Hasil Panen (kg)	5,800							
	Mesin Panen (10% Panen)	Kg			580	580	4,500		2,610,000
	Operator	OH			3				
	Langsir Gabah dari Sawah	Org			8	8	10,000		80,000
8	PETAK 8								3,210,000
	Hasil Panen (kg)	6,800							
	Mesin Panen (10% Panen)	Kg			680	680	4,500		3,060,000
	Operator	OH			3				
	Langsir Gabah dari Sawah	Org			15	15	10,000		150,000
9	PETAK 9								3,030,000
	Hasil Panen (kg)	6,400							
	Mesin Panen (10% Panen)	Kg			640	640	4,500		2,880,000
	Operator	OH			3				
	Langsir Gabah dari Sawah	Org			15	15	10,000		150,000
10	PETAK 10								2,870,000
	Hasil Panen (kg)	6,200							
	Mesin Panen (10% Panen)	Kg			620	620	4,500		2,790,000
	Operator	OH			3				
	Langsir Gabah dari Sawah	Org			8	8	10,000		80,000

Tabel 6. Analisis Usaha Tanaman Padi (BCR)

NO	SAMPSEL	BIAYA PRODUKSI	HASIL PANEN	HARGA JUAL	HASIL	KEUNTUNGAN	BCR	PENDAPATAN
		(Rp)	(kg)	(Rp)	PENJUJALAN	(Rp)		(Rp)
1	PETAK 1							
	BIAYA PRODUKSI	15,882,500	6,100	4,500	27,450,000	11,567,500	1.7	2,891,875
	PENGOLAHAN TANAH	1,000,000						
	PEMBIBITAN DAN TANAM	950,000						
	PEMUPUKAN	1,815,000						
	PESTISIDA	1,457,500						
	POMPA AIR	1,300,000						
	PEMELIHARAAN	650,000						
	KONTROL MINGGUAN	3,000,000						
	PANEN	3,210,000						
	SEWA LAHAN	2,500,000						
2	PETAK 2							
	BIAYA PRODUKSI	14,340,000	5,760	4,500	25,920,000	11,580,000	1.81	2,895,000
3	PETAK 3							
	BIAYA PRODUKSI	14,550,000	6,120	4,500	27,540,000	12,990,000	1.89	3,247,500
4	PETAK 4							
	BIAYA PRODUKSI	14,195,000	6,000	4,500	27,000,000	12,805,000	1.90	3,201,250
5	PETAK 5							
	BIAYA PRODUKSI	15,155,000	6,030	4,500	27,135,000	11,980,000	1.79	2,995,000
6	PETAK 6							
	BIAYA PRODUKSI	15,540,000	6,120	4,500	27,540,000	12,000,000	1.77	3,000,000
7	PETAK 7							
	BIAYA PRODUKSI	17,407,500	5,220	4,500	23,490,000	6,082,500	1.35	1,520,625
8	PETAK 8							
	BIAYA PRODUKSI	16,302,500	6,120	4,500	27,540,000	11,237,500	1.69	2,809,375
9	PETAK 9							
	BIAYA PRODUKSI	15,152,500	5,760	4,500	25,920,000	10,767,500	1.71	2,691,875
10	PETAK 10							
	BIAYA PRODUKSI	15,225,000	5,580	4,500	25,110,000	9,885,000	1.65	2,471,250
					RATA RATA	11,089,500	1.73	2,772,375

Dari hasil perhitungan analisa kelayakan usaha tanaman padi dengan membandingkan biaya produksi dan hasil panen maka perbandingan BCR rata rata adalah 1,73 dan dengan keuntungan satu kali tanam rata rata adalah Rp. 11.089.500,- kalau dibagi 4 bulan maka hasilnya adalah Rp. 2.772.375,-. Dalam analisa biaya sudah dimasukkan biaya sewa lahan sebesar Rp. 2.500.000,- pertanam dan untuk biaya pemeliharaan dimasukkan Rp. 750.000 x 4 = Rp 3.000.000,- pertanam. Jadi apabila petani mempunyai lahan sendiri dan dikelola sendiri pendapatan yang diterima dalam sekali tanam adalah Rp. 16.589.500,-. Apabila dalam 1 tahun bisa 2 kali tanam penghasilan petani menjadi Rp. 33.179.00 pertahun. Penghasilan petani dapat meningkat apabila biaya produksi lebih kecil dan hasil panen dapat ditingkatkan dan juga sebaliknya. Usaha tanaman pertanian sangat fluktuatif penghasilannya karena banyak hal yang mempengaruhinya seperti cuaca, hama, penyakit dan harga jual pada saat panen.

4. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi. 2001. Ilmu Usahatani, Jakarta, Penerbit Penebar Swadaya
- Antoni, R. 1995. Pengendalian Gulma, Pemupukan, Pengelolaan Tajuk, Manajemen, IPB, Bogor
- Darmansyah Nabar, S. 1999. Ekonomi Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang
- Sidharta, S. 1997. Irigasi dan Bangunan Irigasi, Gunadarma, Jakarta
- Soekartawi. 1990. Teori Ekonomi Produksi. Jakarta, Penerbit CV. Rajawali

APLIKASI DRAINASE PERMUKAAN DAN BAWAH PERMUKAAN PADA PERENCANAAN SISTEM DRAINASE LAPANGAN OLAHRAGA KAMPUS UPI YPTK

Muhammad Shubhi Nurul Hadie¹, Rafki Imani², Ghian Syahiburrahman³

¹ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: nurulhadie@gmail.com

² Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UPI YPTK, Padang. Email:

³ Mahasiswa Teknik Sipil, UPI YPTK, Padang. Email:

ABSTRACT

Sports stadiums are generally used for football and athletic purposes. Football field position in the middle of stadium as main field surrounded by running track. The football field has a grass surface with relatively flat or very small slope. While the running track has a surface in the form of soil with a special mixture. The problem that often occurs is there is puddle of water on the surface when rain. The purpose of this study is to apply surface and subsurface drainage systems to prevent the occurrence of puddles of water at the sports stadiums. The first step is hydrological analysis, layout and soil structure planning of the field, hydraulic analysis and design of the drainage system. In this study the dimensions for the circumference of the outer canal were obtained with a channel width of 0.225 m and a channel height of 0.39 m. The dimensions for the circumference of the inner canal have a channel width of 0.375 m and a height of 0.65 m. For the dimensions of the underground pipeline have a pipe with a diameter of 0.24 m or using a pipe ϕ 10".

Keywords: surface drainage, sub-surface drainage

ABSTRAK

Stadion olahraga umumnya digunakan untuk kepentingan sepakbola dan atletik. Lapangan sepakbola berada di tengah stadion sebagai lapangan utama dikelilingi oleh lintasan jalur lari/running track. Lapangan sepakbola memiliki permukaan rumput dengan kemiringan relatif kecil atau datar. Sementara jalur lari memiliki permukaan berupa tanah dengan campuran khusus. Permasalahan yang sering terjadi adalah terdapat genangan air dipermukaan lapangan ketika turun hujan. Tujuan dari penelitian adalah melihat aplikasi sistem drainase permukaan dan bawah permukaan pada perencanaan sistem drainase stadion olahraga. Langkah awal yang dilakukan dalam perencanaan drainase lapangan sepakbola adalah analisis hidrologi, perencanaan layout dan struktur tanah pada lapangan sepakbola dan dilanjutkan dengan perhitungan dimensi saluran drainase yang dibutuhkan. Hasil penelitian memberikan penggunaan kombinasi drainase permukaan dan bawah permukaan berupa; dimensi untuk keliling saluran bagian luar dengan lebar saluran 0,225 m dan tinggi saluran 0,39 m. Dimensi untuk keliling saluran bagian dalam memiliki lebar saluran 0,375 m dan tinggi 0,65 m. Untuk dimensi pipa saluran bawah tanah memiliki menggunakan pipa dengan diameter 0,24 m atau menggunakan pipa ϕ 10".

Kata Kunci : drainase permukaan, drainase bawah permukaan,

1. UMUM

Perencanaan sistem drainase stadion/lapangan olah raga tidak bisa hanya berdasarkan perencanaan drainase kawasan secara konvensional. Selain harus mampu mengatasi genangan air, sistem drainase lapangan sepakbola yang direncanakan juga perlu memperhatikan beberapa aspek lain seperti, lapisan tanah permukaan tetap mampu ditumbuhi rumput, lapisan tanah permukaan tetap memiliki sifat lenting dan lapisan tanah pada lapangan harus mampu mengalirkan air ke bawah permukaan tanah tanpa merusak struktur tanah itu sendiri maupun mengganggu fungsinya sebagai fasilitas olahraga.

Penelitian ini mencoba menerapkan kombinasi sistem drainase permukaan tanah (*surface drainage system*) yang secara umum merupakan sistem drainase kawasan secara konvensional, dengan mengkombinasikannya dengan sistem drainase dibawah permukaan tanah (*sub-surface drainage system*) yang merupakan salah satu sistem drainase khusus, dengan mengandalkan kemampuan daya resap tanah, sesuai dengan jenis tekstur tanah beserta pengaturan struktur lapisan tanah yang direkomendasikan untuk stadion/lapangan olahraga. Dalam penelitian ini dipilih perencanaan sistem drainase lapangan olahraga yang kemungkinan bisa dikembangkan di kawasan kompleks kampus Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang, yang memang untuk saat ini belum tersedia.

2. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

2.1 Tujuan Penelitian

Secara khusus tujuan utama penelitian ini adalah penerapan kombinasi sistem drainase permukaan tanah (*surface drainage system*) dengan sistem drainase dibawah permukaan tanah (*sub-surface drainage system*) pada perencanaan sistem drainase lapangan olahraga di kampus Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang.

2.2 Manfaat Penelitian

Diharapkan hasil penelitian bisa menjadi salah satu dasar referensi pengambilan kebijakan, terkait dengan perencanaan fasilitas stadion olahraga, khususnya di kawasan kampus Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang, dan kawasan terkait lainnya secara umum.

3. BATASAN MASALAH

Beberapa asumsi dasar beserta batasan-batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini diantaranya yaitu :

1. Penerapan kombinasi sistem drainase permukaan dan bawah permukaan yang dimaksud dalam penelitian ini adalah khusus berlaku untuk sistem drainase stadion/lapangan olahraga skala kecil, regional dan nasional. Spesifikasi untuk stadion olahraga yang lebih kompleks mungkin mempunyai persyaratan yang

berbeda, sesuai peraturan yang berlaku, berdasarkan FIFA (*Federation International of Football Association*).

2. Perhitungan hidrologi berdasarkan data stasiun hujan terdekat, dan perhitungan debit banjir rencana berdasarkan kala ulang 5 tahunan, menggunakan metode rasional.
3. Data-data kapasitas infiltrasi tanah, berdasarkan pengujian lapangan tanah di lokasi rencana stadion/lapangan olahraga dimaksud.

4. TINJAUAN PUSTAKA

Penerapan sistem drainase konvensional dengan membuat perencanaan layout sistem drainase berupa saluran-saluran air yang ditempatkan pada permukaan tanah pada umumnya cocok untuk penanganan permasalahan banjir dan genangan pada kawasan permukiman, kawasan perkantoran, kawasan bisnis dan sebagainya.

Perencanaan sistem drainase pada kawasan yang bersifat khusus, sebagaimana stadion olahraga, tidak bisa sepenuhnya menerapkan sistem drainase konvensional tersebut, sehingga beberapa peneliti sudah melakukan kajian penerapan sistem drainase bawah permukaan pada perencanaannya, sebagaimana dilakukan oleh Yolly Adriati, (2017), yang melakukan kajian sistem drainase lapangan sepak bola stadion mini universitas islam riau, juga sebagaimana yang dilakukan oleh Ardy Satriya, M. Janu Ismoyo, Dian Chandrasasi (2017) pada perencanaan Perencanaan Sistem Drainase Stadion Bukit LengisKecamatan Kebomas Kabupaten Gresik.

Sementara kajian tentang perencanaan sistem peresapan dan penyiraman lapangan sepak bola dengan menggunakan sistem sel telah dilakukan oleh Imam Effendi, (2013), pada stadion teladan medan dan kajian yang melibatkan penggunaan bahan khusus berupa penerapan bahan geotextile pada sistem drainase bawah permukaan (*sub-surface drainage*) pada lapangan akademi sepakbola asifa di Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang, Jawa Timur, telah dilakukan oleh Muhammad Arby, Ussy Andawayanti, Andre Primantyo Hendrawan, (2016).

5. METODOLOGI PENELITIAN

5.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di kawasan kampus Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang. Denah kawasan penelitian serta tata letak perencanaan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut :



Gambar 44. Lokasi Kawasan Penelitian

5.2 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data dan survey

Tahapan yang pertama adalah mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam penelitian baik data primer maupun data sekunder.

2. Menganalisa pola aliran air

Tahapan kedua yaitu penganalisaan pola aliran air pada lokasi yang akan diteliti sesuai dengan kondisi kontur atau elevasi yang nantinya data analisa ini membantu dalam perencanaan sistem drainase.

3. Merencanakan pola aliran sistem drainase

Tahapan yang ketiga adalah perencanaan pola aliran sistem drainase berdasarkan kondisi kontur atau elevasi serta data analisa pola aliran air dengan begitu dapat membantu dalam mendesain saluran drainase yang sesuai dengan kondisi lokasi penelitian.

4. Perhitungan debit rencana

Perhitungan debit rencana didasarkan pada data curah hujan harian dilokasi terdekat dengan wilayah studi, dengan memperhatikan tahapan analisis frekuensi hujan rencana sesuai dengan kala ulang yang dipilih. Perhitungan debit rencana dilakukan dengan metode rasional. Debitrencana kala ulang yang digunakan adalah 5 tahun

yang sesuai untuk perencanaan drainase perkotaan sesuai dengan dasar perencanaan, aturan dan standar yang berlaku.

5. Disain sistem saluran drainase

Setelah mengetahui debit rencana yang diperhitungkan, langkah selanjutnya yaitu mendesain saluran drainase sesuai dengan debit rencana tersebut.

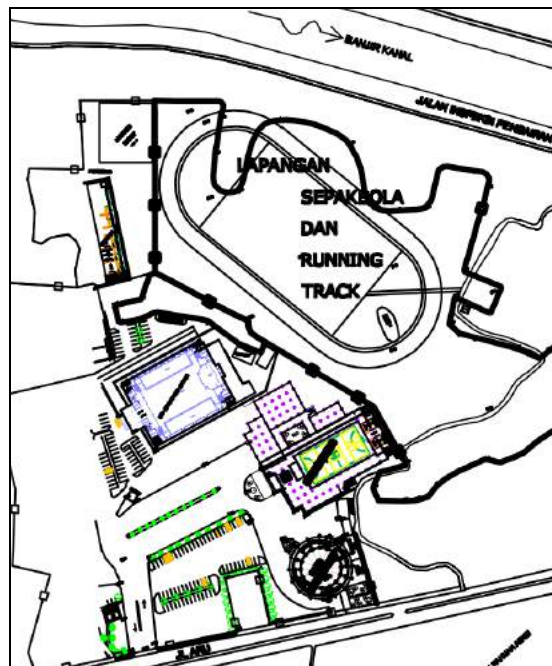
6. Penggambaran desain sistem saluran drainase

Setelah sistem saluran drainase selesai didesain, maka desain tersebut digambarkan menggunakan software AUTOCAD.

6. HASIL PENELITIAN

6.1 Layout Rencana Lapangan Olahraga

Berdasarkan optimasi tata ruang yang tersedia pada kawasan kampus Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang, serta berdasarkan standar ukuran stadion/lapangan olahraga yang berlaku, maka diperoleh layout yang optimal adalah sebagaimana diberikan pada gambar 2.

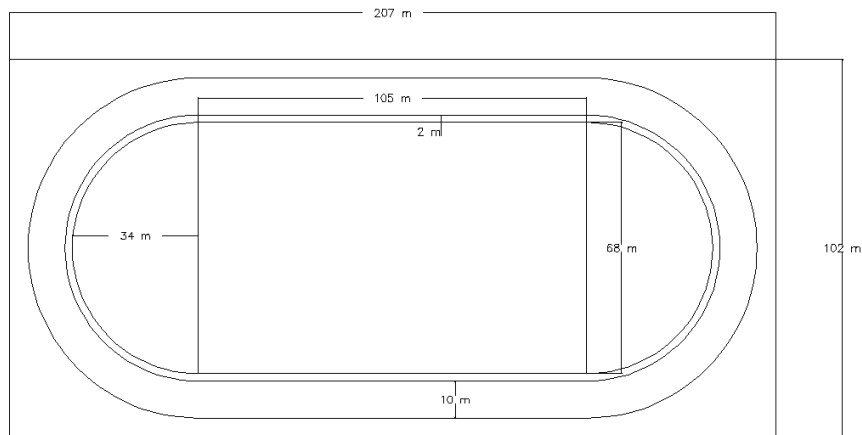


Gambar 2. Layout Lapangan Olahraga kampus Universitas Putra Indonesia “YPTK”

6.2 Perencanaan Pola Aliran

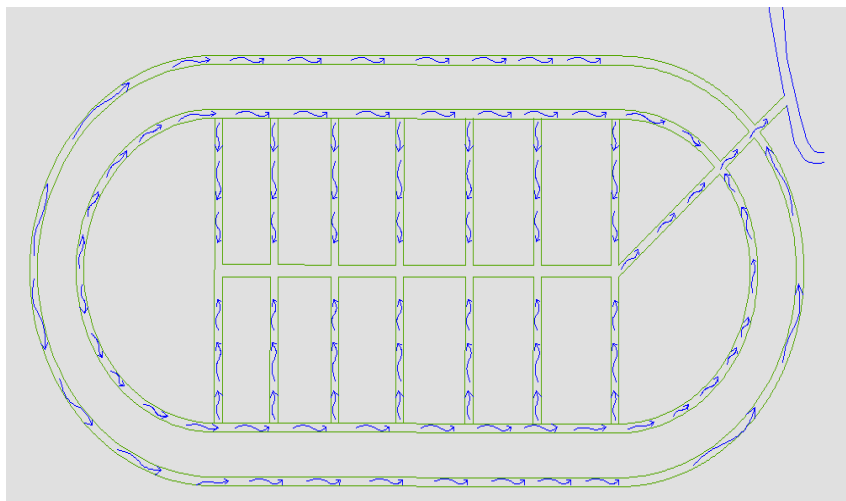
Perencanaan pola aliran ditinjau dari analisa topografi seperti kontur kawasan, rencana tata letak bangunan (lapangan sepakbola dan running track), serta memperhatikan letak aliran pembuangan dalam hal ini adalah saluran utama drainase kota padang, di

belakang kampus UPI YPTK. Ukuran Lapangan Sepakbola dalam perencanaan ini disesuaikan dengan syarat dan standar yang berlaku sebagaimana tergambar pada gambar 3.



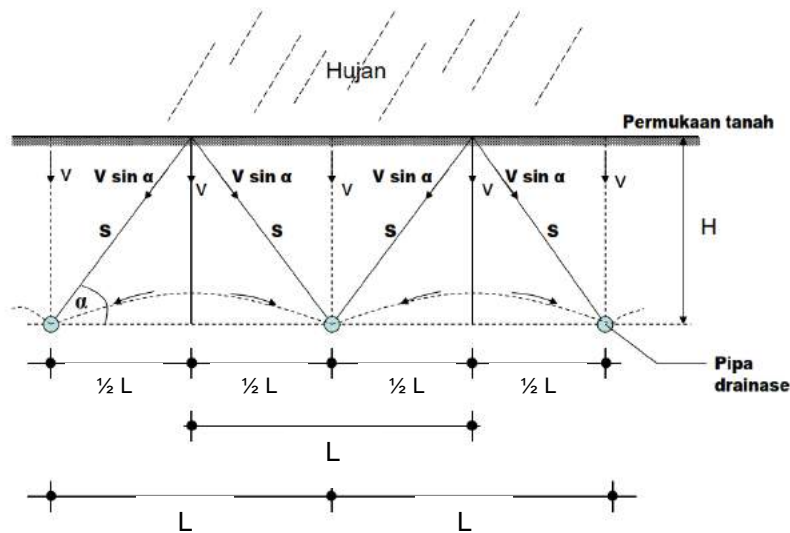
Gambar 3 Ukuran perencanaan lapangan sepakbola.

Berdasarkan denah tata letak dan ukuran lapangan (gambar 2 dan gambar 3) tersebut peneliti merencanakan pola aliran saluran drainase seperti gambar 4.



Gambar 4 Pola aliran rencana.

Untuk skema sistem drainase bawah permukaan, khususnya pada bagian utama lapangan olahraga, bisa digambarkan sebagaimana terlihat pada gambar 5.



Gambar 5 Skema sistem Drainase Bawah Permukaan.

6.3 Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana ini didapat dari tinjauan terhadap analisis hidrologi seperti data curah hujan, intensitas hujan harian, dan waktu konsentrasi, analisis hidrolika seperti koefisien pengaliran dan data topografi seperti kemiringan dan luar area.

Dalam penelitian ini penulis menggunakan dua metode untuk menentukan curah hujan rencana yaitu metode Gumbel dan Log Person Type III, sebagai mana diberikan pada tabel 6.1 dan tabel 6.2. Kala ulang Curah hujan rencana dalam penelitian ini adalah 5 tahun. Data curah hujan ini diperoleh dari stasiun hujan Batu Busuk, Kota Padang, Sumatra Barat.

Tabel 6.1 Data perhitungan curah hujan metode Gumbel.

Tahun	X_i	$(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})^3$
2009	185,0833	9662,89	-949862
2010	116,6667	27794,45	-4633798
2011	192,3333	8290,103	-754814
2012	219,1667	4123,78	-264815
2013	340,4167	3252,801	185518,1
2014	366,6667	6936,114	577662,7
2015	279,0833	18,49	-79,507
2016	378,9167	9126,618	871896,2
2017	398,6667	13290,25	1532144
2018	356,8333	5394,903	396255,6

TOTAL	2833,833	87890,39	-3039892
RATA2	283,3833		

Tabel 6.2 Data perhitungan curah hujan metode Log Person Type III.

Tahun	Xi	LOG Xi	(LOGXi-LOG \bar{X}) ²	(LOGXi-LOG \bar{X}) ³
2009	185,0833	2,2674	0,0243	-0,0038
2010	116,6667	2,0669	0,1270	-0,0452
2011	192,3333	2,2841	0,0194	-0,0027
2012	219,1667	2,3408	0,0068	-0,0006
2013	340,4167	2,5320	0,0118	0,0013
2014	366,6667	2,5643	0,0199	0,0028
2015	279,0833	2,4457	0,0005	0,0000
2016	378,9167	2,5785	0,0241	0,0037
2017	398,6667	2,6006	0,0314	0,0056
2018	356,8333	2,5525	0,0167	0,0022
TOTAL	2833,833	24,2328	0,2819	-0,0367
RATA2	283,3833	2,4233		

Berdasarkan perhitungan menggunakan metode Gumbel dan metode Log Person Type III dengan perencanaan kala ulang 5 tahun, maka nilai curah hujan yang didapat berturut-turut adalah 387,99 mm dan 375,06 mm.

Intensitas hujan rencana dihitung dengan menggunakan rumus Mononobe sedangkan waktu konsentrasi dihitung menggunakan rumus Kirpich sebagai berikut :

- a. Waktu Konsentrasi (tc)

$$tc = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385}$$

- b. Intensitas Curah Hujan Harian (I)

$$I = \left(\frac{R_{24}}{24} \right) \left(\frac{24}{tc} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Dengan menggunakan nilai curah hujan rencana dari hasil perhitungan metode Gumbel, didapatkan nilai intensitas hujan sebesar 13,38 mm/jam dengan waktu konsentrasi selama 31,89 menit.

Selanjutnya Debit banjir rencana digunakan untuk menentukan dimensi saluran yang direncanakan. Dalam penelitian ini perhitungan debit banjir rencana disesuaikan dengan masing-masing jenis dan tipe saluran, yang selanjutnya menjadi dasar perhitungan dimensi masing-masing. Secara umum sistem drainase terbagi atas tiga bagian yaitu, saluran interseptor utama yang berupa sistem drainase bawah permukaan lapangan olahraga, saluran keliling bagian dalam jalur lari dan saluran keliling bagian luar. Ketiga saluran ini memiliki debit banjir yang berbeda tergantung kepada koefisien pengaliran dan luar area alirannya. Dalam perhitungan debit banjir rencana ini penulis

menggunakan metode rasional. Hasil perhitungan dan disain dimensi masing-masing bagian sistem drainase diberikan sebagai berikut :

1. Untuk saluran keliling luar lapangan sepakbola, berdasarkan perhitungan dimensi saluran dengan tinggi saluran sebesar 0,39 m dan lebar dasar saluran 0,225 m, didapat hasil debit saluran rencana sebesar 0,06425 m³/dt. Saluran ini dapat menampung debit bajir rencana sebesar 0,005357 m³/dt.
2. Untuk saluran keliling dalam lapangan sepakbola, berdasarkan perhitungan dimensi saluran dengan tinggi saluran sebesar 0,65 m dan lebar dasar saluran 0,375 m, didapat hasil debit saluran rencana sebesar 1,2298 m³/dt. Saluran ini dapat menampung debit bajir rencana sebesar 0,0127 m³/dt.
3. Untuk saluran bawah tanah lapangan sepakbola, berdasarkan perhitungan dimensi saluran dengan tinggi saluran atau diameter saluran pipa sebesar 0,24 m, didapat hasil debit saluran rencana sebesar 0,7236 m³/dt. Saluran ini dapat menampung debit bajir rencana sebesar 0,00796 m³/dt.

7. KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan Hasil Penelitian

Sesuai dengan tujuan utama penelitian, penerapan kombinasi sistem drainase permukaan tanah (*surface drainage system*) dengan sistem drainase dibawah permukaan tanah (*sub-surface drainage system*) bisa diterapkan pada perencanaan sistem drainase lapangan olahraga di kampus Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang bisa dilakukan dengan memperhatikan ketersediaan ruang serta sifat fisik tanah yang sesuai dengan kapasitas infiltrasi yang direncanakan.

7.2 Saran Penelitian

Penelitian lanjutan masih terbuka untuk dilaksanakan dengan melakukan optimasi pengaturan jumlah, jarak dan kedalaman antar pipa intersepsi khususnya untuk drainase di bawah permukaan, serta optimasi kapasitas infiltrasi rencana sesuai dengan variasi struktur pemadatan tanah rencana.

8. DAFTAR PUSTAKA

- Adriati, Yolly. 2017. *Kajian Sistem Drainase Lapangan Sepak Bola Stadion Mini Universitas Islam Riau*. Jurnal Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar Vol. 3 No.2
- Arby, Muhammad; Andawayanti, Ussy; Primantyo, Andre. 2016. *Studi Perencanaan Sistem Drainase Sub Surface Lapangan Akademi Sepakbola Asifa Menggunakan Geotekstil, Di Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang, Jawa Timur*. Jurnal Universitas Brawijaya, Vol. 9, No. 1

- Bijaksono, Brani dan Lasminto, Umboro. 2013. *Perencanaan Drainase Kawasan Stadion Surajaya Kabupaten Lamongan*. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, (2013) 1-8
- Das, Braja M. 1998. *Mekanika Tanah*. Jakarta : Erlangga
- Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Provinsi Sumatra Barat. 2019. *Data Curah Hujan Harian Stasiun Batu Busuk*. Padang
- Effendi, Imam. 2013. *Perencanaan Sistem Peresapan Dan Penyiraman Lapangan Sepak Bola Dengan Menggunakan Sistem Sel Pada Stadion Teladan Medan*. Jurnal USU. Volume 2 No.1, 2013
- Habibie, Yusman Rusyda. 2013. *Perencanaan Sistem Drainase Stadion Batoro Katong Kabupaten Ponorogo*. JURNAL TEKNIK POMITS
- Hakim, N.M.Y. 1986. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Universitas Lampung
- Hasmar. 2011. *Drainase Terapan*. Yogyakarta : UII Press Yogyakarta
- Indarto, 2014. *Hidrologi, Dasar Teori Dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta : PT. Bumi Aksara
- Kalsim, Dedi Kusnadi. 2010. *Drainase Bawah Permukaan*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Masduki, Moh Moduto. 1998. *Drainase Perkotaan*. Teknik Lingkungan ITB. Vol.1
- Prodjopangarso, Hardjoso. 1987. *Drainase*. Yogyakarta : Laboratorium P4S Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada
- Satriya, Ardy; Ismoyo, M. Janu; Chandrasasi, Dian. 2017. *Perencanaan Sistem Drainase Stadion Bukit Lengis Kecamatan Kebomas Kabupaten Gresik*. Jurnal Drainase Stadion Universitas Brawijaya
- Soedradjat. A. 2000. *Mekanika Fluida dan Hidrolika*. Bandung : Nova
- Sunjoto, S. 2011. *Teknik Drainase Pro-Air*. Yogyakarta : Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
- Suripin, 2004. *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Yogyakarta Andi Publishing
- S.N, Ratmana. 1997. *Drainase Perkotaan*. Depok : Gunadarma
- Triatmodjo, Bambang. 2008. *Kelebihan Air Menjadikan Tanah Jenuh Sehingga Terbentuk Lah Genangan*. Jakarta : Universitas Indonesia
- Triatmodjo, Bambang. 2015. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta : Beta Offset Yogyakarta
- Wahyudi, Imam. 2007. *Perencanaan Drainase Lapangan Sepak Bola Pada Stadion Lumajang*. Jurnal Civil Engineering

MANAJEMEN DAN REKAYASA KONSTRUKSI

PERSEPSI PELAKU INDUSTRI KONSTRUKSI TERHADAP KEBERLANJUTAN DAN KONSTRUKSI HIJAU

Annisa Fitria Edriani¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Bengkulu
Email: annisa.fe@unib.ac.id

ABSTRACT

With the high contribution of the construction sector to the disruption of nature and the environment, the issue of sustainability in the construction world is gaining attention from stakeholders. This study aims to determine the level of knowledge, attitudes and application of sustainable concepts in the construction sector with data obtained through questionnaires. A total of 56 construction industry stakeholders with various backgrounds such as government employees, project managers, and architects participated in this study. The results showed that the attitude of the stakeholders are very positive towards sustainable construction and green construction but unfortunately their understanding are still very low. This is also considered to be the main factor in the low application of this concept in the field. The government as a policy maker is considered to have the most role in efforts to improve the application of the concept of sustainable construction and green construction.

Keywords : Sustainability Construction, Green Construction, Construction Sector Actors, Questionnaire, Policy Makers

ABSTRAK

Dengan tingginya sumbangsih sektor konstruksi terhadap disrupsi alam dan lingkungan, maka isu keberlanjutan dalam dunia konstruksi mendapatkan perhatian dari para pemangku kepentingan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat pengetahuan, sikap serta penerapan konsep berkelanjutan di sektor konstruksi dengan data yang diperoleh melalui penyebaran kuisioner. Sebanyak 56 pelaku industri konstruksi dengan berbagai latar belakang seperti pegawai pemerintah, project manager, dan arsitek berpartisipasi dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sikap para pelaku industri konstruksi sangat positif terhadap konstruksi berkelanjutan dan konstruksi hijau namun sayangnya pemahaman mereka masih sangat rendah. Hal ini pula yang dianggap menjadi faktor utama rendahnya penerapan konsep ini di lapangan. Pemerintah sebagai pembuat kebijakan dianggap paling berperan dalam usaha meningkatkan penerapan konsep konstruksi keberlanjutan dan konstruksi hijau.

Kata Kunci : Konstruksi Keberlanjutan, Konstruksi Hijau, Pelaku Sektor Konstruksi, Kuesioner, Pembuat Kebijakan

1. PENDAHULUAN

Sektor konstruksi merupakan salah satu penyumbang pertumbuhan ekonomi Indonesia. Menurut data dari Badan Pusat Statistik, pada tahun 2018 sektor konstruksi menyumbang 10.53% dari Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia. Sektor konstruksi juga memiliki peranan penting dalam meningkatkan kualitas hidup penduduknya

(Zhang, *et al*, 2011). Peningkatan kualitas hidup manusia akibat adanya produk-produk teknik sipil, sayangnya, seringkali menimbulkan kerusakan dan dampak buruk bagi lingkungan (Hwang dan Tan, 2012). Ketidakramahan sektor konstruksi dapat dilihat mulai dari proses konstruksi hingga pemakaian konstruksi. Pada masa konstruksi, proses konstruksi menimbulkan polusi udara, polusi suara, mencemari sumber air, dan lain-lain. Pembangunan suatu konstruksi juga menimbulkan limbah dalam volume besar dan tidak dapat terurai. Hal inilah yang menjadikan usaha nyata untuk menjadikan sektor konstruksi lebih ramah lingkungan sangat penting untuk dilakukan.

Salah satu usaha yang mulai digiatkan adalah menerapkan prinsip konstruksi hijau (*green construction/green building*). Menurut Anggunmulia, *et al* (2015), konstruksi hijau adalah konstruksi yang berpegang pada konsep keberlanjutan, diantaranya menekan kuantitas penggunaan sumber daya lama, memperhatikan kesehatan pekerja dan pengguna konstruksi, dan lainnya sejak tahap perencanaan, konstruksi, pengoperasian hingga pemeliharaan. Penerapan prinsip keberlanjutan dan konstruksi hijau sangat penting dilakukan sejak awal kegiatan konstruksi dan bukan hanya berfokus pada pemanfaatan utilitas yang ramah lingkungan. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui situasi keberlanjutan saat ini di sektor konstruksi Indonesia dan untuk memperkirakan kemungkinan tantangan penerapan konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau di Indonesia. Penulis menyelidiki pengetahuan dan pemahaman beragam pelaku konstruksi Indonesia mengenai konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau. Peneliti juga menyelidiki sikap dan praktik terkini konsep keberlanjutan di sektor konstruksi Indonesia.

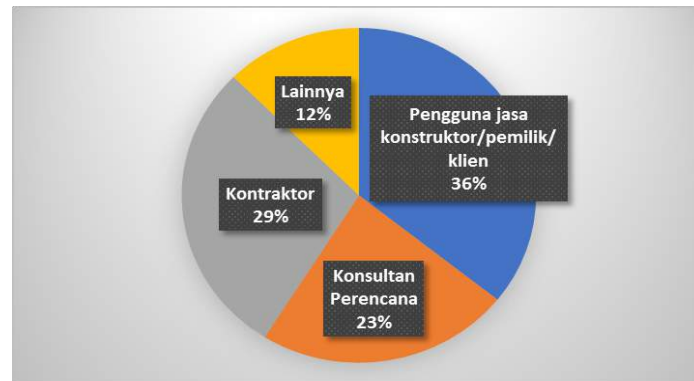
2. METODOLOGI PENELITIAN

Sebagai langkah awal, berbagai literatur terkait dengan topik yang ditentukan dikumpulkan dan ditinjau untuk membantu mengumpulkan informasi tentang keberlanjutan di Indonesia dan negara lainnya. Informasi tersebut juga digunakan untuk merancang kuesioner untuk penelitian lebih lanjut. Kuesioner dirancang sedemikian rupa sehingga pengetahuan dan pemahaman tentang konstruksi berkelanjutan, sikap dari pemangku kepentingan dan praktik saat ini di Indonesia dapat diketahui melalui survei yang dilakukan. Kuesioner mencakup empat bagian yakni informasi/latar belakang, pengetahuan, sikap dan praktik keberlanjutan di Indonesia. Kelengkapan dan keterbacaan kuesioner diperiksa oleh lima profesional industri konstruksi. Versi terakhir dari kuesioner dibagikan kepada para pemangku kepentingan sektor konstruksi seperti klien, kontraktor, insinyur, desainer, dan lainnya. Secara total, 56 tanggapan berhasil dikumpulkan oleh penulis. Responden dikategorikan ke dalam 4 kelompok yakni pengguna jasa kontraktor/pemilik/klien, konsultan perancang, kontraktor, dan lainnya yang tidak termasuk dalam tiga kategori sebelumnya (dosen, konsultan manajemen konstruksi, dan lain-lain).

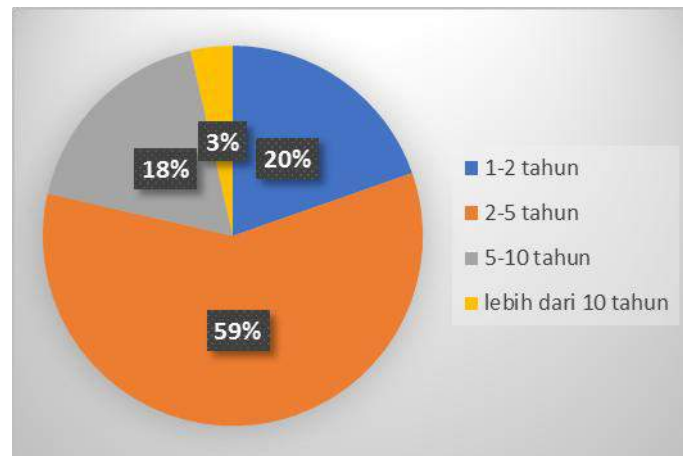
3. HASIL

3.1 Informasi Umum Responden

Partisipan penelitian ini berasal dari berbagai latar belakang profesi di sektor konstruksi seperti pengguna jasa kontraktor/pemilik/klien, konsultan perencana, kontraktor, dosen, dan lainnya. Pengalaman kerja yang dimilikipun beragam, mulai dari 1-2 tahun hingga lebih dari 10 tahun.



Gambar 45. Profesi Responden



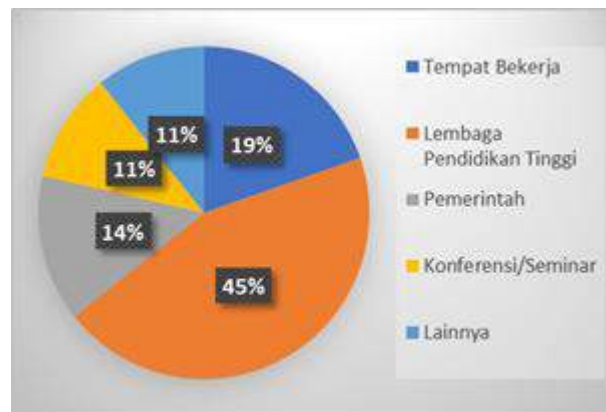
Gambar 46. Pengalaman Kerja Responden

3.2 Pengetahuan Responden

Responden dikelompokkan dalam empat kategori yakni klien, konsultan, dan kontraktor, dan lainnya. Tujuan pengelompokan ini adalah untuk menyajikan perbedaan tingkat pemahaman menurut profesi. Tingkat pemahaman masing-masing kelompok profesi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 27. Tingkat Pengetahuan Responden Terhadap Konsep Keberlanjutan dan Konstruksi Hijau

No	Profesi	Tingkat Pemahaman		
		Tidak Tahu	Cukup Tahu	Tahu
1	Klien/Pengguna Jasa Kontraktor	32%	52%	16%
2	Pemilik/Pegawai Perusahaan Konsultan Bidang Konstruksi	31%	25%	44%
3	Pemilik/Pegawai Perusahaan Kontraktor	56%	22%	22%
4	Lainnya	33%	17%	50%

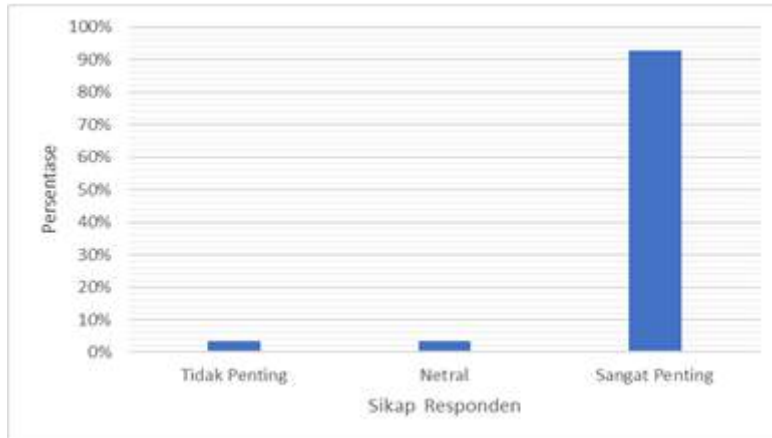


Gambar 47. Tempat Responden Pertama Mendengar Konsep Keberlanjutan dan Konstruksi Hijau

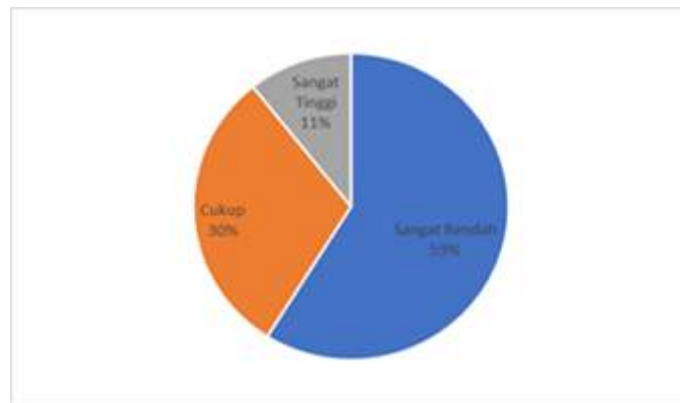
Kelompok profesi klien/pengguna jasa kontraktor, dimana termasuk kedalam kategori ini adalah pegawai negeri sipil yang melaksanakan pengadaan konstruksi serta pegawai perusahaan swasta yang menggunakan jasa kontraktor untuk pembangunan gedung, gudang, dan lainnya, adalah kelompok profesi yang mayoritas responden cukup mengetahui dan sangat mengetahui konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau. Disisi lain, mayoritas responden yang bekerja di kontraktor konstruksi justru tidak mengetahui konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau. Secara keseluruhan maka 45% responden pertama mendengar konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau dari lembaga pendidikan tinggi, termasuk didalamnya jurnal yang dikeluarkan oleh universitas, akademi, dan sekolah tinggi. Diketahui pula, 87.5% responden dalam penelitian ini beranggapan bahwa manfaat penerapan konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau adalah dampak baik yang diberikan terhadap lingkungan.

3.3 Sikap Responden

Secara keseluruhan, hampir semua responden beranggapan bahwa penerapan konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau sangat penting namun penerapan konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau dianggap masih sangat rendah dimana hanya 11% responden menganggap penerapan konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau di Indonesia tinggi.



Gambar 48. Sikap Responden Terhadap Pentingnya Penerapan Konsep Keberlanjutan dan Konstruksi Hijau

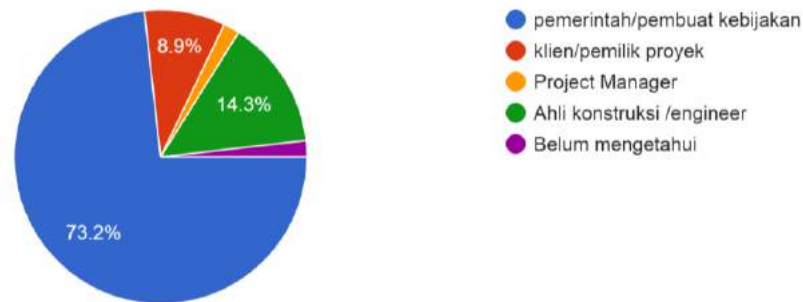


Gambar 49. Tingkat Penerapan Konsep Keberlanjutan dan Konstruksi Hijau di Indonesia



Gambar 50. Penyebab Rendahnya Penerapan Konsep Keberlanjutan dan Konstruksi Hijau di Indonesia

Berdasarkan hasil kuesioner, kurangnya pengetahuan para pelaku industri mengenai konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau menjadi alasan utama kurangnya penerapan konsep ini di Indonesia. Faktor kedua adalah rendahnya permintaan terhadap konstruksi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, baik dari klien maupun tuntutan peraturan (dari pemerintah). Untuk meningkatkan penerapan konsep ini, responden beropini bahwa pemerintah sebagai pembuat kebijakan adalah *stakeholder* yang dapat paling berperan.



Gambar 51. Pihak yang Paling Berperan dalam Usaha Meningkatkan Penerapan Konsep Keberlanjutan dan Konstruksi Hijau di Indonesia

3.4 Penerapan di Lapangan

Pada kuesioner, penulis memberikan beberapa kegiatan yang sesuai dengan konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau. Responden diminta untuk memberikan penilaian apakah kegiatan tersebut tidak pernah, jarang, sering, atau selalu dilakukan pada kegiatan konstruksi di Indonesia. Hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 28. Penerapan Konsep Keberlanjutan dan Konstruksi Hijau di Construction Site

Kegiatan	Intensitas Penerapan di Lapangan			
	Tidak Pernah	Jarang	Sering	Selalu
Penggunaan material bekas pakai	13%	71%	16%	0%
Desain yang efisien energi	7%	75%	16%	2%
Penerapan manajemen limbah yang baik	9%	64%	20%	7%
Penggunaan panel surya untuk penyediaan listrik	25%	70%	5%	0%
Ventilasi dan pencahayaan alami	11%	43%	41%	5%
Pembuatan sumur resapan	11%	54%	32%	4%
Penggunaan kayu dari sumber yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan (bukan hasil <i>illegal logging</i>)	13%	54%	29%	5%

4. PEMBAHASAN

Penelitian ini mengelompokkan responden menjadi empat kategori profesi, yaitu pengguna jasa kontraktor/pemilik/klien, konsultan perencana, kontraktor, dan kelompok profesi lainnya (seperti dosen, konsultan pengawas, dan lain-lain). Hal ini dilakukan agar penulis dapat melihat tingkat pengetahuan empat kategori profesi yang dianggap vital dalam industri konstruksi. Dari hasil analisis data terlihat bahwa responden dengan profesi kontraktor banyak yang tidak tahu sama sekali mengenai konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau. Hal tersebut sangat disayangkan mengingat mereka adalah pelaksana pekerjaan konstruksi dan banyak usaha menerapkan konsep keberlanjutan yang dapat dilakukan pada masa pelaksanaan pembangunan.

Lembaga pendidikan tinggi menjadi tempat dimana mayoritas yang mengetahui mengenai konsep keberlanjutan pertama kali mendengar tentang konsep tersebut. Hal ini dapat menjadi pacuan agar lembaga-lembaga pendidikan tinggi dapat terus memberikan edukasi kepada masyarakat mengenai konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau. Hal ini dapat pula menjadi pengingat bagi pihak lainnya seperti pemerintah, perusahaan kontraktor dan perusahaan konsultan untuk terus memperbarui pengetahuan para pelaku industri konstruksi dan menimbulkan kesadaran akan konsep ini.

Membuat pelaku industri sadar akan keberadaan konsep ini dan pentingnya menerapkan konsep ini bukanlah tujuan akhir. Lebih dari itu, usaha nyata untuk terus menerapkan konsep ini haruslah ada. Pemerintah sebagai pembuat kebijakan dianggap mempunyai andil paling besar dalam penegakan aturan demi terwujudnya konstruksi yang berkelanjutan. Meskipun memiliki sikap positif terhadap keberlanjutan, praktik-praktik berkelanjutan berada di level rendah. Responden merasa mereka jarang melihat kegiatan konstruksi yang memperhatikan keberlanjutan. Lebih banyak upaya dan studi diperlukan untuk meningkatkan praktik berkelanjutan dan konstruksi hijau di Indonesia.

5. KESIMPULAN

Pelaku industri konstruksi Indonesia sangat terbuka terhadap konsep keberlanjutan dan konstruksi hijau, akan tetapi, tingkat pengetahuan mereka yang terlibat dalam industri ini perlu ditingkatkan. Sikap positif responden terhadap keberlanjutan tidak dimanfaatkan untuk meningkatkan praktiknya di site konstruksi. Kurangnya pengetahuan serta kurangnya permintaan terhadap konstruksi yang berkelanjutan dan konstruksi hijau adalah dua faktor utama yang menghambat penerapannya di Indonesia. Riset lebih mendalam juga perlu dilakukan guna mengidentifikasi tantangan terhadap penerapan konsep konstruksi yang berkelanjutan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- AlSanad, S., 2015. Awareness, drivers, actions, and barriers of sustainable construction in Kuwait. *Procedia engineering*, 118, pp.969-983.
- Zhang, X., Platten, A. and Shen, L., 2011. Green property development practice in China: costs and barriers. *Building and environment*, 46(11), pp.2153-2160.

- Hwang, B.G. and Tan, J.S., 2012. Green building project management: obstacles and solutions for sustainable development. *Sustainable development*, 20(5), pp.335-349.
- Anggunmulia, R., Widyanto, D.S., Chandra, H.P. and Ratnawidjaja, S., 2015. Kriteria Bangunan Hijau dan Tantangannya pada Proyek Konstruksi di Surabaya. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 4(2).

IMPLEMENTASI SISTEM MANAJEMEN MUTU ISO 9001:2008 PADA PEKERJAAN BETON BRIDGE CONVEYOR (BC), TRANSFER STATION & HOPPER PROYEK INDARUNG VI KOTA PADANG

Utami Dewi Arman¹, Rafki Imani², Afrilda Sari³, Widyawati Purba⁴

¹Staf Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Putra Indonesia YPTK, Padang

Email: udewi2679@gmail.com

²Staf Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Putra Indonesia YPTK, Padang

³Staf Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Putra Indonesia YPTK, Padang

⁴Staf Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Putra Indonesia YPTK, Padang

ABSTRACT

According to ISO 8402, the definition of quality is the characteristics of a product or service that meets the satisfaction of customers or users. Quality is also one of the benchmarks of the goals and objectives of the project where the quality requirements specified in the specification and criteria of the project plan. Some contractors in Indonesia refer to ISO 9001: 2008 as a quality management system standard to meet the demands of increasingly critical construction service and want to get the best results from delivering service or products. This study aimed to identify the implementation of the quality management system (QMS) based on ISO 9001-2008 implemented by PT.X as the contractor for the Project of Bridge Conveyor (BC) Construction Station, Transfer Station & Hopper at the Indarung VI Project in Padang City and then also identified the controls and quality assurance (QC / QA) of concrete work according to the standard. As the results obtained, that PT.X has implemented a QMS, involves quality manuals, business process maps, document control, management commitment, management of human resources and the environment, realization on project implementation, project analysis and evaluation for achieving customer satisfaction. The implementation of the QMS is only for the Engineering Division and the Production one, whereas for other ones using existing Standard Operating Procedures. The Quality Assurance and Quality Control (QA / QC) for concrete works related to material specifications, tools, and work methods, and calculation standards referring to SKSNI T-15-1991-03.

Keywords : Quality Management System, ISO 9001: 2008, Concrete Work, Projects, Construction

ABSTRAK

Menurut definisi ISO 8402, mutu adalah sifat dan karakteristik produk atau jasa yang memenuhi kebutuhan pelanggan atau pemakai. Mutu juga merupakan salah satu tolak ukur dari sasaran dan tujuan proyek dimana persyaratan mutu ditetapkan dalam suatu spesifikasi dan kriteria dari suatu perencanaan. Beberapa perusahaan jasa konstruksi di Indonesia telah menggunakan standar sistem manajemen mutu ISO 9001:2008 dalam

usaha memenuhi tuntutan pengguna jasa konstruksi yang makin kritis dan ingin mendapatkan hasil terbaik dari produk dan jasa pelayanan konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana penerapan Sistem Manajemen Mutu (SMM) berdasarkan standar ISO 9001:2008 yang diterapkan oleh PT.X sebagai kontraktor pelaksana Proyek Pembangunan Bridge Conveyor (BC), Transfer Station & Hopper Proyek Indarung VI di Kota Padang serta mengidentifikasi pengendalian dan jaminan mutu (QC/QA) pekerjaan beton menurut acuan yang telah ditetapkan. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, bahwa PT.X telah menerapkan SMM berdasarkan Standar ISO 9001:2008, melalui manual mutu, peta proses bisnis, pengendalian dokumen, komitmen manajemen, pengelolaan sumber daya manusia dan lingkungan, relaisasi pelaksanaan proyek, dan analisa serta evaluasi proyek dengan tujuan untuk mencapai kepuasan pelanggan, sebagaimana yang telah ditetapkan dalam Pedoman Sistem Manajemen Mutu Igaras (SMIGS). Penerapan SMM hanya untuk Divisi Teknik dan Divisi Produksi saja, sedangkan untuk divisi-divisi lain sebatas mengikuti Standar Operasional Prosedur yang sudah ada. Penerapan Quality Assurance dan Quality Control (QA/QC) untuk pekerjaan beton terkait spesifikasi material, alat, dan metode kerja serta standar perhitungan beton mengacu pada standar SKSNI T-15-1991-03.

Kata Kunci : Sistem Manajemen Mutu, ISO 9001:2008, Pekerjaan Beton, Proyek, Konstruksi

1. PENDAHULUAN

Sebagian besar perusahaan jasa konstruksi banyak menerapkan ISO 9001 dalam pelaksanaan proyek konstruksi, dan memang biasanya syarat untuk mengikuti pelelangan meminta sertifikasi ISO 9001 baik ISO 9001:2008 maupun ISO 9001:2015. PT. X adalah suatu perusahaan yang memproduksi semen dan beton nasional yang telah mendapatkan sertifikat ISO 9001: 2008 baik sebagai produsen beton maupun sebagai perusahaan jasa konstruksi. Salah satu paket pekerjaan Proyek Indarung VI yang telah ditangani oleh PT. X adalah pekerjaan Bridge Conveyor, Transfer Station Dan Hopper. Untuk mengetahui sejauh mana PT.X menerapkan Sistem Manajemen Mutu (SMM) dalam pelaksanaan pekerjaan ini menjadi permasalahan perlunya dilakukan penelitian.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada Proyek Pekerjaan *Bridge Coveyor (BC), Transfer Station & Hopper* Proyek Indarung VI Kota Padang yang dilaksanakan oleh PT. X, selaku BUJK. Berikut dijelaskan beberapa tahapan yang dilakukan selama penelitian adalah;

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan tinjauan teori yang berkaitan dengan manajemen mutu serta teori-teori pendukung permasalahan dari penelitian ini.

2. Pengumpulan Data

a. Data primer

Data primer yang dimaksud disini adalah data yang diperoleh melalui wawancara dengan Manajer Proyek dan staf lain dari Divisi Teknik tentang penerapan ISO 9001:2008 yang dilaksanakan oleh PT. X.

b. Data Sekunder

Data sekunder berupa buku pedoman Sistem Manajemen Igaras (SMIGS) yang dimiliki oleh PT.X dan dokumentasi-dokumentasi lain seperti:, Kerangka Acuan

Kerja (KAK), Dokumen Kontrak Kerja, dan sumber lain yang relevan sehingga penelitian mendapatkan referensi yang akurat.

3. Analisis dan Pembahasan

- a. Menganalisis implementasi SMM PT. X selaku Badan Usaha Jasa Konstruksi (BUJK).
- b. Mengidentifikasi pengendalian dan jaminan mutu pekerjaan beton dalam proyek Pembangunan Pekerjaan *Brigde Conveyor, Transfer Station Dan Hopper* Proyek Indarung VI dengan standar ISO 9001:2008.

4. Penutup

Menyimpulkan hasil–hasil penelitian yang diperoleh dan memberikan saran pengembangan penelitian berikutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penerapan SMM PT. X sebagai Perusahaan Jasa Konstruksi

PT.X telah menerapkan Sistem Manajemen Mutu (SMM) Berdasarkan Standar ISO 9001: 2008. Ruang lingkup sertifikasi sistem manajemen mutu hanya mencakup pada Divisi Teknik Proyek serta Divisi Produksi (BP Indarung) untuk divisi lain hanya sebatas implementasi saja. Berikut uraian penerapan SMM PT. X yang dapat dijelaskan pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Implementasi SMM ISO 9001:2008 di PT. X

No	Item	Sub Item	Penerapan SMM ISO 9001:2008 di PT. X
1	Manual Mutu	Visi dan Misi Perusahaan	Visi Perusahaan : Menjadi Perusahaan yang unggul dalam perdagangan Semen, serta jasa yang lainnya yang relevan dengan industri semen wilayah Sumatera bagian Tengah. Misi Perusahaan : a. Mendukung strategi Perusahaan induk dalam mendistribusikan produk semen secara efisien dan tepat sasaran. b. Memenuhi harapan pelanggan dan meningkatkan kesejahteraan stakeholder. c. Mengembangkan SDM yang profesional dan kompeten. d. Mengelola sumber daya secara efisien dan efektif.
		Kebijakan Mutu	Meliputi kegiatan perumusan dan penetapan visi, misi, nilai-nilai, strategi, kebijakan, sasaran dan rencana kerja perusahaan yang berfungsi sebagai pedoman dalam kegiatan operasional perusahaan. Manajemen kebijakan adalah tanggung jawab dewan direksi.
2	Peta Proses Bisnis		Proses bisnis mencakup : a. Pemenuhan kebutuhan Stakeholder. b. Perusahaan berinteraksi dengan stakeholder dalam hubungan yang saling menguntungkan.

3	Dokumentasi Berdasarkan Interaksi Proses Badan Usaha	Pengendalian Dokumen	Ketentuan-ketentuan pelaksanaan proses bisnis didokumentasikan dalam dokumen-dokumen SMIGS seperti pedoman, pedoman teknis, prosedur, instruksi kerja serta dokumen-dokumen acuan lainnya.
		Pengendalian Rekaman	Perusahaan menetapkan, menerapkan, dan memelihara dokumen-dokumen SMIGS yang terdiri dari kebijakan, pedoman, prosedur, intruksi kerja, dokumen eksternal dan rekaman. Tata cara pengendalian dokumen-dokumen SMIGS dituangkan dalam prosedur pengendalian dokumen rekaman dan dikomunikasikan kepada seluruh karyawan untuk dilaksanakan secara konsisten.
	Tanggung Jawab Manajemen	Komitmen Manajemen	Komitmen tersebut ditunjukkan melalui : a. Penetapan dan pengkomunikasian kebijakan perusahaan. b. Penetapan pedoman Sistem Manajemen Igaras dan Pedoman Teknis lainnya. c. Pelaksanaan tinjauan manajemen. d. Pemastian tersedianya sumber daya. e. Memelihara integritas sistem manajemen jika terjadi perubahan.
		Rapat Tinjauan Manajemen	Agenda pembahasan dalam tinjauan manajemen mencakup : a. Kinerja proses dan kesesuaian seluruh aspek sistem manajemen (Kualitas, lingkungan, K3 dan lain-lain) b. Tingkat pencapaian Sasaran perusahaan. c. Efektifitas implementasi Sistem Manajemen Igaras (SMIGS) d. Evaluasi kebijakan Perusahaan dan Sasaran mutu perusahaan. e. Hasil audit internal dan eksternal. f. Status tindakan perbaikan dan pencegahan serta tindak lanjutnya. g. Tindak lanjut dari hasil Tinjauan Manajemen sebelumnya. h. Perubahan-perubahan (organisasi, teknologi, produk, standar-standar, peraturan perundangan dan lain-lain) yang dapat mempengaruhi SMIGS. i. Umpan balik atau keluhan dari pihak-pihak yang berkepentingan (Stakeholder). j. Pelatihan personil. k. Peluang-peluang dan rekomendasi untuk perbaikan. l. Kebutuhan untuk perubahan terhadap SMIGS termasuk kebijakan dan sasaran perusahaan. m. Laporan dan analisis terhadap ketidak sesuaian produk yang berasal pelanggan dan sumber informasi lainnya.
5	Manajemen Sumber Daya dan Lingkungan	Pengelolaan Sumber Daya	Pengelolaan SDM, perusahaan mengembangkan praktek pengelolaan sumber daya manusia sebagai berikut : a. Mengelola dan menciptakan lingkungan internal dan eksternal yang positif, meliputi: b. Menghubungkan strategi dan praktek pengelolaan sumber daya manusia dengan tujuan dan strategi bisnis perusahaan. c. Memastikan praktek pengelolaan sumber daya manusia

			<p>sesuai dengan peraturan perundang-undangan dan peraturan yang berlaku.</p> <p>d. Menciptakan hubungan industrial dan kerja sama yang kondusif antara perusahaan dan karyawan serta antar sesama karyawan.</p>
		Pengelolaan SDM dan Pelatihan	<p>Pengembangan kompetensi mencakup :</p> <ol style="list-style-type: none"> Memberikan pelatihan/training pada karyawan Meningkatkan pendidikan formal karyawan Memberikan pelatihan, seminar, benchmarking dan workshosp yang berhubungan dengan kepemimpinan.
		Pengelolaan Lingkungan	<p>Perencanaan dan pelaksanaan proses bisnis harus memperhatikan dan meminimalkan dampak yang dapat ditimbulkan terhadap lingkungan hidup, antara lain pencegahan pencemaran udara, air, tanah, kebisingan dan lain-lain.</p>
6	Realisasi Pelaksanaan Proyek	Informasi Proyek	<ol style="list-style-type: none"> Pekerjaan <i>Brigde Conveyor</i> (BC), Transfer Station TS dan Hopper dalam lingkup Proyek Pabrik Semen Padang Indarung VI, meliputi secara garis besar pekerjaan persiapan, pekerjaan tanah, pekerjaan pondasi, pekerjaan beton dan pekerjaan baja. Lokasi Pekerjaan Pekerjaan Konstruksi Clinker Storage and Transport direncanakan di area proyek Indarung VI. Alamat PT. X
		Prakualifikasi ,Tender dan Kontrak	<p><u>Proses Prakualifikasi Pemasok</u> Untuk seleksi pemasok, perusahaan menetapkan daftar vendor untuk masing-masing kelompok barang/jasa dengan didukung ERP perusahaan.</p> <p><u>Tender/ Pengadaan Barang dan Jasa</u> Semen Padang Group melakukan proses pengadaan barang atau jasa dengan pola sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> Pelelangan terbuka, terbuka untuk semua pemasok yang memenuhi persyaratan) Pemilihan langsung atau pelelangan terbatas (minimal 3 pemasok yang memenuhi persyaratan) Penunjukan langsung (ditunjuk satu pemasok tertentu) Pembelian langsung <p>Masing-masing pola pengadaan diatas dapat digunakan dengan syarat memenuhi kriteria yang telah ditetapkan. Kriteria pemilihan pola pengadaan secara umum berkaitan dengan urgensi kebutuhan, ketersediaan pemasok, dan nilai pembelian.</p> <p><u>Kontrak</u> Persyaratan-persyaratana yang ditentukan dalam kontrak mencakup ;</p> <ul style="list-style-type: none"> -Hak dan kewajiban kedua belah pihak -Persyaratan barang/jasa yang disuplai termasuk persyaratan pada waktu penyerahan produk dan kegiatan pasca penyerahan. -Persyaratan perpu yang terkait dengan barang/jasa -Penyelesaian perbedaan persyaratan yang dinyatakan dalam kontrak atau order sebelumnya -Kemampuan perusahaan pemasok barang/jasa yang sesuai dengan

			<p>persyaratan pelanggan.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Penyelesaian perselisihan, keluhan dan ketidakpuasan -Pekerjaan Subkontrak terutama fabrikasi dan konstruksi. -Adendum kontrak, apabila ada penambahan ataupun pengurangan volume pekerjaan maka dilakukan setelah pekerjaan mulai dilakukan, proses kaji ulang ditinjau, didokumentasikan dan dikomunikasikan dengan semua personil atau unit kerja yang terkait.
		Proses Pengadaan	<p>Secara umum perusahaan mengadakan proses pengadaan melalui pelelangan terbatas karena sebagian besar barang/jasa yang dibeli memenuhi kriteria pola pengadaan tersebut.</p>
		Pengendalian Proyek	<p>Kegiatan pengendalian proyek meliputi :</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Mengidentifikasi kebutuhan untuk pengendalian proyek dengan memperhatikan aspek manajemen, alat pengendali, dan acuan standar/ kode serta memastikan tersedianya informasi yang rinci dan jelas yang relevan dengan sasaran. b) Menetapkan dan melaksanakan pengendali dengan cara memilih metode pengendalian yang tepat dan sesuai, mengacu pada standar internal dan standar nasional/internasional, menetapkan prosedur pengendalian mencakup pengiriman material pengelolaan limbah dan pemakaian APD, dan aspek lainnya. c) Memantau penerapan dan efektivitas dari pengendalian dan perencanaan serta memantau tindakan perbaikan yang diperlukan
		Penyerahan Proyek	<p>Penyerahan produk kepada pelanggan (agen/ Proyek) dari BP, Inventory milik perusahaan. Tanggung jawab perlindungan kualitas dan jumlah serta lokasi penyerahan produk bergantung kepada syarat penyerahan yang tercantum dalam <i>Customer Order/ SO</i> pembelian produk. Jenis-jenis syarat penyerahan barang antara lain Frangko Gudang Agen/ konsumen , <i>Fee on Truck</i> (FOT), <i>Free on Board</i> (FOB) dan lain-lain. Divisi Niaga menerbitkan <i>Delivery Order</i> (DO) sebagai bukti pengambilan produk oleh agen. Pada saat closing periode akhir bulan, penanggung jawab inventory bertanggung jawab memastikan seluruh transaksi penyerahan telah dientrikan dengan benar dan lengkap.</p>
	Analisa dan Evaluasi Proyek	Kepuasan Pelanggan	<p>Untuk meningkatkan kepuasan pelanggan, perusahaan menanggapi semua keluhan dari pelanggan. Proses untuk menangani keluhan pelanggan, dilakukan dengan :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Bag. promosi & pelayanan pelanggan melakukan identifikasi atas keluhan yang diterima dan meneruskan kepada unit terkait, untuk melakukan analisis atas keluhan tersebut. 2 Bag. Promosi & pelayanan pelanggan bersama dengan unit terkait memberikan solusi dan penanganan atas keluhan pelanggan. 3 Apabila memerlukan peninjauan dilokasi, Bag. Promosi & pelayanan pelanggan meminta unit terkait untuk menyelesaikan keluhan pelanggan. 4 Menginformasikan dan menerapkan solusi pada produk atau layanan serta meminta konfirmasi dari pelanggan yang terkait

			dengan efektifitas solusi yang diberikan.
		Kinerja Proyek	Evaluasi kinerja adalah kegiatan yang dilakukan secara berkala dan ditunjukkan untuk : 1. Mengevaluasi strategi, kebijakan dan pencapaian sasaran perusahaan. 2. Mengevaluasi dan memastikan kesesuaian, kecukupan dan keefektifan SMIGS. 3. Mengidentifikasi peluang-peluang perbaikan secara berkesinambungan. 4. Menetapkan solusi untuk permasalahan operasional.
		Upaya perbaikan berkesinambungan	Masing-masing unit kerja memastikan rancangan dan penerapan sistem manajemen mutu yang menjadi tanggung jawabnya dilakukan dengan memperhatikan strategi bisnis dan kesinambungan realisasi produk/jasa serta mencari peluang-peluang inovasi untuk meningkatkan daya saing perusahaan. Pengelolaan resiko yang dapat menghambat kelancaran realisasi produk/jasa adalah suatu sistem dalam upaya untuk melakukan perbaikan yang berkesinambungan untuk jangka panjang.

3.2 Pengendalian dan Jaminan Mutu (QC/QA) Pekerjaan Beton Proyek Pembangunan Bridge Conveyor, Transfer Station Dan Hopper Proyek Indarung VI

Berikut Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) pekerjaan beton pada Proyek *Bridge Conveyor (BC)*, *Transfer Station* & *Proyek Indarung VI* sesuai Standar ISO 9001: 2008 yang telah disusun oleh Divisi Teknis yang dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. RKS Pekerjaan Beton Proyek Pembangunan *Bridge Conveyor*, *Transfer Station* dan *Hopper* Proyek Indarung VI

No	Item	Keterangan
1	Acuan dan spesifikasi material beton	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Semua pekerjaan beton termasuk dalam lingkup spesifikasi harus berupa "<i>Ready Mix Concrete</i>", kecuali bila ditetapkan lain secara khusus dalam spesifikasi. ▪ Semua pekerjaan beton harus memenuhi syarat-syarat SKSNI-T15-1991. ▪ Mutu beton untuk masing-masing elemen struktur bangunan harus memenuhi pada umumnya kriteria dibawah ini, kecuali bila ditentukan secara khusus dalam spesifikasi. ▪ Pondasi sumuran : minimal untuk mutu beton bangunan yang digunakan dengan kuat tekan silinder $f'c = 18.67$ Mpa (<i>Ready Mix</i>). Kuat tekan tersebut diatas lebih kurang setara dengan K-225 pada NI-2. ▪ Pondasi setempat dan pile cap : Minimal untuk mutu beton bangunan yang digunakan dengan kuat tekan silinder $f'c = 20.75$ MPa (<i>Ready mix</i>). Kuat tekan tersebut diatas adalah lebih kurang setara dengan K-250 pada NI-2.

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lantai kerja : Minimal dengan kuat silinder $f_c' = 10$ MPa (site mix), artinya kuat tekan hancur karakteristik sebesar 10 MPa pada benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, saat umur beton 28 hari. ▪ Material <ul style="list-style-type: none"> a. Semen non PC <ul style="list-style-type: none"> ✓ Semen yang dipakai adalah jenis <i>Portland Composite Cement</i> (<i>PCC</i>) yang tidak ada tanda-tanda proses pematangan (Prahidrasi) yang memenuhi standar dan semua ketentuan dan kriteria SII 0013-81 dan standar Umum bahan Bangunan Indonesia 1986, atau ASTM- C150. ✓ Semen harus disimpan dalam gudang yang kedap air, berventilasi, diatas lantai tumpuan setinggi +30 cm. Dengan tumpukkan kantong semen tidak boleh melebihi sepuluh lapis. Penyimpanan semen harus selalu terpisah untuk setiap pengiriman serta harus dipakai sesuai urutan pengiriman. b. Pasir (Agregat Halus) <p>Agregat halus atau pasir untuk beton, dapat berupa pasir alam sebagai hasil disintegritasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir batuan yang dihasilkan oleh alat pemecah batu, sesuai dengan persyaratan dari SII 0052-80 “Mutu dan cara uji agregat beton” atau ASTM-C33 dan yang disetujui oleh direksi pekerjaan. Agregat halus harus terdiri dari butir yang keras dan tajam tidak mudah hancur oleh pengaruh cuaca, dan agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang dimaksud lumpur bagian yang lolos dari ayakan 0.063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat harus dicuci dulu sebelum sebelum dipakai dalam pengadukan, dengan disetujui direksi pekerjaan.</p> c. Kerikil dan Batu pecah (Agregat kasar) <p>Agregat kasar sesuai dengan ketentuan dan persyaratan dari SII 0052-80 “ Mutu dan cara uji agregat beton atau ASTM- C33 dan yang disetujui oleh direksi pekerjaan. Ukuran besar butir nominal maksimum agregat kasar harus tidak melebihi $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antar batang tulangan atau berkas batang tulangan atau $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang samping cetakan atau $\frac{1}{3}$ dari tebal plat. Agregat tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering), yang dimaksud lumpur bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm apabila melampaui 1% agregat harus dicuci dulu sebelum dalam adukan beton, dengan disetujui direksi pekerjaan. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat reaktif alkali yang dapat merusak beton.</p> d. Air
--	--

		<p>Air untuk pembuatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali atau bahan-bahan yang dapat merusak beton. Jumlah air yang digunakan harus setepatnya dengan sudah memperhitungkan semua koreksi yang perlu dilakukan akibat kadar air yang berbeda yang dikandung agregat dilapangan.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontraktor sekurangnya dua minggu sebelum memulai pekerjaan beton harus membuat adukan percobaan (<i>trial mixes</i>). Yang nantinya digunakan untuk menunjukkan bahwa campuran tersebut memenuhi kriteria untuk mencapai mutu serta kinerja beton yang disyaratkan. ▪ Supaya kualitas beton digunakan dapat dikontrol dengan baik sesuai standar yang ada, uji mutu dan kinerja beton, dengan melakukan tes uji tekan hancur, uji slump. Jumlah prosedur pembuatan contoh benda uji harus dengan kekuatan SKSNI-T15-1991, dengan benda uji berbentuk silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm, dimana mutu beton harus diperiksa pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari untuk setiap macam adukan yang diambil contohnya. Benda uji harus ditandai sesuai identifikasi dengan suatu kode dapat dengan tanggal pembuatannya.
2	Standar mutu beton	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontraktor diharuskan membuat pengujian pendahuluan (<i>trial test</i>) atas benda uji silinder sejumlah minum 30 buah setiap proporsi adukan yang diinginkan, yang diuji pada umur beton 3 hari, 7 hari, 28 hari, <i>trial test</i> dilaksanakan setelah adanya surat perintah kerja atau penunjukan kontraktor. ▪ Kuat tekan karakteristik f_c' harus didapatkan berdasarkan rumusan SKSNI-T15-1991, yaitu dengan melakukan koreksi kuat tekan rata-rata f_{cr}' yang dapat dari pengujian tekan atas 30 buah (minimum) benda uji, berdasarkan nilai deviasi standarnya menurut hasil yang terkecil dari dua formulasi dibawah ini : $f_c' = f_{cr}' - 1,64 S$ atau $f_c' = f_{cr}' - 2,64 S + 4$, dimana S menyatakan besarnya deviasi standar dari hasil uji tekan yang dilakukan pada minimal 30 buah benda uji dilakukan secara berurutan yang nilainya tidak melebihi 7 mpa. ▪ Apabila tidak memenuhi syarat maka bagian pekerjaan tersebut harus diperbaiki, atau bila dianggap perlu dibongkar dan dibangun sesuai dengan instruksi direksi pekerjaan, biaya akibat gagalnya pekerjaan, termasuk masalah waktu penyelesaian pekerjaan menjadi tanggung jawab kontraktor.
3	Metode Pelaksanaan Pekerjaan Beton	<p>a. Adukan beton yang dibuat setempat (<i>site mixing</i>)</p> <p>Adukan beton yang dibuat setempat untuk volume kecil, harus memenuhi syarat sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Pelaksanaan penakaran semen dan agregat harus dengan kotak takaran yang volumenya sesuai hasil <i>trial mixes</i> dan

	<p>disetujui oleh direksi pekerjaan.</p> <ol style="list-style-type: none">2) Banyaknya air untuk pencampuran beton harus sesuai dengan trial mixes.3) Adukan beton dibuat dengan menggunakan mesin pengadukan beton (batch mixer), tipe dan kapasitasnya harus mendapat persetujuan direksi pekerjaan.4) Kecepatan putaran tidak boleh melebihi kapasitas mesin pengaduk. Jumlah pengadukan beton tidak boleh melebihi kapasitas mesin pengaduk. Lama pengadukan tidak kurang dari 5 menit. Mesin pengadukan yang tidak dipakai lebih dari 30 menit harus dibersihkan dulu dari sisa-sisa beton lama. <p>b. Lantai kerja</p> <p>Lantai kerja pada umumnya dibuat dari beton dengan mutu $f'c = 10,37$ Mpa menurut SKSNI-T15-1991, atau lebih kurang setara dengan K-125 menurut NI-2. Peil lantai kerja harus diperiksa kembali terhadap level ketinggian yang disyaratkan. Lantai kerja bisa dibuat dari beton mutu B^o menurut NI-2 atau lebih kurang setara dengan $f'c = 8$ Mpa menurut SKSNI-T15-1991. Sebagai pedoman umum, beton dengan mutu B^o (menurut NI-2) dapat dibuat campuran semen, pasir dan kerikil dengan perbandingan 1 : 3 : 5. Namun hal apapun perbandingan pasir dan kerikil (atau batu pecah) terhadap jumlah semen, tidak boleh melampaui 8:1.</p> <p>c. Pengecoran beton</p> <p>Pada pekerjaan beton harus secepat mungkin dicor setelah pengadukan, sehingga tidak terjadi pengendapan agregat maupun bergesernya posisi tulangan atau acuan. Pengecoran tidak boleh dimulai sebelum acuan / bekisting dan pemasangan baja tulangan selesai di periksa, sebelum dimulai pengecoran tempat harus terlebih dahulu dibersihkan dari sampah atau kotoran, bila dalam pengecoran di hentikan dalam waktu lebih 24 jam maka permukaan lama yang akan disambung harus dibersihkan dan bila perlu di kasarkan atau menyikat, dan apabila sudah mengeras untuk kemudian disiram dengan air, baru di cor dengan beton baru.</p> <p>d. Pemadatan Beton</p> <p>Selama pengecoran beton harus dipadatkan dengan memakai alat vibrator sehingga tidak merusak acuan maupun posisi tulangan. Jangan melakukan pemadatan beton secara berlebihan karena menyebabkan pengendapan agregat, keboran acuan/bekisting. Beton di cor secara berlapis supaya mempunyai ikatan yang baik satu sama lain.</p> <p>e. Pembengkokan dan penyetelan baja tulangan</p> <p>Sebelum penyetelan dan pemasangan baja tulangan dimulai, kontrak harus membuat rencana kerja pemotongan baja dan pembengkokan baja tulangan (bar bending schedule), tulangan harus bebas dari kotoran, karet lepas, tanah yang bisa mengurangi daya lekatnya, pembekukan baja tulangan sesuai dengan aturan SKSNI, pemasangan dan penyetelan tulangan harus berdasarkan peil-peil yang sesuai dengan gambar dan sudah diperhitungkan mengenai toleransi penurunannya, pemasangan dilakukan dengan menggunakan penganjal jarak selimut beton (beton decking) untuk</p>
--	--

		mendapatkan tebal selimut yang sesuai dengan gambar. Tulangan harus dipasang sebelum dan selama pengecoran agar tidak berubah tempatnya dan ketebalan selimut beton harus dibuat dengan pengganjal dengan jumlah minimum 4 buah setiap m ² cetakan atau lantai kerja.
4	Pengendalian dan Jaminan Mutu (QC/QA)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seluruh rekaman inspeksi dan pengendalian kualitas yang dilakukan oleh kontraktor diserahkan bukti dalam bentuk laporan harian tertulis kepada pemberi tugas. ▪ Inspeksi jaminan kualitas yang harus dilakukan oleh kontraktor minimal mencakup : <ul style="list-style-type: none"> a) Inspeksi Cuaca menurut ASTM E337. b) Inspeksi kualitas angin kompresor menurut ASTM D4285. c) Inspeksi cacat fabrikasi menurut NACE RP0178. d) Inspeksi kontaminasi oli, minyak, pada permukaan menurut SSPC-SP1. e) Inspeksi distribusi dan persentase karat awal menurut SSPC-Vis2. f) Inspeksi tingkat kebersihan permukaan menurut SSPC-Vis3. g) Inspeksi kebersihan permukaan yang telah dibersihkan menurut ISO 8502- 3:1992. h) Inspeksi batch number, shelf-life ,mixing ratio, prosentase thinner, postlife, induction time, drying time, coating interval, dan curing time menurut SSPC- PA1.

4. KESIMPULAN

- a. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, bahwa PT.X telah menerapkan SMM berdasarkan Standar ISO 9001:2008 dan hanya diterapkan pada Divisi Teknik Proyek (Konstruksi) dan Divisi Produksi saja, untuk divisi-divisi lain hanya sebatas mengikuti standar operasional yang sudah ada.
- b. Penerapan proses bisnis dan metode kerja dilakukan dengan menganut gabungan prinsip SDCA (*Standardized Do Check Action*) dan PDCA (*Plan Do Check Action*) untuk perbaikan berkesinambungan. Sistem manajemen ini diatur dalam Pedoman Sistem Manajemen Igaras (SMIG).
- c. Untuk pengendalian dan jaminan mutu (QC/QA) pekerjaan beton, spesifikasi material, alat dan metode kerja serta standar perhitungan beton yang digunakan dalam proyek ini adalah SKSNI T-15-1991-03.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Gaspersz, V. 2008. *Manajemen Kualitas Dalam Industri Jasa*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama
- Menteri Pekerjaan Umum. 2009. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 04/PRT/M/2009 tentang *Sistem Manajemen Mutu (SMM) Departemen Pekerjaan Umum*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Wahyuni, Hana Catur et all.,2015.*Pengendalian Kualitas*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Mulyo et al.,2005. *Panduan Penerpan Manajemen Mutu ISO 9001:2000 bagi Jasa Pelaksana Konstruksi dan Jasa Konsultasi Konstruksi*.Jakarta: PT Gramedia.
- Prihantoro, Rudy. 2012. *Konsep Pengendalian Mutu*. Bandung:PT Remaja Rosdakarya.
- Shobrie.2014. *Mengadopsi Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2008 & DIS ISO 9001:2015*. Jakarta:Hardi-smart Konsulting
- Frederika, Ariany et al., 2017.” *Evaluasi Penerapan Standar Mutu (ISO)9001:2008 Pada PT. Multi Saran Propertindo*: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil (hlm.130-131). Bali: Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran-Bali

PENILAIAN RISIKO DAN PENANGANAN KERUSAKAN RUAS JALAN NASIONAL PADANG-SOLOK-SAWAH LUNTO

Eva Rita¹, Rusdianto Agusta², Nasfryzal Carlo³

¹ Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta, Padang

Email: carlovanal13@gmail.com

² Alumni Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Bung Hatta, Padang

Email: rudioanto.agusta@gmail.com

³ Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta, Padang

Email: carlo@bunghatta.ac.id

ABSTRACT

The condition of the National Road Region 2 of West Sumatra Province, the Padang-Solok-Sawahlunto road segment has been damaged in several segments. The existing condition has many cracks, potholes, and collapsed due to the heavy traffic of heavy vehicles passing. To find out the conditions that exist on this road section, an evaluation and assessment of accident risk as effect the damage on each section. Survey carried out to determine the type of road damage. The Pavement Condition Index (PCI) method used to assesst type of damage occurred. The risk assessment for accidents was adopted the method used by Mulyono et al. (2009). The results, the type of damage the road segment are alligator cracks, transverse and lengthwise cracks, potholes and patches. The values of PCI was vary from 8.60 to 80 with the category of failure are bad, good, and very good. Accident risk is categorized as undangerous and dangerous. The handling of this road requires scheduled inspection, routine maintenance, rehabilitation and reconstruction.

Keywords : road damage, road conditions, PCI, handling, risk of accident

ABSTRAK

Kondisi Jalan Nasional Wilayah 2 Provinsi Sumatera Barat, ruas jalan Padang-Solok-Sawahlunto sudah mengalami kerusakan pada beberapa segmen. Kondisi eksisting jalan banyak mengalami keretakan, berlubang, dan amblas akibat padatnya lalu lintas kendaraan berat yang melewati. Untuk mengetahui kondisi yang ada pada ruas jalan ini, dilakukan evaluasi dan penilaian risiko kecelakaan di setiap ruas. Survei secara visual dilakukan untuk mengetahui jenis kerusakan jalan dan melakukan pengukuran untuk mengetahui luas kerusakan. Kemudian dilakukan penilaian terhadap jenis kerusakan yang terjadi menggunakan metoda *Pavement Condition Index*. Penilaian risiko terhadap kecelakaan diadopsi metoda yang digunakan Mulyono et al. (2009). Hasil penelian menemukan jenis keretakan retak buaya, retak melintang, retak memanjang, amblas, lubang dan tambalan. Nilai PCI bervariasi antara 8,60 hingga 80 dengan kategori gagal, jelek, baik, dan sangat baik. Risiko kecelakaan dikategorikan tidak berbahaya dan berbahaya. Untuk penanganan jalan ini diperlukan inspeksi terjadual, pemeliharaan rutin, rehabilitasi dan rekonstruksi.

Kata Kunci : kerusakan jalan, kondisi jalan, PCI, penanganan, risiko kecelakaan

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan bagian dari sistem transportasi yang mempunyai peranan penting dalam mendukung bidang ekonomi, sosial, budaya, dan lingkungan. Oleh sebab itu keselamatan bagi pengguna jalan amat penting untuk diperhatikan sehingga tidak terjadi kecelakaan (Setiawan, et al., 2007). Pemerintah harus mewujudkan pelayanan andal dan prima dari jalan dimaksud. Berdasarkan pasal 30 ayat 1, ayat 1 UU nomor 38 tahun 2000 tentang Jalan; penyelenggara jalan wajib memprioritaskan pemeliharaan, perawatan dan pemeriksaan jalan secara berkala untuk mempertahankan tingkat pelayanan jalan sesuai dengan standar pelayanan minimal yang ditetapkan. Selanjutnya Peraturan Pemerintah nomor 34 tahun 2006, pasal 97 ayat 1, menyatakan bahwa penyelenggara jalan mempunyai kewajiban dan tanggung jawab untuk memelihara jalan sesuai dengan kewenangannya.

Jalan Nasional Wilayah 2 rute Padang-Solok-Sawah Lunto merupakan jenis perkerasan fleksibel mengalami kerusakan; ada yang terlihat badan jalan retak dan berlubang, bahkan ada tambalan perbaikan sebelumnya nyaris menutupi badan jalan. Penyebab bermuatan melebihi tonase yang ditetapkan (Hardi, et al., 2014; Anugrah, 2012), kurangnya pemeliharaan (Agusta, 2019). Kerusakan yang ada tersebut akan dapat menyebabkan rawan kecelakaan, menghambat laju kendaraan dan ketidak nyaman dalam mengendara, lamanya jarak tempuh dan tingginya biaya perbaikan (Harianto dan Kristin, 2019; Anugrah, 2012).

Berdasarkan data Polda Sumatera Barat (Agusta, 2019), pada tahun 2018 kecelakaan lalu lintas yang terjadi di ruas Padang-Solok-Sawah Lunto mencapai 166 kejadian dengan korban meninggal dunia 26 orang. Oleh sebab itu perlu dilakukan percepatan perbaikan jalan tersebut sebagaimana mana dinyatakan dalam UU RI nomor 22/2009 tentang Lalulintas dan Angkutan Jalan, bahwa penyelenggara jalan wajib segera dan patut untuk memperbaiki jalan yang rusak yang dapat mengakibatkan kecelakaan lalu lintas dan preservasi sebagai kegiatan untuk menjaga kondisi jalan, termasuk didalamnya adalah pemeliharaan, rehabilitasi dan rekonstruksi jalan.

Tingkat kerusakan perkerasan jalan dapat di minimalisasi jika kondisi perkerasan di ketahui pada tahun-tahun sebelumnya. Untuk memprediksi kondisi perkerasan dengan baik, maka dibutuhkan suatu sistem penilaian kondisi jalan dan evaluasi secara periodik. Metoda penilaian dapat dilakukan dengan *Pavement Condition Index* (Agusta, 2019; Harianto dan Kristin, 2019).

Pavement Condition Index (PCI) adalah salah satu sistem penilaian kondisi perkerasan jalan berdasarkan jenis dan tingkat kerusakan. Tingkat kerusakan yang digunakan dalam perhitungan PCI adalah *low severity level* (L), *medium severity level* (M), dan *high severity level* (H) (Yunardhi et al., 2018). Pembagian nilai kondisi perkerasan yang disarankan oleh FAA (1982), Shahin (1994), ASTM (2011) sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1. Hasil penilaian tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam usaha penanganan kondisi pekerjaan jalan (Hardiatmo, 2007). Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 13/PRT/M/2011 ada tiga jenis perbaikan yaitu pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, dan rehabilitasi dan rekontruksi.

Tabel 1. Kriteria Kerusakan Jalan Menurut PCI tahun 2011

Nilai PCI	Kriteria
85-100	Sempurna
70-84	Sangat baik
55-69	Baik
40-54	Sedang
25-39	Buruk
10-24	Sangat buruk
0-10	Gagal

Penilaian risiko kecelakaan merupakan nilai peluang ketidak sempurnaan keselamatan jalan dan kemungkinan terjadinya kecelakaan pada daerah yang sering terjadi kecelakaan ((Dijen Bina Marga, 2007a; 2007b, Mulyono et al., 2009). Nilai satu jika kecelakaan jarang, nilai 2 jika kecelakaan jarang, nilai 3 jika kecelakaan sedang, nilai 4 jika kecelakaan sering, dan nilai 5 jika kecelakaan cukup sering terjadi pada kawasan yang ditinjau. Nilai peluang ini didasari atas data ukur kerusakan jalan, data kecelakaan lalu lintas (Mulyono et al., 2009). Nilai peluang ketidak sempurnaan keselamatan jalan terhadap kejadian kecelakaan lalu lintas ditunjukkan pada tabel 2. Dampak keparahan korban kecelakaan ditunjukkan pada tabel 3 serta tingkat risiko ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 2. Peluang ketidaksempurnaan keselamatan jalan terhadap kejadian kecelakaan lalu lintas berdasarkan pengukuran kerusakan jalan (Mulyono et al., 2009).

Hasil ukur dimensi dan tata letak bagian infrastruktur jalan	Nilai kualitatif	Nilai kuantitatif
Perbedaan yang terukur di lapangan < dari 10% terhadap standar teknisnya	Tidak pernah terjadi kecelakaan	1
Perbedaan yang terukur di lapangan antara 10%-40% terhadap standar teknisnya	Terjadi kecelakaan sampai 5 kali per tahun	2
Perbedaan yang terukur di lapangan antara 40%-70% terhadap standar teknisnya	Terjadi kecelakaan 5 sd 10 kali per tahun	3
Perbedaan yang terukur di lapangan antara 70%-100% terhadap standar teknisnya	Terjadi kecelakaan 10 sd 15 kali per tahun	4
Perbedaan yang terukur di lapangan lebih besar dari 100% terhadap standar teknisnya	Terjadi kecelakaan lebih dari 15 kali per tahun	5

Tabel 3. Dampak keparahan korban kecelakaan berkendara di jalan raya berdasarkan tingkat fatalitas dan kepentingan penanganannya (Mulyono et al., 2008).

Hasil Evaluasi Korban Kecelakaan Berkendaraan di Jalan Raya	Nilai Kualitatif	Nilai Kuantitatif
Korban tidak mengalami luka apapun kecuali kerugian material	Amat ringan	1
Korban mengalami luka ringan dan kerugian material	Ringan	10
Korban mengalami luka berat dan tidak berpotensi cacat anggota tubuh, serta atau tidak ada kerugian material	Sedang	40
Korban mengalami luka berat dan berpotensi meninggal dunia dalam proses perawatan di rumah sakit atau tempat penyembuhan serta ada atau tidak ada kerugian material	Berat	70

Korban meninggal dunia di tempat kejadian kecelakaan serta ada atau tidak ada keugian material	Amat berat	100
--	------------	-----

Tabel 4. Kategori Risiko dan nilai risiko terhadap tingkat penanganan ketidak sempurnaan kecelamatan jalan (Mulyono et al., 2009)

Analisis Risiko		Tingkat kepentingan Penanganan
Nilai Risiko	Kategori Resiko	
< 125	Tidak berbaya	Monitoring rutin dengan inspeksi keselamatan jalan yang terjadual pada titik-titik yang berpotensi terhadap kejadian kecelakaan
125-250	Cukup berbahaya	Perlu penanganan teknis yang tidak terjadual berdasarkan hasil inspeksi keselamatan jalan di lokasi kejadian dan sekitarnya
250-375	Berbahaya	Perlu penanganan teknis yang terjadual maksimal 2 bulan sejak hasil audit keselamatan jalan yang disetujui
>375	Sangat berbahaya	Perlu penanganan teknis secara total dengan <i>stakeholders</i> terkait maksimal 2 minggu sejak hasil audit keselamatan jalan yang disetujui

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif evaluatif dengan melakukan tinjauan lapangan secara visual terhadap kerusakan jalan. Objek penelitian adalah perkerasan jalan fleksibel pada jalan nasional wilayah 2 Sumatera Barat, ruas Padang-Solok-Sawah Lunto, dimulai dari km 5+000 sampai km 88+000 dari kota Padang. Dimensi kerusakan diukur dan didokumentasikan (Dirjen Bina Marga 1990). Analisis kondisi jalan digunakan metode *Pavement Condition Index* (PCI) tahun 2011 dengan membagi jalan berdasarkan segmen setiap 100 m dan diambil rata-rata setiap 1 km. Analisis nilai risiko dilakukan dengan mengalikan nilai peluang kecelakaan (Tabel 2) dan nilai dampak kecelakaan (tabel 3). Kategori risiko diperoleh berdasarkan hasil hitungan risiko dengan merujuk tingkat risiko pada tabel 4 (Ditjen Bina marga, 2007a; 2007b, Mulyono et al., 2009).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Nilai Kerusakan Jalan dengan Metoda PCI

Nilai kerusakan jalan nasional ruas Padang-Solok-Sawah Lunto dimulai dari km 05+000 hingga km 88+000 berdasarkan perhitungan dengan metoda PCI ditunjukkan pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Nilai PCI rata-rata (per km) dan kondisi ruas jalan Padang-Solok-Sawah Lunto

No.	Km	PCI rata-raa	Keterangan
1	5+000 s.d 6+000	58,00	Baik
2	6+000 s.d 7+000	57,67	Baik
3	7+000 s.d 8+000	50,38	Cukup
4	8+000 s.d 9+000	31,60	Jelek

5	9+000 s.d 10+000	49,25	Cukup
6	10+000 s.d 11+000	36,71	Jelek
7	12+000 s.d 13+000	58,00	Baik
8	13+000 s.d 14+000	59,67	Baik
9	25+000 s.d 26+000	40,40	Cukup
10	26+000 s.d 27+000	40,6	Cukup
11	27+000 s.d 28+000	67,00	Baik
12	28+000 s.d 29+000	60,25	Baik
13	29+000 s.d 30+000	52,50	Cukup
14	30+000 s.d 31+000	55,33	Baik
15	31+000 s.d 32+000	49,14	Cukup
16	32+000 s.d 33+000	48,25	Cukup
17	33+000 s.d 34+000	54,90	Cukup
18	34+000 s.d 35+000	41,44	Cukup
19	35+000 s.d 36+000	65,00	Baik
20	36+000 s.d 37+000	56,33	Baik
21	37+000 s.d 38+000	60,00	Baik
22	38+000 s.d 39+000	58,00	Baik
23	39+000 s.d 40+000	54,25	Cukup
24	40+000 s.d 41+000	50,00	Cukup
25	41+000 s.d 41+600	61,00	Baik
26	43+230 s.d 44+000	55,50	Baik
27	44+000 s.d 45+000	67,00	Baik
28	45+000 s.d 46+650	53,67	Cukup
29	47+400 s.d 48+225	63,00	Baik
30	50+225 s.d 51+000	51,50	Cukup
31	51+000 s.d 52+000	53,67	Cukup
32	52+000 s.d 53+000	52,67	Cukup
33	53+000 s.d 54+000	57,67	Baik
34	54+000 s.d 55+000	66,00	Baik
35	55+000 s.d 56+000	67,67	Baik
36	56+000 s.d 57+000	48,50	Cukup
37	57+000 s.d 58+000	56,00	Baik
38	58+000 s.d 59+000	69,57	Baik
39	59+000 s.d 60+000	68,75	Baik
40	61+000 s.d 62+000	68,00	Baik
41	62+000 s.d 63+000	68,33	Baik
42	63+000 s.d 64+000	56,00	Baik
43	64+000 s.d 65+000	71,33	Sangat Baik
44	65+000 s.d 66+000	62,50	Baik
45	66+000 s.d 67+000	66,75	Baik

46	67+000 s.d 68+000	60,50	Baik
47	68+000 s.d 69+000	8,60	Gagal
48	69+000 s.d 70+000	10,40	Sangat Jelek
49	70+000 s.d 71+000	37,10	Jelek
50	71+000 s.d 72+000	52,80	Cukup
51	72+000 s.d 73+000	41,88	Cukup
52	73+000 s.d 74+000	56,60	Baik
53	74+000 s.d 75+000	67,56	Baik
54	75+000 s.d 76+000	47,30	Cukup
55	76+000 s.d 77+000	59,43	Baik
56	77+000 s.d 78+000	89,13	Sangat Baik
57	78+000 s.d 79+000	62,00	Baik
58	79+000 s.d 80+000	71,14	Sangat Baik
59	80+000 s.d 81+000	65,25	Baik
60	81+000 s.d 82+000	64,29	Baik
61	82+000 s.d 83+000	72,50	Sangat Baik
62	83+000 s.d 84+000	68,50	Sangat Baik
63	84+000 s.d 85+000	36,83	Jelek
64	85+000 s.d 86+000	70,00	Sangat Baik
65	86+000 s.d 87+000	67,50	Baik
66	87+000 s.d 88+000	69,50	Baik
PCI KESELURUHAN		56,34	Baik

Berdasarkan tabel 5 diatas terlihat bahwa tingkat kerusakan bervariasi mulai dari gagal, sangat jelek, jelek, cukup, baik dan sangat baik. Secara keseluruhan nilai PCI 58,34 menunjukkan kategori baik. Namun perlu menjadi perhatian jika kategori gagal, sangat jelek, jelek dan cukup. Karena akan membawa risiko kecelakaan yang lebih besar (Agusta, 2019). Berikut diuraikan tingkat kerusakan yang terjadi dan posisi kerusakannya.

Kondisi jalan untuk kerusakan dikategorikan gagal berada di km 68+000 – 69+000. Prosentase tingkat kerusakan terhadap keseluruhan jalan yang ditinjau adalah 1,51%. Kondisi jalan untuk kategori sangat jelek berada di km 69+000 – 70+000 dengan prosentase tingkat kerusakan terhadap keseluruhan jalan adalah 1,51%. Kondisi jalan untuk kerusakan jelek berada di KM 8+000 – 9+000, 10+000 – 11+000, 70+000 – 71+000, 84+000 – 85+000. Prosentase tingkat kerusakan terhadap keseluruhan jalan yang ditinjau adalah 4,06%. Kondisi jalan untuk kategori cukup berada di km 07+000 – 08+000, 9+000 – 10+000, 25+000 – 27+000, 29+000 - 30+000, 31+000 – 35+000, 39+000 – 41+000, 45+000 – 46+000, 50+000 – 53+000, 56+000 – 57+000, 71+000 – 73+000, 75+000 - 76+000, dengan prosentase tingkat kerusakan terhadap keseluruhan jalan mencapai 28,78%. Sisanya berkategori baik dan sangat baik.

3.2 Penilaian Risiko Kecelakaan

Data kecelakaan raya diperoleh dari 3 Polres yang berada pada kawasan ruas jalan nasional Padang-Solok-Sawah Lunto yaitu Polresta Padang untuk kecelakaan yang terjadi pada km 05+000 s.d 14+000, Polres Solok untuk km 25+000 s.d 62+000, dan Polresta Sawahlunto untuk km 62+000 s.d 88+000. Berdasarkan jenis kerusakan jalan yang ditemui, jumlah kecelakaan, dampak kecelakaan maka rekapitulasi nilai risiko kecelakaan yang terjadi akibat kerusakan jalan dan program penanganan ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Penilaian Risiko dan Tingkat Resiko Jalan

Ruas Jalan	Km	Jenis Kerusakan	Nilai Risiko	Risiko	Program Penanganan
Kota Padang	05+000-14+000	Retak buaya	70	Tidak berbahaya	Monitoring rutin dengan infeksi terjadwal
		Retak memanjang	70	Tidak berbahaya	
		Lubang	70	Tidak berbahaya	
		Tambalan	70	Tidak berbahaya	
Batas Kota Padang-Solok	25+000-62+000	Retak buaya	70	Tidak berbahaya	Monitoring rutin dengan infeksi terjadwal
		Retak memanjang	70	Tidak berbahaya	
		Lubang	70	Tidak berbahaya	
		Tambalan	70	Tidak berbahaya	
Batas Kota Solok-Sawah Lunto	62+000-88+00	Amblas	70	Tidak berbahaya	Penanganan secara teknis dan terjadwal
		Retak buaya	350	Berbahaya	
		Retak memanjang	350	Berbahaya	
		Retak melintang	140	Cukup berbahaya	
		Retak Pinggir	70	Tidak berbahaya	
		Lubang	70	Tidak berbahaya	
Tambalan	350	Berbahaya	Penanganan secara teknis dan terjadwal		

Resiko kecelakaan dengan kategori cukup berbahaya dan berbahaya terjadi pada ruas jalan Batas Kota Solok-Sawah Lunto yang diakibatkan oleh adanya retak memanjang, retak melintang, dan tambalan yang cukup luas. Walaupun jenis kerusakan retak buaya dikategorikan tidak berbahaya pada ruas jalan Padang-Solok (km 5+000 s.d km 62+000), namun pada ruas jalan km 62+000-88+00 retak buaya mempunyai peluang sama terjadinya kecelakaan (Agusta, 2019) dengan dengan kerusakan retak memanjang dan tambalan. Hal ini diakibatkan luasnya kerusakan yang terjadi. Dari catatan kecelakaan dari Polres Kota Sawah Lunto tercatat 2 meninggal dunia, 1 luka berat, dan 19 luka ringan dari 35 kejadian. Oleh sebab itu program penanganan harus dilakukan secara teknis dan terjadwal. Penanganan secara teknis dapat dilakukan dengan melakukan

penambalan, lapisan ulang, dan lain sebagaimana dituangkan dalam Peraturan Menteri PU nomor 13/PRT/M/2011 tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan.

Untuk kategori tidak berbahaya perlu dilakukan inpeksi terjadwal agar keselamatan pengguna tetap terjamin dan tidak terjadi kecelakaan lalu lintas akibat adanya kerusakan (Setiawan et al., 2007).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan jenis kerusakan, penilaian risiko dan tingkat risiko kecelakaan pada jalan nasional wilayah 2 Sumatera Barat pada ruas Padang-Solok-Sawah Lunto, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

Jenis kerusakan pada ruas Jalan Padang–Solok–Sawahlunto, STA 05+000 sampai dengan STA 88+000 antara lain berupa retak buaya, retak memanjang, retak melintang, retak pinggir, tambalan, lubang, dan amblas. Kerusakan jalan tersebut berdasarkan nilai PCI diperoleh 56,34 dengan kriteria baik. Namun pada beberapa tempat terjadi kerusakan gagal mencapai 1,51 %, sangat jelek 1.51%, kerusakan jelek 4,06% kerusakan cukup mencapai 28,78% dan kerusakan baik dan sangat baik mencapai 64,17 % dari keseluruhan luas jalan ruas yang ditinjau.

Hasil penilaian risiko kecelakaan adalah:

Untuk ruas Kota Padang, km 05+000 s.d 14+000 didapat nilai risiko rata-rata 70 dan dikategorikan tidak berbahaya.

Untuk ruas Batas Kota Padang–Batas Kota Solok, km 25+000 s.d 62+000 didapat nilai risiko 70 dan dikategori tidak berbahaya.

Untuk Batas Kota Solok–Kota Sawahlunto, km 62+000 s.d 88+000 didapatkan nilai risikonya 70, 140 dan 350 dengan masing-masing dalam kategori tidak berbahaya, cukup berbahaya dan berbahaya.

Perioritas penanganan untuk kategori baik dan sangat baik dapat dilakukan dengan pemeliharaan rutin dan berkala, sedang untuk kategori jelek dan gagal dimasukkan dalam program peningkatan jalan (rehabilitasi dan rekonstruksi).

5. DAFTAR PUSTAKA

- Agusta, R. 2019. *Penilaian Kondisi, Risiko Kecelakaan dan Prioritas Panaganan Jalan Wilayah II Provinsi Sumatera Barat (Studi Kasus Ruas jalan Padang-Solok-Sawah Lunto. Tesis Magister*. Teknik Sipil, Universitas Bung Hatta (unpublished)
- Anugrah, D. 2012. *Cost Analysis of road maintenance and rehabilitation due to overloading (Ouding Besar – Kota Waringin roadway bangka regency)*. Tesis Magister. Universitas Sebelas Maret Surakarta.

- Dijen Bina Marga. 2011. *Perturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 13 /PRT/M/2011 tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Ditjen Bina Marga. 2007a. *Modul Pelatihan Inspeksi Keselamatan Jalan (IKJ) dalam Penyelenggaraan Jalan Berkeselamatan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Ditjen Bina Marga. 2007b. *Penyusunan Sistem Manajemen dan Pedoman Keselamatan Jalan dalam Kegiatan Pembangunan Jalan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Ditjen Bina Marga. 1992. *Petunjuk Praktis Pemeliharaan rutin Jalan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Ditjen Bina Marga. 1990. *Tata Cara Penyusunan Program Pemeliharaan Jalan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Uum.
- Ditjen Bina Marga. 2006. *Kajian kebutuhan Pelaksanaan Keselamatan Jalan di Indonesia*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Hardi, W. Purnawan, Gunawan, H. 2014. *Penentuan Tarif Angkutan Barang Moda Kereta Api Jalur Padang-Solok*.
- Hariyanto dan Kristin, D. 2019. *Evaluasi Penilaian Perkerasan Jalan dengan Metode Pavement Control Index (PCI) studi Kasus Ruas Jalan Gajah Mada dan Sorogo Kecamatan Cepu*. [Jurnal.untidar.ac.id/index.php/civilengineering/](http://jurnal.untidar.ac.id/index.php/civilengineering/) P-ISSN 2614-3100 E-ISSN 2614-3119.
- Ikhwanudin, Yudaningrum, F. 2016 . *Metode Perbaikan Kerusakan Retak pada Ruas Jalan Kedungmundu-Metesih*. Jurnal Ilmiah Teknosains 2 (2) p-ISSN 2460-9986 e-ISSN 2476-9436. <http://journal.upgriss.ac.id>. diakses 20 September 2019.
- Mulyono, A. T., Kushari B., Agustin J. 2008. *Monitoring dan evaluating infrastructure safety deficiencies towards integrated road safety improvement in Indonesia*. Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference: 540-546.
- Mulyono, A.G. Kushari, B., Gunawan, H.E. 2009. *Audit Keselamatan Infrastruktur Jalan (Studi Kasus Jalan nasional KM78-KM79 Jalur Pantura Jawa, Kabupaten Batang*. Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil 16 (3):163-174.
- Mulyono, A.T. 2009. *Sistem Keselamatan Jalan untuk Mengurangi Defisiensi Infrastruktur Jalan Menuju Jalan Berkeselamatan*. Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil-3 ISBN 927-979-15429-3-7, Jakarta, 2009.
- Setiawan, D, Rezki, L.A., Mahmudah, N. 2007. *Inspeksi Keselamatan Jalan Yogyakarta-Wonosari km 18 sampai dengan km 22*. Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi ke-20: 1-10, Universitas Hasanuddin. Makassar, 4 – 5 November 2017
- Shahin, M. Y. 1994. *Pavement Management for Airports, Road, and Parking Lots*. New York: Chapman & Hall.

- Sekretariat Negara. 2004. *Undang-undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan*. Jakarta.
- Suwandi, A. Sartono, W. Cristady, H. 2008. *Evaluasi Tingkat Kerusakan Jalan dengan Metode PCI untuk menunjang Pengambilan Keputusan (Studi Kasus Jalan Lingkar Selatan Yogyakarta)*. **Forum Teknik Sipil No. XVIII/3**: 936-946.
- Yunardhi, H., Alkas, M.Jasir, Sutanto, H. 2018. *Analisa Kerusakan Jalan dengan Metoda PCI dan Alternatif Penyelesaian (Studi Kasus: Ruas Jalan D.I. Panjaitan)*. **Jurnal Teknologi Sipil 2 (2)**: 38-47.

Sistem Pendukung Keputusan Cerdas Pada Model Rantai Pasok Industri Konstruksi Berkelanjutan: Studi Literature

Putranesia¹, Taufika Ophiyandri², Benny Hidayat³, Meilizar⁴

¹Mahasiswa Program Doktoral Pasca Sarjana Universitas Andalas, Padang

Email : putranesia@bunghatta.ac.id

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.Email:

t_ophiyandri@yahoo.co.uk

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.Email:

bennyhidayat@eng.unand.ac.id

⁴Manajemen Logistik Industri Agro, Politeknik ATI Padang.Email:

iza_zanetha@yahoo.com

ABSTRACT

In the world of construction, there are always risk factors. This risk has an enormous influence on the success of the project. For this reason, it is necessary to know and analyze risk factors that will affect the success of construction projects to avoid the risk of failure. This paper discusses a literature study on intelligent decision support systems in the construction industry by looking at existing supply chain patterns to minimize risks in implementing sustainable construction projects, especially in the sustainable construction industry. A literature study is carried out by comparing related scientific articles related to research topics, starting with a review of materials that express the opinions of experts, developments, problems, and solutions offered where the materials extracted are mostly taken from the articles published from 1991 to 2019 and several articles published before 1991 but support this research.

Keywords: literature study, risk, decision-making system, supply chain, the sustainable construction industry

ABSTRAK

Dalam dunia konstruksi faktor resiko selalu ada. Risiko tersebut mempunyai pengaruh yang besar terhadap keberhasilan proyek konstruksi. Untuk itu perlu diketahui dan dianalisis faktor-faktor risiko yang akan berpengaruh terhadap keberhasilan proyek konstruksi sehingga dapat menghindarkan resiko terjadinya kegagalan. Makalah ini membahas studi literature mengenai sistem pendukung keputusan cerdas pada industri konstruksi dengan melihat pola rantai pasok yang ada sehingga dapat mengurangi resiko dalam pelaksanaan proyek-proyek konstruksi dalam hal ini industri konstruksi berkelanjutan. Studi literature dilakukan dengan membandingkan artikel-artikel ilmiah terkait yang berhubungan dengan bahasan penelitian, dimulai dengan tinjauan terhadap artikel-artikel yang mengungkapkan pendapat para ahli, perkembangan, masalah dan solusi yang ditawarkan. Artikel-artikel yang digali sebagian besar diambil dari artikel-artikel yang terbit dari tahun 1991 hingga 2019 dan beberapa artikel yang terbit sebelum tahun 1991 tetapi mendukung terhadap penelitian ini.

Kata kunci : studi literature, resiko, sistem pengambilan keputusan ,rantai pasok, konstruksi berkelanjutan

1. PENDAHULUAN

Konstruksi sebagai sebuah sistem yang kompleks mulai dari proses perencanaan, pengembangan, perancangan, pelaksanaan, operasi dan pemeliharaan hingga modifikasi dan dekonstruksi, dengan penggunaan beragam sumberdaya dan melibatkan berbagai pihak, nantinya harus dikelola untuk mencapai prinsip-prinsip dalam Industri konstruksi berkelanjutan, yaitu *reduce, reuse, recycle, protect nature, eliminate toxic* dan *life cycle costing*. Menurut Tucker *et al.*(2001) ,industri konstruksi sebagai suatu sistem yang kompleks menyebabkan pelaksanaan proyek konstruksi menjadi tidak efisien, dan menimbulkan resiko. Risiko tersebut mempunyai pengaruh yang besar terhadap keberhasilan proyek. Untuk itu perlu diketahui dan dianalisis faktor-faktor risiko yang akan berpengaruh terhadap keberhasilan proyek sehingga tingkat kegagalan suatu proyek dapat diperkecil.

Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk mengurangi resiko terhadap keberhasilan proyek adalah dengan adanya pengelolaan yang baik terhadap rantai pasok industri konstruksi . Vrijhoef & Koskela, (1999) mengemukakan bahwa pada dasarnya rantai pasok merupakan keterlibatan berbagai pihak mulai dari hubungan hulu (*upstream*) hingga ke hilir (*downstream*), dalam proses dan kegiatan yang berbeda untuk menghasilkan barang dan jasa yang bernilai hingga sampai kepada pelanggan terakhir. Selanjutnya Vonderembse *et al.* (2006), menyampaikan bahwa keberhasilan dari pelaksanaan suatu rantai pasok juga tergantung kepada karakteristik rantai pasok itu sendiri. Tingginya kompleksitas dan ketergantungan antar komponen merupakan karakteristik dari rantai pasok saat ini Berdasarkan karakteristik rantai pasok maka perlu adanya manajemen rantai pasok. Manajemen rantai pasok itu secara umum berkaitan dengan ketersediaan teknologi informasi yang canggih, cepat, layanan logistic reponsif, efektif dan menjaga hubungan dengan pelanggan (Fawcett dan Magnan,2002). Pengelolaan rantai pasok di industri konstruksi dipercaya sebagai salah satu usaha yang strategis untuk meningkatkan daya saing suatu perusahaan konstruksi di tengah semakin ketatnya persaingan lokal, regional maupun global, sebagaimana layaknya industri lainnya. Salah satu unsur penting dari pengelolaan rantai pasok ini adalah struktur dari jaringan yang efektif, karena sebuah rantai pasok yang efisien dianggap dapat memberikan daya saing yang tinggi kepada perusahaan yang menjadi bagiannya.

Globalisasi, e-bisnis, permintaan yang mengambang dan bergesernya filosofi bisnis (seperti *outsourcing*) merupakan beberapa faktor yang membuat pemain rantai pasok menjadi lebih bergantung terhadap yang lain. Sebagai akibatnya rantai pasok menjadi lebih rentan terhadap gangguan. Craighead *et al.* (2007), menjelaskan gangguan rantai pasok paling mendasar adalah resiko operasional dan keuangan yang akan mempengaruhi kepada kerentanan, ketahanan, dan kontinuitas. Gangguan atas rantai pasok ini konsekuensinya berdampak kepada tidak berfungsinya satu atau lebih proses bisnis yang sedang berjalan (Schätter *et al.*,2019). Untuk menghadapi

gangguan terhadap rantai pasok maka diperlukan suatu model rantai pasok yang fleksibilitas dan terintegrasi (Duclos, Vokurka, dan Lummus, 2003). Resiko operasional yang dimaksud pada rantai pasok industri konstruksi salah satunya adalah kurang memperhatikan dampak lingkungan yang ditimbulkan pada pelaksanaan proyek konstruksi.

Dampak lingkungan ini menjadi penting khususnya untuk industri konstruksi berkelanjutan. Shelbourn *et al.* (2006), mendefinisikan industri konstruksi berkelanjutan adalah pembangunan yang dapat memenuhi kebutuhan masa kini dan masa datang tanpa ada hambatan diantaranya. Ding, (2008) menempatkan masalah lingkungan menjadi kerangka konseptual dalam proses pengambilan keputusan pada industri konstruksi berkelanjutan. Dalam makalah yang sama. Shelbourn *et al.* (2006), menyatakan kunci untuk mengatasi hambatan pada industri konstruksi berkelanjutan adalah dengan mengelola pengetahuan yang meliputi akan sifat proyek yang tunggal, jadwal yang ketat, anggaran yang terbatas, pengalaman tim, partisipasi dinamis tim dan tim yang multi disiplin. Berdasarkan kondisi diatas maka penulis menggali tentang pengembangan suatu sistem keputusan cerdas dalam industri konstruksi berkelanjutan, dengan dimulai dari makalah-makalah yang telah di publikasikan oleh para ahli. Sistem keputusan cerdas bermanfaat dalam membantu mengambil keputusan secara interaktif (Marimin *et al.*, 2012).

State of the art penelitian ini adalah menggali pengembangan sistem pengambilan keputusan cerdas dalam model rantai pasok industri konstruksi yang kemudian dapat digunakan oleh pengambil keputusan dalam upaya mewujudkan peyelenggaraan industri konstruksi berkelanjutan. Penelitian dilakukan dengan mempelajari artikel-artikel terkait yang telah di publikasikan oleh para ahli dengan pendekatan metode analisis empiris.

2. STUDI PUSTAKA

Pada bagian ini dikemukakan penjelasan mengenai pengertian dari Sistem Pendukung Keputusan Cerdas Dalam Rancang Bangun Model Rantai Pasok Industri Konstruksi Berkelanjutan yang diambil dari makalah-makalah yang berhubungan. Dari judul diatas pengertian dapat dipisahkan atas 3 point utama yaitu:

2.1 Sistem pendukung keputusan cerdas

Pengambilan keputusan diperlukan apabila ditemui banyak masalah yang rumit yang mungkin bertentangan dalam tujuan sehingga dapat mengorbankan beberapa pencapaian yang berbeda (Jiménez, Ríos-Insua and Mateos, 2003). Optimasi pengambilan keputusan mencakup kepada masalah kritis seperti biaya, resiko, kinerja dengan tingkat ketidakpastian dan kompleksitas yang tinggi, dengan sistem pengambilan keputusan yang efektif mampu meningkatkan kualitas dan efektivitas solusi yang diberikan (Beraldi, Violi dan De Simone, 2011). Gottinger (2015), berpandangan bahwa sistem keputusan cerdas adalah suatu alat interaktif berbasis

model yang mampu membuat keputusan secara terstruktur dan baik. Sejalan dengan pandangan diatas D. Arnott dan G. Pervan (2008), menyebutkan bahwa sistem pendukung keputusan cerdas berbasis kepada informasi dan teknologi yang difokuskan untuk meningkatkan ketepatan pengambilan keputusan oleh pengambil keputusan.

2.2 Rantai Pasok industri konstruksi

Vrijhoef dan Koskela (2000), menempatkan 4 peran penting rantai pasok dalam industri konstruksi : (a) *Meningkatkan hubungan antara aktivitas proyek dan rantai pasok* ; (b) *Meningkatkan kinerja rantai pasok* ;(c) *Mentransfer aktivitas dari proyek konstruksi ke persediaan rantai pasok* ;(d) *Integrasi lokasi dan rantai pasok*. Lebih lanjut Segerstedt dan Olofsson (2010), menyatakan rantai pasok pada industri konstruksi bersifat tidak kekal dan seringkali lebih dinamis. Rantai pasok dapat dirancang dengan menggabungkan kemampuan perusahaan dan dikelola dalam satu hirarki berbasis sumber daya (Miles and Snow, 2007). Tsoufas dan Pappis (2008), menempatkan kriteria lingkungan terlibat dalam meningkatkan kemampuan mengevaluasi rantai pasok.

2.3 Industri konstruksi berkelanjutan

Baumann dan Genoulaz (2014), membagi 3 dimensi konstruksi berkelanjutan yaitu kinerja lingkungan,tanggung jawab sosial dan kontribusi ekonomi. Lebih lanjut Presley dan Meade (2010), menyatakan bahwa bangunan dan ruang bukan satu-satunya acuan pada konstruksi berkelanjutan tetapi juga proses dan kegiatan selama pembangunan juga penting untuk dipertimbangkan .

3. DASAR PEMIKIRAN DAN RUANG LINGKUP PENELITIAN

Penelitian ini meliputi kepada ruang lingkup yang mencakup kepada bagaimana sistem pengambilan keputusan dilaksanakan secara cerdas pada industri konstruksi berkelanjutan dengan menilik kepada model rantai pasok, dan sejauh mana pengambilan keputusan dilakukan dalam upaya menyelesaikan masalah-masalah yang timbul akibat perubahan dari model rantai pasok pada industri konstruksi berkelanjutan.

3.1.Objek penelitian

Penelitian ini adalah memberikan gambaran tentang memahami status penelitian dari berbagai masalah terkait dengan sistem pengambilan keputusan cerdas dalam rancang bangun model rantai pasok pada industri konstruksi berkelanjutan

3.2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini mengkaji studi tentang berbagai aspek yang telah diterbitkan dari berbagai journal ternama. Jumlah secara keseluruhan adalah 86 yang dianalisis untuk mengembangkan kategorisasi literatur yang disajikan dalam makalah ini.

4. KLASIFIKASI DARI ULASAN LITERATUR

Sebanyak 86 item dalam literatur penelitian dianalisis dan dikategorikan berdasarkan sumber jurnal, tahun publikasi, dan area fokus. Bagian ini menyajikan informasi terperinci tentang ulasan literatur.

4.1 Klasifikasi berbasis sumber

Dari 86 item yang ditinjau, 24 artikel yang dapat di citasi. Sumber pencarian termasuk Google Cendekia dan jurnal lain yang diterbitkan oleh penerbit terkenal seperti Elsevier (ScienceDirect), Sage, Emerald, Springer (tabel 1)

Table 1 – Distribution of the reviewed literature according to sources.

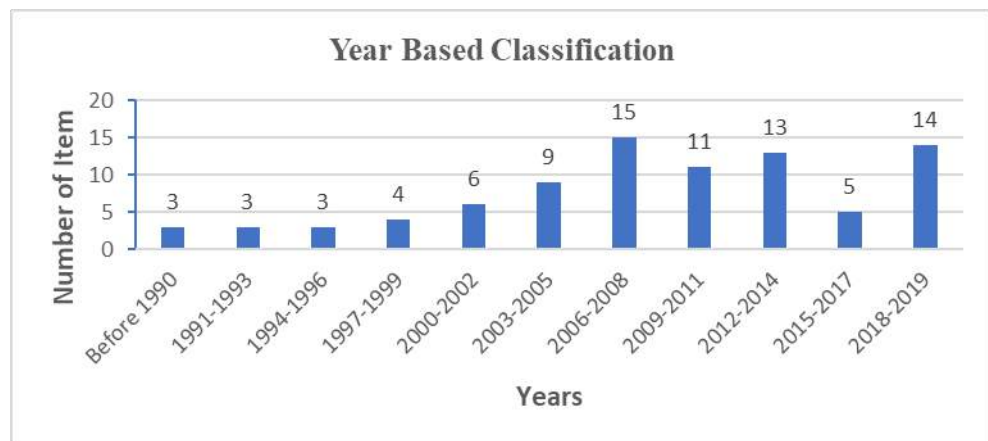
Sources of the reviewed literature	Number of items
Journal paper	
Decision Support System	34
International Journal of production economics	3
European Journal of Purchasing and Supply Management	1
Journal of Operation Management	3
European Journal of Operational Research	3
International Journal of Physical Distribution and Logistics Management	1
The severity of Supply Chain Disruptions	1
Effective Supply Chain Management	1
Industrial Management and Data Systems	1
Advances in Engineering Software	1
International Journal of Management Reviews	1
The International Journal of Logistic Management	4
Supply Chain Management an International Journal	2
Computers and Industrial Engineering	1
Journal of Cleaner Production	4

Benchmarking an International Journal	1
Construction Management and Economics	1
Production Planning and Control	1
International Journal of Production Research	1
The International Journal of management science	1
Automation in Construction	8
Advanced Powder Technology	1
Journal of Construction Engineering and Management	2
Management and Innovation for a Sustainable Built Environment	1
Sustainable Development and the Construction Industry	1
International Journal of Social, Behavioral, Economic, Business and Industrial Engineering	1
Journal of Supply Chain Management	1
Journal of Infrastructure Systems	1
Procedia Social and Behavioral Sciences	1
Procedia Engineering	1
Sustainable Construction	2
Total	86

Tabel 1: Klasifikasi berbasis sumber

4.2 Klasifikasi berbasis tahun

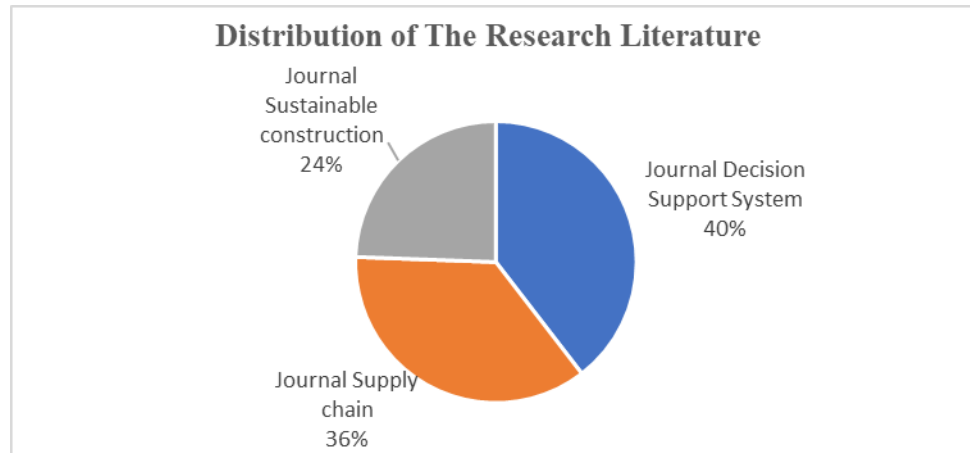
Ulasan literatur penelitian diambil mulai dari tahun 1991 sampai dengan tahun 2019. (gambar 1). Ada 3 item diterbitkan sebelum 1990. Periode tahun 2006-2008 dan periode tahun 2018-2019 merupakan artikel-artikel terbanyak yang di jadikan objek penelitian.



Gambar 1. Klasifikasi berbasis tahun

4.3 Klasifikasi berdasarkan fokus area

Bagian ini mengklasifikasikan literatur penelitian menjadi 3 kategori. (i) Sistem pengambilan keputusan cerdas; (ii) rantai pasok industri konstruksi; (iii) industri konstruksi berkelanjutan (gambar 2)



Gambar 2. Klasifikasi berdasarkan fokus area

5. TINJAUAN LITERATUR TENTANG SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN CERDAS PADA MODEL RANTAI PASOK DALAM INDUSTRI KONSTRUKSI BERKELANJUTAN

Studi empiris dan teoritis dilaksanakan pada berbagai topik pada makalah yang diteliti terkait dengan sistem pendukung keputusan cerdas pada model rantai pasok dalam industri konstruksi berkelanjutan, terungkap bahwa pembahasan lebih banyak kepada cara pengambilan keputusan dalam mengurangi resiko yang akan mungkin timbul akibat pelaksanaan proyek konstruksi. Resiko yang mungkin timbul baik untuk kelanjutan proyek konstruksi ataupun dampak yang muncul dari pelaksanaan proyek konstruksi itu sendiri. Perusahaan konstruksi mengkompensasi pasar yang tidak stabil dengan melakukan penyebaran resiko dan mitigasi resiko dimana perusahaan harus terlibat lebih awal dalam proses bisnis dengan pelanggannya (Segerstedt dan Olofsson, 2010b). Integrasi metode berbasis model diperlukan untuk mengidentifikasi faktor sosial dalam rantai pasok untuk mengatasi resiko dari dampak lingkungan yang mungkin muncul (Brandenburg *et al.*, 2014).

Penelitian ini mencakup sebagian besar masalah, termasuk faktor ekonomi, peran sistem pengambilan keputusan cerdas dimasa mendatang, dampak sosial dan lingkungan pada proyek konstruksi berkelanjutan dan pengurangan risiko pada model rantai pasok terkait.

6. IMPLIKASI DAN REKOMENDASI

Pada bagian ini pembahasan menyajikan implikasi dari penelitian dan peluang untuk kelanjutan penelitian di masa depan.

6.1 Implikasi penelitian

Fungsi studi literature adalah sebagai pemetaan topik-topik yang telah dibahas oleh penelitian terdahulu dan membuka peluang bagi peneliti dalam mengembangkan penelitian selanjutnya. 86 publikasi yang ditinjau guna menyoroti bidang-bidang penting dalam sistem pendukung keputusan cerdas pada model rantai pasok dalam industri konstruksi berkelanjutan, dengan membuat database terhadap masalah-masalah yang diungkapkan, dan kelemahan-kelemahan dari teori-teori yang muncul kemudian nantinya akan dikembangkan dan diteliti lebih lanjut pada penelitian berikutnya.

6.2 Rekomendasi untuk penelitian masa depan

Pembahasan pada bagian ini mengungkapkan kemungkinan untuk kelanjutan penelitian di masa depan.

6.2.1 Sektor spesifik pada topik

Para peneliti terdahulu telah membahas bahwa sistem pengambilan keputusan untuk mengurangi resiko yang timbul, dampak lingkungan dan sosial akibat pelaksanaan konstruksi terutama dalam konstruksi berkelanjutan, dan gangguan pada model rantai pasok.

6.2.2 Peran sistem pendukung keputusan pada model rantai pasok dalam industri konstruksi berkelanjutan

Ulasan literatur penelitian secara eksplisit mengungkapkan peran pengambil keputusan dalam meminimalisasi resiko yang mungkin muncul pada model rantai pasok dalam pelaksanaan proyek konstruksi, dan juga upaya meminimalisasi resiko terhadap dampak lingkungan berkaitan dengan industri konstruksi berkelanjutan

6.2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi sistem pendukung keputusan pada model rantai pasok dalam industri konstruksi berkelanjutan

Beberapa faktor yang terungkap dari ulasan literature yang dilakukan dan dapat mempengaruhi sistem pendukung keputusan adalah teknologi yang terus berkembang dan selalu berubah sesuai dengan kebutuhan dari perusahaan (Gray,

1987), ledakan informasi dan kebutuhan tanggapan yang cepat dalam dinamika kebutuhan yang kompetitif (Vahidov and Kersten, 2004). Sementara itu Fazlollahi, Parikh and Verma, (1997) menjabarkan faktor kebutuhan, masalah dan konteks keputusan dapat mengendalikan proses pengambilan keputusan.

7. KESIMPULAN

Ulasan bibliometrik terhadap literatur -literatur mengenai sistem pendukung keputusan pada model rantai pasok dalam industri konstruksi berkelanjutan, mengungkapkan bahwa sistem pendukung keputusan adalah sebuah sistem berdasarkan kepada penggunaan teknologi dalam membantu pengambil keputusan untuk dapat bertindak secara terintegrasi dan cepat dalam mengatasi masalah terhadap resiko-resiko yang mungkin timbul dari model rantai pasok pada industri konstruksi berkelanjutan. Pengembangan penelitian ini dapat dilanjutkan dengan model berbasis data yang dimungkinkan dapat menjadi penelitian lanjutan di masa depan. Para pengambil keputusan dan pengambil kebijakan dapat menggunakan penelitian lanjutan ini nantinya sebagai alat untuk mengambil keputusan secara cepat, dan tepat untuk menyelesaikan dan ataupun mengurangi resiko -resiko secara dini yang mungkin timbul akibat pelaksanaan proyek konstruksi, khususnya pada industri konstruksi berkelanjutan.

References

- Arnott, D. and Pervan, G. (2008). 'Eight key issues for the decision support systems discipline,' *Decision Support Systems*. 44(3), pp. 657–672. doi: 10.1016/j.dss.2007.09.003.
- Beraldi, P., Violi, A. and De Simone, F. (2011) . 'A decision support system for strategic asset allocation', *Decision Support Systems*. Elsevier B.V., 51(3), pp. 549–561. doi: 10.1016/j.dss.2011.02.017.
- Brandenburg, M. *et al.* (2014). 'Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions', *European Journal of Operational Research*. Elsevier B.V., 233(2), pp. 299–312. doi: 10.1016/j.ejor.2013.09.032.
- Chardine-Baumann, E. and Botta-Genoulaz, V. (2014). 'A framework for sustainable performance assessment of supply chain management practices', *Computers and Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 76(1), pp. 138–147. doi: 10.1016/j.cie.2014.07.029.
- Craighead, C. W. *et al.* (2007). 'The severity of supply chain disruptions: Design characteristics and mitigation capabilities,' *Decision Sciences*, 38(1), pp. 131–156. doi: 10.1111/j.1540-5915.2007.00151.x.
- Ding, G. K. C. (2008). 'Sustainable Construction – the Role of Building Assessment Tools', *Journal of Environmental Management*, 86(3), pp. 451–464. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479706004270>.
- Duclos, L. K., Vokurka, R. J. and Lummus, R. R. (2003). 'A conceptual model of supply chain flexibility,' *Industrial Management and Data Systems*, 103(5–6), pp. 446–456. doi: 10.1108/02635570310480015.
- Fawcett, S. E., and Magnan, G. M. (2002). 'The rhetoric and reality of supply chain integration,' *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 32(5), pp. 339–361. doi: 10.1108/09600030210436222.
- Fazlollahi, B., Parikh, M. A. and Verma, S. (1997). 'Adaptive decision support systems,' *Decision Support Systems*, 20(4), pp. 297–315. doi: 10.1016/S0167-9236(97)00014-6.
- Gray, P. (1987). 'Group decision support systems', *Decision Support Systems*, 3(3), pp. 233–242. doi: 10.1016/0167-9236(87)90178-3.
- Jiménez, A., Ríos-Insua, S. and Mateos, A. (2003). 'A decision support system for multiattribute utility evaluation based on imprecise assignments', *Decision Support Systems*, 36(1), pp. 65–79. doi: 10.1016/S0167-9236(02)00137-9.
- Kaklauskas, A. (2015). 'Intelligent decision support systems', *Intelligent Systems Reference Library*, 81, pp. 31–85. doi: 10.1007/978-3-319-13659-2_2.
- Marimin *et al.* (2012). 'A Framework of Intelligent Decision Support Systems for Agro-Industrial and Agribusiness Supply Chain Management.'

- Miles, R. E., and Snow, C. C. (2007). 'Organization theory and supply chain management: An evolving research perspective,' *Journal of Operations Management*, 25(2), pp. 459–463. doi: 10.1016/j.jom.2006.05.002.
- Presley, A. and Meade, L. (2010). 'Benchmarking for sustainability: An application to the sustainable construction industry,' *Benchmarking*, 17(3), pp. 435–451. doi: 10.1108/14635771011049380.
- S.N. Tucker, S. Mohamed, D.R. Johnston, S. L. M. and K. D. H. (2001). 'Report For Building And Construction Industries Supply Chain Project (Domestic) Building And Construction Industries Supply Chain Project,' (June).
- Schätter, F. *et al.* (2019). 'A decision support methodology for a disaster-caused business continuity management,' *Decision Support Systems*. Elsevier B.V, 118, pp. 10–20. doi: 10.1016/j.dss.2018.12.006.
- Segerstedt, A. and Olofsson, T. (2010a). 'Supply chains in the construction industry,' *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(5), pp. 347–353. doi: 10.1108/13598541011068260.
- Segerstedt, A. and Olofsson, T. (2010b). 'Supply chains in the construction industry,' *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(5), pp. 347–353. doi: 10.1108/13598541011068260.
- Shelbourn, M. A. *et al.* (2006). 'Managing knowledge in the context of sustainable construction,' *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 11(December 2005), pp. 57–71.
- Tsoufias, G. T. and Pappis, C. P. (2008). 'A model for supply chains environmental performance analysis and decision making,' *Journal of Cleaner Production*, 16(15), pp. 1647–1657. doi: 10.1016/j.jclepro.2008.04.018.
- Vahidov, R. and Kersten, G. E. (2004). 'Decision station: Situating decision support systems', *Decision Support Systems*, 38(2), pp. 283–303. doi: 10.1016/S0167-9236(03)00099-X.
- Vonderembse, M. A. *et al.* (2006). 'Designing supply chains: Towards theory development,' *International Journal of Production Economics*, 100(2), pp. 223–238. doi: 10.1016/j.ijpe.2004.11.014.
- Vrijhoef, R. and Koskela, L. (1999). 'Roles of Supply Chain Management in Construction Vrijhoef and Koskela', 31(15), pp. 133–146. Available at: <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-0eced330-560c-4f2e-95b0-5aab4302cb12.pdf>.
- Vrijhoef, R. and Koskela, L. (2000). 'The four roles of supply chain management in construction,' *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 6(3–4), pp. 169–178. doi: 10.1016/S0969-7012(00)00013-7.

ANALISA PERSEPSI KONTRAKTOR TERHADAP PENGUNAAN METODE PELACAKAN IKLIM DALAM PERENCANAAN JADWAL PELAKSANAAN PROYEK

Helny Lalan

Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Ekasakti, Padang.

Email: helnylalan@gmail.com

ABSTRACT

One of the causes of delays in construction work is the factor of natural disasters, one of which is the unpredictable weather changes. According to Aryanda (2016) the bad weather factor which slows down workers in the form of heavy rain and calm water. In the DKI Jakarta area the weather factor slows down work by a percentage of 11.9%. The contractor is a performer in the implementation of construction work, where delays can extend the execution time and can cause losses due to additional work time. Although the percentage of weather influence is small, climate prediction might help schedule project activities. By using the average score method with its evaluation criteria, the objective to be achieved in this research is to find out the contractor's perception when using the climate tracking method in planning the construction project implementation schedule. To analyze this, 25 questionnaires were distributed to the contractor's company. The questionnaire used a linkert scale in its assessment. Furthermore, to find out the questions submitted are valid and valid, a 2-way partial validation and reliability test is performed with the help of SPSS software.

The results of this study show that the Contractor agrees to the existence of methods and applications that can help weather forecasting which are presented in detail in the form of wet and dry climate. Based on the validation test it is concluded that all the variables used are valid because r table $< r$ arithmetic. Based on a statistical reliability test with a cronbsch's Alfa value of 0.779, it is stated that the question variable is a high reliability category.

Keywords: climate tracking, time, project, contractor perception

ABSTRAK

Salah satu penyebab keterlambatan pekerjaan konstruksi adalah factor bencana alam salah satu diantaranya adalah perubahan cuaca yang tidak dapat diprediksikan. Menurut Aryanda (2016) factor cuaca buruk yang memperlambat pekerja berupa hujan derat dan air tenang. Di daerah DKI Jakarta factor cuaca memperlambat pekerjaan dengan persentase 11,9% . Kontraktor adalah pelaku dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi, dimana keterlambatan dapat memperpanjang waktu pelaksanaan dan dapat menyebabkan kerugian karena penambahan waktu kerja tersebut. Meskipun persentase pengaruh cuaca kecil, namun prediksi iklim mungkin dapat membantu penjadwalan kegiatan proyek. Dengan menggunakan metode rata-rata skor dengan criteria penilaiannya, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui persepsi kontraktor apabila menggunakan metoda pelacakan iklim dalam perencanaan jadwal pelaksanaan proyek konstruksi. Untuk menganalisa hal tersebut, kuisioner disebar sebanyak 25 sampel pada perusahaan kontraktor. Kuisioner tersebut menggunakan skala linkert dalam penilaiannya. Selanjutnya untuk mengetahui pertanyaan yang diajukan valid dan sah maka

dilakukan uji validasi dan reliabilitas metode parsial 2 arah dengan bantuan software SPSS.

Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa Kontraktor menyetujui adanya metoda dan aplikasi yang dapat membantu peramalan cuaca yang tersaji secara detail berupa iklim basah dan kering. Berdasarkan uji validasi disimpulkan bahwa semua variable yang digunakan valid karena $r_{tabel} < r_{hitung}$. Berdasarkan uji reliabilitas statistic dengan nilai cronbsch's Alfa sebesar 0,779 dinyatakan bahwa variable pertanyaan merupakan kategori reliabilitas tinggi.

Kata Kunci : pelacakan iklim, waktu, proyek, persepsi kontraktor

1. PENDAHULUAN

Nawa Cita Presiden Jokowi dalam masa pemerintahannya mulai 2014 salah satu diantaranya adalah membangun Indonesia mulai dari daerah pinggiran. Dalam artian bahwa Indonesia harus membangun Infrastruktur yang baik demi mencaai tujuan peningkatan kualitas hidup manusia Indonesia dengan peningkatan produktivitas dan kemandirian ekonomi daerah. Dalam pelaksanaan pembangunan proyek infrastruktur tersebut harus memperhatikan waktu, mutu dan biaya pelaksanaan pekerjaan. Dalam realita dilapangan, seringkali ditemui keterlambatan pekerjaan dari segi waktu pelaksanaan. Menurut Darmawi (2019), factor utama penyebab keterlambatan pekerjaan gedung salah satunya adalah terjadinya bencana alam seperti kebakaran, banjir, cuaca buruk, badai/angin ribut, gempa bumi, tanah longsor, dan lain-lain. Dan menurut Aryanda (2016) bahwa factor yang mempengaruhi keterlambatan waktu pelaksanaan pekerjaan salah satunya adalah factor cuaca buruk (hujan deras dan air tergenang) terutama pada pekerjaan jalan, drainase, dan irigasi

Berdasarkan Penelitian terdahulu oleh Lalan (2017) berupa identifikasi hazard pada proyek irigasi disimpulkan bahwa terdapat bahaya akibat cuaca buruk berupa banjir dan galodo dengan jenis risiko sedang dan dalam penelitian . studi pelacakan iklim pelaksanaan proyek irigasi, pengaturan jadwal pekerjaan dapat dilakukan berdasarkan data curah hujan melalui pelacakan iklim. Namun tidak semua kontraktor mengetahui, serta ingin melaksanakan peramalan cuaca dalam merencanakan pelaksanaan pekerjaan. Oleh sebab itu tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui persepsi para Kontraktor di Kota Padang Terhadap penggunaan metode pelacakan iklim dalam memprediksi jadwal kegiatan pelaksanaan pembangunan pekerjaan konstruksi.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Keterlambatan Pekerjaan Konstruksi

Menurut Fansuri . (2014), keterlambatan dibagi menjadi 7 kategori, yaitu : Tenaga Kerja, bahan (material), peralatan, karakteristik tempat, manajerial, keuangan, factor lainnya (curah hujan, kondisi ekonomi dan kecelakaan kerja). Menurut Lewis dan Atherley (1996), dampak keterlambatan proyek bagi kontraktor adalah dapat mengakibatkan naiknya biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk menyelesaikan sisa waktu pelaksanaan pekerjaan, bagi konsultan dimana mereka terhambat dalam

penyelesaian pekerjaan lain, dan bagi owner akan merugikan nilai investasi karena kehilangan penghasilan dari proyek yang telat selesai tersebut.

Menurut Oktaviasie, dkk. (2009), pengaruh cuaca memiliki kontribusi yang kecil sebesar 11,9 % terhadap keterlambatan pekerjaan proyek di DKI Jakarta. Hambatan terjadi pada para pekerja karena terjadi hujan, banjir ataupun bencana alam merupakan suatu permasalahan yang bisa terjadi pada waktu pelaksanaan proyek. Karena waktu hujan yang terus menerus dapat mengakibatkan produktivitas pekerja menurun serta kondisi kelembaban yang tinggi menyebabkan pekerja sering cepat lelah. Hal tersebut berpengaruh paling kecil karena variabel dapat diantisipasi karena bencana sudah sering terjadi dan terus menerus.

2.2 Pelacakan Iklim

Menurut Soeharto (1999), beberapa pendekatan yang dapat mengantisipasi pengaruh cuaca sebagai berikut :

1. Tidak memasukkan pengaruh cuaca kedalam perkiraan waktu masing-masing kegiatan tetapi memperhitungkan ke dalam kurun waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan
2. Memasukkan cuaca ke dalam masing-masing kegiatan dimana kegiatan tersebut dikaji sejauh mana kepekaannya terhadap pengaruh cuaca selama proyek berlangsung.
3. Untuk mengantisipasi pengaruh cuaca maka perlu dikaji berapa besarnya curah hujan, arah dan kecepatan angin atau kelembaban udara.
4. Prediksi curah hujan diperlukan karena akan berpengaruh dalam menentukan criteria desain engineering, terutama dari segi keselamatan dan keandalan instalasi.

Dengan adanya data perkiraan cuaca maka waktu penyelesaian pekerjaan dapat disesuaikan pada setiap item-item pekerjaan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan mulai dari bulan Agustus sampai September 2019 dengan lokasi di Kota Padang. Penelitian ini merupakan penelitian deksripsi kualitatif yang memfokuskan kajian pada persepsi kontraktor yang ada di Kota Padang terhadap penggunaan metoda pelacakan iklim dalam penyusunan jadwal pelaksanaan kegiatan proyek. Variabel penelitian dijabarkan seputar peranan dan kebutuhan kontraktor terhadap pelacakan iklim melalui peramalan cuaca dengan kajian utama berupa peramalan curah hujan, intensitas curah hujan dan debit banjir. Dengan mempertimbangkan hal tersebut maka variable penelitian disusun dalam 15 pertanyaan seputar peramalan cuaca sebagai berikut :

Perlu dilakukan peramalan cuaca/curah hujan selama setahun pada perencanaan pekerjaan proyek (P1),

Bentuk prediksi cuaca lain berupa lamanya waktu hujan turun hingga dapat menimbulkan banjir (P2),

Peramalan curah hujan dibuat lebih detail (P3),

Peramalan cuaca pada awal perencanaan dan selama pelaksanaan mampu menekan angka kecelakaan kerja akibat cuaca buruk (P4),

Butuh Informasi melalui website mengenai data curah hujan per stasiun pencatat curah hujan (P5),

Butuh aplikasi yang mempermudah peramalan cuaca (P6),

Selain peramalan cuaca, dibutuhkan informasi masyarakat sekitar lokasi mengenai potensi cuaca ekstrim di lokasi proyek (P7),

Perlu memasukkan peramalan cuaca pada masing-masing kegiatan pelaksanaan proyek (P8),

Ouput peramalan cuaca berupa bulan basah dan bulan kering (P9),

Permalaman cuaca perlu bekerjasama dengan BMKG (P10),

Peramalan cuaca dapat menekan resiko keterlambatan proyek (opimalisasi pengendalian SD) (P11),

Peramalan cuaca hanya membuang waktu (P12),

Data kuisisioner akan direkapitulasi dan akan dianalisa menggunakan pendekatan kualitatif dengan rumus sebagai berikut :

1. Rataan Skor

$$\bar{X} = \sum \frac{(\text{Skor pertanyaan} \times \text{frekuensi skor})}{n}$$

2. Rentang Skala

$$R_s = \frac{(m-1)}{m}$$

Dimana : N = jumlah sampel dan m = jumlah alternative jawaban tiap item

Maka Nilai Rs adalah :

$$R_s = \frac{(5-1)}{5} = \frac{4}{5} = 0,8$$

Hasil perhitungan rata-rata skor dan rentang skala akan dimasukkan dalam penilaian persepsi masyarakat seperti berikut ini :

Tabel 1. Skor Rataan Penilaian Persepsi Masyarakat

Skor Rataan	Keterangan Penilaian
1,0 - 1,8	Sangat Tidak Setuju
1,8 - 2,6	Tidak setuju
2,6 - 3,4	Ragu-Ragu
3,4 - 4,2	Setuju
4,2 - 5,0	Sangat Setuju

Di kota Padang, teridentifikasi sebanyak 99 kontraktor dengan berbagai proyek. Semua kontraktor adalah populasi dan untuk pemilihan sampel digunakan metode *purposive sampling*, dan penentuan jumlah sampel dengan menggunakan metode Slovin. sehingga diperoleh jumlah sampel keseluruhan sebanyak 28 sampel. Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuisisioner berbentuk kualitatif, sehingga untuk mengubah ke data kuantitatif digunakan skala linkert dalam penilaiannya. Skala linkert yang digunakan berupa scoring dari 1 sampai 5. Dimana angka 5 menyatakan sangat setuju, 4 setuju, 3 ragu-ragu, 2 tidak setuju dan 1 menyatakan sangat tidak setuju.

Data kuisisioner kuantitatif yang diperoleh direkapitulasi kemudian diolah dengan menggunakan bantuan program SPSS V. 16 for windows. Tahap awal dengan melakukan uji validitas dan reliabilitas untuk mengetahui konsistensi jawaban responden dengan pertanyaan yang diajukan. Selanjutnya, jika valid maka dilakukan uji relasi dan determinasi untuk mengetahui hubungan dari variable studi pelacakan dan membuat tabel distribusi frekuensi untuk mengetahui seberapa besar persetujuan kontraktor dalam penggunaan metode Pelacakan iklim menyertai perencanaan jadwal pelaksanaan kegiatan proyek, baik itu penyediaan material dan peralatan serta metode kerja.

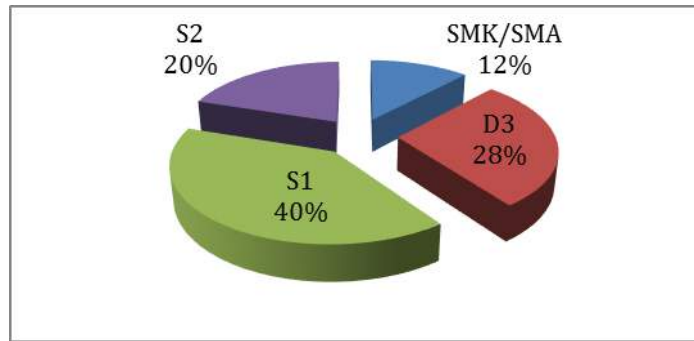
4. HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Karakteristik Responden

Dari 28 kuisisioner yang disebar, hanya 25 kuisisioner yang kembali dan diolah. Dari 25 perusahaan tersebut terdapat 5 kontraktor besar (BUMN dan swasta) dan selebihnya adalah kontraktor lokal dengan berbagai skala pekerjaan konstruksi. Dari hasil pengumpulan data, diperoleh Karakteristik Responden sebagai berikut :

1. Tingkat Pendidikan Responden

Hasil rekapitulasi kuisisioner berdasarkan tingkat pendidikan responden disajikan pada gambar 1. sebagai berikut :

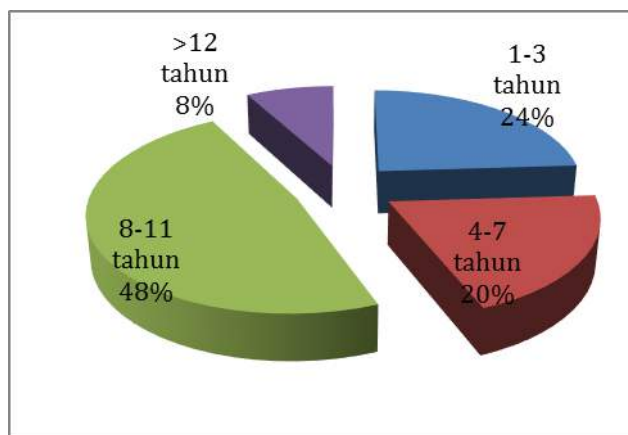


Gambar 1. Persentase Responden Berdasarkan Tingkat Pendidikan

Tingkat pendidikan responden terdiri dari lulusan SMK/SMA sebanyak 3 orang (12%), D3 sebanyak 7 orang (28%), S1 sebanyak 10 orang (40%) dan S2 sebanyak 5 orang (12%)

2. Lamanya Bekerja

Hasil rekapitulasi kuisioner berdasarkan lamanya bekerja responden disajikan pada gambar 2. sebagai berikut :



Gambar 2. Persentase Responden Berdasarkan Lamanya Bekerja di Proyek Konstruksi

Karakteristik responden berdasarkan lamanya bekerja diuraibakn bahwa sebanyak 6 orang sudah bekerja selama 1-3 tahun (24%), 5 orang sudah bekerja selama 4-7 tahun (20%), 12 orang bekerja selama 8-11 tahun (48%) dan sebanyak 2 orang sudah bekerja selama lebih dari 12 tahun (8%).

Dari hasil karakteristik responden diatas, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan tingkatan pendidikan dan lamanya bekerja responden maka responden sangat paham dengan jadwal pekerjaan, kegiatan dan factor yang mempengaruhi keterlambatan pada proyek yang dikerjakan.

4.2. Analisa Rataan Skor

Setelah dilakukan scoring pada 15 variabel pertanyaan, maka akan dilakukan identifikasi penilaian dari hasil persepsi kontraktor terhadap penggunaan metode pelacakan iklim tersebut berdasarkan metode rataan skor. Hasil penilaian diperoleh sebagai berikut :

Tabel 2. Kriteria Penilaian Persepsi Kontraktor Terhadap Penggunaan Metode Pelacakan Iklim untuk merencanakan Jadwal Pelaksanaan Kegiatan Proyek.

NO	VARIABEL PERTANYAAN		Rataan Skor	Keputusan Penilaian
1	Perlu dilakukan peramalan cuaca/curah hujan selama setahun pada perencanaan pekerjaan proyek	P1	4	Sangat Setuju
2	Bentuk prediksi cuaca lain berupa lamanya waktu hujan turun hingga dapat menimbulkan banjir	P2	3,8	Sangat Setuju
3	Peramalan curah hujan dibuat lebih detail	P3	2,5	Ragu-Ragu
4	Peramalan cuaca pada awal perencanaan dan selama pelaksanaan mampu menekan angka kecelakaan kerja akibat cuaca buruk	P4	4	Sangat Setuju
5	Butuh Informasi melalui website mengenai data curah hujan per stasiun pencatat curah hujan	P5	4,1	Sangat Setuju
6	Butuh aplikasi yang mempermudah peramalan cuaca	P6	3,9	Sangat Setuju
7	Selain peramalan cuaca, dibutuhkan informasi masyarakat sekitar lokasi mengenai potensi cuaca ekstrim di lokasi proyek	P7	3,7	Sangat Setuju
8	Perlu memasukkan peramalan cuaca pada masing-masing kegiatan pelaksanaan proyek	P8	2,7	Ragu-Ragu
9	Ouput peramalan cuaca berupa bulan basah dan bulan kering	P9	3,5	Sangat Setuju
10	Peramalan cuaca perlu bekerjasama dengan BMKG	P10	4	Sangat Setuju
11	Peramalan cuaca dapat menekan resiko keterlambatan proyek (opimalisasi pengelolaan SD)	P11	4,3	Sangat Setuju
12	Peramalan cuaca hanya membuang waktu	P12	2,6	Ragu-Ragu

Sumber : Hasil Pengolahan data (2019)

Berdasarkan keputusan penilaian diatas, menyatakan bahwa pada dasarnya para kontraktor sangat setuju dengan penggunaan metode pelacakan iklim melalui peramalan cuaca. Hal ini disimpulkan dari hasil persentase jumlah variable yang disetujui yaitu sangat setuju sebesar dengan 75% dan 25 % ragu ragu. Namun dari hasil ini dapat dijelaskan bahwa menurut kontraktor sangat penting melakukan peramalan cuaca untuk menekan risiko keterlambatan waktu pelaksanaan proyek. Dimana dapat dilakukan pengendalian tenaga kerja, material;l dan peralatan. Misalkan pada saat muesim hujan dapat digunakan tanggul atau tenda pada daerah rawan longsor ataukah menunda pekerjaan jika cuaca tidak meungkinkan. Namun, dalam peramalan peramalan cuaca dibutuhkan data curah hujan. Dimana kontraktor berharap dapat mengakses informasi

data curah hujan harian melalui website BMKG oleh sebab itu sangat diharapkan kerjasama dengan BMKG dalam mewujudkan peramalan cuaca yang baik.

Selain data BMKG dan peramalan cuaca, peranan masyarakat dalam memberikan informasi mengenai bencana banjir dan cuaca ekstrim yang terjadi disekitar lokasi sangat bermanfaat, karena masyarakat setempat telah paham akan kondisi lingkungan, sehingga peranan masyarakat dalam membantu peramalan cuaca juga baik untuk dilakukan.

Dalam era revolusi industry 4.0 saat ini, dimana kemudahan ditawarkan dalam berbagai sisi, para kontraktor berharap adanya aplikasi yang dapat digunakan untuk dapat mengetahui peramalan dan perubahan cuaca bukan hanya untuk selang waktu singkat namun dalam kurun waktu satu tahunan yang dapat menyajikan iklim basah dan iklim kering serta pola perubahan iklim yang terjadi akibat adanya perubahan iklim global.

4.2 Analisis Validasi dan Reliabilitas

Menurut Ghozali (2009) bahwa uji validitas digunakan untuk mengukur sah, atau valid tidaknya suatu kuesioner. Dimana kuesioner dikatakan valid jika pertanyaan pada kuesioner mampu untuk mengungkapkan sesuatu yang akan diukur oleh kuesioner tersebut. Pengujian ini menggunakan program SPSS. Berdasarkan r tabel untuk jumlah data sebanyak 25 data diperoleh nilai r tabel adalah 0,514, maka untuk mengetahui validitas variable pertanyaan disajikan dalam rekapitulasi data berikut ini :

Tabel 3. Rejapitulasi Uji Validasi Dengan Metode Parsial 2 arah

No	Variabel	R hitung	Validasi
1	P1	0,627	Valid
2	P2	0,698	Valid
3	P3	0,855	Valid
4	P4	0,648	Valid
5	P5	0,756	Valid
6	P6	0,555	Valid
7	P7	0,609	Valid
8	P8	0,640	Valid
9	P9	0,520	Valid
10	P10	0,602	Valid
11	P11	0,951	Valid
12	P12	0,621	Valid

Ghozali (2009) menyatakan bahwa reliabilitas adalah alat untuk mengukur suatu kuesioner yang merupakan indikator dari peubah atau konstruk. Suatu kuesioner dikatakan reliabel atau handal jika jawaban seseorang terhadap pernyataan adalah konsisten atau stabil dari waktu ke waktu. Reliabilitas suatu test merujuk pada derajat stabilitas, konsistensi, daya prediksi, dan akurasi. Pengukuran yang memiliki reliabilitas yang tinggi adalah pengukuran yang dapat menghasilkan data yang reliable. Jika nilai $\alpha > 0.7$ artinya reliabilitas mencukupi (sufficient reliability) sementara jika $\alpha > 0.80$ ini mensugestikan seluruh item reliabel dan seluruh tes secara konsisten memiliki reliabilitas yang kuat. Atau, ada pula yang memaknakannya sebagai berikut: Jika α

> 0.90 maka reliabilitas sempurna. Jika alpha antara 0.70 – 0.90 maka reliabilitas tinggi. Jika alpha 0.50 – 0.70 maka reliabilitas moderat. Jika alpha < 0.50 maka reliabilitas rendah. Jika alpha rendah, kemungkinan satu atau beberapa item tidak reliabel.

Tabel 5. Hasil Analisis SPSS Uji Reliability
Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.779	12

Berdasarkan hasil uji reliabilitas diatas, diperoleh nilai Cronbach's Alfa nya sebesar 0,779 , jadi dapat disimpulkan bahwa semua variable dalam kuisisioner dikatakan reliable atau handal dan masuk dalam kategori reliabilitas tinggi

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan hal sebagai berikut :

1. Kontraktor menyetujui adanya metoda dan aplikasi yang dapat membantu peramalan cuaca yang tersaji secara detail berupa iklim basah dan kering
2. Berdasarkan uji validasi disimpulkan bahwa semua variable yang digunakan valid karena $r_{tabel} < r_{hitung}$
3. Berdasarkan uji reliabilitas statistic dengan nilai cronbsch's Alfa sebesar 0,779 dinyatakan bahwa variable pertanyaan merupakan kategori reliabilitas tinggi.

6. REKOMENDASI

Untuk mendapatkan penilaian yang lebih mendalam mengenai penggunaan metode pelacakan iklim dalam penentuan jadwal pelaksanaan kegiatan, sebagainya dilakukan kajian pada setiap item pekerjaan yang mengalami keterlambatan akibat pengaruh cuaca sehingga dapat diketahui kajian curah hujan mana yang tepat pada setiap kebutuhan masing-masing kegiatan pada proyek konstruksi.

7. DAFTAR PUSTAKA

Aryanda, Rizki. 2016. *Faktor-faktor yang mempengaruhi keterlambatan waktu pelaksanaan proyek konstruksi di kota banda aceh*. Banda Aceh : Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.
https://etd.unsyiah.ac.id/baca/abstrak.php?biblio_id=25664

Atherley and Levis. (1996). Delay construction. Langford: Cahner Books Internasional.

- Darmawi, 2019. *Analisis Faktor – Faktor Penyebab Keterlambatan Pada Pelaksanaan Yang Berdampak Terhadap Waktu Penyelesaian Proyek Konstruksi Gedung Di Kota Banda Aceh*. https://etd.unsyiah.ac.id/index.php?p=show_detail&id=54167
- Fansuri, Subaidillah. 2014. *Penyebab Terjadinya Keterambatan Waktu Penyelesaian Proyek Konstruksi Di Dinas PU, Bina Marga Kabupaten Sumenep, Madura*: Universitas Wiraraja Sumenep.
- Ilham Fadhillah Srg. 2016. *Identifikasi Faktor-Faktor Penyebab Keterlambatan Pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi Gedung (Studi Kasus Pada Dinas Cipta Karya Wilayah Kerja Kota Banda Aceh)*. Banda Aceh: Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. https://etd.unsyiah.ac.id/index.php?p=show_detail&id=20879
- Lalan, Helny. 2017. Studi Pelacakan Iklim dalam Manajemen Pelaksanaan Proyek Irigasi di Kabupaten Dharmasraya. Prosiding 4th ACE Universitas Andalas: Padang
- Oktaviasie, dkk. 2009. *Faktor-faktor Sumber Daya (5M) yang mempengaruhi Waktu Pelaksanaan Proyek Pembangunan Gedung Perkantoran di DKI Jakarta*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 3 (KonTeks 3). <http://konteks.id/p/03-037.pdf>
- Soeharto, Imam. 1999. *Manajemen Proyek Jilid I (Dari Konseptual sampai operasional)*. Penerbit Erlangga: Jakarta.

8. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada semua pihak yang membantu dalam menyelesaikan makalah ini terkhusus kepada LPPM Universitas Ekasakti yang memberikan dana dalam pelaksanaan penelitian ini.

ANALISA RESIKO KETERLAMBATAN PELAKSANAAN PROYEK GEDUNG DI SUMATERA BARAT DENGAN PENDEKATAN *RISK MANAGEMENT*

Mediana Desfita¹

¹⁾ Program Doktor Teknik Sipil Universitas Andalas
Mediana.desfita@yahoo.com

ABSTRAK

Salah satu permasalahan yang sangat mempengaruhi kinerja proyek baik dari segi waktu, mutu maupun biaya adalah masalah keterlambatan pelaksanaan Proyek, dalam penelitian ini terkait keterlambatan pelaksanaan proyek konstruksi gedung di wilayah Sumatera Barat. hal ini menjadi dasar dilakukannya penelitian ini. Tujuan penelitian ini adalah; Mengetahui peristiwa resiko yang memiliki level resiko tinggi dan Respon risk apa yang tepat terhadap Peristiwa resiko yang memiliki level resiko tinggi, guna memperbaiki kinerja Kontraktor. Penelitian yang digunakan bersifat deskriptif, menggunakan kuesioner sebagai instrumen penelitian. Analisa data dengan uji validitas dan reabilitas dengan bantuan tools SPSS. Kajian resiko menggunakan skala frekuensi resiko, skala dampak resiko dan matrik analisa resiko. Hasil penelitian adalah terdapat Tiga peristiwa resiko yang termasuk dalam klasifikasi risiko tinggi (*high risk*), signifikan terhadap permasalahan keterlambatan pelaksanaan proyek pembangunan gedung di Sumatera Barat dan Respon risk terhadap peristiwa resiko yang memiliki level resiko tinggi terdiri dari peristiwa resiko respon risk untuk mencegah peningkatan frekuensi resikonya (*preventif*) dan respon risk untuk mengurangi dampak resikonya (*corrective*).

Kata Kunci : Kajian Resiko, Keterlambatan Pelaksanaan Proyek Gedung, Sumatera Barat, *Risk Management*

ABSTRACT

One of the problem greatly affect the performance of the project both in terms of time, cost or quality is delays in the implementation of the construction project, are found in the region of West Sumatra. It is certainly. This phenomenon is the basis of conducted research studies to find out the risks that affect the delay in construction project implementation on West Sumatra. The goals of this research are Knowing the risk events that have a high risk level that affect the delay in the implementation of the construction project in West Sumatra and to serve the risk response that appropriate to the risks that have high risk level, in terms of fixing the performance of the contractor in terms of time. Research used is descriptive, using the questionnaire as an instrument of research. Data analysis with validity and reability test using the help of SPSS as tools. While the study of risks using risk frequency scale, the scale of the impact of the risk and the risk analysis matrix. The results of the research, analysis, and discussion has been done, are Obtained three event risks that fall within the classification of high risk level, which significantly to the problem of delays in implementation of construction project in West Sumatra and Response risk undertaken is distinguished in order to prevent an increase in the frequency of risks (preventive) and reduction of the impact of risks (corrective).

Keywords: The study of Risk, delay in construction project implementation, West Sumatra.

1. PENDAHULUAN

Dikatakan bahwa Proyek merupakan kumpulan aktivitas sementara yang berlangsung dalam jangka waktu terbatas, dengan alokasi sumber daya tertentu dan dimaksudkan untuk menghasilkan produk, pelayanan, dan hasil yang unik. (PMBOK, 2013) Pada pelaksanaan proyek konstruksi sering dijumpai keterlambatan. Keterlambatan yang terjadi pada suatu proyek bersumber dari owner, konsultan perencana, konsultan pengawas, ataupun kontraktor (Assef et al., 1995). Data yang diperoleh dari Konsultan pengawas bahwa rata-rata Proyek gedung di Sumatera Barat mengalami keterlambatan di bawah 10% (Data Konsultan Pengawas).

Menurut Siswanto (2006), resiko ketidakberhasilan proyek menjadi tanggung jawab pihak-pihak yang terkait dalam proyek tersebut. Berbagai jenis risiko itu dapat muncul di tiap tahap proyek yaitu pada tahap konstruksi proyek (*construction and engineering phase*), tahap operasi percobaan (*start up phase*), dan pada tahap operasional proyek (*operation phase*). Secara umum arti risiko dikaitkan dengan kemungkinan (probabilitas) terjadinya peristiwa di luar yang diharapkan. Tinggi rendahnya risiko menurut Siswanto (2006) diukur berdasarkan :

- Kemungkinan (*likelihood*)

yaitu *seberapa besar kemungkinan risiko itu dapat terjadi?*

- Akibat (*consequences*)

yaitu *seberapa besar akibat yang timbul bila risiko itu benar-benar terjadi?*

Risiko sebagai faktor penyebab kerugian tersebut perlu mendapat suatu penanganan agar dampaknya tidak terlalu merugikan. Sebagai upaya untuk menangani dampak yang dapat timbul dari suatu risiko muncullah suatu ilmu yang dikenal dengan istilah manajemen risiko.

Manajemen risiko merupakan suatu proses terstruktur dan sistematis dalam mengidentifikasi, mengukur, memetakan, mengembangkan alternatif penanganan risiko, dan memonitor serta mengendalikan implementasi penanganan risiko. (Bramantyo, 2004)

Karakteristik dari risiko adalah probabilitas dari kejadian dan seberapa besar dari dampak yang ada. Oleh karena itu, risiko mempunyai tiga komponen utama, yaitu sebuah kejadian, probabilitas terjadinya kejadian, dan dampak dari kejadian.

Risiko setiap kejadian dapat didefinisikan sebagai fungsi ketidakpastian dan dampak. Dimana $Risk = f(\text{uncertainty of event, potential loss/gain from event})$ (Hilson, 2002).

Fenomena diuraikan diatas menjadi dasar dilakukan penelitian untuk mengetahui kajian resiko terhadap keterlambatan pelaksanaan proyek gedung di Sumatera Barat. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah (1) Mengetahui faktor – faktor apa saja yang mempengaruhi keterlambatan proyek dari sisi kontraktor dilihat dari segi waktu yang berbasis *risk management* pada pelaksanaan Proyek konstruksi konstruksi gedung di Sumatera barat, (2) Peristiwa resiko apa yang memiliki level resiko tinggi yang mempengaruhi keterlambatan pada pelaksanaan Proyek konstruksi gedung di Sumatera barat, (3) Respon risk apa yang dapat dilaksanakan terhadap Peristiwa resiko yang memiliki level resiko tinggi, dalam hal memperbaiki kinerja Kontraktor .

2. METODOLOGI

Penelitian ini bersifat deskriptif, menggunakan kuesioner sebagai instrumen penelitian (Prasetyo dan Lina, 2008). Pengambilan sampel penelitian menggunakan teknik purposive sampling. (Bambang Prasetyo dan Lina, 2008).

Penelitian ini difokuskan pada kontraktor menengah, (M2) yang menangani proyek pembangunan gedung di Sumatera Barat, 2 tahun terakhir berjumlah 30 perusahaan (LPJK.NET. 2016). Responden terdiri dari *Project Manager* dan *Site Manager*. uji beda *T-test* dilakukan, guna mengetahui sama atau tidaknya persepsi responden dalam merespon penelitian ini. Responden. berjumlah 52 orang.

Kuisisioner disusun dan dirancang berdasarkan studi literatur. Kemudian divalidasi dengan 3 orang pakar yang berpengalaman di bidang Risk management dan pelaksanaan proyek gedung lebih dari 10 tahun. Hasil akhir validasi menjadi kuisisioner penelitian yang dibagikan pada responden.

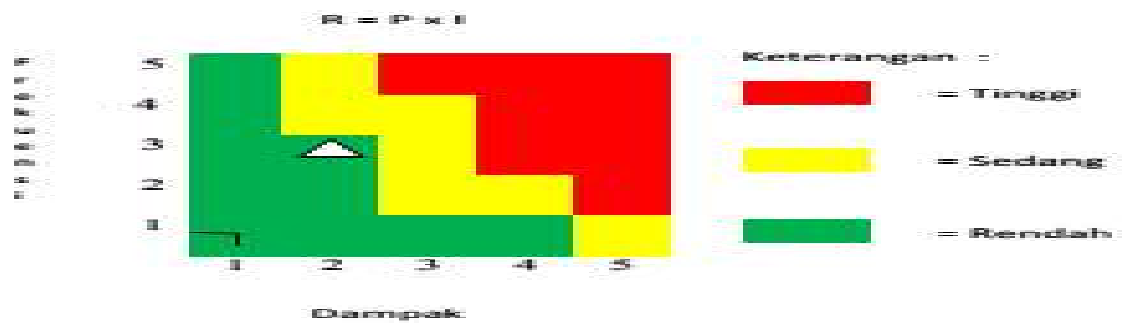
Analisa data yang dipakai adalah uji validitas dan reabilitas dengan menggunakan tools SPSS versi 17.00, dan analisa resiko memakai skala nilai frekuensi resiko dan skala nilai dampak resiko, serta matrik analisa resiko.

Tabel 1. Skala Frekuensi Resiko (Likelihood)
(Australian / New Zealand Standart Risk Management 3460 (1999))

TINGKAT FREKUENSI	SKALA
Sangat Tinggi	5
Tinggi	4
Sedang	3
Rendah	2
Sangat Rendah	1

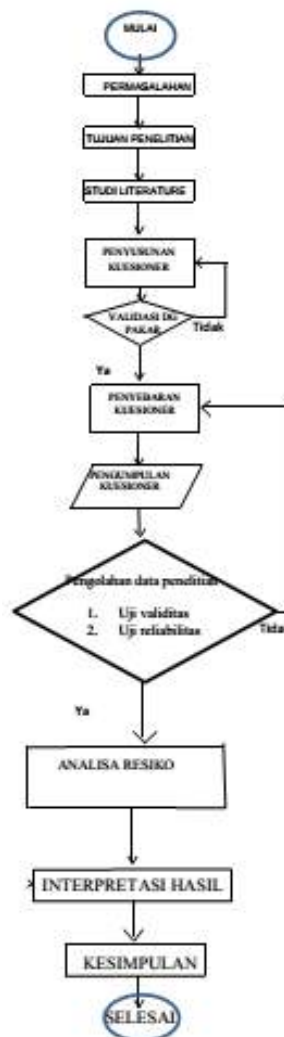
Tabel 2. Skala Dampak Resiko (Consequences)
(Australian / New Zealand Standart Risk Management 3460 (1999))

TINGKAT DAMPAK	SKALA
Tidak Signifikan	1
Rendah	2
Sedang	3
Tinggi	4
Sangat Signifikan	5



Gambar 1. Matrik Analisa Resiko (PMBOK,2013)

Flow chart dari penelitian ini seperti tergambar di bawah ini :



Gambar 2. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

Dari uji validitas dan reabilitas 49 variabel dianggap valid, karena memiliki nilai r hitung $>$ r tabel, dengan $df = N - 2 = 38 - 2 = 36$, r tabel = 0.3202. Sedangkan 7 faktor dianggap Realible, karena memiliki nilai Cronbach alpha $>$ 0.7. Hal ini menunjukkan bahwa ada 7 faktor dan 49 variabel (peristiwa resiko) yang mempengaruhi keterlambatan pelaksanaan proyek gedung di Sumatera barat. Tujuh faktor itu adalah SDM, material, peralatan, metode pelaksanaan, keuangan kontraktor, lingkungan, alam dan sosial sosial, serta faktor lainnya (CCO, K3, komunikasi).

Analisa resiko menggunakan matrik analisa resiko, guna mendapatkan level resiko yang ada. Dari 49 (empat puluh sembilan) variabel resiko yang diidentifikasi, terdapat 3 (tiga) peristiwa resiko yang termasuk dalam klasifikasi resiko tinggi (*high risk*), Hasilnya seperti tabel berikut:

Tabel 3. Hasil Analisa Level Resiko

Variabel (Peristiwa Resiko)		Level Resiko
X16	Material yang dikirimkan supplier rusak, sehingga butuh waktu tambahan untuk pergantian material	Tinggi
X17	Jumlah material yang dikirimkan supplier tidak sesuai dengan yang di order, sehingga butuh waktu tambahan	Tinggi
X47	Adanya pekerjaan tambah kurang	Tinggi

Permasalahan material tidak lepas dari kemampuan kontraktor dalam menilai dan memilih sub kontraktor yang akan dijadikan partner dalam mencapai suatu tujuan, yakni menyelesaikan proyek tepat waktu, mutu dan biaya. Sehingga diharapkan kontraktor punya perencanaan yang matang terkait subkon jauh sebelum proyek akan dilaksanakan. Sehingga meminimalisir permasalahan yang berimbas pada kinerja waktu kontraktor

Pekerjaan tambah kurang (*Contract Change Order*) bukan hal baru yang ditemui oleh kontraktor. Hampir di semua pelaksanaan proyek konstruksi, khususnya konstruksi gedung di Sumatera Barat, sering terjadi pekerjaan tambah kurang. Permasalahan ini jika dirunut kebelakang, dapat disebabkan oleh kurang matangnya tahap perencanaan. sehingga sering ditemui perbedaan yang signifikan dari kondisi lapangan dengan gambar dan spec perencanaan. Sehingga CCO dilakukan pada volume pekerjaan, jenis pekerjaan, bahkan perubahan spec teknis dan gambar pekerjaan yang diperlukan (Perpres 54/2010 pasal 87). Hal ini sudah tentu akan berdampak pada waktu yang dibutuhkan oleh pihak kontraktor dalam penyelesaian proyek yang akan dikerjakannya.

Respon risk terhadap peristiwa resiko yang memiliki level resiko tinggi, yang dikemukakan pada penelitian ini, pernah juga dikemukakan oleh Nugraheni.M.V, (2012) dan Devinta.A.S et all, ITS, dan Ananda.F , (2015)

Respon risk yang sesuai dengan peristiwa resiko yang memiliki level resiko tinggi (high risk), dibedakan untuk mencegah peningkatan frekuensi resikonya (preventif) dan pengurangan dampak resikonya (corrective). Untuk peristiwa resiko X16 dan X17, bahwa respon risk yang bersifat preventif yakni : (1);Kontraktor harus sudah lebih dahulu punya tahapan penyeleksian supplier yang akan digunakan, jauh sebelum tahap awal proyek. (2); Perlu adanya *monitoring* dan *controlling* di setiap tahapan, agar proyek terlaksana sesuai yang direncanakan. (3); Menjalinkan sistim komunikasi dan

informasi yang baik, sehingga tepat dalam penyampaian apa yang diperlukan (4);Konsisten terhadap jadwal yang telah disepakati (5);Membuat daftar supplier cadangan. 6). Membuat jadwal material sebelum pelaksanaan dimulai. 7). Membuat perjanjian yang bersifat mengikat dengan sub kontraktor yang berkaitan dengan material baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Sedangkan respon risk yang sifatnya korektif adalah dengan Mencari supplier lain yang lebih *capable*.

Untuk peristiwa resiko X47, respon risk yang sifatnya preventif adalah : (1);Terapkan *Requirement management* dan prosedur kontrak yang jelas sejak awal (2);Menyiapkan *change order procedure* dan *interface* manajemen prosedur yang disepakati *owner* dan kontraktor. (3);Pemahaman lingkup pekerjaan yang sama 4). Manajer Proyek membuat semacam kuisi untuk klarifikasi kebutuhan *owner*. 5). Melakukan *contract detail discuss* di awal Proyek dengan *owner* untuk klarifikasi *Contract requirement* dan membuat *change order procedures*

Sedangkan respon risk yang sifatnya korektif adalah;(1).Selalu mengacu pada kontrak dan bersama sama me *review* lingkup pekerjaan dan negosiasi *win win solution* nya;(2)Membuat proposal *CCO* lalu kirim ke klien dan lakukan *review* bersama terhadap perubahan *schedule* akibat *CCO* tersebut;(3)Dibahas sesegera mungkin;(4)Melakukan klarifikasi *CCO* tersebut dan memberikan batasan waktu persetujuan

4. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian, analisis, dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Terdapat 3 peristiwa resiko dengan klasifikasi risiko tinggi (*high risk*), yang signifikan terhadap permasalahan keterlambatan pelaksanaan proyek pembangunan gedung di Sumatera Barat yaitu;(1)Material yang dikirimkan supplier rusak, sehingga butuh waktu tambahan untuk pergantian material; (2)Jumlah material yang dikirimkan supplier tidak sesuai dengan yang di order, sehingga butuh waktu tambahan ; (3)Adanya pekerjaan tambah kurang
2. Respon risk terhadap peristiwa resiko yang memiliki level resiko tinggi terdiri dari peristiwa resiko yang berhubungan dengan material, ada 7 respon risk untuk mencegah peningkatan frekuensi risikonya (*preventif*) dan 1 respon risk untuk mengurangi dampak risikonya (*corrective*). Peristiwa resiko Contract change order(CCO) punya 5 respon risk untuk mencegah peningkatan frekuensi risikonya (*preventif*) dan 4 respon risk untuk mengurangi dampak risikonya (*corrective*).

5. DAFTAR PUSTAKA

Alfianto , (2014). “Studi faktor faktor penyebab terjadinya keterlambatan penyelesaian pekerjaan proyek gedung”, jambi,

- Ananda.F, (2015). “Analisa resiko dalam penerapan manajemen komunikasi pada proyek EPC untuk meningkatkan kinerja waktu”, UI, Depok,
- Anonymous, (1999). “*Australian Standard Risk Management*”, AS/ NZS 3460,
- Anonymous, (2013). “*PMBOK Vol. 5th Edition, USA*”,
- Anonymous, (2009). “*Risk Management Handbook,US*”,
- Anonymous ,(2010). “*Risk Management Training, Beraeu of Srategic Planning*”,
- Anonymous, (2010), Keppres no.54, ”Pengadaan barang dan jasa Pemerintah”,
- Assef at all, (1995), “Causes of Delay in Large Building Construction Projects”,
- Bramantyo, (2004), “Manajemen risiko korporat terintegrasi”, Jakarta PPM
- Ewelina Gajewska Mikaela Rupel, (2011). “*Risk Management Practice In A Construction Project-a Case Study*”,
- Ghazali.M, (2011). “Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 19”,
- Gunasti.A, (2011). “Manajemen Resiko Dalam Proyek Konstruksi”,
- Heinz-Peter Berg, June (2010).”*Risk Management:Procedures,Methods and Experience,Germany*”,
- Hilson, (2002).”*Extending the risk process to manage opportunities*”
- Indrawan, (2005).”Identifikasi sumber resiko proyek EPC (studi kasus Proyek ABC, PT.X), UI, Depok,
- Joni.I Gede Putu, Januari (2012).”Resiko Manajemen Proyek”,Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Volume 16 No 1,Universitas Udayana Denpasar,
- Anonymous , (2010), Keppres no.54, ”Pengadaan barang dan jasa Pemerintah”,
- Nerija Banaitiene and Audrius Banaitis, (2012).”*Risk Management In Construction Projects*”,
- Nugraha Melia.V, (2012).”Analisa Resiko Lingkup *Non Excusable* pada Tahap Pelaksanaan Proyek Pembangunan Stasiun Daerah Kantor X yang Berpengaruh Terhadap Perubahan Kinerja Proyek”, UI, Depok,
- Nurlela,Heri Suprpto, Desember (2014).”Identifikasi dan Analisis Manajemen Resiko Pada Proyek Pembangunan Infrastruktur Bangunan Gedung Bertingkat”,Jurnal Desain Konstruksi Volume 13 No.2,Universitas Guna Darma Jawa Barat,
- Paul Newton, (2015).”*Managing Project Risk*”,
- Prasetyo dan lina, (2008).” Metode Penelitian Kuantitatif

- Proboyo,Budiman,(1999).”Keterlambatan Waktu Pelaksanaan Proyek: Klasifikasi dan Peringkat dari Penyebab-Penyebabnya”, Dimensi Teknik Sipil Volume1,
- Putra, Faktor – faktor resiko dalam proses pengadaan pada proyek EPC yg berpengaruh kepada kinerja waktu, UI, Depok
- Santoso.S, (2015).”Menguasai SPSS 22”,
- Siswanto, (2006).’Pengantar Manajemen, ,Jakarta: PT. Bumi Aksara,
- Sitorus, (2008).”Faktor-faktor resiko yg berpengaruh terhadap kinerja waktu proyek EPC gas di Indonesia”, UI, Depok ,
- Syatriawan, (2015), “Studi manajemen resiko keterlambatan waktu penyelesaian , Balai wilayah sungai Sumatera V,Universitas Bung Hatta, Padang
- Wijanarko , (2009), “faktor-faktor keterlambatan proyek konstruksi gedung di sumatera barat”, Universitas Bung Hatta, Padang
- Santoso.S, (2015).”Menguasai SPSS 22”,

Model Statistik Kualitatif Valuasi Resiko Proyek Rumah Tahan Gempa (RTG)

Muhammad Rilly Aka Yogi

Jurusan Teknik Sipil - Universitas Riau
rilly.yogi@lecturer.unri.ac.id rilly.yogi@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia saat ini masuk dalam kategori emerging earthquake dalam infrastruktur tahan gempa. Mengingat dalam dekade terakhir terjadi beberapa gempa besar yang relatif signifikan yang menyebabkan terjadinya banyak kerusakan, insiden, dan bahkan fatality

Rekayasa teknik sipil dewasa ini dituntut agar mampu mereduksi level impact dari bahaya kegempaan, khususnya dalam aplikasi bangunan tahan gempa dalam domain infrastruktur publik dengan tingkat living occupancy yang tinggi, yaitu objek infrastruktur kemasyarakatan rumah tahan gempa. Kerugian yang disebabkan oleh bahaya kegempaan pada perumahan rakyat sangat signifikan, yang menyebabkan berbagai kelumpuhan aspek ekonomi kemasyarakatan, bahkan hingga korban jiwa yang menyebabkan menurunnya usia produktif dalam stratifikasi sosial masyarakat suatu daerah

Berbagai metodologi assessment dikembangkan dalam menilai aspek resiko akibat kegempaan. Hal ini dimaksudkan agar masyarakat dapat sejak dini mengantisipasi dan melakukan upaya pencegahan potensial resiko yang terjadi. Valuasi kualitatif dapat diterapkan dalam menilai resiko, sehingga penilaian dapat dilakukan secara mudah dan utuh didalam seluruh tahapan Project Life Cycle (PLC) proyek serta dapat menjadi pendekatan organik dalam pendefinisian proyek RTG di Indonesia

Keyword: Analisis Kualitatif, Earthquake, Infrastruktur, Impact, Assessment, Project Life Cycle (PLC), Rumah tahan Gempa (RTG)

ABSTRACT

Currently Indonesia is categorized as earthquake emerging area especially on earthquake resistance infrastructure. Several significant earthquakes has occurred in the last decade that significantly impacts most area causing structural failure, incident, and fatality

Civil engineering is engaged to be able to reduce the impact level of earthquake and more on the application of earthquake resistance building of public purposes with the high level of living occupancy, earthquake resistance housing. Notable losses caused by the earthquake on public housing becomes significant causing problems on society economics and even the losses of human causes the decreased of productive ages on the earthquake impacted area social stratification

Assessment methods are developed to valuate earthquake risk aspect. This movement is to develop early warning system to anticipate and prevent the earthquake potential risk. Qualitative valuation should be applied to determine the risk, as the practical method to

analyze the entire Project Life Cycle (PLC) and also as the organic method to define the targeted risk of earthquake resistance housing in Indonesia

Keyword: Qualitative Analysis, Earthquake, Infrastructure, Impact, Assessment, Project Life Cycle (PLC), Earth Resistance Housing

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan rumah tahan gempa dewasa ini telah menjadi suatu trend tersendiri baik secara keilmuan maupun secara komersil pada hubungannya dengan permintaan atas kebutuhan hunian. Berbagai kasus dan kejadian gempa yang menyebabkan berbagai kerugian moril dan materil sehingga permintaan atas kebutuhan hunian yang aman terhadap resiko kegempaan sendiri menjadi semakin meningkat

Rumah tahan gempa secara definisi merupakan *engineered building* yang secara design memenuhi kaidah-kaidah desain teknis yang sesuai dengan kebutuhan perencanaan terhadap kegempaan. Dari berbagai kasus kegagalan rumah tahan gempa, statistik menunjukkan bahwa factor signifikan penyebab kegagalan adalah dari resiko yang tidak atau terlambat di antisipasi dalam tahapan PLC proyek. Sehingga kegagalan pendefinisian ini menyebabkan tidak terpenuhinya *engineered building* sebagaimana yang diperlukan

Lebih jauh lagi, penilaian resiko merupakan suatu aspek yang harus dipenuhi pada perencanaan bangunan tahan gempa. Dengan telah dilakukannya penilaian resiko, maka stakeholder secara tidak langsung telah melakukan mitigasi terhadap proyek tersebut. Pemilik dan perencana tidak dapat menilai resiko design apabila pada fase konseptual proses identifikasi resiko tidak di inisiasi untuk dilaksanakan

Penilaian resiko merupakan langkah proaktif dalam *quality surveying* yang harus dipenuhi oleh pemilik bersama perencana. Dan selanjutnya diikuti dengan kontrol dan pemantauan implementasi dari pengendalian resiko yang telah ditentukan, sehingga melalui tahap-tahapan prosedural ini proyek dapat dikawal dengan baik dalam hal penjaminan mutu kebutuhan infrastruktur tahan gempa yang direncanakan

2. RUMUSAN MASALAH

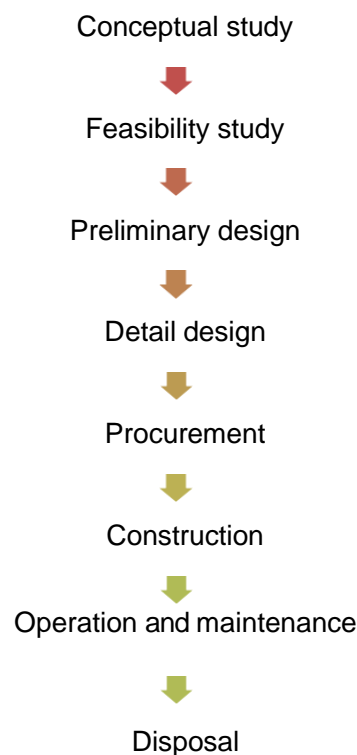
Untuk jaminan pengendalian resiko, kaidah penilaian rumah tahan gempa harus dijaminakan melalui metodologi prosedural penilaian pengendalian dan pemantauan resiko. PLC didefinisikan menyertakan suatu aktivitas prosedural mengenai penilaian sehingga dapat diketahui besaran dan distribusi pembobotan bobot resiko dalam keseluruhan fase

3. METODOLOGI ANALISIS

Analisis dilakukan diawali dengan pendefinisian PLC pada proyek RTG, kemudian menentukan parameter dari kegagalan RTG, menentukan identifikasi resiko dan batasan kualitatif, kemudian diikuti dengan melakukan root cause analysis dan pendefinisian failure mode serta signifikansi, dan dibagian akhir adalah valuasi resiko kualitatif dari proyek RTG

3.1 Project Life Cycle (PLC)

Setiap aktivitas proyek selalu berasosiasi dengan suatu siklus daur hidup proyek yang secara teori menjelaskan keseluruhan fase holistic mengenai proyek tersebut. Project life cycle merupakan suatu tahap-tahapan aktivitas proyek dari fase konseptual hingga disposal, yang secara skematis diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1: Project Life Cycle (PLC)

Secara umum penilaian proyek dilakukan terhadap seluruh tahapan dan fase proyek tidak hanya secara khusus meninjau pada fase perencanaan (engineering design) dan konstruksi saja. Ini merupakan implementasi dari prinsip integratif dan proaktif dalam

objektifitas penilaian, pengendalian, dan pemantauan resiko, serta untuk penjaminan objective dari optimasi proyek dalam hal pembiayaan, penjadwalan, dan kualitas (mutu)

3.2 Parameter resiko kegagalan RTG

Ketentuan teknis mengenai bangunan tahan gempa akan berbeda apabila peruntukan objek bangunan untuk okupansi level rendah, sedang, dan tinggi. Sehingga melalui safety factor yang diterapkan akan menyebabkan pembesaran volumetric struktur dan berimbas pada berat struktur yang besar pada perencanaan pondasi secara umum. Kaidah selanjutnya adalah keutamaan integrity struktur bangunan yang salah satunya berasal dari desain pondasi dan struktur bangunan. Untuk bangunan tahan gempa ditentukan bahwa pondasi harus dapat memberikan dukungan upper-structure dan dengan kaidah integritas yang cukup agar dapat memenuhi aspek continuity dan homogenitas member, material, serta sambungan.

Secara khusus bahwa resiko kegempaan baru akan terjadi apabila terlampauinya batasan parameter yang ditetapkan pada limit state desain. Dengan kata lain mode keruntuhan lainnya di luar yang ditentukan bukanlah merupakan setting parameter yang menjadi indicator kegagalan struktur pada RTG. Terdapat 4 parameter yang menjadi parameter limit state resiko kegempaan yaitu; foundation detailing, member detailing, connection detailing, dan material detailing.

3.3 Identifikasi Resiko

Penilaian resiko proyek secara teoritis dilakukan terhadap keseluruhan fase proyek. Sehingga proses identifikasi resiko juga dilakukan terhadap setiap fase PLC. Terdapat pula signifikansi yang berbeda-beda pada setiap fase tersebut akibat dari suatu proses runut yang saling berkaitan satu dengan yang lainnya secara waktu pada PLC. Konsideran waktu ini menyebabkan suatu penambahan nilai yang proporsional

pada valuasi resiko. Disamping waktu, signifikansi juga dinilai melalui hubungan sebab akibat pada root cause tree analysis untuk menentukan identifikasi resiko yang memiliki valuasi penyebab yang paling besar. Tabulasi dari identifikasi resiko RTG dan keterkaitan hubungan sebab akibatnya diberikan pada Tabel 1

Tabel 1. Register identifikasi resiko

No	PLC	Phase	PLC Val	Risk identification	causal	impact
1	conceptual	1	1.047619048	fail in budgeting	engineering design knowledge and experience construction management knowledge and experience	fail in foundation geometry and definition fail in structural geometry and definition fail in material detailing fail in contract definition
2	conceptual	1	1.047619048	engineering design knowledge and experience		fail in budgeting fail in EQ requirement understanding
3	conceptual	1	1.047619048	construction management knowledge and experience		fail in budgeting fail in contract definition
4	feasibility	2	1.095238095	fail pada penerapan safety factor gempa	engineering design knowledge and experience	fail in category fail in assessing area
5	feasibility	2	1.095238095	fail in category	fail in EQ requirement understanding	fail in foundation geometry and definition fail in structural geometry and definition fail in material detailing
6	feasibility	2	1.095238095	fail in assessing area	fail in EQ requirement understanding	fail in foundation geometry and definition fail in structural geometry and definition fail in material detailing
7	prelim	3	1.142857143	fail in foundation geometry and definition	fail in category fail in assessing area	fail in contract definition
8	prelim	3	1.142857143	fail in structural geometry and definition	fail in category fail in assessing area	fail in contract definition
9	detail	4	1.19047619	fail in foundation detailing	fail in contractor specification fail in monitoring and supervision	
10	detail	4	1.19047619	fail in member detailing	fail in contractor specification fail in monitoring and supervision	
11	detail	4	1.19047619	fail in connection detailing	fail in contractor specification fail in monitoring and supervision	
12	detail	4	1.19047619	fail in material detailing	fail in category fail in assessing area	fail in contract definition
13	procurement	5	1.238095238	fail in contractor specification	fail in contract definition	fail in foundation detailing fail in member detailing fail in connection detailing fail in material procurement
14	procurement	5	1.238095238	fail in material procurement	fail in contractor specification fail in monitoring and supervision	
15	procurement	6	1.285714286	fail in contract definition	fail in budgeting construction management knowledge and experience fail in foundation geometry and definition fail in structural geometry and definition fail in material detailing	fail in contractor specification fail in monitoring and supervision
16	construction	6	1.285714286	fail in monitoring and supervision	fail in contract definition	fail in foundation detailing fail in member detailing fail in connection detailing fail in material procurement

3.4 Batasan Kualitatif

Decision making berpengaruh kepada set up perencanaan proyek RTG. Pembentukan decision making dilakukan melalui pilihan faktor-faktor batasan keputusan proyek

seperti owner objection, understanding, experience, market, dan budget. Pada batasan-batasan ini juga terdapat hubungan sebab akibat yang dapat dipetakan melalui root cause analysis dan kemudian dilakukan pembobotan yang proporsional. Sehingga melalui pola decision making yang dipilih akan dapat menjadi suatu bentuk peluang atas event dari identifikasi resiko tersebut. Selanjutnya konsideran ini diterapkan pada masing-masing identifikasi resiko untuk menghitung probability of objection dari proyek RTG, sebagaimana pada Tabel 2

Tabel 2. Batasan kualitatif identifikasi resiko

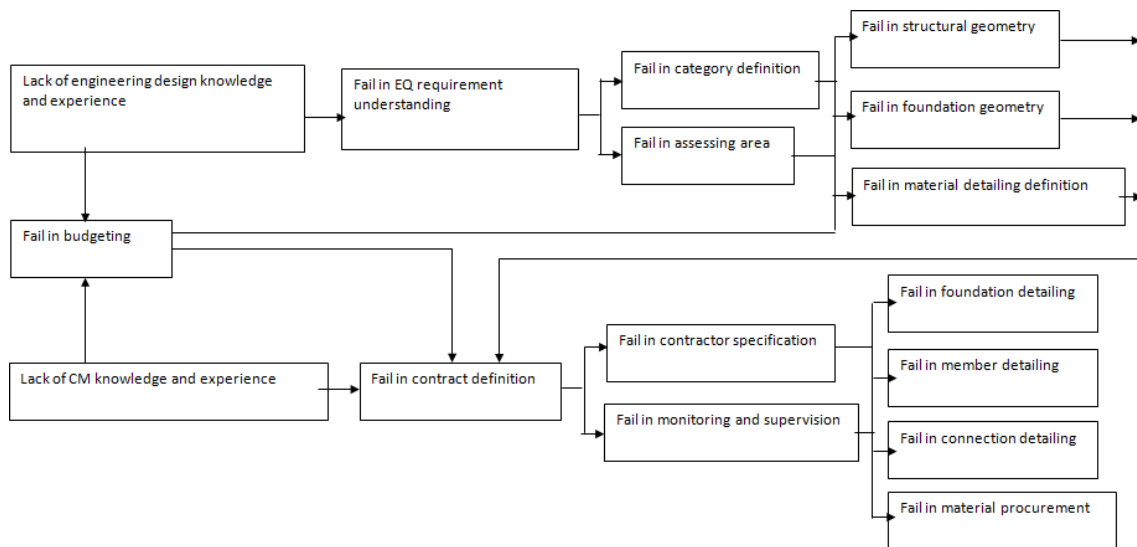
No	PLC	Phase Num	PLC Val	Risk identification	willing	understanding	budget	market	experience	probability
1	conceptual	1	1.047619	fail in budgeting	1	2	3	2	3	4.782609
2	conceptual	1	1.047619	engineering design knowledge and experience		2	3		3	3.478261
3	conceptual	1	1.047619	construction management knowledge and experience	1		3		3	3.043478
4	feasibility	2	1.095238	fail pada penerapan safety factor gempa		2			3	2.272727
5	feasibility	2	1.095238	fail in category		2				0.909091
6	feasibility	2	1.095238	fail in assessing area	1	2	3	2	3	5
7	prelim	3	1.142857	fail in foundation geometry and definition		2	3	2		3.320158
8	prelim	3	1.142857	fail in structural geometry and definition		2	3	2		3.320158
9	detail	4	1.190476	fail in foundation detailing		2	3	2	3	4.940711
10	detail	4	1.190476	fail in member detailing		2	3	2	3	4.940711
11	detail	4	1.190476	fail in connection detailing		2	3	2	3	4.940711
12	detail	4	1.190476	fail in material detailing		2	3	2		3.458498
13	procurement	5	1.238095	fail in contractor specification	1			2	3	3.083004
14	procurement	5	1.238095	fail in material procurement	1					0.513834
15	procurement	6	1.285714	fail in contract definition	1			2	3	3.201581
16	construction	6	1.285714	fail in monitoring and supervision	1			2	3	3.201581

3.5 Root-Cause Analysis

Skematik root-cause analysis menghasilkan mapping penjalaran resiko kualitatif yang terjadi pada proyek RTG sebagaimana pada Gambar 2. Selain itu dalam fase penjalaran ini juga dilakukan pembobotan secara sistematis yang diterapkan secara backward pada seluruh alur yang berkaitan sebagaimana pada Tabel 3

Analisis menghasilkan signifikansi impact dari semua keterlibatan resiko didalam proyek RTG kemudan menjadi intensity value dalam pengukuran resiko. Signifikansi

ini menjelaskan keterkaitan antar keseluruhan identifikasi resiko pada proyek RTG yang secara umum bersifat statis. Perubahan- perubahan pada impact hanya dapat berlaku secara prinsip apabila terdapat suatu mekanisme penjalaran kausalitas yang secara umum hanya terjadi lewat perubahan metode construction management pada PLC. Namun keumuman analisis ini berlaku mengingat kesederhanaan pendekatan proyek yang diterapkan pada RTG dikebanyakan aplikasi pelaksanaan proyek RTG di indonesia



Gambar 2. Root-cause mapping identifikasi resiko

Tabel 3. Korelasi probability identifikasi resiko

	fail in budgeting	engineering design knowledge and experience	construction management knowledge and experience	fail in assessing area	fail in foundation geometry	fail in structural geometry	fail in category	fail pada penerapan safety factor gempa	fail in member detailing	fail in connection detailing	fail in material detailing	fail in contractor	fail in material spec	fail in contract definition	fail in monitoring and supervision	Total	
fail in budgeting	2	2														4	0.22
engineering design knowledge and experience																0	0.00
construction management knowledge and experience																0	0.00
fail in assessing area	0.125						0.125									0.25	0.01
fail in foundation geometry	0.125						0.125									0.25	0.01
fail in structural geometry	0.125						0.125									0.25	0.01
fail in category								1								1	0.06
fail pada penerapan safety factor gempa							1									1	0.06
fail in foundation detailing												0.5			0.5	1	
fail in member detailing												0.5			0.5	1	0.06
fail in connection detailing												0.5			0.5	1	0.06
fail in material detailing	0.125						0.125							1		1.25	0.07
fail in contractor specification														1.5		1.5	0.08
fail in material procurement												0.5			0.5	1	0.06
fail in contract definition	1		1	0.25	0.25	0.25					0.25					3	0.17
fail in monitoring and supervision														1.5		1.5	0.08
Total	1.5	3	3	0.25	0.25	0.25	0.5	1	0	0	0.25	2	0	4	2		
	0.28	0.11	0.11	0.06	0.06	0.06	0.22	0.06	0.00	0.00	0.06	0.22	0.00	0.17	0.22		
	5.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.00	0.00	0.00	1.00	4.00	0.00	3.00	4.00		

3.6 Failure Mode

Failure mode ditentukan melalui root-cause tree analysis melalui critical path method (CPM), dan menghasilkan 296 mode of failure yang merepresentasikan failure path dari keseluruhan sistem, dimana masing-masing jalur memberikan kontribusi valuasi failure mode yang memiliki karakteristik yang berbeda satu dengan yang lainnya kepada masing-masing identifikasi resiko. Selain itu pada masing- masing simpul jalur juga dilakukan koreksi terhadap tingkat probability sebagaimana input pada batasan kualitataif, dan kemudian dilakukan normalize scale menjadi 5 kategori interval. Brief tabulasi diberikan pada Tabel 4

Tabel 4. Failure mode RTG

Probability of occurrence	Risk identification	Significance														
			1	2	3	4	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296
0.25	fail in budgeting	96														
0.5	engineering design knowledge and experience	80	1	1	1	1										
0.5	construction management knowledge and experience	40														
0.5	fail pada penerapan safety factor gempa	96	2	2	2	2										
0.33	fail in category	72	3	3	3	3										
0.33	fail in assessing area	72														
1	fail in foundation geometry and definition	80	4	4	4	4										
1	fail in structural geometry and definition	80														
1	fail in foundation detailing	74	7							7			7			
1	fail in member detailing	74		7							7			7		
1	fail in connection detailing	74			7			7				7				7
1	fail in material detailing	80														
0.25	fail in contractor specification	144	6	6	6	6										
1	fail in material procurement	74				7		7				7				7
0.5	fail in contract definition	280	5	5	5	5										
0.25	fail in monitoring and supervision	144						6		6						

3.7 Analisis Kualitatif Resiko

Resiko secara definisi dapat berasal dari potensi bahaya (hazard) yang terjadi, dimana secara umum dapat berimplikasi menjadi kerugian pada beberapa hal sebagai berikut: people, asset, cost, environment, dan image. Dilain hal baik resiko maupun hazard dapat berasosiasi langsung pada objective proyek yaitu pembiayaan, penjadwalan, dan kualitas (mutu)

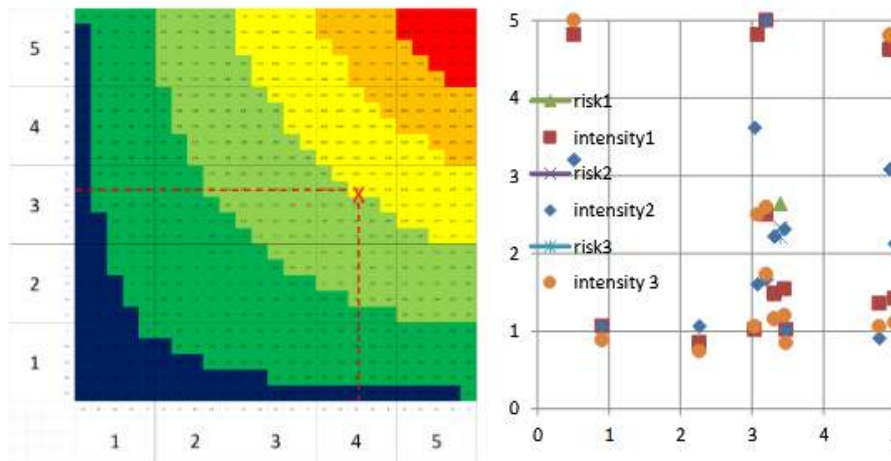
Secara khusus analisis kualitatif dalam sistematika penilaian resiko berguna untuk menghasilkan valuasi dari resiko yang terjadi melalui parameter kualitatif yang didefinisikan melalui suatu confidence interval. Analisis kemudian dilakukan sesuai dengan definisi proyek pada fase konseptual study PLC. Analisis kualitatif mampu menghasilkan identifikasi tingkat resiko yang berimbang dan secara cepat dapat diimplementasikan menjadi metode yang naratif dan normative serta dengan tetap menjaga substansi penilaian assessment

3.8 Perhitungan Valuasi Resiko

Valuasi resiko dilakukan melalui dua variabel resiko yaitu probability dan impact. Input karakteristik proyek RTG ditentukan melalui pilihan indicator yang diambil saat menentukan keputusan dalam menerapkan resiko yang digunakan oleh stakeholder proyek RTG. Adapun probability merupakan nilai rata-rata normalize scale pada failure mode sedangkan intensity merupakan rata-rata normalized scale dari jumlah simpul atau langkah pada masing-masing jalur pada failure mode.

Sajian analisis kualitatif diimplementasikan melalui sebuah matriks 2 Dimensi probability dan impact dengan 5 level criteria pada masing-masing sumbu. Matriks ini terbagi kedalam 5 zonasi klasifikasi tingkat resiko yaitu good, low, mid-low, middle, mid-hi, dan high zone dimana zona mid merupakan batasan area acceptable dari targeted risk. Plot nilai dari masing-masing sumbu merupakan nilai resiko hasil perhitungan

Dengan melakukan rataan terbobot dari perkalian kedua parameter probability dan impact diperoleh nilai resiko sebagaimana pada Gambar 3. Hasil plot resiko memperlihatkan bahwa resiko berada pada middle zone yang berbatasan dengan mid-low zone yaitu sebesar 36.69% dari paparan resiko kegagalan dengan komponen kegagalan 2.69 (53.95%) dan 3.40 (68.00%) pada masing-masing intensity dan probability



Gambar 3. Valuasi resiko RTG

4. KESIMPULAN

Model valuasi proyek RTG berguna untuk mengukur keandalan proyek secara integrated. Valuasi dapat diuji secara statistik melalui generate statistical untuk menghasilkan review nilai resiko yang dapat digunakan untuk pencegahan dan mengintervensi potensi buruk dari definisi proyek RTG

5. DAFTAR PUSTAKA

Anca, U., Cezar, B., Adrian, U. (2015), Risk Identification in Project Management, CESBA ISSN: 2392-8174, ISSN-L: 2392-8166

- Archibald, R., Filippo, I., Filippo, D., The Six-Phase Comprehensive Project Life Cycle Model Including the Project Incubation/Feasibility Phase and the Post-Project Evaluation phase
- Direktorat Jenderal Cipta Karya (2006), Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa, Departemen Pekerjaan Umum
- Doskocil, R., Lacko, B. (2019), Root Cause Analysis in Post Project Phases as Application of Knowledge Management, MDPI
- Hult, H., Lindskog, F. (2007), Mathematical Modeling and Statistical methods for Risk Management, Lecture Notes
- Korombel, A., Tworek, P., Qualitative Risk Analysis as a Stage of Risk management in Investment Project: Advantages and Disadvantages of Selected methods – Theoretical Approach, Journal of Interdisciplinary Research
- Leveson, N. (2019), Improving the Standard Risk Matrix: Part 1, MIT
- PMI., A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide), Project management Institute, Newtown Square USA
- Severian, V. (2014), Risk management and Evaluation and Qualitative Method within the Projects, ECOFORUM [Volume 3, Issue 1 (4), 2014]
- Sudjana, S. (1992), Metoda Statistika, Penerbit Tarsito

Penerapan Sistem Manajemen Mutu (SMM) di Lingkungan Balai Jasa Konstruksi Wilayah I Banda Aceh

Febrimen Herista¹

¹Mahasiswa Program Doktoral Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas ,
Padang

Email: febrimenherista@gmail.com

ABSTRACT

The Department Pekerjaan Umum (PU) needs to further improve the implementation of Quality Management Systems (QMS) to accommodate all related to quality assurance of construction activities. This research is carried out with the aim of knowing the factors that affect the application of QMS and the implementation of QMS itself in the environment of Balai Jasa Konstruksi Wilayah I Banda Aceh. Data collection In this study used observation techniques, interviews and documentation studies with qualitative methods. From data analysis, the human resources, mentoring and socio-cultural factors have positive influence on the implementation of QMS. And from the development of data analysis by experts can be concluded that the implementation of QMS has not been maximized in the environment of Balai Jasa Konstruksi Wilayah I Banda Aceh.

Keywords: Quality Management System (SMM)

ABSTRAK

Departemen Pekerjaan Umum (PU) perlu lebih meningkatkan penerapan Sistem Manajemen Mutu (SMM) untuk mengakomodasi semua yang terkait dengan penjaminan mutu kegiatan konstruksi. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi penerapan SMM serta penerapan SMM itu sendiri di lingkungan Balai Jasa Konstruksi Wilayah I Banda Aceh. Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan teknik observasi, wawancara serta studi dokumentasi dengan metoda kualitatif. Dari analisa data didapatkan bahwa faktor Sumber Daya Manusia, Pendampingan dan Sosial Budaya berpengaruh positif terhadap penerapan SMM. Dan dari pengembangan analisa data oleh para pakar dapat diambil kesimpulan bahwa penerapan SMM belum maksimal di lingkungan Balai Jasa Konstruksi Wilayah I Banda Aceh.

Kata Kunci : Sistem manajemen Mutu (SMM)

1. PENDAHULUAN

Departemen Pekerjaan Umum (PU) berperan penting dalam penyediaan infrastruktur guna mendukung pertumbuhan dan perkembangan bidang ekonomi, sosial dan budaya. Penyediaan infrastruktur ini harus melalui proses yang meliputi perencanaan,

pelaksanaan dan pengawasan serta operasi dan pemeliharaan. Untuk melaksanakan pekerjaan konstruksi dalam penyediaan infrastruktur harus mematuhi ketentuan Undang-undang Nomor 18 Tahun 1999 tentang Jasa Konstruksi dan Peraturan Pelaksanaannya, yang menyatakan penyelenggaraan pekerjaan konstruksi wajib mewujudkan hasil pekerjaan yang handal dan bermanfaat dengan memenuhi ketentuan tertib penyelenggaraan pekerjaan konstruksi. (Sumber: Permen PU Nomor 06/PRT/M/2008). Penerapan SMM di lingkungan Departemen PU perlu dilakukan untuk mengakomodasi semua sistem yang terkait dengan penjaminan mutu seluruh proses kegiatan yang dilaksanakan. Penerapan SMM untuk Kontraktor, Konsultan dan Pemilik Proyek telah lama digalakan.

Penerapan SMM dalam penelitian ini ditujukan kepada Pemilik Proyek yaitu Kepala Satuan Kerja (Kasatker) maupun Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) dan hal yang dibahas hanya tentang faktor - faktor yang mempengaruhi penerapan SMM dan penerapan SMM itu sendiri pada Kasatker dan PPK, yang dimulai dengan penyiapan dokumen Rencana Mutu Pelaksanaan Kegiatan (RMP) di lingkungan Kasatker dan PPK sebelum dilaksanakannya perencanaan dan pelaksanaan fisik konstruksi serta pemenuhan peraturan dan kebijakan SMM khususnya pada Balai Jasa Konstruksi Wilayah I Banda Aceh untuk mengetahui tertib penyelenggaraan jasa konstruksi. Dokumen RMP harus disiapkan sebagai pedoman atau acuan dalam penyelenggaraan jasa konstruksi baik berupa perencanaan maupun pelaksanaan fisik konstruksi di lapangan. RMP berguna sebagai panduan pelaksanaan dan peninjauan terhadap pelaksanaan kegiatan menurut ketentuan dan persyaratan yang telah ditetapkan. (Permen PU No. 04/PRT/M/2009)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor yang pengaruhi penerapan SMM pada Kasatker dan PPK serta penerapan SMM itu sendiri di lingkungan Balai Jasa Konstruksi Wilayah I Banda Aceh.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di lingkungan kerja Balai Jasa Konstruksi Wilayah I Aceh dibawah Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) di lima provinsi yaitu Provinsi Sumatera Barat, Riau, Kepulauan Riau, Sumatera Utara dan Aceh, terhadap Kasatker dan PPK pada empat Satuan Administrasi Pangkalan (Satminkal), yaitu Sumber Daya Air (SDA), Penyediaan Perumahan (PP), Cipta Karya (CK) dan Bina Marga (BM) yang dilakukan dari bulan Oktober 2018 sampai dengan bulan November 2018.

Penelitian ini menggunakan metoda kualitatif atau metode postpositivistik karena berlandaskan pada filsafat postpositivisme. Dan juga dinamakan sebagai metode artistik karena prosesnya lebih bersifat seni, dan disebut juga dengan metode interpretive karena data hasil penelitian lebih berkenaan dengan interpretasi dari data lapangan.

Dalam penelitian ini populasi diambil dari kegiatan dengan nilai diatas 1 milyar dengan bobot pekerjaan melebihi 30%. Pengumpulan data dengan menggunakan teknik observasi terhadap sampel. Sedangkan untuk mengukur faktor yang mempengaruhi penerapan SMM berdasarkan prinsip tingkat keragaman dari populasi. Tingkat keragaman populasi berdasarkan pada kondisi yang sangat beragam (heterogen) dan sangat tidak beragam (homogen). Semakin tinggi tingkat heterogen suatu populasi, maka semakin besar jumlah sampel yang dibutuhkan. Adapun yang menjadi informan adalah didasarkan pada informasi awal yang peneliti dapatkan pada awal observasi, yaitu pihak yang terlibat langsung dalam penerapan SMM.

Data penelitian dikumpulkan dengan cara observasi, wawancara dan uji dokumentasi, dengan menggunakan panduan wawancara sebagai alat pengumpulan data dan juga menggunakan sumber-sumber non-manusia (non-human resources of information), seperti dokumen rekaman/catatan (record) yang tersedia (Faisal, 1990). Pengumpulan data dalam penelitian kualitatif dapat dilakukan dengan observasi dan wawancara Nasution (2003).

Analisa data merupakan upaya mencari dan menata data secara sistematis untuk meningkatkan pemahaman peneliti tentang masalah yang diteliti dan menyajikannya sebagai temuan bagi peneliti. Analisa data peneliti lakukan dimulai dari pengumpulan data berlangsung sampai selesai pengumpulan data. Pada saat wawancara dilakukan dengan informan, peneliti telah melakukan analisa terhadap jawaban informan yang diwawancarai. Kemudian jawaban informan dianalisis, apabila peneliti belum mendapatkan informasi yang jelas, maka peneliti akan melanjutkan pertanyaan lagi sampai peneliti mendapatkan informasi yang kredibel. Sesuai dengan pendapat Miles dan Huberman (1994) dalam Sugiyono (2014 :246) menyatakan bahwa “aktifitas dalam analisa kualitatif dilakukan secara interaktif dan berlangsung secara terus menerus dan tuntas, sehingga datanya jenuh, aktifitas dalam analisa data yaitu data reduction, data display, dan conclusion drawing/verification.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Data Tujuan I

Untuk mendapatkan detail faktor- faktor yang mempengaruhi penerapan SMM pada Kasatker dan PPK untuk 4 Satminkal di lingkungan Balai Nasioanal Wialayah I Aceh, peneliti mencoba mengamati/ mengopservasi dokumen- dokumen tentang pencapaian mutu dan mewawancarai Kasatker dan PPK tentang keberadaan tenaga SMM, perlakuan Kasatker dan PPK dalam penyiapan RMP serta pemenuhan peraturan dan kebijakan dalam setiap tahap pelaksanaan kegiatan dan menanyakan tentang pendampingan oleh Konsultan yang direkrut Kementrian PUPR dalam memonitoring dan mengevaluasi penerapan SMM tersebut. Wawancara juga ditujukan kepada Tenaga SMM jika tenaga ini tersedia dan juga kepada para pakar yang ahli di bidang SMM, dengan daftar pertanyaan yang sudah disiapkan. Dalam kegiatan wawancara pertanyaan

selalu berkembang sesuai dengan jawaban dan kondisi pada saat penelitian berlangsung. Setelah dilakukan observasi dan wawancara dengan sejumlah informan, peneliti menyusun temuan penelitian yang kemudian ditarik kesimpulan penelitian dan rekomendasikan sehubungan dengan kesimpulan tersebut.

Berdasarkan observasi dan wawancara yang telah dilaksanakan, faktor Sumber Daya Manusia yang tidak terlepas dari peran tenaga SMM berpengaruh positif terhadap penerapan SMM pada Kasatker dan PPK. Tenaga SMM yang telah mengikuti bimbingan teknis apalagi yang sudah bersertifikat sangat membantu dalam pembuatan Dokumen RMP yang lebih sempurna dan sesuai dengan Permen PU No. 04/PRT/M/2009 tentang SMM Departemen PU. Dari observasi dan wawancara masih ditemukan Dokumen RMP yang belum siap walaupun kegiatan fisik di lapangan telah mencapai bobot diatas 30%, ini disebabkan karena tidak adanya Tenaga SMM yang bersertifikat pelatihan.

Faktor kepemimpinan juga berpengaruh positif kepada penerapan SMM, komunikasi antara Tenaga SMM dengan Kasatker atau PPK harus selalu terjaga karena mulai dari pembuatan RMP, pelaksanaan fisik sampai dengan serah terima kegiatan, sangat diperlukan pemenuhan peraturan dan kebijakan SMM agar tertib penyelenggaraan jasa konstruksi dapat terlaksana dengan baik. Menurut beberapa informan pemenuhan peraturan dan kebijakan yang kurang berjalan sesuai aturan disebabkan juga oleh koordinasi kurang maksimal antar pimpinan dengan Tenaga SMM, dari beberapa temuan didapatkan ada RMP yang masih belum disyahkan oleh Kasatker dan PPK.

Faktor pendampingan juga berpengaruh positif kepada penerapan SMM, pendampingan telah dilakukan oleh Konsultan Manajemen Wilayah dalam tiga tahun terakhir yang direkrut oleh kementerian PUPR dengan koordinasi KMP Direktorat 2, bahkan pada tahun terakhir yaitu tahun 2018 juga telah dilakukan pendampingan oleh Tenaga Ahli Indepth Survey yang juga direkrut oleh Kementerian PUPR yang terdiri dari Tenaga Ahli SMM, Tenaga Ahli SMK3, Tenaga Ahli BPBJ dan Tenaga Ahli Kontrak. kurang tertibnya penerapan SMM dikarenakan juga oleh kurang maksimalnya pendampingan, sehingga kurangnya sosialisasi tentang SMM, terutama dalam penyiapan dokumen RMP, termasuk pemenuhan peraturan dan kebijakan SMM lainnya.

Faktor sosialisasi juga memberikan pengaruh positif kepada penerapan SMM, tetapi tidaknya penerapan SMM tergantung juga kepada kepedulian seorang pimpinan. Untuk itu diperlukan juga reward/penghargaan bagi Kasatker dan PPK yang telah menerapkan SMM dengan baik agar Kasatker dan PPK yang lain terpacu untuk lebih meningkatkan penerapan SMM itu sendiri. Pada tahap ini dilakukan uji validasi dari data yang telah didapatkan dari tinjauan literatur. Uji validasi ini dilakukan oleh orang-orang yang dianggap pakar dalam bidang penerapan SMM. Didapat hasil yaitu, untuk faktor Sumber Daya Manusia dari 20 orang pakar maka 14 orang menyatakan penting dan 6 orang yang menyatakan tidak penting, sedang dari faktor Pendampingan 16 orang menyatakan penting dan 4 orang menyatakan tidak penting, sementara itu untuk faktor

Sosial dan Budaya sama dengan faktor Pendampingan yaitu 16 orang menyatakan penting dan 4 orang menyatakan tidak penting. Kesimpulan yang dapat diambil dari olah data diatas adalah bahwa sebagian besar para pakar setuju dengan faktor - faktor yang mempengaruhi penerapan SMM pada Kasatker dan PPK di lingkungan Balai Jasa Konstruksi Wilayah I Banda Aceh.

3.2 Analisa Data Tujuan II

Pada bagian ini merupakan pengembangan dari analisa data tujuan I untuk mendapatkan tentang gambaran penerapan SMM pada Kasatker dan PPK yang dimulai dari observasi, wawancara dan uji dokumen yang dilakukan pada Kasatker dan PPK yang dimasukkan dalam empat kategori penilaian yaitu :

- a. Jika item pertanyaan tidak berlaku/tidak sesuai dengan kondisi
- b. Tidak ditemukan sama sekali bukti kerja yang memenuhi peraturan dan kebijakan yang disyaratkan
- c. Ditemukan tidak seluruh bukti kerja memenuhi peraturan dan kebijakan
- d. Ditemukan seluruh bukti kerja sesuai dengan peraturan dan kebijakan yang disyaratkan

Lokasi Kasatker dan PPK diambil secara acak dari empat Satminkal pada lima provinsi di lingkungan Balai Jasa Konstruksi Wilayah I Banda Aceh. Olah data pada tujuan II penelitian ini juga merupakan pengembangan dari penelitian tujuan I yang mana ketiga faktor yang mempengaruhi penerapan SMM lebih dikaji secara mendalam tentang peranan dan pengaruhnya. Dari kajian secara mendalam tujuan I tadi maka dapat diolah untuk mendapatkan gambaran tentang penerapan SMM pada Kasatker dan PPK di lingkungan Balai Jasa Konstruksi Wilayah I Banda Aceh. Dari olah data observasi, wawancara dan uji dokumentasi yang telah dilakukan dengan para pakar seperti terlihat pada tabel 4.3 maka dari 20 orang pakar maka 14 orang mengatakan maksimal dan 6 orang mengatakan kurang maksimal. Kesimpulan yang dapat diambil dari olah data diatas adalah bahwa penerapan Sitem Manajemen Mutu oleh Kasatker dan PPK di lingkungan Balai Jasa Konstruksi Wilayah I Banda Aceh masih belum berjalan secara maksimal.

Peningkatan penerapan SMM harus dibarengi dengan peningkatan kemampuan personil SMM Kasatker dan PPK dengan cara mengikut sertakannya dalam bimbingan teknis SMM dan berertifikat, sehingga menghasilkan tenaga SMM yang mengerti tentang SMM. Untuk kepemimpinan yang baik diperlukan seorang pimpinan yang kompeten di bidangnya dan memenuhi kriteria seorang pemimpin. Pendampingan yang berkesinambungan juga diperlukan untuk penerapan SMM yang baik. Kasatker dan PPK terbaik penerapan SMM sebaiknya diberikan penghargaan untuk memacu Kasatker dan PPK lainnya dalam meningkatkan penerapan SMM.

Kasatker dan PPK harus menjadikan penerapan SMM sebagai prioritas dalam memaksimalkan tertib pelaksanaan jasa konstruksi di lingkungan kerjanya.

4. KESIMPULAN

1. Faktor Sumber Daya Manusia, Kepemimpinan dan Sosial Budaya berdasarkan analisa data yang telah dilakukan, berpengaruh positif terhadap penerapan SMM pada Kasatker dan PPK.
2. Pengembangan dari olah data dengan para pakar didapat bahwa penerapan SMM belum berjalan maksimal pada Kasatker dan PPK di lingkungan Balai Jasa Konstruksi Wilayah I Banda Aceh.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Departemen PU, Permen PU No.04/PRT/M/2009, tentang Sistem Manajemen Mutu Departemen PU, Jakarta
- Departemen PU, Permen PU No.21/PRT/M/2010, tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis Kementerian PU, Jakarta
- Departemen PU, Permen PU No.18/PRT/M/2006, tentang Pengendalian Pinjaman Dan/ Atau Hibah Luar Negeri Bidang PU, Jakarta
- Wikiapbn, 3 Maret 2015 (Sebuah Ensiklopedi Kementerian Keuangan), Jakarta.
- Faisal, Sanafiah. 1990. Penelitian Kualitatif. Yayasan Asih Asah Asuh, Malang.
- Nasution. 2003. Metode penelitian Naturalistik Kualitatif. Transito, Bandung
- Sugiyono. 2014. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&B. Alfabeta, Bandung.
- Miles, Mathew B, and Huberman A. Maiahel. 1994. Qualitative Data Analysis, Thousand Oaks,CA: Sage.

PERANCANGAN DAN ANALISIS OPERASI KONSTRUKSI UNTUK PEKERJAAN PENGASPALAN JALAN MENGUNAKAN SIMULASI CYCLONE

Dyla Midya Octavia¹, Nasrul¹, Revil Yohanda²

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Padang.

Email: dylamidyaoctavia@gmail.com

²Mahasiswa Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Padang.

ABSTRACT

Generally, the contractor does not realize the low productivity of construction due to lack of planning at the construction operation level. This study designs asphalt paving construction operation, which consist of several work tasks i.e. spraying prime coat, spreading asphalt, and compacting asphalt. The data needed is taken directly from the construction site in the form of work stages and the duration of each work task involved. The design and analysis had been done by modeling the construction operations using the CYCLONE method, which is simulated using the WebCYCLONE to figure out how the productivity of the construction. So the completion time of construction operation can be estimated. The results of this study are CYCLONE models asphalt paving construction operation. Based on the results of the simulation model, it is known that the productivity of asphalt pavement is 129 m/hr for half of the road. This results can be used by another contractor with the similar project to estimate the completion time of asphalt pavement projects. However, it is necessary to re-simulate this model using the work task duration data from the project itself, so that the results can be used for controlling the work implementation.

Keywords : The Construction Operation, CYCLONE, WebCYCLONE, Productivity

ABSTRAK

Pada umumnya pelaksana konstruksi tidak menyadari rendahnya produktivitas konstruksi disebabkan oleh tidak adanya perencanaan pada level operasi konstruksi. Penelitian ini merancang operasi konstruksi pekerjaan pengaspalan jalan yang terdiri dari beberapa *work task* antara lain penghamparan, perataan dan pemadatan aspal. Data yang dibutuhkan diambil langsung di lapangan berupa tahapan pelaksanaan dan durasi dari masing-masing *work task* yang terlibat. Perancangan dan analisis dilakukan dengan memodelkan operasi konstruksi tersebut menggunakan metode CYCLONE yang disimulasikan dengan WebCYCLONE untuk mengetahui bagaimana produktivitas pelaksanaannya, sehingga bisa diestimasi waktu penyelesaian dari operasi konstruksi tersebut. Hasil dari penelitian adalah berupa model CYCLONE operasi konstruksi pekerjaan pengaspalan. Berdasarkan hasil simulasi model tersebut, diketahui bahwa produktivitas pekerjaan pengaspalan adalah 129 m/jam untuk setengah badan jalan. Hasil tersebut dapat digunakan oleh kontraktor untuk mengestimasi waktu penyelesaian pekerjaan pengaspalan pada proyek

lain yang sejenis. Namun, perlu dilakukan kembali simulasi model tersebut menggunakan data durasi *work task* dari proyek itu sendiri, sehingga hasilnya dapat digunakan dalam pengendalian pelaksanaan pekerjaan.

Kata Kunci : Operasi Konstruksi, CYCLONE, WebCYCLONE, Produktivitas

1. PENDAHULUAN

Perencanaan pada level operasi konstruksi masih belum menjadi perhatian bagi kontraktor, sehingga banyak proyek yang mengalami keterlambatan karena rendahnya produktivitas pada level operasi. Operasi konstruksi merupakan bagian dari hierarki konstruksi. Hierarki konstruksi dimulai dari organisasi, proyek, kegiatan, operasi, proses, hingga *work task* (tugas). Organisasi, proyek dan kegiatan dapat digolongkan pada bagian manajemen yang fokus pada atribut dan komponen proyek. Sementara operasi, proses dan *work task* dapat digolongkan pada bagian rekayasa konstruksi yang fokus pada penggunaan teknologi dan aksi di lapangan (Halpin dan Riggs, 1992). Kontraktor biasanya hanya melakukan perencanaan sampai level kegiatan saja seperti dengan membuat *network planning*, sementara pada level operasi masih jarang dilakukan.

Efisiensi dari suatu operasi konstruksi diperoleh apabila setiap proses dan *work task* yang dilakukan memberikan *added value* (nilai). Namun yang sering terjadi adalah banyak proses pelaksanaan yang menggunakan sumber daya namun tidak memberikan *added value* sehingga justru menimbulkan *waste* (pemborosan). Untuk dapat menciptakan operasi konstruksi ramping yang bisa memberikan *added value* maksimal dan menghasilkan *waste* yang minimal, upaya yang harus dilakukan oleh pelaksana konstruksi adalah mengurangi waktu siklus dan variabilitas operasi konstruksi (Octavia, 2014).

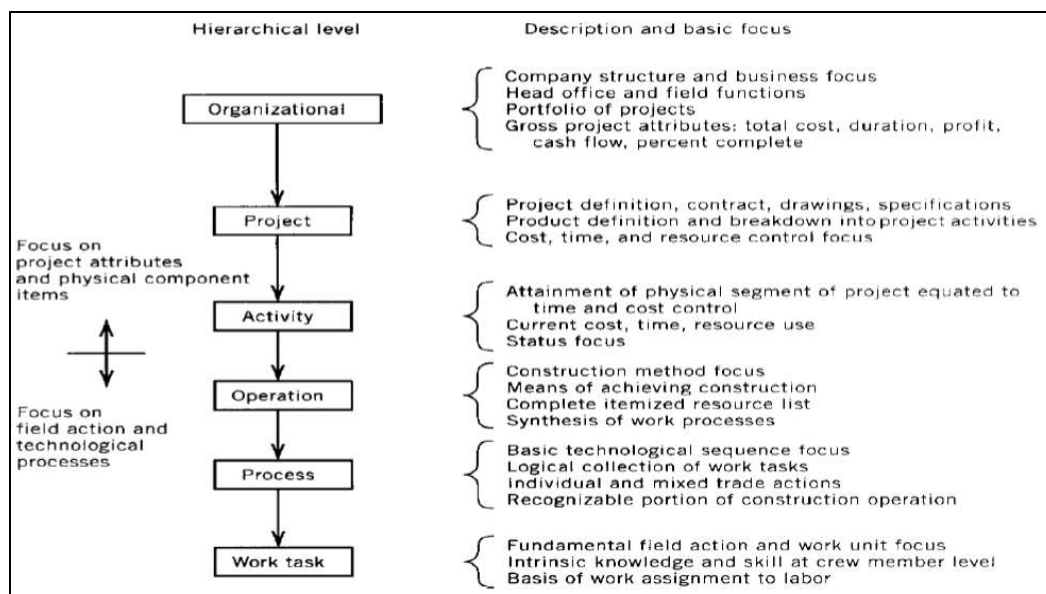
Pelaksanaan pekerjaan konstruksi jalan merupakan pekerjaan konstruksi yang melibatkan beberapa alat berat yang saling bergantung satu sama lain. Produktivitas pelaksanaan pekerjaan tidak hanya bergantung dari produktivitas satu alat berat, akan tetapi bergantung pada beberapa kombinasi alat berat. Sehingga menghitung produktivitas pelaksanaan pekerjaan tidak dapat diasumsikan dari produktivitas satu alat aja. Oleh sebab itu, perlu direncanakan bagaimana operasi konstruksi suatu pekerjaan, yang terbentuk dari proses dan *work task* masing-masing alat dan sumber daya lain yang terlibat. Selain itu, pekerjaan konstruksi jalan merupakan pekerjaan yang terdiri operasi konstruksi yang berulang dari awal hingga akhir proyek. Untuk operasi konstruksi yang berulang sangat diperlukan perencanaan operasi (Amin, M dan Kornawan, T, 2016), karena jika produktivitas dari operasi yang dilakukan rendah, maka dapat diketahui kekurangan dari operasi tersebut, dan memperbaikinya untuk siklus operasi berikutnya.

Perencanaan operasi konstruksi dapat dilakukan dengan memodelkan operasi konstruksi tersebut sehingga dapat dilaksanakan dan dikendalikan, terutama untuk operasi

konstruksi yang berulang di lapangan. Pemodelan dapat dilakukan dengan menggunakan model CYCLONE untuk selanjutnya disimulasikan menggunakan WebCYCLONE. Metode simulasi CYCLONE merupakan metode pemodelan operasi konstruksi yang telah banyak digunakan untuk dapat menghitung dan menganalisa produktivitas dari suatu operasi konstruksi. Octavia, Nasrul dan Saputra (2018) sebelumnya telah melakukan penelitian tentang analisis produktivitas operasi konstruksi pekerjaan lapis pondasi pada proyek jalan menggunakan simulasi CYCLONE. Pada penelitian tersebut dilakukan perancangan dan analisis operasi konstruksi untuk pekerjaan lapis pondasi. Maka dilakukan penelitian selanjutnya untuk merancang dan menganalisis operasi konstruksi berikutnya dari proyek jalan yakni pengaspalan. Pengambilan data untuk penelitian ini dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Teluk Bayur – Nipah – Purus DAK (098) Kota Padang Tahun 2018.

2. OPERASI KONSTRUKSI

Operasi konstruksi berada pada level bawah dalam suatu hierarki konstruksi seperti ditunjukkan oleh pada Gambar 1.



Gambar 1. Tingkatan Hierarki Konstruksi

(Sumber: Halpin & A. Senior 2012, CEM Purdue University)

Pada gambar di atas, dapat dilihat bahwa operasi, proses dan *work task* adalah bagian rekayasa konstruksi yang fokus pada penggunaan teknologi dan aksi di lapangan. *Work task* merupakan level paling bawah, yang akan membentuk proses dan selanjutnya membentuk operasi. *Work task* fokus pada kerja yang membutuhkan pengetahuan intristik dan keahlian. Sementara proses konstruksi adalah gabungan dari *work task* yang sifatnya unik, yang mana satu *work task* dengan yang lainnya saling berhubungan

erat berdasarkan teknologi dan urutan logika. Selanjutnya gabungan dari proses konstruksi akan membentuk suatu operasi konstruksi. Operasi konstruksi yang sederhana dapat terdiri dari satu proses saja. Menurut Halpin dan Riggs (1992) suatu operasi konstruksi akan menghasilkan penempatan suatu bagian konstruksi yang dapat didefinisikan dan secara alami memiliki struktur proses teknologi dan penugasan. Selain itu suatu operasi konstruksi secara alami dapat berulang dan menghasilkan suatu produk.

3. PEMODELAN DAN SIMULASI CYCLONE

Operasi konstruksi dapat direncanakan dengan membentuk model rencana berupa *network* yang dapat memberikan gambaran mengenai operasi konstruksi tersebut. Namun, *network* tersebut tidak dapat memberikan identifikasi sebagai hasil pemodelan, maka perlu dilakukan simulasi terhadap model tersebut. Simulasi berupa *Discrete Event Simulation* adalah simulasi model rencana dalam melakukan percobaan-percobaan untuk mendapatkan kemungkinan-kemungkinan dari model rencana tersebut. Analisa *network* dalam *Discrete Event Simulation* dapat melihat hasil pada suatu keadaan tertentu dari rute aliran sumber dayanya. Rute aliran sumber daya yang melalui *work task* merupakan dasar untuk pemodelan operasi konstruksi.

Simulasi model rencana juga merupakan salah satu teknik yang dapat mendukung proses pengambilan keputusan untuk manajemen konstruksi. Sebuah pemodelan yang akurat dapat membantu pengembangan alternatif dan optimasi yang lebih baik dari sumber daya yang terlibat (Abourizk dan Mohamed, 2000, Octavia, 2014). CYCLONE merupakan salah satu teknik pemodelan yang dapat digunakan untuk memodelkan operasi konstruksi yang ditemukan oleh Halpin tahun 1973. CYCLONE singkatan dari *Cyclic Construction Operation Network*. CYCLONE sangat cocok untuk digunakan untuk pemodelan operasi konstruksi yang berulang. Pada tahun 1977 Halpin mulai mengembangkan CYCLONE untuk simulasi. Simulasi CYCLONE dilakukan dengan menjalankan perangkat lunak pada main frame yaitu *Mainframe CYCLONE*. Selanjutnya pada tahun 1990 simulasi CYCLONE juga dilakukan pada PC (*personal computer*) yaitu MicroCYCLONE (Abduh, 2007).

MicroCYCLONE merupakan program simulasi berbasis komputer mikro yang dirancang khusus untuk proses pemodelan CYCLONE. Program ini dapat digunakan untuk memodelkan operasi konstruksi yang melibatkan interaksi *work task* dan durasi *work task* tersebut. Untuk dapat menggunakan program ini, pengguna perlu menginstal program tersebut pada PC. Setelah MicroCYCLONE, banyak dikembangkan program simulasi lainnya seperti DISCO, PROSIDYC, STROBOSCOPE, SIMPHONY, COST dan WebCYCLONE. Dasar dari semua program simulasi tersebut adalah pemodelan CYCLONE.

Pada penelitian ini simulasi model CYCLONE dilakukan dengan menggunakan WebCYCLONE. WebCYCLONE merupakan pemograman MicroCYCLONE dalam



bentuk *website*. Dengan WebCYCLONE pengguna tidak perlu menginstal atau memiliki program tersebut, karena dapat digunakan dengan mengakses langsung *website* tersebut. WebCYCLONE dikembangkan oleh Construction Engineering And Management Purdue University, USA. WebCYCLONE dapat diakses melalui <https://tomcat.itap.purdue.edu/WebCYCLONE/Cyclone.jsp>. Pada WebCYCLONE harus di-inputkan data sesuai dengan bahasa programnya. Input datanya terdiri dari *network input* (alur *work task* atau tahapan pelaksanaan pekerjaan), *duration input* (jenis distribusi durasi dan paramaternya dari masing-masing *work task*) dan *resource input* (jumlah sumber daya).





Pemodelan CYCLONE dilakukan dengan beberapa tahapan yang membutuhkan informasi seperti tahapan kerja, jumlah sumber daya yang digunakan, dan juga durasi pekerjaan. Berikut tahapan/prosedur untuk melakukan pemodelan:

1. Identifikasi aliran sumber daya,
Pada tahap ini ditentukan sejumlah sumber daya yang terkait dengan pelaksanaan operasi konstruksi. Sumber daya yang terkait meliputi pekerja, peralatan, material dan juga ruang kerja serta informasi.
2. Mengembangkan siklus dari aliran sumber daya
Merupakan masing-masing tahapan pekerjaan yang meliputi beberapa jenis dan sejumlah sumber daya kemudian dibuat siklus pengerjaannya.
3. Mengintegrasikan siklus dari flow unit
Setiap siklus yang mewakili setiap tahapan pekerjaan kemudian diintegrasikan menjadi suatu sistem yang menggambarkan tahapan pengerjaan operasi secara keseluruhan
4. Inisialisasi flow unit
Untuk melakukan analisa terhadap model yang dibuat maka setiap flow unit perlu diberi penamaan dan penomoran sesuai urutan logika.

Tahapan atau prosedur di atas dilakukan dengan mengikuti ketentuan elemen-elemen dalam pemodelan CYCLONE untuk menggambarkan operasi konstruksi. Daftar elemen-elemen tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Elemen-elemen dalam Pemodelan CYCLONE

Nama	Simbol	Fungsi
Combinatio n (COMBI) Activity		Elemen ini selalu didahului oleh queue node. Elemen ini akan menjadi aktif setelah beberapa kondisi terpenuhi, misalnya tersedianya beberapa unit sumber daya tertentu untuk memulai pekerjaan. Jika tidak semua unit yang dibutuhkan tersedia, maka unit-unit ini akan ditunda sampai kondisi untuk kombinasi terpenuhi
Normal Activity		Elemen yang akan aktif setelah kegiatan lain yang mendahuluinya selesai. Normal hanya dapat didahului oleh normal atau COMBI lainnya dan tidak dapat didahului oleh queue.

Nama	Simbol	Fungsi
Queue Node		Berperan sebagai ruang tunggu sementara bagi sumber daya ketika sedang tidak aktif atau sedang dalam posisi menunggu. Elemen ini mendahului semua kegiatan COMBI.
Function Node		Elemen tidak memiliki fungsi intrinsik tetapi dapat disisipkan dimana saja kecuali antara COMBI dan queue yang mendahuluinya, untuk memenuhi fungsi tertentu, seperti menghitung, konsolidasi, menandai, dan koleksi statistik.
Counter		Elemen ini berfungsi untuk menghitung jumlah aliran siklus yang melaluinya.
Arc		Berfungsi untuk menunjukkan arah aliran sumber daya antara sumber daya dan work task.

(Sumber: *Construction Engineering And Management Purdue University, USA*. <https://engineering.purdue.edu/CEM/people/Personal/Halpin/Sim/CYCLONE/cyclone7.htm>)

Selain elemen-elemen di atas, pemodelan CYCLONE juga memiliki alur logika yang harus diperhatikan agar pemodelan yang didesain dapat disimulasikan dengan baik. Berikut prioritas tiap elemen menurut logika simulasi CYCLONE dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Alur Logika Pemodelan CYCLONE

<i>Preceder</i> \ <i>Follower</i>	<i>Combi</i>	<i>Normal</i>	<i>Queue</i>	<i>Function Node</i>	<i>Counter</i>
<i>Combi</i>	N	I	I	I	I
<i>Normal</i>	N	I	I	I	I
<i>Queue</i>	M	N	N	N	N
<i>Function Node</i>	N	I	I	I	I
<i>Counter</i>	N	I	I	I	N

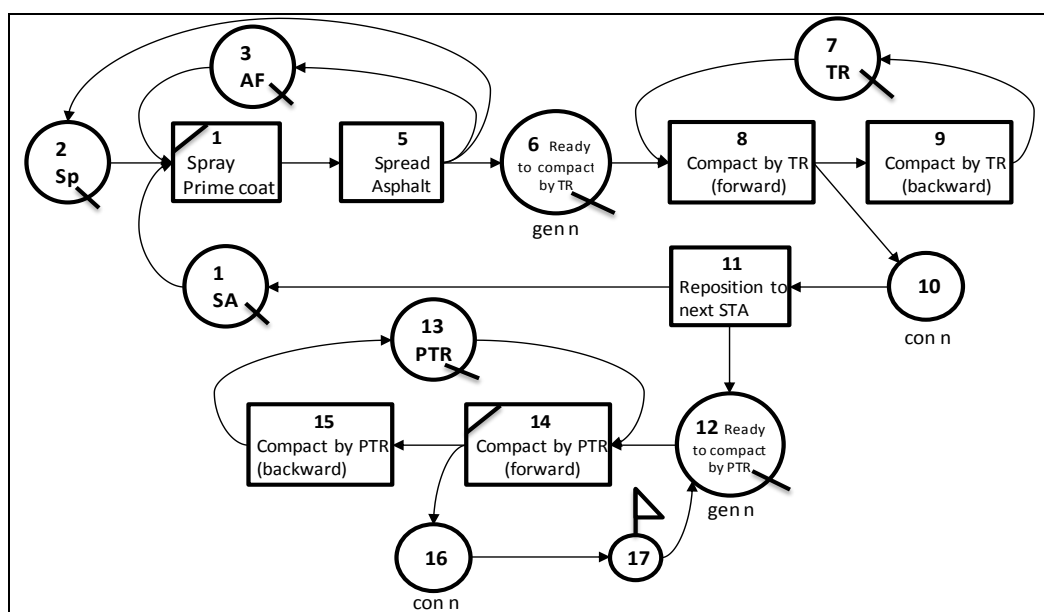
(Sumber: *Construction Engineering And Management Purdue University, USA*, <https://engineering.purdue.edu/CEM/people/Personal/Halpin/Sim/CYCLONE/cyclone14.htm>)

Keterangan :

M = Harus, I= boleh , dan N = tidak boleh

4. MODEL CYCLONE UNTUK PEKERJAAN PENGASPALAN JALAN

Model CYCLONE untuk pekerjaan pengaspalan dibuat berdasarkan pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Pelaksanaan pekerjaan pengaspalan terdiri dari beberapa work task yaitu, penyemprotan prime coat (*spray prime coat*), penghamparan aspal (*spread asphalt*), dan pemadatan aspal oleh *Tandem Roller (compact by TR)* dan *Pneumatic Tandem Roller (compact by PTR)*. Pada pemodelan pekerjaan ini durasi waktu pengangkutan aspal dari *batching plant* ke lokasi pekerjaan tidak diperhitungkan. Model CYCLONE untuk operasi konstruksi pengaspalan jalan dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Model CYCLONE untuk Pekerjaan Pengaspalan Jalan

Keterangan Gambar :

- SA : Site Available
- Sp : Prime Coat Sprayer
- AF : Asphalt Finisher
- TR : Tandem Roller
- PTR : Pneumatic Tandem Roller
- n : jumlah generate/consolidate

Pada Gambar 2 tersebut dapat dilihat bahwa siklus pekerjaan pengaspalan diawali dengan penyemprotan *prime coat* pada lapisan pondasi yang telah dipadatkan (*site available*). Penyemprotan *prime coat* akan langsung dilanjutnya dengan penghamparan aspal menggunakan *Asphalt finisher*, sehingga sebelum mulai penyemprotan *prime coat*, *Asphalt finisher* juga harus telah siap. Pada penghamparan, aspal dituangkan oleh truk ke dalam *hopper* dari *Asphalt finisher*. Namun karena durasi pengangkutan aspal oleh truk dari batching plant ke lokasi tidak diperhitungkan, maka truk tidak dianggap sebagai sumber daya yang terlibat didalam model atau truk diasumsikan sebagai sumber daya tidak terbatas

Setelah penghamparan aspal selesai, dilanjutkan dengan pemadatan aspal menggunakan alat *Tandem Roller* (TR) dengan arah gerakan maju mundur beberapa kali. Terakhir dilakukan pemadatan lagi menggunakan *Pneumatic Tandem Roller* (PTR) juga dengan arah gerakan maju mundur beberapa kali. Variabel 'n' pada *Generate* (gen) dan *consolidate* (con) dalam model menunjukkan jumlah gerakan maju atau mundur dari *work task* tersebut. Jumlah gerakan maju untuk *work task* pemadatan aspal baik dengan TR maupun dengan PTR pada proyek yang diamati adalah 8 kali, maka variable 'n' dapat diganti dengan 8. Jumlah tersebut kemungkinan akan berbeda untuk proyek lain, tergantung pada ketebalan lapisan dan tingkat kepadatan yang diinginkan.

5. PEMODELAN DURASI

Setelah dibuat model CYCLONE suatu operasi konstruksi, selanjutnya dilakukan pemodelan durasi dari masing-masing *work task* yang terlibat. Pemodelan durasi dalam CYCLONE berada pada elemen *Normal* dan *Combi* karena terkait dengan tertahannya aliran sumber daya pada suatu *work task* tertentu. Work task akan saling terkait satu sama lainnya, baik secara paralel maupun seri, sehingga gabungan dari durasi *work task* dapat menghasilkan durasi operasi. Dengan adanya pemodelan durasi maka simulasi CYCLONE dapat menghasilkan indikator operasi seperti produktivitas, waktu tunggu (*idle time*), dan lain-lain.

Penentuan durasi untuk setiap *work task* yang terlibat dalam suatu operasi konstruksi dapat dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan sehingga data durasi yang diperoleh adalah kondisi sebenarnya. Namun, bagi kontraktor dalam melakukan perencanaan operasi konstruksi, dapat diawali dengan merancang model CYCLONE-nya saja, sementara untuk durasinya dapat menggunakan data durasi yang diperkirakan atau menggunakan data proyek sebelumnya yang sejenis. Data durasi yang sebenarnya dapat diperoleh setelah pekerjaan dilaksanakan. Selanjutnya disimulasikan kembali menggunakan data durasi tersebut. Dari hasil simulasi, kontraktor dapat mengestimasi waktu penyelesaian pekerjaan, mengendalikan pelaksanaan pekerjaan, ataupun merancang ulang model CYCLONE operasi konstruksi tersebut untuk mendapatkan produktivitas yang lebih baik pada siklus pekerjaan berikutnya.

Dalam penelitian ini, data durasi diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan. Selanjutnya dilakukan pemodelan durasi untuk menentukan jenis distribusi dan parameternya untuk setiap *work task* yang terlibat. Jenis distribusi durasi dapat berupa durasi deterministik atau durasi stokastik (acak). Durasi deterministik merupakan durasi waktu yang sifatnya konstan, hal ini dikarenakan sumber daya yang digunakan memberikan nilai pasti atau konstan. Sedangkan durasi acak kebalikan dari durasi deterministik, yaitu variasi durasi dari setiap *work task* bersifat acak/random.

Penentuan dari jenis-jenis distribusi durasi acak dapat ditentukan berdasarkan perhitungan statistik seperti Kolmogorov-Sminov (K-S) *test* yang dilakukan menggunakan *@Risk software* untuk mempermudah perhitungan tersebut. Jenis distribusi dan parameternya dari masing-masing durasi *work task* selanjutnya menjadi input data untuk simulasi model operasi konstruksi menggunakan WebCYCLONE. Berikut Jenis distribusi dan parameternya dari masing-masing *work task* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Jenis Distribusi dan Parameter Durasi Work Task Pada Pekerjaan Pengaspalan

No.	Nama Work Task	Jenis Distribusi Durasi	Parameter (Dalam Menit)
1	Penyebaran cairan Prime Coat (<i>Spray prime coat</i>)	Normal	- Mean : 1,3806 - Variance : 0,0059

2	Penghampanan material aspal (<i>Spread asphalt</i>)	Uniform	- Min : 13,1670 - Max : 19,0670
3	Pemadatan Maju dengan Tandem Roller (<i>Compact by TR, forward</i>)	Normal	- Mean : 0,3267 - Variance : 0,0033
4	Pemadatan Mundur dengan Tandem Roller (<i>Compact by TR, backward</i>)	Normal	- Mean : 0,4167 - Variance : 0,0103
5	Pemadatan Maju dengan Pneumatic Tandem Roller (<i>Compact by PTR, forward</i>)	Normal	- Mean : 1,0730 - Variance : 0,2062
6	Pemadatan Maju dengan Pneumatic Tandem Roller (<i>Compact by PTR, backward</i>)	Normal	- Mean : 1,5074 - Variance : 0,0447

Data durasi di atas adalah durasi masing-masing *work task* per 1 STA atau 50 meter untuk pelaksanaan pekerjaan pengaspalan setengah badan jalan. Data durasi dapat berbeda-beda untuk proyek lain yang sejenis, tergantung pada panjang siklusnya, kondisi sumber daya, lingkungan fisik kerja, efisiensi manajemen dan lain-lain. Maka penerapan model ini pada proyek lain, dapat disesuaikan dengan durasi *work task* pada proyek tersebut.

6. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS PRODUKTIVITAS

Simulasi model CYCLONE operasi konstruksi pengaspalan jalan dilakukan dengan menggunakan WebCYCLONE. Model CYCLONE yang telah dibuat selanjutnya di konversi menjadi bahasa program untuk WebCYCLONE dengan aturan tertentu. Terdapat 3 *input data* dalam simulasi CYCLONE yakni, *network input* (berdasarkan model CYCLONE yang telah dirancang), *duration input* (berdasarkan pemodelan durasi dari masing-masing *work task* yang terlibat) dan *resource input* (berdasarkan jumlah sumber daya yang terlibat). Dari hasil simulasi diperoleh produktivitas pelaksanaan pekerjaan per satuan waktu, dimana produktivitas yang dimaksud adalah dalam siklus/menit. Berikut produktivitas dari model CYCLONE operasi konstruksi pengaspalan pada proyek yang diamati dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Waktu Siklus dan Produktivitas Operasi Konstruksi Pekerjaan Pengaspalan

Simulation Time	Cycle No.	Productivity Per Time Unit
41.0	1	0.024395
67.0	2	0.029854
87.0	3	0.034491
110.6	4	0.036171
133.5	5	0.037463
150.6	6	0.039849
169.8	7	0.041215

191.8	8	0.041710
212.5	9	0.042356
232.9	10	0.042938
252.8	11	0.043516
269.1	12	0.044594
288.3	13	0.045095
307.6	14	0.045516
326.9	15	0.045890
348.9	16	0.045856
369.7	17	0.045989
388.5	18	0.046333
411.4	19	0.046185
432.7	20	0.046220

Hasil simulasi yang ditampilkan pada tabel di atas adalah untuk 20 siklus. Jumlah siklus dapat ditambah atau dikurangi sesuai dengan kebutuhan. Dari tabel di atas diketahui bahwa siklus pertama selesai dalam waktu 41 menit. Sementara pada siklus ke-2 terjadi percepatan durasi menjadi 26 menit, sehingga 2 siklus selesai dalam 67 menit, demikian seterusnya hingga siklus ke 20. Pada tabel di atas juga dapat dilihat peningkatan produktivitas dari 0.024 siklus/menit hingga menjadi 0.046 siklus/menit (Gambar 3). Namun, yang perlu diperhatikan dalam menentukan produktivitas dan durasi pelaksanaan pekerjaan dari hasil simulasi tersebut adalah jika pekerjaan berhenti (misal: istirahat siang), maka produktivitas pekerjaan berikutnya akan dimulai lagi dari siklus pertama.

Oleh karena itu, jika diasumsikan pekerjaan dalam 1 hari dimulai dari pukul 8.00 hingga pukul 12.00 (4 jam atau 240 menit) kemudian istirahat, maka jumlah siklus yang dapat diselesaikan adalah 10 siklus atau 10 STA. Kemudian jika pekerjaan dilanjutkan pada pukul 13.00 hingga pukul 17.00, maka dalam 1 hari dapat diselesaikan 20 siklus atau 20 STA. Karena 1 STA adalah 50 meter dan dikerjakan per setengah badan jalan maka produktivitas dari operasi konstruksi pengaspalan jalan pada proyek yang diamati adalah 129 m/jam untuk setengah badan jalan. Nilai produktivitas tersebut dapat menurun jika pelaksanaan pekerjaan di lapangan terganggu oleh hambatan seperti, keterlambatan kedatangan material, kerusakan alat, hujan, dan lain-lain. Namun, juga dapat meningkat jika terjadi percepatan durasi dari masing-masing *work task* yang terlibat.

7. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa pelaksanaan pekerjaan pengaspalan sesuai dengan model CYCLONE tersebut akan menghasilkan produktivitas pengaspalan 1 km/hari untuk setengah badan jalan. Hasil tersebut dapat digunakan untuk mengestimasi durasi penyelesaian pekerjaan pengaspalan pada proyek lain yang

sejenis. Namun, perlu dilakukan kembali simulasi model tersebut menggunakan data durasi *work task* dari proyek itu sendiri, sehingga hasilnya dapat menjadi acuan dalam pengendalian pelaksanaan pekerjaan.

8. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Hibah Penelitian Institut Teknologi Padang Tahun 2018/2019 melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat.

9. DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M. 2007. “*The Development of Simulation Technology for Construction Operations*”. (in Indonesian). Proc. of Seminar Nasional Teknik Sipil 2007. Univ. Maranatha. Bandung, Indonesia.
- AbouRizk, S. and Mohamed, Y. 2000. “*Simphony: an integrated environment for construction simulation.*” Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, pp. 1907-1914. Phoenix, Arizona.
- Amin, M., Kornawan, T. 2016. Analisis Produktivitas Pekerjaan Instalasi *Façade Curtain Wall Unitized System* Pada Proyek *High-Rise Building* Dengan Metode Simulasi Operasi Konstruksi Berulang (Cyclone).Jurnal Rekayasa Sipil. Universitas Mercubuana.
- Construction Engineering And Management Purdue University, USA,*
<URL:<https://engineering.purdue.edu/CEM/people/Personal/Halpin/Sim/CYCLONE/cyclone14.htm>>
- Halpin, D. W., & A. Senior, B. 2012. *Construction Management* (4th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.
- Halpin, D. W., & Riggs, L. S. 1992. *Planning and Analysis of Construction Operations*. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Octavia, D.M. 2014. *Emission-based Simulation Model for Selecting Concreting Operation's Method*. Conference for Civil Engineering Research Networks. Bandung. Indonesia. (unpublished).
- Octavia, D.M., Nasrul dan Saputra, R., 2018. Analisa Produktivitas Operasi Konstruksi Pekerjaan Lapis Pondasi Pada Proyek Jalan Menggunakan Simulasi CYCLONE. Jurnal Teknik Sipil ITP. Vol 5, No. 2, Hal 55-61. ITP Press

KEBENCANAAN

ANALISIS RESPON SEISMIK AREA SENTRAL DI KOTA BENGKULU

Sintia Agustina¹, Putri Widia Anggraini¹, Muharram Nur Fikri¹, Lindung Zalbuin Mase²

¹Mahasiswa S1 Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia. Email: sintiaagt1@gmail.com, anggrainip185@gmail.com, muharram.fikri@gmail.com.

²Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia. Email: lmase@unib.ac.id

ABSTRACT

This research was conducted to observe seismic response in Bengkulu City. There are 3 areas investigated in this study, i.e. Kampung Cina, Anggut, and Padang Harapan. Considering earthquakes occurred in Bengkulu City, it is important to conduct an analysis of seismic response studies in these areas. The research is started by performing a site investigation. Furthermore, one-dimensional wave propagation using non-linear modeling is carried out. The largest time history wave due to the largest earthquake in Bengkulu in the last 20 years was applied in this study. Ground motion parameters such as peak ground acceleration and spectral acceleration are observed. The results showed that the acceleration occurring on the surface was generally in the range of 0.191g to 0.487g. The amplification factor in the area under study varied from 0.5 to 1.4. Spectral acceleration has generally exceeded the current seismic design. This indicates that there is a need to be an update on the seismic design for the Region in Bengkulu City for the planning of buildings in Bengkulu City.

Keywords : seismic response, non-linear modeling, spectral acceleration, amplification factor.

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui respon seismik di Kota Bengkulu. Terdapat 3 area yang diteliti yaitu Kampung Cina, Anggut, dan Padang Harapan. Mengingat gempa sering melanda Kota Bengkulu, maka analisis respon seismik penting dilakukan. Studi ini diawali dengan melakukan investigasi lapangan. Selanjutnya, perambatan gelombang satu dimensi menggunakan permodelan non-linier dilakukan. Gelombang riwayat waktu terskala akibat gempa terbesar di Bengkulu dalam kurun waktu 20 tahun terakhir diterapkan pada penelitian ini. Percepatan gelombang dan percepatan spektra disajikan pada penelitian ini. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa percepatan yang terjadi di permukaan berada pada rentang 0,191g sampai dengan 0,487g. Faktor amplifikasi pada area yang diteliti bervariasi dari 0,5 sampai dengan 1,4. Percepatan spektra secara umum telah melebihi desain seismik yang belaku. Ini mengindikasikan bahwa perlu adanya suatu pembaharuan desain seismik di Kota Bengkulu untuk perencanaan bangunan gedung di Kota Bengkulu.

Kata Kunci : respon seismik, permodelan non-linear, percepatan spektra, faktor amplifikasi

1. PENDAHULUAN

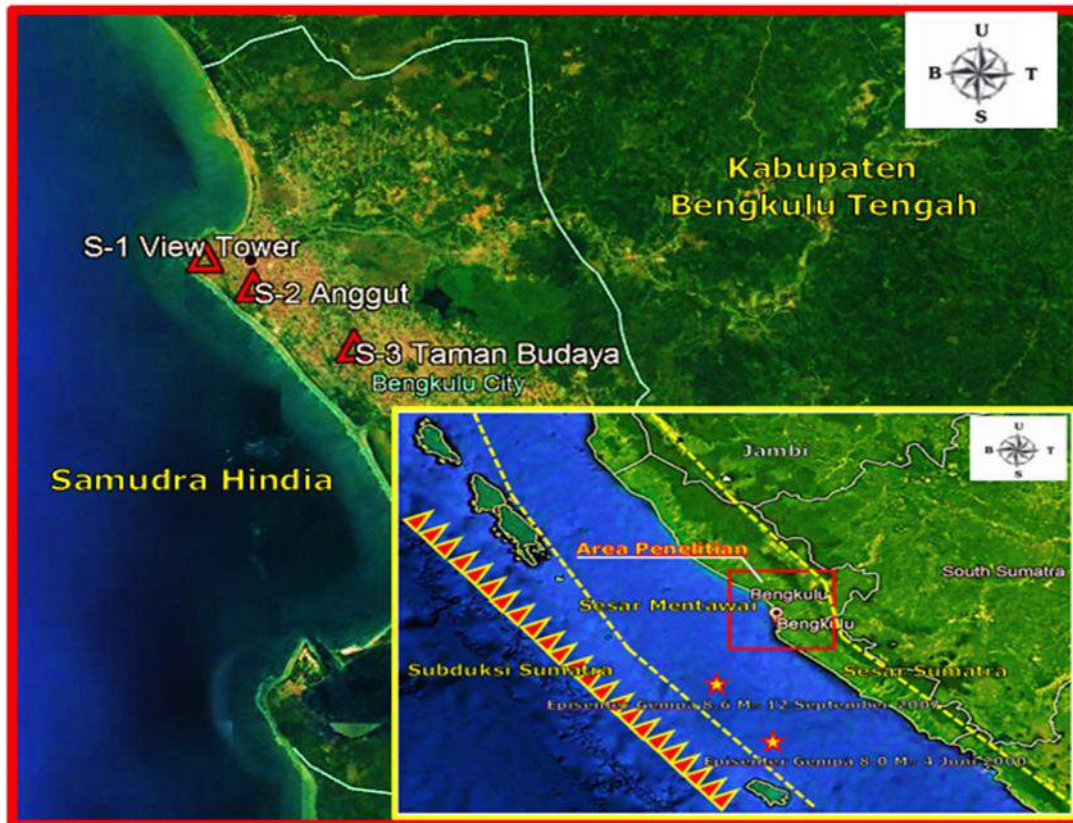
Kota Bengkulu adalah ibu kota Propinsi Bengkulu. Dalam beberapa tahun terakhir, telah terjadi peningkatan signifikan pada bidang infrastruktur di Kota Bengkulu. Meskipun demikian, gempa bumi yang kerap terjadi di Bengkulu tetap menjadi ancaman utama yang mempengaruhi perkembangan Kota Bengkulu. Beberapa gempa berskala besar pernah terjadi di Propinsi Bengkulu dalam dua dekade terakhir. Gempa 4 Juni 2000 dengan magnitudo 8,0 M_w dan Gempa 12 September 2007 dengan magnitudo 8.6 M_w merupakan dua gempa dahsyat yang terjadi di Kota Bengkulu (Mase, 2015). Kedua gempa tersebut telah hanya menimbulkan kerusakan pada bangunan dan kejadian geoteknik yang dikenal sebagai likuifaksi (Mase, 2018). Belajar dari kejadian-kejadian gempa dahsyat tersebut, maka penelitian di bidang kegempaan semakin intensif dilakukan.

Beberapa peneliti telah melakukan studi kegempaan di Propinsi Bengkulu dan Kota Bengkulu. Misliniyati dkk (2013) meneliti potensi likuifaksi akibat gempa pada salah satu area pesisir pantai di Kota Bengkulu dan menyimpulkan bahwa kondisi perlapisan tanah yang didominasi oleh tanah pasir sangat rentan mengalami likuifaksi pada kedalaman dangkal. Mase (2015) meneliti karakteristik gempa di Kota Bengkulu dan menyimpulkan bahwa Gempa Bumi 12 September 2007 merupakan gempa dengan tingkat intensitas kerusakan yang tertinggi dalam kurun waktu 20 tahun terakhir. Mase (2017) melakukan studi likuifaksi dengan menerapkan konsep perambatan gelombang seismik untuk kawasan pesisir pantai di Propinsi Bengkulu dan menyimpulkan bahwa Kota Bengkulu merupakan salah satu area yang cukup parah mengalami likuifaksi akibat gempa pada tahun 2007. Mase (2018) menginvestigasi kehandalan desain seismik SNI 03-1726-2012 untuk Kota Bengkulu, khususnya pada area yang mengalami tingkat kerusakan yang cukup tinggi selama Gempa 12 September 2007. Hasil penelitian Mase (2018) menyimpulkan bahwa gelombang seismik yang merambat di permukaan cenderung melebihi desain seismik eksisting di Kota Bengkulu. Secara umum penelitian terdahulu masih fokus pada dampak gempa dan likuifaksi, sedangkan respon seismik pada area-area sentral di Kota Bengkulu masih belum dilakukan.

Penelitian ini fokus pada analisis respon seismik pada perlapisan tanah menggunakan konsep perambatan gelombang satu dimensi. Percepatan gempa riwayat waktu dan percepatan spektra, serta faktor pembesaran gelombang atau faktor amplifikasi disajikan pada penelitian ini. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran umum mengenai kondisi respon seismik pada perlapisan tanah di Kota Bengkulu. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi pijakan awal dalam merencanakan tata ruang dan wilayah yang berbasis mitigasi bencana di Kota Bengkulu.

2. AREA PENELITIAN

Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1, area penelitian ditandai dengan simbol kotak merah. Penelitian ini fokus pada beberapa area yang dipetakan pula pada Gambar 1. Pada Gambar 1, terlihat ada 3 area yang diteliti, yakni S-1 yang mewakili area Kampung Cina, S-2 yang mewakili area Anggut, dan S-3 mewakili area Padang Harapan. Kampung Cina merupakan kawasan peninggalan sejarah masa penjajahan Inggris di Bengkulu dan kampung pecinan. Kawasan ini merupakan salah satu tujuan wisata unggulan di Kota Bengkulu. Anggut mewakili kawasan pusat bisnis dan pemasaran produk asli Bengkulu, sedangkan Padang Harapan mewakili kawasan pusat pemerintahan di Propinsi dan Kota Bengkulu.



Gambar 52. Kondisi tektonik Propinsi Bengkulu dan Area Penelitian (dimodifikasi dari Google Earth, 2019)

Pada area-area yang diinvestigasi tersebut, penyelidikan tanah menggunakan alat sondir atau cone penetration test (CPT) dan penyelidikan geofisika menggunakan Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) dilakukan. Hasil penyelidikan tanah ditampilkan pada Gambar 2. Secara umum area yang diteliti didominasi oleh peralihan tanah lempungan (OH, CH, dan CM) sampai dengan kedalaman 3,4 m. Peralihan tersebut memiliki nilai tahanan ujung (q_c) rata-rata sebesar 0 sampai dengan 10 kg/cm² dan

kecepatan gelombang geser (V_s) rata-rata 200 sampai dengan 225 m/s. Perlapisan pasir sedang (SM dan SW) yang ditemukan pada kedalaman 2,6 sampai dengan 11,4 m, dengan nilai q_c rata-rata sebesar 20 sampai 80 kg/cm² dan V_s rata-rata sebesar 200 sampai dengan 400 m/s. Perlapisan pasir padat (SW dan SG) ditemukan pada kedalaman 4,4 sampai dengan 11,6 m. Masing-masing q_c rata-rata dan V_s rata-rata untuk perlapisan ini adalah sebesar 100 sampai dengan 200 kg/cm² dan 600 sampai dengan 700 m/s.

3. STUDI PUSTAKA DAN METODE PENELITIAN

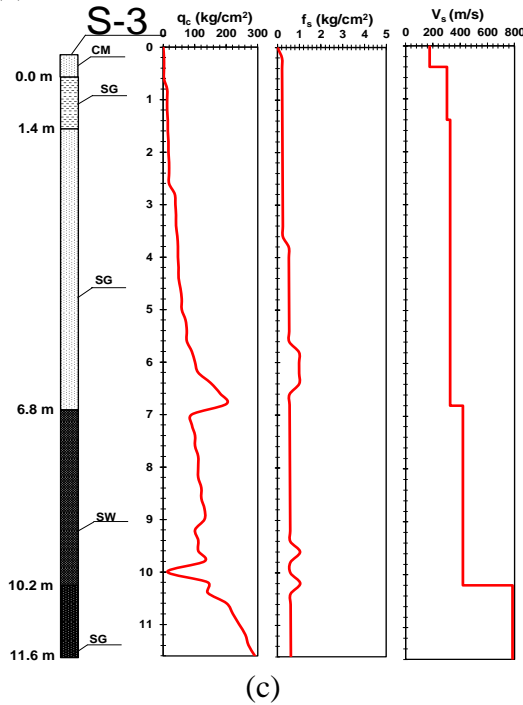
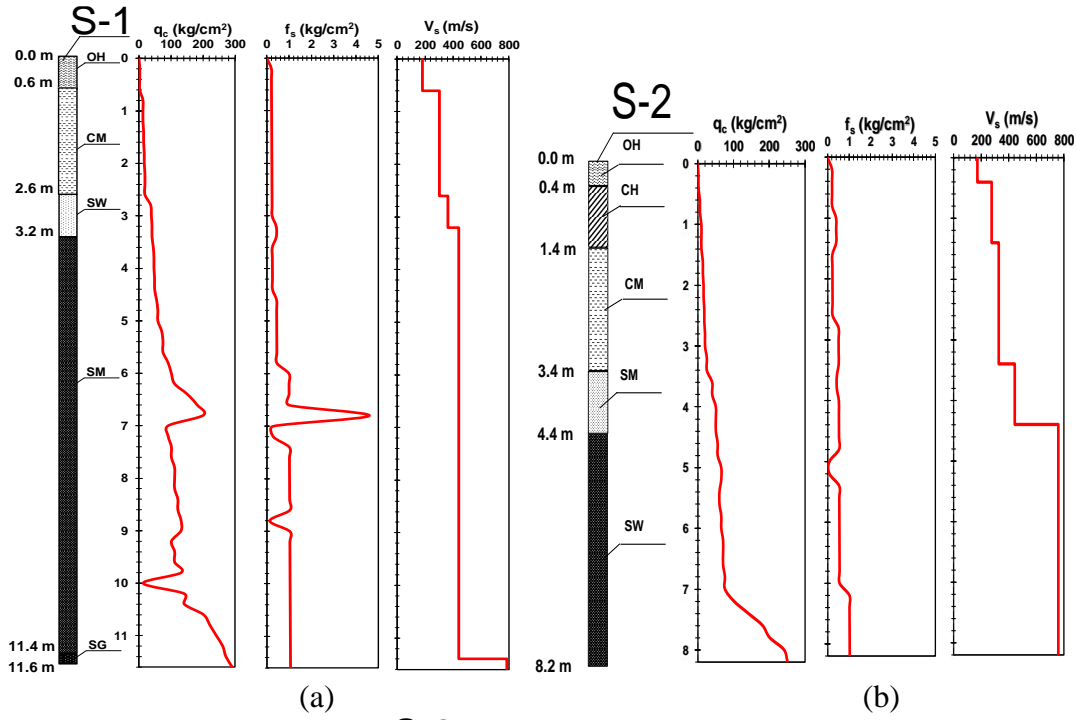
3.1 Permodelan Perambatan Gelombang Gempa Satu Dimensi

Salah satu permodelan perambatan gelombang adalah Model Pressure Dependent Hyperbolic (PDH), yang dikembangkan oleh Hashash dkk. (2016). Model PDH menitikberatkan pada implementasi fungsi hiperbolik untuk mensimulasi perilaku non-linear tanah akibat beban dinamik (Hashash dkk., 2016). Selama proses pembebanan dinamik, terjadi perubahan sistem kekakuan tanah yang tentunya berimplikasi pada perubahan modulus geser tanah. Fenomena tersebut diketahui sebagai parameter utama yang menentukan deformasi perlapisan tanah (Mase dan Hardiansyah, 2019). Sejumlah selubung keruntuhan akibat perubahan kekakuan, diterapkan pada model ini. Mase dkk. (2017) menyebutkan bahwa penekanan pada mode ini adalah pada penentuan mekanisme geser permanen. Selama gempa terdapat perubahan kekakuan pada tanah kepasiran. Penerapan perubahan kekakuan tanah sangat relevan dengan kondisi asli. Beberapa peneliti seperti Mase dkk. (2018), Qodri dkk (2019), dan Likitlersuang dkk. (2019) menyatakan bahwa permodelan PDH sangat andal dalam memprediksi perilaku dinamis tanah selama guncangan gempa.

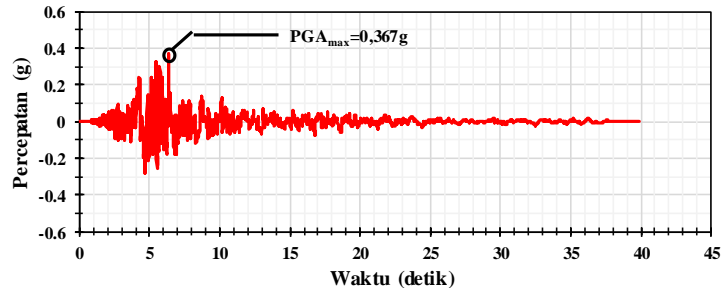
3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan investigasi lapangan pada beberapa area sentral di Kota Bengkulu menggunakan CPT dan MASW. Area-area tersebut di antaranya Kampung Cina (S-1), Anggut (S-2), dan Padang Harapan (S-3) yang merupakan pusat sosial-ekonomi di Kota Bengkulu. Selanjutnya, hasil CPT dan mikrotremor diolah lebih lanjut untuk memperoleh gambaran perlapisan tanah. Pada penelitian ini, Metode Perilaku Tanah (Soil Behaviour Chart) (Robertson dan Cabal, 2010) digunakan untuk mendapatkan perlapisan tanah pada titik yang diinvestigasi. Perambatan gelombang satu dimensi menggunakan Model PDH dilakukan pada penelitian ini. Gelombang input yang dirambatkan dari batuan dasar adalah gelombang terskala dari penelitian Mase (2018) dalam 20 tahun terakhir (Gambar 3). Pada kedalaman terbawah terlihat bahwa nilai V_s lebih dari 760 m/s. Ini mengindikasikan bahwa perlapisan tersebut merupakan perlapisan batuan dasar (Miller dkk., 1999). Hal serupa juga diimplementasikan oleh banyak peneliti, seperti Mase dkk. (2017). Hasil perambatan gelombang, seperti percepatan gempa, percepatan spektra, dan faktor amplifikasi disajikan pada penelitian ini. Perbandingan respon spektrum gempa hasil

analisis terhadap respon spektrum desain (SNI 03-1726-2012) dilakukan pula pada penelitian ini.



Gambar 53. Hasil Penyelidikan Tanah (a) S-1 (Kampung Cina), (b) S-2 (Anggut), dan (c) S-3 (Padang Harapan)



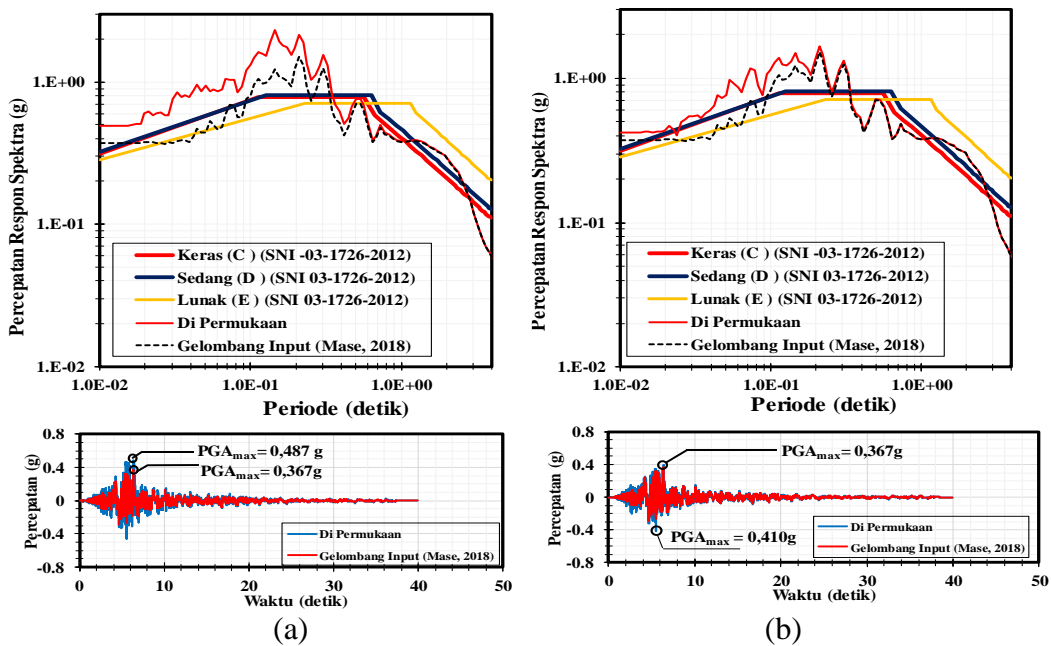
Gambar 54. Gelombang input terskala (Mase, 2018)

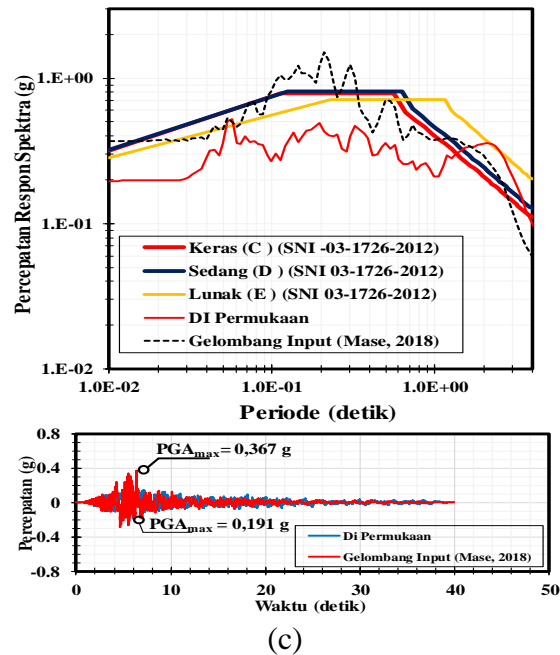
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 memperlihatkan perbandingan percepatan spektra di permukaan dan percepatan spektra gelombang input. Hasil analisis memperlihatkan bahwa percepatan Spektra gelombang input meningkat secara perlahan hingga mencapai puncak pada periode 0,2 detik. Pada permukaan tanah, percepatan spektra secara umum memiliki peningkatan dibandingkan saat masih dalam bentuk gelombang input. Hal ini kemungkinan disebabkan karena karakteristik material per lapisan tanah penyusun di setiap area. Besarnya nilai percepatan spektra di permukaan bervariasi dari 0,4g sampai dengan 2,1g yang terjadi pada periode puncak sebesar 0,05 sampai dengan 0,23 detik. Dengan menganalogikan bahwa periode natural dapat diestimasi dengan T sebesar $0,1n$ (n adalah jumlah lantai), maka dapat disimpulkan bahwa kerusakan mayor banyak terjadi pada bangunan berlantai rendah. Hausler dan Anderson (2007) melakukan investigasi kerusakan pasca gempa September 2007 dan menemukan bahwa secara umum, bangunan yang mengalami kerusakan parah adalah pada bangunan-bangunan berlantai rendah, yakni bangunan berlantai kurang dari tiga. Mase (2018) juga menyebutkan bahwa pada area-area di pesisir pantai Kota Bengkulu, seperti Pantai Panjang, Lempuing, dan Anggut, relatif rentan mengalami dampak seismik pada bangunan rendah.

Gambar 4 juga menampilkan perbandingan percepatan gempa di permukaan terhadap percepatan gempa gelombang input. Berdasarkan hasil analisis, terlihat bahwa percepatan gelombang dipermukaan adalah sebesar 0,191g sampai dengan 0,487g. Nilai percepatan gelombang tersebut, secara umum konsisten dengan prediksi percepatan gelombang maksimum yang disajikan oleh SNI 03-1726-2012, yakni maksimum sebesar 0,5g. Dalam kaitannya dengan potensi likuifaksi, beberapa area yang didominasi oleh lapisan pasir lepas pada kedalaman dangkal, seperti S-1 dan S-2, dapat berpotensi mengalami potensi likuifaksi. Hal ini terlihat dari nilai percepatan maksimum gempa yang telah melebihi batas nilai minimum ambang terjadinya likuifaksi yakni 0,1g (Kramer (1996) dan Mase dkk. (2015)). Mase (2018) menyebutkan

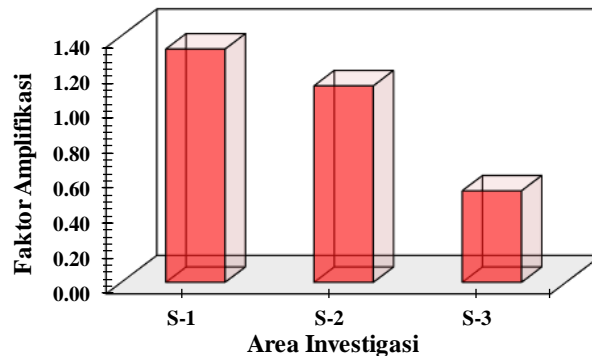
bahwa pada area Anggut, nilai percepatan maksimum yang cukup besar, yakni lebih dari 0,1g dapat terjadi selama Gempa September 2007. Hausler dan Anderson (2007) juga mencatat bahwa selama Gempa September 2007, likuifaksi ditemukan pula pada area-area sentral di Kota Bengkulu, seperti di pesisir pantai (Kampung Cina dan Anggut). Secara umum, selama terjadinya Gempa September 2007, nilai intensitas kerusakan pada area penelitian (berdasarkan kriteria Worden dkk., 2012) dapat dikategorikan sebagai skala VII sampai dengan VIII. Hasil estimasi ini juga sejalan dengan apa yang telah diprediksikan oleh Mase (2015).





Gambar 55. Hasil Analisis Perambatan Gelombang (a) S-1, (b) S-2, dan (c) S-3

Gambar 5 menampilkan nilai faktor amplifikasi pada setiap area yang diinvestigasi. Pada Gambar 5, terlihat bahwa faktor amplifikasi area yang diteliti memiliki rentang 0,6 sampai dengan 1,4. Di antara area yang diteliti, Kampung Cina (S-1) memiliki nilai faktor amplifikasi tertinggi yakni 1,4, sedangkan Padang Harapan memiliki faktor amplifikasi terendah yakni 0,6. Faktor amplifikasi Anggut bernilai sebesar 1,2, dimana secara umum, prediksi tersebut sejalan dengan apa yang diperoleh oleh Mase (2018). Nilai Faktor amplifikasi memiliki keterkaitan dengan keberadaan perlapisan lepas atau lunak pada area yang diteliti. Untuk S-1, lapisan pasir seragam yang cukup tebal. Yoshida (2015) menyebutkan bahwa pembesaran gelombang di permukaan ditentukan dari adanya ketebalan perlapisan yang lepas atau lunak. Selama proses perambatan gelombang, perlapisan tersebut ikut beresonansi dan menimbulkan pembesaran nilai percepatan maksimum di permukaan. Pada titik S-3, perlapisan lunak dan lepas tidak terlalu mendominasi. Keberadaan perlapisan keras pada perlapisan dangkal memberikan redaman yang cukup selama perambatan gelombang terjadi. Meskipun demikian, nilai percepatan di permukaan bernilai lebih dari 0,1g dan secara umum area yang diteliti didominasi oleh perlapisan pasir. Kedua faktor tersebut memberikan indikasi adanya potensi likuifaksi pada area-area tersebut. Potensi likuifaksi akan disajikan pada penelitian berikutnya.



Gambar 56. Faktor Amplifikasi (a) S-1, (b) S-2, dan (c) S-3

5. KESIMPULAN

Secara umum, area yang diteliti didominasi oleh perlapisan pasir dari kepadatan rendah sampai dengan sangat padat. Nilai percepatan gelombang input yang bernilai cukup besar yakni sekitar 0,3g berpotensi mengalami peningkatan hingga lebih dari 0,4 g dipermukaan. Percepatan spektra juga mengindikasikan bahwa perambatan gelombang Gempa September 2007 dapat memberikan kondisi kritis pada bangunan berlantai rendah. Terdapat pembesaran gelombang maksimum di permukaan tanah yang berpotensi memberikan efek pada bangunan yang berdiri di atasnya. Berdasarkan prediksi intensitas kerusakan, intensitas kerusakan pada area yang diinvestigasi dapat mencapai skala VIII. Hasil penelitian juga mengindikasikan bahwa perlapisan pasir pada studi area sangat sensitif mengalami likuifaksi. Hal ini diperkuat dengan besarnya nilai percepatan maksimum gempa yang telah mencapai batas minimal percepatan maksimum gempa untuk memicu terjadinya likuifaksi. Investigasi lebih lanjut terhadap potensi likuifaksi pada area yang diteliti akan disajikan pada penelitian di masa mendatang. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini dapat memberikan gambaran mengenai respon seismik pada area-area sentral di Kota Bengkulu, dimana pusat sosial-ekonomi terpusat. Hasil penelitian ini dapat menjadi rekomendasi bagi pemerintah setempat dalam mengembangkan tata ruang dan wilayah berbasis mitigasi bencana di Kota Bengkulu.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Google Earth. 2019. *Zona Kota Bengkulu, Propinsi Bengkulu*. Kota Bengkulu: www.google.earth.com
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Groholski, D.R., Phillips, C.A. & Park, D., 2016. DEEPSOIL 6.1, User Manual, Department of Civil and Environmental Engineering University of Illinois, Urbana-Champaign.
- Hausler, E., & Anderson, A. 2007. *Observation of the 12 and 13 September 2007 Bengkulu Earthquake, Sumatra, Indonesia*. Build Change Report.

- Kramer SL. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. 1st ed. New Jersey: Prentice Hall.
- Likitlersuang, S., Plengsiri, P., Mase, L. Z., & Tanapalungkorn, W. 2019. *Influence of spatial variability of ground on seismic response analysis: a case study of Bangkok subsoils*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment: 1-13.
- Mase LZ. 2015. *Karakteristik gempa di Bengkulu*. Jurnal Teknosia Vol.2 (15): 25-34
- Mase LZ, Likitlersuang S, Sorolump S, Tobita T. 2015. *Empirical analysis of liquefaction potential in Chiang Rai Province, Northern Thailand*. Proceeding of the 28th KKHTCNN Symposium on Civil Engineering: 16-18 November, Bangkok, Thailand.
- Mase, L. Z. 2018. *Reliability Study of Spectral Acceleration Designs Against Earthquakes in Bengkulu City, Indonesia*. International Journal of Technology, 9(5): 910-924.
- Mase, L.Z. 2017. *Liquefaction Potential Analysis Along Coastal Area of Bengkulu Province due to the 2007 Mw 8.6 Bengkulu Earthquake*. Journal of Engineering and Technological Sciences, 49(6): pp. 721-736.
- Mase, L.Z. dan Hardiansyah. 2019. *An Implementation of Numerical Analysis in Predicting the Liquefaction Potential on Soil Sites in University of Bengkulu, Indonesia*. Bengkulu, Indonesia, Maret 2019: Civil Engineering and Built Environment Conference 2019.
- Mase, L.Z., Likitlersuang, S. & Tobita, T. 2018. *Analysis of Seismic Ground Response caused During Strong Earthquake in Northern Thailand*. Soil Dynamic and Earthquake Engineering, 114: pp. 113-126.
- Mase, L.Z., Tobita, T. & Likitlersuang, S. 2017. *One-Dimensional Analysis of Liquefaction Potential: A Case Study in Chiang Rai Province*. Northern Thailand. Journal of Japan Society of Civil Engineers, 73(4): pp. 135-147, 2017.
- Miller RD, Xia J, Park CB, Ivanov J. *Using MASW to map bedrock in Olathe, Kansas (Exp.Abs)*. J Soc Explor Geophys 1999;1:433–6.
- Misliniyati, R., Mawardi, M., Besperi, B., Razali, M. R., & MuktaDir, R. 2013. *Pemetaan Potensi Likuifaksi Wilayah Pesisir Berdasarkan Data Cone Penetration Test di Kelurahan Lempuing, Kota Bengkulu*. Inersia, Jurnal Teknik Sipil, 5(2): 69-75.
- Qodri, M.F., Mase, L.Z., dan Likitlersuang, S. 2019. *Simulation of Seismic Ground Response at Bangkok Subsoil due to Si Sawat Fault*. The 24th National Convention on Civil Engineering, Juli 10-12, Udonthani, Thailand.
- Robertson, P. K., & Cabal, K. L. 2010. *Guide to cone penetration testing for geotechnical engineering*. Gregg Drilling & Testing, USA.
- SNI 03-1726-2012. 2012. *Tata Cara Perancangan Bangunan Gedung Tahan Gempa*, Badan Standarisasi Nasional Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- Worden B, Gerstenberger M, Rhoades D, and Wald, D. 2012. *Probabilistic Relationship Between Ground Motion Parameters, and Modified Mercalli Intensity in California*. Bulletin of Seismological Society of America, 102(1): 204-221.
- Yoshida N. 2015. *Seismic ground response analysis*. 1st ed. London: Springer

7. UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini juga didanai oleh Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu. Penulis terakhir mengucapkan terima kasih kepada Universitas Bengkulu, untuk pendanaan penelitian unggulan tahun 2019 dan penelitian kolaborasi tahun 2019 yang mana studi ini merupakan salah satu cakupannya.

KAJIAN DAYA DUKUNG PERMUKIMAN BERDASARKAN FAKTOR KEBENCANAAN DI KECAMATAN PARIAMAN TENGAH

Haryani¹, Fernandito²

¹Program Doktor Ilmu Lingkungan, Universitas Negeri Padang,
dan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta, Kota Padang
Email: irharyanimtp@yahoo.co.id

²Teknik PWK, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta,
Kota Padang.
Email: fernandito280@yahoo.co.id

ABSTRACT

Pariaman Tengah District Pariaman City is one of the cities located in West Sumatra Province. This sub-district is the center of government and is located in the center of the city so that the pace of development growth is very rapid. Growth in development and limited land make other factors also affect the disaster factor. According to data from the Central Pariaman district often experience floods, earthquakes and coastal abrasion. Under these conditions, this study aims to determine the direction of use of settlements based on disaster factors, where first a physical analysis is carried out to determine potential residential land, carrying capacity and carrying capacity for the future. The analytical method used is to use the Land Capability Analysis Unit (SKL) for disaster. The results obtained are the Land Ability Unit (SKL) in the Central Pariaman District shows a low level of disaster that is with an area of 15.68 km². This means that all physical aspects are not prone to disasters. The result is the carrying capacity of settlements in the Central Pariaman District is that for high carrying capacity is 225.32 ha, medium carrying capacity is 922.18 ha and low carrying capacity is 6.43 ha. The capacity of the Central Pariaman District in an area with a high carrying capacity of 225.32 ha can accommodate 121,830 inhabitants in 2027.

Keywords : land carrying capacity, settlement capacity, disaster

ABSTRAK

Kecamatan Pariaman Tengah Kota Pariaman merupakan salah satu kota yang terletak di Provinsi Sumatera Barat. Kecamatan ini merupakan pusat pemerintahan dan terletak pada pusat kota sehingga laju pertumbuhan pembangunan sangatlah pesat. Pertumbuhan pembangunan dan keterbatasan lahan membuat faktor lain juga mempengaruhi yakni faktor kebencanaan. Menurut data kecamatan Pariaman Tengah sering mengalami banjir, gempa bumi dan abrasi pantai. Dengan kondisi tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk menentukan arahan penggunaan permukiman berdasarkan faktor kebencanaan, dimana terlebih dahulu dilakukan analisis fisik untuk menentukan lahan permukiman potensial, daya dukung dan daya tampung untuk masa yang akan datang. Metode analisis yang digunakan adalah dengan menggunakan Analisis Satuan Kemampuan Lahan (SKL)

terhadap kebencanaan. Hasil yang didapat adalah Satuan kemampuan lahan (SKL) pada Kecamatan Pariaman Tengah menunjukkan tingkat kebencanaan yang rendah yakni dengan luas 15,68 km². Artinya segala penilaian aspek fisik tidak rentan terhadap bencana. Hasilnya daya dukung permukiman di Kecamatan Pariaman Tengah adalah untuk daya dukung tinggi adalah 225,32 ha, daya dukung sedang 922,18 ha dan daya dukung rendah adalah 6,43 ha. Daya tampung Kecamatan Pariaman Tengah pada kawasan dengan daya dukung tinggi yakni sebesar 225,32 ha mampu menampung 121,830 jiwa penduduk pada tahun 2027.

Kata Kunci : daya dukung lahan, daya tampung permukiman, bencana

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Pariaman merupakan salah satu kota yang sangat baik perkembangannya di Provinsi Sumatra Barat baik dalam sektor pariwisata, perdagangan dan jasa serta pertanian. Pesatnya perkembangan Kota Pariaman membuat kota tersebut memiliki daya tarik yang cukup tinggi, sehingga terjadilah lonjakan permintaan akan lahan permukiman.

Kota Pariaman juga memiliki perkembangan laju pertumbuhan penduduk yang pesat. Pertumbuhan jumlah penduduk di Kota Pariaman yang terus bertambah sekitar 8.211 jiwa dalam kurun waktu 10 tahun terakhir yaitu antara tahun 2007 dan 2016 membuat perkembangan fisik dan spasial kota Pariaman cenderung ekspansif ditandai dengan adanya perubahan penggunaan lahan dari lahan non terbangun menjadi lahan terbangun (Desga, Wahyu, 2018).

Perubahan perkembangan kawasan ini dapat terlihat mulai pada masa pra otonomi yaitu tahun 1982 melalui peta jantop luas kawasan terbangun Kota Pariaman adalah seluas 269.42 Ha, luasan ini terus bertambah sehingga luas kawasan terbangun pada masa otonomi yaitu tahun 2003 menjadi 493,71 Ha. Selanjutnya masa pasca otonomi kawasan terbangun pada tahun 2007 terus bertambah dengan mulai munculnya kawasan perumahan formal dan terus berkembang sehingga luas kawasan terbangun terus bertambah.

Luas kawasan terbangun Kota Pariaman pada tahun 2007 adalah 730,17 Ha yang terus berkembang sehingga luas kawasan terbangun menjadi 1.318,48 Ha tahun 2016. Kondisi ini mengakibatkan alih fungsi lahan terjadi dalam jumlah yang cukup besar dari non terbangun menjadi terbangun yang diiringi dengan peningkatan aktivitas kawasan.

Disamping itu, Kota Pariaman memiliki riwayat kebencanaan yang cukup tinggi di antaranya adalah bencana gempa bumi, abrasi pantai, banjir dan longsor.

Kota Pariaman adalah salah satu kota pesisir yang ada di Provinsi Sumatera Barat terancam abrasi pantai cukup tinggi dan sampai dengan tinggi. Karakteristik abrasi

pantai 15 tahun terakhir (tahun 2003 sampai dengan tahun 2018) di Kota Pariaman menyebabkan berkurangnya daratan di Kota Pariaman yang cukup besar yaitu rata-rata 13,18 ha/tahun, sedangkan penambahan daratan 19,03 ha/tahun (Haryani, 2018).

Dinamika pertumbuhan penduduk dan perkembangan kota serta memiliki potensi bencana yang tinggi memerlukan kehati-hatian dalam pembangunan untuk masa yang akan datang. Untuk itu pengembangan lahan permukiman harus lah dilakukan dengan pemilihan lahan yang terbebas dari faktor kebencanaan.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan arahan lahan permukiman berdasarkan faktor kebencanaan di Kecamatan Pariaman Tengah Kota Pariaman.

2. STUDI PUSTAKA

Pengertian lahan adalah lingkungan fisik dan biotik yang berkaitan dengan daya dukungnya terhadap kehidupan dan kesejahteraan hidup manusia. Lahan adalah objek yang sangat penting karena merupakan input sekaligus produk dari proses perencanaan (Kaiser et al, 1995:196). Permukiman berdasarkan faktor bencana dalam UU No.1 tahun 2011 adalah bagian dari lingkungan hunian yang terdiri atas lebih dari satu satuan perumahan yang mempunyai prasarana, sarana, utilitas umum, serta mempunyai penunjang kegiatan fungsi lain dikawasan perkotaan atau kawasan perdesaan.

Perlu evaluasi lahan permukiman berdasarkan faktor bencana untuk menghindari bencana yang mungkin timbul. Evaluasi lahan adalah suatu proses penilaian sumber daya lahan untuk tujuan tertentu dengan menggunakan suatu pendekatan atau cara yang sudah teruji. Hasil evaluasi lahan akan memberikan informasi dan/atau arahan penggunaan lahan sesuai dengan keperluan. Kesesuaian lahan adalah tingkat kecocokan sebidang lahan untuk penggunaan tertentu.

Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) diperlukan untuk mencari lahan yang potensial untuk dikembangkan sebagai permukiman sehingga terhindar dari bencana. GIS adalah sebagai alat untuk menyimpan atau mengelola, mengolah atau menganalisis dan menyajikan informasi (Sumarto, 1999).

Kawasan permukiman berdasarkan faktor bencana merupakan kawasan yang diperuntukan sebagai tempat tinggal/ lingkungan hunian untuk menunjang kegiatan kehidupan dan penghidupan manusia. Menurut peraturan pemerintah untuk daya dukung lahan dengan mengetahui kemampuan lahan dengan melakukan pembobotan satuan kemampuan lahan (SKL). yang bersumber pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.20/PRT/M/2007 tentang Teknik Analisis Aspek Fisik & Lingkungan, Ekonomi serta Sosial Budaya dalam Penyusunan Rencana Tata Ruang.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Studi

- a. Menentukan kriteria permukiman berdasarkan faktor bencana
- b. Data Fisik kawasan; peta morfologi, peta kelerengan, topografi, peta guna lahan, peta ketinggian
- c. Peta satuan kemampuan lahan (SKL) terhadap kebencanaan.
- d. Overlay peta SKL fisik dengan peta kebencanaan
- e. Daya dukung kawasan yang berkembang menjadi lahan permukiman berdasarkan faktor bencana.

3.2 Metode Pengumpulan Data

- a. Survey Primer
Metode pengamatan langsung (observasi) ke lapangan yaitu mengamati perkembangan Permukiman di lokasi penelitian.
- b. Survey Sekunder
Metode pengumpulan data dari berbagai instansi maupun studi literatur terkait materi penelitian berupa peta tematik seperti peta curah hujan, peta kelerengan, peta guna lahan, peta geologi, peta topografi, peta morfologi serta data-data gambaran umum kawasan Kecamatan Pariaman Tengah. Data tersebut di peroleh berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Pariaman tahun 2012 - 2032 dan pada instansi terkait seperti Badan Pusat Statistik (BPS) dan Bappeda Kecamatan Pariaman Tengah.

3.3 Metode Analisis

- a. Analisis Daya Dukung
Analisis daya dukung di lakukan dengan cara melakukan pembobotan untuk menentukan SKL, selanjutnya di overlay dengan data peta kebencanaan kawasan Kecamatan Pariaman Tengah untuk menentukan daya dukung lahan berdasarkan klasifikasi yang telah di tentukan dalam Permen PU No. 20/PRT/M/2007 tentang Pedoman Teknik Analisis Fisik Lingkungan, Ekonomi, serta Sosial Budaya dalam Penyusunan Rencana Tata Ruang. Adapun variabel kriteria tersebut antara lain klimatologi, topografi dan geologi.
Pembobotan dan klasifikasi kelas kemampuan lahan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Satuan Kemampuan Lahan

No	Satuan Kemampuan Lahan	Bobot
1	SKL Morfologi	5
2	SKL Kemudahan Dikerjakan	1

3	SKL Kestabilan Lereng	5
4	SKL Kestabilan Pondasi	3
5	SKL Ketersediaan Air	5
6	SKL Terhadap Erosi	3
7	SKL Untuk Drainase	5
8	SKL Pembuangan Limbah	0
9	SKL Terhadap Bencana Alam	5

Sumber : Permen PU No.20/prt/m/2007

b. Analisis Lahan Permukiman Berdasarkan Faktor Bencana untuk menentukan lahan Potensial

Penilaian terhadap limitasi kawasan pengembangan, dimana lahan yang akan di nilai adalah lahan permukiman yang memiliki daya dukung tinggi dengan sedikit faktor bencana di dalamnya. Lahan tersebut kemudian di kembangkan menjadi lahan permukiman bebas bencana.

c. Analisis Daya Tampung

Menghitung daya tampung lahan pengembangan permukiman berdasarkan faktor bencana tersebut untuk waktu yang akan datang hingga sampai ambang batas lahan tersebut mampu menampung jumlah penduduk.

Perhitungan daya tampung lahan di Kecamatan Pariaman Tengah berdasarkan Permen PU No.20/PRT/M/2007 bahwa menghitung daya tampung dapat di lakukan dengan menggunakan cara yakni melihat berdasarkan arahan rasio tutupan lahan dengan asumsi masing masing arahan rasio tersebut dienuhi secara maksimum dan anggapan luas lahan yang di gunakan untuk permukiman berdasarkan faktor bencana hanyalah 40 % dan luas lahan yang boleh tertutup (30 % fasilitas dan 20 % jaringan jalan dan utilitas lain nya. Kemudian dengan asumsi satu kk terdiri dari 5 orang dengan lahan yang di butuhkan adalah 100 m² atau 0,01 ha Maka dapat di lakukan perhitungan sebagai berikut.

Rumus:

$$\text{Daya Tampung (n)} = \frac{\% \text{ Luas Lahan} \times 5 \text{ (Jiwa)}}{0,01 \text{ (ha)}}$$

Dalam perhitungan daya tampung suatu kawasan mengacu pada perhitungan daya dukung kawasan. Lahan yang telah di tentukan dalam daya dukung lahan di bagi berdasarkan kelas yang telah di tetapkan di antaranya adalah Kelas A (Kemampuan Pengembangan Sangat Rendah), Kelas B (Kemampuan Pengembangan Rendah), Kelas C (Kemampuan Pengembangan Sedang), Kelas D (Kemampuan Pengembangan Agak Tinggi), Kelas D (Kemampuan Pengembangan Tinggi). Lahan yang termasuk pada setiap kelas akan di tentukan berapa persen lahan pengembangannya. Nilai faktor bencana setiap Kelas A hingga E masing – masing di beri nilai 10% -50 % lahan

pengembangannya sehingga dari luas lahan pengembangan tersebut dapat dilihat daya tampung kawasannya berdasarkan rasio tutupan lahan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Satuan Kemampuan Lahan dan Daya Dukung Terhadap Kebencanaan

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan lahan untuk dapat mendukung upaya pemanfaatan lahan permukiman berdasarkan faktor bencana. Analisis kemampuan lahan ini sekaligus untuk mengetahui faktor-faktor fisik lahan yang bersifat menghambat dan tidak menghambat. Output (keluaran) dari analisis ini adalah berupa peta kelas kemampuan lahan (zonasi) yang terdiri dari kawasan kemungkinan pengembangan, kawasan kendala dan kawasan limitasi yang merupakan gambaran dari tingkatan kemampuan lahan pada daerah penelitian.

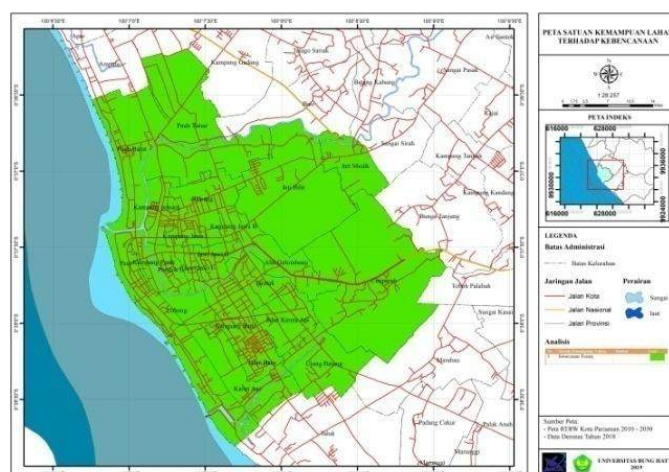
Berikut merupakan tabel dan peta satuan kemampuan lahan terhadap kebencanaan.

Tabel 1. Satuan Kemampuan Lahan (SKL) terhadap Kebencanaan

No	Morfologi	Kelerengan	Ketinggian	Topografi	SKL
1	Datar	0-3 %	Rendah	0-25 mdpl	Kebencanaan Rendah

Sumber: Analisis 2019

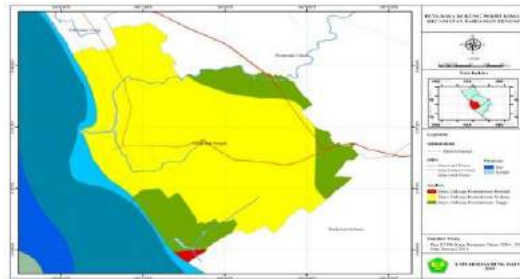
Dari tabel di atas dapat di lihat bahwa kriteria fisik pada kawasan kajian yakni berupa morfologi datar, kelerengan 0-3 %, ketinggian yang menunjukkan klasifikasi rendah serta topografi 0-25 mdpl menunjukkan nilai 1 yakni berupa SKL terhadap kebencanaan rendah. Berikut merupakan peta SKL terhadap bencana.



Sumber: Analisis 2019

Dari peta analisis di atas dapat di lihat bahwa SKL Kecamatan Pariaman Tengah menunjukkan tingkat kebencanaan yang rendah yakni dengan luas 15,68 km². Artinya segala penilaian aspek fisik tidak rentan terhadap bencana.

Selanjutnya hasil SKL di analisis dengan data kebencanaan eksisting untuk menentukan Daya Dukung Permukimannya. Hasilnya daya dukung permukiman di Kecamatan Pariaman Tengah, untuk daya dukung tinggi adalah 225,32 ha, daya dukung sedang 922,18 ha dan daya dukung rendah adalah 6,43 ha. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada peta keluaran berikut.



No	SKL	Bencana Banjir	Kerentanan Tanah	Gerakan	Likuifaksi	Keluaran
1	Bencana Kurang	Tinggi	Zona Kerentanan Rendah	Sangat	Potensi Tinggi	Likuifaksi Daya Dukung Permukiman Rendah
2	Bencana Kurang	Rendah	Zona Kerentanan Rendah	Sangat	Potensi Sedang	Likuifaksi Daya Dukung Permukiman Sedang
3	Bencana Kurang	Sedang	Zona Kerentanan Rendah	Sangat	Potensi Rendah	Likuifaksi Daya Dukung Permukiman Tinggi

Sumber: Analisis 2019

4.2 Daya Tampung Lahan Potensial

Perhitungan daya Tampung lahan di Kecamatan Pariaman Tengah di lakukan dengan cara melihat arahan rasio tutupan lahan dengan asumsi masing masing arahan rasio tersebut di penuhi secara maksimum dan anggapan luas lahan yang di gunakan untuk permukiman berdasarkan faktor bencana hanyalah 40 % dan luas lahan yang boleh tertutup, 30 % fasilitas dan 30 % jaringan jalan dan utilitas lainnya. Kemudian dengan asumsi satu kepala keluarga terdiri dari 5 orang dengan lahan yang di butuhkan adalah 100 m² atau 0,01 ha maka daya tampung Kecamatan Pariaman Tengah sampai dengan tahun 2027 adalah sebagai Tabel berikut.

Tabel 2: Daya Tampung Lahan Permukiman berdasarkan Faktor Bencana

No	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Daya Tampung	Keterangan
1	2018	31.066	121,830	Surplus
2	2019	31.687	121,830	Surplus
3	2020	32.321	121,830	Surplus
4	2021	32.967	121,830	Surplus
5	2022	33.626	121,830	Surplus
6	2023	34.299	121,830	Surplus
7	2024	34.985	121,830	Surplus
8	2025	35.685	121,830	Surplus
9	2026	36.398	121,830	Surplus
10	2027	37.126	121,830	Surplus

Sumber : Hasil Analisis 2019

Daya tampung Kecamatan Pariaman Tengah di peroleh dari persentase klasifikasi pengembangan lahan Permukiman yakni sebesar 225,32 ha mampu menampung 121,830 jiwa penduduk pada tahun 2027.

5. KESIMPULAN

Satuan kemampuan lahan (SKL) pada Kecamatan Pariaman Tengah menunjukkan tingkat kebencanaan yang rendah yakni dengan luas 15,68 km². Artinya segala penilaian aspek fisik tidak rentan terhadap bencana.

Hasilnya daya dukung permukiman di Kecamatan Pariaman Tengah adalah untuk daya dukung tinggi adalah 225,32 ha, daya dukung sedang 922,18 ha dan daya dukung rendah adalah 6,43 ha. Daya tampung Kecamatan Pariaman Tengah pada kawasan dengan daya dukung tinggi yakni sebesar 225,32 ha mampu menampung 121,830 jiwa penduduk pada tahun 2027.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Desga.Wahyu, Hamdi Nur, Haryani. 2018. *Kajian Perkembangan Kawasan Terbangun Dan Faktor - Faktor Penyebab Perkembangan Berdasarkan Pola Kawasan Terbangun Kota Pariaman*. Perencanaan Wilayah Dan Kota, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta, Padang
- [2] Haryani, Agus Irianto and Nurhasan Syah. 2018. Coastal Abrasion and Accretion Studies of West Sumatera Province in Period 2003-2016. *Journal of Environmental Science and Engineering A* 7 (2018). Vol 7.No.1, Januari 2018: 22-29
- [3] *Kecamatan Pariaman Tengah dalam Angka*, Tahun 2019
- [4] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum “*Modul Terapan Pedoman Teknik Analisis Aspek Fisik dan Lingkungan,, Ekonomi Serta Sosial Budaya Dalam Penyusunan Tata Ruang*” Penerbit : Departemen Pekerjaan Umum Jakarta
- [5] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.41/PRT/M/2007 tentang *Pedoman Kriteria Teknis Kawasan Budidaya*.

[6] SNI 03-1733-2004 *Tata cara perencanaan lingkungan perumahan di perkotaan*

[7] Undang-undang No 1 Tahun 2011 *tentang Perumahan dan Kawasan Permukiman*

7. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada program studi Perencanaan Wilayah dan Kota Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Bung Hatta, Program Pasca Studi Ilmu Lingkungan Universitas Negeri Padang dan Pemerintah Kota Pariaman atas bantuan dan partisipasinya sehingga penelitian dapat diselesaikan.

ANALISIS DAERAH GENANGAN DAN BAHAYA BANJIR DI SUNGAI KAMPAR KECAMATAN KAMPAR UTARA

Rahmatul Irfan¹, Bambang Sujatmoko^{1*}, Siswanto¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau; Pekanbaru.

Email: rahmatul.irfan46@gmail.com

*Corresponding Author: b_sujatmoko@yahoo.com

Email: siswanto@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Based on data from BPBD of Riau province, there were 7 flood events in the 2015 to 2016 period. The flood disaster occurred in Kampar district, especially in the downstream area of the Koto Panjang hydropower plant. The main cause is the discharge overflows from spillway of reservoir that was over capacity of the river downstream causing a inundation in the downstream area of the Koto Panjang hydropower plant. Kampar Utara District is one of the main areas affected by the flood. Therefore the purpose of this study is to determine several parameters such as depth, area, and hazard level classification. By applying the hydraulic flow computation model using HEC-RAS, HEC-GeoRAS and GIS software, the parameters can be obtained. Inundation depth is obtained at return period of Q1 of 0.49 m, Q2 of 0.63 m, Q5 of 0.65 m, Q10 of 0.71 m, and Q25 of 0.76 m. The highest inundation area was obtained 647.5 Ha at return period of Q25, with a depth of 0.76 m, and the flood hazard criteria was moderate to high.

Keywords : inundation area, flood hazard criteria, GIS, HEC-RAS, HEC-GeoRAS

ABSTRAK

Berdasarkan data dari BPBD provinsi Riau, telah terjadi 7 kali kejadian banjir rentang waktu 2015 sampai 2016. Bencana banjir tersebut terjadi di kabupaten Kampar terutama di daerah hilir PLTA Koto Panjang. Penyebab utama adalah debit banjir melalui spillway waduk melebihi kapasitas sungai di hilirnya, sehingga menimbulkan genangan pada daerah hilir PLTA Koto Panjang. Kecamatan Kampar Utara merupakan salah satu wilayah terdampak dari kejadian banjir tersebut. Penelitian ini bertujuan menentukan beberapa parameter seperti kedalaman, luas, serta klasifikasi tingkat bahaya. Dengan menerapkan model komputasi aliran hidraulika HEC-RAS dan HEC-GeoRAS serta perangkat lunak SIG, diperoleh parameter-parameter tersebut. Diperoleh kedalaman genangan pada kala ulang Q1 sebesar 0,49 m, Q2 sebesar 0,63 m, Q5 sebesar 0,65 m, Q10 sebesar 0,71 m, dan Q25 sebesar 0,76 m. Luas genangan tertinggi diperoleh 647,5 hektar pada kala ulang Q25, dengan kedalaman 0,76 m, serta kriteria bahaya banjir termasuk kategori sedang sampai tinggi.

Kata Kunci : daerah genangan, kriteria bahaya banjir, GIS, HEC-RAS, HEC-GeoRAS

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu masalah yang cukup rentan terjadi pada kecamatan Kampar Utara sehingga secara tidak langsung memberikan kerugian bagi masyarakat yang tinggal di lingkungan yang rawan terjadi banjir tersebut, berdasarkan BPBD Provinsi Riau pada tahun 2015 – 2016 terdapat 7 kejadian banjir, bencana banjir terbesar di provinsi Riau terdapat di daerah PLTA Koto Panjang kabupaten Kampar (Vanezsa, 2018). Akibatnya perlu ada peta sebaran genangan yang dipergunakan untuk mengetahui sebaran dan tingkat kerawanan banjir yang terjadi agar menjadi tambahan informasi dalam manajemen pembangunan serta mitigasi bencana

Teknologi GIS dipergunakan dalam memvisualisasikan dan menganalisis seberapa besar tingkat kerawanan dan sebaran genangan yang terjadi dengan menggunakan beberapa parameter yang mengakibatkan genangan seperti bentuk DAS, sebaran penggunaan lahan, geometri sungai serta elevasi suatu daerah. Salah satu perangkat lunak yang dapat dikombinasikan dengan GIS adalah HEC-GeoRAS yang dapat memberikan data input untuk dapat diproses lebih lanjut menggunakan HEC-RAS. *Software* HEC-RAS digunakan sebagai pemodelan aliran yang dapat digunakan kembali hasilnya untuk diproses kembali dengan GIS dan HEC-GeoRAS (Aulia, 2017). Dengan adanya analisis sebaran genangan dan tingkat kerawanan banjir ini dapat memberikan gambaran lapangan dan dijadikan sebagai peringatan agar dapat mengurangi dan meminimalisir korban dan kerugian yang terjadi akibat banjir. Maka dilakukanlah analisis sebaran dan kerawanan banjir di kecamatan Kampar Utara ini dengan bantuan teknologi GIS, HEC-GeoRAS, serta HEC-RAS.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Model Elevasi Digital

Model elevasi digital atau yang biasa disebut *Digital Elevation Model* (DEM) merupakan suatu model topografi permukaan bumi, Terminologi lain yang juga akrab digunakan selain *Digital Elevation Model* yaitu *Digital Terrain Model* (DTM) dan *Digital Surface Model* (DSM). DEM memperhitungkan (mengukur) titik-titik (unsur-unsur) tertinggi yang terletak di bawah tinggi nominal pengamat (contoh sensor satelit) yang mengorbit di atas permukaan bumi dengan liputan data-data berupa ketinggian (bagian paling atasnya) (Prahasta, 2008, dalam Asih, 2012).

2.2 Klasifikasi Bahaya Banjir

Klasifikasi bahaya banjir dalam penentuan bahaya banjir, sering digunakan untuk menentukan parameter indeks bahaya yang nantinya digunakan dalam penentuan indeks risiko bencana. Salah satu parameter klasifikasi bahaya banjir adalah kedalaman genangan akibat limpasan banjir. Kriteria dan klasifikasi bahaya banjir dari parameter kedalaman genangan, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 29. Kriteria dan Klasifikasi Bahaya Banjir

Parameter	No	Kriteria	Klasifikasi
Kedalaman	1	>70 cm	Tinggi
Genangan	2	20-70 cm	Sedang
	3	<20 cm	Rendah

Sumber: Aprizon (2013)

2.3 Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (GIS) merupakan sistem informasi berbasis komputer untuk mengelola, menganalisis dan menyimpan serta memanggil data yang bereferensi geografis. Manfaat dari GIS yaitu memberikan kemudahan kepada para pengguna yang berkaitan dengan aspek keruangan (spasial), salah satunya kemudahan dalam hal pemetaan lahan (Wibowo, 2015).

2.4 Perangkat Lunak HEC-RAS

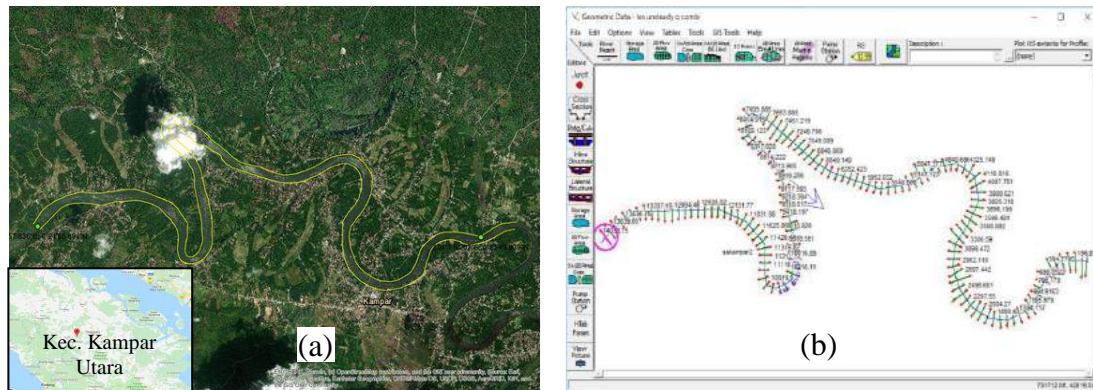
Alat bantu analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah aplikasi *Hydrologic Engineering Center – River Analysis System* (HEC-RAS) 5.0.5. perangkat lunak HEC-RAS merupakan aplikasi yang digunakan untuk menghitung analisis hidraulika, yaitu perhitungan profil muka air pada aliran permanen (*steady flow*) dan tidak permanen (*unsteady flow*). HEC-RAS dirancang untuk mensimulasi fenomena pada jaringan saluran alami maupun buatan. Kunci utama pemodelan pada HEC-RAS adalah penggunaan representasi data geometri dan perhitungan geometri serta perhitungan hidraulika berulang (Istirto, 2011).

2.5 Perangkat Lunak HEC-GeoRAS

HEC-Geo-RAS merupakan salah satu ekstensi yang digunakan pada salah satu sistem SIG yang hak cipta di pegang oleh *environmental systems research institute* (ESRI). Ekstensi ini berguna atau secara khusus didesain untuk memproses data geospasial untuk digunakan dengan HEC-RAS. Alat ini memperbolehkan pengguna untuk mendapatkan data attribute geometri dari data DEM atau DTM dan perlengkapan lainnya dalam bentuk import file geometri pada HEC-RAS. Hasil komputasi profil muka air dapat diproses untuk menampilkan kedalaman serta batas-batas genangan, panduan penggunaan ekstensi HEC-GeoRAS dapat dilihat pada modul pengguna pada halaman resmi penyedia.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian



Gambar 57. Lokasi penelitian (a), digitasi geometric sungai (b)

Penelitian berlokasi di sungai Kampar dan dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kampar sepanjang ± 14 km di kecamatan Kampar utara (Gambar 1(a)). Daerah studi berlokasi di bagian hilir waduk PLTA koto Panjang dan merupakan daerah rawan terjadi genangan banjir ketika pembungan air berlebih dari waduk PLTA koto Panjang. Untuk keperluan simulasi banjir di daerah studi, dilakukan digitasi geometric sungai menggunakan GIS dan HEC-GeoRas dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 1(b).

3.2 Pengumpulan Data

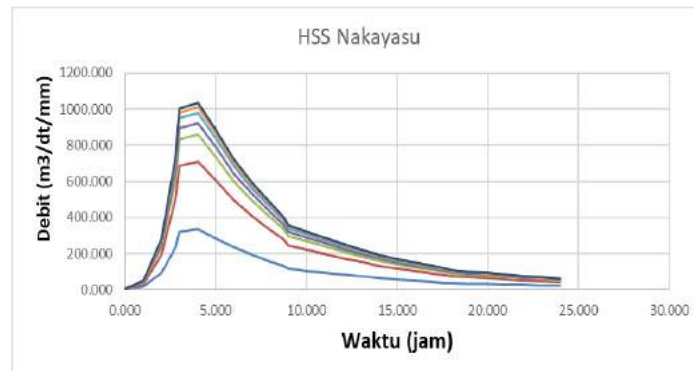
Adapun data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data curah hujan Kecamatan Kampar utara tahun 2003 sampai 2017
2. Data penampang sungai Kampar di Kecamatan Kampar utara sepanjang ± 14 km menggunakan HEC-GeoRAS dengan basis peta DEMNAS.
3. Tata guna lahan dan Daerah Aliran sungai (DAS) sungai Kampar yang didapatkan dari BPDAS Indragiri Rokan
4. Data debit turbin dan pelimpah dari PLTA koto Panjang

3.3 Pengolahan Data

3.3.1 Analisis Hidrologi

- a. Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data curah hujan harian 15 tahun (tahun 2003 sampai 2017) yang diperoleh dari stasiun Pasar Kampar. Data tersebut dilakukan analisis frekuensi hujan dan menghitung intensitas hujan yang terjadi untuk durasi tertentu. Hasil yang diperoleh dapat memperlihatkan hubungan antara intensitas hujan dengan durasi dan frekuensi dalam grafik IDF. Kemudian digunakan HSS Nakayasu untuk menentukan debit banjir rencana (Gambar 2).



Gambar 58. Debit banjir rencana dari data hujan (di hilir waduk)

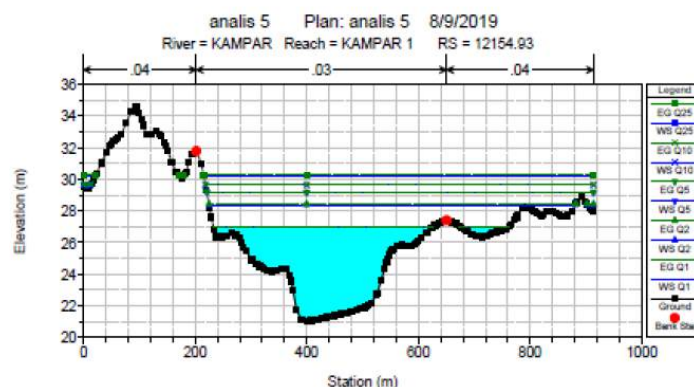
- b. Debit yang keluar dari spillway ditentukan dengan menggunakan data debit tahun 2008 – 2018 dari kantor operasional PLTA Koto Panjang. Data debit dianalisis dengan analisa frekuensi (Dsiatribusi Log Pearson III) dan hasilnya dikombinasikan dengan debit rencana hasil HSS Nakayasu. Debit hasil HSS Nakayasu (debit puncak saja) dikombinasikan dengan data debit turbin dan pelimpah dari PLTA Koto Panjang didapatkan debit total input pada pemodelan di HEC-RAS (Tabel 2).

Tabel 30. Debit Input untuk simulasi Model HEC-RAS

	Debit Kala Ulang (m3/det)						
	Q1	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100
HSS Nakayasu	333,9	710,1	858,7	923,6	981,1	1011,6	1034,8
Debit Spilway	844,3	1181,8	1513,5	1779,7	2171,5	2506,6	2880,9
Total Q	1178,2	1891,9	2372,2	2703,3	3152,6	3518,2	3915,7

3.3.2 Simulasi Muka Air Banjir HEC-RAS

Pada proses simulasi muka air banjir dengan HEC-RAS data input berupa geometri sungai tinjauan yang telah didapatkan dari HEC-GeoRAS dengan basis peta DEMNAS (Gambar 1(b)), kemudian data debit (Tabel 2) dipakai sebagai kondisi batas hulu (*boundary condition*). Hasil dari simulasi HEC-RAS berupa hasil elevasi muka air banjir pada setiap penampang sungai (contoh hasil di Gambar 3) dan selanjutnya dapat dilihat pada RAS-MAPPER yang berguna untuk proses penyuntingan data. Kemudian hasil ini diekspor dan diproses menggunakan GIS dan HEC-GeoRAS untuk memvisualisasikan hasil yang diekstrak berupa hasil peta sebaran genangan.



Gambar 59. Hasil simulasi elevasi banjir di setiap kala ulang (CS 12154)

3.3.3 Pemetaan Daerah Genangan Dan Bahaya Banjir Dengan GIS

Pada tahap ini hasil yang telah di impor dari HEC-RAS dilakukan proses *flood inundation* menggunakan HEC-GeoRAS, dan dilakukan proses penyuntingan hasil render tersebut dengan GIS yang mengkalkulasi beberapa parameter genangan berupa luasan, kedalaman serta tingkat bahaya banjir/genangan tersebut. Hasil dari GIS ini berupa peta sebaran genangan yang merupakan hasil olahan HEC-RAS, HEC-GeoRAS, serta dapat dilakukan *image overlay* pada kebutuhan perencanaan, desain, dan mitigasi bencana banjir dan genangan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Hidrolika

Untuk menganalisa sebaran genangan dan klasifikasi bahaya banjir di daerah studi, dilakukan analisis elevasi muka air banjir dengan software HEC-RAS. Analisa dilakukan dengan debit kala ulang Q1 – Q25. Untuk mendapatkan hasil yang valid, maka hasil running model HECRAS harus dilakukan proses kalibrasi dengan data observasi lapangan.

Kalibrasi Model

Menurut excimap (2007) data historik diperlukan dalam kalibrasi model untuk menentukan seberapa akurat permodelan dengan kejadian dilapangan, data historik diperlukan sebagai komparasi agar dapat dijadikan sebagai data publik yang dapat dipakai kembali. Pada penelitian ini peninjauan dilakukan dengan melakukan tanya jawab dengan warga sekitar dengan melihat lokasi peta sebaran genangan banjir yang telah dimodelkan. Pada sesi tanya jawab dilakukan juga pengecekan terhadap daerah sekitar. Kekurangan dari metode peninjauan secara langsung adalah kurangnya tanda atau bekas genangan atau kejadian banjir yang terjadi sudah cukup lama sehingga tanda atau bekas menjadi cukup tidak jelas. Hasil kalibrasi model (Tabel 3) menunjukkan

bahwa kesalahan antara simulasi model dan pengukuran lapangan sebesar 0,0344 (3,44%). Hasil kalibrasi < 5% menunjukkan bahwa model HECRAS cukup handal digunakan dalam simulasi elevasi muka air banjir di sungai Kampar.

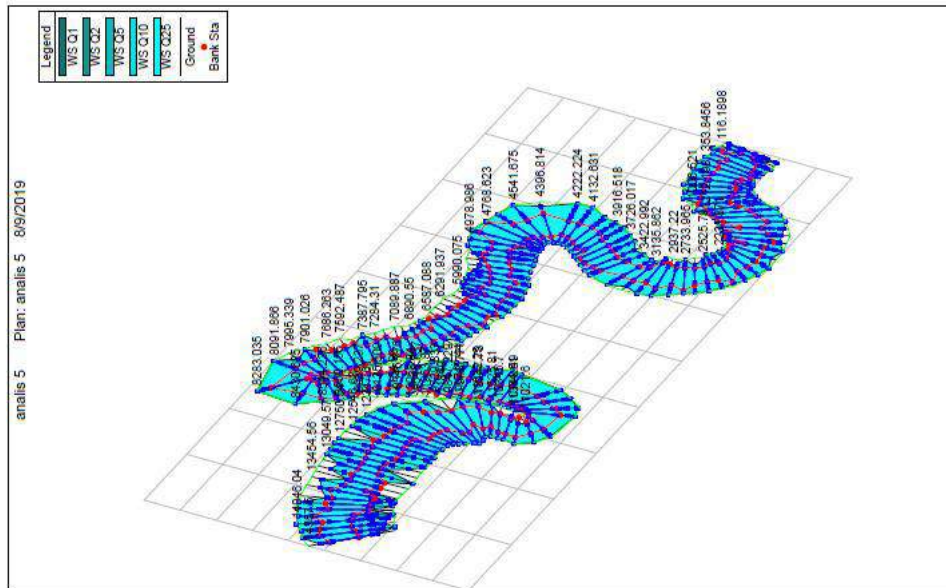
Tabel 31. Pengukuran data genangan di lokasi studi (periode banjir 2 tahun)

No.	Titik koordinat	Lokasi	Simulasi Model (m)	Observasi (m)	Tahun	Tempat
1.	E:101.071625 N:0.360218	Jl Utama Sp kubu	0,63	0,58 – 0,65	2016-2018	Ruko
2.	E:101.076727 N:0.367657	Ds Limau Manis	0,63	0,55 – 0,65	2016-2018	Rumah
3.	E:101.106114 N:0.356548	Bukut Ranah	0,63	0,60 – 0,70	2016-2018	Ruko

Tabel 32. Hasil kalibrasi Elevasi muka air di Model dan Pengukuran Lapangan

No.	Titik koordinat	Simulasi Model (m)	Observasi (m)	Rerata Obs (m)	%kesalahan (%)
1.	E:101.071625 N:0.360218	0,63	0,58 – 0,65	0,62	2,38
2.	E:101.076727 N:0.367657	0,63	0,55 – 0,65	0,60	4,76
3.	E:101.106114 N:0.356548	0,63	0,60 – 0,70	0,65	3,17
				Rerata	3,44

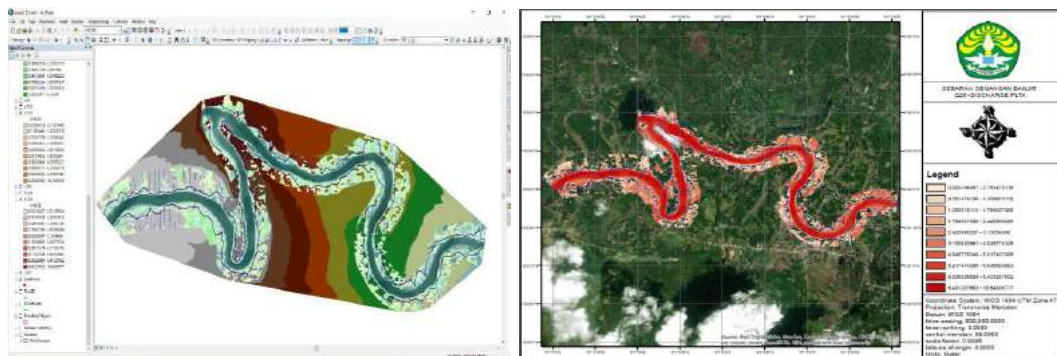
Hasil analisis hidrolika profil muka air banjir yang terjadi di sungai Kampar, dengan daerah studi sepanjang 14 km ditunjukkan pada Gambar 4. Pada simulasi debit dengan kala ulang 25 tahun (Q25), dapat dilihat bahwa sebagian besar penampang sungai mengalami over flow atau elevasi muka air melewati tebing sungai (pada Gambar 4, tebing sungai ditunjukkan dengan titik merah). Hasil simulasi menunjukkan bahwa masih banyak daerah dataran banjir di sepanjang daerah studi yang elevasinya lebih rendah sehingga pada banjir kala ulang 25 tahun didominasi genangan banjir dengan tinggi di atas 70 cm (sekitar 647,5 ha, lihat Tabel 5).



Gambar 60. Hasil simulasi profil muka air banjir di daerah studi dengan HEC-RAS

4.2 Pemetaan daerah genangan banjir

Pada proses ini hasil dari HEC-RAS diimpor ke GIS, kemudian dilanjutkan menggunakan HEC-GeoRAS untuk memvisualisasikan hasil di GIS. Hasil dari visualisasi ini kemudian diperiksa kembali dan diambil data yang diperlukan semisal luas dan kedalaman.



Gambar 61. Proses render genangan dan hasil render Q25 menggunakan HEC-GeoRAS dan GIS

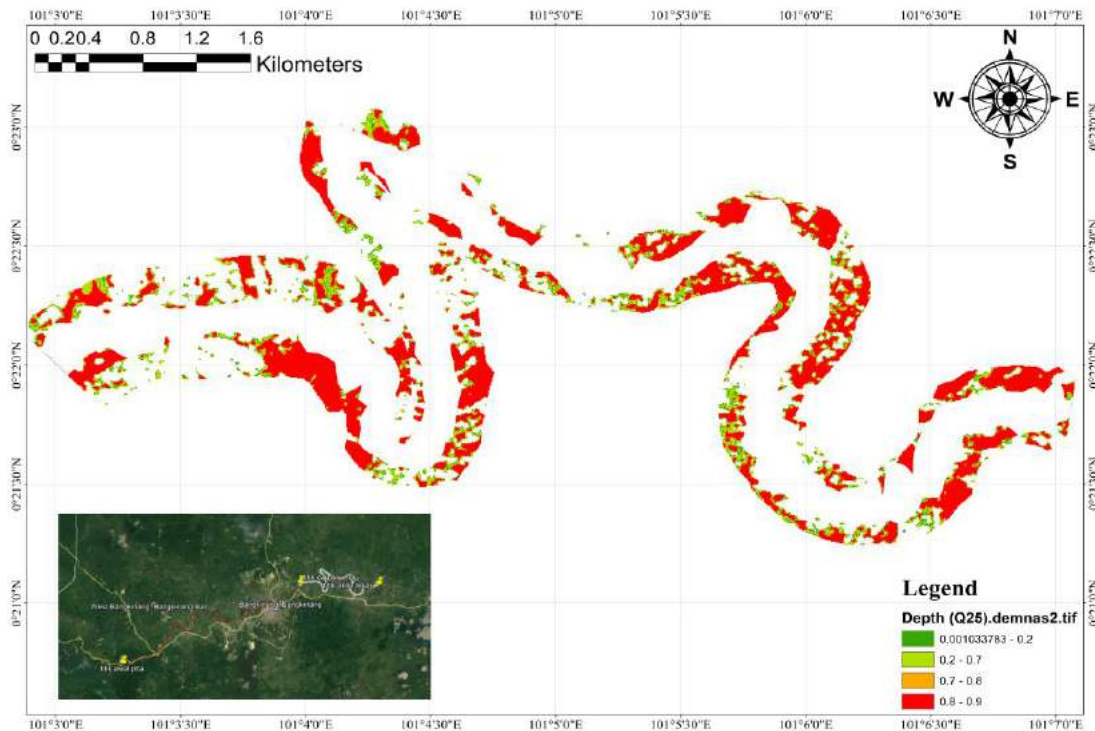
Luas genangan yang disimulasikan adalah luas genangan dari limpasan air di dataran banjir saluran utama sungai yang ditinjau. Pada kala ulang Q25 tahun didapati dari hasil model GIS luas genangan termasuk sungai sebesar 647,5 Ha sedangkan untuk

luas yang tergenang berdasarkan *model boundary* sebesar 232,5 Ha. Untuk kedalaman banjir dominan pada simulasi kala ulang 25 tahun (Q25) didapati 0,76 m dengan klasifikasi bahaya banjir kategori “tinggi”. Data raster yang diperoleh dari simulasi kala ulang Q1.1, Q2, Q5, Q10, Q25 dapat dilihat pada Tabel 5. Hasil dari tabel ini merupakan hasil dari model sebelum dilakukan kembali *ground check*, hal ini perlu dilakukan agar dapat menentukan keandalan model serta eror dari model yang telah dilakukan.

Tabel 33. Rekapitulasi luas dan kedalaman serta klasifikasi bahaya banjir

Luas Genangan (ha)					
Sungai	Q1.1	Q2	Q5	Q10	Q25
	379,8	495,7	562,7	602,2	647,5
Kedalaman Genangan (m)					
Kampar	Q1.1	Q2	Q5	Q10	Q25
	0,49	0,63	0,65	0,71	0,76
Klasifikasi	Sedang	Sedang	Sedang	Tinggi	Tinggi

Selanjutnya dilakukan kembali analisis data raster untuk mendapatkan luas genangan di luar dari sungai tinjauan yang telah dimodelkan, hal ini dilakukan untuk mengetahui daerah di luar tebing sungai yang berdampak genangan. Hasil dari ekstrak data dapat dilihat pada tabel 3.



Gambar 62. Tingkat bahaya banjir pada Q25

5. KESIMPULAN

Simpulan dari penelitian ini yaitu :

1. Model HEC-RAS cukup handal untuk mensimulasi profil muka air di Sungai Kampar dengan tingkat kesalahan < 5 %.
2. Luas genangan secara bertahap meningkat dari 379.8 Ha ke 647.5 Ha
3. Kedalaman ekstrem terendah berada pada 0,49 m dan tertinggi pada 0,76 m
4. Klasifikasi bahaya banjir untuk seluruh sistem sungai di dominasi oleh klasifikasi tinggi
5. Berdasarkan penelitian ini di ketahui bahwa HEC-RAS dan HEC-GeoRAS yang merupakan attachment tambahan pada SIG dapat digunakan untuk memperoleh beberapa data yang disimulasikan.

6. DAFTAR PUSTAKA

Al Amin, M. B. (2015). Pemanfaatan Teknologi LIDAR Dalam Analisis Genangan Banjir Akibat Luapan Sungai Berdasarkan Simulasi Model Hidrodinamik. *INFO TEKNIK, Volume 16 No. 1* , 21-32.

Aprizon dan Triyatno. (2013). Analisa Bencana Banjir di Kota Padang (studi kasus:

- Intensitas Curah Hujan Kota Padang 1980-2009 dan Aspek Geomorfolog). Seminar Sains Atmosfer di Bandung. Vol. 73 No. 3.
- Asih, TM. (2012). *Pemodelan Spasial Aliran Permukaan Menggunakan Data Satelit Terra Aster-Gdem Di Daerah Tangkapan Hujan Waduk Rawa Pening Provinsi Jawa Tengah*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Aulia, DF. (2017). *Aplikasi Hec-Georas untuk Analisa Genangan dan Pengendalian Banjir sungai Ciraja Jabupaten Cilacap*. Srojana Thesis. Universitas Brawijaya, Malang.
- Excimap (European Exchange Circle on Flood Mapping). (2007). Hand-book on good practices for flood mapping in Europe.
- <http://tides.big.go.id/DEMNAS/> diakses pada tanggal 9 Juli 2019
- Istiarto. (2011). *Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS. Modul Pelatihan*. Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Prahasta, Eddy. (2008). *Model Permukaan Digital*. Bandung : Informatika,
- Triatmodjo, B. (2010). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Vanezsa, PB. (2018). *Komunikasi Bencana Dalam Penanggulangan Bencana Banjir Di Kawasan Plta Koto Panjang*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Wibowo, KM. (2015). *Sistem Informasi Geografis (SIG) Menentukan Lokasi Pertambangan Batu Bara Di Provinsi Bengkulu Berbasis Website*. Universitas Dehasen Bengkulu, Bengkulu.
- www Landsatlook.usgs.gov, diakses pada tanggal 10 Juli 2019.

SEISMIC DAMAGE ASSESSMENT OF RESIDENTIAL FUNCTION ZONE IN JAKARTA CITY

Delfebriyadi^{1,3,4}, Masyhur Irsyam^{2,4}, Bigman M. Hutapea², Iswandi Imran^{2,4}
and M. Asrurifak⁵

¹Doctoral Candidate, Doctor Study Program, ITB. Email: delfebri@eng.unand.ac.id

²Faculty of Civil and Environmental Engineering, ITB, Indonesia.

³Faculty of Engineering, UNAND, Indonesia.

⁴Centre for Earthquake Science and Technology Indonesia, ITB.

⁵Research Center for Disaster Mitigation, ITB.

ABSTRAK

Jakarta with a very high population has many vital infrastructures as economic and government centers. A seismic risk assessment had been made for the residential function zones by considering the scenarios of earthquake of 2500 years return period. Building damage was projected based on building structural fragility. The *1-D* site response analysis was carried out with over 5745 simulations to evaluate the intensity of earthquake shaking on ground surface. The seismic risk to buildings were quantified by assessing the probability of the building damage states adopted from *HAZUS-MH MR4*. Analysis on a projected Jakarta in year 2030 shows that 88% buildings would be affected by earthquake.

Keywords : seismic risk, building fragility, site response analysis

1. INTRODUCTION

Jakarta is located in the North of Java Island that is situated close to most seismically active plate boundaries. Several damaging earthquakes occurred in the last decades in Indonesia have alerted the Government to mitigate future damages due to earthquake. One of method to minimize the damages is by performing seismic hazard assessment and risk evaluation with respect to ground motion characteristics.

In this paper, we will estimate the potential damages of buildings on the residential function zone in Jakarta city. Three important components on the determination of the damage were hazard assessment; buildings that will be affected by hazard (if it occurs); and the building fragility that presented on level of the damages of the assets.

2. HAZARD ASSESSMENT

The design earthquake characteristics were determined based on a probabilistic approach taking into account existing data related to the seismic history and previous earthquakes around Jakarta. Seismic sources were divided into subduction, fault, and background zones by considering recurrence relationship. Strong motion attenuation

equations at the bedrock level was calculated using a number of attenuation relationships from worldwide historical earthquake data record (Irsyam *et al.*, 2010). Probabilistic seismic hazard analyses (McGuire, 1995) was carried out to obtain the hazard level for 2% probability of exceedance in 50 years. In order to estimate the most likely earthquake magnitude and the most likely source site distance, deagregation process was conducted. The results of deagregation was then used to select existing ground motion records, which recorded in earthquake of similar magnitude and at similar source-site distance. The purpose is to maintain the compatibility with the selected design earthquake parameters for Jakarta with respect to the frequency content and magnitude. As result, 15 the modified earthquake acceleration for Jakarta's bedrocks for a 2500 year return period is show on Figure 1.

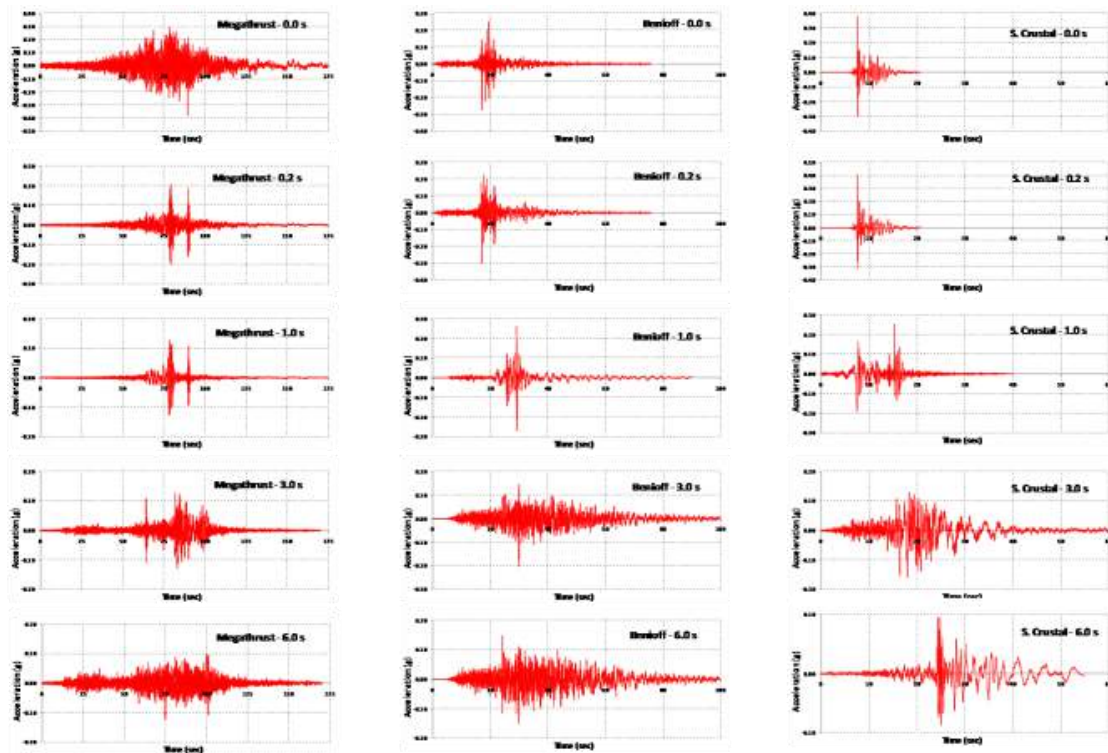


Figure 63. The modified earthquake acceleration for Jakarta's bedrocks for a 2500 year return period

The intensity of earthquake shaking on ground surface was predicted by carrying out *1-D* ground response analysis, where the response of horizontal soil layers was calculated under the influence of propagating shear waves in the vertical direction. Representative shear wave velocity (V_s) profile along boreholes were constructed down for each layer.

The V_s soil profiles constructed by utilizing available N - SPT value in 383 boreholes were established using the average value of 2 empirical correlations given in Ohta & Goto (1978) and Imai & Tonouchi (1982). The V_s profiles from end of boreholes to the base of the soil columns were extrapolated with assumption of V_s values increasing with the depth. The soil columns then were modelled by *NERA*. From the results of 5745 simulations of site response analysis, distribution of peak ground acceleration (PGA) at the ground surface were obtained. The contour map of mean plus one standard deviation then drawn on top of Jakarta in Figure 2.

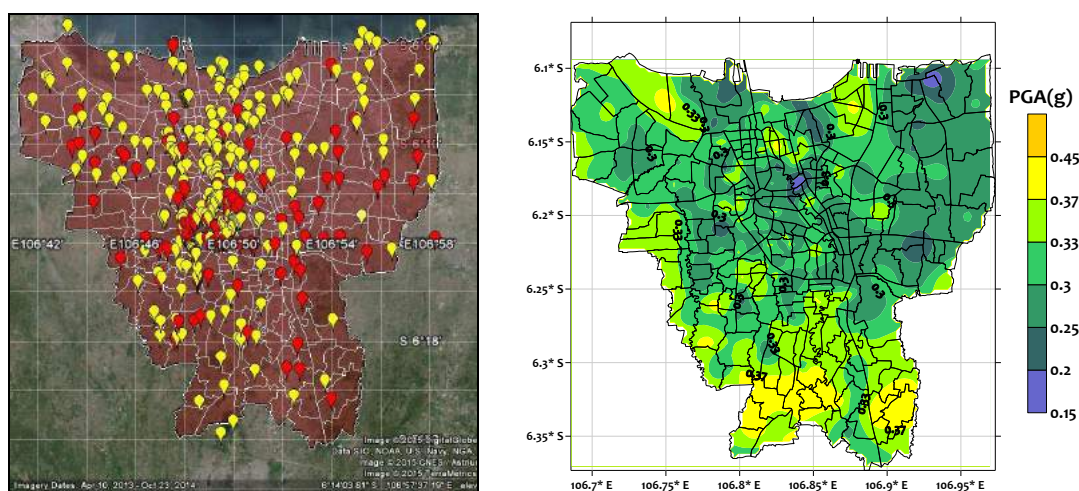


Figure 64. Data distribution of soil investigation and PGA contour for 2500 years earthquake return period by I - D ground response analysis

3. BUILDING INVENTORY

Jakarta with a very high population has many vital infrastructures as economic and government centers. In few last decades, the physical development in Jakarta city takes place rapidly along with population growth. The satellite imagery of land use from 1973 to 2013 in the city can be seen in Figure 3. Based on the *RTRW* spatial plan 2030 it was projected that there will be 12.5 million people in Jakarta by the year 2030. A residential building inventory had been developed using as the main source of information in *PERDA DKI Jakarta* no. 1 2014. The building stock was representing the projection of the number of households. The projection of the residents of settlements in the district levels was used to estimate the number of dwellings. Number of buildings were counted by dividing the projected population by the average number of residents per dwelling. By assuming the average number of residents to be 5 to 6 persons per dwellings, there were about 2.1 million of buildings spread out in Jakarta.

1973

1983

1993

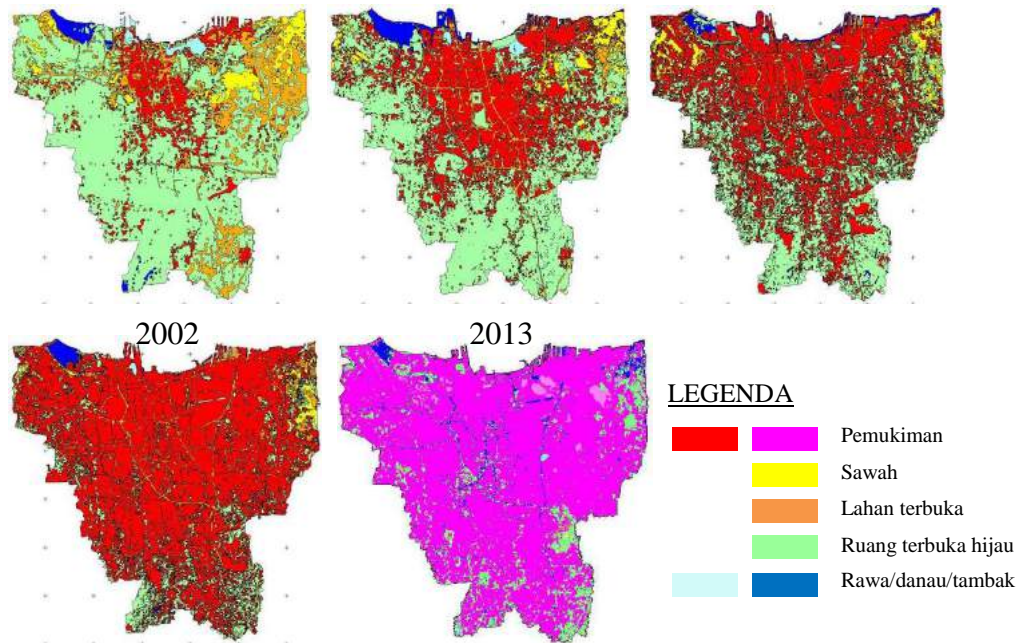


Figure 65. The satellite imagery of city land use (Trisakti, 2012 ; Febrianti dan Sofan, 2014)

The building classification scheme should preferably cover all types of conventional buildings that are available and that are representative for the target area. In doing so, local experts such as structural engineers have to be consulted in order to identify the local construction typologies and to identify their major characteristics. It is noted that the building stock of Jakarta is mainly characterized by old and modern buildings designed. Masonry building and concrete frame with unreinforced masonry infill walls (infilled frame) were assumed to be the dominant building constructions in the residential function zones. The percentage distribution of the building typology for each zone area was assumed by using the zones information in *PERDA DKI Jakarta* no. 1 2014 shown on Figure 4.

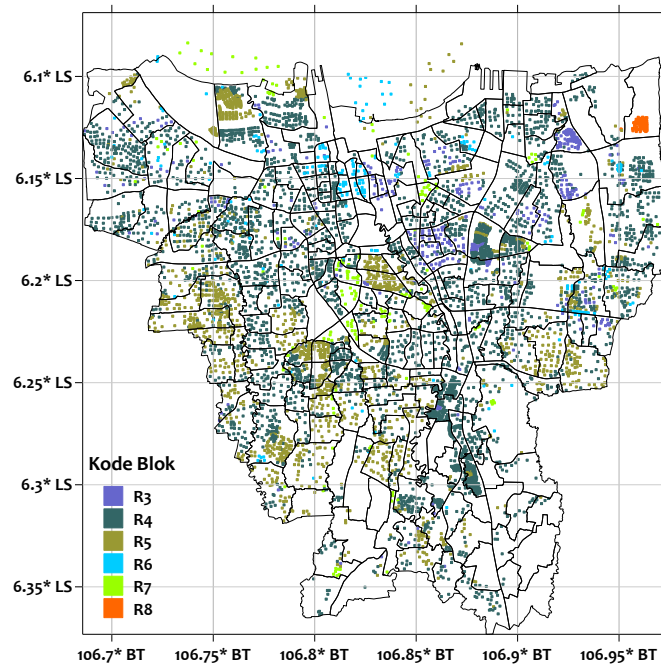


Figure 66. Distribution of Settlements in Jakarta 2030 based on RTRW Spatial Plan 2030

The spatial distribution of the exposure model was created following a 0.5x0.5 km² grid for population and buildings. Building number in each grid cell for each building type was counted all over the city. Figure 5 presented the final distribution of total residents of settlements and the total building stock (dwelling density) in different building typologies. Data collection consisted 861,367 (41%) buildings of infilled frame type; 1,199,289 (57%) buildings of confined masonry type and 39,415 (2%) buildings of unreinforced masonry type. The average population density was estimated to be 17,200 persons/km².

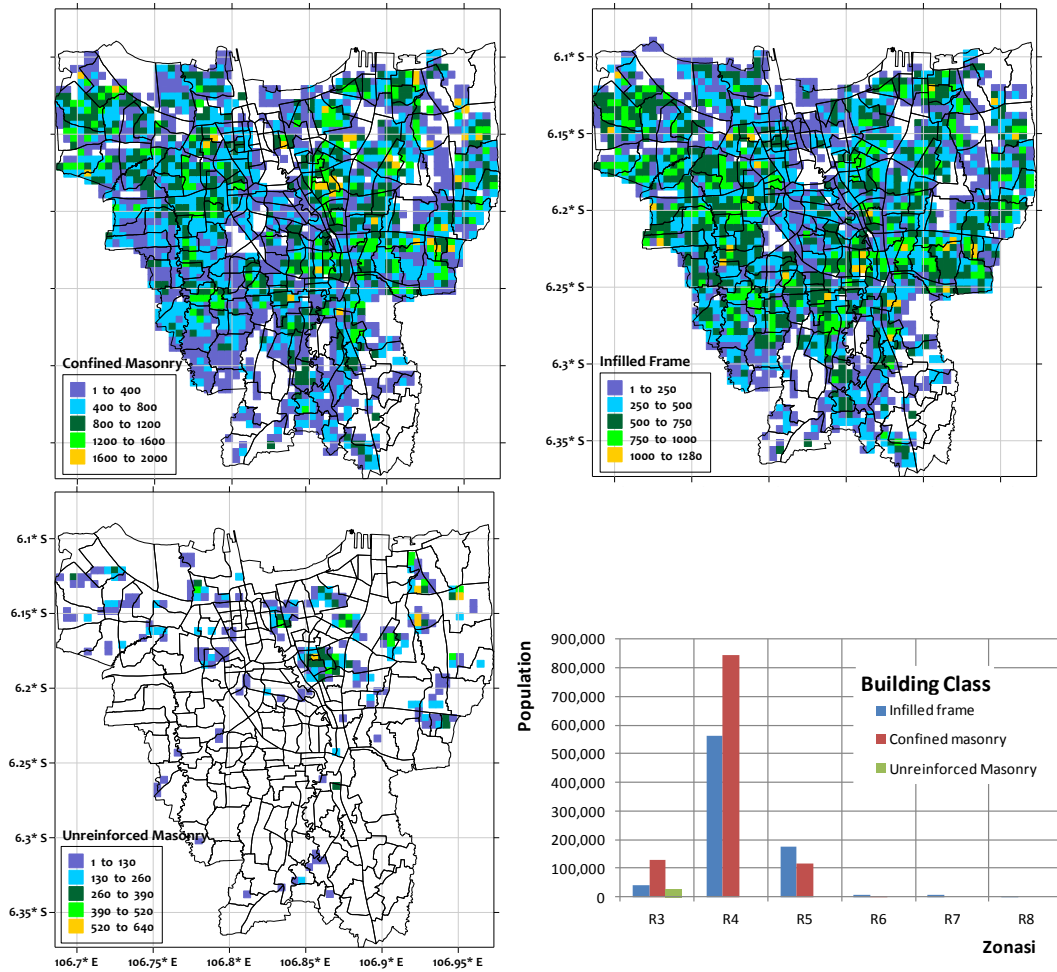


Figure 67. Distribution of residents of settlements and the dwelling density in different building typologies (plotted in 0.5x0.5 km² geounit)

4. SEISMIC DAMAGES ASSESSMENT

The building fragility or damage curve would be a key component in seismic damage assessment. This curve provided a relationship between the intensity of earthquake magnitud and the probability of structural damage of certain types of buildings. Unfortunately, there were no standard fragility functions that had been developed specifically for Indonesia. For this study, the standard fragility curves were then adopted from *HAZUS-MH MR4*. Even though these curves were not specifically developed for Jakarta's buildings, it is believed that these curves can be applied in order to represent the damage behavior of these typologies. The three structural systems classified into building of low-rise concrete frame with unreinforced masonry infill walls type (*C3L*)

for low code to special low code seismic design level and building of low-rise unreinforced masonry bearing walls type (*URML*) for low code seismic design level.

The fragility functions were developed as log-normal probability distributions from median (θ) and dispersion (β_{ds}) factors due to an equivalent value of *PGA* (g) shown on Table 1. The conditional probability of being in, or exceeding, a particular damage state (*e.g.*; slight, moderate, extensive and complete damage) was defined by Equation 1 and the estimates of building damages within area being considered were counted by using Equation 2 respectively. As result, the distribution of damage building (*e.g.*; confined masonry) for 2500 years earthquake scenario applied to 12.5 million people population projected at year 2030 were shown on Figure 6. And, Figure 7 provided a summary of damage building of the particular category at each damage state for 2500 years earthquake return period. The number totally buildings at complete damage state was projected to be 454,505 (21.6%).

$$P(D \geq ds | S = s) = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \cdot \ln \left(\frac{\theta}{\theta} \right) \right] \quad (1)$$

$$\sum Damage_{level-i} = P_{ds-i} * POP \quad (2)$$

where,

P_{ds-i} = fraction of buildings of the particular category at damage state-i

POP = building population within area being considered

Table 34. Damage factors adopted from HAZUS-MH MR4

Damage State	C3L - Special-Low Code		C3L - Low Code		URML - Low Code	
	θ (g)	β_{ds}	θ (g)	β_{ds}	θ (g)	β_{ds}
<i>Slight</i>	0.17	0.64	0.12	0.64	0.14	0.64
<i>Moderate</i>	0.25	0.64	0.17	0.64	0.2	0.64
<i>Extensive</i>	0.39	0.64	0.26	0.64	0.32	0.64
<i>Complete</i>	0.65	0.64	0.44	0.64	0.46	0.64

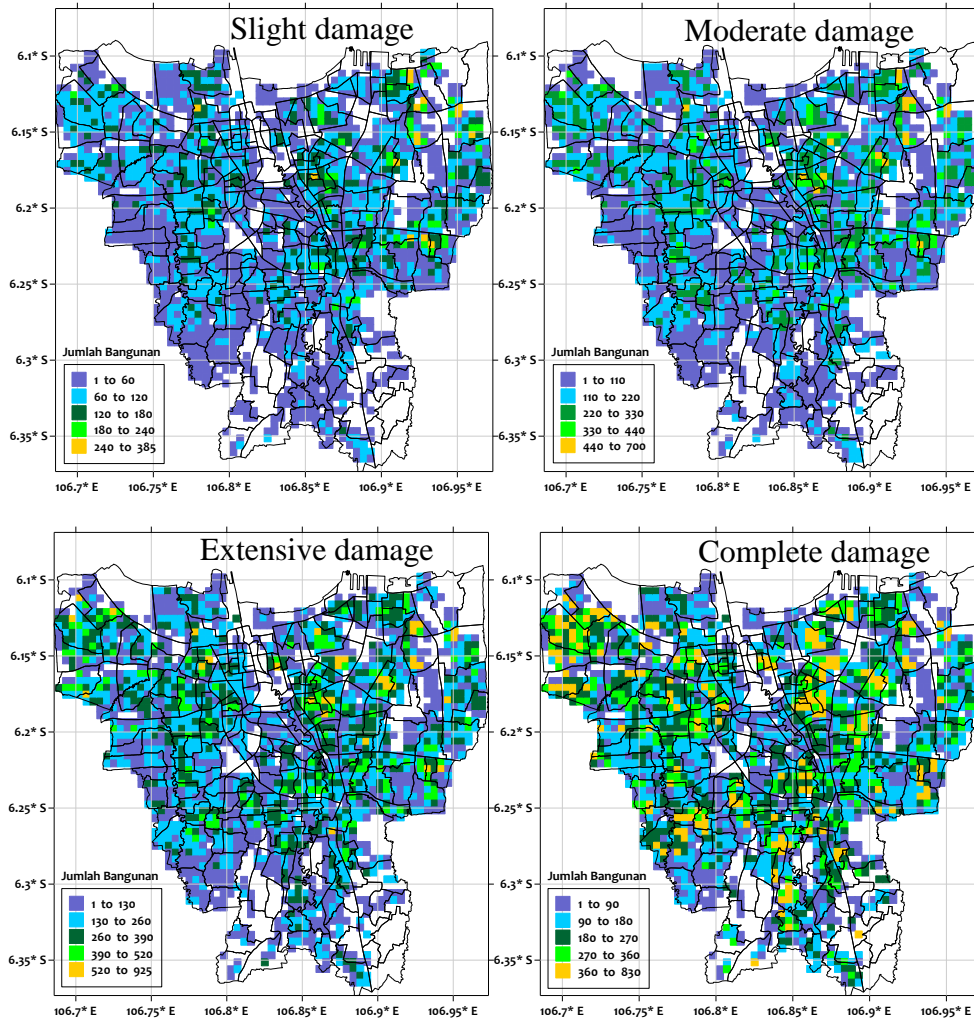


Figure 68. Distribution of damage building of confined masonry for 2500 years earthquake scenario applied to 12.5 million people population projected at year 2030 in Jakarta (plotted in 0.5x0.5 km² geounit)

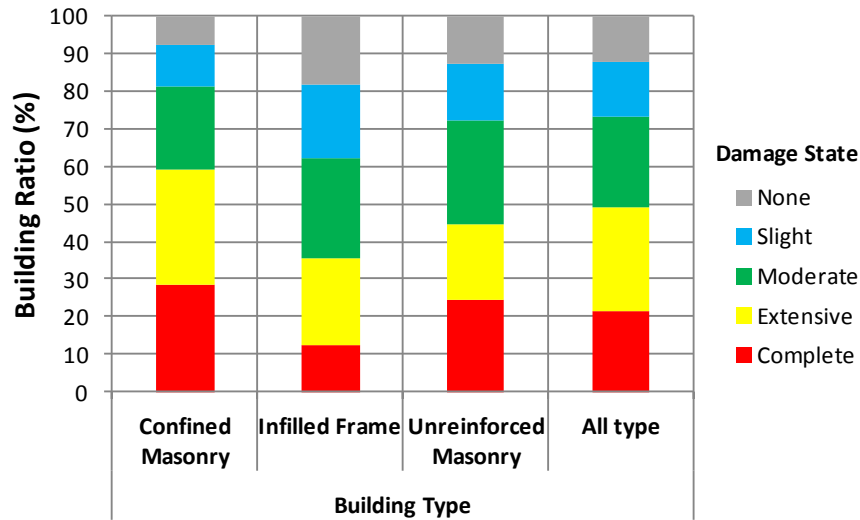


Figure 69. The summary of damage building of the particular category at each damage state for 2500 years earthquake return period.

5. CONCLUSION

The site response analysis had been performed for estimating intensity of earthquake shaking at soil surface layer in Jakarta city. From the scenario of 2500 years earthquake return period applied to 12.5 million people population projected at year 2030 in Jakarta, it was about 88% buildings in residential zones would be affected by ground shaking.

6. REFERENCES

- Bardet, J.P. and Tobita, T., 2001. *NERA*, "A Computer Program for Nonlinear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits". Departement of Civil Engineering USC, LA.
- Febrianti, N. dan Sofan, P. 2014. Ruang Terbuka Hijau di DKI Jakarta Berdasarkan Analisis Spasial dan Spektral Data LANDSAT 8, Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014, IPB, Bogor.
- FEMA, 2003. HAZUS-MH MR4. *Technical Manual*, Washington.
- Imai, T. and Tonouchi, K. 1982. Correlation of N-value with S-wave Velocity and Shear Modulus. *Proceeding of The 2nd European Symposium of Penetration Testing*, Amsterdam, 57-72.

- Irsyam, M., Sengara, I.W., Asrurifak, M., Ridwan, M., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawijaya, D.H., Kertapati, E., Meilano, I. and Suhardjono. 2010. *Summary: Development of Seismic Hazard Maps of Indonesia for Revision of Seismic Hazard Map in SNI 03-1726-2002*. research report submitted to the Ministry of Public Works by Team for Revision of Seismic Hazard Maps of Indonesia.
- McGuire, R. 1995. Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Deign Earthquakes: Closing the Loop. *Bulletin of the Seismological Society of America*, (85), 1275-1284.
- Ohta, Y. and Goto, N. 1978. Empirical Shear Wave Velocity Equations In Term Of Characteristic Soil Indexs. *Earthquake Engineering Structural Dyanamics*, 6(2), 167-187.
- Sekretariat Daerah DKI Jakarta. 2014. *PERDA Provinsi DKI Jakarta no. 1 tahun 2014 tentang RDTR dan Peraturan Zonasi*.
- SNI-1726-2012. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, BSN, Jakarta.
- Trisakti, B. 2012. Pamanfaatan Data Citra Satelit Dalam Mendukung Pengelolaan SDA (Optimalisasi Pemanfaatan Sistem Informasi Geografi dalam Perencanaan Ruang Konservasi Bogor, 2012). Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN, Jakarta.

7. ACKNOWLEDGMENTS

Authors would like to thank Government of DKI Jakarta for supporting data used in this study.

Preferensi Masyarakat Melakukan Evakuasi Jika Terjadi Bencana Tsunami di Kota Padang

Fitra Rifwan¹, Purnawan², Prima Zola³

¹Mahasiswa Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: rifwanpiliang@gmail.com

²Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: purnawan@eng.unand.ac.id

³Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: primazola2012@yahoo.co.id

ABSTRACT

Safety and accessibility can be obtained by walking in a evacuation process of disaster. The walking mode should be cultivated to anticipate crowded situation in the process, such as the tsunami threat. A wrong mode which is choosen can make the inefficient movement. It is a problem that should be solved, especially for cities of vulnerable disaster, like Padang. The research had been conducted to view the problem. It focused on looking at people's preferences when the process occur. The preferences were related to mode, direction of the movement and the people needs when they choose walking in the process. To support the research, the data were collected and analyzed using descriptive analysis and logical framework. They resulted above 50% of 160 samples wanted to walk and facilities combined the traffic management during the process.

ABSTRAK

Keselamatan dan kemudahan saat evakuasi bisa diperoleh dengan berjalan kaki. Pemilihan moda berjalan kaki saat proses evakuasi, khususnya bencana tsunami harus dibudayakan. Hambatan pergerakan saat proses evakuasi adalah suatu masalah terkait kecenderungan pemilihan moda yang tidak tepat. Semua kota rawan bencana, salah satunya Kota Padang, harus merespon masalah ini. Kota ini merupakan daerah yang rentan Bencana Tsunami. Penelitian untuk menjawab masalah sebelumnya perlu untuk diadakan di kota ini. Penelitian tersebut sudah dilakukan dengan tujuan melihat preferensi masyarakat jika terjadi evakuasi. Kecenderungan yang dimaksud berhubungan dengan pemilihan moda, arah evakuasi dan yang dibutuhkan pejalan kaki jika terjadi proses evakuasi. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini diolah dengan analisis deskriptif dan *logical framework*. Hasil yang diperoleh adalah jumlah yang mau berjalan kaki diatas 50% dari 160 sampel responden. Mereka menginginkan fasilitas dan manajemen lalu-lintas saat evakuasi jika proses itu terjadi.

Kata Kunci : preferensi, evakuasi, analisis deskriptif, *logical framework*.

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan lalu lintas dan evakuasi selama bencana adalah hal penting yang perlu dipikirkan dan dilaksanakan. Fasilitas lalu lintas atau transportasi yang ada, khususnya pada kota-kota rawan bencana seharusnya mampu membantu mengarahkan manusia yang melakukan evakuasi selamat ke tempat yang aman nantinya, jika proses itu terjadi. Prinsip sederhananya adalah waktu dan jarak tempuh yang dimudahkan oleh fasilitas-fasilitas yang dimaksud. Waktu cepat dan jarak tempuh singkat sangat mampu meperlancar sistem evakuasi dalam rangka mitigasi bencana. Evacuation system is managed, concern to evacuation planning, resources utilizations, policy requirements and system risks (Lu et al., 2013). Empat point ini bersinergi dengan dalam mendukung kelancaran sistem evakuasi.

Beberapa kegiatan evakuasi bencana yang pernah terjadi sebelumnya dan tidak berjalan dengan lancar adalah ketika gempa yang menyerang Kota Padang 12 tahun yang silam. Pemilihan moda yang saat itu bersifat cepat dan tidak mempertimbangkan kondisi lalu lintas menghasilkan proses evakuasi berhenti hanya dimulut jalur evakuasi yang disediakan oleh pemerintah kota. Moda kendaraan bermotor seperti mobil dan sepeda motor yang diharapkan memiliki kecepatan dan daya angkut, tidak bisa bergerak karena kemacetan total saat itu (Rifwan, 2012).

Kondisi ini mungkin akan terulang mengingat Kota Padang sangat rawan bencana. Penduduk yang terkena dampak, khususnya pada zona merah hanya punya waktu yang singkat dan tempat evakuasi terdekat untuk digapai ketika terjadi proses evakuasi nantinya, apabila ini didasarkan ancaman tsunami pada 12 Tahun silam (Imamura et al., 2012). Maksudnya, evakuasi vertikal dengan jarak tempuh dan waktu singkat sangat efisien, jika dibandingkan evakuasi horizontal ke zona aman dengan jarak tempuh yang jauh dan itu harus ditempuh dengan berjalan kaki. Sistem evakuasi yang seperti ini harus dikelola dari sekarang. Tentunya, ada hal-hal yang mendukung seperti perencanaan fasilitas bagi orang dengan moda berjalan kaki saat evakuasi. Fasilitas tersebut bisa berupa rambu, trotoar, dan *shelter* untuk evakuasi vertikal yang dimaksud.

Masalah muncul sekarang ini dimana Kota Padang yang tergolong kepada salah satu kota rawan bencana di Indonesia memiliki beberapa lokasi yang keadaan trotoarnya masih dibawah level aman. Kondisi ini ada pada Jalan Perintis Kemerdekaan Jati yang LOS nya F (Wahab dan Yendra, 2017) dan pada Jalan Khatib Sulaeman LOS nya berada pada level D yang harusnya minimal C (Febrianto dan Syahbana, 2017). Dua lokasi ini sangat padat penduduk dan pergerakan orang. Lokasi ini juga berjarak kurang lebih 1 km dari bibir pantai. Apabila terjadi proses evakuasi karena bencana, potensi pergerakan yang *massive* akan muncul.

Masalah LOS dan moda yang dipilih saat evakuasi Tahun 2009 yang lalu mengindikasikan bahwa perlu peninjauan dan melihat jumlah yang berjalan kaki, arah pergerakan serta hal-hal yang dibutuhkan jika terjadi evakuasi di Kota Padang, Penelitian yang sangat fokus terkait hal tersebut memang sudah ada. Namun, penelitian-penelitian yang terdahulu membatasi cakupannya hanya pada pemilihan moda dan rute yang akan dipakai saat evakuasi. Diperlukan penelitian untuk meninjau hal-hal yang dijelaskan sebelumnya seperti penelitian yang sudah dilakukan ini. Tujuan yang akan dicapai mengarah kepada pengetahuan seperti apa preferensi perilaku orang di Kota Padang jika terjadi proses evakuasi bencana tsunami. Tujuan tersebut mencakup aspek-aspek: usia, moda, arah pergerakan, dan item-item yang dibutuhkan pada proses itu.

1.1 Studi Pustaka

Berjalan kaki adalah moda yang efektif ketika situasi darurat seperti bencana karena efisien terhadap kecepatan dan waktu untuk mencapai tempat pengungsian sementara yang terdekat (Rifwan, 2012). Kelancaran arus pejalan kaki (pedestrian) saat evakuasi bisa tergambar saat mereka secara bersama-sama melakukan evakuasi dalam keramaian. Perlu suatu manajemen untuk mengarahkan pergerakannya.

Manajemen pergerakan pedestrian dalam keramaian ini perlu dikelola dan diatur (Vermuyten et al., 2016). Pengaturan ini tentu didasarkan pada efektifitas pergerakan mencapai tujuan. Hal ini harus didukung oleh fasilitas-fasilitas pendukung yang ada bagi pedestrian. Fasilitas-Fasilitas yang penting dan utama sekali bagi pedestrian saat evakuasi adalah rambu dan jalur berupa trotoar (Rifwan, 2012). Kondisi fasilitas-fasilitas tersebut bisa diukur melalui tingkat kinerjanya atau *Level of Service (LOS)*, khususnya bagi trotoar.

Kondisi trotoar hendaknya sanggup melayani arus pejalan kaki baik pada *daily activities* maupun saat melayani proses evakuasi. Dapat diartikan jika kondisi trotoar pada *daily activities* tidak pada LOS yang bagus maka dipastikan untuk kondisi *emergency* seperti proses evakuasi, trotoar akan sulit menampung pergerakan pengungsi yang berjalan kaki. Oleh karena itu, pengembangan fungsi trotoar dari prasarana pejalan kaki untuk *daily activities* menjadi jalur evakuasi bencana harus dilakukan (Suryobuwono dan Ricardianto, 2011).

Ada beberapa variabel yang perlu dipahami dalam menjelaskan dan merancang fasilitas untuk pejalan kaki, khususnya saat proses evakuasi. Beberapa variabel yang dimaksud berasal dari penelitian sebelumnya seperti yang terlihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Variabel-Variabel dalam Penelitian Terdahulu

Penulis	Variabel
1	2

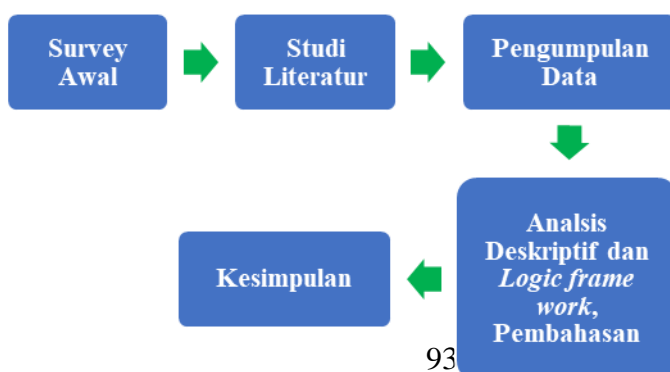
Choi, et al., (2019).	<i>pedestrian safety</i>
Sze, Su, dan Bai, (2019).	<i>pedestrian crash, walking frequency, zonal population of people, motorized movement</i>
Zheng, et al., (2019).	<i>panic, following, dan cluster yang bisa dimanfaatkan saat emergency situation, seperti evakuasi bencana</i>
Ashasi-Sorkhabi, et al., (2019).	<i>facilitiy structures</i>
Zhu dan Yang, (2019).	<i>pedestrian speed</i>
Kim, (2019).	<i>Corelation between age and speed of pedestrian</i>
1	2
Kusuma, Tjahjono, dan D. G. Arisyi, (2018).	<i>saving time, walking distance, dan gender.</i>
Vermuyten, et al., (2016).	jumlah pengungsi, lama waktu yang direncanakan untuk evakuasi, dan aliran pengungsi yang menggunakan fasilitas saat dipakai untuk proses evakuasi
Song, et al., (2016).	<i>pedestrian speed</i>
Liu, Sun, dan Bie, (2015).	waktu tempuh ke suatu tempat dengan menggunakan fasilitas tersebut dan kecepatan saat melewatinya
Li dan Niu, (2015).	<i>pedestrian satisfaction</i>
Liu, et al., (2015)	<i>pedestrian flow</i>
Easa dan Cheng, (2013).	<i>pedestrian safety</i>
Rastogi, Thaniarasu, dan Chandra, (2011).	<i>pedestrian speed</i>

Berdasarkan Gambar 1, dapat disimpulkan variabel-variabel yang sesuai dan menjadi dasar dalam merancang fasilitas pejalan kaki adalah *safety, speed, distance, dan saving time*. Variabel-Variabel ini nantinya yang sebagian besar akan digunakan dalam merancang pernyataan-pernyataan kuisioner penelitian disamping teori evakuasi yang juga digunakan.

metodologi penelitian ini.

1.2 Metodologi

Penelitian ini mengikuti alur seperti Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir pada Gambar 1. menjelaskan bahwa tahapan-tahapan penelitian ini dimulai dengan survey awal melihat kondisi berupa masalah-masalah yang berkembang saat ini terkait proses evakuasi bencana dan fasilitas pejalan kaki dalam mendukung proses tersebut. Setelah melakukan survey awal, dilakukan lagi observasi untuk meyakinkan dari kebenaran masalah-masalah tersebut. Masalah-Masalah yang ditinjau tersebut disesuaikan dengan literatur yang terkait untuk membuat *platform* atau dasar untuk menyokong dan memandu tentang penelitian ini. Literatur terkait yang dimaksud adalah artikel—artikel dari beberapa jurnal yang menjelaskan tentang pejalan kaki dan evakuasi.

Penelitian ini berjenis deskriptif dengan bantuan angket. Angket dibagikan kepada sampel dengan sistem. Fraenkel dan Wallen (dalam Amirullah, 2014) menjelaskan besar sampel minimum untuk penelitian deskriptif sebanyak 100. Sampel yang didapatkan sebanyak 161 responden telah melebihi syarat itu. Sampel ditetapkan dengan teknik *purposive* melalui kriteria-kriteria pemahaman tentang evakuasi dan moda transportasi (Hidayat, 2017). Lokasi penelitian sampel adalah Kota Padang, Sumatera Barat, Indonesia.

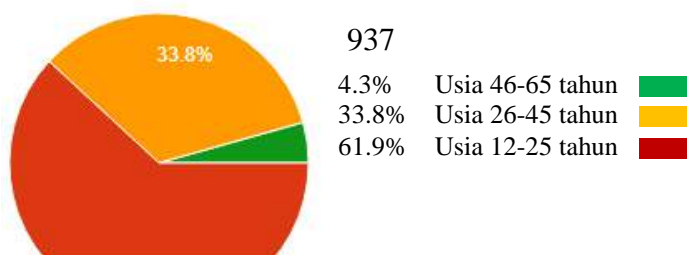
Angket tersebut adalah disebarikan dengan *daring*, bantuan *google form*, kepada sampel yang dipilih. Pernyataan angket yang diajukan berdasarkan kepada indikator usia menurut Departemen Kesehatan Republik Indonesia 2009 (Santika, 2015), kecepatan berjalan normal seseorang (National Research Council, 2000), kecepatan berlari, waktu, jarak tempuh yang bisa dicapai (Rahmadhani, Suprayogi, dan Sabri, 2013), dan keinginan saat evakuasi jika berjalan kaki.

Hasil angket dianalisis secara persentase dan menggunakan *logical framework analysis* sederhana untuk diambil interpretasinya (USAID, 2012). Interpretasi penelitian ini dimunculkan pada analisis dan pembahasan dan ditarik kesimpulan dari sasaran yang diinginkan sesuai dengan hasil yang didapatkan.

2. HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

2.1 Kategori Usia Responden

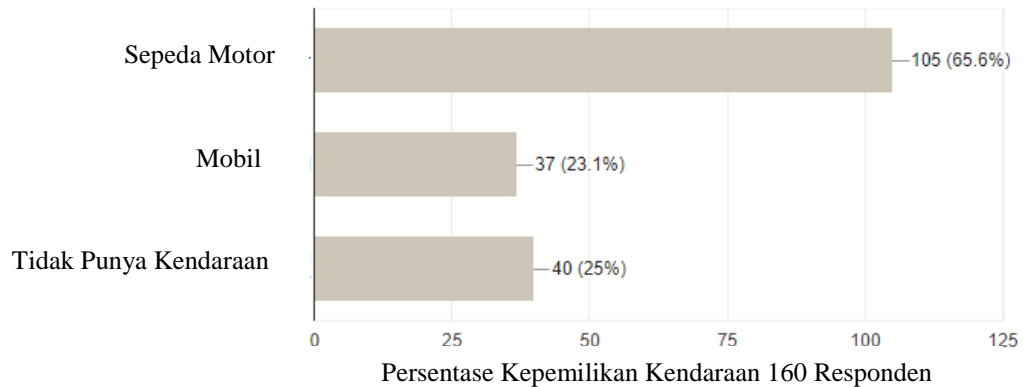
Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah terkait karakteristik penduduk di Kota Padang yang sebagian besar responden dengan kriteria 12-25 tahun. Usia ini tergolong



masa remaja menurut kategori pada Departemen Kesehatan Republik Indonesia 2009 (Santika, 2015). Lebih jelasnya bisa dilihat pada *pie chart* Gambar 2 berikut.

2.2 Kepemilikan Kendaraan Responden

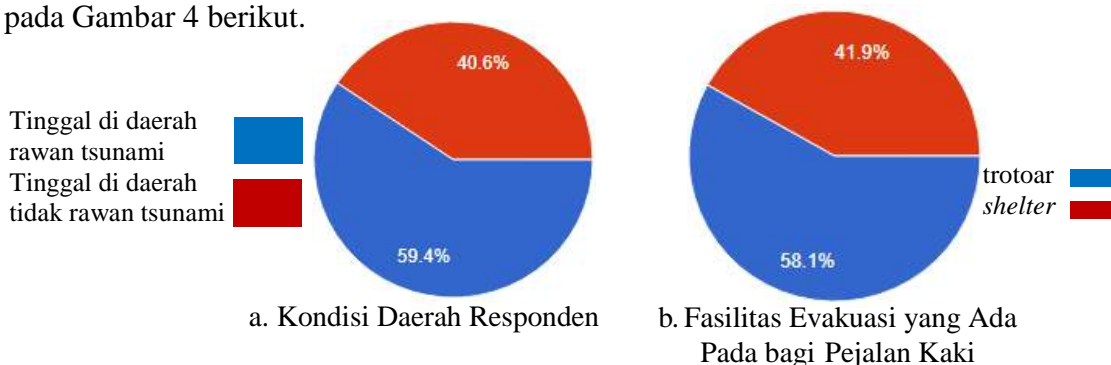
Sementara, tipe jenis kendaraan (Gambar 3) yang dimiliki didominasi oleh sepeda motor sebanyak 105 dari 160 responden. Sedangkan, jenis yang lain (mobil) hanya 23,1% dan 25% lagi tidak punya kendaraan



Gambar 3. Persentase Kepemilikan Jenis Kendaraan

2.3 Kondisi *Existing* Daerah Responden

Melalui survey juga diperoleh data tempat tinggal sampel, sebanyak 59,4% berada pada daerah berpotensi tsunami (radius ± 2.5 km). Pada zona tersebut 58,1% memiliki fasilitas trotoar dan 41,9% terdapat *shelter* pengungsian, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



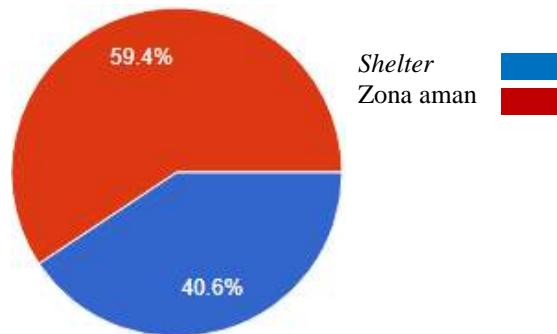
Gambar 4. Kondisi Daerah Responden dan Fasilitas Evakuasi yang Ada

2.4 Moda Pergerakan, Tujuan dan Item-Item yang Dibutuhkan Jika Proses Evakuasi Terjadi

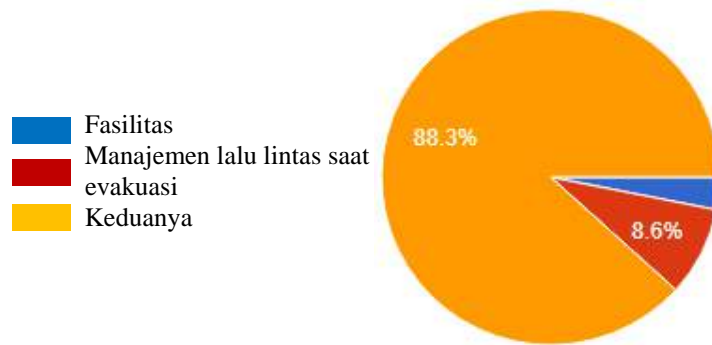
Kemudian, moda pergerakan mereka saat evakuasi nantinya, dominannya 80,6% memilih berjalan kaki dengan 59,4% memilih tujuan zona aman dan 40,6% *shelter* pengungsian. Sedangkan bagi mereka yang memilih berjalan kaki atau sebagai pedestrian, 88,3% membutuhkan 2 item yaitu fasilitas dan manajemen lalu lintas selama evakuasi. Selebihnya, 8,6% membutuhkan pengelolaan manajemen saja dan 3,1% membutuhkan fasilitas saja. Penjelasan-Penjelasan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5, 6 dan 7 berikut.



Gambar 5. Jumlah Responden yang Memilih Berjalan Kaki jika Proses evakuasi Terjadi di Kota Padang



Gambar 6. Tujuan Evakuasi Responden jika Proses evakuasi Terjadi di Kota Padang



Gambar 7. Hal-Hal yang Mendukung Responden yang akan Berjalan Kaki jika Proses evakuasi Terjadi di Kota Padang

2.5 Analisis Logical Framework

Dalam membuat kerangka *output* dari data yang dianalisis sebelumnya, digunakan metode *logical framework analysis*. Metode ini akan membantu menjelaskan tujuan utama dengan membaginya menjadi bagian-bagian detail. Pada setiap bagian terdapat indikator, sumber data dan asumsi yang berdasarkan kepada tujuan tersebut. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Analisis *Logical Framework* Bentuk Pergerakan Pejalan Kaki

Hirarki Tujuan	Indikator-Indikator	Sumber Data	Asumsi
1	2	3	4
Goal Pengelolaan proses evakuasi yang efisien bagi orang berjalan kaki	Efisiensi waktu Efisiensi jarak	Jumlah orang berjalan kaki yang sampai di <i>shelter</i> (tempat pengungsian terdekat)	59,4% masyarakat berada pada zona rawan bencana tsunami
Purpose	Minat untuk berjalan	Jumlah pengungsi	80,6% berminat

Mengurangi penggunaan kendaraan bermotor saat evakuasi	kaki saat mengungsi	yang berminat berjalan kaki saat evakuasi	untuk berjalan kaki saat mengungsi
Outcome Membangun fasilitas trotoar Menempatkan <i>shelter</i> pengungsian yang tidak jauh dari pemukiman	Fasilitas trotoar <i>Shelter</i>	Jumlah trotoar Jumlah shelter	58,1% pemukiman rawan bencana ada trotoar 44,4% pemukiman rawan bencana ada <i>shelter</i>
Input Mengumpulkan data karakteristik penduduk saat evakuasi	Penduduk di Kota Padang Kebutuhan saat evakuasi bagi yang berjalan kaki	Persentase kategori usia Persentase kebutuhan yang berjalan kaki saat evakuasi	61,9 % kategori usia 12-25 tahun 88,3% membutuhkan manajemen lalu lintas evakuasi dan fasilitas

Melalui analisis deskriptif dan *logical framework* (Tabel 2) yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat diketahui bahwa sebagian besar penduduk Kota Padang sangat mendukung pergerakan dengan moda berjalan kaki. Indikatornya bisa diukur dari gambaran bahwa diatas 50% memilih moda berjalan kaki jika terjadi proses evakuasi nantinya. Mencapai tujuan utama tersebut (*goal*) diperlukan frame *purpose*, *outcome*, dan *input* yang mendukungnya.

Gambaran tentang daerah rawan bencana tsunami juga sudah terlihat dengan jelas pada kerangka *outcome*. Asumsi (*assumptions*) bahwa adanya fasilitas trotoar dan *shelter*, dapat membangkitkan minat pejalan kaki nanti saat proses tersebut. Oleh karena itu, kerangka dasar seperti asumsi kebutuhan pejalan kaki berupa fasilitas-fasilitas tersebut dan manajemen lalu lintas evakuasi bisa menjadi bahan pertimbangan.

3. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa masyarakat Kota Padang cenderung akan berjalan kaki jika terjadi proses evakuasi. Kelancaran proses tersebut diharapkan dapat berjalan lancar dengan dukungan fasilitas (trotoar dan *shelter*) dan manajemen lalu lintasnya. Nantinya, diharapkan kesimpulan ini menjadi data untuk penelitian selanjutnya terkait desain dan manajemen lalu lintas orang yang berjalan kaki saat proses evakuasi. Penelitian selanjutnya harus didukung dengan jumlah sampel yang besar berdasarkan daerah sebaran zona mera di Kota Padang.

4. DAFTAR PUSTAKA

- Amirullah. (2014). *Menentukan Ukuran Sampel*. Retrieved October 4, 2019, from Sinar Akademika Malang website: <https://sinarakademikamalang.wordpress.com>.
- Ashasi-Sorkhabi. et al. (2019). Mitigating Pedestrian Bridge Motions Using a Deployable Autonomous Control System. *Journal of Bridge Engineering*, 24(1), 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001304](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001304)
- Choi, J. et al. (2019). Behaviors of Older Pedestrians at Crosswalks in South Korea. *Accident Analysis and Prevention*, 127(May 2018), 231–235. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.03.005>.
- Febrianto, S., dan Syahbana, J. A. (2017). *Kajian Kualitas dan Tingkat Pelayanan Jalur Pedestrian di Koridor Jalan Khatib Sulaeman Kota Padang*. *Jurnal Teknik PWK*, 5(1), 51–57. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/pwk/article/view/22247>.
- Hidayat, A. (2017). *Penjelasan Teknik Purposive Sampling Lengkap Detail*. Retrieved from Statiskian website: <https://www.statistikian.com/2017/06/penjelasan-teknik-purposive-sampling.html>.
- Imamura, F. et al. (2012). *Tsunami Disaster Mitigation by Integrating Comprehensive Countermeasures in Padang City, Indonesia*. *Journal of Disaster Research*, 7(1), 48–64. Retrieved from https://scholar.google.co.id/scholar?q=Tsunami+Disaster+Mitigation+by+Integrating+Comprehensive&hl=en&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart.
- Kim, D. (2019). *The Transportation Safety of Elderly Pedestrians: Modeling Contributing Factors to Elderly Pedestrian Collisions*. *Accident Analysis dan Prevention*, 131(July), 268–274. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.07.009>.
- Kusuma, A., Tjahjono, T., dan D. G. Arisyi. (2018). *Pedestrian Perception in Pathway Facilities Improvement*. *International Conference on Transportation and Development* 2018, 289–298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1061/9780784481561.004>.
- Li, S., dan Niu, H. (2015). *Simulation of Pedestrian Evacuation Flow Based on Crowd Space*. *Fifth International Conference on Transportation Engineering*, (2001), 2754–2760. <https://doi.org/https://doi.org/10.1061/9780784479384.192>.
- Liu, Y., Sun, C., dan Bie, Y. (2015). *Modeling Unidirectional Pedestrian Movement: An Investigation of Diffusion Behavior in The Built Environment*. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/308261>.
- Lu, Y. et al. (2013). *A Scenario-Based Modeling Approach for Emergency Evacuation Management and Risk Analysis Under Multiple Uncertainties*. *Journal of Hazardous Materials*, 246–247, 234–244. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.11.009>.

- National Research Council. (2000). *Highway Capacity Manual*, ISBN 0-309-06681-6. United States of America: Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- Rahmadhani, N., Suprayogi, A., dan Sabri, L. (2013). *Analisis Aksesibilitas Shelter Evakuasi Tsunami Di Kota Padang Berbasis Sistem Informasi Geografis*. *Jurnal Geodesi Undip*, 2(1), 1–11. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/2221/2241>.
- Rastogi, R., Thaniarasu, I., dan Chandra, S. (2011). *Design Implications of Walking Speed for Pedestrian Facilities*. *Journal of Transportation Engineering*, 137(10), 687–696. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000251](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000251).
- Rifwan, F. (2012). *Studi Evaluasi Eefektifitas Penggunaan Jalur Evakuasi Pada Zona Berpotensi Terkena Bencana Tsunami di Kota Padang*. Andalas.
- Santika, I. G. P. N. A. (2015). *Hubungan Indeks Massa Tubuh (IMT) dan Umur Terhadap Daya Tahan Tubuh Umum (Kardiovaskuler) Mahasiswa Putra Semester II Kelas A Fakultas Pendidikan Olahraga dan Kesehatan IKIP PGRI Bali Tahun 2014*. *Jurnal Pendidikan Kesehatan Rekreasi* ISSN : 2337 – 9561, 1, 42–47. Retrieved from [fpok.ikipgribali.ac.id > upload > jurnal > jurnal10](http://fpok.ikipgribali.ac.id/upload/jurnal/jurnal10).
- Song, L. et al. (2016). *Analysis of Pedestrian Crossing Speed in Unsignalized Controlled Sections*. *Journal of Highway and Transportation Research and Development (English Edition)*, 10(4), 83–88. <https://doi.org/10.1061/jhtrcq.0000539>.
- Suryobuwono, A. A., dan Ricardianto, P. (2011). *Perencanaan Trotoar Dalam Rangka Pavement Construction Planning*. *Jurnal Manajemen Transportasi dan Logistik* ISSN 2355-4721, 13(2), 181–190. Retrieved from <http://ejournal.stmt-trisakti.ac.id/index.php/jmtranslog/article/view/155/127>.
- Sze, N. N., Su, J., dan Bai, L. (2019). *Exposure to Pedestrian Crash Based on Household Survey Data: Effect of Trip Purpose*. *Accident Analysis and Prevention*, 128(March), 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.03.017>.
- USAID. (2012). *Technical Note The Logical Framework* (2nd ed.). Retrieved from www.usaid.gov.
- Vermuyten, H. et al. (2016). *A Review of Optimisation Models for Pedestrian Evacuation and Design Problems*. *Safety Science*, 87, 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.001>.
- Wahab, W., dan Yendra, D. G. (2017). *Analisis Kinerja Ruas Jalan Perintis Kemerdekaan Jati - Padang*. *Jurnal Teknik Sipil ITP* ISSN: 2354-8452, 4(1), 79–86. Retrieved from <https://ejournal.itp.ac.id/index.php/tsipil/article/view/818>.

- Zheng, L. et al. (2019). *Simulation of Pedestrian Evacuation Considering Emergency Spread and Pedestrian Panic*. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 522, 167–181. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.01.128>.
- Zhu, H., dan Yang, X. (2019). *Analysis of Pedestrian-Crossing Speed Characteristics at Traffic Intersections*. *19th COTA International Conference of Transportation Professionals*, (2002), 1517–1529. <https://doi.org/10.1061/9780784482292.027>.

DAMPAK RESIKO DAN BENCANA TAMBANG EMAS ILEGAL

Jon Hafnil¹

¹Mahasiswa doktoral Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: johnafnil@gmail.com

ABSTRACT

Illegal gold mining has increased in the world triggered by the rising of mineral and gold prices and the increasing difficulty of earning a living in developing countries. No less than 40.5 million people in the world play an active role and 150 million people depend on illegal gold mining. Illegal gold mining is recognized as a big contributor to national income in poor and developing countries. This study aims to determine the impact and disaster of illegal gold mining activities using the literature study method. This illegal gold mining provides employment opportunities, growth of local industry and contributes state income. But social negative impacts are inevitable such as the high dropout rates and exploitation of underage workers, prostitution and changes in local culture. The lack of regulation and poor supervision of illegal gold mining has impacts on the environment and the occurrence disasters such as environmental pollution (land, air, and water), forest and land damage, landslides, erosion and land subsidence.

Keywords : Illegal gold mine, risk, disaster, impact, sosioeconomic, environment

ABSTRAK

Peningkatan angka penambangan emas ilegal di dunia dipicu karena naiknya harga mineral dan emas dunia dan semakin sulitnya kehidupan masyarakat di negara berkembang. Tidak kurang dari 40,5 juta orang di dunia berperan aktif dan 100 juta orang bergantung hidup dari penambangan emas ilegal. Pertambangan emas ilegal diakui sebagai penyumbang pendapatan nasional di negara miskin dan negara berkembang. Studi ini bertujuan untuk mengetahui dampak dan bencana dari aktivitas pertambangan emas ilegal dengan menggunakan metode studi literatur. Pertambangan emas ilegal ini membuka lapangan pekerjaan, pertumbuhan industri lokal dan memberi pendapatan negara. Namun berdampak negatif secara sosial yang tidak dielakkan seperti besarnya angka putus sekolah dan eksploitasi pekerja di bawah umur, prostitusi dan perubahan budaya lokal. Regulasi yang kurang dan buruknya pengawasan pertambangan emas ilegal ini menimbulkan dampak pada lingkungan dan terjadinya bencana seperti pencemaran lingkungan (tanah, udara, dan air), kerusakan hutan dan lahan, terjadi bencana longsor, erosi dan penurunan tanah.

Kata Kunci : Penambangan emas ilegal, resiko, bencana, dampak, sosial ekonomi, lingkungan

1. PENDAHULUAN

Pertambangan emas ilegal atau di Indonesia lebih dikenal dengan istilah Pertambangan Emas Tanpa Izin (PETI) juga dikenal dengan istilah “*artisanal gold mining*” (Seccatore *et al.*, 2014) merupakan sektor sosial ekonomi penting bagi negara-negara berkembang. Pertambangan emas ilegal yang diartikan sebagai usaha pertambangan yang dilakukan oleh perseorangan, sekelompok orang, badan hukum yang dalam operasinya tidak memiliki izin pemerintah sesuai peraturan yang berlaku (Seccatore *et al.*, 2014; Wahyudi and Slameto, 2014). Pertambangan emas ilegal berskala kecil berkembang secara signifikan dalam beberapa tahun belakang seiring naiknya harga mineral di dunia. Faktor lain yang memicu berkembangnya aktivitas pertambangan emas ilegal ini adalah semakin sulitnya masyarakat mendapatkan penghidupan yang layak dari sektor pertanian dan perkebunan. Pertambangan emas ilegal diakui sebagai menyumbang pendapatan yang besar bagi pemasukan negara dan pilar dalam pengurangan angka kemiskinan bagi negara miskin dan negara berkembang di dunia (Hentschel, Hruschka & Priester, 2003)

Pertambangan emas ilegal menyumbang 17-20 % atau 380-450 ton dari total produksi emas tahunan di dunia (Seccatore *et al.*, 2014). Lebih kurang 40,5 juta orang di dunia terlibat dalam aktivitas pertambangan emas dan mineral ilegal di tahun 2017. Angka ini meningkat drastis dari tahun-tahun sebelumnya dari 30 juta orang di tahun 2014, 13 juta orang di tahun 1999 dan 6 juta orang yang terlibat di tahun 1993(Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, 2017).

Seiring berkembangnya aktivitas pertambangan emas ilegal ini, resiko dan acaman bencana yang menghantui pun ikut meningkat. Salah satu bencana akibat aktivitas pertambangan emas ilegal di Indonesia adalah bencana longsor di Desa Bakan kecamatan Lolayan, Bolaang Mongondow Provinsi Sulawesi Selatan pada Selasa, 28 Februari 2019 pukul 21.11 WITA. BNPB menyebutkan tidak kurang dari 60 orang menjadi korban dari bencana ini. Bencana ini terjadi karena banyaknya lubang galian yang mengakibatkan kondisi tanah yang tidak stabil di area pertambangan (CNN Indonesia, 2019).

Pertambangan emas ilegal membahayakan lingkungan karena menyebabkan degradasi tanah dan mencemari air permukaan maupun air tanah. Area bekas pertambangan yang dibiarkan terbengkalai mengandung logam berat dan air limbah tambang yang terkontaminasi membahayakan kesehatan penambang dan masyarakat sekitar. Penambang emas ilegal menggunakan merkuri untuk mengekstrak emas di berbagai negara yang dapat menjadi ancaman bahaya bagi kesehatan dan ekologi (Harada, 1995). Evaluasi kesehatan lingkungan di Indonesia menunjukkan kontaminasi merkuri parah pada sedimentasi dan ikan di sungai area pertambangan. Para penambang pun menunjukkan gejala-gejala keracunan merkuri seperti masalah ergonomis (gemetar, kesulitan bergerak, ataxia). Dari sampel darah, urin dan rambut para penambang ditemukan kandungan merkuri yang sangat tinggi (Bose-O'Reilly *et al.*, 2010).

Studi ini bertujuan untuk mengetahui dampak dan bencana dari aktivitas pertambangan emas ilegal.

2. METODOLOGI

Metode dalam studi ini adalah studi literatur terkait pertambangan emas ilegal. Studi ini dilakukan dengan mengumpulkan bahan bacaan, literatur, jurnal ilmiah dan referensi lain yang berhubungan dengan penulisan ini.

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Regulasi

Pertambangan emas ilegal berskala kecil menurut Bank Dunia tersebar di berbagai negara kecil dan berkembang di Afrika, Asia, dan Amerika (Bank Dunia, 2013). Selain Indonesia, negara lain yang aktif dalam pertambangan emas skala kecil adalah Ghana, Afrika Selatan, Cina, Kongo, Ruanda, Filipina, India, dan Zambia (Bugnosen, 2001; CIFOR, 2012; Chakravorty, 2001; Gunson & Yue, 2001; Hentschel et al., 2003; Kambani, 2003). Untuk mengatur praktek pertambangan emas agar lebih efisien dan efektif perlu regulasi yang mengatur dan mengikat. Sebagai contoh di Indonesia, Ghana, Afrika Selatan, dan Cina terdapat peraturan mengenai pertambangan emas ilegal. Peraturan hukum perlu diberlakukan beberapa negara memiliki beberapa persamaan dengan negara lain. Pembahasan ini mengkaji mengenai hukum dan regulasi terkait pertambangan emas ilegal di di Indonesia, Ghana, Afrika Selatan, dan Cina.

3.1.1 Indonesia

Dengan UU No 4 Tahun 2009 mengenai pertambangan mineral dan batu bara yang menjadi besar dalam dunia pertambangan dan ijin usaha yang dikeluarkan pemerintah merupakan pintu masuk bagi investor untuk melakukan usahanya di Indonesia. Ijin Usaha pertambangan diberikan kepada badan usaha, koperasi dan perseorangan (Maryani, 2013). Menurut Macdonald, Lund, Blanchette, dan Mccullough (2014) mekanisme untuk perizinan, pengelolaan dan pengaturan untuk pertambangan skala kecil tidak dijelaskan secara rinci di undang-undang Indonesia. Namun peran pemerintah provinsi dalam pengelolaan pertambangan mineral dan batubara, diwujudkan dalam pembuatan peraturan perundang-undangan daerah serta pemberian Izin Usaha Pertambangan (IUP). Pemerintah daerah menjadi penentu untuk mencegah munculnya pertambangan emas ilegal di Indonesia (Gita, dkk., 2012). Sesuai kesepakatan UNEP International Treaty on Mercury 2013 di Geneva tanggal 13-18 Januari 2013, menggunakan merkuri dalam pertambangan emas adalah ilegal di Indonesia (UNEP, 2012). Jumlah pelaku pertambangan emas ilegal yang tidak jelas dan lokasinya yang tidak terpetakan dengan jelas, ditambah pemahaman pelaku penambang yang buruk memperparah dampak dan bencana lingkungan di Indonesia dan menjadi masalah besar bagi pemerintah pusat dan daerah untuk mengatur kegiatan pertambangan emas ilegal di Indonesia (Macdonald, dkk., 2014).

3.1.2 Ghana

Hukum di Ghana melegalkan penggunaan merkuri dalam pertambangan emas berskala kecil “a small scale gold miner may purchase from any authorized mercury dealer such quantity of mercury as may be reasonably necessary for the purpose of his mining operations” (Small Scale Gold Mining Law, PNDCL 2018 of 1989). Undang-undang Penambangan dan Mineral tahun 2006 juga mengizinkan penggunaan bahan peledak bagi pelaku tambang berskala kecil sebagaimana yang terdapat dalam keputusan menteri (the written permission of the Minister). Menurut hukum yang berlaku di Ghana, tidak seorang pun yang dapat ikut serta dalam pertambangan emas kecuali telah mendapatkan lisensi atau izin. Hukum mengizinkan warga negara Ghana (Ghanaian) berumur 18 tahun ke atas yang terdaftar di kantor catatan sipil setempat tempat perizinan tambang diberikan. Laporan tahun 2002 dari the Mineral Commission di Ghana menyebutkan 420 pertambangan skala kecil yang terdaftar, 411 diantaranya adalah penambang emas. Seribu empat ratus tiga puluh enam (1436) formulir perizinan usaha pertambangan didaftarkan oleh penambang emas ilegal berskala kecil di Ghana sampai dengan April 2015 (Ntibrey, 2015). Menurut Macdonald, dkk. (2014) kekuatan hukum mengenai pertambangan ilegal dan pertambangan skala kecil dalam kondisi buruk dan tidak dijalankan dengan benar.

3.1.3 Afrika Selatan

Pertambangan di Afrika Selatan diatur oleh *the Mineral and Petroleum resources and Development Act* (MPRDA) tahun 2002 untuk pengaturan pengembangan penambangan berskala kecil dan mengatasi permasalahan oleh bertambangan kecil di Afrika Selatan (DMR, 2011). Mutemeri, dkk. (2010) melaporkan rendahnya penanganan permasalahan dalam sektor penambangan skala kecil dan ilegal.

3.1.4 China

Industri mineral di Cina diatur oleh Hukum Sumber Mineral Tahun 1986 dan Hukum Sumber Mineral Tahun 1996. Badan hukum dan perseorangan yang secara langsung atau tidak langsung terlibat dalam aktivitas pertambangan emas ilegal di Cina diatur dalam regulasi (Shen, Dai & Gunson., 2009). Regulasi, hukum dan peraturan Cina dikategorikan dalam empat kelompok sebagai berikut: (1) Hukum dan regulasi mengenai izin eksploitasi mineral, (2) Regulasi operasi pertambangan batu bara, (3) Hukum, regulasi dan peraturan mengenai perlindungan lingkungan dan tata guna lahan, (4) Regulasi mengenai area pertambangan (Andrew-Speed, dkk., 2003). Hukum ketiga bertujuan untuk melindungi ekosistem, tanah dan air. Regulasi keempat menangani standarisasi teknik dan keamanan, pengawasan, peran pemerintah daerah, tanggung jawab penambang dan status legalisasi penambang (Shen, dkk., 2009).

3.2 Metode Pertambangan

Penambangan emas ilegal ini biasanya dilakukan masyarakat secara sederhana. Sistem penambangan emas secara sederhana yang menggunakan peralatan sederhana seperti

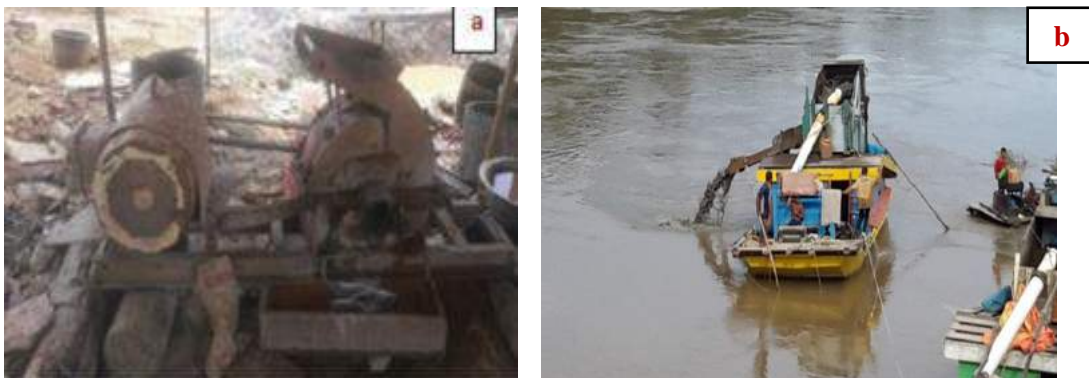
pahat, palu, penggalian, dan pendulangan. Metode terbaru menggunakan peralatan murah rakitan Cina atau mesin mahal.

3.2.1 Metode Changfa

Metode Changfa berasal dari bahasa Cina, *Changfa* berarti mesin penghancur baru tenaga diesel yang digunakan untuk menghancurkan batuan yang mengandung emas. Mesin ini pada dasarnya adalah mesin rakitan yang dilakukan oleh penambang asal Cina di beberapa negara. Metode ini bekerja dengan cara penggerukan material secara manual menggunakan cangkul dan sekop ataupun dengan mesin menggunakan ekskavator kemudian dibawa ke lokasi mesin Changfa berada. Pompa air yang tersambung ke mesin penghancur untuk menyaring emas.

3.2.2 Metode Dredging

Metode dredging menggunakan mesin yang mirip dengan Changfa yang diletakkan di perahu atau kapal yang dilengkapi pompa, kompresor dan alat penyaring emas. Penggunaan metode ini berpengaruh terhadap pendangkalan sungai serta aliran sungai menjadi keruh.



Gambar 1. Metode Penambangan emas rakyat: (a) mesin Changfa, (b) Dredging

3.2.3 Metode Panning

Metode panning atau pendulangan adalah metode yang paling umum digunakan dengan memanfaatkan berat emas itu sendiri. Metode emas memerlukan air dan wajan yang digunakan untuk memisahkan pasir dan tanah dari emas (Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, 2017).

3.2.4 Metode Penggalian bawah tanah

Metode ini diaplikasikan dengan menggali lubang atau sumuran vertikal atau *shaft* untuk mengeruk batuan yang mengandung emas untuk kemudian diolah di permukaan (Widagdo and Setijadi, 2015). Metode ini memiliki resiko yang tinggi karena dilakukan secara manual dimana penambang masuk ke lubang galian yang sangat berisiko runtuh karena teknik yang tidak benar (Bansah, Yalley and Dumakor-dupey, 2016).



Gambar 2. (a) Penggalian emas bawah tanah, (b) Pendulangan emas

4. DAMPAK DAN BENCANA

4.1 Dampak Sosial Ekonomi

Dampak sosial ekonomi menjadi topik yang paling banyak diteliti dan dipelajari dalam mengkaji penambnagan emas ilegal. Peneliti dan organisasi dunia telah banyak mengeluarkan publikasi ilmiah terkait dampak sosial ekonomi dari pertambangan emas ilegal seperti Bank Dunia, Internationala Institute for Environment and Development (IIED) dan The International Labour Organization (ILO) (Bank Dunia, 2013; Kitula, 2006; Hilson, 2001; Bryceson & Jonsson, 2010; Chakravorty, 2001; Mwaipopo, Mutagwaba, Nyange & Fisher., 2004).

Bank dunia menjelaskan penambangan emas ilegal dan penambangan rakyat ini berperan penting sebagai sumber pendapatan dan penghasilan bagi negara berpenduduk miskin. Menurut penelitian Bank dunia penambangan emas ilegal menjamin kelangsungan hidup jutaan keluarga di daerah pelosok negara berkembang. Diperkirakan 100 juta orang (penambang, anggota keluarga dan masyarakat) yang bergantung kepada penambangan emas ilegal dengan 7 juta orang diantaranya penambang (Bank Dunia, 2013).

Menurut Oblokuteye (2010) adanya aktivitas penambangan emas ilegal di daerah meminimalisir perpindahan penduduk dari desa ke kota. Pernyataan ini diperkuat oleh Bank Dunia yang menyatakan keberadaan pertambangan emas ilegal di daerah memangkas migrasi penduduk (Bank Dunia, 2013). Dampak sosial ekonomi lainnya adalah adanya perubahan pekerjaan dari petani menjadi penambang dengan peningkatan penghasilan bag warga (Sari, Abbas and Rahmad, 2013).

Kontribusi hasil produksi pertambangan emas ilegal di dunia adalah sekitar 20%, termasuk 80% batu berharga, 20% pasokan berlian di dunia, dan 25% timah (Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, 2017). Penambangan emas ilegal ini juga meyediakan bahan baku untuk industri kosmetik berbahan mineral. Diantaranya

adalah kalolin untuk manufaktor cat dan bubuk kosmetik, garam untuk produk farmasi, mika untuk industri keramik, dan emas untuk produksi perhiasan (Acheampong, 2009).

Namun, gelombang penambang baru di suatu area penambnagan baru, dalam upaya masyarakat untuk keluar dari kemiskinan dan menjadi kaya, memunculkan budaya baru yang terkadang merugikan masyarakat asli setempat. Lingkungan yang didominasi penambang dan pekerja laki-laki menjadi lahan subur menjamurnya prostitusi dan pergaulan bebas di masyarakat. Dampak lain adalah meningkatnya angka siswa yang bolos dan berhenti sekolah karena lebih memilih ikut penambang emas. Hal ini memicu naiknya angka buta huruf dan pendidikan rendah bagi anak-anak usia sekolah (Al-Hassan & Amoako, 2014).

4.2 Dampak Lingkungan dan Bencana

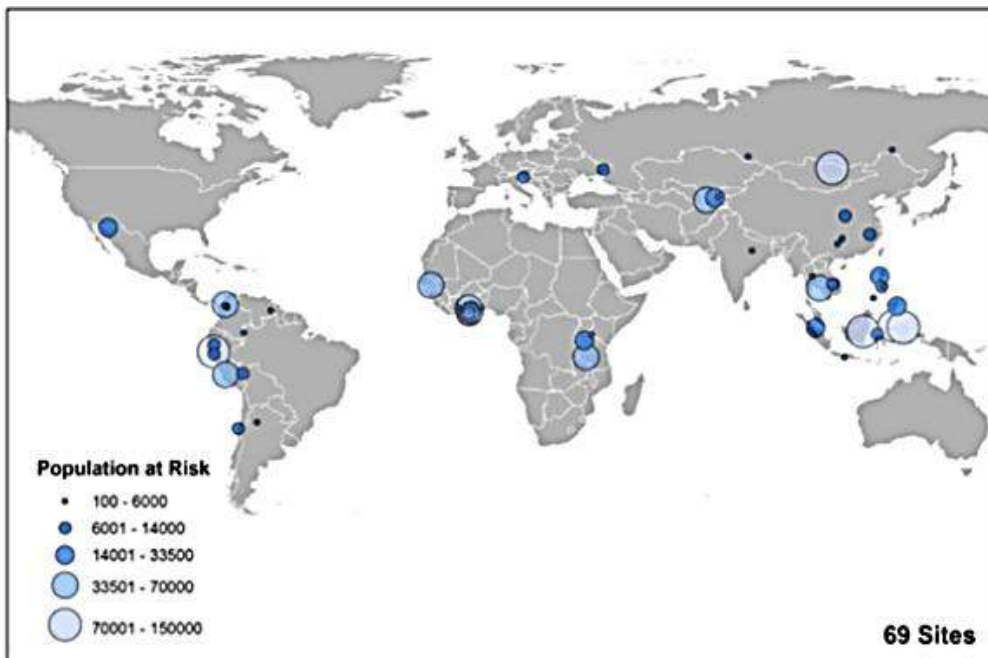
Pertambangan emas ilegal atau pertambangan emas rakyat telah menimbulkan dampak negatif dan bencana bagi lingkungan selama bertahun-tahun lamanya (kitula, 2006; Aryee, dkk., 2003; Bonzongo, Donkor & Nartey, 2003). Dampak lingkungan yang muncul akibat aktivitas penambangan emas liar ini secara garis besar adalah penurunan mutu lingkungan dengan berbagai pencemaran dan kerusakan lahan. Keadaan lingkungan dan lahan yang rusak akan berakibat pada penurunan produktivitas lahan (Wahyudi and Slameto, 2014).

International Panel on Climate Change menyatakan perusakan dan degradasi hutan yang akibat pertambangan emas ilegal terutama di negara berkembang menghasilkan 18% emisi karbon dioksida dunia (Boadi *et al.*, 2017). Pengundulan hutan dilakukan penambang untuk melakukan galian. Keberadaan galian dan lubang tambang emas ilegal ini dibiarkan begitu saja tanpa ditimbun kembali. Keberadaan lubang galian bekas tambangan ini membuat kondisi tanah menjadi tidak stabil dan beresiko terjadinya bencana longsor dan erosi (Widayat, 2017; Permana, 2012). Bencana longsor di Bolaang Mongondow Provinsi Sulawesi Selatan adalah salah satu bencana yang muncul akibat galian bekas penambangan emas ilegal di Indonesia (CNN Indonesia, 2019). Bencana longsor juga dapat terjadi akibat prosedur penimbunan batuan dan material bekas tambang (Aziz, 2014). Selain resiko lain dari sumuran tambnag emas ini adalah penurunan tanah yang mengakibatkan rusaknya infrastruktur seperti jalan dan rumah-rumah warga yang retak bahkan hancur (Bansah, Yalley and Dumakor-dupey, 2016).



Gambar 3. (a) Rumah warga retak di Ghana, (b) Nitrit acid dari pengolahan emas ilegal di Ekuador

Pertambangan emas ilegal yang dalam proses pemurniannya menggunakan raksa dan limbahnya mencemari lingkungan karena mengendap di dasar sungai (Aziz, 2014). Proses penggabungan butiran emas menggunakan merkuri dapat mencemari lingkungan dengan kontaminasi merkuri (Hg) (Shandro et al., 2009; Spiegel and Veiga, 2010; Velasquez-Lopez et al., 2010). The Global Mercury Assesment memperkirakan aktivitas penambangan emas ilegal mengeluarkan rata-rata 727 ton merkuri pertahun (UNEP, 2013) dan penelitian The Minamoto Convention on Mercury menyatakan 1.400 ton limbah merkuri di tahun 2011 menjadikan pertambangan emas ilegal sebagai penyumbang limbah merkuri terbesar (Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, 2017). Proses penguraian emas dari bebatuan dan galian dari pertambangan ilegal umumnya menggunakan Sianida yang mengeluarkan gas sianida dan asam nitrit (Grayson, 2007). Limbah hasil pengolahan emas ilegal ini mengeluarkan merkuri, sianida,arsenik, mangan, dan logam berat lain yang secara signifikan mengakibatkan pengurangan habitat flora (Guimaraes *et al.*, 2011) dan penurunan populasi fauna akibat kematian karena terpapar kontaminasi limbah tersebut (Donato *et al.*, 2007).



**Gambar 4. Sebaran polusi merkuri dari penambnagan emas ilegal di dunia
(Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, 2017)**

Sedimentasi yang mengandung Sianida, Merkuri dan logam berat tersebut akan masuk ke tanah sehingga mengurangi kesuburan tanah dan mencemari air tanah (Veiga *et al.*, 2014). Pembuangan limbah tambang emas ilegal ini biasanya disalurkan ke sungai yang merubah geologi sungai dengan munculnya sedimentasi di dasar sungai dan terjadi pendangkalan sungai. Konsentrasi senyawa kimia tersebut yang melebihi ambang batas baku mutu mengkontaminasi biota sungai sehingga banyak ikan yang mati dan pencemaran air (Edinger, 2012; Boadi *et al.*, 2017; Hermawan, 2017). Pencemaran air sungai karena logam berat berupa penurunan kejernihan air (keruh), penurunan kadar oksigen serta pH air terlalu asam atau basa (Yulianti *et al.*, 2016). Aktivitas penambangan emas liar sepanjang aliran sungai juga berdampak pada terjadinya bencana banjir di area DAS (Sunarti *et al.*, 2017).

5. KESIMPULAN

Kontribusi hasil pertambangan emas ilegal yang signifikan terhadap ekonomi negara berkembang. Pertambangan emas ilegal ini membuka lapangan pekerjaan, pertumbuhan industri lokal dan memberi pendapatan negara. Namun muncul dampak sosial yang tidak dielakkan seperti besarnya angka putus sekolah bagi anak usia sekolah, eksploitasi pekerja di bawah umur, prostitusi, pergaulan bebas dan perubahan budaya lokal.

Buruknya pengawasan dan kurangnya peraturan perundangan-undangan mengenai operasi penambangan emas ilegal ini membawa dampak pada lingkungan dan ancaman bencana seperti pencemaran tanah, udara, air, kerusakan hutan dan lahan, bencana banjir, longsor dan erosi.

6. DAFTAR PUSTAKA

Al-Hassan, S., & Amoako, R. (2014). Environmental and security aspects of contemporary small scale mining in Ghana. In 3rd UMaT biennial international mining and mineral conference (pp. 146-151)

- Andrews-Speed, P., Yang, M., Shen, L., & Cao, S. (2003). The regulation of China's township and village coal mines: a study of complexity and ineffectiveness. *Journal of Cleaner Production*, 11(2), 185-196.
- Aziz, M. (2014) 'The Model of Traditional Gold Mining and Its Environmental Management in The Paningkaban Village, Gumelar District, Banyumas Regency, Central Java', *Dinamika Rekayasa*, 10(1 Pebruari 2014), pp. 20–28.
- Bank Dunia. (2013). Artisanal and small scale mining. Diunduh dari <http://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/brief/artisanal-and-small-scale-mining> diakses 1 Oktober, 2019
- Bansah, K. J., Yalley, A. B. and Dumakor-dupey, N. (2016) 'The hazardous nature of small scale underground mining in Ghana', *Journal of Sustainable Mining*. Elsevier Ltd, 15(1), pp. 8–25. doi: 10.1016/j.jsm.2016.04.004.
- Boadi, S. *et al.* (2017) 'An analysis of illegal mining on the Of fi n shelterbelt forest reserve , Ghana : Implications on community livelihood', *Journal of Sustainable Mining*. Elsevier Ltd, 15(3), pp. 115–119. doi: 10.1016/j.jsm.2016.12.001.
- Bose-O'Reilly, S. *et al.* (2010) 'Health assessment of artisanal gold miners in Indonesia', *Science of the Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.10.070.
- Bugnosen, E. (2001). Country case study on artisanal and smallscale mining: Philippines. *Mining, Minerals and Sustainable Development*, 83, 8 pp.
- Chakravorty, S. L. (2001). Artisanal and small-scale mining in India. *Mining, Minerals and Sustainable Development*, (78), 81.
- CIFOR. (2012). The formalization of artisanal and small scale mining in the Democratic Republic of the Congo and Rwanda. Center for International Forestry Research, 61 pp
- CNN Indonesia. (2019). Tanggap Darurat Longsor Tambang Emas Ilegal Berakhir 11 Maret diunduh dari <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20190304113004-20-374324/tanggap-darurat-longsor-tambang-emas-ilegal-berakhir-11-maret> diakses tanggal 2 Oktober 2019
- Donato, D. B. *et al.* (2007) 'A critical review of the effects of gold cyanide-bearing tailings solutions on wildlife', *Environment International*. doi: 10.1016/j.envint.2007.04.007.
- Edinger, E. (2012) 'Gold mining and submarine tailings disposal review and case study', *Oceanography*. doi: 10.5670/oceanog.2012.54.
- Gita, A., Primanti, A., Zaki, K., & Ismawati, Y. (2012). Rapid assessment of the socio-economic impact and human rights aspect of mercury use in artisanal and small-scale gold mining hotspots in Indonesia international SAICM implementation project (p. 46). Denpasar: Bali Fokus.

- Grayson, R. (2007) 'Fine Gold Recovery – Alternatives to Mercury and Cyanide', *World Placer Journal*, 7(March), pp. 66–161.
- Guimaraes, J. R. D. *et al.* (2011) 'Long-range effect of cyanide on mercury methylation in a gold mining area in southern Ecuador', *Science of the Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.08.021.
- Harada, M. (1995). Minamata disease: methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution. *Critical reviews in toxicology*, 25(1), 1e24
- Hentschel, T., Hruschka, F., & Priester, M. (2003). *Artisanal and smallscale mining: Challenges and opportunities* (p. 94). UK: International Institute for Environment and Development (IIED)
- Hermawan, C. (2017) 'PENENTUAN STATUS PENCEMARAN KUALITAS AIR DENGAN METODE STORET DAN INDEKS PENCEMARAN (Studi Kasus: Sungai Indragiri Ruas Kuantan Tengah)', *Jurnal REKAYASA*.
- Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, M. and S. D. (IGF) (2017) *GLOBAL TRENDS IN ARTISANAL AND SMALL-SCALE MINING (ASM): A REVIEW OF KEY NUMBERS AND ISSUES*. Winnipeg. Available at: <http://pubs.iied.org/pdfs/G04266.pdf>.
- Kambani, S. M. (2003). Small-scale mining and cleaner production issues in Zambia. *Journal of Cleaner Production*, 11(2), 141e146.
- Kitula, A. G. N. (2006). The environmental and socio-economic impacts of mining on local livelihoods in Tanzania: a case study of Geita District. *Journal of Cleaner Production*, 14(3), 405-414.
- Leung, A. M. R. and Lu, J. L. D. (2016) 'Environmental Health and Safety Hazards of Indigenous Small-Scale Gold Mining Using Cyanidation in the Philippines', *Environmental Health Insights*, 10, p. EHI.S38459. doi: 10.4137/ehi.s38459.
- Macdonald, K. *et al.* (2014) 'Regulation of artisanal small scale gold mining (ASGM) in Ghana and Indonesia as currently implemented fails to adequately protect aquatic ecosystems', in *Proceedings of International Mine Water Association Symposium*.
- Maryani, N. (2013) 'Kewenangan Pemerintah Daerah Dalam Penertiban Pertambangan', *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Surabaya*, 2(1), pp. 1–38.
- Mutemeri, N., Sellick, N., & Mtegha, H. (2010). What is the status of small scale mining? Discussion document for the MQA SSM colloquium (p. 24)
- Ntibrey, B. K. (2016). Small scale mining sector in Ghana & Minerals Commission's role in managing it. In Presentation at stakeholder sensitization workshop Tarkwa on November 23, 2015 (p. 43).

- Oblokuteye, K. P. H. (2010). The effects of illegal small scale mining on the environment e A case study at gold hall Galamsey site. Tarkwa, Ghana: University of Mines and Technology
- Permana, A. A. J. (2012) 'TANAH LONGSOR: MEMPERKECIL RESIKO BENCANA MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (Studi Kasus : Kecamatan Kokap, Kulon Progo, DIY)', *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*. doi: 10.23887/jptk.v9i1.2877.
- Sari, M. A., Abbas, A. and Rahmad, D. (2013) 'Dari Petani Ke Penambang; Perubahan Sosial Ekonomi Di Jorong Koto Panjang Nagari Limo Koto, Kabupaten Sijunjung', *Jurnal Ilmu Sosial Mamangan*, 2(1), pp. 15–21.
- Seccatore, J. *et al.* (2014) 'An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 496, pp. 662–667. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.05.003.
- Shen, L., Dai, T., & Gunson, A. J. (2009). Small-scale mining in China: assessing recent advances in the policy and regulatory framework. *Resources Policy*, 34(3), 150-157
- Sunarti, E. *et al.* (2017) 'Disaster Related to Mining: Causes , Impact , and Lesson Learned', *International Journal of Disaster Management*, 1(1), pp. 1–7.
- UNEP (DTIE) (2012). Draft text for a global legally binding instrument on mercury. Chair's draft text. Intergovernmental negotiating committee to prepare a global legally binding instrument on mercury - Fifth session - Geneva, 13–18 January 2013: United Nations Environment Programme: 44
- Veiga, M. M. *et al.* (2014) 'Processing centres in artisanal gold mining', *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.08.015.
- Wahyudi, E. and Slameto (2014) 'Dampak Sosial Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) Terhadap Keberlanjutan Usaha Tani PADI di Kabupaten Meringin Provinsi Jambi', in *Prosiding Seminar Nasional Agroinovasi Spesifik Lokasi Untuk Ketahanan Pangan Pada Era Masyarakat Ekonomi ASEAN*, pp. 313–318.
- Widagdo, A. and Setijadi, R. (2015) 'Potensi Bencana Geologi Pada Penambangan Emas dan Lempung di Desa Cihonje Kecamatan Gumelar Kabupaten Banyumas', *Dinamika Rekayasa*, 11(1), pp. 11–15.
- Widayat, R. M. (2017) 'ANALISIS DAMPAK KEBERADAAN PERTAMBANGAN EMAS LIAR MASYARAKAT TERHADAP LINGKUNGAN (STUDI KASUS DI DESA LUNYUK REA KECAMATAN LUNYUK KABUPATEN SUMBAWA)', *Jurnal GaneSwara*, 11(2), pp. 80–84.
- Yulianti, R. *et al.* (2016) 'DAMPAK LIMBAH PENAMBANGAN EMAS TANPA IZIN (PETI) TERHADAP KUALITAS AIR SUNGAI LIMUN KABUPATEN SAROLANGUN PROPINSI JAMBI', *Buletin of Scientific Contribution*, 14(3), pp. 251–262.

PERBANDINGAN SISTEM PENYIMPANAN DENGAN SISTEM DISTRIBUSI LOGISTIK DI DAERAH BENCANA

Robino Indan¹,

¹Mahasiswa Doktoral Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: robino1086@gmail.com

ABSTRACT

The high demand for speed and completeness in terms of logistics in the affected area, adds more complexity to the system that demands high product availability and fast response to always change market demand. This study compares the storage system with the distribution system in order to be prepared for logistics when a disaster occurs. The method used is to compare previous studies and it can be concluded that the two things have a strong influence on logistical readiness in dealing with disasters.

Keywords: Natural Disasters, Logistics, Stock Control, Distribution

ABSTRAK

Kebutuhan yang tinggi terhadap kecepatan dan kelengkapan dalam hal logistik di daerah yang terkena bencana, menambah lebih banyak kompleksitas pada sistem yang meminta ketersediaan produk yang tinggi dan respons cepat untuk selalu mengubah permintaan pasar. Penelitian ini membandingkan antara sistem penyimpanan dengan sistem distribusi dalam rangka kesiapan terhadap logistik ketika terjadinya bencana. Metode yang digunakan adalah dengan membandingkan penelitian-penelitian sebelumnya dan bisa disimpulkan bahwa kedua hal tersebut mempunyai pengaruh yang kuat terhadap kesiapan logistik dalam menghadapi bencana.

Kata Kunci: Bencana Alam, Logistik, Sistem Persediaan, Distribusi

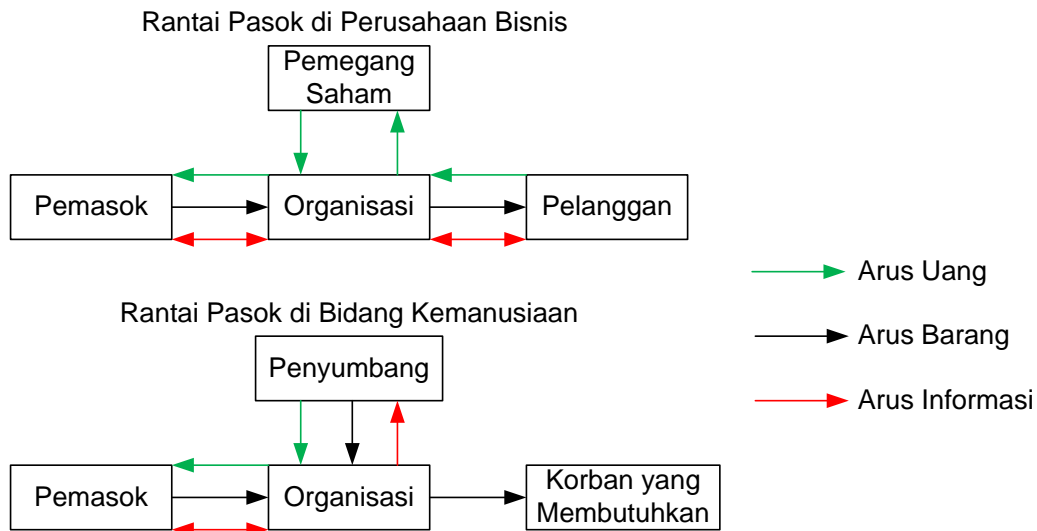
1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan bangsa yang beragam dan memiliki wilayah yang sangat luas. Selain memiliki budaya yang beragam, Indonesia juga memiliki bermacam-macam resiko terhadap bencana alam (BNPB, 2016) dan penyebab hal tersebut menurut Oktarina (2009) adalah karena posisi Indonesia yang terletak pada pertemuan lempeng tektonik aktif, jalur pegunungan aktif, dan kawasan beriklim tropik, sehingga menjadikan sebagian wilayahnya rawan terhadap bencana alam. Sementara itu Pujiono (2006) dalam Oktarina (2009) menyatakan bahwa penanggulangan bencana harus dilakukan secara cepat dan tepat karena hidup manusia pada hakekatnya adalah sangat berharga, dan masalah lain dalam pendistribusian logistik ke daerah bencana adalah ketersediaan barang pada gudang penyalur, jarak tempuh, waktu distribusi, kapasitas angkut, dan ketersediaan sarana transportasi. Jika melihat kasus yang terjadi pada tahun lalu saat terjadinya gempa di Lombok, dikutip dari tempo.co, selain karena kurangnya

koordinasi antara pendonor dengan pihak pemerintah, penyebab lain sulitnya logistik ke daerah bencana adalah lokasi bencana tersebut tidak dapat atau sulit dilalui oleh kendaraan bermotor.

2. LANDASAN TEORI

Bencana alam adalah sesuatu yang pasti akan terjadi namun dengan jadwal yang hampir tidak bisa diduga (Amna, 2013). Dalam menghadapi bencana yang tidak dapat diduga tersebut, perencanaan terhadap logistik sangatlah penting. Logistik dalam kasus tersebut harus bertujuan untuk menyediakan kebutuhan korban bencana dengan cepat, membantu dalam penyediaan layanan, material, transportasi dan lain-lain terhadap para korban, ikut berpartisipasi dalam sistem logistik yang dikelola oleh pemerintah, dan mempertahankan kesediaan logistik selama masa bencana dan non-bencana (Brown dan Vassiliou, 1993). Logistik yang dimaksud dalam masalah ini, tertulis dalam Peraturan Kepala BNPB nomor 10 tahun 2012, adalah segala sesuatu yang berwujud yang dapat digunakan untuk memenuhi suatu kebutuhan dasar manusia yang habis pakai terdiri atas pangan, sandang dan papan atau turunannya. Termasuk dalam kategori logistik adalah barang yang habis pakai atau dikonsumsi, misalnya: sembako (sembilan bahan pokok), obat-obatan, pakaian dan kelengkapannya, air, kantong tidur (sleeping bag), perlengkapan bayi, perlengkapan keluarga (pembalut wanita, odol, sabun mandi, shampoo, detergen, handuk). Penyebab logistik tidak mudah dicapai dalam kondisi bencana, salah satu alasannya karena sulitnya untuk memperkirakan permintaan karena masalah data. Dengan demikian, pengaturan ketersediaan barang akan sulit dilakukan. Selain itu, masalah lain adalah dalam meminimalkan biaya dalam kegiatan dan situasi tersebut. Kecepatan, fleksibilitas, dan efektivitas adalah aspek penting yang perlu dipertimbangkan, yang menyebabkan sulitnya untuk melakukan kegiatan logistik secara efisien (Kholidasari dan Ophiyandri, 2018). Kasus kepentingan logistik dalam hal kebencanaan jika dibandingkan dengan logistik dalam hal bisnis menurut Blanco dan Goentzel (2006) dalam Altay (2008) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, dimana dalam hal bisnis, pemegang saham hanya memiliki hak dan kewajiban dalam hal biaya, dimana pemegang saham mengeluarkan biaya untuk mendapatkan hasil tanpa memberi atau menerima barang dan informasi. Namun hal tersebut berbeda dalam hal kemanusiaan, pada hal kemanusiaan pihak penyumbang memberikan uang dan barang kepada organisasi yang mengelola dan hanya mengharapkan informasi.



Gambar 1. Model Arus Logistik Dalam Bisnis dan Kemanusiaan (Blanco & Goentzel, 2006; dalam Altay, 2008).

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini adalah mengumpulkan informasi dari beberapa penelitian mengenai logistik bencana. Penelitian tersebut berjumlah 12 dimana mencakup hasil yang menyatakan bahwa pentingnya sistem penyimpanan dan sistem distribusi, dan dua hal tersebut yang diklasifikasikan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil 12 penelitian terdahulu, didapatkan hasil yaitu dua penelitian yang menyatakan bahwa penyimpanan merupakan hal yang penting dalam mitigasi bencana, yaitu menjamin logistik siap sedia di lokasi bencana. Namun 10 penelitian lainnya menyatakan bahwa distribusi ke lokasi bencana tetap harus dilaksanakan dengan berbagai cara dan melibatkan berbagai macam pihak terkait. Hasil dari 12 penelitian tersebut seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Temuan dari Penelitian Terdahulu.

No.	Penulis	Hasil Temuan	Keterangan
-----	---------	--------------	------------

		Penyimpanan	Distribusi	
1	Scholten <i>et al</i> (2014)	-	v	Proses mitigasi
2	Hale dan Moberg (2005)	v	-	Pemilihan lokasi aman
3	Madu dan Kuei (2014)	-	v	Kontribusi oleh manajemen kemanusiaan
4	Kholidasari dan Ophiyandri (2018)	v	-	Pengelolaan gudang terhadap logistik bencana
5	Hadiguna dan Wibowo (2012)	-	v	Efektivitas dalam alokasi dana dan transportasi
6	Perry (2007)	-	v	Logistik oleh pihak kemanusiaan
7	John dan Ramesh (2012)	-	v	Manajemen Rantai Pasok oleh pihak kemanusiaan
8	Morales dan Sandlin (2014)	-	v	Menggunakan jalur transportasi udara dalam distribusi logistik
9	Kim dan Bui (2019)	-	v	Komunikasi dan koordinasi serta hubungan sosial
10	Santarelli <i>et al</i> (2015)	-	v	Efisiensi dan efektivitas oleh kemanusiaan
11	Mahdia dan Noviyanto (2013)	-	v	Menggunakan fasilitas <i>Mobile Web</i>
12	Ceha dan Dzikron (2011)	-	v	Menambahkan model <i>Sister Village</i> dalam hal koordinasi dengan sesama warga desa dan pemerintah

Melihat dari hasil temuan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa dua hal yaitu sistem penyimpanan dan distribusi sama pentingnya. Hal yang harus diperhatikan pada sistem penyimpanan adalah pemilihan lokasi yang aman atau dengan kata lain sangat diminimalkan lokasi tersebut (Hale dan Moberg, 2005) dan logistik tersebut penyimpanannya harus dikelola dengan baik (Kholidasari dan Ophiyandri, 2018). Namun untuk masalah distribusi, banyak hal yang harus diperhatikan. Baik dari proses distribusi barang maupun pihak-pihak yang terlibat dalam kegiatan distribusi rantai pasok tersebut. Hal yang paling penting adalah proses mitigasi dalam menghadapi bencana tersebut (Scholten *et al*, 2014), oleh karena itu sangat diperlukan adanya manajemen bencana (Perry, 2007). Dalam hal Organisasi Kemanusiaan, kegiatan distribusi logistik ini juga harus memperhatikan hal-hal yang berhubungan dengan efisiensi (Santarelli *et al*, 2015) dan efektivitas (Madu dan Kuei,

2014). Organisasi Kemanusiaan dalam hal logistik juga mempunyai sistem manajemen yaitu Manajemen Rantai Pasokan Kemanusiaan yang berkaitan dengan pengelolaan aliran bahan bantuan, informasi, dan layanan yang efisien untuk mengurangi dampak bencana pada manusia. Berbagai masalah yang perlu diperhatikan adalah identifikasi sumber pasokan, koordinasi di antara para pelaku, pentingnya otoritas pusat, peran profesional SCM yang berpengalaman, kelangkaan dan kelimpahan sumber daya dapat dilihat bersama-sama, pemahaman rantai pasokan dalam bencana manajemen dan kebutuhan rantai pasokan keuangan (John dan Ramesh, 2012). Melihat dari kasus gempa Padang tahun 2009 lalu, Hadiguna dan Wibowo (2012) menyimpulkan bahwa efektivitas pengiriman barang lebih dipengaruhi oleh alokasi dana dan transportasi dibandingkan dengan kerusakan yang terjadi akibat gempa tersebut. Masih dalam hal distribusi logistik, Morales dan Sandlin (2014) berpendapat bahwa distribusi yang paling efektif adalah dengan Organisasi Kemanusiaan memanfaatkan jalur udara. Hal terakhir dalam distribusi logistik ini, melihat hasil penelitian dari Indonesia yaitu Mahdia dan Noviyanto (2013) yang menghasilkan temuan yaitu sistem logistik dengan menggunakan sistem informasi berbasis mobile web, dan Ceha dan Dzikron (2011) yang menghasilkan temuan yaitu perlunya komunikasi dan tolong menolong antar warga sekitar desa yang terkena bencana dan koordinasi oleh pihak-pihak terkait.

5. KESIMPULAN

Dalam rangka antisipasi bencana, logistik merupakan hal yang sangat penting pada saat bencana terjadi. Dua hal yang menjadi solusi terhadap kesiapan logistik di daerah bencana tersebut adalah sistem penyimpanan dan distribusi. Dalam hal penyimpanan, barang-barang yang diperlukan diharapkan langsung siap untuk dikonsumsi oleh para korban tanpa harus menunggu datangnya bantuan dari pihak-pihak lain. Namun yang akan menjadi masalah adalah jaminan terhadap keamanan tempat penyimpanan tersebut, oleh karena itu perlu adanya sistem manajemen dalam penyimpanan tersebut. Hal lain selain penyimpanan, yang perlu diperhatikan dalam hal logistik ini adalah sistem distribusi. Sistem distribusi ini sangat banyak dipengaruhi oleh faktor-faktor yang intinya adalah efektivitas dan efisiensi, dan selain itu banyak melibatkan pihak-pihak terkait terutama Organisasi Kemanusiaan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Altay, N. (2008). Issues in disaster relief logistics. *Large-scale disasters: Prediction, control, and mitigation*, 120-146.
- Amna, S. (2013). Logistics Support and its Management during Disaster Relief Operations. *International Journal of Scientific Footprints*, 1(1), 1-12.
- BNPB. (2016). Resiko Bencana Indonesia.
- Brown, G. G., & Vassiliou, A. L. (1993). Optimizing disaster relief: Real-time operational and tactical decision support. *Naval Research Logistics (NRL)*, 40(1), 1-23.
- Ceha, R., & AM, M. D. (2011). Model Sister Village dan Logistik Untuk Mitigasi Bencana. *Prosiding SNaPP: Sains, Teknologi*, 2(1), 149-156.
- Hadiguna, R. A., & Wibowo, A. (2012). Simulasi Sistem Logistik Bantuan Bencana Gempa-Tsunami: Studi Kasus di Kota Padang. *Jurnal Teknik Industri*, 13(2), 116-125.
- Hale, T., & Moberg, C. R. (2005). Improving supply chain disaster preparedness: A decision process for secure site location. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35(3), 195-207.
- <https://nasional.tempo.co/read/1119595/kurang-koordinasi-penyebab-bantuan-gempa-lombok-tidak-merata/full&view=ok>. Diakses tanggal 10 Oktober 2019 jam 15.10
- Jain, V. K., Jain, P. K., John, L., & Ramesh, A. (2012). Humanitarian supply chain management in India: a SAP-LAP framework. *Journal of Advances in Management Research*.
- Kholidasari, I., & Ophiyandri, T. (2018). A Review of Human Judgment in Stock Control System for Disaster Logistics. *Procedia engineering*, 212, 1319-1325.
- Kim, K., & Bui, L. (2019). Learning from Hurricane Maria: Island ports and supply chain resilience. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 39, 101244.
- N. Madu, C., & Kuei, C. H. (2014). Disaster relief supply chain quality management (DRSCQM). *International Journal of Quality & Reliability Management*, 31(9), 1052-1067.
- Mahdia, F., & Noviyanto, F. (2013). Pemanfaatan Google Maps API untuk pembangunan sistem informasi manajemen bantuan logistik pasca bencana alam berbasis mobile web (studi kasus: badan penanggulangan bencana daerah Kota Yogyakarta). *Jurnal Sarjana Teknik Informatika*, 1(1), 162-171.
- Morales, M., & Sandlin, D. E. (2015). Managing airborne relief during international disasters. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 5(1), 12-34.

- Oktarina, R. (2009). Konseptual Perancangan Sistem Informasi/Manajemen Logistik Penanggulangan Bencana (SIMLOG-PB) Berbasis GIS (Geographic Information System) Di Indonesia.
- Perry, M. (2007). Natural disaster management planning: A study of logistics managers responding to the tsunami. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(5), 409-433.
- Santarelli, G., Abidi, H., Klumpp, M., & Regattieri, A. (2015). Humanitarian supply chains and performance measurement schemes in practice. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 64(6), 784-810.
- Scholten, K., Sharkey Scott, P., & Fynes, B. (2014). Mitigation processes—antecedents for building supply chain resilience. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(2), 211-228

SISTEM MANAJEMEN EVAKUASI PADA SHELTER MANDIRI DI KELURAHAN PASIE NAN TIGO

Febrin Anas Ismail¹, Taufika Ophiyandri², Afdilla Yofianda³

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: febrin@ft.unand.ac.id

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: t.ophiyandri@ft.unand.ac.id

³Mahasiswa Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: yofianda25@gmail.com

ABSTRACT

Indonesia is one of the countries frequently hit by natural disasters, one of them was an earthquake which was recorded on September 30, 2009 at 7.6 on the Richter Scale off the coast of Sumatra. For this reason, a self-supported shelter was built for evacuation during the tsunami for the community. Self-supported shelter is one of the efforts to build a shelter that utilizes a mosque which comes from non-governmental organizations. This was chosen because by increasing the capacity and function of the mosque to be used as a shelter, it is not necessary to search for new location. Another reason for the utilization of the function of the mosque is from the aspect of cost, so that building this shelter will be the same as building for a mosque, by utilizing sources of funds from the community intended for the mosque itself which can take place within a certain period of time. In order to plan the self-supported shelter so that it is right on target, proper facility management and evacuation systems are needed. The intended facility management is the consideration of facilities in shelters that needed by people who are occupying self-supported shelters in an emergency. The evacuation system in question is an independent evacuation system or the ability and actions of individuals / communities independently, quickly, precisely, and directed based on work steps in saving themselves from disaster. It is hoped that this research can be applied in other areas that have similar vulnerabilities to disasters.

Keywords : Tsunami, self-supported shelter, evacuation system, facility management

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang sering dilanda bencana alam salah satunya gempa bumi yang mana pernah tercatat pada 30 September 2009 sebesar 7,6 Skala Richter dilepas pantai Sumatera. Untuk itu dibangunlah *shelter* mandiri sebagai bangunan untuk evakuasi saat terjadinya tsunami untuk masyarakat. *Shelter* mandiri merupakan salah satu upaya pembangunan bangunan *shelter* yang memanfaatkan masjid ataupun musholla yang mana berasal dari swadaya masyarakat. Hal ini dipilih karena dengan meningkatkan kapasitas dan fungsi masjid atau musholla untuk dijadikan *shelter*, maka tidak diperkukan untuk mencari lahan baru. Alasan lain dari pemanfaatan fungsi masjid atau musholla yaitu dari aspek biaya, sehingga dengan membangun *shelter* ini akan sama dengan membangun untuk masjid atau musholla yaitu dengan memanfaatkan sumber dana dari masyarakat yang diperuntukkan untuk masjid atau musholla itu sendiri yang dapat berlangsung dalam jangka waktu tertentu. Untuk melakukan perencanaan *shelter* mandiri tersebut agar tepat sasaran maka manajemen fasilitas dan sistem evakuasi yang tepat sangat diperlukan. Manajemen fasilitas yang dimaksudkan yaitu pertimbangan fasilitas pada shelter yang diperlukan oleh

masyarakat yang sedang menempati shelter mandiri dikala keadaan darurat. Sistem evakuasi yang dimaksud adalah sistem evakuasi mandiri atau kemampuan dan tindakan individu/masyarakat secara mandiri, cepat, tepat, dan terarah berdasarkan langkah-langkah kerja dalam melakukan penyelamatan diri dari bencana. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat diterapkan di daerah lainnya yang memiliki kerentanan terhadap bencana yang serupa.

Kata Kunci : Tsunami, *shelter* mandiri, sistem evakuasi, manajemen fasilitas

1. PENDAHULUAN

Salah satu bencana alam yang sering melanda Indonesia adalah gempa bumi, baik yang pusat gempanya berasal dari darat maupun laut. Saat terjadi gempa yang berpusat di laut, maka tidak menutup kemungkinan untuk diikuti oleh tsunami. Untuk mengurangi dampak buruk dari suatu bencana maka dapat diterapkan suatu sistem yaitu manajemen bencana alam yang terdiri dari pencegahan (*prevention*), mitigasi (*mitigation*), kesiapansiagaan (*preparedness*), tanggap darurat (*response*), dan pemulihan (*recovery*).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak dari tsunami yaitu dengan adanya *shelter* mandiri. *Shelter* mandiri merupakan salah satu upaya pembangunan bangunan *shelter* yang memanfaatkan masjid atau musholla yang berasal dari suadaya masyarakat. Hal ini dipilih karena dengan meningkatkan kapasitas dan fungsi masjid atau musholla untuk dijadikan *shelter*, maka tidak diperkukan untuk mencari lahan baru. Alasan lain dari pemanfaatan fungsi masjid atau musholla yaitu dari aspek biaya. Seperti yang diketahui bahwa untuk membangun shelter membutuhkan biaya yang besar. Maka dari itu membangun *shelter* ini akan sama dengan membangun untuk masjid atau musholla yaitu dengan memanfaatkan sumber dana dari masyarakat yang diperuntukkan untuk masjid atau musholla itu sendiri. Maka dalam jangka waktu tertentu, diharapkan gagasan ini dapat meningkatkan manfaat masjid atau musholla untuk dijadikan *shelter* mandiri bagi masyarakat setempat.

Agar perencanaan *shelter* ini dapat tepat sasaran, maka dibutuhkan pula sistem manajemen evakuasi yang tepat, yang meliputi manajemen fasilitas dan sistem evakuasi. Manajemen fasilitas yang dimaksudkan yaitu pertimbangan-pertimbangan fasilitas yang ada pada shelter yang diperlukan oleh masyarakat yang sedang menempati *shelter* mandiri dikala keadaan darurat dan sistem evakuasi yang dimaksud adalah sistem evakuasi mandiri yang dapat diterapkan oleh masyarakat setempat secara tepat dan terarah.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan mulai dari observasi ke lapangan, meliputi pengecekan lokasi, wawancara dengan masyarakat, mengamati kehidupan sehari-hari masyarakat, hingga ke perencanaan shelter mandiri itu sendiri. Tahapan yang dilakukan yaitu :

1. Identifikasi Masjid/Musholla
2. Pengecekan Kriteria Masjid/Musholla
3. Persetujuan Pengurus

4. Pengecekan Letak dan Jarak Masjid/Musholla
5. Perhitungan Kapasitas Masjid/Musholla
6. Pembagian *Cluster*
7. Perencanaan Sistem Manajemen Evakuasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perolehan Data

A. Pemilihan Lokasi Perencanaan Shelter Mandiri

1. Pemetaan persebaran masjid dan musholla di seluruh Kelurahan Pasir Nan Tigo. Langkah pertama yaitu pemetaan sebaran dari seluruh masjid dan musholla yang ada di Kelurahan Pasir Nan Tigo yang berjumlah dua puluh satu (21). Sebaran dari masjid dan musholla tersebut dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Kelurahan Pasir Nan Tigo

21 mesjid dan musholla tersebut yaitu :

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Masjid Al Furqan | 12. Masjid Asra Pasie Jambak |
| 2. Masjid Nurul Falah | 13. Musholla Ihdinassi |
| 3. Masjid Baiturrahmah | Ratulmustaqim |
| 4. Musholla Darul Islah | 14. Masjid Almannar |
| 5. Masjid UMSB | 15. Musholla Nurul Ikhlas Talao |
| 6. Masjid Tarbiyatul 'Ulum | Sapek |
| 7. Musholla Darussalam Pasie Nan Tigo | 16. Musholla Darul Iman |
| 8. Masjid Darul Muttaqin | 17. Musholla Nurul Ikhlas |
| 9. Masjid Iqra' | 18. Musholla Muslimin |
| 10. Musholla Al-Muqarrabin | 19. Musholla Assalam |
| 11. Musholla Al-Ikhlas Pasie Jambak | 20. Musholla Al Falah |
| | 21. Musholla At Taubah |

2. Penyeleksian masjid dan musholla berdasarkan karakteristik yang telah ditentukan. Setelah mengetahui sebaran dan data dari masjid dan musholla tersebut, langkah selanjutnya yaitu menyeleksi masjid dan musholla tersebut berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Hasil dari penyeleksian dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Skor Perolehan Masjid dan Musholla

Kode Masjid/Musala	Kode Masjid/Musala	Distribusi Penduduk			Luas Bangunan > 300 m ²		Luas Lahan > 600 m ²		Jarak dari bibir pantai > 200 m		Akses		Keberadaan Pengelola		Total Skor	
		Keterangan	Besar	Sedang	Kecil	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tinggi	Rendah	Ada		Tidak Ada
						Point	3	2	1	1	0	1	0	1		0
1	Masjid Al Furqan		2			1		1		1		1		1		7
2	Masjid Nurul Falah	3						0		1		1		1		7
3	Masjid Baiturrahman	3						0				1		1		6
4	Masjid Darul Islah		2			1				0		1		1		6
5	Masjid UMSB	3				1				1		1		1		8
6	Masjid Tabiyatul 'Ulum		2			1				1		1		1		7
7	Musala Darussalam		2					0		0		1		1		5
8	Masjid Darul Muttaqin		2					0		0		1		1		5
9	Masjid Iqra'		2					0		0		1		1		5
10	Musala Al Muqqarabin				1			0				0		1		3
11	Musala Al Ikhlas		2					0		1		1		1		6
12	Masjid Asra				1	1				1		1		1		6
13	Musala Ihdinasshiratol Mustaqim			2				0		1		1		1		6
14	Masjid Al Mannar	3						0		1		1		1		7
15	Musala Nurul Ikhlas			2				0		0		1		1		5
16	Musala Darul Iman			2				0		0		1		0		4
17	Musala Nurul Ikhlas	3						0				0		1		5
18	Musala Muslimin				1	1				1		0		1		5
20	Musala Al Falah			2				1		1		1		1		7
21	Masjid At Taubah				1			0		1		1		1		5

Dari data diatas dapat dilihat total skor yang diperoleh pada setiap masjid dan musholla masing-masingnya. Berdasarkan perolehan skor diatas, maka diambil 10 skor tertinggi untuk dijadikan sebagai prioritas untuk perencanaan *shelter* mandiri. 10 masjid dan musholla tersebut yaitu :

1. Masjid UMSB
 2. Masjid Nurul Falah
 3. Masjid Al Mannar
 4. Masjid Asra
 5. Masjid Al Furqan
 6. Mushalla Al Ikhlas
 7. Mushalla Ihdinasshiratol Mustaqim
 8. Masjid Tarbiyatul 'Ulum
 9. Mushalla Al Falah
 10. Masjid Darul Islah
3. Penindak lanjutan terhadap kelebihan dan kekurangan, dan kesediaan masjid dan musholla yang dituju.

Tahapan selanjutnya yaitu mendatangi masjid dan musholla yang menjadi prioritas untuk bertemu dengan pengurusnya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana tanggapan dari pihak pengurus masjid dan musholla yang bersangkutan tentang gagasan *shelter* mandiri ini. Setelah melakukan peninjauan, maka diperoleh hasil bahwa hanya ada 6 masjid dan musholla yang dapat menerima gagasan *shelter* mandiri ini. 6 masjid dan musholla tersebut yaitu :

1. Masjid Al Furqan
2. Masjid UMSB
3. Masjid Tarbiyatul 'Ulum
4. Musholla Al Ikhlas
5. Masjid Asra
6. Musholla Ihdinasirotal Mustaqim

Setelah terpilih 6 masjid dan musholla tersebut, maka dilakukan seleksi lagi berdasarkan jarak antar masjid. Hal ini dilakukan agar apabila ada 2 masjid yg berdekatan dari ke 6 masjid tersebut, maka dipilih salah satunya agar lebih efisien. Dan setelah diseleksi, dapatlah 4 masjid yang dipilih untuk dijadikan lokasi perencanaan shelter mandiri, yaitu :

1. Masjid Al Furqan
2. Masjid UMBS
3. Musholla Al Ikhlas
4. Masjid Asra

4. Pembagian Cluster

Tahapan selanjutnya yaitu dengan melakukan pembagian cluster berdasarkan kapasitas pada setiap bagian di Kelurahan Pasir Nan Tigo. Pembagian cluster ini dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Pembagian Cluster Masjid dan Musholla

NO	CLUSTER	RW	JUMLAH PENDUDUK	TOTAL	SHELTER MANDIRI
1	CLUSTER I	RW 01	1141	3153	Masjid Al Furqan
		RW 02	865		
		RW 11	468		
		RW 14	679		
			0		
2	CLUSTER II	RW 03	641	4904	Masjid UMBS
		RW 04	1195		
		RW 13	558		
		RW 08	1613		
		RW 12	457		
		RW 05	440		
			0		
3	CLUSTER III	RW 05	441	2410	Mushalla Al Ikhlas
		RW 09	910		
		RW 06	1059		
			0		
4	CLUSTER IV	RW 07	743	1476	Masjid Asra
		RW 10	733		
TOTAL				11943	

Berdasarkan hasil pembagian diatas dapat dilihat bahwa cluster 2 memiliki nilai kapasitas yang paling besar, hal ini dikarenakan luasnya daerah cakupan yang di tujukan pada cluster 2. Setelah terpilih 4 masjid dan musholla tersebut, maka dapat dilanjutkan pada tahap selanjutnya yaitu peningkatan kapasitas masjid agar dapat berfungsi sebagai shelter dengan baik. Daerah pembagian cluster dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Peta Pembagian Cluster

B. Manajemen Fasilitas yang Direncanakan

Perencanaan *shelter* mandiri akan tepat sasaran jika dilengkapi dengan manajemen fasilitas yang tepat. Manajemen fasilitas pada *shelter* mandiri dapat disesuaikan dengan kapasitas masing-masing masjid dan musholla yang akan dijadikan *shelter* mandiri.

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan konstruksi *shelter*, salah satunya yaitu menurut A.S.Arya dalam *Guidelines for Design and Construction of Cyclone/Tsunami Shelter* tahun 2006, diantaranya adalah sebagai berikut :

A. Bangunan (*building*)

1. Bangunan 2 lantai atau lebih dapat dijadikan *shelter*. Tinggi bangunan tergantung dari ketinggian gelombang. Penggunaan pondasi dalam sangat disarankan. Namun, jenis pondasi yang digunakan ditinjau dari investigasi tanah pada lokasi bangunan.
2. Bentuk : Apapun bentuk bangunan (*circular, hexagonal, octagonal*) cocok digunakan. Namun, bentuk persegi empat dan lingkaran disarankan untuk meningkatkan tingkat *aerodynamic* struktur bangunan.
3. Pintu : Harus dapat dibuka dua arah dan disarankan terbuat dari baja ringan ataupun bahan lain yang kokoh.
4. Jendela : Jenis jendela yang digunakan bersifat *non-brittle* dan kokoh. Bahan jendela dapat terbuat dari *Fiber Reinforced Plastic* (FRP).

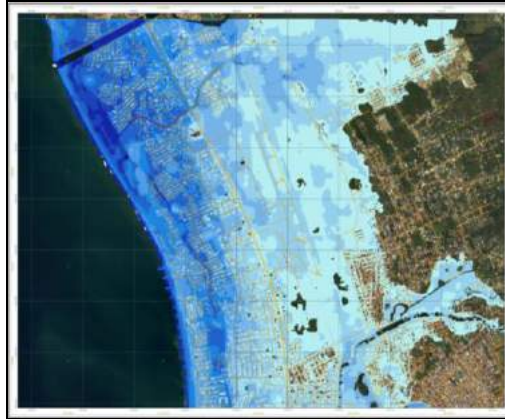
B. Tinggi Bangunan (*height of building*)

1. Ketinggian lantai dasar dari permukaan tanah dapat berkisar antara 1,2 – 1,5 m.
2. Bangunan harus bertingkat, menurut FEMA (2008) tinggi lantai pertama bangunan dapat dihitung menggunakan formula berikut :

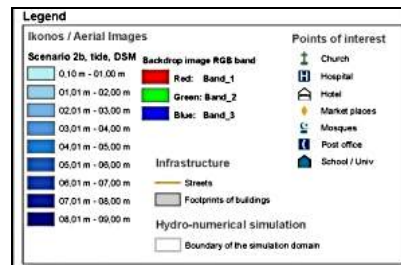
$$h_{max} = 1,3R^* - z_w + 3 \text{ meter} \quad (3.1)$$

dimana h_{max} adalah ketinggian vertikal pada lantai dasar, R^* adalah nilai ketinggian gelombang (*run-up*) dari lokasi titik tinjau, dan z_w merupakan ketinggian lantai dasar dari permukaan tanah. Untuk perhitungan ketinggian lantai dasar, diambil contoh pada Masjid Al Furqan. Pada peta landaan tsunami kota Padang, dapat dilihat area di Masjid Al Furqan memiliki nilai ketinggian gelombang 4,1 m – 5 m. Jika ketinggian lantai dasar dari permukaan tanah

diambil 1,5 m dan nilai *run-up* sebesar 5 m, maka diperoleh ketinggian lantai pertama yaitu setinggi 8 m.



Gambar 3.3 Peta Landaan Tsunami Kota Padang



Gambar 3.4 Legenda Peta Landaan Tsunami Kota Padang

C. Desain Interior Bangunan (*interior design*)

1. Harus menyediakan ruangan untuk anak-anak dan orang tua/orang sakit.
2. Harus menyediakan ruangan penyimpanan yang dapat memenuhi kebutuhan saat evakuasi.

D. Tangga (*staircases*)

1. Harus dibuat sampai lantai pertama dan memiliki ruangan yang cukup untuk pergerakan orang-orang. Lebar tangga berkisar antara 1,5 – 2 m tergantung dari kapasitas *shelter*.
2. Perlunya pertimbangan untuk pembuatan *ramp* untuk pergerakan orang tua dan disabilitas.
3. Tangga dengan lebar 1,2 m untuk penghubung lantai dasar ke bagian teras.

E. Penyediaan Air (*water supply*)

1. Jumlah tangki minimal 2 unit yang dapat menyediakan untuk kebutuhan minum dan toilet.
2. Perlunya perawatan secara berkala pada bagian dak beton di lantai paling atas.

F. Toilet dan Sistem Pembuangan Air Kotor

1. Kriteria toilet : untuk kapasitas 500 orang harus tersedia minimal 1 toilet pria dan 1 toilet wanita.
2. Ukuran toilet minimal 9 sp/ft (0,84 m²), disarankan 12 sq/ft (1,11 m²).

G. Pertimbangan Lain.

1. Sumber listrik harus berada diatas muka gelombang. Perlu juga dipertimbangkan penyediaan sumber listrik cadangan seperti generator.
2. Fasilitas komunikasi seperti radio nirkabel atau *walkies-talkie* harus disediakan.
3. Harus dilakukan perawatan secara berkala pada bangunan.

Salah satu poin yang juga berperan penting pada perencanaan manajemen fasilitas ini yaitu sistem logistik dan peralatan. Berdasarkan Peraturan Badan Nasional Penanggulangan Bencana Indonesia Nomor 04 Tahun 2018 tentang Sistem Manajemen Logistik dan Peralatan, sistem manajemen logistik dan peralatan penanggulangan bencana adalah pengelolaan logistik dan peralatan meliputi perencanaan, pengadaan, pergudangan, pendistribusian, dan penghapusan guna mencapai tujuan dan sarana efektif dan efisien.

C. Sistem Evakuasi

Evakuasi dilakukan setelah adanya *early warning* yang mengacu pada terjadinya gempa besar. *Early warning* yang diterapkan bukan berasal dari pemberitahuan pemerintah, namun berdasarkan ciri-ciri dari gempa kuat yang terjadi. Hal ini dikarenakan wilayah Kelurahan Pasir Nan Tigo merupakan bagian pesisir Kota Padang yang berhadapan langsung dengan pantai. Hal ini menyebabkan daerah tersebut menjadi *Near Field/Local Field Tsunami* sehingga harus bertindak cepat bila terjadi gempa kuat. Menurut Buku Panduan Informasi Peringatan Dini Tsunami Bagi Lembaga Penyiaran di Indonesia tahun 2012, *Near Field/Local Field Tsunami* (Tsunami Jarak dekat/lokal) adalah tsunami yang terjadi disekitar jarak 200 km dari episenter gempa bumi. Tsunami lokal dapat disebabkan oleh gempa bumi, longsor, atau letusan gunung berapi. Sehingga daerah wilayah Kelurahan Kelurahan Pasir Nan Tigo tergolong pada daerah yang rawan akan dampak buruk dari tsunami. Jadi setelah *early warning* dan dilakukannya evakuasi, yang harus dilakukan adalah tetap berlindung di shelter sampai ada instruksi selanjutnya dari pemerintah atau pihak yang berwenang. Berdasarkan Buku Pedoman Latihan Kesiapsiagaan Bencana, Membangun Kesadaran, Kewaspadaan dan Kesiapsiagaan dalam Menghadapi Bencana oleh Badan Nasional Pencegahan Penanggulangan Bencana tahun 2017, ciri-ciri gempa bumi kuat adalah jika guncangan yang menyebabkan kita sulit berdiri serta mengalami pusing.

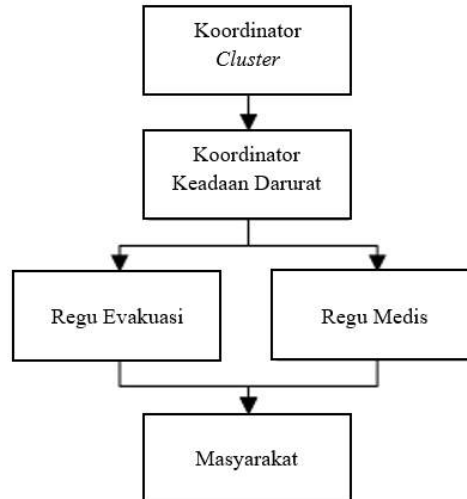
Agar sistem evakuasi ini dapat berjalan dengan baik, maka dapat dibagi menjadi empat bagian yang diserap dari Pedoman Kesiap Siagaan Tanggap Darurat di Gedung Perkotaan tahun 2010, yaitu :

1. Koordinasi Sistem Evakuasi.

Koordinasi sistem evakuasi dimulai dari koordinator *cluster*, koordinator *cluster* dapat ditunjuk dari salah satu kepala RW yang wilayahnya tergabung dalam pembagian di setiap *clusternya*. Koordinator *cluster* bertugas untuk mengambil keputusan sampai ada instruksi selanjutnya dari pemerintah ataupun pihak yang berwenang.

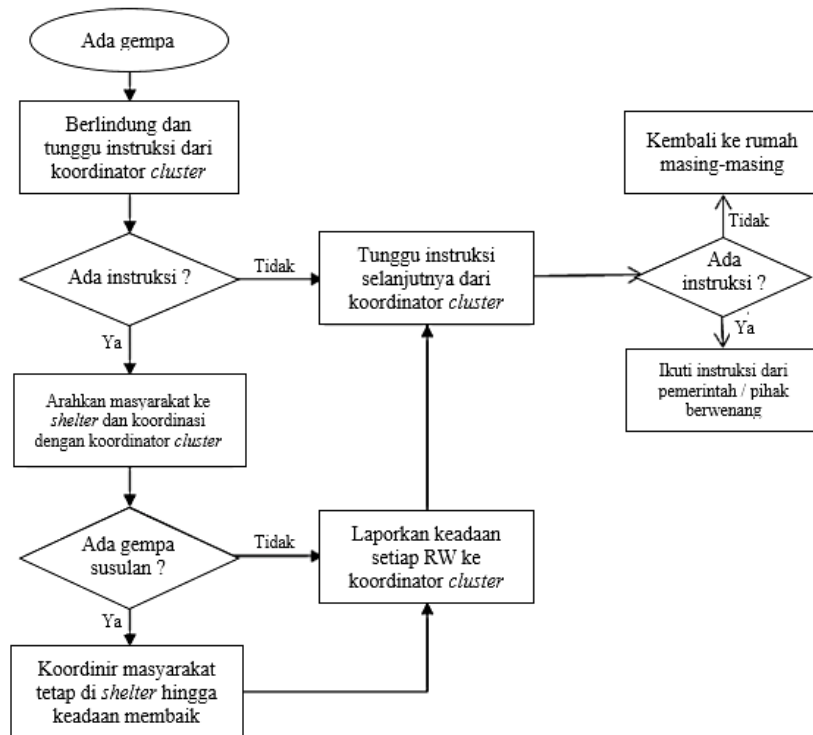
Kemudian disampaikan kepada koordinator keadaan darurat. Koordinator keadaan darurat adalah mereka yang ditunjuk untuk mengkoordinir masyarakat setempat saat dalam keadaan darurat. Koordinator keadaan darurat bertugas untuk menuntun atau memimpin pergerakan masyarakat setempat untuk bertindak dalam keadaan darurat,

agar masyarakat dapat dievakuasi dengan tepat dan terarah. Hal ini dapat mengurangi resiko timbulnya korban jiwa. Tugas dari koordinator keadaan darurat diberikan kepada setiap kepala RW. Selanjutnya diteruskan pada regu evakuasi, regu medis, dan masyarakat. Diagram koordinasi sistem evakuasi dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram Koordinasi Sitem Evakuasi

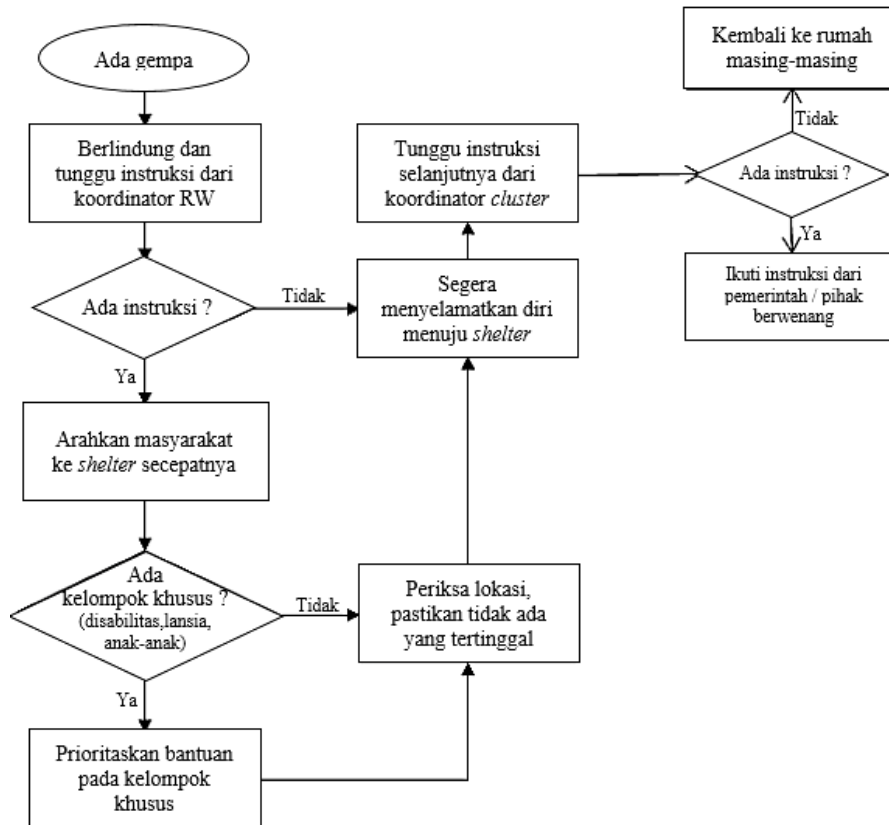
Untuk tindakan yang dilakukan oleh koordinator keadaan darurat dimulai dari apabila terjadi gempa, lalu mengikuti instruksi dari koordinator *cluster*, mengarahkan masyarakat, dan mengkoordinasikan keadaan setelah keadaan mambaik ke koordinator *cluster*. Tugas dari koordinator keadaan darurat dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram Alir Koordinator Keadaan Darurat

2. Regu Evakuasi.

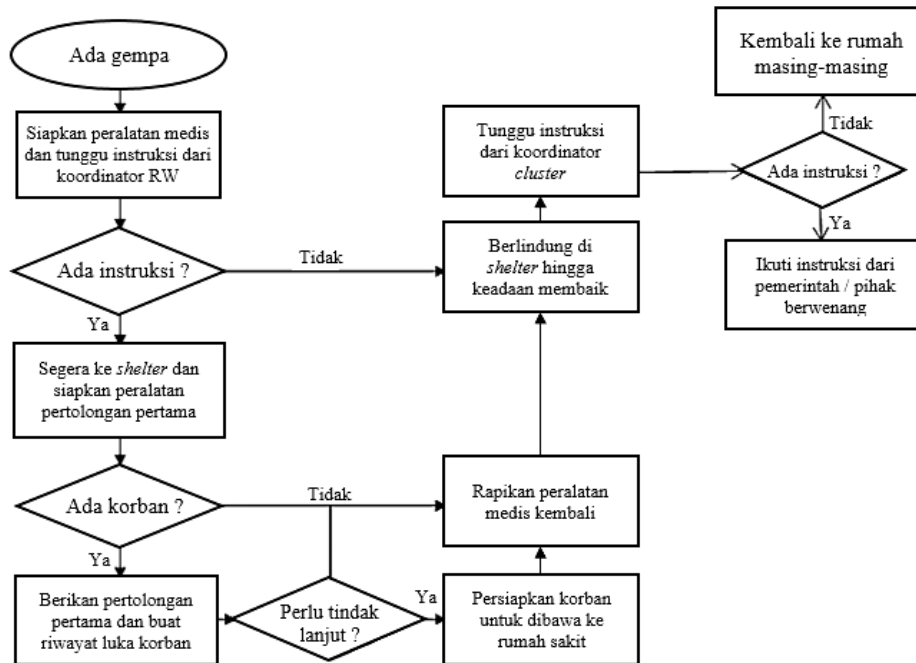
Regu evakuasi merupakan suatu kelompok yang bertugas untuk melakukan atau membantu proses evakuasi. Hal ini dibutuhkan karena tidak semua orang dalam keadaan prima untuk mengevakuasi diri mereka sendiri, seperti penyandang disabilitas, orang tua atau lansia dan anak-anak dibawah umur. Tugas dari regu evakuasi dapat diberikan kepada pemuda karang taruna yang ada di setiap masing-masing *cluster*. Setelah melakukan pertolongan evakuasi, regu evakuasi menunggu instruksi selanjutnya dari koordinator *cluster*. Dengan adanya regu evakuasi ini maka dapat membantu mereka yang membutuhkan untuk dievakuasi. Rangkaian tindakan yang dilakukan oleh regu evakuasi dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Diagram Alir Regu Evakuasi

3. Regu Medis.

Regu medis merupakan suatu kelompok yang bertugas untuk memberikan pertolongan pertama pada mereka yang terluka. Regu medis juga dapat ikut membantu regu evakuasi jika tidak ada korban yang terluka atau jika sudah selesai menangani korban luka. Tugas dari regu medis dapat diberikan kepada kelompok ibu-ibu majelis taqlim pada masjid atau musholla masing-masing yang dijadikan *shelter* mandiri. Setelah melakukan tugasnya, regu evakuasi menunggu instruksi selanjutnya dari koordinator *cluster*. Rangkaian tindakan yang dilakukan oleh regu medis dapat dilihat pada gambar 3.8.

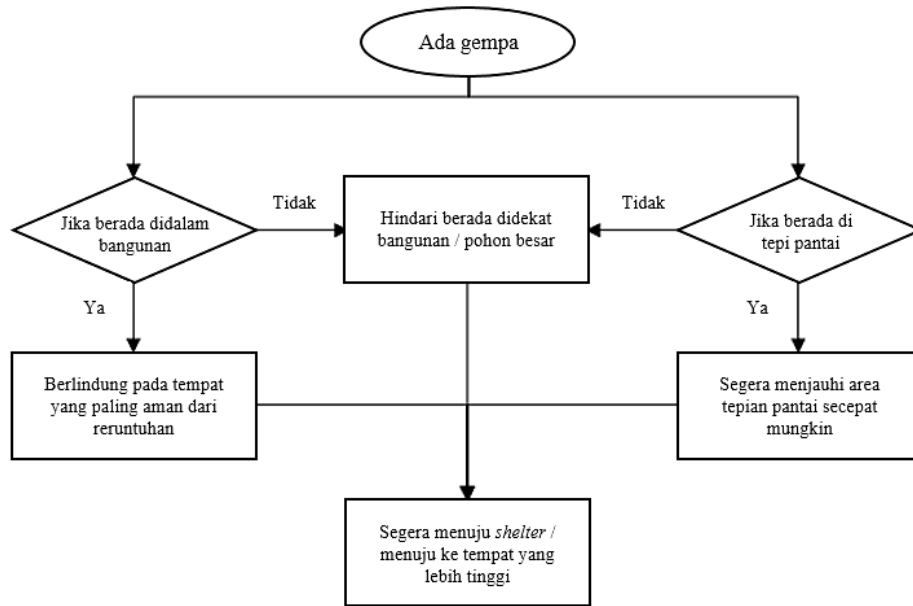


Gambar 3.8 Diagram Alir Regu Medis

4. Tindakan Saat Terjadinya Gempa.

Tindakan saat terjadi gempa merupakan tindakan yang dilakukan tepat pada saat terjadinya gempa dan atau yang diiringi oleh tsunami. Hal ini dibutuhkan karena pada saat terjadinya bencana alam, maka dapat menimbulkan keadaan yang tidak terkendali dan dapat diperparah karena semua orang akan berada dalam kepanikan. Keadaan tersebut akan memperburuk keadaan karena dapat meningkatkan kemungkinan bertambahnya korban jiwa.

Dengan demikian, untuk mengatasi hal tersebut maka disusunlah rangkaian tindakan yang dapat dilakukan saat terjadinya bencana. Tindakan ini ditujukan bukan hanya untuk masyarakat yang sedang berada didalam bangunan saja, namun juga masyarakat yang berada di sekitaran pantai. Hal ini dikarenakan sebagian besar aktifitas masyarakat banyak dilakukan di pinggiran pantai karena bekerja sebagai nelayan. Rangkaian tindakan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Diagram Alir Tindakan Saat Terjadinya Gempa

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dalam sistem manajemen evakuasi pada *shelter* mandiri di Kelurahan Pasie Nan Tigo maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pemilihan masjid dan musholla yang tepat untuk dijadikan *shelter* mandiri ada 4 lokasi yang mana memiliki kriteria pendukung yaitu distribusi penduduk, luas bangunan, luas lahan, jarak dari bibir pantai, akses, dan keberadaan pengelola yang dapat menampung masyarakat pada setiap *cluster*.
2. Manajemen fasilitas yang direncanakan meliputi bangunan yang sebaiknya memiliki 2 lantai / lebih, pintu terbuat dari baja ringan yang dapat dibuka dari dua arah, jendela yang bersifat *non-brettle*, lebar tangga berkisar antara 1,5–2m, memiliki ruangan untuk anak-anak / orang sakit, toilet minimal 1 pria dan 1 wanita perkapasitas 500 orang yang berukuran minimal 0,84m² dan dilengkapi oleh penyediaan air dan cadangan listrik yang cukup.
3. Sistem evakuasi mandiri dilakukan setelah adanya *early warning* yang berupa gempa kuat dan instruksi diberikan oleh koordinator *cluster* yang mana berwenang mengambil keputusan sampai adanya instruksi dari pemerintah atau pihak yang berwenang, instruksi diberikan kepada koordinator keadaan darurat, lalu regu evakuasi dan regu megis, dan diarahkan pada masyarakat.

5. DAFTAR PUSTAKA

Asian Disaster Reduction Center (2003), Glossary on Natural Disasters 2003.

A.S.Arya, Guidelines for Design and Construction of Cyclone/Tsunami Shelter 2006.

- BPS.(2009).”Jumlah dan Distribusi Penduduk 2009” Diakses Tanggal 2/02/2019 dari situs <https://padangkota.bps.go.id/publication/2012/03/28/d9ad370acba4af386f7d95e1/padang-dalam-angka-2009.html>
- BNPB. Pedoman Latihan Kesiapsiagaan Bencana, Membangun Kesadaran, Kewaspadaan dan Kesiapsiagaan dalam Menghadapi Bencana.
- Desnantara, Tamasya.(2011).”Peta Kecamatan-Kecamatan di Kota Padang” Diakses Tanggal 2/02/2019 dari situs <http://desnantara-tamasya.blogspot.com/2011/10/peta-kecamatan-kecamatan-di-kota-padang.html>
- FEMA (2008). Guildelines for Design of Stuctures for Vertical Evacuation from Tsunami, FEMA P646, June.
- Lambourne, H. (2005). Tsunami : Anatomy of a Disaster. BBC News.,Link
- Stephen, R.S. 1994. Disaster Assessment, 2nd edition. UNDP
- Peraturan Badan Nasional Penanggulangan Bencana Indonesia Nomor 04 Tahun 2018
- Panduan Informasi Peringatan Dini Tsunami Bagi Lembaga Penyiaran di Indonesia tahun 2012
- Pedoman Kesiap Siagaan Tanggap Darurat di Gedung Perkotaan tahun 2010
- Vincensius Osman, Jonathan, (2018). Analisis Struktural Bangunan Tempat Evakuasi Sementara (TES) / Shelter Ikhwatun Kecamatan Koto Tangan Padang pada Daerah yang Berpotensi Likuifaksi.
- Wikipedia.(2019).”Gempa Bumi Sumatera Barat 2009” Diakses Tanggal 2/02/2019 dari situs https://id.wikipedia.org/wiki/Gempa_bumi_Sumatera_Barat_2009
- Yudhicara. (2008). Kaitan Antara Karakteristik Pantai Provinsi Sumatera Barat Dengan Potensi Kerawanan Tsunami, Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi Bencana Geologi : Bandung.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini, yaitu rekan satu tim penelitian, masyarakat Kelurahan Pasie Nan Tigo, dan Universitas Andalas.

PENGARUH GENANGAN TERHADAP KECEPATAN TSUNAMI

Any Nurhasanah¹, Susilowati², Andika Wibisono³

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bandar Lampung, Lampung.
Email: any_nurhasanah@ubl.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bandar Lampung, Lampung.
Email: susilowati@ubl.ac.id

³Mahasiswa S1 Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bandar Lampung.
Email: andikawibisono97@gmail.com

ABSTRACT

The tsunami that first came to spread on the beach with a dry surface has not been a pool of water, but the second wave that came will propagate on the beach where some surfaces have been flooded by sea water. This affects the speed of the tsunami. This research is a physical model simulation conducted in a laboratory using wave channels. Tsunami speed during dry conditions is 10.6% to 12.2%. The average speed difference is 11.5% faster in dry surface conditions. The water level at the downstream affects the surge speed, the higher the depth of water downstream, the surge speed will slow down.

Keywords : tsunami, speed, flooded

ABSTRAK

Tsunami yang datang pertama kali menjalar pada pantai dengan permukaan yang kering belum ada genangan air, namun gelombang kedua yang datang akan merambat pada pantai yang sebagian permukaannya sudah tergenang air laut. Hal ini berpengaruh terhadap kecepatan tsunami. Penelitian ini merupakan simulasi model fisik yang dilakukan di laboratorium dengan menggunakan saluran gelombang. Kecepatan tsunami pada saat kondisi kering lebih cepat 10,6% sampai 12,2%. Rata-rata selisih kecepatan 11,5% lebih cepat dalam kondisi permukaan kering. Ketinggian muka air di hilir berpengaruh terhadap kecepatan jalar *surge*, makin tinggi kedalaman air di hilir maka kecepatan *surge* akan melambat.

Kata Kunci : tsunami, kecepatan, tergenang

1. LATAR BELAKANG

Frekuensi Kejadian tsunami di Indonesia pada 2 tahun terakhir ini cukup tinggi yaitu tsunami memakan korban jiwa yang tidak sedikit. Menurut catatan akhir tahun BNPB, angka korban meninggal Tsunami Donggala (2018) sebanyak 2.101 jiwa. Demikian juga dengan tsunami di Selat Sunda (2018), banyak korban jiwa juga keugian materiil yang lainnya. Gempa yang berpotensi tsunami juga kerap kali terjadi sehingga perlu tingkat kewaspadaan yang tinggi.

Perbedaan karakteristik tsunami mengakibatkan daya rusak yang berbeda. Tsunami yang datang pertama kali menjalar pada pantai dengan permukaan yang kering belum ada genangan air, namun gelombang kedua yang datang akan merambat pada pantai yang sebagian permukaannya sudah tergenang air laut. Adanya genangan ini diperkirakan akan mempengaruhi kecepatan tsunami seperti di kawasan pesisir berawa (*coastal wetland and estuaries*). Penelitian ini akan membahas pengaruh genangan terhadap kecepatan tsunami.

2. STUDI PUSTAKA

Kecepatan Gelombang Tsunami di Daratan

Secara umum kecepatan tsunami di kawasan pesisir dapat ditulis sebagai berikut

$$U = k\sqrt{gh} \quad (1)$$

dimana U adalah kecepatan tsunami, h merupakan tinggi tsunami di darat (m), g adalah kecepatan grafitasi ($9,81\text{m/dtk}^2$), dan k adalah koefisien rambat gelombang.

Chanson menyelesaikan permasalahan gelombang *surge* yang terjadi akibat *dam break* yang setelah menjalar ke daratan mirip dengan *surge* tsunami secara analitis. Chanson memperoleh Persamaan (2) untuk kecepatan *surge* yang menjalar di tanah kering.

$$\frac{81}{3f} \frac{\left(1 - \frac{1}{2} \frac{U}{\sqrt{gd_0}}\right)^3}{\frac{U^2}{gd_0}} = \sqrt{\frac{g}{d_0}} t \quad (2)$$

Apabila kedalaman air dihilir tidak sama dengan nol atau permukaan air tergenang maka diberikan Persamaan (3).

$$\sqrt{\frac{d_0}{d_3}} = \frac{1}{2} \frac{U}{\sqrt{gd_3}} \left(1 - \frac{1}{X}\right) + \sqrt{X} \quad (3)$$

dengan

$$X = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \frac{U^2}{gd_3}} - 1 \right) \quad (4)$$

d_s merupakan kedalaman air di hilir, $\frac{h}{d_3} = X$, h = tinggi *surge*

Dalam Persamaan (2), koefisien friksi (f) diabaikan karena kedalaman air hilir mengurangi tingkat gesekan dengan dasar perairan secara signifikan.

3. METODOLOGI

3.1 Fasilitas Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrolika dan Hidrologi Pusat Studi Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada (Lab. HH-PSIT-UGM). Simulasi yang dilakukan adalah simulasi model fisik dengan menggunakan saluran gelombang dengan ukuran $20,55 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} \times 0,45 \text{ m}$ yang dilengkapi dengan pembangkit gelombang tsunami berbentuk *dam break*. Pintu air sebagai pemisah antara hulu dan hilir seperti pada Gambar 1. Alat pengukur tinggi gelombang sebanyak 4 buah diletakkan dengan jarak masing-masing 1 meter. Bagian hulu (*reservoir*) diisi air dengan kedalaman tertentu. Pintu dilepas secara cepat sehingga menghasilkan surge seperti tsunami yang merambat ke arah pantai.



Gambar 1. Saluran gelombang untuk simulasi model

3.2 Variabel yang Diteliti

Variabel yang diteliti adalah tinggi tsunami, dan kecepatan tsunami.

3.3 Simulasi Penelitian

Simulasi yang dilakukan dengan memvariasikan beberapa tinggi air di hulu dan tinggi genangan air di hilir, sesuai dengan Tabel 1.

Tabel 1 Simulasi *surge tsunami*

Tinggi Air Hulu d_0 (cm)	Tinggi Air Hilir d_1 (cm)	Tinggi Air Hilir d_1 (cm)
20	3	0
25	3	0
30	3	0

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Urutan pelaksanaan penelitian ini adalah

a. Kalibrasi *wave probe*

Tujuan kalibrasi ini adalah untuk meyakinkan hasil pengukuran yang dilakukan dengan instrument mendekati hasil yang sama dengan hasil pengukuran secara manual (Triatmadja, 2010).

b. Pengujian tinggi dan kecepatan gelombang *surge* tsunami

Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 4 (empat) buah sensor *wave probe* dengan jarak masing-masing 1, 2, 3, 6 meter dari pintu.

c. Pengujian kecepatan pada permukaan dasar tergenang.

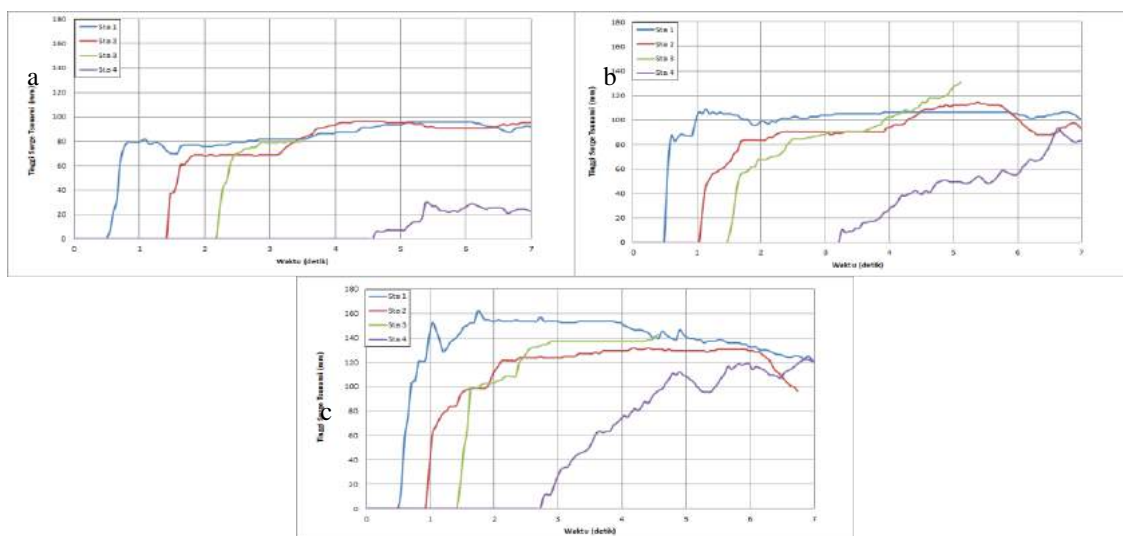
Masing-masing simulasi diulang sebanyak 3 kali.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian model fisik di laboratorium ini didapatkan karakteristik *tsunami*, berupa tinggi gelombang di saluran dan kecepatan jalar gelombang.

4.1 Tinggi Tsunami

Tinggi gelombang pada saluran dipengaruhi oleh tinggi air yang ditampung di bagian hulu dan genangan di hilir. Hasil pembacaan tinggi gelombang dilihat pada Gambar 2.

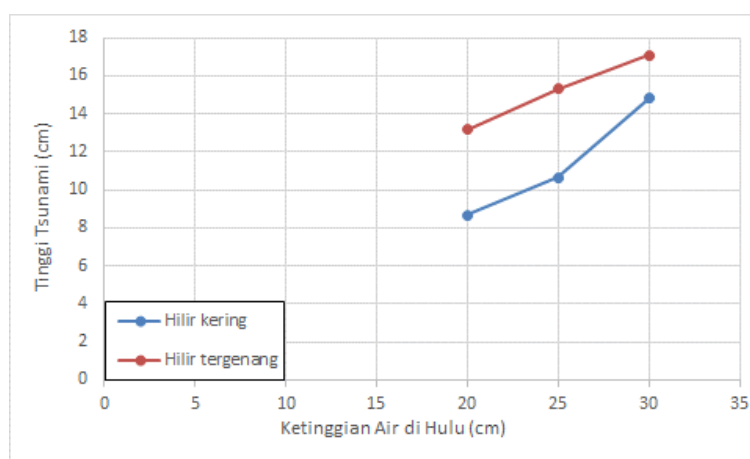


Gambar 2. Tinggi gelombang; a. $d_0 = 20\text{cm}$, b. $d_0 = 30\text{cm}$, c. $d_0 = 40\text{cm}$

Hasil pengukuran tinggi gelombang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2. Perbandingan tinggi gelombang hilir saluran kering dan tergenang

Ketinggian Air di Hulu d_0 (cm)	Tinggi Gelombang Rata-rata (cm)	
	Hilir Kering	Hilir Tergenang
20	8,66	13,16
25	10,64	15,32
30	14,81	17,08



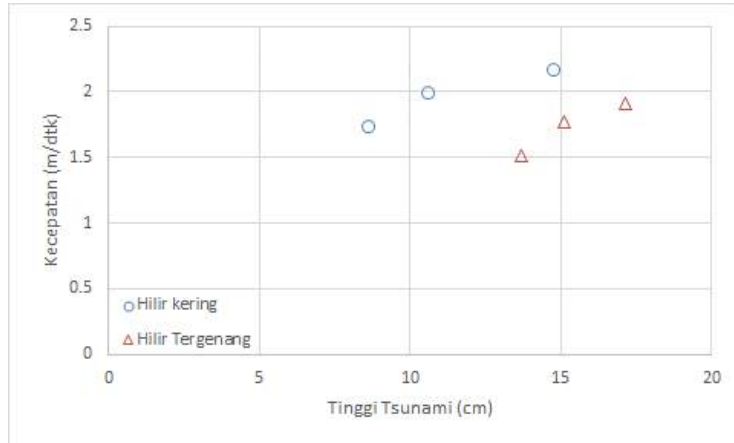
Gambar 3. Perbandingan tinggi tsunami pada kondisi hilir kering dan tergenang

4.2 Kecepatan Tsunami

Metode untuk pengukuran kecepatan gelombang tsunami dengan *wave probe* yang dipasang di bagian hilir pintu pada jarak 1 m untuk *wave probe* 1, jarak 2 m untuk *wave probe* 2, dan jarak 3 m untuk *wave probe* 3 dari pintu, Hasil perhitungan kecepatan tsunami dengan dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 4. Kecepatan tsunami pada saat kondisi kering lebih cepat 10,6% sampai 12,2%. Rata-rata selisih kecepatan 11,5% lebih cepat dalam kondisi permukaan kering

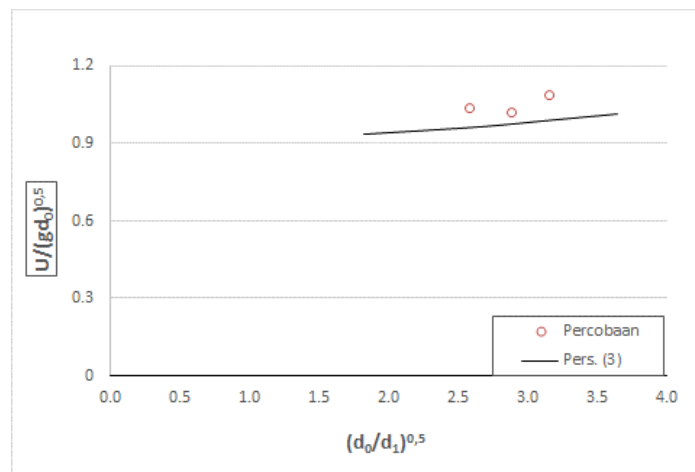
Tabel 3. Perbandingan kecepatan tsunami hilir saluran kering dan tergenang

Tinggi Gelombang (cm)		Kecepatan Tsunami (m/det)		
Kering	Tergenang	Kering	Tergenang	Prosentase (%)
8.66	13.71	1.72	1.51	12.2
10.64	15.11	1.98	1.77	10.6
14.81	17.16	2.16	1.91	11.6



Gambar 4. Perbandingan kecepatan tsunami kondisi hilir kering dan tergenang

Chanson (2006) memberikan persamaan untuk menghitung kecepatan tsunami pada permukaan yang memiliki genangan di bagian hilir melalui Persamaan (3). Gambar 5 menunjukkan hasil pengukuran di laboratorium dibandingkan dengan teori Chanson melalui Persamaan (3) dengan nilai kedalaman air di hilir (d_1) = 0,03 m. Ketinggian muka air di hilir berpengaruh terhadap kecepatan jalur *surge*, makin tinggi kedalaman air di hilir maka kecepatan *surge* akan melambat



Gambar 5. Kecepatan tsunami dengan genangan di hilir

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini:

1. Kecepatan tsunami pada saat kondisi kering lebih cepat 10,6% sampai 12,2%. Rata-rata selisih kecepatan 11,5% lebih cepat dalam kondisi permukaan kering.
2. Ketinggian muka air di hilir berpengaruh terhadap kecepatan jalur *surge*, makin tinggi kedalaman air di hilir maka kecepatan *surge* akan melambat.

6. DAFTAR PUSTAKA

Nugroho, S. P., (2018), Warga Segera Bangkit dan Beraktivitas Kembali Pascabencana di Sulawesi Tengah, <https://bnpb.go.id/warga-segera-bangkit-dan-beraktivitas-kembali-pascabencana-di-sulawesi-tengah> (diakses 10 Oktober 2019)

Chanson, H., (2006), Tsunami Surges On Dry Coastal Plains: Application Of *Dam break Wave Equations*, *Coastal Engineering Journal*, Vol. 48, No. 4, pp 355-370, World Scientific Publishing Company and Japan Society of Civil Engineers

Triatmadja. R., and Nurhasanah. A., (2012), Tsunami Force on Buildings with Openings, *Journal of Earthquake and Tsunami*, World Scientific Publishing Company, Vol. 6, No. 4.

7. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan Terimakasih kepada Kemenristek Dikti yang telah mendanai penelitian ini, melalui Hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi tahun 2019.

ANALISA KAPASITAS DAN METODA KONSTRUKSI PADA *SHELTER* MANDIRI DI KELURAHAN PASIE NAN TIGO

Febrin Anas Ismail¹, Taufika Ophiyandri², Dicky Kurnia Adha³

¹Mahasiswa doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: febrin@yahoo.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: tophiyandri@ft.unand.ac.id

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: dickykurniaadha@gmail.com

ABSTRAK

Gelombang tsunami merupakan jenis gelombang yang dapat bergerak ke segala arah hingga mencapai jarak ribuan kilometer. Daya kerusakan yang diakibatkan gelombang ini akan semakin kuat apabila berada di daratan yang dekat dengan pusat gangguan. Jika di lautan tinggi gelombang tsunami ini tidak terlalu tinggi, hanya sekitar 1 meter saja. Meski demikian, kecepatan yang dimiliki oleh gelombang ini bisa mencapai 500 hingga 1000 kilometer per jam, kecepatan ini menyamai dengan kecepatan pesawat jet. Sebaliknya, semakin mendekati daratan kecepatan gelombang ini semakin menurun, hanya sekitar 35 hingga 50 kilometer per jam. Namun, tingginya gelombang akan semakin naik, hingga mencapai 20 meter. Dengan ketinggian yang seperti ini, maka gelombang tsunami dapat masuk ke daratan hingga jarak puluhan kilometer. Kelurahan Pasia Nan Tigo, Kota Padang merupakan daerah yang terletak ditepi pantai. Daerah ini memiliki potensi bencana tsunami yang sangat tinggi dan belum memiliki shelter, karena pembangunan shelter membutuhkan biaya yang besar. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi pada pembangunan shelter di daerah tersebut. Sehingga apabila bencana tsunami terjadi maka dampaknya bisa diminimalisir. Dengan cara menambah fungsi mushalla/masjid menjadi tempat ibadah sekaligus shelter. Yang mana biaya pembangunan dan pengelolaannya berasal dari swadaya masyarakat. Dan menganalisa kapasitas yang dapat ditampung oleh mushalla/masjid shelter tersebut agar dapat menampung masyarakat sekitarnya. Serta menganalisa metoda konstruksi yang tepat dalam pembangunan shelter agar tidak mengganggu proses ibadah dan mempermudah dalam pembangunan dengan biaya yang terbatas. Manfaatnya agar masyarakat yang tinggal di daerah yang rawan terhadap bencana tsunami dan belum memiliki shelter dapat membangun shelternya sendiri di daerah tersebut.

Kata Kunci : Tsunami, Shelter Mandiri, Padang, Kapasitas, Metoda Konstruksi

1. PENDAHULUAN

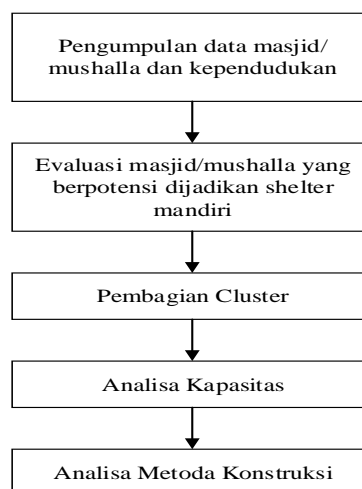
Shelter mandiri adalah sebuah ide atau konsep gagasan pembangunan untuk membangun *shelter* dengan memanfaatkan swadaya masyarakat, yaitu dengan meningkatkan kapasitas dan fungsi bangunan masjid atau mushalla sebagai tempat ibadah sekaligus menjadi bangunan *shelter*. Peningkatan kapasitas dan fungsi bangunan dilakukan pada bangunan berupa masjid atau mushalla dikarenakan pertama, dari segi lahan sudah tersedia, sehingga tidak memerlukan penggunaan lahan baru. Kedua, masjid atau mushalla yang akan dijadikan *shelter* mandiri dapat menampung

masyarakat sekitar yang jauh dari jalur evakuasi tsunami, terlebih mereka yang bertempat tinggal hanya berjarak beberapa meter dari garis pantai. Ketiga, untuk membangun *shelter* membutuhkan dana yang besar. Oleh karena itu jika konsep pembangunan peningkatan kapasitas dan fungsi masjid atau mushalla ini di asumsikan sama dengan membangun masjid atau mushalla, maka masyarakat tidak akan terbebani untuk mengeluarkan uang dalam bentuk sumbangan atau sedekah. Sehingga peluang untuk membangun *shelter* mandiri dengan biaya sendiri (tanpa anggaran khusus rancangan membangun *shelter* dari pemerintah) semakin tinggi. Meskipun membutuhkan jangka waktu yang cukup lama seperti 7 (tujuh) atau 8 (delapan) tahun kedepan, pelaksanaannya masih bisa dilakukan dengan menggunakan metode konstruksi tertentu secara bertahap tergantung seberapa besar sumbangan atau sedekah yang terkumpul dari penduduk di kawasan masjid/mushalla tersebut.

Untuk menambah fungsi dari masjid/mushalla tersebut diperlukan perencanaan kapasitas agar shelter dapat menampung semua masyarakat yang berada disekitar daerah tersebut. Dan untuk membangun shelter diperlukan metoda konstruksi yang tepat agar proses ibadah yang ada pada masjid/mushalla tersebut tidak terganggu. Maka dari itu dilakukan penelitian ini agar kedua hal tersebut dapat terencana dengan baik.

2. METODOLOGI

Secara garis besar metodologi penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini :



Gambar 70. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL, ANALISA DATA, DAN PEMBAHASAN

A. Penentuan masjid/mushalla yang akan dijadikan shelter

- Pengumpulan Data

Lokasi dari penelitian ini adalah di kelurahan Pasie Nan Tigo kecamatan Koto Tangah kota Padang, yang mana disini terdapat 21 masji/mushalla yang tersebar di daerah yang luasnya 14,57 km² dan terbagi atas 14 RW.

Ada beberapa data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian ini yang terbagi atas 2 yaitu :

1. Data yang diperoleh dari observasi

Data dari observasi ini adalah data penyebaran penduduk, jumlah penduduk, situasi, dan kondisi masjid/mushalla. Yang hasilnya dapat dilihat dalam tabel dibawah ini :

Tabel 35. Beberapa data masjid/mushalla di kelurahan Pasie Nan Tigo

NO	NAMA MASJID	FOTO MASJID	KETERANGAN
1	Masjid Al Furqan		Alamat : Muaro Pengaliran Kelurahan Pasie Nan Tigo Luas Bangunan : 322 m ² Luas Lahan : 1345 m ² Jarak dari Bibir Pantai : 980 m Hak Milik Bangunan : Masyarakat Berada pada Jalur Evakuasi : Ya Kepengurusan Masjid : Ada Berada pada Daerah Ramai Penduduk : Ya
2	Masjid Nurul Falah		Alamat : Kompleks Kuala Nyiur II Kelurahan Pasie Nan Tigo Luas Bangunan : 245 m ² Luas Lahan : 666 m ² Jarak dari Bibir Pantai : 647 m Hak Milik Bangunan : Pemerintah Berada pada Jalur Evakuasi : Ya Kepengurusan Masjid : Ada Berada pada Daerah Ramai Penduduk : Ya
3	Masjid Baiturrahmah		Alamat : Kelurahan Pasie Nan Tigo Luas Bangunan : 216 m ² Luas Lahan : 390 m ² Jarak dari Bibir Pantai : 480 m Hak Milik Bangunan : Pemerintah Berada pada Jalur Evakuasi : Ya Kepengurusan Masjid : Ada Berada pada Daerah Ramai Penduduk : Ya

2. Data yang diperoleh dari kuisisioner

Data ini dilakukan dengan cara mendatangi pengurus masjid/mushalla bertujuan mengetahui kesediaan dari pengurus untuk membantu dalam mewujudkan pembangunan shelter mandiri yang direncanakan. Dan juga sekaligus memberi arahan dan pemahaman yang tepat tentang apa itu shelter mandiri kepada pengurus.

- Evaluasi masjid/mushalla
 Evaluasi ini dilakukan dengan cara perhitungan poin kriteria terhadap masjid/mushalla yang dapat dilihat pada table dibawah ini :

Tabel 2. Tabel poin kriteria masjid/mushalla

Kode Masjid/Musala	Kode Masjid/Musala	Distribusi Penduduk			Luas Bangunan > 100 m ²		Luas Lahan > 600 m ²		Jarak dari bibir pantai > 100 m		Akses		Keberadaan Pengelola		Total Skor	Peringkat
		Besar	Sedang	Kecil	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	tidak	Tinggi	Rendah	Ada	Tidak Ada		
		3	2	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0		
1	Masjid Al Furqan		2		1		1		1		1		1		7	2
2	Masjid Nurul Falah	3				0	1		1		1		1		7	2
3	Masjid Baiturrahman	3				0		0	1		1		1		6	5
4	Masjid Darul Islah		2		1			0	1		1		1		6	5
5	Masjid UMSB	3			1		1		1		1		1		8	1
6	Masjid Tabiyatul 'Ulum		2		1		1		1		1		1		7	2
7	Musala Darussalam		2			0		0	1		1		1		5	8
8	Masjid Darul Muttaqin		2			0		0	1		1		1		5	8
9	Masjid Iqra'		2			0		0	1		1		1		5	8
10	Musala Al Muqqarabin			1		0		0		0	1		1		3	8
11	Musala Al Ikhlas		2			0	1		1		1		1		6	5
12	Masjid Asra			1	1		1		1		1		1		6	5
13	Musala Ihdinasshiratol Mustaqim		2			0	1		1		1		1		6	5
14	Masjid Al Mannar	3				0	1		1		1		1		7	2
15	Musala Nurul Ikhlas		2			0		0	1		1		1		5	8
16	Musala Darul Iman		2			0		0	1			0	1		4	2
17	Musala Nurul Ikhlas	3				0		0		0	1		1		5	8
18	Musala Muslimin			1	1		1			0	1		1		5	8
19	Musala As Salam			1	1		1		1			0		0	4	8
20	Musala Al Falah		2		1		1		1		1		1		7	8
21	Masjid At Taubah			1		0	1		1		1		1		5	5

Dari tabel perhitungan diatas dapat diketahui ada 10 masjid/mushalla yang berpotensi untuk dijadikan shelter mandiri, diantaranya adalah :

- | | |
|------------------------|---------------------------------------|
| 11. Masjid UMSB | 16. Mushalla Al Ikhlas |
| 12. Masjid Nurul Falah | 17. Mushalla Ihdinasshiratol Mustaqim |
| 13. Masjid Al Mannar | 18. Masjid Tarbiyatul 'Ulum |
| 14. Masjid Asra | 19. Mushalla Al Falah |
| 15. Masjid Al Furqan | 20. Masjid Darul Islah |

Selanjutnya dilakukan pendekatan kembali kepada pengurus masjid/mushalla untuk mengetahui apakah pengurus masjid/mushalla menyetujui masjid/mushalla tersebut untuk dikembangkan fungsinya menjadi shelter mandiri dan mau ikut berpartisipasi dalam mewujudkan pembangunan shelter mandiri. Dari pendekatan ini diperoleh 6 dari 10 masjid/mushalla yang pengurusnya mendukung wacana pengembangan fungsi masjid/mushallanya menjadi shelter mandiri yang diantaranya adalah :

1. Masjid Al Furqan
2. Masjid UMSB
3. Mushalla Al Ikhlas
4. Masjid Asra
5. Mushalla Ihdinasshiratol Mustaqim
6. Masjid Tarbiyatul 'Ulum

Dari 6 masjid/mushalla diatas terdapat masjid/mushalla yang letaknya berdekatan yaitu masjid UMSB dengan masjid Tarbiyatul 'Ulum dan masjid Asra dengan mushalla Ihdinasshiratol Mustaqim. Ada beberapa hal yang akan menyulitkan apabila masjid/mushalla yang akan direncanakan letaknya berdekatan, yaitu :

1. Kesulitan dalam manajemen evakuasi

2. Kesulitan dalam pembagian cluster
3. Kesulitan dalam biaya pembangunan

Maka 2 dari 6 shelter yang memenuhi kriteria tidak dijadikan shelter mandiri dengan pertimbangan, yaitu :

1. Masjid UMSB memiliki luas lahan lebih besar dari masjid Tarbiyatul ‘ulum
2. Masjid UMSB memiliki jarak dari bibir pantai lebih besar dari masjid Tarbiyatul ‘ulum
3. Masjid Asra memiliki luas lahan lebih besar dari mushalla Ihdinasshiratol Mustaqim
4. Masjid Asra memiliki jarak dari bibir pantai lebih besar dari mushalla Ihdinasshiratol Mustaqim

Dan selanjutnya terpilih 4 masjid/mushalla yang direncanakan untuk menjadi shelter mandiri, yaitu :

1. Masjid Al Furqan
2. Masjid UMSB
3. Mushalla Al Ikhlas
4. Masjid Asra

Dan dari 4 masjid/mushalla ini maka daerah Pasie Nan Tigo dibagi menjadi \$ cluster yaitu :

- Cluster I (Masjid Al Furqan) terdiri dari :
 1. RW I
 2. RW II
 3. RW XI
 4. RW XIV
- Cluster II (Masjid UMSB) terdiri dari :
 1. RW III
 2. RW IV
 3. RW V (sebagian)
 4. RW VIII
 5. RW XII
 6. RW XIII
- Cluster III (Mushalla Al Ikhlas) terdiri dari :
 1. RW V (sebagian)
 2. RW VI
 3. RW IX
- Cluster IV (Masjid Asra) terdiri dari :
 1. RW VII
 2. RW X



Gambar 2. Pembagian Cluster berdasarkan masjid/mushalla

B. Analisa Kapasitas pada setiap Cluster

1. Perhitungan Kapasitas Cluster I



Gambar 3. Perencanaan Shelter di Masjid Al Furqan

Jumlah penduduk cluster I adalah 3153 penduduk. Jika 1 m² pada shelter dapat menampung 1 orang, maka jumlah luas yang dibutuhkan adalah 3153 m². Masjid/mushalla yang berada di cluster ini adalah masjid Al Furqan dengan luas lahan yang tersedia adalah 1345 m². Shelter yang akan dibangun berbentuk persegi panjang dengan panjang 30 m x 28 m. Artinya masjid ini akan dibangun 4 lantai dengan 3 lantai ditambah dak beton difungsikan sebagai tempat evakuasi. Dengan luas per lantai 840 m².

2. Perhitungan Kapasitas Cluster II



Gambar 4. Perencanaan Shelter di Masjid UMSB

Jumlah penduduk cluster II adalah 4904 penduduk. Luas yang dibutuhkan adalah 4904 m². Masjid/mushalla yang berada di cluster ini adalah masjid UMSB dengan luas lahan yang tersedia adalah 3465 m². Shelter yang akan dibangun berbentuk persegi panjang dengan panjang 45 m x 30 m. Artinya masjid ini akan dibangun 4 lantai dengan 3 lantai ditambah dak beton difungsikan sebagai tempat evakuasi. Dengan luas per lantai 1350 m.

3. Perhitungan Kapasitas Cluster III



Gambar 4. Perencanaan Shelter di Mushalla Al Ikhlas

Jumlah penduduk cluster III adalah 2410 penduduk. Luas yang dibutuhkan adalah 2410 m². Masjid/mushalla yang berada di cluster ini adalah mushalla Al Ikhlas dengan luas lahan yang tersedia adalah 945 m². Shelter yang akan dibangun berbentuk persegi dengan panjang 25 m x 25 m. Artinya masjid ini akan dibangun 4 lantai dengan 3 lantai ditambah dak beton difungsikan sebagai tempat evakuasi. Dengan luas per lantai 625 m².

4. Perhitungan Kapasitas Cluster IV



Gambar 5. Perencanaan shelter di masjid Asra

Jumlah penduduk cluster IV adalah 1476 penduduk. Luas yang dibutuhkan adalah 1476 m². Masjid/mushalla yang berada di cluster ini adalah masjid Al Asra dengan luas lahan yang tersedia adalah 1355 m². Shelter yang akan dibangun berbentuk persegi panjang dengan panjang 30 m x 25 m. Artinya masjid ini akan dibangun 2 lantai dengan 1 lantai ditambah dak beton difungsikan sebagai tempat evakuasi. Dengan luas per lantai 750 m².

C. Perencanaan Metoda Konstruksi

Beberapa hal yang menjadi perhatian dalam pembangunan shelter mandiri adalah :

- Metoda konstruksi proses pengerjaan shelter mandiri dilakukan dengan tidak menghancurkan masjid/mushalla yang ada sebelum shelter mandiri selesai. Caranya dengan metoda pembangunan menjembatani masjid/mushalla yang ada.
- Menurut peta landasan tsunami kota Padang (2012) pada daerah kelurahan Pasia Nan Tigo tinggi genangannya (runoff) adalah 8,1-9,0 meter.
- Dan menurut Fema (2008) tinggi lantai shelter untuk evakuasi tsunami dapat dihitung dengan formula :

$$H = 1,3 R^* - Z_w$$

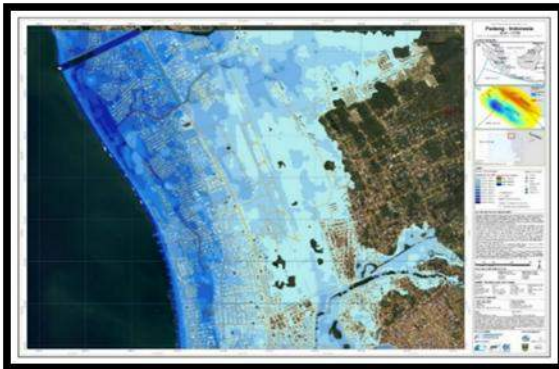
Dimana :

H = Ketinggian Lantai Evakuasi Pertama

R = Run Up

Z_w = Ketinggian Lantai Dasar

Maka, $H = 1,3 (8,1) - 1,5 = 9,03$ meter

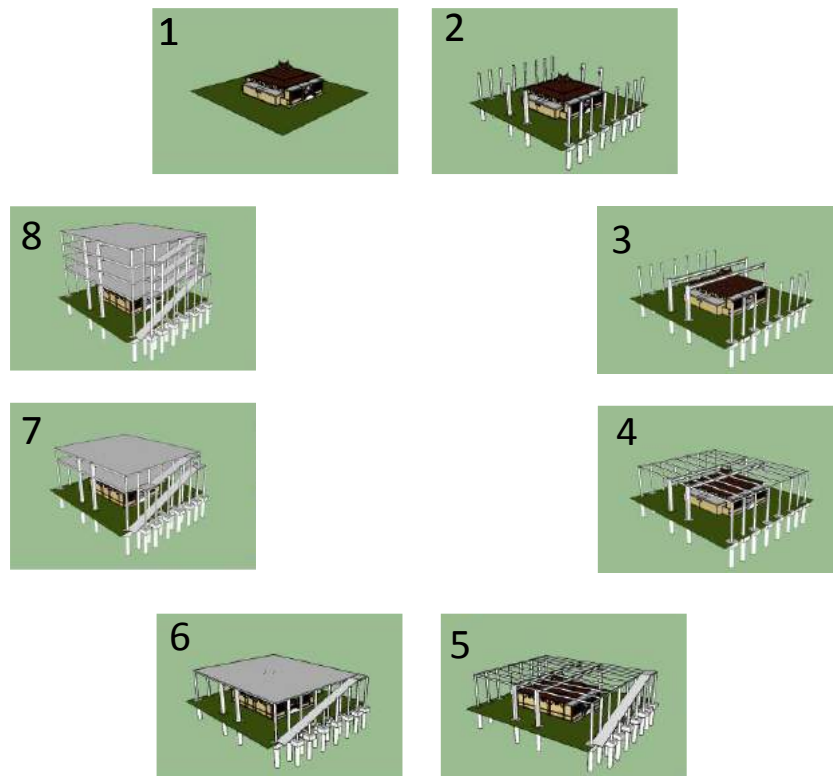


Gambar 6. Peta Landasan Tsunami Kota Padang

- Metoda konstruksi pada balok adalah balok dengan panjang <10 meter dapat dibuat dengan balok coran beton. Tetapi balok dengan panjang >10 meter digunakan balok girder baja karena penggunaan balok girder dapat dikerjakan lebih mudah.
- Metoda konstruksi pada kolom adalah kolom pada arah sejajar dengan tsunami dibuat lebih rapat dan kolom pada arah tegak lurus dengan tsunami dibuat lebih renggang.
- Metoda konstruksi pada dinding lantai pertama di desain dengan bahan yang mudah dilalui oleh air.

Tahapan metoda konstruksi

1. Pekerjaan Persiapan
2. Pekerjaan Galian dan Urugan
3. Pekerjaan Pondasi
4. Pekerjaan Beton Bertulang
 - Pekerjaan Kolom Lt 1
 - Pekerjaan Balok Girder Lt 1
 - Pekerjaan Balok Lt 1
 - Pekerjaan Tangga Lt 1
 - Pekerjaan Plat Lantai Lt 1
 - Pekerjaan pada Lantai Tingkat Selanjutnya
5. Pekerjaan Arsitektur
6. Pekerjaan *Elektrikal* dan *Plumbing*



Gambar 6. Flowchart Metoda Konstruksi

4. KESIMPULAN

1. Dari 21 masjid/mushalla yang ada di Kelurahan Pasia Nan Tigo diperoleh 4 masjid/mushalla yang memenuhi kriteria untuk direncanakan menjadi shelter mandiri, maka daerah kelurahan Pasia Nan Tigo dibagi menjadi 4 *cluster* evakuasi tsunami.
2. Kapasitas yang direncanakan (12810 m²) telah memenuhi kapasitas yang dibutuhkan (11943 m²) diantaranya :
 - a. Masjid Al Furqan direncanakan 4 lantai dengan luas per lantai 840 m²
 - b. Masjid UMSB direncanakan 4 lantai dengan luas per lantai 1350 m²
 - c. Mushalla Al Ikhlas direncanakan 4 lantai dengan luas per lantai 625 m²
 - d. Masjid Asra direncanakan 2 lantai dengan luas per lantai 750 m²
3. Metoda konstruksi yang dilakukan bertujuan agar tidak mengganggu proses ibadah dengan cara :
 - Proses pengerjaan shelter mandiri dilakukan dengan tidak menghancurkan masjid/mushalla yang ada sebelum shelter mandiri selesai. Caranya dengan metoda pembangunan menjembatani masjid/mushalla yang ada.
 - Metoda konstruksi pada balok adalah balok dengan panjang <10 meter dapat dibuat dengan balok coran beton. Dan balok dengan panjang >10 meter digunakan balok girder baja karena penggunaan balok girder dapat dikerjakan lebih mudah.

- Metoda konstruksi pada kolom adalah kolom pada arah sejajar dengan tsunami dibuat lebih rapat dan kolom pada arah tegak lurus dengan tsunami dibuat lebih renggang.
 - Dinding pada lantai pertama shelter dibuat dengan material yang mudah dilalui oleh air.
4. Metoda konstruksi yang dilakukan pada masjid/mushalla yang berada pada setiap *cluster* memiliki prinsip yang sama.

5. DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. 2018. *Kota Padang Dalam Angka 2018*. Kota Padang: Badan Pusat Statistik Kota Padang

Departemen Pekerjaan Umum.(2010).“Rencana Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Evakuasi Dalam Rangka Mitigasi Bencana Tsunami Di Kota Padang”.

FEMA.(2012). “Guidelines for Design of Structures Vertical Evacuation from Tsunamis (second ed.):Federal Emergency Management Agency.

(2005). *Shelters and Shelter Management:Reference Guide*.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penelitian ini yaitu masyarakat kelurahan Pasie Nan Tigo dan tim peneliti Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas.

LINGKUNGAN

SEBARAN DAN KARAKTERISTIK TUMPAHAN CPO DI TELUK BAYUR SERTA DAMPAKNYA TERHADAP KUALITAS AIR

Herdiana Mutmainah¹

¹ Loka Penelitian Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, BRSDM KP, KKP.
Email: herdianamute77@gmail.com

ABSTRACT

Crude Palm Oil (CPO) which is orange like butter with a slippery texture that spills in Teluk Bayur amount 50 tons on September 28th, 2017 at 09.30 a.m is an unexpected disaster. This CPO spill could be overcome locally within a few hours later but some of it had already been washed away. Although it is a vegetable oil, CPO spills negatively impact to the coastal areas and aquatic ecosystems. Currents and tides in 2 (two) days carried CPO spills up to a radius of 28-30 km from Teluk Bayur and stranded on the coast of small islands. This study aims to determine the distribution and characteristics of CPO spills on water quality degradation in the Bayur Bay. The method used by laboratory test analysis, direct measurement and mapping of CPO, sediment and marine quality. The tools used are WQC TOAA, drones with some other equipment and *Ocean Data View* (ODV) software. The results showed a number of parameters affected by CPO exposure including marine temperature rise of 30.5°C; pH = 5.7; DO = 0.55-3.89 mg/L; BOD = 0.39-0.48 mg/L; COD = 121-180 mg/L and fat oil = 1.4-6.6 mg/L. Based on sediment data obtained $d_{50} = 0.020-0.027$ mm with specific gravity, $G_s = 2.57-2.66$ gr/cm³ and the average sediment transport is 0.575 gr/cm²/sec. Oil and CPO layers in the form of lumps and debris that cover the surface of the sea cause obstruction of sunlight so that it interferes the photosynthesis process and respiration of plants and marine biota. The use of *Oil Boom* is indeed very helpful to reduce CPO spills but for preventing from greater losses should be built safety channels around CPO tanks and geotextiles to prevent the CPO from contaminating on larger areas.

Keywords : CPO, degradation, marine quality, sediment.

ABSTRAK

Crude Palm Oil (CPO) berwarna jingga seperti mentega dengan tekstur licin yang tumpah di Teluk Bayur sebanyak 50 Ton pada 28 September 2017 pk. 09.30 WIB merupakan bencana yang tidak terduga. Tumpahan CPO ini dapat diatasi secara lokal dalam waktu beberapa jam namun sebagian terlanjur hanyut terbawa arus. Walaupun merupakan minyak nabati, tumpahan CPO berdampak negatif terhadap kawasan pesisir dan ekosistem perairan. Arus dan gelombang pasang selama 2 (dua) hari membawa tumpahan CPO hingga radius 28-30 km dari Teluk Bayur sehingga terdampar di pesisir pulau-pulau kecil sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran dan karakteristik tumpahan CPO di kawasan Teluk Bayur. Metode yang digunakan berupa analisis uji lab, pengukuran langsung dan pemetaan terhadap CPO, sedimen dan kualitas air laut. Alat yang digunakan yaitu WQC TOAA, drone dan beberapa peralatan lain yang mendukung serta software *Ocean Data View* (ODV). Hasil penelitian menunjukkan beberapa parameter yang terdampak oleh paparan CPO antara lain kenaikan suhu air laut yaitu 30,5°C; pH =5,7; DO=0,55-3,89 mg/L; BOD=0,39-0,48 mg/L; COD=121-180 mg/L dan

minyak lemak=1,4-6,6 mg/L. Berdasarkan data-data sedimen diperoleh $d_{50} = 0,020-0,027$ mm dengan berat jenis, $G_s = 2,57-2,66$ gr/cm³ dan transpor sedimen rata-rata sebesar 0,575 gr/cm²/det. Tumpahan CPO yang mengandung minyak lemak, berbentuk gumpalan serta serpihan membentuk lapisan yang menutupi permukaan laut menyebabkan terhalangnya penetrasi sinar matahari sehingga mengganggu proses fotosintesis dan respirasi tanaman dan biota laut. Penggunaan Oil Boom sangat membantu mengurangi tumpahan CPO namun untuk mencegah bencana serupa di kemudian hari dan kerugian yang lebih besar sebaiknya dibangun saluran pengaman di tangki CPO dan penggunaan geotekstil untuk mencegah sebaran CPO mencemari area yang lebih luas lagi.

Kata Kunci : CPO, degradasi, kualitas air laut, sedimen.

1. PENDAHULUAN

Crude Palm Oil atau minyak sawit kasar (kelapa sawit, *Elaeis guineensis* Jacq.) adalah minyak hasil ekstraksi daging buah kelapa sawit (mesokarp) yang mengandung unsur lemak alkohol, metil ester, dan asam lemak. CPO terdiri dari unsur padat dan cair dengan komposisi asam lemak jenuh (miristat 1%; palmitat 45%; stearat 4%) untuk unsur padat sedangkan unsur cair berupa asam lemak tidak jenuh (oleat 39%; linoleat 11%). Sifat fisik minyak ini berwarna orange/jingga, bau khas, berbentuk pasta dengan kadar air $3,7589 \times 10^{-3}$ mL/g; indeks bias 1,4692; massa jenis 0,8948 gr/mL; larut pada eter dan aseton; sedikit larut dalam etanol dan tidak larut dalam air payau (Deffense, 1985 dalam Setyono dan Soetarto, 2008). Massa jenis CPO adalah $0,8948 \text{ gr/mL} < 1 \text{ gr/mL}$ (massa jenis air) sehingga mengapung di air. Pada tanggal 28 September 2017 pk. 09.30 WIB terjadi kebocoran pipa tangki timbun minyak sawit PT. Wira Inno Mas (PT. WIM) yang terletak di kawasan Pelabuhan Teluk Bayur, Sumatera Barat. Sekitar 50 Ton *Crude Palm Oil* (CPO) tumpah ke laut yang kemudian hanyut dan sebagian mengendap di pesisir pulau-pulau kecil di sekitar Teluk Bayur, Sumatera Barat. PT. WIM berusaha menyedot tumpahan CPO menggunakan *Oil Boom* (www.viva.co.id) dan bersama masyarakat dan instansi terkait secara manual membersihkan CPO yang terdampar di pesisir pulau-pulau kecil terdekat. Sebaran CPO selama 2 (dua) hari mencapai radius sekitar 28-30 km dari pusat tumpahan di Teluk Bayur.



a. CPO yang tumpah di Teluk Bayur (www.mongabay.co.id).



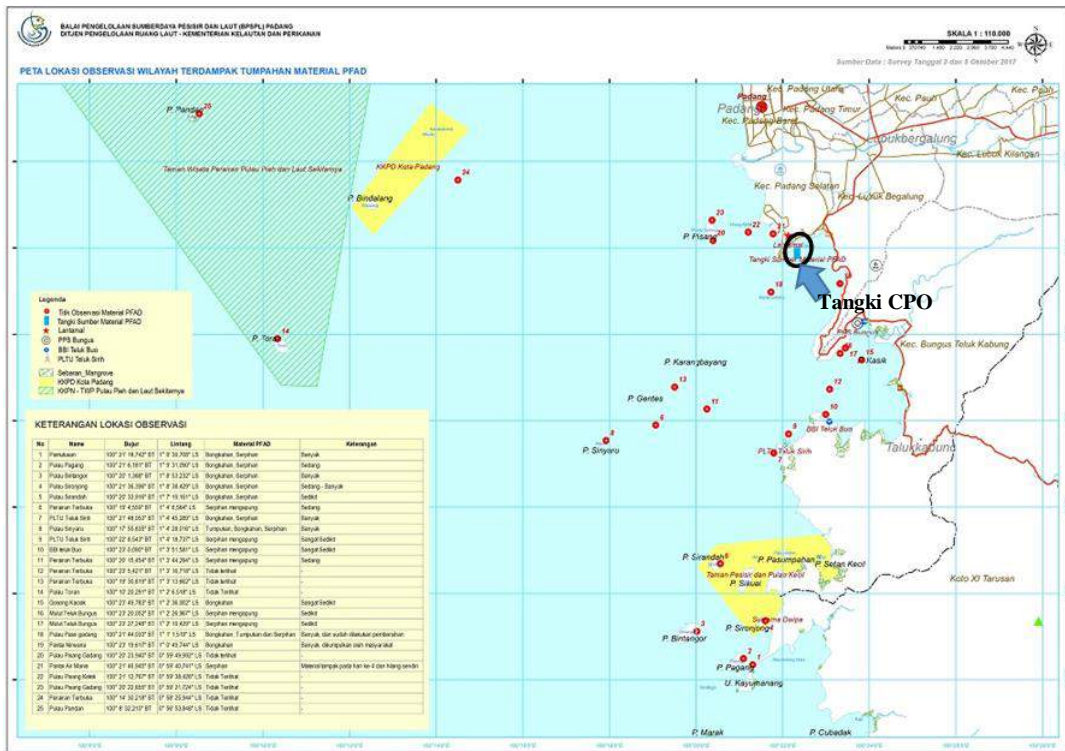
b. CPO yang masih segar (seperti margarin) dan CPO yang sudah tercampur dengan pasir dan teroksidasi setelah beberapa jam (www.mongabay.co.id).



c. Kegiatan Pembersihan CPO di Kawasan Teluk Bayur (www.mongabay.co.id)

Gambar 71. Tumpahan CPO di Teluk Bayur.

Adapun lokasi tangki timbun CPO dan titik-titik pengamatan sebaran tumpahan CPO seperti tercantum dalam Gambar 2 berikut ini.



Gambar 72. Lokasi tangki CPO yang bocor dan titik-titik pengamatan sebaran CPO

2. METODE

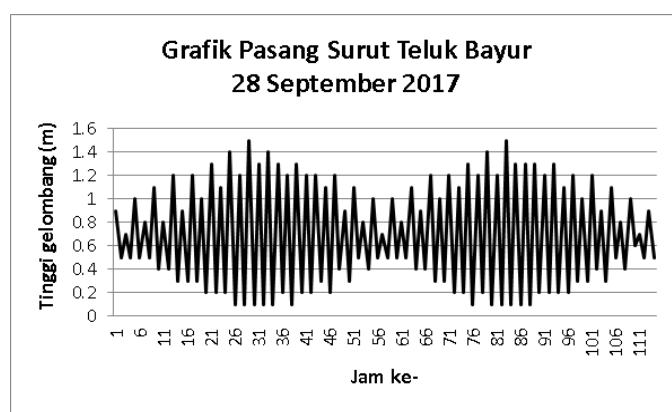
Survey dilakukan pada 28-30 September 2017. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan ground truthing menggunakan GPS secara *purposive sampling* untuk mengamati titik-titik sebaran CPO dan WQC TOAA untuk pengukuran parameter kualitas air, botol Nansen untuk pengambilan sampel air, sediment grab untuk sampel sedimen; dan saringan untuk mengambil sampel CPO. Analisa terhadap kualitas air, CPO dan sedimen menggunakan metode gravimetri, granuler dan spektometri yang

dilakukan di Labkes Dinkes Prov.Sumbar dan Lab Mekanika Tanah UNP, Padang. Pengamatan terhadap sebaran tutupan tumpahan CPO di laut dilakukan secara visual dan foto udara menggunakan drone. Sebaran CPO di petakan menggunakan *Ocean Data View* (ODV) dan grafis distribusi partikel sedimen (grain size) menggunakan MS Excel.

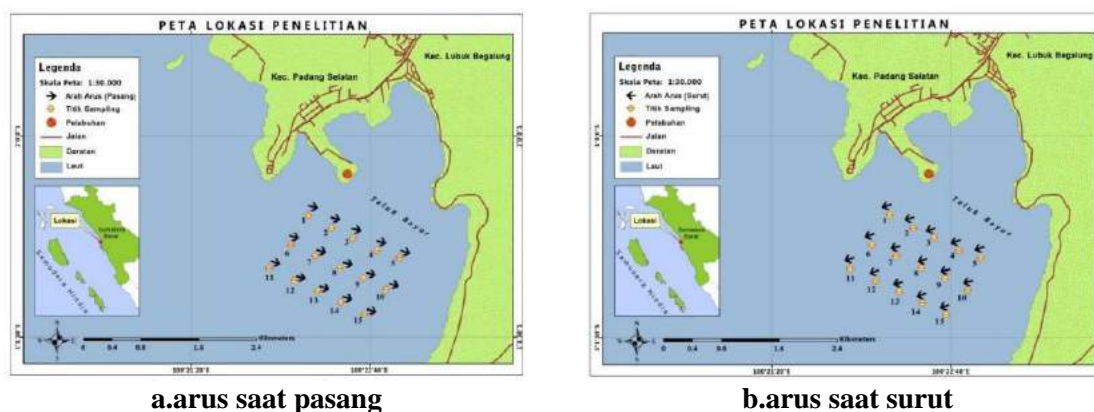
3. HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Hidrodinamika Teluk Bayur

Kondisi hidrodinamika laut di perairan Teluk Bayur dan sekitarnya ditunjukkan melalui parameter gelombang dan pasang surut serta arus. Tinggi gelombang rata-rata di perairan Teluk Bayur pada 28 September 2017 adalah 0,7 m sedangkan tinggi pasang air laut 1,5 m dan surut 0,1 m (<http://maritim.bmkg.go.id/>). Tinggi gelombang signifikan laut 0,7 m dengan periode gelombang 17 detik. Kecepatan angin di pesisir sekitar 10km/jam arah Barat Daya sedangkan angin laut 16 km/jam arah Selatan. Type pasut campuran condong harian ganda dengan $F = 0,52$. Kecepatan arus rata-rata Teluk Bayur berkisar antara 0,22-0,29 m/det. Untuk perbandingan, pada bulan Juli 2017, kecepatan arus di Teluk Bayur sekitar 0,21-0,53 m/det (Barus dkk, 2017).



Gambar 73. Grafik pasang surut Teluk Bayur pada 28 September 2017

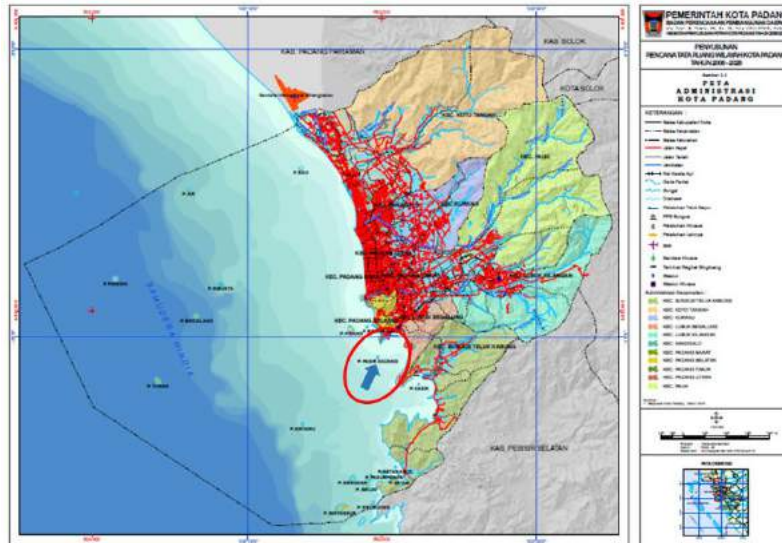


a. arus saat pasang

b. arus saat surut

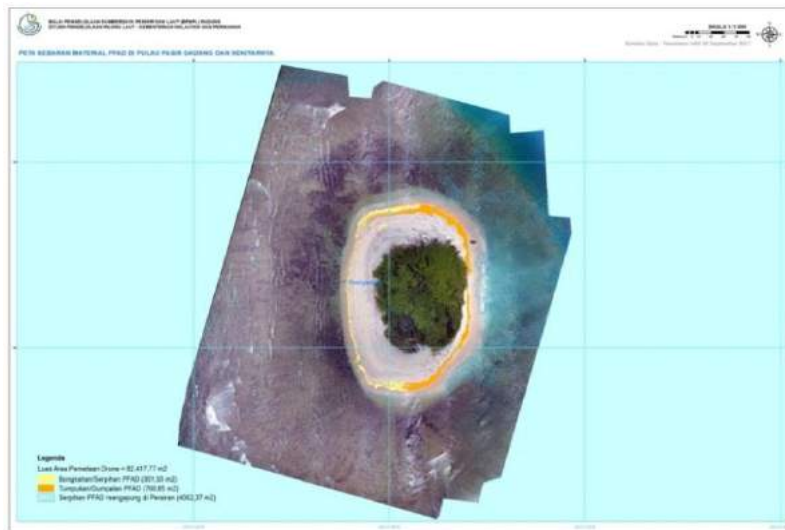
Gambar 74. Arus saat pasang dan surut di Teluk Bayur (Barus dkk, 2017)

Saat pasang, arus bergerak ke arah tenggara sedangkan saat surut, arus bergerak ke barat laut. Hal tersebut menjelaskan arah transpor CPO yang sebagian besar terapung dan mengendap hingga ke pesisir P. Pasie Gadang dan pulau-pulau kecil sekitarnya.



Gambar 75. Lokasi Pulau Pasie Gadang

3.2 Karakteristik Tumpahan CPO



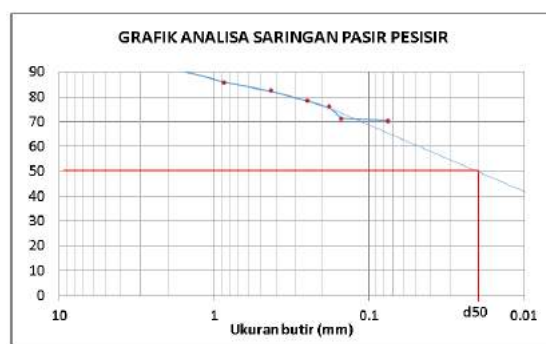
Gambar 76. Luasan Sebaran Tumpahan CPO di Pesisir Pulau Pasie Gadang

Pulau kecil yang paling terdampak oleh tumpahan CPO adalah Pulau Pasie Gadang. Tumpahan CPO yang hanyut ke Pulau Pasie Gadang memiliki karakteristik serpihan yang mengapung seluas 4.062,37 m²; bongkahan di pantai seluas 351,55 m²; dan gumpalan di pesisir seluas 700,65 m². Hasil analisa terhadap sedimen/pasir yang terpapar tumpahan CPO selama 2 hari di Pulau Pasie Gadang menunjukkan nilai parameter minyak dan lemak yang cukup tinggi seperti tabel berikut:

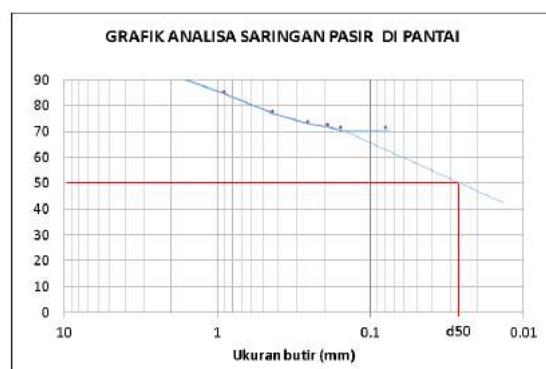
Tabel 36. Kadar Minyak, Lemak CPO dan Pasir CPO di P. Pasie Gadang

Parameter CPO	Sat	Pesisir	Pantai	Acuan Baku Mutu	Keterangan
Kadar Minyak dan Lemak	mg/L	5,09	7,43	1 mg/L (Kepmen LH 51/2004)	Melebihi/Tidak memenuhi
Kadar pasir	gr/gr	0,85	0,80	-	-

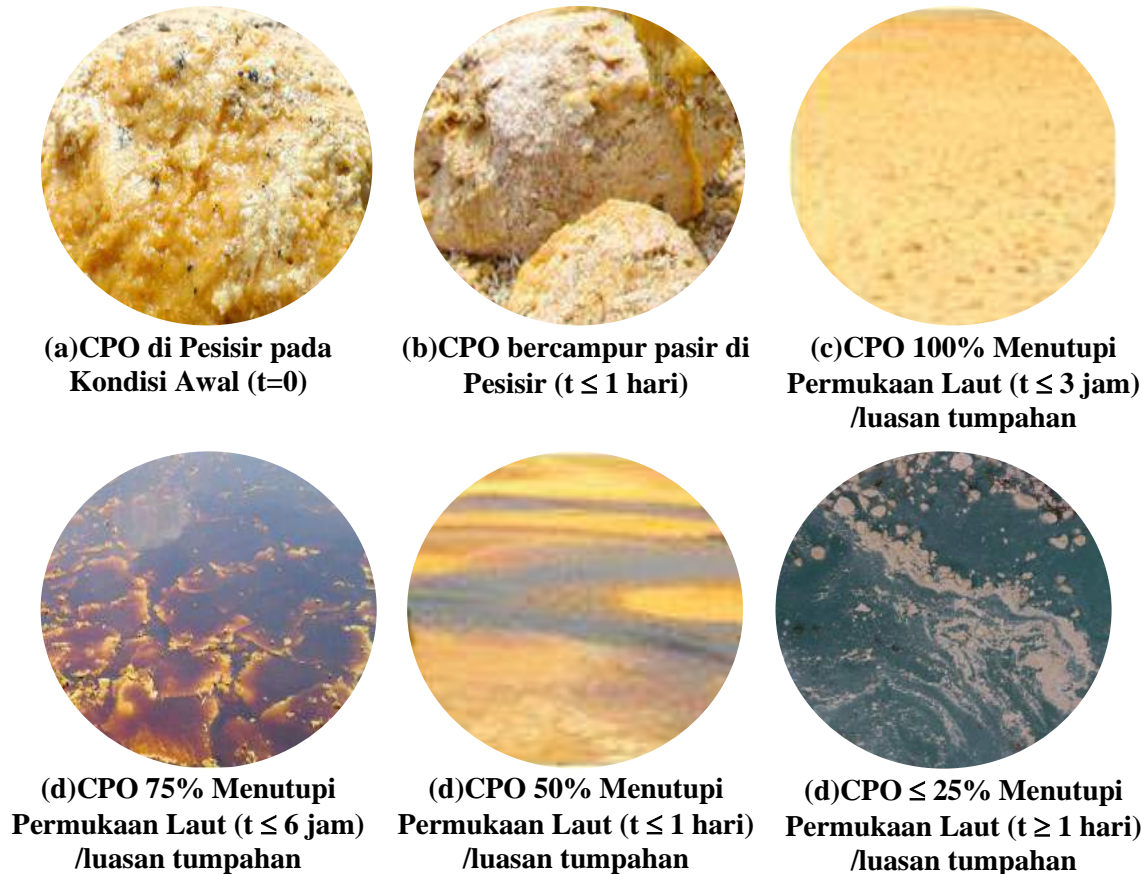
Kadar minyak dan lemak yang tinggi membentuk lapisan yang menghalangi penetrasi sinar matahari ke dasar laut sehingga mengganggu proses fotosintesis biota laut. Gumpalan CPO bercampur pasir bersifat mudah mengendap sekaligus *sliding* sehingga rawan abrasi jika hujan deras dan gelombang pasang tinggi. Diameter 50 atau d_{50} pada sedimen, umumnya digunakan sebagai parameter indikator transpor sedimen. Rumus sederhana transpor sedimen adalah berat berdasarkan jenis partikel dikali kecepatannya. Untuk kecepatan, diasumsikan sama dengan kecepatan arus.

**Gambar 77. Grafik Analisa Saringan Pasir di Pesisir**

Berdasarkan kurva diatas diperoleh nilai $d_{50} = 0,020$ mm (diameter butiran dengan kondisi 50% dari total butiran lolos atau berdiameter lebih kecil dari 0,020 mm). Sekitar 70 % merupakan material dengan butiran halus atau *fine silt* (*finer gradation*-lanau dan lempung) berdasarkan skala Wenworth dengan jenis sedimen mud dan bersifat kohesif. Sampel sedimen di pesisir menunjukkan kadar air (ω) 25%, berat jenis (G_s) 2,66 gr/cm^3 . Untuk sedimen/pasir yang ada di pantai memiliki karakteristik d_{50} sebagai berikut ini.

**Gambar 78. Grafik Analisa Saringan Pasir di Pantai**

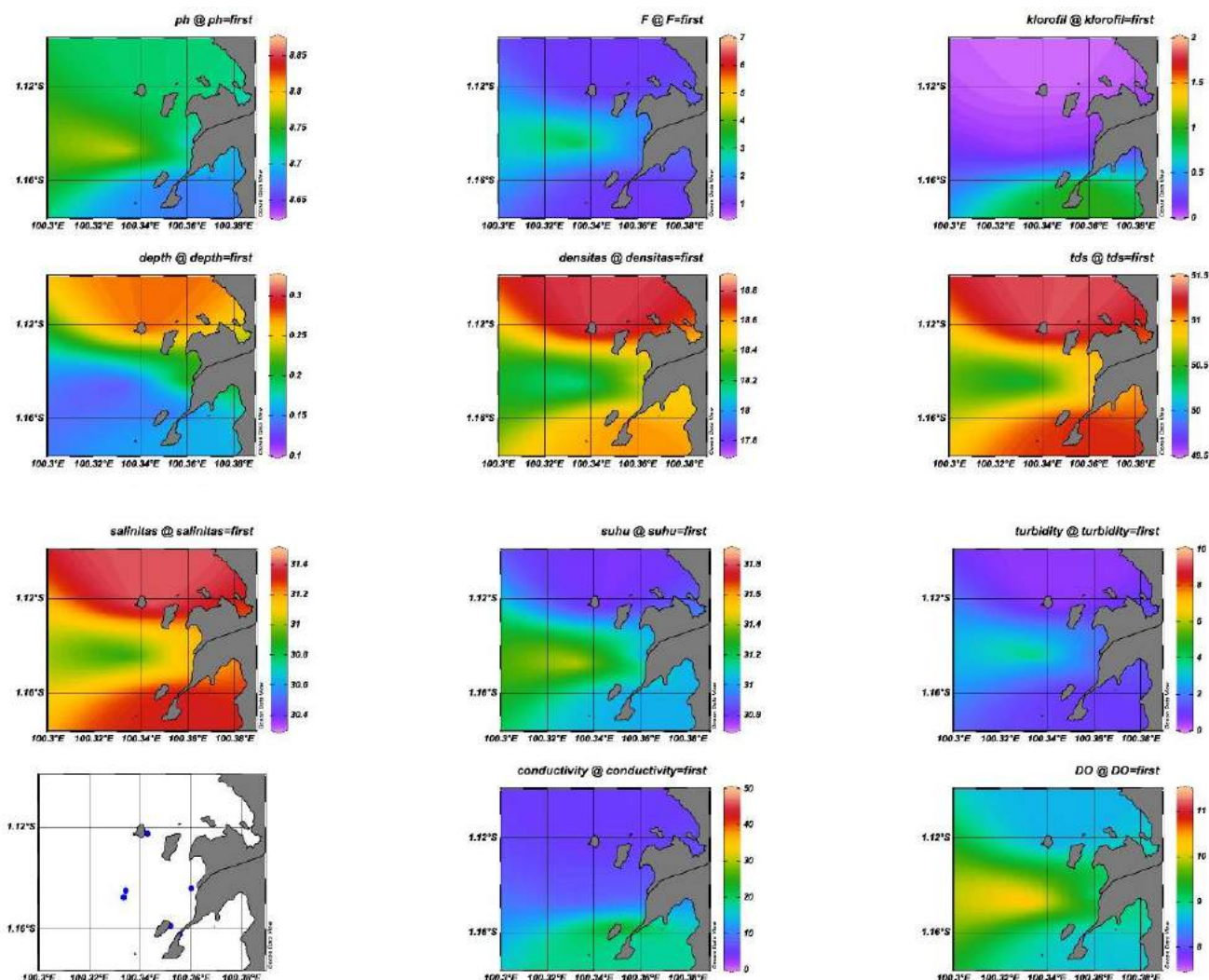
Dari kurva diatas diperoleh nilai $d_{50} = 0,027$ mm (*fine silt*). Sedimen di pantai menunjukkan kadar air $\omega=35\%$ dan $G_s=2,57$ gr/cm³. Berdasarkan data-data diatas maka transpor sedimen akibat tumpahan CPO rata-rata adalah 5,75 gram/cm²/det. Berikut ini proses perubahan bentuk CPO baik pada saat di pesisir maupun di laut, setelah beberapa waktu.



Gambar 79. Proses Perubahan Bentuk Tumpahan CPO

3.3 Dampak Tumpahan CPO terhadap Kualitas Air Teluk Bayur dan sekitarnya

Hasil lab dan WQC TOAA beberapa parameter kualitas air di beberapa pulau kecil lainnya seperti Pulau Sirandah dan Pulau Pamutusan tidak memenuhi baku mutu menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup no.51 Tahun 2004 untuk biota laut; seperti rendahnya DO: 0,55-3,99 mg/L (<5mg/L) dan BOD: 0,39-0,48 mg/L (<20mg/L); tingginya kadar COD: 121-180 mg/L (>100mg/L) dan minyak lemak: 1,4-6,6 mg/L (>1 mg/L). CPO yang menempel di vegetasi pesisir setelah beberapa hari (>5 hari) berubah warna menjadi bercak kehitaman dengan bau menyengat seperti buah kelapa yang busuk. Saat terjadi tumpahan CPO di Teluk Bayur, peningkatan suhu terjadi baik di area pesisir maupun perairan yaitu sekitar 2-3°C. Hasil pemetaan sebaran kualitas air di Teluk Bayur yang terpapar CPO seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 80. Sebaran Parameter Kualitas Air di Teluk Bayur Akibat Tumpahan CPO

Pada beberapa kasus lain seperti di perairan Dumai, Nufus (2016) menyebutkan bahwa tumpahan CPO berdampak pada kematian massal larva udang windu *Penaeus monodon* sebesar $7,50 \times 10^3$ mg/L setelah terpapar CPO selama 2 (dua) hari. Sedangkan pada udang Windu dewasa, mereka beradaptasi dengan memproduksi isoenzim esterase (Setyono dan Soetarto, 2008). CPO berdampak negatif pada tanaman Mangrove jenis *Sonneratia caseolaris* L.. dan kualitas perairan pada parameter DHL, BOD, COD, DO, TDS, pH dan suhu.

4. KESIMPULAN

Tumpahan CPO merupakan bencana yang tidak terduga sebelumnya. Kerugian yang diakibatkan oleh tumpahan CPO tidak hanya dirasakan oleh pihak perusahaan namun juga masyarakat sekitar dan berdampak pada ekosistem di kawasan Teluk Bayur. Walaupun merupakan minyak nabati, tumpahan CPO tetap memiliki dampak negatif terhadap biota laut dan vegetasi pesisir terkait gangguan fotosintesis dan respirasi.

Tumpahan CPO menyebabkan naiknya suhu permukaan laut, rendahnya oksigen terlarut dan tingginya minyak dan lemak serta TSS. Berbagai upaya dilakukan seperti penggunaan *oil boom* dan pembersihan pesisir secara manual namun demikian masih diperlukan waktu yang cukup lama untuk perairan dapat pulih kembali. Langkah mitigasi diperlukan untuk mengantisipasi kejadian serupa. Beberapa tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan membangun saluran pelindung disekitar tangki serta sarana pengaman tambahan seperti geotekstil untuk mencegah meluasnya CPO spill. Rambu-rambu, alarm peringatan dan *Standar Operational Procedure* (SOP) yang memadai juga dibutuhkan sebagai langkah awal kesiagaan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2017. Balai Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut KKP. BPSPL Padang *Observasi Dampak Tumpahan Minyak FAD*. Diakses 10 Oktober 2017 dari <http://bpsplpadang.kkp.go.id/bpspl-padang-observasi-dampak-tumpahan-minyak-pfad>.
- Endar Marraskuranto, Hedi Indra Januar dan Asri Pratitis. 2012. *Application of Micro Morr E-3360 as Bioremediation Material for Marine Oil Spill*. JPB Perikanan Vol.7 No.2. Tahun 2012:97-104.
- Hayatun Nufus. 2016. *Potensi Pencemaran Minyak Sawit Kasar (CPO) di Perairan Umum Dumai dan Toksisitas Akut Terhadap Organisme*. Januari 2016. Tesis Sekolah Pasca Sarjana IPB. Bogor.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup no.51 Tahun 2004 tentang Penetapan Baku Mutu Air Laut. Jakarta.
- Prabang Setyono dan Endang Sutariningsih Soetarto. 2008. *Biomonitoring Degradasi Ekosistem Akibat Limbah CPO di Muara Sungai Mentayan Kalimantan Tengah dengan Metode Elektromorf Isozim Esterase*. BIODIVERSITAS Vol.9 No.3 Juli Th. 2008. ISSN: 1412-033X. DOI: 10.13057/biodiv/d090317. UGM. Yogyakarta.
- Rahmadhani. 2017. *50 Ton Minyak Sawit Mentah Tumpah ke Teluk Bayur*. Diakses 30 September 2017 dari <http://regional.kompas.com/read/2017/09/29/18194881/50-ton-minyak-sawit-mentah-tumpah-ke-teluk-bayur>.
- Sastrawan Barus, Afrizal Tanjung dan Musrifin Ghalib. 2017. *Pola Arus Pasang Surut dan Gelombang di Perairan Teluk Bayur Kota Padang Provinsi Sumatera Barat*. Jurnal Online Mahasiswa Vol.4 No.1.Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. UniversitasRiau.<https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFAPERIKA/article/view/13455>.
- Tim Jawa Pos. 2017. *CPO Tumpah ke Laut, Perairan Teluk Bayur Tercemar*. Diakses 30 September 2017 dari <https://www.jawapos.com/read/2017/09/29/159882/cpo-tumpah-ke-laut-perairan-pelabuhan-teluk-bayur-tercemar>.
- Tim Viva. 2017. *Lima Puluh Ton Minyak Sawit Tumpah di Teluk Bayur*. Diakses 30 September 2017 dari <http://www.viva.co.id/berita/nasional/961412-lima-puluh-ton-minyak-sawit-tumpah-di-teluk-bayur>.

Vinoloia dan Tommy Apriando. 2017. *Sekitar 50 Ton Minyak Minyak Sawit Mentah (Crude Palm Oil/CPO) Jenis Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Tumpah..* Diakses 10 Oktober 2017 dari <https://www.mongabay.co.id/2017/10/08/ketika-puluhan-ton-minyak-sawit-tumpah-di-perairan-teluk-bayur/>.

Bioremediasi dengan Metode Komposting untuk Biodegradasi Pestisida Pada Tanah

Tivany Edwin¹, Mas Mera²

¹Program Studi Doktoral, Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Andalas

Kampus Unand Limau Manis, Padang 25163

Email: tivany@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

The presence of organic compound such as pesticides in soils can be persistent, due to the slow decomposition capability of these materials. Bioremediation is a method that can be used to decompose pollutants through soil media by utilizing certain microorganisms. This study was carried out to understand the mechanism of bioremediation with composting methods. The results showed that bioremediation with composting method helps to biodegrade pesticides in the soil, using existing compost media. Comprehensive research should be conducted before the application of this method in the field. So that pesticide residues in the soil can be carried out optimally, without producing toxic byproducts.

Keywords: Bioremediation, Composting, Pesticides, Soil

ABSTRAK

Keberadaan senyawa organik seperti pestisida dalam tanah dapat bersifat persisten, karena kemampuan dekomposisi yang lambat dari senyawa tersebut. Bioremediasi adalah metode yang dapat digunakan untuk menguraikan polutan melalui media tanah dengan memanfaatkan mikroorganisme tertentu. Penelitian ini dilakukan untuk memahami mekanisme bioremediasi dengan metode pengomposan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bioremediasi dengan metode pengomposan membantu biodegradasi pestisida dalam tanah, menggunakan media kompos yang ada. Penelitian yang komprehensif harus dilakukan sebelum penerapan metode ini di lapangan. Sehingga residu pestisida dalam tanah dapat dilakukan secara optimal, tanpa menghasilkan produk sampingan yang beracun.

Kata kunci: Bioremediasi, Komposting, Pestisida, Tanah

1. PENDAHULUAN

Permasalahan polusi tanah dan air akibat senyawa organik dapat bersumber dari kegiatan industri, domestik, pertanian dan sebagainya. Senyawa organik meliputi *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH), hidrokarbon aromatik, fenol, hidrokarbon terklorinasi (CHC) umumnya ditemukan pada air tanah tercemar di negara maju (EEA, 2007). Sedangkan di negara berkembang, penggunaan pestisida dalam sektor pertanian semakin meningkat yang berpotensi pada peningkatan polutan organik pada tanah maupun air tanah. Kontaminasi tanah dan air tanah oleh pestisida umumnya terjadi sampai daerah cangkupan yang luas dan dalam konsentrasi rendah (Schwarzenbach et

al, 2006). Hal tersebut dapat menyebabkan efek kronis pada makhluk hidup yang terpapar, berhubung pestisida tergolong pada kategori persistent organic pollutants (POPs). Pestisida bersifat toksik dan sulit untuk terurai di lingkungan. Oleh karena itu pestisida mampu melewati perjalanan yang jauh dan cenderung terakumulasi pada jaringan makhluk hidup karena kemampuan kelarutannya pada lemak sangat tinggi (Boudh dan Singh, 2019).

Berbagai teknologi pembersihan senyawa organik berbahaya di lingkungan secara kimia dan fisika membutuhkan biaya yang sangat mahal dan dapat meninggalkan residu di lingkungan. Bioremediasi merupakan teknologi yang memanfaatkan kemampuan mikroorganisme dalam membersihkan polutan organik seperti pestisida di lingkungan. Bioremediasi dapat dilakukan salah satunya dengan metode komposting, yakni teknik bioremediasi yang dilakukan dengan penambahan kompos.

Berkaitan dengan hal di atas, dilakukan analisis dari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan untuk dapat menyimpulkan sejauh apa potensi teknologi bioremediasi untuk dapat membersihkan polutan organik pestisida dengan menggunakan metode komposting.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Konsep biodegradasi polutan organik

Biodegradasi didefinisikan sebagai proses dimana senyawa organik diuraikan oleh enzim yang dihasilkan oleh organisme hidup (Focht et al, 2014). Dalam biodegradasi, dikenal istilah mineralisasi yang didefinisikan sebagai proses reduksi yang dikatalisis secara biologis pada suatu senyawa kimia yang menyebabkan konversi karbon, nitrogen, fosfor, sulfur, atau elemen lain yang terikat pada senyawa organik menjadi anorganik. Jika suatu senyawa secara biologis diubah menjadi produk yang tidak dimetabolisme atau hanya sangat lambat metabolismenya oleh mikroorganisme, maka proses tersebut dinamakan transformasi. Biodegradasi idealnya berupa transformasi suatu senyawa toksik menjadi senyawa yang lebih ramah lingkungan dengan bantuan mikroorganisme, namun terkadang yang terjadi justru sebaliknya, yakni senyawa toksik dapat mengalami transformasi menjadi senyawa yang lebih toksik dan terakumulasi dalam lingkungan, seperti pestisida aldrin yang bertransformasi menjadi dieldrin yang merupakan senyawa yang lebih berbahaya (Maphosa, 2012). Mikroorganisme mampu mengubah hampir semua molekul organik alami. Sebaliknya, molekul organik buatan memiliki struktur yang lebih sulit untuk dapat diuraikan mikroorganisme secara biokimia.

Umumnya, pada kawasan tercemar ditemukan pencemar lebih dari satu jenis. Dimana campuran pencemar dengan konsentrasi rendah, lebih mungkin bersifat toksik dibandingkan senyawa tunggal, karena efek sinergistik dari campuran senyawa tersebut (Vogt and Richnow, 2013). Hal ini juga akan menyulitkan dalam mengevaluasi keberadaannya di lingkungan. Di area tercemar tersebut biasanya akan terdapat kumpulan mikroorganisme yang bekerjasama dalam transformasi senyawa pencemar di lingkungan. Hal tersebut sangat penting dalam terjadinya biodegradasi.

2.2 Teknologi Bioremediasi

Proses bioremediasi meliputi degradasi polutan di lingkungan oleh mikroorganisme (Vogt and Richnow, 2013). Teknologi ini cocok untuk senyawa yang tersebar luas dan sulit dikendalikan karena distribusi yang luas dan konsentrasi yang relatif rendah. Teknologi bioremediasi biasanya dibedakan sebagai teknik *ex situ* dan *in situ*. Pada bioremediasi *ex situ*, bahan yang terkontaminasi dikeluarkan dari area yang terkontaminasi dengan cara penggalian tanah atau teknik ekstraksi air tanah (dengan menggunakan pompa atau disebut *pump-and-treat*) dan diremediasi di tempat lain, seperti menggunakan bioreaktor (Langwaldt, 2000) atau dengan pengomposan. Bioremediasi *ex situ* lebih cocok jika tanah atau air tanah terkontaminasi oleh senyawa organik beracun di daerah yang mengancam penduduk atau ekosistem yang sensitif, atau jika kontaminan tidak bersifat alami. Biodegradasi polutan juga dapat distimulasi dengan inokulasi mikroorganisme pengurai polutan atau dengan penambahan nutrisi atau oksigen (Sharma, 2012).

Pendekatan bioremediasi lainnya adalah bioremediasi *in situ*, yakni untuk pembersihan kontaminan yang berasal dari sumber titik. Bioremediasi *in situ* dapat dibagi menjadi dua kelas: (1) teknologi dimana biodegradasi *in situ* ditingkatkan secara aktif atau disebut "*Enhanced natural attenuation*", dan (2) pemantauan biodegradasi *in situ* yang sedang berlangsung tanpa peningkatan proses atau disebut "*Monitored natural attenuation*".

Sebelum upaya stimulasi apa pun dilakukan, penting dilakukan identifikasi hambatan dan keterbatasan biodegradasi *in situ*. Keberhasilan bioremediasi *in situ* tergantung pada jenis, campuran, dan konsentrasi polutan dan karakteristik area dimana pencemaran terjadi (misalnya, kondisi hidrogeologis dan lokasi geografis), biodegradasi *in situ* dapat terhambat karena beberapa alasan (Vogt and Richnow, 2013):

- a. Terbatasnya ketersediaan akseptor elektron, donor, atau nutrisi,
- b. Tidak tersedianya mikroba pembersih polutan atau metabolit yang beracun atau mengganggu, dan
- c. Kondisi lingkungan yang tidak mendukung seperti nilai ketersediaan oksigen, pH, salinitas atau suhu yang tidak menguntungkan

3. METODOLOGI

Adapun ruang lingkup artikel ini adalah dengan menganalisis artikel-artikel terkait bioremediasi, terutama yang teknik komposting pada tanah yang tercemar pestisida. Dalam artikel ini, total 40 literatur yang digunakan untuk menganalisis potensi bioremediasi komposting untuk membersihkan pestisida dari tanah. Adapun rincian dari literatur yang digunakan adalah 1 buah buku, 38 artikel internasional dan 1 artikel nasional. Jurnal yang dipelajari berasal dari tahun 1998-2018.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Biodegradasi pestisida dalam tanah

Biodegradasi pestisida dalam tanah biasanya terjadi akibat adanya mekanisme fisikokimia dan biologis pestisida dalam tanah. Fase transfer pestisida ke lingkungan tergantung pada mekanisme dan kinetika adsorpsi dan desorpsi dari partikel tanah. Mekanisme ini adalah kunci utama untuk memodelkan mobilitas, ketersediaan, dan bioaktivitas pestisida yang dipakai di lingkungan dan untuk menentukan fraksi bahan kimia yang rentan terhadap degradasi, serta penyerapan oleh mikroorganisme target dan non target. Adsorpsi memainkan peran besar dalam dinamika transportasi pestisida (Manuel et al, 2008).

Berikutnya adalah degradasi kimiawi pestisida yang diatur oleh faktor abiotik, termasuk sifat-sifat tanah seperti komposisi kimia, bahan organik, persentase lempung, kadar air, potensi pengurangan oksidasi dan pH (Bieganska et al, 2007). Degradasi kimia terjadi melalui reaksi seperti fotolisis, hidrolisis, oksidasi dan reduksi, misalnya organofosfat dapat terdegradasi secara kimia oleh reaksi alkali dalam tanah (Odukhatil et al, 2013).

Selanjutnya, biodegradasi pestisida dalam tanah melibatkan berbagai reaksi biokimia kompleks yang dihasilkan dari interaksi fisik antara polutan, matriks tanah dan interaksi biologis antara mikroorganisme yang berbeda (Bhadbhade et al, 2002). Pestisida diubah oleh reaksi metabolik yang menyebabkan perubahan struktur kimianya melalui beragam reaksi. Biodegradasinya melibatkan transformasi melalui reaksi oksidasi, reduksi, atau hidrolisis (Ramdas, 2011). Setelah itu, pestisida atau metabolitnya dapat terkonjugasi menjadi gula dan asam amino, yang menghasilkan peningkatan kelarutan dalam air dan penurunan toksisitas. Akhirnya konversi metabolit menjadi senyawa anorganik.

4.2 Bioremediasi dengan Metode Komposting

Pengomposan ini merupakan salah satu teknologi bioremediasi tanah yang paling hemat biaya (Fuentes et al, 2018; Albuquerque et al, 2009; Asemoloye et al, 2017; Randhawa and Kullar, 2011). Ketika kompos dicampurkan ke dalam tanah, pestisida dapat mengalami mineralisasi dan proses fisikokimia dan biologis yang dapat mengubah bentuk kimianya. Aplikasi pengomposan untuk bioremediasi tanah ada beragam, seperti pengomposan langsung ataupun bioaugmentasi. Penambahan kompos juga merupakan 'bioaugmentasi' dengan adanya kumpulan mikroorganisme pendegradasi, yang dikombinasikan dengan 'biostimulasi' dengan adanya substrat organik yang siap dan sulit untuk didegradasi (Kästner dan Wiltner, 2016). Para peneliti umumnya menggunakan satu atau kombinasi aplikasi ini untuk bioremediasi.

Limbah organik dari industri dan pertanian sering dipilih sebagai bahan kompos untuk bioremediasi tanah sebagai alternatif bahan yang murah dan mudah didapatkan. Pemanfaatan limbah organik untuk remediasi tanah juga membantu mengurangi kebutuhan penyimpanan dan pengolahan limbah. Limbah yang dipakai untuk pengomposan bermanfaat meningkatkan kualitas dan kesuburan tanah (Pedra et al, 2007). Umumnya kompos yang dapat dipakai berupa pupuk kandang, kompos jamur,

kompos limbah domestik, kompos jerami dan kompos lain yang mudah dan murah untuk didapatkan (Sadiq et al, 2017; Scelza et al, 2008; Moorman et al, 2001; Delgado-Moreno dan Peña, 2009; Kadian et al, 2008; Houot et al., 1998; Toro et al, 2011; Coppola et al, 2007).

Selama pengomposan, pestisida dapat terdegradasi pada proses pembusukan cepat. Panas yang dihasilkan oleh metabolisme mikroorganisme terperangkap dalam kompos, dan pembentukan biomassa terjadi selama tahap termofilik pengomposan. Pencampuran tanah yang diremediasi dengan tanah yang terkontaminasi dapat meningkatkan efektivitas pengomposan, karena tanah yang diremediasi oleh mikroorganisme yang terjadi secara signifikan mempengaruhi degradasi polutan dalam proses pengomposan (Megharaj, 2011). Proses pengomposan yang sukses, membutuhkan konsorsium mikroorganisme yang cukup yang dapat menurunkan tingkat pestisida ke tingkat minimum (Gen et al, 2015). Oleh karena itu, perlu dipahami juga total populasi mikroorganisme dan aktivitas biokimia-nya (Nikaeen et al, 2015).

Bakteri dan jamur, merupakan pengurai polutan utama dalam kompos dan menjadi faktor paling penting dalam pemulihan tanah yang terkontaminasi. Remediasi tanah yang terkontaminasi oleh kompos atau penambahan kompos bergantung pada dua mekanisme (Puglisi et al, 2007) yakni adsorpsi oleh bahan organik dan degradasi oleh mikroorganisme, dimana penguraian polutan organik dalam campuran tanah sebagian besar bergantung pada aktivitas mikroorganisme.

Umumnya, bioremediasi dengan menggunakan metode komposting ini, dilakukan dengan menggali tanah yang tercemar ke suatu area yang telah dilapisi dasarnya dengan lapisan kedap air. Kemudian tanah dicampurkan dengan kompos seperti jerami, pupuk kandang, limbah pertanian, dsb) sebagai sumber karbon tambahan (shukla et al, 2010). Campuran tanah umumnya disusun dengan metode *windrow*, tanpa penggunaan mesin dan tumpukan tanah disusun memanjang sehingga memudahkan dalam pengadukan (Saad et al, 2014). Kondisi campuran tanah dipantau meliputi kelembapan, pH, temperatur dan potensi gas eksplosif seperti metana.

4.3 Aplikasi pengomposan dalam bioremediasi tanah yang terkontaminasi pestisida

Pestisida yang masuk ke dalam tanah dapat membahayakan lingkungan dan mempengaruhi mikroorganisme tanah. Untuk itu, cukup banyak penelitian yang telah dilakukan berkaitan bioremediasi tanah terkontaminasi dengan pestisida di laboratorium maupun di lapangan. Perbandingan studi bioremediasi

Tabel 1. Perbandingan studi yang bioremediasi menggunakan metode komposting pada tanah tercemar pestisida

No	Kompos yang digunakan	Kontaminan	Hasil	Peneliti
1	kompos jamur	heksachlorocyclohexan	26-58% pengurangan α -, β -, γ - dan δ -	Sadiq et al (2017)

No	Kompos yang digunakan	Kontaminan	Hasil	Peneliti
		e (HCH)	isomer HCH	
2	Pupuk kompos	pentachlorophenol (PCP)	Pembersihan PCP paling baik pada tanah dengan 0,27% kompos, dan 0,2% dari DOM	Scelza et al (2008)
3	Pupuk kompos, batang jagung dan gambut	herbisida trifluralin dan metolachlor	Penambahan pupuk 0,5%, batang jagung 5% dan gambut 5% di tanah terbukti meningkatkan degradasi atrazin, sedangkan penambahan serbuk gergaji, jagung produk sampingan fermentasi, pupuk kandang dan batang jagung sebanyak 5% meningkatkan degradasi metolachlor	Moorman et al (2001)
4	pupuk kompos, kompos cacing dan zaitun	triazines	Tidak meningkatkan degradasi pestisida dalam tanah	Delgado-Moreno dan Peña (2009)
5	kompos jamur, lumpur biogas, pupuk kandang dan natrium sitrat	atrazin	Penambahan lumpur biogas menunjukkan degradasi atrazin tertinggi (34,14%), diikuti oleh kombinasi natrium sitrat dan pupuk pertanian (31,8%), jamur (29,17%) dan pupuk kandang (22,07%).	Kadian et al (2008)
6	kompos limbah domestik dan kompos jerami	atrazin	Pemakaian kompos limbah mempercepat adsorpsi atrazine namun mengurangi bioavailabilitasnya untuk degradasinya mikroorganisme, sedangkan kompos jerami berkorelasi dengan formasi hydroxyatrazine	Houot et al., 1998
7	Jerami, gambut, kulita jeruk, pupuk kompos	Chlorpyrifos dan TCP	Jerami dan pupuk kompos sangat baik dalam degradasi chlorpyrifos dan TCP	Coppola et al, 2007
8	Pupuk kandang, sampah organik	Klorpirifos	Panambahan sampah organik dengan asam humic yang ebih tinggi akan lebih bermanfaat dalam remediasi tanah terkontamnasi klorpirofis	Toro et al, 2011

4.4 Implikasi dan rekomendasi

Pengomposan dipercaya menjadi salah satu metode yang efektif untuk membersihkan tanah dari pestisida. Untuk itu, bioremediasi tanah menggunakan metode komposting ini dapat diujicobakan sebagai alternatif remediasi tanah yang tercemar polutan di Indonesia. Walaupun penambahan pupuk kompos telah dipakai dalam kegiatan pertanian, namun hasil penelitian meunjukkan bahwa penambahan kompos pada tanah dapat dimanfaatkan dalam mendegradasi pestisida resisten di tanah (Kadian, 2007). Mengingat komposisi sampah pertanian yang sebagian besar berpotensi digunakan

sebagai kompos (Jamil, 2011). Selain itu, jika pestisida telah mampu diremediasi di tanah, tidak terjadi transpor pestisida lanjut ke air tanah maupun air permukaan.

Namun sebelum pengaplikasian metode tersebut, perlu dilakukan studi bioremediasi dengan teknik komposting terlebih dahulu di skala laboratorium. Dengan mempertimbangkan jenis polutan yang mencemari daerah pertanian, komposisi kompos, jenis dan lingkungan yang cocok untuk mikroorganisme pendegradasi pestisida, perlunya bioaugmentasi atau biostimulasi, begitu juga residu kimia yang dihasilkan. Sebab teknik yang ada belum tentu bisa langsung diadopsi untuk diterapkan pada tempat lain. Selain itu, Chen et al (2013) menyarankan untuk memastikan kualitas kompos yang dipakai, dikarenakan kualitas kompos yang buruk umumnya mengandung senyawa toksik pula, sedangkan kompos yang bagus akan memerlukan kandungan material organik yang tinggi untuk bioremediasi.

5. KESIMPULAN

Penerapan teknologi pengomposan sebagai strategi bioremediasi untuk tanah yang terkontaminasi membutuhkan pemahaman meliputi jenis dan komposisi kompos, pemahaman tentang sifat mikroorganisme pengompos dan pendegradasi pestisida, perlunya bioaugmentasi atau biostimulasi, dan kemungkinan residu yang dihasilkan. Penerapan bioremediasi menggunakan metode komposting memiliki potensi untuk diterapkan pada tanah pertanian yang telah tercemar oleh pestisida, karena biaya yang dibutuhkan tidak semahal pemulihan tanah jika menggunakan metode fisika-kimia.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Albuquerque, J.A., Gonzalez, J., Tortosa, G., Baddi, G.A., Cegarra, J., 2009. Evaluation of "alperujo" composting based on organic matter degradation, humification and compost quality. *Biodegradation* 20, 257–270.
- Asemoloye, Michael and Olowe, Olumayowa Mary and Zaffar, Habiba and Oshibanjo, Olusegun and Jonathan, Segun Gbolagade, Organic Compost as Catalyst or Mediator for Speedy and Cost Effective Bioremediation (November 15, 2017). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3071988> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3071988>
- Bernal MP, Albuquerque JA, Moral R. Bioresource Technology Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment . A review. *Bioresour Technol* [Internet]. 2009;100(22):5444–53. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Bhadbhade BJ, Sarnaik SS, Kanekar PP. Biomineralization of an organophosphorus pesticide, monocrotophos, by soil bacteria. *J App Microbiol*. 2002; 93: 224–234.
- Boudh S., Singh J.S. (2019) Pesticide Contamination: Environmental Problems and Remediation Strategies. In: Bharagava R., Chowdhary P. (eds) *Emerging and Eco-Friendly Approaches for Waste Management*. Springer, Singapore
- Bieganska J. A Model Study of Pesticide Biodegradation in Soil. *Biol Bull*. 2007; 34: 76-85.

- Chen M, Xu P, Zeng G, Yang C, Huang D, Zhang J. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons , petroleum , pesticides , chlorophenols and heavy metals by composting: Applications , microbes and future research needs. *Biotechnol Adv* [Internet]. 2015;33(6):745–55. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.05.003>
- Delgado-Moreno, L., Peña, A., 2009. Compost and vermicompost of olive cake to bioremediate triazines-contaminated soil. *Sci. Total Environ.* 407, 1489–1495.
- EEA, European Environment Agency (2007) Progress in management of contaminated sites (CSI 015). <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/progress-in-management-ofcontaminated-sites/>. Accessed 11 June 2013
- Fuentes, M. (Ed.), Colin, V. (Ed.), Saez, J. (Ed.). (2018). *Strategies for Bioremediation of Organic and Inorganic Pollutants*. Boca Raton: CRC Press, <https://doi.org/10.1201/b22045>
- Focht DD. "Biodegradation". *AccessScience*. doi:10.1036/1097-8542.422025
- Geng C, Haudin CS, Zhang Y, Lashermes G, Houot S, Garnier P. Modeling the release of organic contaminants during compost decomposition in soil. *Chemosphere*. 2015; 119: 423–431.
- Houot, S., Barriuso, E., Bergheaud, V., 1998. Modifications to atrazine degradation pathways in a loamy soil after addition of organic amendments. *Soil Biol. Biochem.* 30, 2147–2157
- Jamil A, Anggraini S. Potensi Limbah Pertanian sebagai Pupuk Organik Lokal di Lahan Kering Dataran Rendah Iklim Basah. 2011; 193–202.
- Kadian, N., Gupta, A., Satya, S., Mehta, R.K., Malik, A., 2008. Biodegradation of herbicide (atrazine) in contaminated soil using various bioprocessed materials. *Bioresour. Technol.* 99, 4642–4647.
- Kästner, M. & Miltner, A. *Appl Microbiol Biotechnol* (2016) 100: 3433. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7378-y>
- Langwaldt JH, Puhakka JA (2000) On-site biological remediation of contaminated ground water: a review. *Environ Pollut* 107:187–197
- Maphosa F, Lieten SH, Dinkla I, Stams AJ, Smidt H, Fennell DE (2012) Ecogenomics of microbial communities in bioremediation of chlorinated contaminated sites. *Front Microbiol* 3:351. doi:10.3389/fmicb.2012.00351
- Manuel Arias-Estéveza, Eugenio López-Periagoa, Elena Martínez- Carballob, Jesús Simal-Gándarab, Juan-Carlos Mejutoc, Luis García- Ríod. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agr Ecosyst Environ.* 2008; 123: 247-260.
- Megharaj M, Ramakrishnan B, Venkateswarlu K, Sethunathan N, Naidu R. Bioremediation approaches for organic pollutants: A critical perspective. *Environ Int.* 2011; 37: 1362–1375.
- Moorman, T.B., Cowan, J.K., Arthur, E.L., Coats, J.R., 2001. Organic amendments to enhance herbicide biodegradation in contaminated soils. *Biol. Fertil. Soils* 33, 541–545.
- Nikaeen M, Nafez AH, Bina B, Nabavi BF, Hassanzadeh A. Respiration and enzymatic activities as indicators of stabilization of sewage sludge composting. *Waste Manag.* 2015; 39: 104–110.

- Odukkathil G, Vasudevan M. Toxicity and bioremediation of pesticides in agricultural soil. *Rev Environ SciBiotechnol.* 2013; 12: 421–444
- Oppola LAC, Astillo MADPC, Onaci ELGAM, Ischetti CO V. Adaptation of the Biobed Composition for Chlorpyrifos Degradation to Southern Europe Conditions. 2007;396–401.
- Pedra, F., Polo, A., Ribeiro, A., Domingues, H., 2007. Effects of municipal solid waste compost and sewage sludge on mineralization of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 39, 1375–1382.
- Puglisi, E., Cappa, F., Fragoulis, G., Trevisan, M., Del Re, A.A., 2007. Bioavailability and degradation of phenanthrene in compost amended soils. *Chemosphere* 67, 548–556.
- Nur Fatin binti Mat Saad, Nursyahida Baharin and Shahrom Md Zain., Windrow Composting of Yard Wastes and Food Waste . *Aust. J. Basic & Appl. Sci.*, 8(19): 64-68, 2014
- Randhawa, G. K., & Kullar, J. S. (2011). Bioremediation of pharmaceuticals, pesticides, and petrochemicals with gomeya/cow dung. *ISRN pharmacology*, 2011, 362459. doi:10.5402/2011/362459
- Ramdas Gopinath Kanissery and Gerald K. Sims, “Biostimulation for the Enhanced Degradation of Herbicides in Soil,” *Applied and Environmental Soil Science*, vol. 2011, Article ID 843450, 10 pages, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/843450>.
- Saima Sadiq, Muhammad Mahmood-ul-Hassan, Karam Ahad & Sehrish Nazir (2018) Bioremediation of hexachlorocyclohexane (HCH) in soil using spent mushroom compost of *Pleurotus ostreatus*, *Bioremediation Journal*, 22:3-4, 126-135, DOI: 10.1080/10889868.2018.1516615
- Schwarzenbach RP, Escher BI, Fenner K, Hofstetter TB, Johnson CA, von Gunten U, Wehrli B (2006) The challenge of micropollutants in aquatic systems. *Science* 313:1072– 1077
- Science L, Sharma S. *Bioremediation: Features, Strategies and applications.* 2012;2(2):202–13.
- Scelza, R., Rao, M.A., Gianfreda, L., 2008. Response of an agricultural soil to pentachlorophenol (PCP) contamination and the addition of compost or dissolved organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 40, 2162–2169.
- Toro M, Tejada M, Go I. Ecotoxicology and Environmental Safety Use of organic amendments as a bioremediation strategy to reduce the bioavailability of chlorpyrifos insecticide in soils . *Effects on soil biology.* 2011;74:2075–81.
- Vogt C, Richnow HH. *Bioremediation via in situ Microbial Degradation of Organic Pollutants.* 2013;
- Yañez-ocampo G, Wong-villarreal A, Del P, Fuente JL, Vaca-paulín R. *Composting of Soils Polluted with Pesticides: A Microbial Approach and Methods for Monitoring.* 2016;4.

Pembuatan dan karakterisasi membran selulosa asetat dari limbah kulit kakao (*Theobroma cacao* L.) Dengan metode inversi fasa untuk adsorpsi logam timbal

Pevi Riani, Syafrinal², Alvernia Putri³

¹Politeknik ATI Padang, Padang. Email: rianipevi@gmail.com

²Politeknik ATI Padang, Padang. Email: rinal1450@gmail.com

³Politeknik ATI Padang, Padang. Email: vernia.putri@gmail.com

ABSTRACT

This study is aimed to isolate cellulose acetate from the cocoa (*Theobroma cacao* L.). Several step of the study were: isolation of α -cellulose from cocoa waste, isolation of cellulose acetate from cocoa shell α -cellulose, preparation of cocoa cellulose acetate membranes and the filtration process using Pb(II) solution. The first step was the preparation of cocoa shell powder by drying and smoothing it. Cocoa skin powder that has been obtained is then used to isolate α -cellulose. The α -cellulose powder obtained is white and dry. Analysis of FT-IR α -cellulose from cocoa shows the absorption peaks at wave numbers between 3400-3500 cm^{-1} which indicate of O-H stretch groups. At wave numbers 2800-2900 cm^{-1} indicates of C-H stretching, 1160 cm^{-1} indicates of C-O-C stretching and 1035-1060 cm^{-1} indicates of C-O stretching. In the fingerprint area, it was found that the absorption peak at the wave number was around 1300 cm^{-1} indicating the presence of C-H bending and around 1400 cm^{-1} indicating of CH₂ bending. The next step is making cellulose acetate from α -cellulose powder, the result obtained are coarse white powder and more physically smooth than α -cellulose from the cocoa. Cellulose acetate was prepared into cellulose acetate membrane. Manufacture of Cellulose acetate membrane cocoa shell by mixing cellulose acetate 2% ; 4% ; 6% ; 8% ; and 10% and dissolved into acetone. The obtained membrane has weak mechanical properties so it cannot be used for lead metal solution filtration process. Therefore it is necessary to add additives or plasticizers to strengthen the membrane.

Keyword : cellulose, cellulose acetate, membrane, inversion phase, cacao

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi selulosa asetat dari kulit kakao (*Theobroma cacao* L.). Terdapat beberapa tahap penelitian : isolasi α -selulosa dari limbah kulit kakao, isolasi selulosa asetat dari α -selulosa kulit kakao, pembuatan membran selulosa asetat kulit kakao dan proses filtrasi dengan menggunakan larutan Pb(II). Tahap pertama adalah preparasi bubuk kulit kakao dengan mengeringkan dan menghaluskan kulit kakao. Bubuk kulit kakao yang telah didapatkan kemudian digunakan untuk mengisolasi α -selulosa. Serbuk α -selulosa yang didapat berwarna putih dan kering, selanjutnya dapat diolah menjadi selulosa asetat. Data analisa FT-IR α -selulosa dari kulit kakao menunjukkan adanya puncak serapan di bilangan gelombang antara 3400 – 3500 cm^{-1} yang menunjukkan gugus O-H stretch, bilangan gelombang 2800-2900 cm^{-1} menunjukkan adanya C-H stretching, bilangan gelombang 1160 cm^{-1} mengindikasikan adanya C-O-C stretching, dan di 1035-1060 cm^{-1} menunjukkan adanya C-O stretching. Pada daerah sidik jari ditemukan puncak serapan di bilangan gelombang sekitar 1300 cm^{-1} yang menunjukkan adanya C-H bending dan sekitar 1400 cm^{-1} menunjukkan adanya CH₂ bending. Tahap selanjutnya pembuatan selulosa asetat dari serbuk α -selulosa, hasil yang didapatkan serbuk kasar

berwarna putih dan lebih halus dibandingkan α -selulosa dari kulit kakao. Kemudian Selulosa asetat dipreparasi menjadi membran selulosa asetat. Pembuatan membran selulosa asetat kulit kakao dengan mencampurkan selulosa asetat 2% ; 4% ; 6% ; 8% ; dan 10% dan dilarutkan ke dalam aseton. Membran yang diperoleh mempunyai sifat mekanik yang lemah sehingga tidak dapat digunakan untuk proses filtrasi larutan Pb(II). Oleh karena itu perlu ditambahkan bahan aditif atau bahan plasticizer untuk memperkuat membran.

Kata Kunci : selulosa, selulosa asetat, membran, inversi fasa, kakao

1. PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma Cacao L*) merupakan salah satu hasil pertanian yang mempunyai potensi yang bagus untuk meningkatkan devisa negara. Seiring meningkatnya produksi kakao di Indonesia, maka produksi limbah kulit kakao juga akan semakin meningkat. Petani sebagian besar masih membiarkan kulit coklat menjadi limbah pertanian, sebagian kecil lagi sudah bisa mengolah limbah kulit coklat menjadi pakan ternak. Oleh karena itu perlu dicari alternatif cara untuk memanfaatkan limbah kulit coklat sehingga mempunyai nilai guna.

Komposisi kimia yang terkandung di dalam kulit coklat yaitu kadar hemiselulosa (48,64%), kadar selulosa (31,25%), kadar lignin (20,11%), kadar air (12,96%) dan sisanya mengandung kadar abu, protein, karbohidrat dan lemak (Ashadi,1988). Komponen hemiselulosa, selulosa dan lignin dapat dikonversikan menjadi material dan produk yang bernilai guna. Salah satu turunan dari selulosa yang dapat dimanfaatkan adalah selulosa asetat. Kelebihan dari penggunaan selulosa asetat adalah dapat dihasilkan dengan biaya yang rendah, selektif adsorpsi, dapat larut pada kebanyakan pelarut (terutama pelarut organik), hidrofilik, dan terbuat dari sumber yang dapat diperbaharui. Selulosa asetat juga banyak dimanfaatkan untuk proses adsorpsi atau penyerapan ion logam atau limbah industri dikarenakan sifat penyerapannya yang baik.

Produksi membran pada saat ini dibuat dengan dengan metode inversi fasa melalui teknik presipitasi terendam. Polimer yang digunakan harus dapat larut pada pelarut yang sesuai, dan dapat dibuat menjadi dua konfigurasi yaitu datar (lembaran) dan pipa (turbular)

Teknik inversi fasa dapat menghasilkan struktur membran yang rapat dan berpori yang dipengaruhi oleh pelarut dan bahan perendaman yang digunakan. Teknologi membran mempunyai beberapa kelebihan yaitu proses pemisahannya berlangsung pada suhu kamar, dapat dilakukan kontiniu, dapat diatur sesuai dengan kebutuhan

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan membran selulosa asetat dari limbah kulit kakao (*Theobroma Cacao L*) dan diaplikasikan untuk filtrasi dengan larutan umpam yaitu logam Pb(II). Logam timbal dijadikan sebagai larutan umpam dikarenakan banyak digunakan dalam bidang industri pembuatan pipa air yang tahan korosi, bahan pembuat cat, baterai dan campuran bahan bakar bensin tetraetil. Timbal juga banyak kita jumpai dalam perairan, limbah industri, bersifat toksik, dan dapat masuk ke dalam tubuh

manusia melalui konsumsi makanan, minuman, udara, air serta debu yang tercemar. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian larutan umpan berupa ion logam Pb(II) pada membran yang akan dibuat ini.

Tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah isolasi selulosa dari limbah kulit kakao (*Theobroma Cacao L*). Selulosa yang diperoleh disintesis menjadi selulosa asetat dan dilanjutkan dengan proses asetilasi. Hasil proses asetilasi yaitu berupa selulosa asetat yang siap dibuat untuk preparasi membran. Membran selulosa asetat dioperasikan dengan menggunakan logam Pb (II) sebagai larutan umpan dan dihitung nilai fluks dan permeabilitasnya.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah Sel membran berpengaduk, kertas Whatman 42, botol plastik, pH meter, pH indikator universal, *hotplate*, tabung gas, neraca analitis, oven, ayakan 100 mesh, pengaduk magnetik, batang *stainless steel*, kaca ukuran 25 x 30 cm, selotip tebal, bak koagulasi, regulator, tabung gas nitrogen, stopwatch, FT-IR dan peralatan gelas yang umum digunakan di laboratorium.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah kulit kakao (*Theobroma Cacao L*) dari Kabupaten Padang Pariaman, Na₂SO₃ (Merck), NaOH (Merck), H₂O₂ (Merck), asam nitrat p.a (Merck), asam asetat glasial p.a (Merck), asam sulfat (Merck), anhidrida asetat (Merck), akuades, aseton, kloroform dan logam Pb(II).

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Isolasi Selulosa dari Limbah Kulit Kakao (*Theobroma Cacao L*)

Sampel limbah kulit kakao (*Theobroma Cacao L*) diperoleh dari Kabupaten Padang Pariaman. Kulit kakao dikering anginkan dan dipotong kecil-kecil. Potongan kulit coklat tersebut diambil sebanyak 150 gram, ditambahkan 1 liter HNO₃ 3,5% (v/v) dan selanjutnya dipanaskan pada suhu 90°C selama 2 jam. Campuran disaring dan ampas yang diperoleh dicuci sampai pH netral. Ampas yang telah netral ditambahkan 750 mL campuran NaOH 2% (b/v) dan Na₂SO₃ 2% (b/v) pada suhu 50°C selama 1 jam. Residu disaring dan dicuci hingga pH netral. 500 mL NaOH 17,5% (b/v) ditambahkan pada suhu 80°C selama setengah jam dan disaring. Residu dicuci hingga pH netral dan ditambahkan H₂O₂ 10% (v/v) pada suhu 60°C selama 15 menit. Hasil yang diperoleh berupa selulosa dan dioven pada suhu 110°C selama 6 jam (Djuned, Asad, Ibrahim, & Daud, 2014)..

2.2.2 Sintesis Selulosa Asetat

Selulosa 10 gram dilarutkan dengan 250 mL asam asetat glasial kemudian diaduk selama 60 menit pada suhu 38°C. Tambahkan 0,5 mL asam sulfat, aduk kembali selama 45 menit. Hasil aktivasi dilanjutkan dengan proses asetilasi menggunakan anhidrida asetat sebanyak 132 mL dan diaduk pada suhu 38°C selama 45 menit. Selanjutnya tambahkan akuades 25 mL ke dalam larutan dan 50 mL asam asetat glasial untuk

menghentikan proses asetilasi dan aduk pada suhu 50°C selama 30 menit. Larutan yang diperoleh kemudian diendapkan ke dalam akuades dan saring hingga aroma asetat hilang. Endapan yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada suhu 55°C selama 12 jam (Bahmid, 2014). Selulosa asetat yang didapat diuji karakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR).

2.2.3 Pembuatan Membran Selulosa Asetat

Membran dibuat dari selulosa asetat yang diperoleh dari limbah kulit kakao (*Theobroma Cacao L*). Membran selulosa asetat dibuat dengan metode inversi fasa prestipitasi perendaman dengan prosedur sebagai berikut : Membran selulosa asetat dibuat dengan variasi 5% ; 7,5% ; 10% ; 12,5% ; 15% (b/b) dilarutkan ke dalam aseton dan biarkan selama 24 jam. Larutan ini kemudian diaduk dengan pengaduk magnet hingga homogen. Larutan ini disebut dengan larutan *dope*. Sebelum proses pencetakan, larutan *dope* didiamkan 30 menit yang bertujuan untuk menghilangkan gelembung udara yang terkandung di dalamnya. Larutan *dope* dituang di atas plat kaca yang telah diolesi klorofom lalu diratakan dengan batang *stainless steel* hingga terbentuk lapisan tipis dan dibiarkan selama 7 menit. Lapisan tipis direndam di dalam bak koagulasi air selama 10 menit hingga membran terlepas. Selanjutnya dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Isolasi α -Selulosa Dari Kulit Kakao (*Theobroma cacao L.*)

Pada penelitian ini telah dilakukan isolasi α -selulosa dari kulit kakao (*Theobroma cacao L.*). Tahap pertama pada penelitian ini adalah preparasi bubuk kulit kakao dengan mengeringkan dan menghaluskan kulit kakao. Bubuk kulit kakao yang telah didapatkan kemudian digunakan untuk mengisolasi α -selulosa. Tahap awal isolasi α -selulosa adalah tahap *pretreatment* yaitu dengan menambahkan HNO₃ 3,5% ke dalam bubuk kulit kakao, kemudian dipanaskan pada suhu 90°C selama 2 jam. Setelah itu disaring dan ampas dicuci hingga filtrat netral. Terjadi peristiwa *swelling* oleh pelarut pada tahap *pretreatment* ini sehingga struktur selulosa merenggang dari hemiselulosa dan lignin yang masih rapat, merusak struktur kristal dari selulosa serta meningkatkan volume bahan (Lisneri, Lia dkk., 2016). Akibatnya volume pori dari serat kulit kakao akan menjadi lebih besar.

Tahap selanjutnya adalah delignifikasi menggunakan NaOH 2% (b/v) dan Na₂SO₃ 2% (b/v) dengan perbandingan 1:1 pada suhu 50°C selama 1 jam. Hasil yang didapat disaring dan ampas dicuci sampai pH netral. Penelitian dilanjutkan ke tahap pemurnian selulosa dengan menambahkan larutan NaOH 17,5% (b/v) pada suhu 80°C selama 30 menit, kemudian disaring hingga filtrat netral. Tujuan proses delignifikasi adalah untuk menghilangkan lignin dalam serat bubuk kulit kakao. Hasil degradasi lignin ditandai dengan terjadinya perubahan warna larutan menjadi coklat tua.

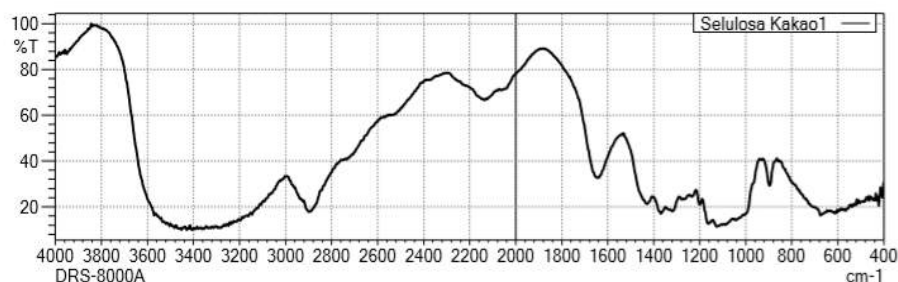
Tahap terakhir pada isolasi α -selulosa adalah proses *bleaching* dengan menambahkan H₂O₂ 10% (v/v) pada suhu 60°C selama 15 menit. Hasil yang diperoleh dikeringkan di dalam oven pada suhu 60°C dan disimpan di dalam desikator. Proses *bleaching*

bertujuan untuk proses pemutihan dimana terjadi peristiwa degradasi sisa lignin yang masih tersisa. Hasil α -selulosa yang didapat dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 1. α -selulosa dari kulit kakao (*Thebroma cacao L.*)

Pada gambar 4.1 dapat kita lihat serbuk α -selulosa dari kulit kakao (*Thebroma cacao L.*) berwarna putih dan kering. α -selulosa ini masih berbentuk kasar dan selanjutnya dapat diolah menjadi selulosa asetat. α -selulosa dari kulit kakao (*Thebroma cacao L.*) selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan FT-IR. Data analisa FT-IR α -selulosa dari kulit kakao (*Thebroma cacao L.*) dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut :



Gambar 2. Hasil analisa FT-IR α -selulosadari kulit kakao (*Thebroma cacao L.*)

Dari hasil analisa FT-IR α -selulosa dari kulit kakao (*Thebroma cacao L.*) dapat dilihat adanya puncak serapan di bilangan gelombang antara 3400 – 3500 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya gugus O-H stretch. Pada bilangan gelombang 2800-2900 cm^{-1} menunjukkan adanya C-H stretching, selanjutnya dapat dilihat pada bilangan gelombang 1160 cm^{-1} mengindikasikan adanya C-O-C stretching, dan di 1035-1060 cm^{-1} menunjukkan adanya C-O stretching. Pada daerah sidik jari ditemukan puncak serapan di bilangan gelombang sekitar 1300 cm^{-1} yang menunjukkan adanya C-H bending dan sekitar 1400 cm^{-1} menunjukkan adanya CH_2 bending. Tabel 1 berikut menunjukkan identifikasi α -selulosa dari kulit kakao (*Thebroma cacao L.*)

Tabel 1. Pita serapan spektrum IR pada α -selulosa dari kulit kakao (*Thebroma cacao L.*)

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Identifikasi
3400	O-H stretch
2900	C-H ulur asimetrik dan simetrik
1160	C-O-C stretching
1035-1060	C-O stretching

1300
1400Tekuk asimetrik C-H dari gugus metil
CH₂ bending

3.2 Sintesis Selulosa Asetat dari α -selulosa kulit kakao (*Theobroma cacao L.*)

Sintesis selulosa asetat dari α -selulosa dilakukan dengan melarutkan α -selulosa ke dalam asam asetat glasial. Asam asetat glasial berfungsi sebagai *swelling agent* yang berperan untuk mengembungkan serat-serat selulosa agar lebih terbuka dan mudah bereaksi dengan asetat anhidrida. Tahap selanjutnya adalah penambahan H₂SO₄. Penambahan H₂SO₄ adalah sebagai katalis dan mempercepat terjadinya reaksi. Pada tahap ini maka α -selulosa telah teraktivasi. H₂SO₄ akan menambah muatan positif pada asam sehingga akan mempercepat jalannya reaksi dan menurunkan energi aktivasi reaksi, akibatnya lebih banyak gugus asetil yang dapat disubstitusi oleh gugus hidroksil (Asparingga, Hesti dkk., 2018). Selanjutnya adalah tahap asetilasi dengan menambahkan asetat anhidrid. Selama proses asetilasi maka akan terjadi reaksi antara selulosa dengan asetat anhidrida membentuk selulosa asetat. Kemudian tahap hidrolisis dengan menambahkan akuades dan asam asetat glasial. Endapkan larutan ke dalam akuades dan saring hingga aroma asetatnya hilang. Endapan yang terbentuk dikeringkan ke dalam oven pada suhu 55°C selama 12 jam dan terbentuklah selulosa asetat dari kulit kakao (*Theobroma cacao L.*). Selulosa asetat yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.3. Selulosa asetat yang terbentuk berupa serbuk kasar berwarna putih dan lebih halus secara fisik dibandingkan α -selulosa dari kulit kakao (*Theobroma cacao L.*). Selulosa asetat ini pada tahap selanjutnya akan dipreparasi menjadi membran selulosa asetat.



Gambar 3. Selulosa asetat dari kulit kakao (*Theobroma cacao L.*)

3.3 Preparasi Membran Selulosa Asetat (SA) dari Kulit Kakao (*Theobroma cacao L.*)

Membran dibuat dari selulosa asetat (SA) kulit kakao (*Theobroma cacao L.*), pelarut aseton dengan densitas 0,79 gr/ml dan non pelarut akuades. Pada penelitian ini menggunakan teknik inversi fasa prestipitasi terendam. Teknik ini memungkinkan untuk mendapatkan membran yang rapat dan berpori (Mulder, 1991).

Pembuatan membran selulosa asetat kulit kakao dengan mencampurkan selulosa asetat 2% ; 4% ; 6% ; 8% ; dan 10% dan dilarutkan ke dalam pelarut aseton. Larutan homogen yang terbentuk akan dicetak menjadi lembaran tipis dan dikoagulasikan ke dalam non

pelarut yaitu akuades. Pada saat proses perendaman di dalam bak koagulasi maka pelarut aseton akan berdifusi keluar membran sehingga terbentuk lapisan aktif dengan pori-pori kecil pada permukaan atas membran. Teknik ini disebut dengan teknik inversi fasa prestipitasi terendam.

Hasil pembuatan membran selulosa asetat (SA) dari kulit kakao (*Theobroma cacao L.*) dengan pelarut organik aseton menunjukkan membran yang terbentuk sangat tipis dan mempunyai sifat mekanik yang sangat lemah. Hal ini dapat kita lihat pada Gambar 4.4 berikut :



Gambar 4. Membran selulosa asetat (SA) dari kulit kakao (*Theobroma cacao L.*)

Pada saat pencetakan membran di plat kaca terbentuk lapisan yang sangat tipis. Plat kaca direndam di dalam bak koagulasi agar membran yang terbentuk mudah lepas dan aseton sebagai pelarut akan berdifusi ke dalam akuades. Untuk memperkuat membran selulosa asetat (SA) dari kulit kakao (*Theobroma cacao L.*) secara mekanik dapat digunakan bahan aditif atau bahan *plasticizer* untuk memperkuat membran. Membran yang ditambah bahan aditif maupun bahan *plasticizer* mampu memperkuat struktur membran sehingga dapat digunakan untuk dioperasikan pada sel membran.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil setelah penelitian adalah :

1. Selulosa asetat yang dibuat dari α -selulosa kulit coklat (*Theobroma cacao L.*) dapat dibuat menjadi membran namun memiliki sifat mekanik yang sangat rendah sehingga tidak dapat dilakukan proses filtrasi dengan menggunakan sel membran.
2. Komposisi selulosa asetat terhadap permeabilitas dan uji fluks membran selulosa asetat dengan pengujian larutan umpan Pb(II) tidak dapat dilanjutkan karena membran yang terbentuk tidak memiliki struktur yang kuat.
3. Hasil karakterisasi FT-IR α -selulosa dari kulit kakao (*Theobroma cacao L.*) dapat dilihat adanya puncak serapan di bilangan gelombang antara $3400 - 3500 \text{ cm}^{-1}$ yang mengindikasikan adanya gugus O-H stretch. Pada bilangan gelombang $2800-2900 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-H stretching, selanjutnya dapat dilihat pada bilangan gelombang 1160 cm^{-1} mengindikasikan adanya C-O-C stretching, dan di $1035-1060 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-O stretching. Pada daerah sidik jari ditemukan puncak serapan

di bilangan gelombang sekitar 1300 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya C-H bending dan sekitar 1400 cm⁻¹ menunjukkan adanya CH₂ bending.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Al,Heru Pratomo.,2003. *Pembuatan dan Karakterisasi Membran Komposit Polisulfon Selulosa Asetat untuk Proses Ultrafiltrasi*. Jurusan Pendidikan Kimia FMIPA UNY, Karangmalang.Yogyakarta
- Agustina,Siti., Pudji,Sri., Widiyanto, Tri., A.Trisni.,2008, *Penggunaan Teknologi Membran Pada Pengolahan Air Limbah Industri Kelapa Sawit*. Workshop Teknologi Industri Kimia dan Kemasan, Jakarta
- Apriani, Rina, et al., 2018. *Sintesis dan Karakterisasi Membran Selulosa Asetat dari Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Program Studi Kimia. FMIPA. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin.
- Asparingga,Hesti., Syahbanu, Intan., Alimuddin, Andi Hairil. 2018. *Pengaruh Volume Anhidrida Asetat Pada Sintesis Selulosa Asetat dari Sabut Kelapa (Cocos nucifera L.)* Jurnal Kimia Khatulistiwa, Tahun 2018, 7(3);10-17. Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura. Pontianak
- Azhar,Muhammad., 2013. *Paper Teknologi Membran*. <http://generalpoenya.blogspot.com>
- Baker, R.W. 2004. *Overview of Membrane Science and Technology*. John Willey & Sons, New York.
- Djuned,F.M., Asad, M., Ibrahim, M.N. M., & Daud,W.R.W .2014. *Synthesis and Characterization of Cellulose Acetate from TCF Oil Palm Empty Fruit Bunch Pulp*. Bioresources. 9(3). 4710-4721
- Herwanto,Bimbing., Santoso,Eko. 2006. *Adsorpsi Ion Logam Pb(II) pada Membran Selulosa – Khitosan Terikat Silang*. Akta Kimia Indonesia. Vol.2 No.1 Oktober 2006. Surabaya.
- Husni,Dina Apriana Putri, et al, 2018. *Pembuaan Membran Selulosa Asetat dari Selulosa Pelepah Pohon Pisang*. Kovalen, 4(1):41-52, April 2018. Jurnal Riset Kimia. Palu. 2018
- Juniarzadinata, Rendra., 2011., *Kajian Struktur dan Uji Fluks Membran Polisulfon dengan Metoda Inversi Fasa*. Jurusan Fisika. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Kesting, R.E. 1993. *Synthetic Polymeric Membranes. A Structural Perspective, Ed ke-2*. John Wiley & Sons. New York.
- Khansa., 2008. *Teknologi Membran 1.*, <http://hafidzah87.wordpress.com>
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI-PRESS, Jakarta.
- Kurniatiastiti, Savitry. 2012. *Penurunan Kadar Lignin dari Kulit Buah Coklat Menggunakan Etanol Pada Proses Pemisahan Selulosa*. Skripsi. Program Studi Teknik Kimia. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Pembangunan Nasional. Jawa Timur.

- Lindu, Muhammad., Pupitasari Tita., Ismi, Erna. 2008. *Sintesis dan Uji Kemampuan Membran Selulosa Asetat dari Nata de Coco Sebagai Membran Ultrafiltrasi untuk Menyisihkan Zat Warna pada Air Limbah Artifisial*. Teknik Lingkungan. Fakultas Arsitektur Lansekap dan Teknologi Lingkungan. Universitas Trisakti. Jakarta.
- Martinni, Martha. 2015. *Optimasi Berat dan Waktu Sintesis Karboksimetil Selulosa (CMC) dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (Elais Guineensis Jack)*. Departemen Kimia. FMIPA. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Mulder, Marcel., 1991. *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publisher. London.
- Nasrun., 2012. *Peningkatan Performansi Membran Selulosa Asetat dengan Penambahan Zeolit Alam Ujong Pancu, Kabupaten Aceh Besar pada Pemisahan Campuran Etanol-Air Secara Pervaporasi*. Disertasi Doktoral, Universitas Sumatera Utara, USU, Medan.
- Nisa, Dianrifiya dkk. 2014. *Pemanfaatan Selulosa dari Kulit Buah Kakao (Theobroma cacao L.) Sebagai Bahan Baku Pembuatan CMC (Carboxymethyl Cellulose)*. Jurnal Pangan dan Agroindustri. Vol.2 No.3 p.34-42, Juli 2014. Universitas Brawijaya. Malang
- PK, Yuniarti., W Adhitya, Krisna., K, Teddy., Setiawan, Yusup. *Pembuatan Selulosa Asetat dari Limbah Rami dan Prospeknya Sebagai Bahan Membran*. Balai Besar Penelitian Pulp dan Kertas. Bandung.
- Pratomo, Heru., *Pembuatan dan Karakterisasi Membran Komposit Polisulfon Selulosa Asetat Untuk Proses Ultrafiltrasi.*, Jur.Pendidikan Kimia FMIPA UNY. Yogyakarta.
- Purwanto, Yuli., 2000., *Pengkajian Blending Selulosa Asetat/Polisulfon Sebagai Membran*. Skripsi. Jurusan Kimia. Universitas Diponegoro
- Roilbilads.2010. *Pembuatan Membran* . <http://roilbilad.wordpress.com>
- Santoso, Eko., Juwono, Hendro., Kuscahyani, Ayu Wardhani., *Studi Adsorpsi Isotermal Ion Ni²⁺ Dalam Larutan pada Membran Selulosa-Khitosan Terikat Silang*. Laboratorium Kimia Fisika, Jurusan Kimia FMIPA, ITS. Surabaya.
- Scott, K. 1995 *Handbook of Industrial Membranes : Membrane Materials, Preparation and Characterisation*, Ed ke-1, Elsevier Advanced Technology.
- Sekretariat Jenderal Kementerian Perindustrian R.I. *Gambaran Sekilas Industri Kakao*. Jakarta.
- Thaiyibah, Nazaraton, et al., 2016. *Pembuatan dan Karakterisasi Membran Selulosa Asetat-PVC dari Enceng Gondok (Eichornia crassipes) untuk Adsorpsi Logam*

Tembaga (II). Jurnal Kimia MULawarman Vol.14 No.1 November 2016. Univ. Mulawarman, Samarinda.

Yunianti,Shofiyah., Kartika Maharani,Dina., 2012. *Pemanfaatan Membran Kitosan-Silika untuk Menurunkan Kadar Ion Logam Pb(II) dalam Larutan*. Journal of Chemistry. UNESA. Vol.1, No.1, May 2012.

Wenten, I.G., 2000. *Pemisahan dengan Membran*, Bahan Kuliah, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

SOLIDIFIKASI/STABILISASI SAMPAH PLASTIK HDPE BEKAS KEMASAN LIMBAH B3 DALAM PEMBUATAN PAVING BLOCK

Yenni Ruslinda¹, Rahmadila¹, Prima Puspa Diani¹

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Email: yenni@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

According to Indonesian Government Regulation (PP RI) No. 101/2014, the used packaging of hazardous waste falls into the category of hazardous waste, so processing needs to be done. This study aims to test the success of the process of solidification/stabilization (S/S) of shredded HDPE plastic waste from B3 used packaging for paving block manufacturing. The variation of the addition of HDPE plastic waste are 4%, 6%, 8% and 10% as the test variables and without the addition of HDPE plastic counts as a control variable. Tests carried out on the compressive strength, water absorption and Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) parameters. The results showed that the addition of shredded plastic waste greater than 6% would reduce the compressive strength of paving blocks and increase the value of water absorption. TCLP testing for the heavy metal content of Pb, Cd, Hg, As, Se, Cu, Ag, Ba, Ni, Zn and B has fulfilled the quality standards as stated in PP RI No. 101/2014. From the test results obtained that paving blocks with the addition of 6% shredded plastic waste gives the highest compressive strength at the amount of 17.23 MPa. This compressive strength value is classified as B quality paving block that can be used as a parking lot. The need for 6% HDPE plastic waste in 1 m³ of paving block is 23.25 kg or equivalent to 775 pieces of oil bottle.

Keywords : HDPE plastic waste, hazardous waste packaging, solidification/stabilization, paving block

ABSTRAK

Menurut PP RI No 101 tahun 2014, bekas kemasan limbah B3 masuk dalam kategori limbah B3, sehingga perlu dilakukan pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji keberhasilan proses solidifikasi/stabilisasi (S/S) cacahan sampah plastik HDPE bekas kemasan limbah B3 dalam pembuatan paving block. Variasi penambahan cacahan sampah plastik HDPE sebanyak 4%, 6%, 8% dan 10% sebagai variabel uji dan tanpa penambahan cacahan plastik HDPE sebagai variabel kontrol. Pengujian dilakukan terhadap parameter kuat tekan, penyerapan air dan Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP). Hasil penelitian menunjukkan penambahan cacahan sampah plastik besar dari 6% akan menurunkan nilai kuat tekan paving block dan meningkatkan nilai penyerapan air. Pengujian TCLP untuk kandungan logam berat Pb, Cd, Hg, As, Se, Cu, Ag, Ba, Ni, Zn dan B telah memenuhi baku mutu PP RI No 101 Tahun 2014. Dari hasil pengujian diperoleh paving block dengan penambahan cacahan sampah plastik sebesar 6% memberikan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 17,23 MPa. Nilai kuat tekan ini diklasifikasikan sebagai paving block mutu B yang dapat digunakan sebagai pelataran parkir. Pemanfaatan sampah plastik HDPE sebanyak 6% dalam 1 m³ paving block yaitu 23,25 kg atau setara dengan 775 buah kemasan botol oli.

Kata kunci: cacahan, kemasan limbah B3, paving block, sampah plastik HDPE, solidifikasi/stabilisasi

1. PENDAHULUAN

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) memiliki beberapa karakteristik seperti korosif, beracun, mudah terbakar, mudah meledak, reaktif dan infeksius. Karakteristik dari limbah B3 tersebut beberapa diantaranya dapat ditemui pada produk B3 rumah tangga dari aktivitas masyarakat di dapur, kamar mandi dan cuci, kamar tidur, serta garasi dan taman. Produk B3 rumah tangga biasanya dikemas dengan berbagai bahan, salah satunya berbahan dasar plastik jenis *high density polyethylene* (HDPE). Plastik HDPE merupakan plastik yang paling stabil dan tahan terhadap temperatur tinggi. Plastik HDPE biasa digunakan sebagai kemasan B3 untuk kemasan: kosmetik, parfum, shampo anti ketombe, pemutih pakaian, oli, minyak rem, pestisida, racun tikus, pembersih lantai dan sebagainya (The Dow Chemical Company, 2014).

Pengelolaan terhadap sampah B3 di negara berkembang seperti Indonesia belum menjadi prioritas. Sampah ini biasanya diwadahkan, diangkut dan dibuang bercampur dengan sampah non B3 lainnya ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah kota. Hal ini akan menimbulkan berbagai dampak negatif berupa kerusakan lingkungan baik tanah, air dan udara serta dapat mengganggu kesehatan manusia melalui pernapasan, pencernaan, kulit, mata, ginjal, otak, paru-paru, sistem syaraf dan hati (Ruslinda, dkk, 2018), Untuk itu perlu dilakukan pengelolaan khusus terhadap sampah B3 tersebut. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 101 tahun 2014, pengolahan limbah B3 dapat dilakukan dengan cara termal yaitu pembakaran limbah menggunakan alat incinerator atau dengan cara solidifikasi/stabilisasi (S/S) yaitu mengurangi potensi racun dan kandungan limbah B3 dengan prinsip mengubah fisik dan kimiawi limbah B3 dengan cara penambahan senyawa pengikat sehingga pergerakan senyawa-senyawa B3 dapat dihambat atau terbatas dan membentuk ikatan massa monolit dengan struktur yang kekar (*massive*). Proses S/S dikatakan berhasil bila dihasilkan produk yang kuat dan tahan lama yang tidak akan meluluhkan logam dalam jangka waktu pendek maupun panjang. Keberhasilan proses S/S harus didasarkan pada pemahaman akan sifat dan mekanisme ikatan logam berat dengan bahan pengikat semen (Utomo dan Laksono, 2007). Biasanya, proses S/S juga melibatkan beberapa bentuk pemadatan fisik dan menghasilkan berbagai produk seperti beton, *paving block*, *hollow block* (Gailius dkk, 2010).

Penelitian pembuatan *paving block* dengan bahan tambahan sampah plastik telah dilakukan oleh Adibroto tahun 2014. Penelitian dilakukan dengan menggunakan serat plastik jenis PP dan PE yang memiliki beberapa varian ukuran panjang dan konsentrasi. Varian konsentrasi yang digunakan dalam pemanfaatan serat plastik yaitu 1%-5% serta variasi ukuran panjangnya yaitu 1 cm, 2 cm dan 3 cm. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan *paving block* dengan kandungan serat plastik 3% dan panjang 2 cm memiliki nilai kuat tekan yang maksimum yaitu 325,10 kg/cm² pada umur 28 hari. Berdasarkan penelitian sebelumnya, dalam penelitian ini dilakukan pembuatan *paving block* dengan metode S/S. Serat plastik yang bukan B3 diganti cacahan sampah plastik HDPE bekas kemasan limbah B3 sebagai bahan campuran. Setelah proses S/S selanjutnya dilakukan pengujian fisik dan kimia terhadap *paving block* yang telah dibuat. Diharapkan *paving block* yang dihasilkan memenuhi aspek teknis dan lingkungan mengingat bahan yang digunakan berasal dari sampah B3.

2. METODOLOGI

Tahapan penelitian pemanfaatan sampah plastik HDPE bekas kemasan limbah B3 dalam pembuatan *paving block* dengan metode S/S terdiri dari studi literatur, pengumpulan data sekunder, persiapan alat dan bahan, pengujian material, pembuatan *paving block*, pengujian *paving block* serta pengolahan dan analisis data. Data sekunder yang dikumpulkan berupa perbandingan komposisi bahan penyusun *paving block*, variasi komposisi sampah plastik HDPE dan penentuan kandungan logam berat pada sampah plastik jenis HDPE bekas kemasan limbah B3 yaitu timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), arsen (As), selenium (Se), tembaga (Cu), perak (Ag), barium (Ba), nikel (Ni), seng (Zn) dan boron (B) yang didasari oleh beberapa penelitian sebelumnya. Penelitian dilakukan secara eksperimental terhadap dua variabel penelitian yaitu variabel kontrol dan variabel uji. Variabel kontrol adalah pembuatan *paving block* dengan material campuran semen, agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir) dan air tanpa penambahan cacahan sampah plastik HDPE, sedangkan variabel uji adalah pembuatan *paving block* dengan campuran seperti variabel kontrol dan penambahan cacahan sampah plastik HDPE masing-masing sebanyak 4%, 6%, 8% dan 10%.

Sebelum pembuatan *paving block*, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap material yang akan digunakan. Pengujian meliputi karakteristik kimia cacahan sampah plastik HDPE bekas kemasan limbah B3 dan karakteristik fisik agregat yang digunakan. Pengujian karakteristik kimia cacahan sampah plastik HDPE bekas kemasan limbah B3 dilakukan untuk mengetahui kandungan logam berat di dalam sampah plastik. Sampah plastik HDPE terlebih dahulu dicacah menggunakan alat pencacah plastik, hingga didapatkan ukuran cacahan < 9,5 mm. Selanjutnya sampel cacahan sampah plastik diekstraksi sesuai pH menggunakan *alat rotary agitator* selama 18 ± 2 jam. Setelah itu sampel didestruksi dengan *hot plate* sampai volume sampel menjadi setengahnya (kira-kira 20 menit) dan ditambahkan *aquadest* serta disimpan di botol sampel. Selanjutnya sampel siap di ukur dengan alat ICPE-9000 untuk mengetahui kandungan logam beratnya. Analisis dilakukan mengacu pada metode EPA 1311. Pengujian karakteristik fisik agregat dilakukan terhadap agregat kerikil dan pasir untuk melihat sifat fisik agregat yang digunakan dalam pembuatan *paving block*. Pengujian agregat kasar dan halus meliputi analisis saringan, kadar air, berat jenis, penyerapan, kadar lumpur serta kadar organik untuk agregat halus. Pengujian fisik agregat mengacu standar ASTM dan PBI 1971.

Selanjutnya dilakukan pembuatan *paving block* berbentuk persegi panjang ukuran 20,5 cm x 10,5 cm x 6 cm dengan perbandingan campuran bahan baku semen : agregat pasir : agregat kerikil : cacahan sampah plastik HDPE yaitu 1 : 2 : 3 : (0%, 4%, 6%, 8%, dan 10%) serta faktor air semen (FAS) yang digunakan 0,4. *Paving block* yang dibuat berjumlah 30 buah dan digunakan untuk pengujian kuat tekan, penyerapan air serta TCLP. Pembuatan *paving block* menggunakan mesin cetakan dan pengadukan material dilakukan secara manual. Tabel 1 menampilkan komposisi material yang digunakan untuk satu *paving block*.

Tabel 1. Komposisi Paving Block

Kode Sampel	Material (1 buah paving block)								
	Semen		Pasir		Kerikil		Cacahan Sampah Plastik		Air
	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	kg
PB.K*	16,667	0,50	33,333	1	50	1,50	0	0,00	0,20
PB. U1	16,556	0,50	33,112	0,99	49,669	1,49	0,662	0,02	0,20
PB. U2	16,501	0,50	33,003	0,99	49,505	1,48	0,990	0,03	0,20
PB. U3	16,447	0,49	32,894	0,99	49,342	1,48	1,316	0,04	0,19
PB. U4	16,393	0,49	32,787	0,98	49,180	1,48	1,639	0,05	0,19

Keterangan:

PB.U = Paving Block Uji

PB U3 = Paving Block Uji 8%

PB.U1 = Paving Block Uji 4%

PB U4 = Paving Block Uji 10%

PB.U2 = Paving Block Uji 6%

Keberhasilan proses S/S dalam pembuatan *paving block* dilakukan terhadap tiga parameter yaitu kuat tekan, penyerapan air dan uji TCLP. Pengujian kuat tekan dimaksudkan untuk mengetahui mutu dan kekuatan dari *paving block* yang diteliti dengan satuan luas bidang tekan tertentu. Uji kuat tekan dilakukan pada umur *paving block* 7 hari dan 28 hari menggunakan alat *compression strength machine*. Pengujian penyerapan air dilakukan pada umur *paving block* 28 hari yang bertujuan untuk melihat seberapa besar kemampuan *paving block* dalam menyerap air. Besar atau kecil nilai daya serap air yang dihasilkan tergantung dari kepadatan dan jumlah rongga yang terdapat pada *paving block*. Pengujian TCLP dilakukan pada umur 28 hari yang bertujuan untuk mengetahui tingkat keamanan *paving block* bagi kesehatan dan lingkungan mengingat bahan baku yang digunakan adalah sampah plastik jenis HDPE bekas kemasan limbah B3.

3. HASIL, ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Material Penyusun Paving Block

Pengujian material penyusun *paving block* dilakukan terhadap karakteristik kimia cacahan sampah plastik jenis HDPE bekas kemasan limbah B3 dan karakteristik fisik agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Hasil uji TCLP terhadap karakteristik kimia cacahan sampah plastik jenis HDPE bekas kemasan limbah B3 sebelum dilakukan proses S/S didapatkan kandungan logam Pb, Cd, Hg dan Ni melebihi dari nilai baku mutu yang ditetapkan berdasarkan PP RI Nomor 101 Tahun 2014 pada Lampiran III Baku Mutu Karakteristik Beracun Melalui TCLP untuk Penetapan Kategori Limbah B3 pada Tabel TCLP-A. Kandungan logam berat yang tinggi untuk logam Pb, Cd, Hg dan Ni dapat mengakibatkan beberapa dampak bagi manusia. Akumulasi logam Pb dalam tubuh menyebabkan gangguan dan kerusakan pada saraf, pencernaan, usus, ginjal, dan tulang. Logam Cd yang terdapat dalam tubuh manusia sebagian besar diperoleh melalui saluran pernapasan dan pencernaan dan dapat

terakumulasi pada ginjal sehingga ginjal mengalami disfungsi serta gangguan fungsi hati. Gangguan kesehatan yang terjadi karena keracunan logam Hg adalah: rasa sesak dan nyeri di dada, sulit bernapas, alergi dan ruam kulit dan sakit kepala. Kandungan logam Ni yang tinggi dapat menyebabkan keracunan jika masuk ke dalam tubuh seperti alergi, anosmia rhinitis dan sinusitis (Kemenkes RI, 2012). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

Hasil pengujian terhadap karakteristik fisik agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) sebelum pembuatan *paving block* dibandingkan dengan *American Society of Testing and Material* (ASTM) tentang Spesifikasi Material Agregat sebagai Bahan Campuran Beton dan Peraturan Beton Indonesia Tahun 1971 tentang Persyaratan Kadar Lumpur Agregat Halus dan Kasar Lolos Saringan No. 200. Hasil pengujian menunjukkan kerikil dan pasir telah memenuhi standar yang berlaku dan dapat digunakan sebagai material penyusun *paving block*. Sifat-sifat agregat dapat mempengaruhi kualitas *paving block* yang dihasilkan (Syarif dkk, 2016).

3.2 Pengujian Keberhasilan Proses S/S

3.2.1 Pengujian Kuat Tekan

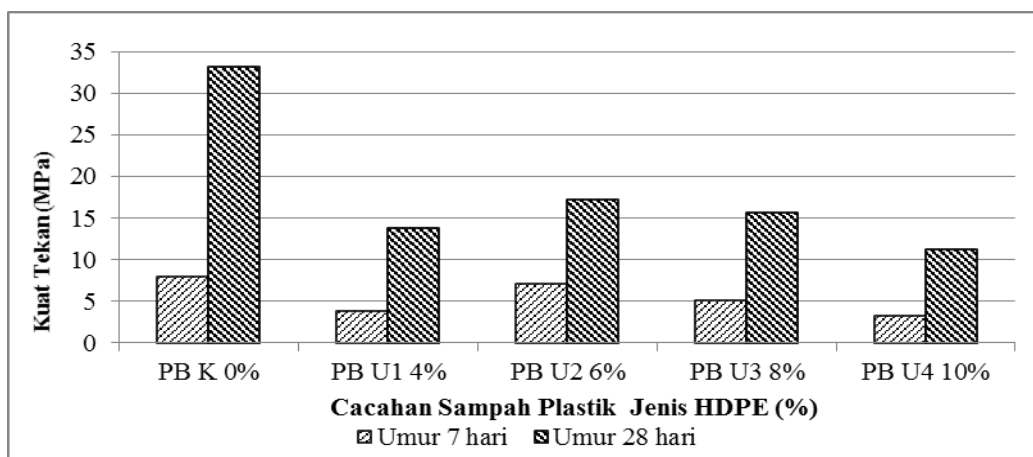
Nilai kuat tekan menunjukkan mutu dari suatu struktur, semakin tinggi nilai kuat tekannya semakin tinggi pula mutu yang didapatkan. Tabel 2 memperlihatkan nilai kuat tekan yang didapatkan pada umur *paving block* 7 dan 28 hari. Variasi penambahan cacahan sampah plastik jenis HDPE bekas kemasan limbah B3 mempengaruhi nilai kuat tekan *paving block*. Nilai kuat tekan *paving block* dengan varian penambahan cacahan sampah plastik yaitu PB. U1 4%, PB. U2 6%, PB. U3 8%, dan PB. U4 10% memiliki nilai yang lebih rendah bila dibandingkan dengan tanpa penambahan cacahan sampah plastik yaitu PB. K 0%. Gambar 1 menampilkan pengaruh cacahan sampah plastik jenis HDPE terhadap nilai kuat tekan. Penurunan kuat tekan terjadi pada penambahan sampah plastik sebanyak 8% dan 10%. Hal ini dikarenakan sampah plastik mulai mempengaruhi ikatan antara semen dan air karena jumlah semen dan air yang digunakan semakin berkurang oleh adanya penambahan sampah plastik sehingga volume pasta semen ikut berkurang dan berdampak terhadap banyaknya rongga atau celah kosong yang membuat struktur tatanan *paving block* tidak padat waktu diuji (Amran, 2015).

Umur *paving block* dapat mempengaruhi nilai kuat tekan *paving block*. Gambar 2 memperlihatkan pengaruh umur *paving block* terhadap nilai kuat tekan. Kuat tekan *paving block* mengalami peningkatan dari umur 7 hari ke umur 28 hari, yang berarti kuat tekan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur *paving block*. Kenaikan kuat tekan *paving block* setelah dicetak berlangsung lambat hingga umur *paving block* 14 hari. Namun dari umur 14 hari ke umur 28 hari nilai kuat tekan mengalami peningkatan yang cepat dan setelah umur 28 hari laju kenaikan itu akan semakin melambat. Nilai kuat tekan yang rendah pada umur *paving block* 7 hari dikarenakan terjadinya proses hidrasi semen yang lambat oleh C_3S . Proses hidrasi diartikan sebagai reaksi yang terjadi antara silikat dan aluminat pada semen dengan air menjadi media perekat yang memadat lalu membentuk massa yang keras. Kuat tekan *paving block* pada umur 7 hari belum dapat digunakan di lingkungan karena nilai yang didapatkan berada di bawah standar

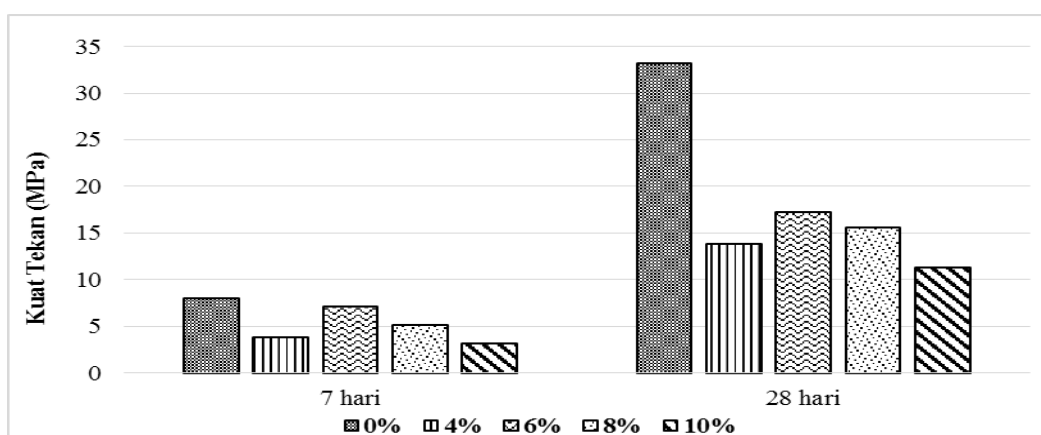
mutu SNI 03-0691-1996 tentang *paving block*. Namun *paving block* pada umur 28 hari, telah memenuhi standar, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi.

Tabel 2. Kuat Tekan *Paving Block* Umur 7 hari dan 28 hari

Kode Sampel	Plastik HDPE (%)	Kuat Tekan berdasarkan SNI 03-0691-1996 (MPa)	Kuat Tekan (7 hari)			Kuat Tekan (28 hari)		
			Kg/cm ²	MPa	Keterangan	Kg/cm ²	MPa	Keterangan
PB.K*	0%	Mutu A : Rata-rata 40 Min 35	79,53	7,95	Tidak Memenuhi	331,67	33,17	Memenuhi Mutu B
PB.U1	4%	Mutu B : Rata-rata 20 Min 17	37,73	3,77	Tidak Memenuhi	138,57	13,86	Memenuhi Mutu C
PB.U2	6%	Mutu C : Rata-rata 15 Min 12,5	71,64	7,16	Tidak Memenuhi	172,26	17,23	Memenuhi Mutu B
PB.U3	8%	Mutu D : Rata-rata 10 Min 8,5	51,51	5,15	Tidak Memenuhi	156,12	15,61	Memenuhi Mutu C
PB.U4	10%		32,05	3,20	Tidak Memenuhi	112,94	11,29	Memenuhi Mutu D



Gambar 1. Pengaruh Cacahan Sampah Plastik Jenis HDPE Bekas Kemasan Limbah B3 terhadap Nilai Kuat Tekan



Gambar 2. Pengaruh Umur *Paving Block* terhadap Nilai Kuat Tekan

3.2.2 Pengujian Penyerapan Air

Uji penyerapan air dilakukan saat umur *paving block* 28 hari, seperti terlihat pada Tabel 3. Nilai penyerapan air meningkat seiring meningkatnya konsentrasi cacahan sampah plastik yang digunakan. Besarnya nilai penyerapan air disebabkan oleh semakin banyaknya volume agregat yang digunakan sehingga akan semakin porous yaitu semakin mudah dan cepat untuk meloloskan dan/atau menyerap air (Prestika dkk, 2016). Besar atau kecil nilai daya serap air yang dihasilkan tergantung dari kepadatan dan jumlah rongga yang terdapat pada *paving block* (Larasati dkk, 2016). Hasil pengujian penyerapan air *paving block* umur 28 hari didapatkan penambahan cacahan sampah plastik jenis HDPE bekas kemasan limbah B3 yang memenuhi standar SNI 03-0691-1996 hanya untuk varian 0%, 4% dan 6%.

Tabel 3. Nilai Rata-Rata Hasil Penyerapan Air *Paving Block*

Kode Sampel	% HDPE	Rata-Rata Serapan (%)	Penyerapan Air Rata-Rata Maks (%) (SNI 03-0691-1996)	Keterangan
PB. K*	0%	2,48	Mutu A : 3 Mutu B : 6 Mutu C : 8 Mutu D : 10	Memenuhi Mutu B
PB. U1	4%	5,04		Memenuhi Mutu C
PB. U2	6%	5,96		Memenuhi Mutu B
PB. U3	8%	11,94		Tidak Memenuhi
PB. U4	10%	13,78		Tidak Memenuhi

3.2.3 Pengujian TCLP

Uji TCLP terhadap produk juga dapat digunakan untuk melihat seberapa besar penurunan persentase logam berat akibat proses S/S. Hasil pengujian TCLP untuk *paving block* umur 28 hari menunjukkan proses S/S sampah plastik jenis HDPE bekas kemasan limbah B3 menjadi *paving block* dapat menurunkan konsentrasi untuk semua parameter logam yang dianalisis. Tabel 4 memperlihatkan perbandingan uji TCLP parameter logam berat sebelum proses S/S dan sesudah proses S/S dengan baku mutu berdasarkan PP RI Nomor 101 Tahun 2014.

Tabel 4. Perbandingan Konsentrasi Logam Berat Sebelum dan Sesudah Proses S/S

Parameter Logam Berat	Sebelum S/S	Baku Mutu	Keterangan	Sesudah S/S				Baku Mutu	Keterangan
				4%	6%	8%	10%		
Timbal (Pb)	4,04	3	Tidak memenuhi	0,396	0,430	0,449	0,468	0,5	Memenuhi
Kadmium (Cd)	1,08	0,9	Tidak memenuhi	0,122	0,129	0,132	0,141	0,15	Memenuhi
Merkuri (Hg)	0,36	0,3	Tidak memenuhi	0,042	0,044	0,047	0,048	0,05	Memenuhi
Arsen (As)	0,99	3	Memenuhi	0,325	0,352	0,383	0,420	0,5	Memenuhi
Selenium (Se)	2,19	3	Memenuhi	0,417	0,426	0,449	0,485	0,5	Memenuhi
Tembaga (Cu)	4,79	60	Memenuhi	1,295	1,400	1,495	1,535	10	Memenuhi
Perak (Ag)	1,06	40	Memenuhi	0,735	0,810	0,835	0,850	5	Memenuhi
Barium (Ba)	0,41	210	Memenuhi	0,142	0,170	0,191	0,245	35	Memenuhi
Nikel (Ni)	22,85	21	Tidak memenuhi	3,220	3,245	3,250	3,330	3,5	Memenuhi
Seng (Zn)	0,85	300	Memenuhi	0,660	0,770	0,802	0,812	50	Memenuhi
Boron (B)	4,46	150	Memenuhi	0,815	0,975	1,845	2,005	25	Memenuhi

** PP RI No 101 tahun 2014 Lampiran IV Baku Mutu Karakteristik Beracun Melalui TCLP untuk Penetapan Standar Pengolahan Limbah B3 Sebelum Ditempatkan di Fasilitas Penimbunan Akhir

Konsentrasi Logam Pb, Cd, Hg dan Ni pada sampah plastik jenis HDPE bekas kemasan limbah B3 yang pada awalnya melebihi baku mutu mengalami penurunan setelah

dilakukannya proses S/S. Penurunan kandungan logam berat tersebut membuktikan bahwa proses S/S dengan penambahan semen mampu mengikat logam berat pada sampah plastik jenis HDPE bekas kemasan limbah B3 menjadi lebih stabil dan menjadikan mobilitas logam berat pada produk *paving block* menjadi sangat berkurang. Proses S/S pada prinsipnya adalah mengubah sifat fisika dan kimia limbah B3 dengan cara menambahkan bahan pengikat (semen) membentuk senyawa monolit dengan struktur yang kompak agar supaya pergerakan limbah B3 terhambat atau dibatasi, daya larut diperkecil sehingga daya racun limbah B3 tersebut berkurang sebelum limbah B3 tersebut ditimbun atau dimanfaatkan kembali.

3.2.4 Pemilihan Komposisi *Paving Block*

Dari hasil pengujian keberhasilan proses S/S cacahan sampah plastik HDPE bekas kemasan limbah B3 dalam pembuatan *paving block* dilakukan pemilihan varian komposisi *paving block* yang dapat digunakan. Dari pengujian kuat tekan didapatkan semua variasi penelitian memenuhi standar SNI 03-0691-1996 yaitu untuk mutu B, C dan D, sedangkan untuk pengujian penyerapan air, variasi *paving block* yang memenuhi standar mutu B dan C yaitu penambahan 0%, 4% dan 6% cacahan sampah plastik HDPE. Variasi *paving block* dengan penambahan cacahan sampah plastik konsentrasi 8% dan 10% tidak memenuhi standar karena nilai penyerapan air melebihi standar yang ditetapkan. Hasil pengujian TCLP menunjukkan semua varian *paving block* dalam penelitian ini, kandungan logam beratnya tidak melebihi standar baku mutu PP RI No 101 tahun 2014, sehingga aman digunakan untuk lingkungan.

Berdasarkan tiga parameter pengujian di atas, varian *paving block* dengan penambahan 6% sampah plastik jenis HDPE bekas kemasan limbah B3 terpilih menjadi variasi komposisi *paving block* terbaik. Hal ini dikarenakan varian ini memiliki nilai kuat tekan tertinggi yaitu 17.23 MPa dengan nilai penyerapan air 5,96% dan kandungan logam dalam *paving block* tidak melebihi standar yang ditetapkan, sehingga aman untuk digunakan. Menurut SNI 03-0691-1996, *Paving block* ini memenuhi standar mutu B sehingga dapat digunakan sebagai pelataran parkir. Dengan penambahan 6% cacahan sampah plastik bekas kemasan limbah B3, dari perhitungan didapatkan untuk membuat 1 m³ volume *paving block* dibutuhkan jumlah sampah plastik sebanyak 23,25 kg atau setara dengan 775 buah kemasan oli berat 30g. 1 m³ *paving block* ini dapat digunakan sebagai pelataran parkir seluas 16,68 m².

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan proses S/S terhadap cacahan sampah plastik HDPE bekas kemasan limbah B3 dengan pembuatan *paving block* didapatkan nilai kuat tekan *paving block* memenuhi standar mutu B, C, dan D. Nilai kuat tekan ini dipengaruhi konsentrasi penambahan cacahan sampah plastik dan umur *paving block*. Penambahan konsentrasi cacahan sampah plastik lebih besar dari 6% akan menurunkan nilai kuat tekan dan meningkatkan nilai penyerapan air. Pengujian TCLP terhadap cacahan sampah plastik HDPE bekas kemasan limbah B3 sebelum dilakukan proses S/S memiliki kandungan logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan nikel (Ni) yang melebihi nilai baku mutu PP RI No 101 tahun 2014. Namun setelah dilakukan proses S/S, kandungan logam berat semua variasi *paving block* (setelah proses S/S) telah berada di

bawah baku mutu yang ditetapkan. Variasi komposisi *paving block* terbaik adalah dengan penambahan 6% cacahan sampah plastik HDPE yang membutuhkan 23,25 kg sampah plastik atau setara dengan 775 buah kemasan oli berat 30g untuk membuat 1 m³ *paving block* yang dapat digunakan sebagai pelataran parkir seluas 16,68 m².

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adibroto, F. 2014. Pengaruh Penambahan Berbagai Jenis Serat Pada Kuat Tekan *Paving Block*. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 10 (01), 1-11.
- Amran, Y. 2015. Pemanfaatan Limbah Plastik untuk Bahan Tambahan Pembuatan *Paving Block* Sebagai Alternatif Perkerasan pada Lahan Parkir di Universitas Muhammadiyah Metro. *Jurnal TAPAK*, 04 (02), 125-129.
- Badan Standar Nasional. 1996. *SNI-03-0691-1996 tentang Bata Beton (Paving Block)*.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. 1971. *Peraturan Beton Indonesia tentang Persyaratan Kadar Lumpur Agregat Halus dan Kasar Lolos Saringan No. 200*
- Kementrian Kesehatan Republik Indonesia 2012. *Penyakit Akibat Kerja karena Paparan Logam Berat*. Jakarta: Kementrian Kesehatan Republik Indonesia.
- Gailius, A, Vacenovska, B, dan Drochytka, R. 2010. Pengaruh Komposisi Kimia Bahan Penyusun *Paving Block* Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Airnya. *Jurnal Teknik Kimia*, 04 (19), 14-21.
- Larasati, D, Iswan, dan Setyanto. 2016. Uji Kuat Tekan *Paving Block* Menggunakan Campuran Tanah dan Kapur dengan Alat Pemadat Modifikasi. *Jurnal JRSDD*, 04 (01), 11-22, ISSN:2303-0011.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2014. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun*.
- Prestika, M, Adha, I dan Setyanto. 2016. Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Uji Kuat Tekan *Paving Block* Menggunakan Campuran Tanah dan Semen dengan Alat Pemadat Modifikasi. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 4(02), 175-184.
- Ruslinda Y., Raharjo, S., Dewilda, Y., Aziz, R. and Nabila, A. 2018. Investigation of Household Hazardous Waste (HHW) Generation and Composition in Padang City, Indonesia. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* 13 (10), 8079-8087.
- Syarif, A, Setyawan, C, dan Farida, I. 2016. Analisa Uji Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambahan Batu Bata Merah. *Jurnal Konstruksi*, ISSN:2302-7312, 14 (01), 46-56.
- The Dow Chemical Company. 2014. *Product Safety Assessment High Density Polyethylene (HDPE) Resins*. Diakses pada 6 April 2018 dari http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_091f/0901b8038091f9d5.pdf.

Utomo, M.P dan Laksono, E.W. 2007. Kajian Tentang Proses Solidifikasi/Stabilisasi Logam Berat dalam Limbah dengan Semen Portland. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. 103-109.

KAJIAN AWAL PENGOLAHAN SAMPAH KAWASAN WISATA MINANG FANTASI WATERPARK (MIFAN) DAN WISATA PUSAT DOKUMENTASI INFORMASI KEBUDAYAAN MINANGKABAU (PDIKM) KOTA PADANG PANJANG

Rizki Aziz¹, Yommi Dewilda², Muhammad Rizqa Putra³

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: rizkaziz@eng.unand.ac.id

²Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: yommidewilda@eng.unand.ac.id

³Mahasiswa Program Sarjana Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas
Andalas, Padang. Email: m.rizqa.putra@gmail.com

ABSTRACT

Preliminary studies on waste management have been carried out in the Fantasy Minang tourist area (MIFAN) and the Minangkabau Cultural Information Documentation Center (PDIKM) which aims to determine the generation of waste, the composition and potential of waste recycling, so that recommendations for appropriate waste management can be given for tourism waste management in MIFAN and PDIKM Regions. Waste generation and composition are carried out with reference to SNI 19-3694-1994. From the measurements made, it is found that the generation of waste from MIFAN Tourism Area is 1,023.608 liters / day and PDIKM is 136.801 liters / day. The composition of waste in the MIFAN tourism area is dominated by food waste 46.40% and plastic 37.28%. Waste that has the potential to be recycled is yard, metal, and glass waste, 100% respectively, and food and plastic waste 93.97% and 79.41%, respectively. While in the PDIKM tourist area, the composition of waste is dominated by plastic and food waste as 44.52% and 20.49%, respectively. Waste that has the potential to be recycled is yard waste, and metal is 100%, recommended waste processing in the form of composting for food waste and yard waste, enumeration of plastic waste, and processing waste that has a sale value before being sold to the waste recycler. Waste processing can be done at recycling center which located in the tourist area

Keywords: solid waste, generation, composition, potential for recycling, tourist area

ABSTRAK

Kajian awal pengolahan sampah telah dilakukan pada kawasan wisata Minang Fantasi (MIFAN) dan Pusat Dokumentasi Informasi Kebudayaan Minangkabau (PDIKM) yang bertujuan untuk mengetahui timbulan sampah, komposisi dan potensi daur ulang sampah, sehingga dapat diberikan rekomendasi pengolahan sampah yang tepat bagi pengelolaan sampah wisata di Kawasan MIFAN dan PDIKM. Timbulan dan komposisi sampah dilakukan dengan mengacu SNI 19-3694-1994. Dari pengukuran yang dilakukan didapatkan bahwa timbulan sampah Kawasan Wisata MIFAN sebesar 1.023,608 liter/hari dan PDIKM sebesar 136,801 liter/hari. Komposisi sampah di kawasan wisata MIFAN didominasi oleh sampah makanan 46,10% dan plastik 37,28%. Sampah yang berpotensi untuk didaur ulang adalah sampah halaman, logam, dan kaca masing-masing 100%, dan sampah makanan dan plastik secara berurutan sebesar 93,97% dan 79,41%. Sedangkan di

daerah kawasan wisata PDIKM komposisi sampah didominasi oleh sampah plastik dan makanan secara berurutan sebesar 44,52% dan 20,49%. Sampah yang berpotensi untuk didaur ulang adalah sampah halaman, dan logam masing-masing 100%, Pengolahan sampah yang direkomendasikan berupa pengomposan untuk sampah makanan dan sampah halaman, pencacahan sampah plastik, dan pemrosesan sampah yang memiliki nilai jual sebelum dijual ke pihak pendaur ulang sampah. Pengolahan sampah dapat dilakukan di TPS3R yang dibangun di kawasan wisata tersebut.

Kata Kunci: Timbulan, komposisi, potensi daur ulang, sampah kawasan wisata, Kota Padang Panjang

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan Undang-Undang No. 10 Tahun 2009 tentang Kepariwisata, pariwisata adalah berbagai macam kegiatan wisata yang didukung dengan berbagai fasilitas serta layanan yang disediakan oleh masyarakat, pengusaha, pemerintah dan pemerintah daerah. Pembangunan kepariwisataan diperlukan untuk mendorong pemerataan kesempatan berusaha dan memperoleh manfaat serta mampu menghadapi tantangan perubahan kehidupan lokal, nasional, dan global. Pariwisata yang terus berkembang memberikan potensi untuk menjadi hal yang penting bagi perekonomian daerah karena berkembangnya sektor pariwisata dapat menyerap tenaga kerja serta mampu membuka lapangan pekerjaan yang baru.

Padang Panjang merupakan salah satu Kota di Provinsi Sumatera Barat yang sekarang ini mendapat perhatian terhadap pariwisatanya. Salah satu potensi wisata yang memiliki potensi besar dimiliki di Kota Padang Panjang adalah Minang Fantasi *Waterpark* (MIFAN) dan Pusat Dokumentasi dan Informasi Kebudayaan Minangkabau (PDIKM) yang berada di Kota Padang Panjang. Jumlah wisatawan yang berkunjung ke MIFAN dan PDIKM berdasarkan data dari Dinas Pariwisata Kota Padang Panjang tahun 2017 merupakan paling besar yang ada di Kota Padang Panjang, jumlah wisatawan yang berkunjung ke Kawasan Wisata MIFAN dan PDIKM tahun 2016 adalah 332.490 orang, tahun 2017 meningkat menjadi 357.406 orang, dengan peningkatan kunjungan wisatawan sebesar 7,49% (Dinas Pariwisata Kota Padang Panjang, 2018). Kenaikan wisatawan yang semakin banyak akan memengaruhi timbulan sampah yang dihasilkan di Kawasan Wisata. Sampah yang tidak dikelola dengan baik akan menambah kerusakan terhadap Kawasan Wisata tersebut

Masalah sampah adalah salah satu dampak negatif dari perkembangan pariwisata yang mampu merusak sumber daya alam dan budaya apabila tidak ditangani secara serius. Peningkatan angka kunjungan wisata ke Kota Padang Panjang juga menyebabkan tingginya permasalahan terhadap sampah. Sampah-sampah yang tidak dikelola akan menimbulkan dampak pencemaran lingkungan dan mempengaruhi kebersihan dan kenyamanan daerah wisata (Putra, 2015). Menurut Peraturan Menteri Pariwisata no 14 tahun 2016 tentang pedoman destinasi pariwisata berkelanjutan, dijelaskan bahwa destinasi wisata yang dikelola harus mempunyai inisiatif untuk pengelolaan sampah yang berada di destinasi tersebut dan mendorong para pengusaha untuk dapat mengurangi, menggunakan kembali sampah dan meminimalisir residu sampah.

Kawasan Wisata MIFAN merupakan kawasan wisata alam yang dikelola oleh pemilik wisata (swasta), yang dalam pengelolaan persampahannya mendapat bantuan dan pengawasan dari pemerintah dalam pengelolaannya dan peraturan yang harus dijalankan. Pengelola wisata menyediakan sarana dari aspek teknis maupun dari non teknis. Sedangkan Kawasan Wisata PDIKM merupakan Kawasan Wisata Budaya dan Sejarah yang dikelola oleh pemerintah yang tepat bersebelahan dengan Kawasan Wisata MIFAN. Dinas Pariwisata Kota Padang Panjang sebagai pengelola wisata PDIKM dibantu dengan Dinas Perumahan, Kawasan Pemukiman dan Lingkungan Hidup (PerkimLH) mengelola sarana dan prasarana dari aspek teknis maupun non teknis yang dibutuhkan oleh Kawasan Wisata PDIKM.

Kajian pengelolaan sampah kawasan wisata di Indonesia sudah banyak dilakukan dalam lima tahun terakhir, yang meliputi propinsi Kalimantan Barat (Naltaru dkk, 2014), Bali (Wijaya dan Trihadiningrum, 2014), DI Yogyakarta (Akbari, 2018), Jawa Tengah (Oktiasari, 2018), dan Sumatera Barat (Aziz dan Mira, 2018; Jefri dan Aziz, 2018; dan Aziz dan Jefri, 2019). Kajian ini menganalisis timbulan sampah, komposisinya dan juga potensi daur ulang komponen sampahnya. Kajian ini sangat menarik untuk dikembangkan mengingat adanya potensi Kawasan Wisata untuk terus dikunjungi oleh wisatawan sehingga diperlukan arahan dalam pengolahan sampah sebagai bagian dari pengelolaan sampah yang melalui Undang-Undang No. 18 tahun 2008 menjadi bagian dari upaya mereduksi sampah yang diangkut ke Tempat Pemrosesan Akhir Sampah sehingga dapat menghindari masalah lebih lanjut persampahan. Perbedaan pengelolaan persampahan kedua Kawasan Wisata yang bersebelahan menjadi perbandingan dalam kajian yang dilakukan.

2. METODOLOGI

Kajian ini terbagi atas tahapan studi literatur, analisis timbulan sampah, komposisi, dan potensi daur ulang, dan rekomendasi pengolahan sampah kawasan wisata. Studi literatur bertujuan untuk mengumpulkan dan mempelajari teori yang mendukung dalam kajian timbulan, komposisi, dan potensi daur ulang sampah dari kawasan wisata. Studi literatur dapat bersumber dari buku teks, jurnal dan penelitian sebelumnya serta peraturan-peraturan yang berlaku dan terkait dengan ketentuan umum dan teknis rancangan pengembangan sistem pengelolaan sampah.

Pengukuran timbulan berdasarkan SNI 19-3964-1994 meliputi pengukuran timbulan berat dan volume sampah dari masing-masing sampel menurut sumber. Satuan besaran timbulan dinyatakan dalam satuan volume yaitu L/orang/hari dan L/m²/hari, sedangkan berdasarkan berat yaitu kg/orang/hari dan kg/m²/hari. Pengukuran komposisi sampah dilakukan dengan memilah komponen sampah berdasarkan sampah basah (sampah makanan, sampah halaman, kayu) dan sampah kering (kertas, plastik, karet, kaca, logam *ferrous*, logam *non ferrous*, dan lain lain) dari masing-masing sampel. Penentuan berat sampah masing-masing komponen dengan cara komponen yang telah dipilah ditimbang beratnya. Sehingga persen komposisi didapat dari persen berat masing masing komponen dibagi dengan berat total sampah keseluruhan.

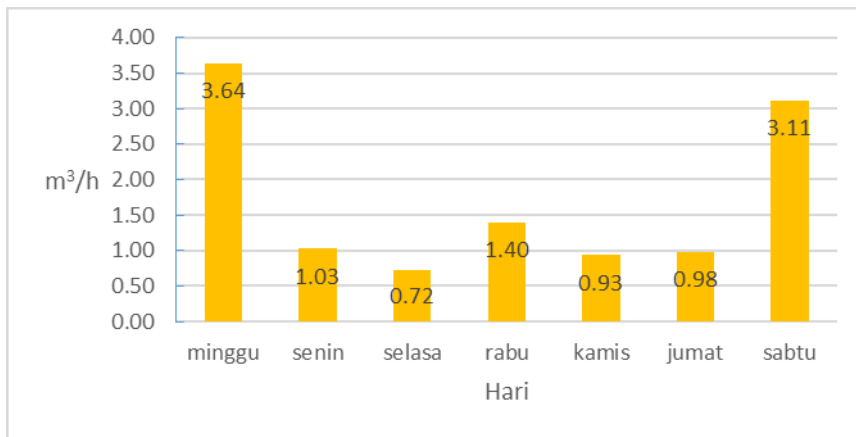
Penentuan potensi daur ulang sampah dilakukan dengan pemilahan sampah-sampah yang dapat didaur ulang dari sampah yang telah dipisahkan menurut komposisinya dan ditimbang beratnya. Perbandingan berat sampah yang dapat didaur ulang dengan berat total komponen sampah yang ditimbang menghasilkan potensi daur ulang komponen sampah terkait.

Kajian diakhiri dengan rekomendasi pengolahan sampah yang dapat dilakukan pada Kawasan Wisata dengan memperhatikan timbulan, komposisi, dan potensi daur ulang masing-masing komponen sampah.

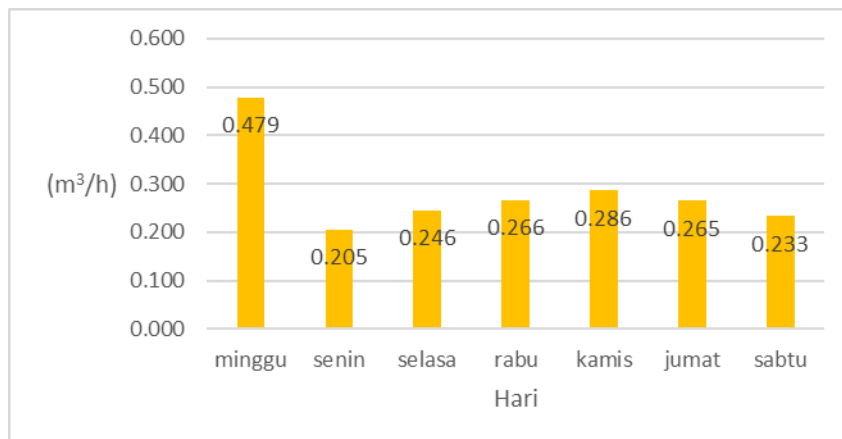
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Timbulan Sampah

Pengukuran dilakukan untuk mengetahui berapa sampah yang dihasilkan selama 7 (tujuh) hari, penentuan jumlah timbulan dan komposisi sampah mengacu kepada SNI 19-3962-1994. Hasil timbulan delapan hari dapat dilihat pada **Gambar 1.** dan **Gambar 2.**



Gambar 1. Timbulan sampah per hari Kawasan MIFAN



Gambar 2. Timbulan sampah per hari Kawasan PDIKM

Berdasarkan **Gambar 1.** dan **Gambar 2.** terlihat bahwa sampah paling banyak dihasilkan di hari Minggu atau hari libur. Hal ini disebabkan karena pengunjung yang berkunjung ke Kawasan Wisata lebih banyak saat hari libur. Sedangkan sampah dihasilkan paling sedikit di hari Selasa untuk Kawasan Wisata MIFAN dan Senin untuk Kawasan Wisata PDIKM. Hal ini bisa disebabkan karena pengunjung sudah bekerja atau tidak dalam suasana liburan

Apabila dianalisis berdasarkan sumber timbulan sampah total perharinya per kawasan wisata, maka timbulan sampah Kawasan Wisata MIFAN dapat dilihat pada **Tabel 1.** dengan rata-rata total timbulan sampah adalah 1.023,608 L/hari atau 54,204 kg/hari.

Tabel 1. Timbulan Sampah Kawasan MIFAN

Fasilitas	Pengunjung (orang)	Luas (m ²)	Timbulan	
			Kg/hari	Liter/ hari
Penginapan Cottage	78	360	3,544	62,938
Penginapan Rumah Gadang	88	192	3,012	59,664
Restoran	169	100	10,819	105,118
Toko	99	70	6,475	96,222
Kolam Renang	285	210	6,555	122,550
Mushalla	179	135	0,932	88,963
Wahana (dry park)	57	80	1,772	32,790
Auditorium	98	150	2,307	53,365
Toilet	59	60	0,767	5,434
Loket	253	60	8,602	112,585
Parkir	312	108	5,928	121,368
Fasilitas Mifan (Loker, Kamar mandi)	201	50	1,407	58,089
Taman	84	120	0,961	33,096
Gazebo	135	60	0,780	52,515
Kantor	34	36	0,342	18,911
Total	2131	1791	54,204	1.023,608

Adapun timbulan sampah total rata-rata Kawasan Wisata PDIKM dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut, dimana dalam satuan volume adalah sebesar 136,801 L/hari dan dalam berat adalah 3,710 kg/hari.

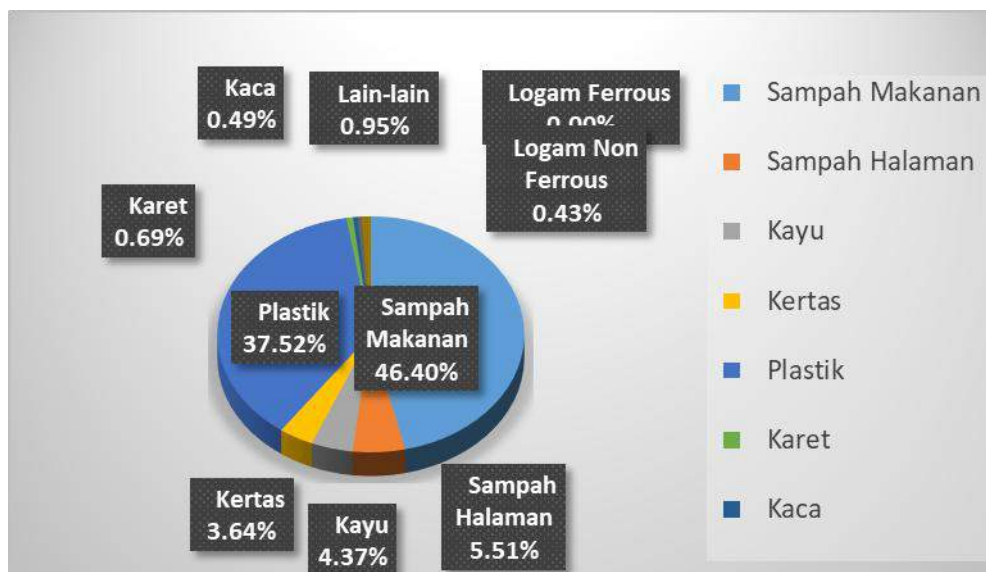
Tabel 2. Timbulan Sampah Kawasan Wisata PDIKM Berdasarkan Pengunjung

Fasilitas	Pengunjung (orang)	Luas (m ²)	Timbulan sampah	
			(Kg/hari)	(Liter/hari)
Gedung PDIKM	65	150	0,644	18,642

Kedai	44	60	1,374	28,515
Pos Sekuriti	74	110	0,598	31,720
Mushalla dan Toilet Umum	34	225	0,421	21,950
Taman	64	80	0,470	25,187
Kantor Dinas	23	80	0,203	10,787
Total	304	705	3,710	136,801

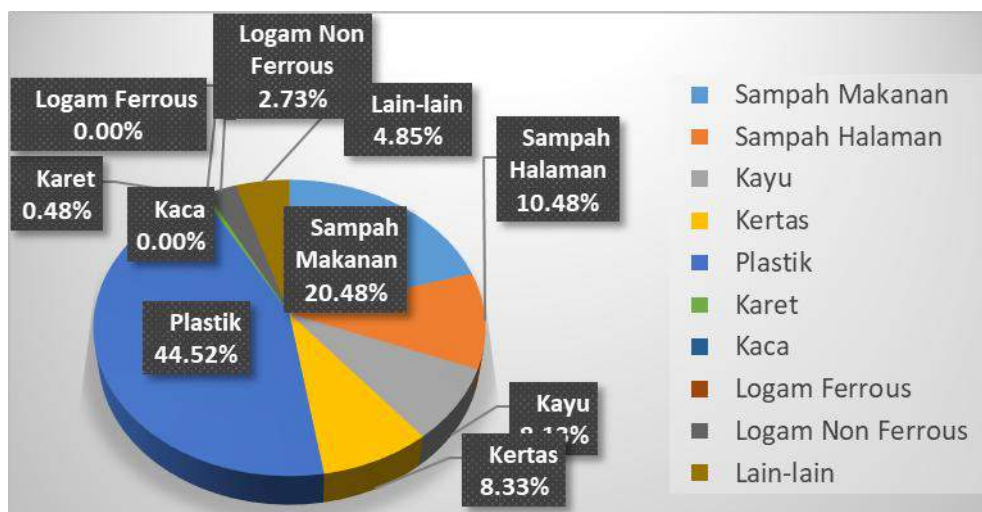
3.2 Komposisi Sampah

Komposisi sampah yang terdapat di Kawasan Wisata MIFAN berbeda-beda yang terdiri dari sampah basah, sampah kering dan lain-lain. Komposisi sampah terbesar yang dihasilkan dari Kawasan Wisata MIFAN yaitu sampah makanan dengan persentase 46,1%. Hal ini karena dilihat dari pengamatan yang dilakukan sebagian besar pengunjung yang bermain akan berhenti dan bersantap setelah lelah bermain di Kawasan Wisata MIFAN dan bermain kembali setelah mereka selesai. Persentasi komposisi terendah adalah sampah logam *ferrous* yaitu tidak ada. Komposisi sampah Kawasan Wisata MIFAN dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Komposisi Sampah di Kawasan Wisata MIFAN

Sedangkan komposisi sampah Kawasan Wisata PDIKM dapat dilihat pada **Gambar 4**, dimana komposisi sampah berbeda-beda yang terdiri dari sampah basah, sampah kering, dan lain-lain. Komposisi sampah terbesar yang dihasilkan dari Kawasan Wisata PDIKM yaitu sampah plastik dengan persentase 44,52% dan terendah adalah sampah logam *ferrous* sedangkan kaca tidak ada.



Gambar 4. Komposisi Sampah di Kawasan Wisata PDIKM

3.3 Potensi Daur Ulang Sampah

Potensi daur ulang sampah Kawasan Wisata MIFAN dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Potensi Daur Ulang Sampah Kawasan Wisata MIFAN

Komposisi	Berdasarkan Berat	
	% Daur Ulang	% Residu
Sampah Basah		
Makanan	93,96	6,04
Halaman	100,00	0,00
Kayu	0,00	100,00
Sampah Kering		
Kertas	22,18	77,82
Plastik	79,41	20,59
Logam	100,00	0,00
Kaca	100,00	0,00
Karet	0,00	100,00
Lain-lain	0,00	100,00

Sampah yang dihasilkan dari Kawasan Wisata MIFAN memiliki potensi daur ulang yang cukup bagus, hal ini dilihat dari jumlah sampah basah dan kering yang dihasilkan oleh kawasan ini. Sampah basah dari kawasan ini memiliki potensi daur ulang yang sangat besar, sampah halaman memiliki potensi daur ulang 100%, begitu juga dengan sampah plastik yang memiliki potensi daur ulang sebesar 79,41 % dari total sampah plastik yang dihasilkan.

Sedangkan potensi daur ulang sampah Kawasan Wisata PDIKM dapat dilihat pada **Tabel 4**. Sampah yang dihasilkan dari Kawasan Wisata PDIKM memiliki potensi daur ulang yang cukup bagus, hal ini dilihat dari jumlah potensi sampah basah dan kering

yang dihasilkan oleh kawasan ini. Sampah basah dari kawasan ini memiliki potensi daur ulang yang sangat besar, sampah halaman memiliki potensi daur ulang 100%. Petugas dari PDIKM sendiri juga sudah melakukan pengomposan untuk sampah halaman dari taman dan pemanfaatan kompos dari kompos ini juga digunakan untuk Kawasan Wisata PDIKM ini sendiri.

Tabel 4. Potensi Daur Ulang Sampah Kawasan Wisata PDIKM

Komposisi	Berdasarkan Berat	
	% Daur Ulang	% Residu
Sampah Basah		
Makanan	91,46	8,54
Halaman	100,00	0,00
Kayu	89,52	10,48
Sampah Kering		
Kertas	37,27	62,73
Plastik	85,73	14,27
Logam	100,00	0,00
Karet	0,00	100,00
Lain-lain	0,00	100,00

3.4 Rekomendasi Pengolahan Sampah Kawasan Wisata

Dengan memperhatikan timbulan, komposisi dan potensi daur ulang sampah kawasan wisata MIFAN dan kawasan Wisata PDIKM kota Padang Panjang maka dengan upaya pengelolaan sampah dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu dengan melakukan pengomposan sampah untuk sampah makanan dan dedaunan, pencacahan sampah plastik, pendaurulangan sampah kertas, kayu, plastik, dan logam. Sampah lainnya yang tidak dapat diproses dibawa ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sungai Andok di kota Padang Panjang. Serta menyediakan wadah tempat sampah yang sudah dipisah jenis sampah-sampahnya. Disediakan juga Tempat Pengolahan Sampah berbasis reuse-reduce-recycle (TPS3R) yang berada pada kawasan wisata untuk memudahkan proses pengolahan sampah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan kajian yang dilakukan didapatkan bahwa timbulan sampah Kawasan Wisata MIFAN sebesar 1.023,608 liter/hari dan PDIKM sebesar 136,801 liter/hari. Komposisi sampah di kawasan wisata MIFAN didominasi oleh sampah makanan 46,10% dan plastik 37,28%. Sampah yang berpotensi untuk didaur ulang adalah sampah halaman, logam, dan kaca masing-masing 100%, dan sampah makanan dan plastik secara berurutan sebesar 93,97% dan 79,41%. Sedangkan di daerah kawasan wisata PDIKM komposisi sampah didominasi oleh sampah plastik dan makanan secara berurutan sebesar 44,52% dan 20,49%. Sampah yang berpotensi untuk didaur ulang adalah sampah halaman, dan logam masing-masing 100%, Pengolahan sampah yang direkomendasikan berupa pengomposan untuk sampah makanan dan sampah halaman,

pencacahan sampah plastik, dan pemrosesan sampah yang memiliki nilai jual sebelum dijual ke pihak pendaur ulang sampah. Pengolahan sampah dapat dilakukan di TPS3R yang dibangun di kawasan wisata tersebut.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Akbari R, Analisis Timbulan dan Komposisi Sampah di Kawasan Bhumi Merapi dan Stonehenge Kaliurang, Sleman, D.I. Yogyakarta. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia. 2018
- Aziz, R and Mira 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 602 012059
- Aziz and Jefri, 2019, Improvement of Solid Waste Management System of Tourism Area in Bukittinggi City in Supporting The Implementation of Sustainable Tourism. Proceeding of Tourism Development Center International Conference, October 2019, Bukittinggi
- Badan Standardisasi Nasional. 1994. *Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan*, Indonesia. Nomor Publikasi: SNI-19-3964-1994
- Damanhuri, E. dan Padmi, T. 2016. *Pengelolaan Sampah Terpadu*. Bandung: Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung (ITB)
- Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Kota Padang Panjang. (2018). Daftar Jumlah Kunjungan Ke Objek Wisata Kota Padang Panjang Tahun 2012-2017. Kota Padang Panjang
- Jefri dan Aziz. 2018. Studi Potensi Daur Ulang Sampah Kawasan Wisata Taman Marga Satwa dan Budaya Kinantan (TMSBK) dan Kawasan Wisata Taman Panorama dan Lobang Jepang (TPLJ) di Kota Bukittinggi. 5th ACE Conference. Padang
- Naltaru M, Purmaini R, dan Irsan R 2014 Perencanaan Sistem Pengelolaan Sampah di Kawasan Wisata Bukit Kelam Kabupaten Sintang. Undergraduate Thesis. Universitas Tanjungpura: Pontianak
- Oktiasari R, Evaluasi Pengelolaan Sampah Wisata Gunungpring Kecamatan Muntilan Kabupaten Magelang Jawa Tengah Dengan Metode Zero Waste Index . Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia. 2018
- Peraturan Menteri Pariwisata Nomor 14 Tahun 2016 tentang Pedoman Destinasi Pariwisata Berkelanjutan
- Putra, Fajar Ali Eka. 2015. Analisis Dampak Pariwisata Terhadap Timbulan Sampah Di Pulau Tidung. Tugas Akhir. Universitas Pendidikan Indonesia
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 2009 tentang Kepariwisataaan
- Wijaya IW, dan Trihadiningrum Y 2014 Strategi Penanganan Sampah di Objek Wisata Eks Pelabuhan Buleleng, Bali. Undergraduate Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya

PEMBUATAN CMC (CARBOXY METHYL CELLULOSE) DARI LIMBAH AMPAS TEBU MENGGUNAKAN REAKTOR SEMI CONTINUE

Renny Futeri¹, Selfa Dewati Samah², Randi Permana Putra³

¹Analisis Kimia Politeknik ATI Padang.Email : rennyfuteri@yahoo.com

²Analisis Kimia Politeknik ATI Padang.Email : cl_che@yahoo.com

³Analisis Kimia Politeknik ATI Padang.Email : randi.ac43@gmail.com

ABSTRACT

Sugarcane bagasse is one of the sugar factory solid waste. Sugarcane bagasse is a solid waste from the processing of the cane sugar industry whose volume reaches 30-40% of ground sugar cane. Sugarcane bagasse has a cellulose content of 52.7%, hemicellulose 20.0%, and lignin 24.2%. The purpose of this study is to design a chancellor for the manufacture of CMC (Carboxy Methyl Cellulose) so that it can be used for Small Business Communities (UKM) and Industrial scale. and to make CMC from sugarcane bagasse with alkalization reagents and carboxymethylation reagents, characterization was then examined including DS, pH, viscosity, water content, NaCl content, purity, yield and structure determination with FTIR. Bagasse obtained from sugar cane sellers around Padang City. Then carried out the process of alkalization and carboxymethylation, neutralization and drying process, Degree of Substitution (DS), Measurement of pH 1% CMC solution, Measurement of Viscosity of 2% CMC solution, NaCl levels, CMC purity, CMC purification, and Measurement with FTIR. Based on the results of the study, obtained yields of bagasse CMC that is 21% and CMC characteristics are: degree of substitution 0.9, solution pH 1% 7, viscosity 1.58 cP, moisture content 3.28%, NaCl content 1.5%, purity 98.9%, and Efficiency 83.15% reactor and functional group similarity with CMC from Wako Pure Chemical Industries, Ltd. Based on the CMC laboratory analysis of sugarcane bagasse included in the first grade and second grade according to SNI 06-3736-1995.

Keywords : waste, bagasse, CMC, carboxymethylation, reactor

ABSTRAK

Ampas tebu merupakan salah satu limbah padat pabrik gula. Ampas tebu merupakan limbah padat dari pengolahan industri gula tebu yang volumenya mencapai 30-40% dari tebu giling. Ampas tebu memiliki kandungan selulosa 52,7%, hemiselulosa 20,0%, dan lignin 24,2%.. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang rektor untuk pembuatan CMC (Carboxy Methyl Cellulose) sehingga bisa dipakai untuk Usaha Kecil Masyarakat (UKM) dan skala Industri. serta untuk membuat CMC dari ampas tebu dengan reagen alkalisasi dan reagen karboksimetilasi selanjutnya diperiksa karakterisasi meliputi : DS, pH, viskositas, kadar air, kadar NaCl, kemurnian, rendemen dan penentuan struktur dengan FTIR. Llimbah Ampas tebu yang diperoleh dari penjual air tebu di sekitar Kota Padang. Kemudian dilakukan proses alkalisasi dan karboksimetilasi, Proses netralisasi dan pengeringan, Derajat Substitusi (DS), Pengukuran pH larutan CMC 1 %, Pengukuran Viskositas larutan CMC 2 %, kadar NaCl, Kemurnian CMC, Rendemen dan Pengukuran dengan FTIR. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan rendemen dari CMC ampas tebu yakni 21 % dan karakteristik CMC yaitu : derajat substitusi 0.9, pH larutan 1 % 7,

viskositas 1.58 cP, kadar air 3,28 %, kadar NaCl 1.5 %, kemurnian 98.9 %, dan Efisiensi Reaktor 83.15 % dan kemiripan gugus fungsi dengan CMC dari Wako Pure Chemical Industries, Ltd. Berdasarkan hasil analisa laboratorium CMC dari ampas tebu termasuk dalam *grade* pertama dan *grade* kedua menurut SNI 06-3736-1995.

Kata Kunci : limbah, ampas tebu, CMC, karboksimetilasi, reaktor

1. PENDAHULUAN

Reaktor kimia adalah suatu bejana tempat berlangsungnya reaksi kimia. Rancangan dari reaktor ini tergantung dari banyak variable yang dipelajari dan perancangan suatu reaktor kimia harus mengutamakan efisiensi kinerja reaktor sehingga didapatkan hasil produk dibandingkan masukan (input) yang besar dengan biaya yang minimum, baik itu biaya modal maupun operasi. Reaktor yang dipakai dalam penelitian ini reaktor alir tangki berpengaduk. Reaktor alir tangki berpengaduk, satu atau lebih reaktan masuk ke dalam suatu bejana berpengaduk dan bersamaan dengan itu sejumlah yang sama (produk) dikeluarkan dari reaktor. Pengaduk dirancang sehingga campuran teraduk dengan sempurna dan diharapkan reaksi berlangsung secara optimal. Waktu tinggal dapat diketahui dengan membagi volume reaktor dengan kecepatan volumetrik cairan yang masuk reaktor. Dengan perhitungan kinetika kimia, konversi suatu reaktor dapat diketahui (Sunaryo, 2014).

State of the art atau kebaruan penelitian adalah belum ada penelitian yang membuat reaktor untuk pembuatan CMC (Carboxy Methyl Cellulose) sehingga dalam penelitian kami membuat reaktor CMC (Carboxy Methyl Cellulose) yang bisa digunakan untuk Usaha Kecil Menengah (UKM) maupun skala industri. Pada penelitian kami membuat reaktor untuk memudahkan dalam pembuatan carboxy methyl selulosa (CMC) sehingga lebih mengutamakan efisiensi kinerja dan penghematan waktu dalam proses pembuatan carboxy methyl selulosa (CMC). Reaktor yang dipakai dalam penelitian pembuatan carboxy methyl selulosa (CMC) adalah reaktor alir tangki berpengaduk. Reaktor alir tangki berpengaduk karena reaktor ini reaktan masuk ke dalam suatu bejana berpengaduk dan bersamaan dengan itu sejumlah yang sama (produk) dikeluarkan dari reaktor (Salman Yasir Fakhry Putra dkk, 2016). Carboxy methyl selulosa (CMC) Salah satu zat aditif yang lazim digunakan dalam beberapa bidang industri adalah karboksimetil selulosa, yang juga dikenal sebagai CMC (*Carboxy Methyl Cellulose*). Karboksimetil selulosa atau Carboxymethyl Cellulose (CMC) banyak digunakan pada berbagai industri seperti : detergen, cat, keramik, tekstil, kertas dan makanan. *Carboxy Methyl Cellulose* atau Karboksimetil selulosa merupakan zat aditif yang biasa ditambahkan pada bahan pangan sebagai pengental atau penstabil emulsi yang berupa eter polimer selulosa linear dan senyawa anion, yang bersifat biodegradable, tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun, butiran atau bubuk yang larut dalam air namun tidak larut dalam larutan organik, memiliki rentang pH sebesar 6.5 sampai 8.0, stabil pada rentang pH 2–10, bereaksi dengan garam logam berat membentuk film yang tidak larut dalam air, transparan, serta tidak bereaksi dengan senyawa organik. Fungsi CMC disini adalah sebagai pengental, penstabil emulsi atau suspensi dan bahan pengikat (Rosnah Mat Som et al, 2004).

Selulosa umumnya diubah menjadi turunan berguna dengan esterifikasi. Di antaranya, karboksimetil selulosa (CMC) adalah turunan larut dalam air yang paling penting, dengan banyak aplikasi dalam makanan, kosmetik, industri farmasi dan deterjen, dll selulosa yang dimodifikasi adalah linier, rantai panjang, larut dalam air, anionik, pra-dimodifikasi polisakarida. CMC yang murni secara umum merupakan serbuk yang bersifat higroskopis, berwarna putih sedikit kekuningan, tidak berbau, dan tidak berasa (Mario et al., 2005). Berdasarkan *Foodchem International Cooperation* harga *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC) tahun 2014 relatif mahal yaitu \$2000 USD dengan *Shipping* dari China ke Indonesia menjadi \$2180,36 USD (Zhai, 2014). Kebutuhan CMC di Indonesia sementara hanya dipenuhi oleh 2 pabrik dengan kapasitas 6.000 ton per tahun dan 500 ton per tahun (BPS, 2003). Dari data ekspor impor yang disediakan oleh BPS, Indonesia masih mengimpor lebih banyak CMC daripada mengekspor CMC.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan penelitian Karboksimetil selulosa atau Carboxymethyl Cellulose (CMC) ini antara lain adalah Pembuatan CMC (Carboxy Methyl Cellulose) Dari ampas tebu, Pembuatan CMC (Carboxy Methyl Cellulose) Dari Pati Umbi Talas oleh Renny Futeri dkk, Pembuatan CMC (Carboxy Methyl Cellulose) Dari Umbi Ganyong oleh Renny Futeri dkk, Pembuatan CMC (Carboxy Methyl Cellulose) Dari Biji Durian oleh Renny Futeri dkk, Carboxymethyl Cellulose Film From Durian Rind oleh Pornchai Rachtanapun, Pemanfaatan Limbah Biji Salak Sebagai Bahan Baku Pembuatan CMC (Carboxy Methyl Cellulose) Di Kawasan Padang Sidempuan Sumatera Utara oleh Nira Wati, 2014, Pembuatan CMC (Carboxy Methyl Cellulose) Dari Selulosa Bakterial Nata De Coco oleh Murna Muzaifa, 2006, Pembuatan CMC dari Limbah Tanaman Jagung oleh Puji Lestari.

Faktor utama yang perlu diperhatikan dalam pembuatan CMC adalah alkalisasi dan karboksimetilasi karena menentukan karakteristik CMC yang dihasilkan. Alkalisasi dilakukan sebelum karboksimetilasi menggunakan NaOH yang tujuannya mengaktifkan gugus gugus OH pada molekul selulosa dan berfungsi sebagai pengembang. Mengembangnya selulosa ini akan memudahkan difusi reagen karboksimetilasi. Pada proses Karboksimetilasi digunakan reagen asam monokloroasetat atau natrium monokloroasetat dan reagen ini biasanya digunakan dalam praktek. Jumlah natrium monokloroasetat yang digunakan akan berpengaruh terhadap substitusi dari unit anhidroglukosa pada selulosa (Wijayani, A dkk, 2005). Bertambahnya jumlah alkali yang digunakan akan mengakibatkan naiknya jumlah garam monokloroasetat yang terlarut sehingga mempermudah dan mempercepat difusi garam monokloroasetat ke dalam pusat reaksi yaitu gugus hidroksi (Kentjana, 1998). Mengingat peranan kedua reagen tersebut maka komposisi kedua reagen baik alkalisasi maupun karboksimetilasi dalam proses ini sangat menentukan kualitas CMC yang dihasilkan. Seiring perkembangan dunia industri, Cellogen mengatakan banyak pabrik penghasil CMC yang mencantumkan harga substitusi (DS), pH, dan viskositas sebagai karakteristik produknya. Standar Industri Indonesia mencantumkan Sembilan macam syarat mutu CMC masing – masing untuk mutu 1 dan mutu 2. Syarat yang harus dipenuhi sangat tergantung pada tujuan penggunaannya yakni untuk keperluan industri makanan atau bukan makanan (Lestari et al, 2012). Agar penelitian ini lebih terarah, maka penulis membatasi permasalahan penelitian pada: Merancang reaktor untuk pembuatan CMC

(Carboxy Methyl Cellulose) sehingga bisa dipakai untuk Usaha Kecil Masyarakat (UKM) dan skala Industri. Penelitian ini dilakukan bertujuan :Untuk Merancang rektor untuk pembuatan CMC (Carboxy Methyl Cellulose) sehingga bisa dipakai untuk Usaha Kecil Masyarakat (UKM) dan skala Industri. Manfaat dari penelitian ini adalah dapat membuat rektor untuk pembuatan CMC (Carboxy Methyl Cellulose) sehingga bisa dipakai untuk Usaha Kecil Masyarakat (UKM) dan skala Industri.

2. METODOLOGI

2.1 Pembuatan Bubur dari Ampas Tebu

Ampas tebu yang diperoleh dari penjual air tebu di sekitar Kota Padang Provinsi Sumatera Barat. Ampas tebu dibersihkan, kemudian dipotong kecil - kecil langsung dihaluskan dengan alat mesin pencacah(gambar.1). hingga berbentuk serbuk berukuran 20 mesh. Hasil pencacahan berbentuk serbuk dengan ukuran ± 20 mesh. Serbuk ampas tebu ini siap digunakan dan dilanjutkan proses sintesis dengan alat reaktor CMC (gambar.2).



Gambar 1. Mesin Pencacah



Gambar.2. Reaktor CMC

2.1.1 Ekstraksi α -Selulosa

Serbuk ampas tebu yang dihasilkan dari mesin pencacah (gambar 1), ditimbang sebanyak 5 kg langsung dimasukkan ke reaktor. Pada tahap 1 ditambahkan dengan larutan HNO₃ 3,5 % yang mengandung 10 mg NaNO₂ (setiap 1 L Volume HNO₃). Rasio berat serbuk ampas tebu dengan volume larutan HNO₃ adalah 1: 2. Proses ekstraksi berlangsung dengan reaktor selama 2 jam pada suhu 80 ° C. Setelah 2 jam larutan didalam reaktor dikeluarkan hingga habis dan dicuci dengan air mengalir hingga pH netral. Proses berlanjut ke tahap 2 dengan menambahkan larutan NaOH 2 % dan Natrium Sulfit 2 % pada suhu 50 ° C dengan rasio penambahan 1:1,5 (per kg berat awal serbuk ampas tebu) selama 1 jam. Tahap ketiga ditambahkan Natrium Hipoklorit 1,75 % selama ½ jam pada suhu 100 ° C dengan rasio penambahan 1:2 (per kg berat awal). Selanjutnya larutan yang dipakai pada tahap ketiga dibuang dan dicuci dengan air mengalir sampai pH netral. Pada tahap ini sudah didapatkan selulosa (renny futeri,2016). Tahap keempat dengan menambahkan selulosa didalam reaktor dengan menambahkan larutan 1500 ml NaOH 17,5 % dan dipanaskan pada suhu 80 ° C. kemudian dicuci dan disaring sampai pH netral. Tahap dilanjutkan kepada tahap terakhir dengan menambahkan 1500 ml Natrium Hipoklorit 1,75 % selama 5 menit pada suhu 100 ° C kemudian dicuci dan disaring sampai pH netral. Dalam setiap tahapan proses pada reaktor pengaduk harus selalu berputar hingga proses pada tahapannya selesai.

2.1.2 Proses alkalisasi dan karboksimetilasi (Renny Futeri dkk, 2016)

α - selulosa basah yang didapatkan setelah tahapan kelima proses ekstraksi pada reaktor di timbang berat basahnya. Setiap kg berat basah α - selulosa yang dimasukkan kedalam reaktor ditambahkan ditambah 1200 mL propanol p.a, 250 mL etanol p.a, 150 mL aquades dan diaduk selama 10 menit. Selanjutnya ditambahkan larutan NaOH 30 % tetes demi tetes hingga terjadi perubahan warna menjadi merah tua (coklat) secara menyeluruh. Proses alkalisasi ini berlangsung selama 1 jam pada suhu 24 ° C. Setelah selesai dilanjutkan proses karboksimetilasi dengan menambahkan natrium monokloroasetat pa sebanyak 100 g sedikit demi sedikit. Proses ini berlangsung selama 3,5 jam pada suhu 55 ° C. Selama kedua proses ini berlangsung pengaduk tetap berputar.

2.1.3 Proses netralisasi dan pengeringan (Renny Futeri dkk, 2016)

Setelah proses karboksimetilasi selesai,reaktor dimatikan kemudian campuran ini dipindahkan kedalam gelas kimia dan diukur pHnya. Selanjutnya ditambah asam asetat sampai pH netral dan didekantasi. Residu setiap kg berat yang didapatkan ditambah 1000 mL methanol p.a dan diaduk kemudian disaring menggunakan pompa vakum. Akhirnya dibungkus dalam aluminium foil dikeringkan dalam oven selama 4 jam pada

suhu 60 °C. CMC yang telah kering ini kemudian dihaluskan dan disimpan dalam tempat tertutup.

2.1.4 Penentuan Derajat Substitusi (DS) (Renny Futeri dkk, 2016)

Penentuan derajat substitusi mengacu pada penelitian Hong (2013). Langkah pertama,

4 gram CMC dilarutkan ke dalam 75 mL etanol 95 % dan ditambahkan 5 mL asam nitrat 2 M. Selanjutnya, larutan tersebut dididihkan sambil diaduk selama 10 menit. Kemudian sampel dicuci dengan 20 mL etanol 80 % pada suhu 60 °C sebanyak lima kali dan dicuci kembali dengan metanol anhidrat. Kemudian sampel disaring dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C selama 3,5 jam dan didinginkan di dalam desikator selama 30 menit. Tahap berikutnya 0,5 CMC kering dilarutkan ke dalam 100 mL air destilasi dan diaduk. Lalu ditambahkan 25 mL larutan NaOH 0,3 M dan dididihkan selama 15 menit. Setelah itu ditambahkan indikator PP dan dititrasi dengan larutan HCl 0,3 M. Penentuan derajat substitusi dilakukan dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$\% \text{ CM} = \frac{V_0 - V_n}{V_0} \times M \times 0,059 \times 100 / M \quad (\text{Renny Futeri, 2016}).$$

$$\text{DS} = \frac{162 \times \% \text{CM}}{5900 - 58 \times \% \text{CM}} \quad (\text{Renny Futeri, 2016}).$$

2.1.5 Pengukuran pH larutan CMC 1 % (Renny Futeri dkk, 2016)

Ditimbang 1 g berat sampai kering CMC, ditambah 100 mL akuades kemudian dipanaskan sampai suhu 70 °C sambil di aduk sampai larut dan setelah dingin diukur pH-nya.

2.1.6 Pengukuran Viskositas larutan CMC 2 % (Renny Futeri dkk, 2016)

Ditimbang 4, 4 g berat kering CMC dimasukkan dalam gelas kimia kemudian ditambah akuades yang banyaknya dihitung dengan rumus :

$$\text{mL akuades} = \text{berat sampel (gram)} \times (98 - \text{kadar air})/2$$

Setelah akuades dimasukkan, campuran dikocok selama 30 menit dan dituangkan ke dalam gelas kimia. Viskositas dimasukkan kemudian diputar dengan kecepatan 30 rpm selama 3 menit selanjutnya pembacaan skala.

2.1.7 Penentuan kadar NaCl (Renny Futeri dkk, 2016)

Ditimbang 1 g berat kering CMC dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dan diencerkan dengan 200 mL akuades. Larutan ini kemudian dititrasi dengan AgNO₃ 0,1 N dan indikator K₂CrO₄ 5 % .

$$\text{Kadar NaCl (\%)} = \frac{0,5845 \times f \times \text{vol AgNO}_3}{\text{Berat sampel kering (g)}}$$

2.1.8 Penentuan Kemurnian CMC (Renny Futeri dkk, 2016)

Kemurnian CMC dihitung dengan cara berikut : Kemurnian = 100 % - % NaCl.

2.1.9 Penentuan Rendemen (Renny Futeri dkk, 2016)

$$\text{Rendemen : } \frac{\text{Berat yang didapatkan}}{\text{Berat Teori}} \times 100 \%$$

2.1.10 Pengukuran dengan FTIR (Renny Futeri dkk, 2016)

Analisis struktur atau gugus fungsi sampel CMC ditentukan dengan menggunakan Fourier Transform Infra Red Spectroscopy (FTIR). Tingkat transmisi diukur untuk nomor gelombang 4000 - 400 cm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 HASIL

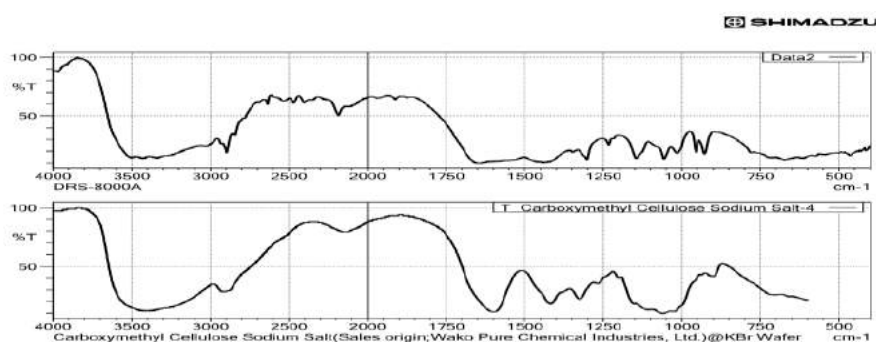
Dari analisa laboratorium yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel.1. Hasil Analisa CMC.

No	Parameter	CMC Ampas Tebu	SNI CMC Mutu I	SNI CMC Mutu II	Food Chemical Codex
1	Derajat Substitusi	0,9	0,7 – 1,2	0,4 – 1,0	0,7 – 1,2
2	pH larutan 1 %	7	6 - 8	6,0 – 8,5	6 – 8
3	Viskositas (cP)	1,58	< 26	-	-
4	Kadar Air (%)	3,28	-	-	-
5	Kadar NaCl (%)	1,5	0,25	-	-
6	Kemurnian (%)	98,9	> 99,6	> 65,0	99,5
7	Efisiensi Alat Reaktor (%)	83,15			

3.2 PEMBAHASAN

Dilihat dari perbandingan tabel.1. antara CMC ampas tebu dengan SNI mutu CMC, maka dapat dikatakan bahwa CMC ampas tebu memiliki kualitas sebagai CMC mutu I yang biasa digunakan pada makanan dan CMC Mutu II yang biasa disebut CMC *Industrial Grade*, dan memiliki karakteristik cukup baik sebagai CMC mutu I dan CMC mutu II karena memenuhi persyaratan mutu minimal yang telah ditetapkan oleh SNI 06-3736-1995. Efisiensi reaktor yang didapatkan kemungkinan disebabkan pengolahan CMC menggunakan reaktornya belum dioptimasi sehingga perlu dilakukan proses optimasi pada metoda pengolahan CMC sehingga dapat meningkatkan efisiensi alat dan CMC yang didapatkan bagus. CMC yang didapatkan berwarna Putih. Hal ini mungkin disebabkan karena proses delignifikasi yang sempurna sehingga CMC yang dihasilkan dari ampas tebu berwarna putih.



Gambar. 3. FTIR CMC Ampas Tebu

Gambar.3. CMC ampas tebu yang didapatkan dari penelitian yang telah diuji dengan FTIR, spectra hasil pengujian CMC ampas tebu dapat dilihat pada gambar terdapat kemiripan puncak – puncak yang muncul menandakan CMC ampas tebu yang dihasilkan pada penelitian ini mempunyai kesamaan molekul kimia SNI Mutu I untuk food chemical codex yaitu pada 732 cm^{-1} sedangkan puncak SNI Mutu II 725

cm^{-1} . Puncak dengan intensitas kuat panjang gelombang antara $3700 - 3100\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus $-\text{OH}$ dengan *stretching vibration*. Gugus $-\text{OH}$ pada kisaran panjang gelombang tersebut juga menunjukkan adanya ikatan hidrogen intramolekul. Sementara gugus $-\text{OH}$ dengan *inplane deformation* ditunjukkan pada panjang gelombang antara $1460 - 1324\text{ cm}^{-1}$ dan C-O stretching vibration ditunjukkan pada panjang gelombang $1160 - 1025\text{ cm}^{-1}$ (Meenakshi *et al.*, 2002). Sementara bilangan gelombang 894 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan 1,4- β dari CMC ampas tebu. Dari table.5. dapat diketahui bahwa CMC yang berasal ampas tebu tergolong food grade dan memenuhi persyaratan CMC SNI mutu 1. CMC ampas tebu teridentifikasi mempunyai gugus karboksil pada panjang gelombang 1604 cm^{-1} dan ikatan $-\text{CH}_2$ pada panjang gelombang 1419 cm^{-1} . Berdasarkan identifikasi tersebut terbukti bahwa CMC ampas tebu yang dihasilkan pada penelitian ini mempunyai kemiripan gugus fungsi dengan CMC komersial dan mempunyai bilangan gelombang yang menunjukkan gugus konstituen pada CMC yaitu gugus karboksil dan $-\text{CH}_2$.

Pengujian CMC ampas tebu dengan FTIR ini adalah untuk melihat seberapa bagus CMC yang dihasilkan dari gugus fungsi CMC tersebut. Dapat dilihat pada gambar 3 gugus fungsi yang dimiliki oleh CMC ampas tebu memiliki kemiripan dengan salah satu produk CMC komersial yakni produk CMC yang dikeluarkan oleh wako Pure Chemical Industries, Ltd. Ini membuktikan bahwa CMC ampas tebu yang dihasilkan sudah memiliki karakter bagus dan dengan adanya penegasan uji gugus fungsi yang dilakukan dengan FTIR semakin menguatkan pernyataan bahwa CMC ampas tebu memiliki karakteristik bagus.

4. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut: Kondisi optimum sintesis karboksimetiselulosa ditinjau melalui parameter derajat substitusi untuk menghasilkan CMC yang memenuhi persyaratan SNI CMC Mutu I, SNI CMC Mutu II dan food chemical codex dari selulosa ampas tebu diperoleh CMC ampas tebu diperoleh mempunyai karakteristik derajat substitusi 0.9, pH 7 pada larutan 1 % , viskositas 1.58 cP, kadar air 3,28 %, kadar NaCl 1.5 %, kemurnian 98.9 %, dan efisiensi alat reaktor CMC adalah 83,15%

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abe, K and Yano, H. 2009. *Comparison of The Characteristic of Cellulose Microfibril Aggregates of Wood, Rice Straw and Potato Tuber*. Springer Science . 16: 1017 – 1023.
- Amiruddin, 2013. *Perubahan Sifat Fisik Talas (Colocasia esculenta L. Schoot) Selama Pengeringan Lapis Tipis*, Program Studi Keteknik Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, Makasar
- Bryan A.W, Gayatri C., Frenly.W 2014, *Potensi Ekstrak Etanol Tangkai Daun Talas (Colocasia esculenta [L] Sebagai Alternatif Obat Luka Pada Luka Pada Kulit Kelinci (Oryctolagus cuniculus)*, Jurnal Ilmiah Farmasi FMIPA, UNSRAT Vol. 3No.3, Manado, 95115
- Badan Pusat Statistik. 2003. *Data Ekspor Impor Zat Aditif*. Badan Pusat Statistik Published. Jakarta
- Dapia S., V. Santos, J.C. Parajo, 2003. Carboxymethyl cellulose from totally chlorine free-bleached milox pulps. *Bioresour. Technol.*, 89: 289-296.
- Gondim, A., Puiatti, M., Ventrella, M., Cecon, P., 2008. Plasticidade Anatômica da Folha de Taro Cultivado Sob Diferentes Condições de Sombreamento Bragantia, Campinas, v.67, n.4, p.1037-1045.
- Hartati, N.S., T.K. Prana dan M.S. Prana. 2001. Skrining Keanekaragaman Talas (*C.esculenta* (L.) Schott.) Melalui Analisis Isozim. Pros. Keanekaragaman Hayati dan Aplikasi Bioteknologi Pertanian. Jakarta, 6 Maret 2001.
- Kentjana, Y.P., 1996, Karboksimetilasi Bahan Baku Bukan Kayu, *Berita Selulosa* XXIV.4 : 17-20.

- Lestari, Puji *et al.* 2012. *Pengembangan Teknologi Pembuatan Biopolimer Bernilai Ekonomi Tinggidari Limbah Tanaman Jagung (Zea Mays) Untuk Industri Makanan: CMC (Carboxy Methyl Cellulose)*. Program Studi Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Mario, P., D.W. Adinugrada, M. Haryadi, 2005. Synthesis and characterization of sodium carboxymethylcellulose from Cavendish banana pseudo stem (*Musa cavendishii* LAMBERT). *Carbohydr. Polym.*, 62: 164-169.
- Matthews, P., 2004. Genetic diversity in taro, and the preservation of culinary knowledge. *Ethonobotany Journal* 2 (1547), 55-77
- Nuringtyas, Tri Rini. 2010. *Karbohidrat*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Ott and Spurlin, 1995, *Cellulose and Cellulose Derevative*, Vol 5, Part 2. InterScience Publisher Inc. New York.
- Ohwoavworhua, F.O., Adelakun, T.A. 2005. Phosphoric Acid-Mediated Depolymerization and Decrystallization of Low Crystallinity Celullose and Some Physicochemical Properties. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 509 – 516.
- Permatasari, Linda. 2012. *Pembuatan Senyawa Karboksi Metil Selulosa (CMC)* Politeknik Negeri Bandung. Bandung.
- Prana, M.S., T.K. Prana, N.S. Hartati and T. Kuswara. 1999. Prospek Pengembangan Talas (*Colocasia esculenta* (L.) Schott.) di Jawa Barat. Makalah disajikan pada Seminar BAPEDDA Jawa Barat, Bandung, 5 Juli 2000.
- Richardson, S., L. Gorton, 2003. Characterization of the Substituent Distribution in Starch and Cellulose Derivatives. *Anal. Chim. Acta.*, 497: 27-65.
- Renny . F, ,2016, Synthesis Methyl Celulose (CMC) with Addition Method from Durian Seed *Jurnal Der Pharmacia Lettre*, 2016, 8 (19) : 262 – 268 ISSN 0975-5071 USA : DPLEB4.
- Rosnah Mat Som *et al*, 2004, *Pembuatan CMC (Carboxy Methyl Cellulose) dari Tandan Kosong Sawit*.
- Santoso, Budi, Filli Pratama, Basuni Hamzah, dan Rindit Pambayun, 2011, Pengembangan Edible Film dengan Menggunakan Pati Ganyong Termodifikasi Ikatan Silang, *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, No. 2, Vol. XXII.
- Salmi, T., D. Valtakari, E. Paatero, B. Holmbom, R. Sjoholm, 1994. Kinetic study of the carboxymethylation of cellulose. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 33: 1454-1459.
- Slamet D.S dan Ig. Tarkotjo (1990), *Majalah Gizi*, . Pusat penelitian dan Pengembangan kesehatan Depkes RI, jilid 4, hal 26.
- Sudirjo, S.T. 1996. Selulosa Bakteri Sebagai Alternative Sumber Serat. *Berita Selulosa*. XXXII.3:20 – 25.
- Samsuri, M. 2007 Pemanfatan Selulosa Bagas untuk Produksi Etanol Melalui Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak dengan Enzim Xylanase, *Makara Teknologi* 11 (1) : 17 – 24.
- Togrul, H., N. Arslan, 2003. Production of carboxymethyl cellulose from sugar beet pulp cellulose and rheological behavior of carboxymethyl cellulose. *Carbohydr. Polym.*, 54: 73-82.

- Wijayani, A., Ummah, K., dan Siti Tjahjani. 2005. *Karakteristik Karboksimetil Selulosa (CMC) dari Enceng Gondok (Eichorniacrassipes (Mart) Solms)*. Universitas Negeri Surabaya. *Indo. J. Chem.*, 2005, 5 (3), 228 – 231
- Wijayanto, H. 2015, *Optimasi Pemanfaatan Selulosa dari Limbah Ampas Tebu (Saccharum Officinal L Sebagai Bahan Pembuatan Carboxy Methyl Cellulose (CMC) Untuk Industri Makanan*.
- Zhai, Terry. 2014. *Sodium Carboxymethyl Cellulose (CMC)*. Foodchem International Cooperation. China

GEOTEKNIK

ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN SHEET PILE

Afif Apriansyah¹, Nanda², Wendi Boy³, Rafki Imani⁴, Widiawati Purba⁵

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Putra Indonesia YPTK Padang
Email: afifapriansyah4@gmail.com

ABSTRACT

To prevent occurring of landslides, there are several methods that can be used, one of which is to use sheet pile as a retaining wall. existing conditions in the field using sheet pile with precast concrete material with the aim that the soil is above does not slide downward which side of the project there is a building. This final project discusses the planning of cliff reinforcement on the slopes of the Batam City Great Mosque Project using reinforcement type Sheet Pile (Turap). Furthermore, in this final assignment the author will conduct a soil collapse analysis in a 2D model, using the Plaxis 2D Version 8.2 program using data obtained from an investigation study of soil physical and technical characteristics. Comparison of sheet pile planning at P0 point using concrete and steel material with the help of plaid application obtained a displacement of Steel Material: $113,96 \times 10^{-3}$ m, while Concrete Material $105,05 \times 10^{-3}$ m Therefore, sheet pile using concrete material has a smaller displacement compared to using steel material.

Keywords: *Sheet Pile, Soil Retaining Wall, Plaxis*

ABSTRAK

Untuk mencegah terjadinya kelongsoran, ada beberapa metode yang dapat digunakan, salah satunya yaitu menggunakan *sheet pile* (turap) sebagai dinding penahan tanah. kondisi existing dilapangan menggunakan *sheet pile* dengan material beton *precast* dengan tujuan agar tanah berada diatas tidak longsor ke arah bawah yang mana disebelah proyek tersebut terdapat bangunan. Tujuan Penelitian ini membahas perencanaan perkuatan tebing pada lereng Proyek Masjid Agung Kota Batam menggunakan jenis perkuatan *Sheet Pile* (Turap). Selanjutnya dalam tugas akhir ini penulis akan melakukan analisa keruntuhan tanah dalam model 2D, dengan program *Plaxis* 2D Versi 8.2 dengan menggunakan data yang diperoleh dari studi penyelidikan karakteristik fisik dan teknis tanah. Jenis Turap yang digunakan adalah material beton dan baja. Dengan menggunakan program *Plaxis* didapatkan *displacement* yang diambil pada satu titik (P0), untuk material Beton $105,05 \times 10^{-3}$ m dan material baja $113,96 \times 10^{-3}$ m. maka dari itu, hasil *displacement sheet pile* dengan menggunakan material beton lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan material baja.

Kata Kunci : *Turap, Dinding Penahan Tanah, Plaxis*

1. PENDAHULUAN

Penelitian dilakukan pada Masjid Agung Kota Batam, dimana kondisi existing dilapangan menggunakan *sheet pile* dengan material beton *precast* dengan tujuan agar tanah berada diatas tidak longsor ke arah bawah yang mana disebelah proyek tersebut terdapat bangunan. Penulis merencanakan ulang dengan menggunakan material beton dan material baja dengan tujuan untuk menganalisa, menghitung manual, membandingkan dengan kondisi yang ada pada proyek pembangunan masjid Agung kota Batam, serta untuk mengetahui panjang *sheet pile* yang digunakan sebagai dinding penahan tanah pada proyek pembangunan masjid agung kota batam.

Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui kedalaman pembenaman turap (*sheet pile*), untuk mengetahui perbedaan material beton dan material baja setelah di analisis menggunakan program plaxis. Keuntungan penelitian adalah sebagai rekomendasi yang berkaitan terhadap perencanaan turap.

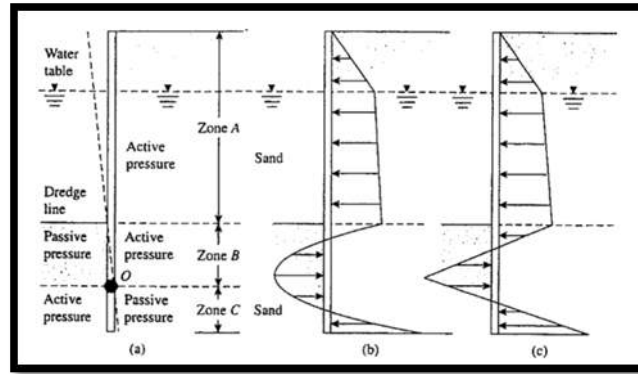
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sheet Pile

Dinding turap (*sheet pile*) merupakan suatu material yang disusun menyerupai bentuk dinding berfungsi sebagai struktur penahan tanah pada tebing jalan raya, struktur penahan tanah pada galian, struktur penahan tanah yang berlereng agar tanah tersebut tidak longsor, konstruksi bangunan yang ringan, saat kondisi tanah kurang mampu untuk mendukung dinding penahan. Material yang digunakan dalam *sheet pile* ada beberapa macam, yaitu *sheet pile* dari material kayu, *sheet pile* dari material beton, *sheet pile* dari bahan baja (*steel*). *Sheet pile* disusun dengan bentuk khusus agar dapat tersusun dan saling mengikat satu sama lainnya sesuai dengan kebutuhan perencana. Perbedaan mendasar antara dinding turap dan dinding penahan tanah terletak pada keuntungan penggunaan dinding turap pada kondisi tidak diperlukannya pengeringan air (*dewatering*). *Sheet pile* dalam berbagai variasi sifat kekuatan dapat diperoleh dengan pengaturan yang sesuai dari perbandingan jumlah material pembentuknya serta jenis material yang digunakan

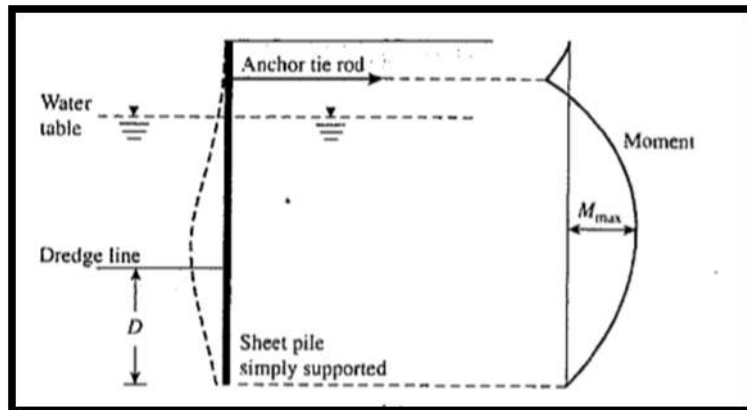
2.2 Sheet Pile Kantilever

Sheet pile kantilever merupakan *sheet pile* yang dalam menahan beban lateral mengandalkan tahanan tanah didepan dinding. Defleksi lateral yang terjadi relatif besar dan hanya cocok untuk menahan tanah dengan kedalaman sedang. Seperti Gambar 2.11 Berikut



Gambar 1. Sheet Pile Kantilever (Das, 2007)

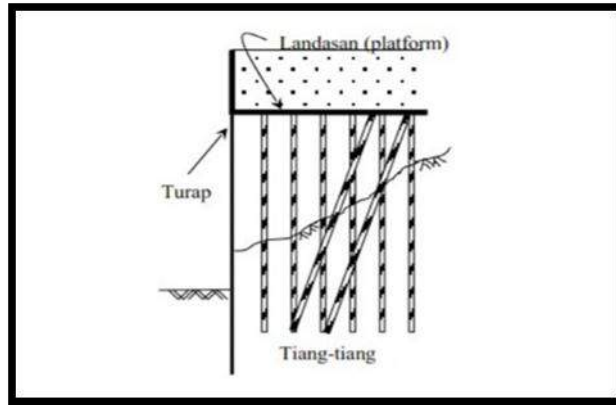
Sheet pile diangker cocok untuk menahan galian yang dalam, tetapi masih bergantung pada kondisi tanah. Menahan beban lateral dengan mengandalkan tahanan tanah pada bagian sheet pile yang terpancang dalam tanah dengan dibantu oleh angker yang dipasang pada bagian atasnya. Seperti Gambar 2.12 Berikut



Gambar 2. Sheet Pile Diangker (Das, 2007)

2.3 Sheet Pile dengan Landasan

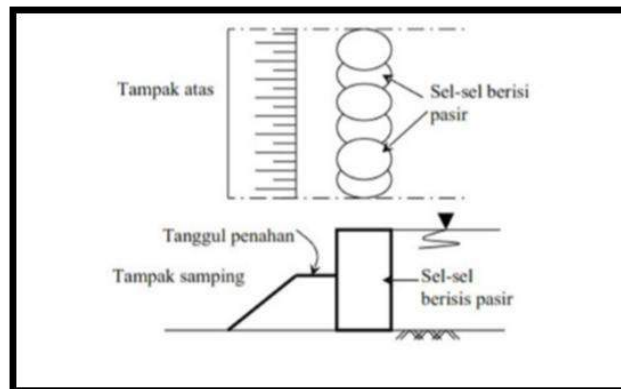
Sheet pile dengan landasan menahan tekanan tanah lateral dengan dibantu oleh tiang-tiang yang dibuat landasan untuk meletakkan bangunan tertentu. Seperti Gambar 2.13 Berikut



Gambar 3. *Sheet Pile* dengan Landasan (Hardiyatmo, 2011)

2.4 *Sheet Pile* Bendungan Elek Selular

Sheet pile bendungan elek selular merupakan *sheet pile* yang berbentuk sel-sel yang diisi dengan pasir. Dinding ini menahan tekanan tanah dengan mengandalkan beratnya sendiri. Seperti Gambar 2.14 Berikut



Gambar 4. *Sheet Pile* Bendungan Elek Selular (Hardiyatmo, 2011)

3. METODOLOGI

Penulis telah meninjau langsung ke lokasi penelitian yaitu di Proyek Masjid Agung Kota Batam dan penulis tertarik mengangkat judul ini karena pada bagian lereng proyek terdapat rumah susun (Rusunawa) yang harus di tahan oleh dinding penahan tanah, lalu penulis setelah mengamati penulis mengumpulkan data yaitu data tanah, data gambar, penampang melintang, yang penulis kumpulkan dari Kontraktor PT. ADHI Karya yang siap untuk di olah sebagai penelitian penulis. kemudian penulis menganalisis dan menghitung manual untuk mencari kedalaman pembedaan *sheet pile* serta menghitung momen maksimum dari P0 – P10 kemudian disimulasikan menggunakan aplikasi Plaxis.

3.1 Penyelidikan Tanah

Test penetrasi kerucut dilakukan pada tiga titik, BH-01, BH-02, BH-03, yang mana BH-01 hampir sama seperti BH-03. Berikut ini adalah tes laboratorium tanah

Tabel 1. Sifat Tanah BH-01

Depth (m)	Depth (m)	c_u (kN/m ²)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	Description
9.64	9.64	10	20	19.6	8666	Embankment
0-1	1	40	20	18.1	8666	Silty clay
1-5	4	47	20	18.1	10183	Silty clay
5-6	1	87	20	18.9	18850	Silty clay
6-7	1	187	20	19.6	40516	Silty clay
7-20	13	10	20	19.6	28166	Silty sand

Tabel 2. Sifat Tanah BH-02

Depth (m)	Depth (m)	c_u (kN/m ²)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	Description
7.62	7.62	10	20	19.6	8666	Embankment
0-2	2	34	20	18.1	7366	Silty clay
2-11	9	94	20	18.9	20366	Silty clay
11-12	1	154	20	19.6	33366	Silty clay
12-20	8	0	47	19.6	28166	Silty sand

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

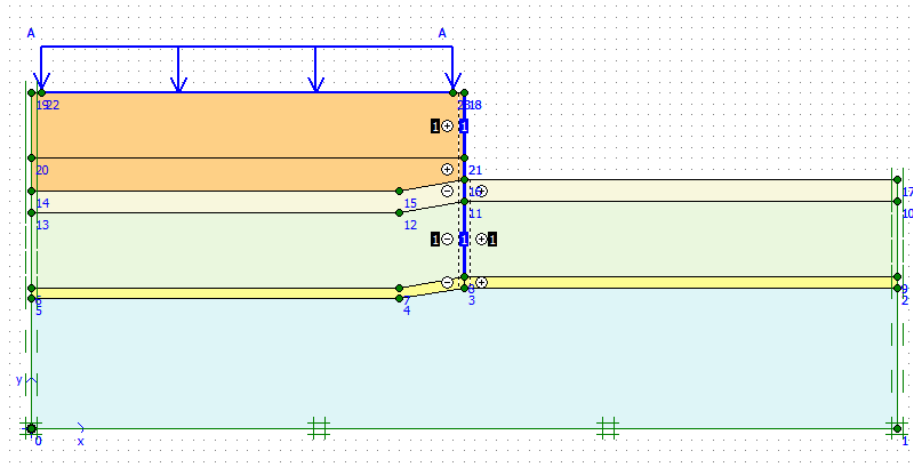
4.1 Perhitungan Manual Kedalaman Pembedaman *Sheet Pile*

Setelah kita hitung manual untuk mendapatkan total pembedaman kedalaman turap, berikut adalah hasil rekapitulasi Perhitungan manual pada Tabel 4.1 berikut

Tabel 3. Rekap hasil perhitungan

No. Cross Section	Titik Sondir	Tinggi Timbunan (m)	D_{actual} (m)	Panjang Total (m)	M_{max} (kN-m/m)
P0	S3	9,635	8,0	18	1006,6
P1	S3	9,022	7,02	16	820
P2	S3	7,725	5,19	13	496
P3	S2	6,907	4,12	11	345
P4	S2	5,365	2,65	8	157,8
P5	S2	7,296	4,54	12	412,2
P6	S2	5,735	2,7	8	160,6
P7	S2	6,481	3,69	10	283,3
P8	S2	7,178	4,42	12	390,8
P9	S2	7,113	4,35	11	379,9
P10	S2	7,618	4,92	13	471,9

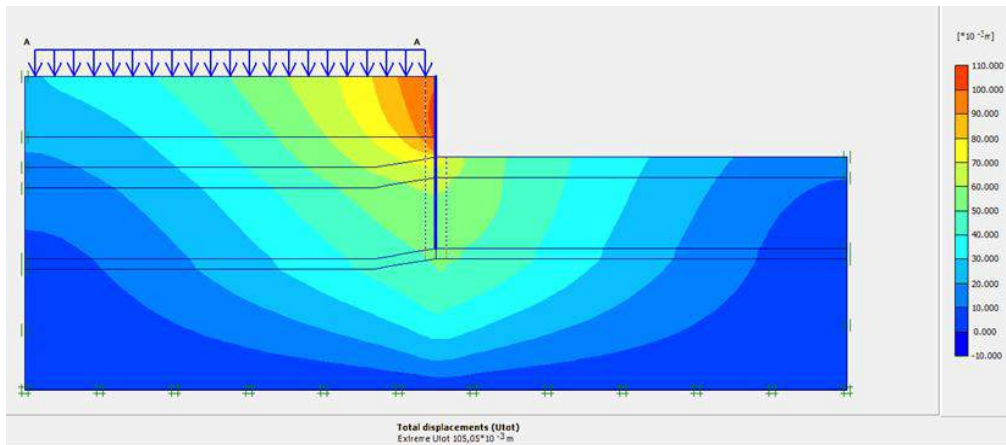
Dari perhitungan manual diperoleh kedalaman pembedahan *sheet pile* (D) selanjutnya akan dimodelkan dengan aplikasi plaxis seperti pada gambar dibawah :



Gambar 5. Model Tanah pada Plaxis dengan Perkuatan *Sheet Pile*

Pada gambar yg berwarna kuning tua adalah lapisan tanah timbunan berupa tanah granuler, warna biru muda merupakan lapisan tanah lempung, dan garis lurus warna biru tua adalah sheet pile / turap.

5. HASIL ANALISIS DENGAN APLIKASI PLAXIS

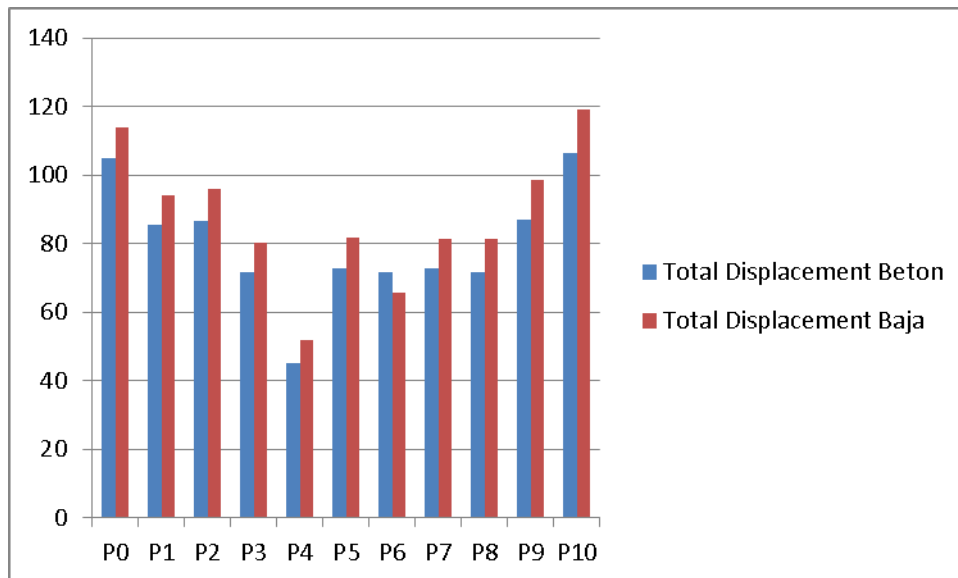


Gambar 6. Total *displacement* P0

Setelah di analisis menggunakan program plaxis dan setelah di masukkan Material Beton dan Material Baja maka akan didapatkan *displacement*, kemudian di rekapitulasi total *displacement* pada tabel 4 berikut

Tabel 4. Rekap Total Displacement

No. Cross Section	Total Displacement Beton ($*10^{-3}$) <i>m</i>	Total Displacement Baja ($*10^{-3}$) <i>m</i>
P0	105,05	113,96
P1	85,66	94,23
P2	86,64	95,79
P3	71,82	80,09
P4	45,02	51,96
P5	72,94	81,63
P6	71,66	65,53
P7	72,64	81,29
P8	71,66	81,41
P9	86,85	98,51
P10	106,37	118,99



Gambar 7. Diagram Total Displacement

Kesimpulan dari gambar diatas bahwa *total displacement* beton lebih kecil dibandingkan dengan *total displacement* Baja.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian di atas, maka di simpulkan :

1. Perencanaan menggunakan *sheet pile* dengan material beton didapatkan panjang *Sheet Pile* 18 m, sementara pengukuran di lapangan panjangnya 16 m.
2. Perbandingan perencanaan *sheet pile* pada titik P_0 menggunakan material beton dan baja dengan bantuan Aplikasi *plaxis* didapatkan *displacement* sebesar :
 - a. Material Baja : $113,96 \times 10^{-3} \text{m}$
 - b. Material Beton : $105,05 \times 10^{-3} \text{m}$

7. DAFTAR PUSTAKA

- Agatha, 2017. Perencanaan Sheet Pile Dengan Menggunakan Program Plaxis (Study Kasus : Jalan Padang Tambak – Liwa Km.227+400)
- Craig, R. F. 1989. *Mekanika Tanah*. Jakarta : Erlangga
- Diliaristianto, Kurniawan. 2017. Penggunaan Sheet Pile Untuk Perkuatan Lereng Di Desa Tambakmerang Kecamatan Girimarto Kabupaten Wonogiri
- Das, Braja. M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*. Seventh edition : PWS Publishing Company.
- Eka Setyowati, 2012. Perencanaan Konstruksi Turap Sebagai Pengganti Dinding Penahan (Studi Kasus Jalan Lingkar Donggala)
- Hardiyatmo, H. C. 2011. *Analisis & Perancangan Fondasi*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hari Christady. 1992. *Mekanika Tanah 1*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, Hari Christady. 1994. *Mekanika Tanah 2*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Hertiany, 2014. Perencanaan Konstruksi *Sheet Pile Wall* Sebagai Alternatif Pengganti *Gravity Wall* (Studi Kasus Proyek Sindu Kusuma *Edupark*, Yogyakarta)
- Lastiasih, Yudhi. 2017. Perencanaan Perkuatan Dinding Kolam Pelabuhan dan Penggunaan Material Dredging sebagai Material Timbunan pada Area Perluasan Dermaga Proyek RDMP-RU V Balikpapan
- Martini, Shyama Maricar, Hendra Setiawan. 2012. Perencanaan Konstruksi Turap Sebagai Pengganti Dinding Penahan (Studi Kasus Jalan Lingkar Donggala)
- Wesley, L. D. 1977. *Mekanika Tanah*. Jakarta : Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

Wiswara, Nyoman. 2012. Analisa Kedalaman Maksimum Dinding Penahan Tanah Tanpa Adanya Perkuatan (*Support*)

Yuliet, Rina. 2014. Studi Stabilitas Turap Beton Pada Tepi Sungai Anai Kabupaten Padang Pariaman

PEMANFAATAN LAHAN DI ATAS TANAH DENGAN KEMIRINGAN YANG MEMPERTIMBANGKAN STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN METODE PERMODELAN DAN OPTIMASI

Julita Andrini Repadi¹, Abdul Hakam², Bambang Istijono³

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

Email : julitaandrinirepadi@gmail.com

² Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

Email : abdulhakam2008@gmail.com

³ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

Email : bistijono1452@yahoo.co.id

ABSTRACT

The geological condition of West Sumatera is flanked by two major earthquake centers, they are semangka fault which placed along Bukit Barisan, and subduction zone, the meeting place between the Indo-Australian Plate and Eurasia \pm 250 KM from the coastline to the west. It has 4 active volcanoes causing The West Sumatera be a landslides potential area. It's also coupled with a tropical climate and high rainfall that trigger the opportunities for light and heavy landslides. During the long dry season, there is a very high evaporation that causes cracks in the soil. When the rainy season occurs, there are saturation of the land because of the cracks, resulting the West Sumatra be a landslide prone area. The high number of above and below- slope residential houses in West Sumatra is a very dangerous situation. In this paper, an optimization method will be proposed by making a model to estimate the optimum safe distance by considering slope stability. The purpose of this study is to find out the optimization method that can be applied in the field to estimate the optimum safe distance when using the slope land and considering the slope stability.

Keynote : Slope stability, optimization method, model test.

ABSTRAK

Kondisi geologis Sumatera Barat yang diapit oleh dua pusat gempa utama yaitu patahan semangka yang berada di sepanjang Bukit Barisan dan Zona subduksi yaitu pertemuan antara Lempeng Indo-Australia dengan Eurasia \pm 250 KM dari garis pantai kearah barat, dan memiliki 4 buah gunung berapi aktif menyebabkan Sumatera Barat menjadi daerah yang memiliki potensi bencana longsor. ditambah dengan iklim tropis dan curah hujan yang tinggi memicu peluang longsor ringan maupun berat. Saat musim kemarau panjang, terjadi evaporasi yang sangat tinggi sehingga menimbulkan retakan pada tanah, ketika musim hujan terjadi penjumlahan tanah akibat retakan, sehingga menyebabkan Sumatera Barat menjadi daerah rawan longsor. Banyaknya rumah hunian di Sumatera Barat yang berada di atas lereng dan di bawah lereng merupakan situasi yang sangat berbahaya.

Dalam penulisan ini akan diusulkan suatu metode optimasi dengan membuat permodelan untuk mengestimasi jarak aman yang optimum dengan mempertimbangkan stabilitas lereng. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui metode optimasi yang dapat diterapkan dilapangan untuk mengestimasi jarak aman optimum pada saat dilakukan pemanfaatan lahan di atas tanah dengan kemiringan yang mempertimbangkan stabilitas lereng.

Kata Kunci : Stabilitas lereng, metode optimasi, permodelan.

1. PENDAHULUAN

Provinsi Sumatera Barat secara geografis terletak di sisi barat Pulau Sumatra. Di tengah provinsi ini ada banyak bukit yang terbentang dari utara ke selatan sebagai bagian dari bukit Bukit Barisan. Bukit Barisan juga terbentuk secara geologis karena adanya sesar Semangko yang membagi Pulau Sumatra menjadi dua bagian, yakni timur dan barat. Selain itu, sepanjang sesar Semangko ada beberapa gunung berapi aktif dan tidak aktif yang menciptakan daerah pegunungan (Barber et al., 2005).

Pembentukan endapan tanah di provinsi Sumatera Barat secara umum didominasi oleh aktivitas gunung berapi di sepanjang sesar semangko. Daerah di sekitar sesar Semangko dikenal sebagai daerah vulkanik. Daerah terendah dari daerah vulkanik, tanah didominasi oleh material sedimen yang kemungkinan berasal dari daerah vulkanik. Fisiografi provinsi Sumatera Barat kemudian dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu daerah vulkanik, daerah bukit dan daerah datar. Kondisi fisiografi ini membentuk lereng dengan berbagai jenis tanah, di mana akan ditunjukkan bahwa tanah longsor di Sumatera Barat umumnya terjadi.

Daerah Sumatera Barat umumnya mempunyai kontur tanah yang berbukit. Suatu lereng akan longsor bila keseimbangan gaya yang berkerja padanya terganggu. Kelongsoran terjadi bila gaya pendorong melebihi gaya penahan. Oleh karena itu prinsip penanggulangan longsor adalah mengurangi dan/atau menambah gaya penahan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui metode optimasi yang dapat diterapkan dilapangan untuk mengestimasi jarak aman optimum pada saat dilakukan pemanfaatan lahan di atas tanah dengan kemiringan yang mempertimbangkan stabilitas lereng, serta memberikan masukan kepada pemerintah untuk membuat rambu tanda bahaya dan merelokasi rumah hunian maupun jalan yang berada pada kawasan berbahaya.

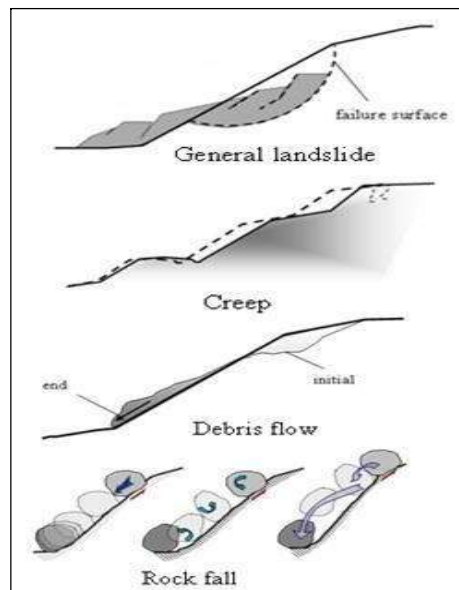
2. STUDI PUSTAKA

Permukaan tanah tidak selalu membentuk bidang datar atau mempunyai perbedaan elevasi antara tempat yang satu dengan yang lain sehingga membentuk suatu lereng (*slope*). Lereng dapat terjadi secara alami maupun sengaja dibuat oleh manusia dengan tujuan tertentu. Longsoran merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi pada lereng- lereng alami maupun buatan. Kelongsoran lereng kebanyakan terjadi pada saat musim penghujan. Itu terjadi akibat peningkatan tekanan air pori pada lereng. Hal ini berakibat pada terjadinya penurunan kuat geser tanah (c) dan sudut geser dalam (ν) yang selanjutnya menyebabkan kelongsoran.

Lereng adalah suatu bidang di permukaan tanah yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah. Lereng dapat terbentuk secara alami dan dapat juga dibuat oleh manusia. Gerakan tanah merupakan suatu gerakan menuruni lereng oleh massa tanah dan atau bantuan penyusun lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau bantuan penyusun lereng tersebut. Definisi diatas menunjukkan bahwa massa yang bergerak dapat berupa massa tanah, massa batuan atau pencampuran antara massa tanah dan batuan penyusun lereng. Apabila massa yang bergerak ini didominasi oleh massa tanah dan gerakannya melalui suatu bidang pada lereng, baik berupa bidang miring ataupun lengkung, maka proses pergerakan tersebut disebut sebagai longsoran tanah. Analisis stabilitas lereng mempunyai peran yang sangat penting pada perencanaan konstruksi-konstruksi sipil. Lereng yang tidak stabil sangatlah berbahaya terhadap lingkungan sekitarnya, oleh sebab itu analisis stabilitas lereng sangat diperlukan. Ukuran kestabilan lereng diketahui dengan menghitung besarnya faktor keamanan. (Violetta Gabriella, 2014).

Secara umum, faktor-faktor yang menyebabkan tanah longsor dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu faktor internal dan eksternal. Kedua faktor tersebut secara teoritis menyebabkan penurunan kekuatan tanah atau menambah kekuatan sehingga mengurangi faktor keamanan lereng. Faktor eksternal adalah semua gangguan dari luar lereng, baik yang disebabkan oleh alam maupun manusia. Contoh-contoh faktor eksternal yang dapat mengurangi keamanan lereng adalah getaran dari aktivitas manusia, gempa bumi, beban tambahan, penghilangan kekuatan penahan di bagian bawah lereng. (Hakam, 2016)

Penanggulangan longsor yang dilakukan bersifat pencegahan sebelum longsor terjadi pada daerah potensial dan stabilisasi, setelah longsor terjadi jika belum runtuh total. Penanggulangan yang tepat pada kedua kondisi diatas dengan memperhatikan penyebab utama longsor, kondisi pelapisan tanah dan juga aspek geologinya. Ilustrasi jenis tanah longsor ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Ilustrasi Jenis Tanah Longsor (Hakam, 2010)

3. PENELITIAN TERDAHULU

Tahun 2016 Bambang Istijono dan Abdul Hakam melakukan penelitian pada daerah ngarai sianok, bukittinggi diperoleh nilai *safety factor* mulai dari kurang dari 1 sampai 3. Dimana *Safety Faktor* 3 untuk ketinggian kurang dari 50 m, dan *safety factor* kurang dari 1 untuk ketinggian lebih dari 200 m. Lahan dengan ketinggian kurang dari 90 m bisa digunakan untuk permukiman penduduk, lahan dengan ketinggian kurang dari 120 m bisa dikembangkan untuk akses jalan, dan ketinggian 150 m-200 m digunakan untuk lahan pertanian. Sehingga Hakam menyarankan untuk memberikan rambu-rambu peringatan terhadap dinding ngarai, rumah yang berada pada daerah berbahaya, yaitu diatas ketinggian 90 m disarankan untuk dipindahkan perlahan, dan jalan yang berada di atas 125 m juga direlokasikan secara perlahan-lahan. Di Tahun 2013 Bambang Istijono dkk melakukan analisis lereng terhadap longsor di Maninjau dengan melakukan pengujian fisik dan mekanik tanah pada 2 titik lokasi, dimana hasil penelitian diperoleh bahwa dalam keadaan normal lereng tersebut sudah tidak stabil ditambah lagi dengan adanya hujan menyebabkan terjadinya longsor, maka untuk mencegah terjadinya longsor diharapkan lereng harus diatur ulang dengan menanam pohon dengan akar yang sangat kuat, yaitu lebih dari 1,8 m atau 1,5 kali dari kedalaman kritisnya.

Kegagalan lereng sering dikaitkan dengan kejadian curah hujan yang berkepanjangan di mana infiltrasi curah hujan meningkatkan tekanan air pori, mengurangi kekuatan tanah.

Mekanisme kegagalan ini akan dipercepat dengan adanya retakan, yang biasanya disebabkan oleh perbedaan pengeringan dan penyusutan tanah, dan kegiatan konstruksi yang terkait, di antara penyebab lainnya. Keberadaan retakan pada lereng biasanya memberikan jalur yang mudah untuk infiltrasi curah hujan ke dalam tanah, memungkinkan hujan untuk menyusup ke lapisan yang lebih dalam.. Pengaruh lokasi retakan, kedalaman, ukuran, dan arah pada distribusi tekanan air pori dan stabilitas lereng dipelajari dengan menerapkan intensitas hujan yang berbeda. Hasil menunjukkan bahwa tekanan air pori dan stabilitas lereng dipengaruhi oleh adanya retakan. Analisis menunjukkan bahwa faktor keamanan lereng menurun tajam ketika retakan terletak berdekatan dengan puncak lereng, dibandingkan dengan ketika retakan terletak di tengah lereng. Selanjutnya, faktor keamanan lereng menurun dengan meningkatnya kedalaman retak. Tekanan air pori dan faktor keamanan lereng semakin menurun ketika lereng menjadi sasaran intensitas curah hujan yang kecil untuk periode yang lama, dibandingkan dengan ketika lereng menjadi sasaran intensitas curah hujan yang tinggi untuk periode yang pendek. Studi ini menunjukkan bahwa studi retakan harus menjadi bagian integral dari analisis stabilitas lereng. (Muhammad Mukhlisi dan Khirun Nissah Khiyon, 2018).

Menurut (Ga Zhang, dkk, 2012) Tanah longsor yang berada di lereng sering diinduksi oleh curah hujan karena retak sebelumnya atau lapisan yang lemah. Serangkaian tes model centrifuge dalam kondisi curah hujan dilakukan di lereng dengan berbagai jenis retakan. Deformasi lereng diukur selama pengujian untuk menyelidiki proses infiltrasi deformasi kegagalan lereng.. Deformasi lereng terutama disebabkan oleh saturasi tanah dan infiltrasi air yang dipengaruhi retakan dalam kondisi curah hujan. Proses perpindahan lereng dengan retakan dapat dibagi menjadi tahap perpindahan kecil, tahap peningkatan cepat, dan tahap stabil. Pengaruh retak pada infiltrasi dan deformasi lereng menurun dengan meningkatnya jarak dari celah. Curah hujan menyebabkan deformasi vertikal yang signifikan di dekat celah vertikal daripada deformasi horizontal. Berbeda dengan retakan miring, retakan vertikal di atas lereng tidak mungkin menyebabkan longsor global dalam kondisi hujan. Perilaku deformasi-kegagalan lereng dengan retakan juga dipengaruhi oleh gaya curah hujan dan intensitas hujan.

Ciri-ciri retakan, seperti kemiringan, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap infiltrasi air di dalam lereng di bawah kondisi hujan. Misalnya, bagian depan pembasahan melengkung terutama di dekat celah vertikal.

Deformasi lereng terutama disebabkan oleh kejenuhan tanah dalam kondisi curah hujan, yang dipengaruhi oleh retakan melalui pengaruhnya terhadap infiltrasi air. Proses perpindahan lereng dengan retakan dapat dibagi menjadi tahap perpindahan kecil, tahap peningkatan cepat, dan tahap stabil.

Tingkat pengaruh retakan pada infiltrasi dan deformasi lereng menurun seiring dengan meningkatnya jarak dari retakan. Fenomena ini dapat digambarkan menggunakan zona pengaruh retak dengan lebar terbesar di dekat dasar retak.

Curah hujan menginduksi deformasi vertikal yang signifikan di dekat celah vertikal daripada deformasi horizontal lereng.

Dibandingkan dengan retakan miring, retakan vertikal tidak mungkin menyebabkan tanah longsor global dalam kondisi curah hujan jika retakan berada di bagian atas lereng.

Perilaku deformasi kegagalan lereng dengan retakan dipengaruhi oleh gaya hujan dan intensitas hujan.

Menurut (Liansheng Tang dkk, 2018) mengenai retakan pada lereng kemiringan pertama kali dipelajari melalui serangkaian tes model tanah longsor skala kecil, di mana kemiringan homogen buatan dibuat dari pasir sungai tak jenuh dengan kohesi yang lebih rendah. Kemudian, kegagalan tarik dimasukkan ke dalam model kegagalan lereng dengan tiga jenis kegagalan permukaan (linear, melingkar dan spiral logaritmik) ketika stabilitas lereng dianalisis oleh LEM. Akhirnya diusulkan contoh ilustratif dengan berbagai parameter geoteknis. Hasil menunjukkan bahwa terlepas dari bentuk permukaan geser, ketika kegagalan permukaan didominasi oleh retak tarik dan permukaan geser, diharapkan diperoleh faktor keamanan yang lebih kecil.

4. KESIMPULAN

Pemanfaatan lahan pada daerah lereng harus mempertimbangkan stabilitas lereng. Curah hujan sangat berpengaruh terhadap terganggunya stabilitas lereng, curah hujan dengan intensitas yang kecil tetapi sering menurunkan factor keamanan lereng, factor keamanan juga menurun tajam ketika retakan berada pada puncak lereng dibandingkan dengan ditengah lereng. Untuk dapat memanfaatkan lahan dalam kondisi aman serta mengurangi risiko yang sangat tinggi, maka harus dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap metode permodelan dan optimasi terhadap jarak aman antara ujung lereng terhadap daerah pemanfaatan lahan.

5. DAFTAR PUSTAKA

A. J. Barber, M. J. Crown and J. S. Milson. Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution. Geological Society, London. Vol. 31.

- Hakam, A. 2010. *Stabilitas Lereng dan Dinding Penahan Tanah*. CV Ferila, Padang.
- Hakam, A, Istijono B. 2013. *Slope Stability Analysis Following Maninjau Landslide 2013, SIBE-Conference*. ITB
- Hakam, A, Istijono B. 2016. *West Sumatera Landslide During in 2012 to 2015. International Journal Of Earth Sciences and Engineering*. Vol. 9, No. 3, Hal. 289-293.
- Mukhlisi, Muhammad, Khiyon, Khirun Nissah. 2018. *The Effects of Cracking on Slope Stability. Journal Geological Society Of India*. Vol. 9, Hal. 704-710.
- Sompie, Violetta. 2014. *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius, Jurnal Sipil Statik*. Vol. 2, No. 1, Hal. 37-46.
- Tang, Liansheng. 2018. *What is The Role Of Tensile Cracks in Cohesive Slope?. Journal Of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Vol. 11, Hal. 314-324.
- Zhang, Ga et. Al. 2012. *Effect Study of Cracks on Behavior of Soil Slope Under Rainfall Conditions*. Vol. 52, No. 4, Hal. 634-643.

PENYELESAIAN PERMASALAHAN DINDING PENAHAN TANAH DENGAN METODE OPTIMASI

Fathol Bari¹, Abdul Hakam², Bambang Istijono³

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

Email : fathol.bari1564@gmail.com

² Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

Email : abdulhakam2008@gmail.com

³ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

Email : bistijono1452@yahoo.co.id

ABSTRACT

In purpose to improve the slope stability, there are several methods can be used, one of them is using a retaining wall. Retaining wall is a construction that can withstand the lateral earth pressure of the natural slopes, artificial slopes, and landfill both under the road and the bridge, soil in the basement wall, and the soil in tunnel. The planned retaining wall must be able to maintain the stability of the soil behind it. In practical works, most of the designer use trial-and-error methods in planning the retaining walls. In this paper, an optimization method will be proposed to design the retaining wall and making a test model. The purpose of this study is to determine the optimization method that can be applied in the field to suitable economics retaining wall for use on various types of soil based on the material, tools/technology, labor and time.

Keywords: Retaining wall, optimization method, model test.

ABSTRAK

Untuk meningkatkan stabilitas lereng, beberapa metode yang dapat digunakan, salah satunya dengan menggunakan dinding penahan tanah. Dinding penahan tanah merupakan suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan tekanan tanah lateral lereng alam, lereng buatan, tanah urugan di bawah jalan dan jembatan, tanah pada dinding basement, serta tanah pada terowongan. Dinding penahan tanah yang direncanakan harus dapat menjaga kestabilan tanah dibelakangnya. Dalam pekerjaan praktis dilapangan, kebanyakan perencana melakukan metoda *trial and error* untuk merencanakan dinding penahan tanah. Dalam penulisan ini akan diusulkan suatu metode optimasi untuk mendesain dinding penahan tanah dan membuat uji model. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui metode optimasi yang dapat diterapkan dilapangan guna menentukan dinding penahan tanah yang ekonomis pada jenis tanah tertentu berdasarkan variabel material, alat/teknologi, tenaga kerja, dan waktu.

Kata Kunci : Dinding penahan tanah, metode optimasi, uji model.

1. PENDAHULUAN

Desain dan bentuk dinding penahan tanah tergantung pada jenis tanah di lokasi pembangunan. Merencanakan konstruksi dinding penahan tanah, hal yang perlu diketahui adalah gaya-gaya horizontal, yaitu tekanan tanah lateral yang bekerja antara konstruksi dan massa tanah yang digunakan. Kestabilan dinding penahan tanah diperoleh terutama dari berat sendiri struktur dan berat tanah. Pada umumnya dinding penahan tanah dibuat untuk menahan tanah pada lereng yang dianggap tidak stabil atau dapat terjadi keruntuhan apabila ada gaya-gaya seperti gempa, beban kendaraan, dan getaran mesin yang bekerja padanya.

Daerah Sumatera Barat umumnya mempunyai kontur tanah yang berbukit dan berlereng. Pembangunan konstruksi di daerah ini banyak dilakukan diatas perbukitan. Keadaan tanahnya banyak ditemui merupakan tanah yang tidak stabil karena banyaknya kejadian tanah longsor pada lereng daerah tersebut. Suatu lereng akan longsor apabila keseimbangan gaya-gaya yang berkerja padanya terganggu. Kelongsoran terjadi bila gaya pendorong melebihi gaya penahan. Oleh karena itu prinsip penanggulangan longsor adalah mengurangi dan/atau menambah gaya penahan.

Penelitian terdahulu telah banyak melakukan desain terhadap dinding penahan tanah, namun desain tersebut masih sangat terbatas berdasarkan beberapa aspek saja. Desain struktur dinding penahan tanah mengandalkan pengalaman mereka dalam proses desain. Dalam kebanyakan kasus, dimensi penampang dan nilai material pada awalnya dipilih berdasarkan pengalaman yang dikumpulkan dari desain sebelumnya. Setelah struktur didesain sesuai dengan pengalaman, struktur dianalisis untuk menentukan kestabilannya terhadap gaya-gaya yang bekerja. Cara tersebut masih banyak terdapat kelemahan seperti memakan waktu yang banyak.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah adalah konstruksi yang digunakan untuk memberikan stabilitas tanah atau bahan lain yang kondisi massa bahannya tidak memiliki kemiringan alami, dan juga digunakan untuk menahan atau menopang timbunan tanah atau ongkongan material lainnya (Bowless, 1999: 49). Dalam mendesain dinding penahan tanah ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu : jenis tanah yang berada dibelakang dinding, ketinggian lereng yang direncanakan, dan beban-beban yang bekerja terhadap dinding.

Dinding penahan tanah yang direncanakan harus diperhatikan stabilitasnya dengan cara melakukan pengecekan terhadap guling, geser, dan keruntuhan daya dukung. Macam-macam tipe dinding penahan tanah (DPT) yang ditentukan menurut peraturan SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik (2017) adalah sebagai berikut :

DPT Kantilever

DPT kantilever dengan pengaku, terbagi 2 yaitu dengan pengaku dimuka dinding vertical (*Buttress*) dan pengaku dibelakang dinding vertical (*Counterfort*)

DPT khusus, terbagi 2 yaitu dengan dinding krib (*Crib Wall*) dan bronjong (gabion)

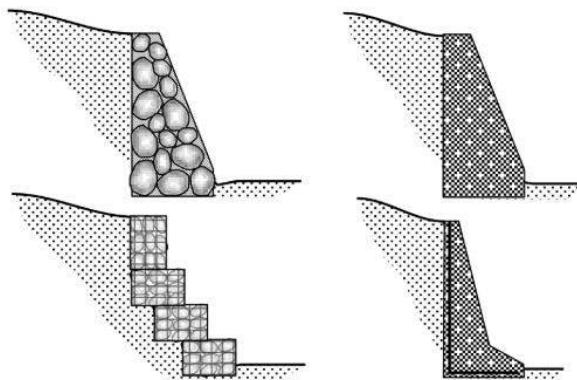
DPT gravitasi

DPT semi gravitasi

Penjelasan lain mengenai tipe-tipe dinding penahan tanah dikemukakan oleh Hakam (2010) sebagai berikut :

1. Dinding Gravity (*Gravity Walls*)

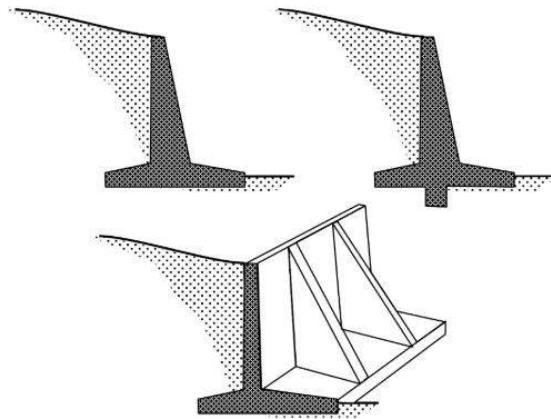
Dinding ini mengandalkan beratnya untuk menahan gaya dorong yang diberikan oleh tanah dibelakangnya.



Gambar 1. Macam-macam bentuk dinding gravity

2. Dinding Kantilever (*Cantilever Walls*)

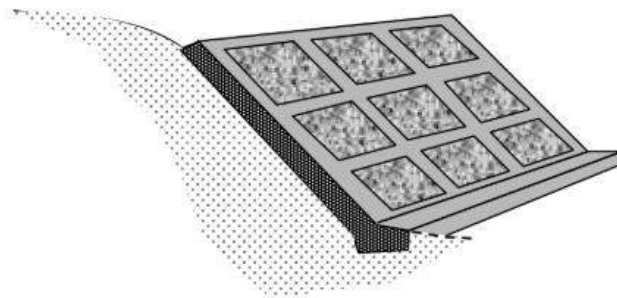
Sama seperti prinsip balok kantilever, dinding ini mengandalkan pengaku dibagian bawahnya berupa tumit yang menjorok kedalam tanah.



Gambar 2. Macam-macam bentuk dinding kantilever

3. Dinding Sandar (*Lay Dam Walls*)

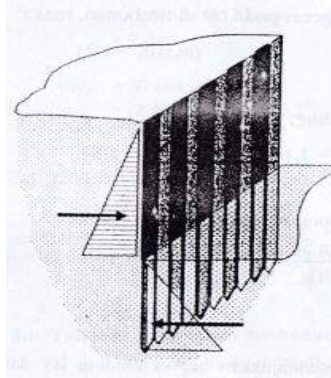
Tipe dinding ini mempunyai stabilitas yang lebih rendah daripada dinding penahan lainnya. Prinsip dinding ini adalah bersandar pada tanah dibelakangnya.



Gambar 3. Dinding sandar

4. Dinding Pancang (*Sheet Pile*)

Dinding ini dibuat dengan cara dipancang pada bagian bawah pada kedalaman yang diinginkan. Dinding pancang terbuat dari beton atau baja, dimana prinsipnya menahan tekanan tanah



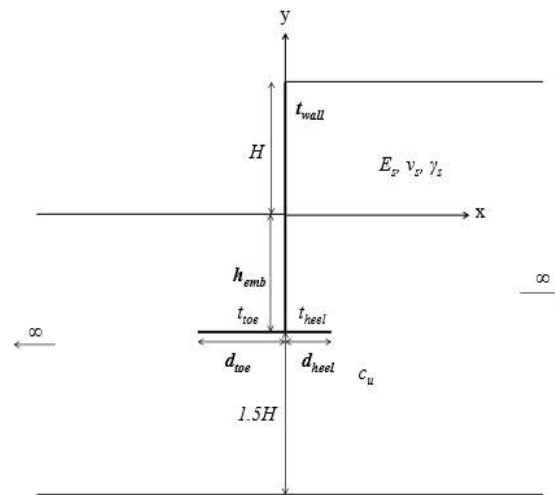
Gambar 4. Dinding pancang

3. PENELITIAN TERDAHULU

Menurut (Hendra Setiawan, 2011) mengenai perbandingan penggunaan dinding penahan tanah tipe kantilever dan gravitasi pada lokasi BTN Teluk Palu Permai. Dalam analisis yang dilakukan terhadap dinding kantilever dan gravitasi didapat hasil bahwa pada ketinggian lereng hingga 6 m, angka keamanan atau stabilitas pada tipe kantilever lebih tinggi dari tipe gravitasi, baik untuk stabilitas terhadap guling, geser, maupun keruntuhan daya dukung.

Menurut (Hertiany dan Asyifa, 2014) mengenai perencanaan dinding *sheet pile* dengan angkur sebagai pengganti dinding *gravity* pada daerah Proyek Sindu Kusuma Edupark Yogyakarta. Dalam tulisannya disebutkan bahwa nilai stabilitas dinding *gravity* tidak aman terhadap beberapa parameter beban statis, namun masih aman terhadap beban dinamis. Sedangkan penggunaan dinding *sheet pile* lebih aman terhadap beban statis dan dinamis.

Menurut (Papazafeiropoulus dkk, 2013) mengenai desain optimum dinding penahan tanah tipe kantilever menggunakan algoritma genetik dengan beberapa variable, seperti : dimensi, parameter dinding penahan tanah, serta batasan masalah optimalisasi. Dalam penelitian disebutkan bahwa untuk meminimalkan berat dinding penahan tanah dilakukan dengan simulasi numerik untuk sistem dinding penahan tanah menggunakan perangkat lunak elemen hingga *ABAQUS*. Penelitian tersebut membatasi dimensi-dimensi dinding penahan tanah dengan batas atas dan batas bawah untuk menentukan dimensi yang optimum.



Gambar 5. model dinding penahan tanah

Pada gambar diatas, dapat dijelaskan bahwa tinggi dinding dilambangkan dengan H , ketebalan dinding dilambangkan dengan t_{wall} , kedalaman embedment dilambangkan dengan h_{emb} , lebar kaki tumpuan dilambangkan dengan d_{toe} , lebar tumit dilambangkan dengan d_{heel} .

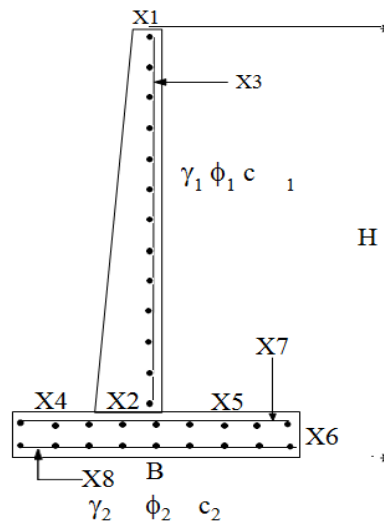
Metode optimalisasi tersebut dianalisis terhadap beban statis dan dinamis.

Kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut adalah sebagai berikut :

Panjang tumit dinding tidak banyak mempengaruhi stabilitasnya

Algoritma genetika yang digunakan untuk proses optimasi dalam penelitian ini lebih efisien, karena mengarah pada solusi optimal dengan jumlah evaluasi fungsi yang relatif rendah.

Menurut (Bazaz dan Fahmideh, 2012) mengenai desain biaya optimum untuk dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever menggunakan genetik algoritma. Dalam penelitian ini algoritma genetik digunakan untuk menentukan desain optimal dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever. Proses desain dan optimasi dilakukan dengan metode numerik menggunakan perangkat lunak *Matlab*. Fungsi obyektif dianggap diambil sebagai biaya dinding, dan desain didasarkan pada ACI 318-08.



Gambar 6. Variable desain dinding-tanah

Kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut adalah sebagai berikut :

Sudah dipastikan bahwa algoritma genetic dapat berhasil diterapkan pada desain biaya optimal dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever.

Proses optimasi dari 6 dinding menunjukkan pengurangan 5%-30% pada total biaya yang dikeluarkan terhadap tinggi dinding penahan tanah. Hal ini dapat dilihat dengan meningkatnya ketinggian dinding penahan tanah, maka total biayanya berkurang.

Desain optimum dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever menggunakan teknik intelligence swarm. Dalam penelitian tersebut, mereka mengusulkan untuk menggunakan metoda *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk mendesain dinding penahan tanah yang optimum. PSO adalah pendekatan yang kuat dalam masalah optimasi structural, algoritma ini memiliki parameter lebih sedikit dibandingkan dengan metode heuristik lain yang membuatnya lebih mudah digunakan. (Varaee dan Nedushan, 2009)

Menurut (Basudhar P.K dan Lakshman B, 2006) mengenai desain biaya optimal dinding penahan tanah tipe kantilever. Dalam Penelitian ini menentukan dimensi minimum dinding penahan yang memenuhi semua batasan desain. *Sequential Unconstrained Minimization Technique* (SUMT) bersama dengan algoritma Powell digunakan untuk menemukan solusi optimal untuk masalah yang diusulkan. Beberapa solusi percobaan dilakukan untuk mendapatkan desain optimal, yang dianggap sebagai minimum dari semua desain optimal untuk berbagai vektor percobaan. Diamati bahwa ketika lebar dinding atas meningkat dari 20 cm menjadi 30 cm, kenaikan biaya ditemukan berada dalam kisaran 9 - 15%. Dari studi di atas, analisis dapat dilakukan untuk menyusun

berbagai bagian desain yang diharapkan akan sangat membantu para insinyur lapangan untuk dimensi yang optimal dan estimasi biaya yang diperlukan.

4. KESIMPULAN

Dari berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengestimasi dinding penahan tanah yang ekonomis digunakan pada suatu jenis tanah tertentu, berdasarkan variabel material, alat/teknologi, tenaga kerja, dan waktu. Desain dinding penahan tanah dengan metode optimasi yang diterapkan di lapangan dilakukan dengan membuat model uji.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi-Nedushan, B., & Varae, H. (2009). *Optimal Design of Reinforced Concrete Retaining Walls using a Swarm Intelligence Technique. Proceedings of the First International Conference on Soft Computing Technology in Civil, Structural and Environmental Engineering*, 92 (January).
- Bazaz, J. B., Fahmideh, A. (2012). *Optimum Cost Design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Wall using Genetic Algorithm. 9th International Congress on Civil Engineering, May 8-10, 2012*. Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran.
- Basudhar P.K., Lakshman B, (2006). *Optimal Cost Design Of Cantilever Retaining Walls*. Indian Geotechnical Conference, India.
- Hakam, Abdul. (2010). *Stabilitas Lereng dan Dinding Penahan Tanah, CV Ferila, Padang*.
- Hertiany, I. R., Asyifa, A. (2014) *Perencanaan Konstruksi Sheet Pile Wall Sebagai Alternatif Pengganti Gravity Wall*. INERSIA, Vol. X No. 1, Mei 2014.
- Papazafeiropoulos, G., Plevris, V., & Papadrakakis, M. (2013). *Optimum design of cantilever walls retaining linear elastic backfill by use of genetic algorithm*. ECCOMAS Thematic Conference - COMPDYN 2013: 4th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Proceedings - An IACM Special Interest Conference, (June), 2731–2750.
- Setiawan, Hendra (2011) *Perbandingan Penggunaan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever dan Gravitasi dengan Variasi Ketinggian Lereng*. Infrastruktur Vol. 1 No. 2 Desember 2011: 88-95.

KARAKTERISTIK NILAI CBR TANAH CL-ML DISTABILISASI DENGAN SEMEN DAN KAPUR TERHADAP SIKLUS PEMBASAHAN PENGERINGAN

Abdul Hadi¹, Ferry Fatnanta², Gunawan Wibisono³

¹Program Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email: abdul.hadiabdul@student.unri.ac.id

²Staf Pengajar Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email: fatnanto1964@gmail.com

³Staf Pengajar Sarjana Program Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email: wibisono.gun@gmail.com

ABSTRACT

Soil is a material that is very influential in construction work. Most areas in Indonesia have soft soil conditions. CL-ML classified soils have a condition that is vulnerable to the addition of water content, causing the soil during the dry season to be cracked while in the rainy season it easily becomes soft (melting) like porridge. This situation becomes a problem when construction works are carried out on the soil. Efforts to improve the soil are needed so that the soil becomes stable. This research focuses to cycle process of wet-dry toward soil mechanical characterize effect that stabilized by cement and lime. The wetting cycle is done by immersing the sample test in the water while in the drying cycle the test object is placed in a place that is kept moist. The study was conducted with three variations of curing that are without curing, 14 and 28 days of curing. The results show that the characteristics of the CBR value for the wetting and drying cycle have different values. The addition of lime and cement to CL-ML soils show a significant increase in CBR values. This increase occurred in mixed soils without curing by drying 3 x 24 hours the second cycle with a value of 2.63 times compared to the initial CBR value. The addition of lime and cement increased the highest CBR value on curing for 28 days of drying 3 x 24 hours of the second cycle by 125.12%.

Keywords : CL-ML soil, stabilization of cement and lime, CBR, curing, wet-dry cycle.

ABSTRAK

Tanah merupakan material yang sangat berpengaruh dalam suatu pekerjaan konstruksi. Sebagian besar wilayah di Indonesia memiliki kondisi tanah yang lunak. Tanah yang diklasifikasikan CL-ML memiliki kondisi yang rentan terhadap penambahan kadar air sehingga menyebabkan tanah pada saat musim kemarau menjadi pecah-pecah sedangkan pada musim penghujan mudah menjadi lembek (mencair) seperti bubur. Keadaan ini menjadi masalah apabila dilaksanakan pekerjaan konstruksi di tanah tersebut. Usaha perbaikan tanah diperlukan agar tanah menjadi stabil. Penelitian ini menggunakan perbaikan tanah secara kimiawi yaitu dengan penambahan semen dan kapur yang menitik beratkan pengaruh proses siklus pembasahan pengeringan terhadap nilai CBR. Siklus pembasahan dilakukan dengan cara merendam sampel pengujian ke dalam air sedangkan pada siklus pengeringan benda uji diletakkan di dalam tempat yang terjaga kelembapannya. Penelitian dilakukan dengan tiga variasi pemeraman yaitu tanpa pemeraman, pemeraman 14 dan 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa karakteristik nilai CBR terhadap siklus pembasahan-pengeringan memiliki nilai yang berbeda. Penambahan

kapur dan semen terhadap tanah CL-ML mengalami peningkatan yang signifikan terhadap nilai CBR. Peningkatan ini terjadi pada tanah campuran tanpa pemeraman dengan pengeringan 3 x 24 jam siklus ke 2 dengan nilai 2,63 kali dibandingkan nilai CBR awal. Penambahan kapur dan semen meningkatkan nilai CBR tertinggi pada pemeraman selama 28 hari pengeringan 3 x 24 jam siklus ke 2 sebesar 125.12%.

Kata Kunci : tanah CL-ML, stabilisasi semen dan kapur, CBR, pemeraman, siklus pembasahan - pengeringan.

1. PENDAHULUAN

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil. Disamping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Jadi seorang ahli teknik sipil harus juga mempelajari sifat-sifat dasar dari tanah, seperti asal usulnya, penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (*compressibility*), kekuatan geser, kapasitas daya dukung terhadap beban, dan lain-lain (Braja M. Das, 1988).

Tanah yang diklasifikasikan tanah CL-ML memiliki rentang nilai indek plastisitas berkisar 4% s/d 7 %, dan batas cair dengan rentang 12% s/d 30% menurut grafik Plastisitas Casagrande, kondisi tanah ini sangat rentan terhadap penambahan kadar ini sehingga menyebabkan tanah pada saat musim penghujan mudah menjadi lembek (mencair) seperti bubur dan musim kemarau menjadi pecah-pecah. Keadaan ini menjadi masalah apabila di atasnya dilaksanakan pekerjaan konstruksi seperti untuk pekerjaan jalan karena jenis tanah ini rentan terhadap perubahan kadar air. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut yaitu dengan melakukan stabilisasi.

Pada penelitian ini meninjau pengaruh pembasahan dan pengeringan terhadap nilai CBR dengan mengurangi campuran semen dan menambahkan kapur. Penambahan kapur dilakukan karena harga kapur yang lebih ekonomis dibandingkan harga semen. Pemilihan campuran direncanakan agar nilai CBR Tanah CL-ML dapat memenuhi syarat stabilisasi yang ekonomis dan memiliki nilai CBR yang cukup kuat sebagai pengganti base yaitu sebesar antara 50% sampai 150% menurut Ingles dan Metcalf, (1972).

Sesuai permasalahan pada tanah CL-ML maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh siklus pembasahan dan pengeringan tanah CL-ML distabilisasi dengan campuran semen dan kapur menggunakan proctor standard ditinjau dari nilai CBR.

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah : menganalisis karakteristik nilai CBR pada tanah CL-ML distabilisasi dengan campuran semen dan kapur menggunakan proctor standard. Sedangkan manfaat dari penelitian ini memperoleh pengetahuan mengenai pengaruh yang ditimbulkan oleh penambahan semen dan kapur

terhadap tanah CL-ML dan dapat dijadikan sebagai acuan dalam perencanaan stabilisasi tanah.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*) (Hary Christady Hardiyatmo, 2006). Sedang Braja M. Das (1988) mendefinisikan tanah sebagai bahan yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) antara satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

2.2 Semen

Semen mempunyai unsur utama kalsium oksida, silikat dan aluminat yang bersifat hidrolis (membutuhkan air), akan berubah menjadi pasta pengikat ketika bereaksi dengan air. Bahan dasar semen pada umumnya ada 3 macam yaitu klinker/terak (70% hingga 95%, merupakan hasil olahan pembakaran batu kapur, pasir silika, pasir besi dan lempung), gypsum (sekitar 5%, sebagai zat pelambat pengerasan) dan material ketiga seperti batu kapur, pozzolan, abu terbang, dan lain-lain. Jika unsur ketiga tersebut tidak lebih dari sekitar 3 % umumnya masih memenuhi kualitas tipe 1 atau OPC (*Ordinary Portland Cement*). Namun bila kandungan material ketiga lebih tinggi hingga sekitar 25% maksimum, maka semen tersebut akan berganti tipe menjadi PCC (*Portland Composite Cement*)

Stabilisasi tanah-semen untuk mereduksi keplastisan tanah dasar (*subgrade*) yang plastis dan dalam kondisi sangat basah, untuk maksud stabilisasi campuran tanah-semen dapat berhasil dengan hanya kadar semen 4%, namun dalam beberapa kasus dibutuhkan kadar semen 20% sampai 25% yang menjadi tidak ekonomis lagi. Kadar semen yang cocok untuk tanah tertentu, dapat ditentukan dengan melakukan uji kuat tekan bebas dengan kadar semen yang divariasikan. (Primadona, S., Muhandi, Kurniawandy, A, 2015).

2.3 Kapur

Kapur memiliki sifat sebagai bahan ikat antara lain : sifat plastis baik (tidak getas), mudah dan cepat mengeras, *workability* baik dan mempunyai daya ikat baik untuk batu dan bata (Denny Boy Pinasang, 2016). Bahan dasar kapur adalah batu kapur atau dolomit, yang mengandung senyawa kalsium karbonat (CaCO_3). Pengertian kapur sebagai bahan stabilisasi mengacu pada mineral kapur berupa kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), kalsium oksida (CaO) dan kalsium karbonat (CaCO_3).

Stabilisasi tanah dengan kapur telah banyak digunakan pada proyek-proyek jalan dibanyak negara. Untuk hasil optimum kapur yang digunakan biasanya antara 3%

sampai dengan 7% Thomson (1968) menemukan bahwa dengan kadar kapur antara 5% sampai dengan 7% akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar dari pada kadar kapur 3%.

2.4 Cara Pencampuran

Pekerjaan stabilisasi tanah-semen dilapangan adalah mencampur secara merata tanah yang telah digemburkan dengan semen, pada kadar semen tertentu dan dengan kadar air yang secukupnya agar diperoleh kepadatan yang maksimum.

Stabilisasi tanah-semen-kapur harus memenuhi kriteria kekuatan campuran, namun yang harus menjadi perhatian juga adalah kriteria daya tahan campuran harus dipenuhi. Kriteria daya tahan dinyatakan dalam persen kehilangan berat campuran terhadap siklus pembasahan dan pengeringan. Pengujian pembasahan dan pengeringan perlu dilakukan terutama pada tanah-tanah didaerah tropis dan subtropis.

Hal lain yang juga perlu diperhatikan adalah masalah retak (*crack*), penambahan semen dan kapur akan menghasilkan kenaikan kuat tekan, kapasitas dukung, dan memperbaiki ketahanan tanah terhadap pelunakan oleh pengaruh air, namun kadar semen yang terlalu tinggi akan menimbulkan masalah retak (*crack*).

2.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh data-data mengenai sifat fisis benda uji meliputi analisa ukuran butiran, berat jenis dan batas-batas konsistensi tanah, selain itu juga untuk memperoleh data pemadatan dan karakteristik nilai CBR Tanah CL-ML terhadap siklus pembasahan pengeringan. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.5.1 Persiapan Benda Uji

Benda uji yang disiapkan berupa tanah CL-ML, Semen dan Kapur. Tanah CL-ML yang digunakan memiliki nilai Indeks Plastisitas(PI) kecil dari 10%. Benda uji (tanah CL-ML) yang dipersiapkan merupakan benda uji yang sudah dihancurkan dan disaring dengan saringan nomor 4 untuk mendapatkan bendauji dengan ukuran yang diinginkan, dan sudah dikeringkan di dalam oven selama 24 jam untuk mendapatkan kondisi kadar air 0%, sebelum dilakukan pencampuran. Persiapan benda uji pada siklus pembasahan dan pengeringan diperlihatkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rencana persiapan benda uji pada siklus pembasahan pengeringan.

No	Campuran	Kadar air
1	Tanah Asli, Tanah Asli + 3% Semen + 4% Kapur	$w_1 = w$ (setelah pemeraman) Siklus I Pembasahan w_2 (w setelah direndam 3 jam) w_3 (w setelah direndam 5 jam) w_4 (w setelah direndam 7 jam) Pengeringan w_5 (w setelah direndam selama 7 jam dan diangin-anginkan 1 x 24 jam) w_6 (w setelah direndam selama 7 jam dan diangin-anginkan 2 x 24 jam) w_7 (w setelah direndam selama 7 jam dan diangin-anginkan 3 x 24 jam) Siklus II Pembasahan w_8 (w setelah siklus I (pembasahan dan pengeringan) dan direndam 3 jam) w_9 (w setelah siklus I (pembasahan dan pengeringan) dan direndam 5 jam) w_{10} (w setelah siklus I (pembasahan dan pengeringan) dan direndam 7 jam) Pengeringan w_{11} (w setelah pembasahan siklus ke II (direndam selama 7 jam) dan diangin-anginkan 1 x 24 jam) w_{12} (w setelah pembasahan siklus ke II (direndam selama 7 jam) dan diangin-anginkan 2 x 24 jam) w_{13} (w setelah pembasahan siklus ke II (direndam selama 7 jam) dan diangin-anginkan 3 x 24 jam)

2.5.2 Pengujian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan meliputi uji properties tanah, sifat fisik tanah dan pengujian pemadatan. Pengujian properties dan sifat fisik tanah di antaranya adalah analisa hidrometer, berat jenis, dan batas konsistensi tanah. Tujuan uji pendahuluan adalah untuk klasifikasi tanah. pengujian proktor standar dilakukan pada tanah asli campuran untuk mendapatkan kadar air optimum (OMC) dan berat volume kering maksimum (MDD).

2.5.3 Pengujian Utama

Pengujian CBR lab dilakukan berdasarkan ASTM d 1883 dan acuan normatif SNI 03-1744-1989. Pada penelitian ini benda uji diberikan perlakuan proses pembasahan dan pengeringan. Proses pembasahan dilakukan terlebih dahulu dengan merendam selama 3 (tiga) jam, 5 (lima) jam dan 7 (tujuh) jam perendaman. Proses pengeringan dilakukan setelah perendaman selama 7 (tujuh) jam dengan cara dibiarkan dalam ruangan pada interval waktu 1 (satu) hari, 2 (hari) dan 3(hari) untuk kemudian dilakukan pengujian CBR. Setiap proses dari pembasahan dan pengeringan dilakukan pengujian CBR.

Pengujian CBR dilakukan pada bagian atas dan bawah benda uji, nilai CBR yang tertinggi dari pengujian akan dijadikan sebagai hasil dari pengujian tersebut.

3. HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan berdasarkan prosedur yang mengacu pada standar ASTM dan SNI. Data diperoleh dari serangkaian pengujian yang dilakukan di laboratoium. Penentuan karakteristik tanah dilakukan pada tanah asli atau tanpa campuran bahan lain. Hasil dari pengujian untuk mengetahui karakteristik tanah yang telah diuji di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli

No.	Jenis Pengjian	Hasil
1	Berat Jenis (Gs)	2.66
2	Batas Cair (%)	24.1
3	Batas Plastis (%)	19.2
4	Indeks Plastisitas (%)	4.9
5	Kerikil (%)	0.00
6	Pasir (%)	34.91
7	<i>Silt + Clay (%)</i>	65.09
8	OMC (%)	16
9	g_{dmax} , (gr/cm ³)	1.74
10	CBR (%)	14.0%

3.1.1 Hasil Pengujian Berat Jenis (Gs)

Berat Jenis adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) dengan volume yang sama. Penelitian ini dilakukan pada dua sampel yang berbeda dan setiap sampel dilakukan dua pengujian berat jenis, agar nilai yang diperoleh lebih akurat dan mewakili seluruh sampel yang digunakan untuk penelitian. Hasil dari pengujian berat jenis dapat dilihat pada Tabel 3.

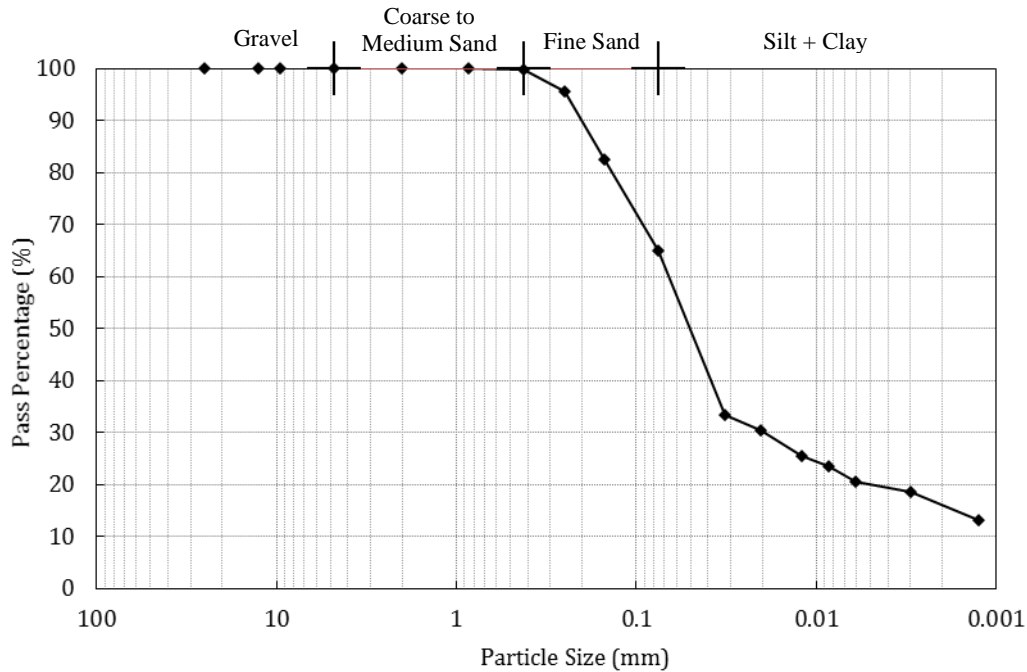
Tabel 3 Hasil Pengujian Berat Jenis (Gs)

Sampel	Berat Jenis, GS	Rata-Rata
1.1	2.660	2.659
1.2	2.658	
2.1	2.662	2.662
2.2	2.661	

Berdasarkan Tabel 4.2 menunjukkan bahwa berat jenis tanah asli yang digunakan pada penelitian ini sebesar 2.66.

3.1.2 Hasil Analisa Ukuran Butiran Tanah

Analisa ukuran butiran pada penelitian ini menggunakan hidrometer dan analisa ukuran butiran mekanis. Hidrometer digunakan untuk menentukan ukuran butiran yang lolos saringan No.200 atau butiran lebih kecil dari 0.074 mm, sedangkan analisa ukuran butiran mekanis untuk butiran yang tertahan saringan No.200 atau butiran lebih besar dari 0.074 mm menggunakan satu set saringan. Pengujian analisa ukuran butiran dilakukan pada dua sampel dan diperoleh grafik distribusi ukuran butiran seperti yang terlihat pada Gambar 1, hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 1 Kurva Distribusi Ukuran Butiran Tanah Asli

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Analisa Ukuran Butiran

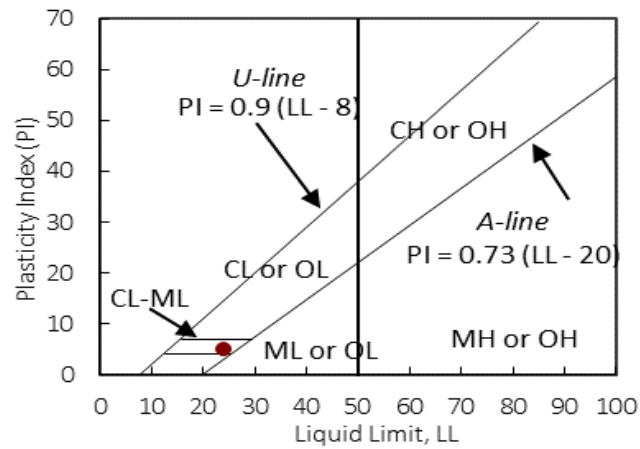
Butiran	Nilai
Kerikil	0,00 %
Pasir	34.91 %
Lanau + Lempung	65.09 %

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat dari tabel tanah didominasi oleh tanah halus sebesar 65,09% dan pasir sebesar 34.91%.

3.1.3 Hasil Pengujian Batas-Batas Konsistensi Tanah

Pengujian batas konsistensi tanah yang dilakukan adalah pengujian batas cair tanah dan pengujian batas plastis tanah. Selisih dari nilai batas cair dan batas plastis menghasilkan nilai indeks plastisitas. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai batas cair sebesar 24.09%, batas plastis sebesar 19.19% dan indeks plastisitas 4.90%, sehingga tanah dapat

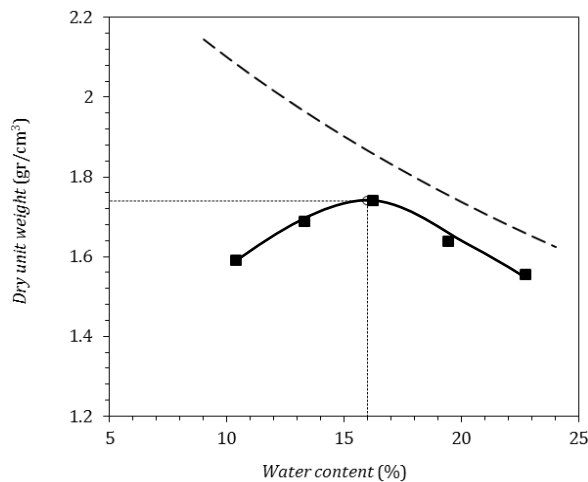
diklasifikasikan menurut USCS dengan menghubungkan nilai batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik Klasifikasi Tanah Menurut USCS

3.1.4 Hasil Pengujian Pemadatan Tanah

Pemadatan tanah dilakukan pada tanah asli untuk menentukan kadar air optimum dan berat volume optimum dari tanah. Kadar air optimum berfungsi sebagai kadar air untuk pencampuran sampel CBR yang menjadi tinjauan dalam penelitian ini. Hasil dari pengujian pemadatan tanah dapat dilihat pada Gambar 3.

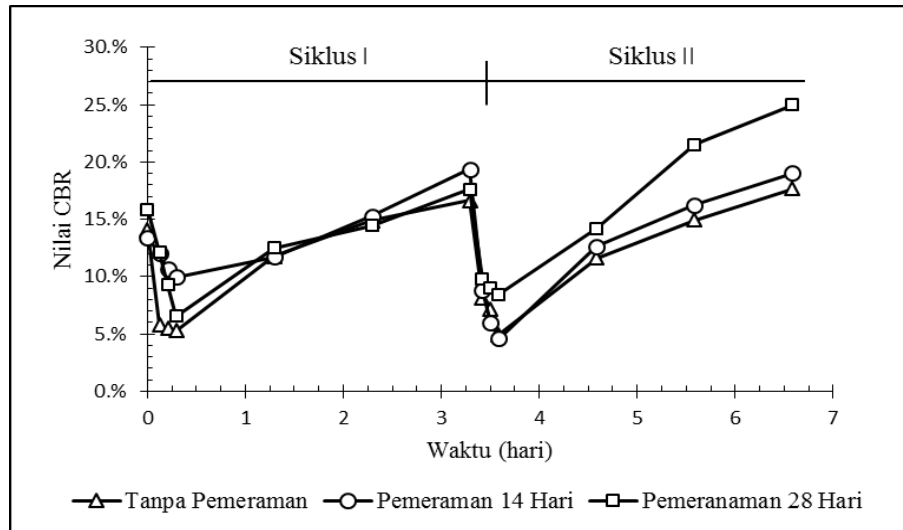


Gambar 3 Hasil Pengujian Pemadatan Tanah

Berdasarkan Gambar 4.4 diperoleh kadar air optimum tanah (OMC) adalah sebesar 16% dan berat volume kering (γ_{dry}) adalah 1,74 gr/cm³.

3.1.5 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Nilai CBR Tanah Asli

Hasil pengujian CBR tanah asli di hubungkan dengan waktu pemeraman yang berfungsi untuk mengetahui pengaruh pemeraman terhadap nilai CBR. Hasil dari pengujian CBR tanah asli dapat dilihat pada Gambar 4.

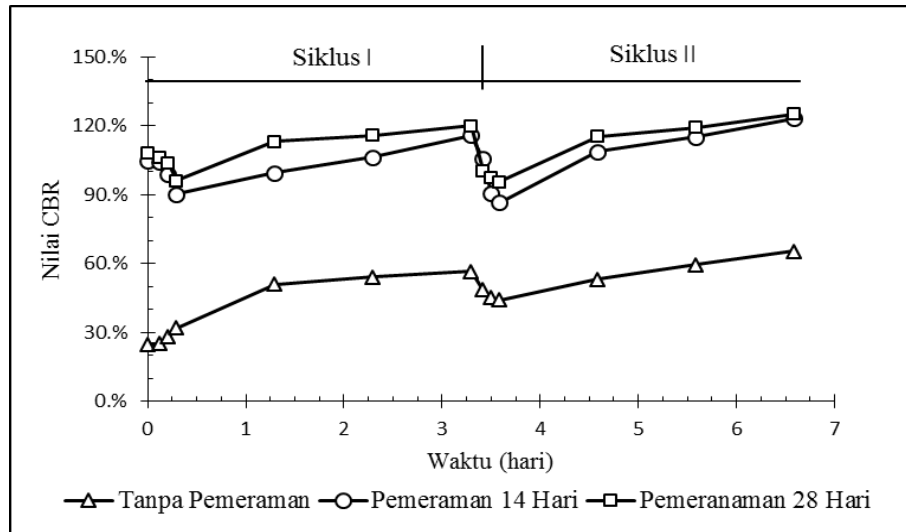


Gambar 4 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Nilai CBR Tanah Asli

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat perubahan nilai CBR akibat variasi pemeraman pada tanah asli. Secara keseluruhan perubahan nilai CBR tanah asli tidak begitu signifikan. Pada siklus pertama nilai CBR tidak jauh berbeda terlihat pada grafik yang saling bersinggung satu sama lain. Pada siklus kedua nilai CBR semakin tinggi seiring dengan lama pemeraman, karena semakin lama pemeraman maka tanah akan lebih mengikat antara partikelnya yang menyebabkan tanah menjadi lebih kuat.

3.1.6 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Nilai CBR Tanah Campuran

Hasil pengujian CBR tanah asli + 4% Kapur + 3% semen di hubungkan dengan waktu pemeraman yang berfungsi untuk mengetahui pengaruh pemeraman terhadap nilai CBR. Hasil dari pengujian CBR tanah campuran ini dapat dilihat pada Gambar 5.



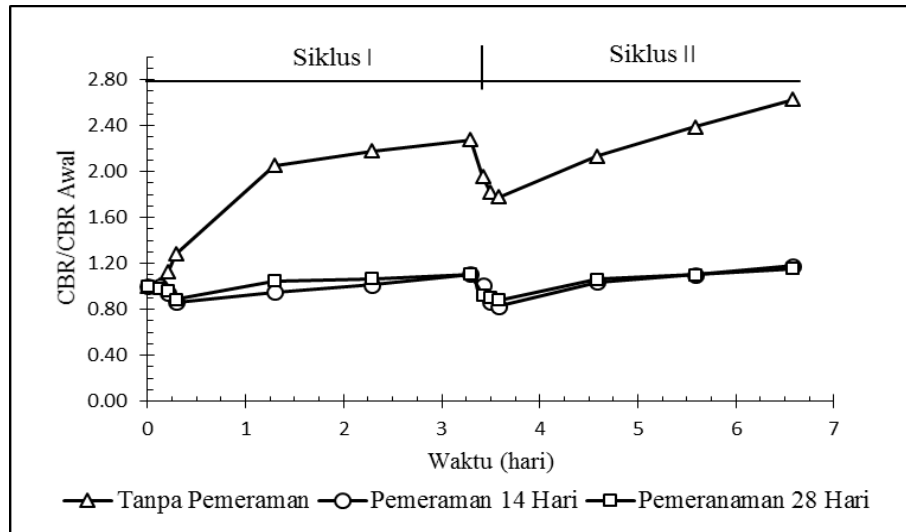
Gambar 5 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Nilai CBR Tanah Campuran

Nilai CBR tanah campuran semakin meningkat seiring lamanya masa pemeraman. Pada masa pemeraman reaksi yang disebabkan oleh semen dan kapur dalam tanah bereaksi dan membentuk pasta dan lama-kelamaan kandungan semen dan kapur dalam tanah tersebut mulai mengeras.

Tanah campuran pemeraman 14 hari dibandingkan dengan tanah tanpa pemeraman terlihat sangat naik begitu drastis, karena pemeraman selama 14 hari mengakibatkan semen dan kapur bereaksi seiring berjalannya waktu sedangkan tanpa pemeraman tanah campuran masih dalam proses mengeras. Pada pemeraman tanah campuran 28 hari jika dibandingkan dengan pemeraman 14 hari maka terlihat peningkatan yang tidak begitu signifikan, karena semen dan kapur telah mengikat dengan sempurna. Terlihat pada Gambar 4.16 siklus kedua pembasahan tujuh jam lalu pengeringan tiga hari, nilai CBR tanah campuran pemeraman 14 hari dan 28 hari yang hampir sama, hal ini menunjukkan semen dan kapur telah mengalami akhir reaksi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemeraman 28 hari tidaklah efektif untuk daya dukung tanah berdasarkan nilai CBR.

3.1.7 Normalisasi Nilai CBR Tanah Campuran

Peningkatan nilai CBR akibat waktu pemeraman dapat dilihat dengan membagi nilai CBR dengan CBR sebelum siklus pembasahan dan pengeringan dilakukan seperti yang terlihat pada Gambar 6.



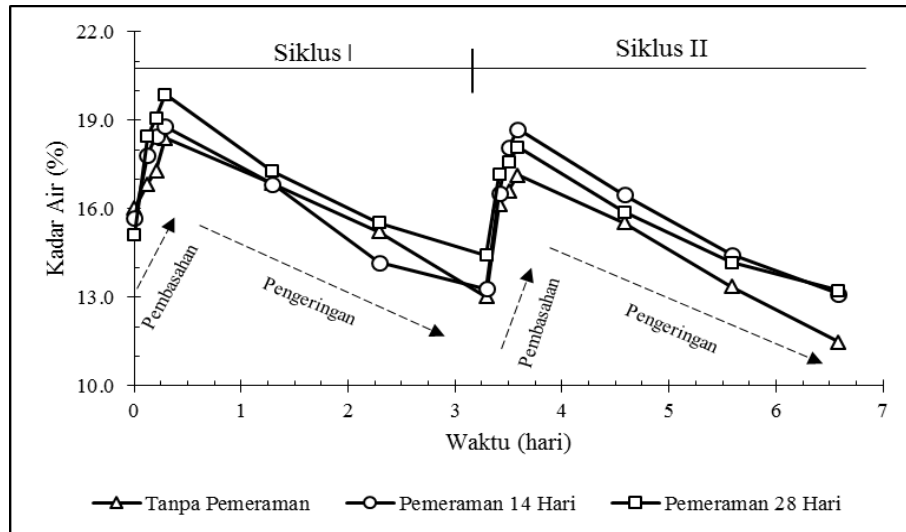
Gambar 6 Nilai CBR Tanah Campuran Dibagi Nilai CBR Awal

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa peningkatan nilai CBR pada tanah campuran tanpa pemeraman meningkat drastis. Peningkatan terjadi karena pada awal campuran semen dan kapur bereaksi dengan cepat, sedangkan pada pemeraman 14 hari dan 28 hari peningkatan nilai CBR relatif sama, hal tersebut terjadi karena campuran kapur dan semen telah bereaksi dengan matang.

Peningkatan nilai CBR pada tanah campuran tanpa pemeraman mencapai nilai 2,63 yang terjadi pada siklus kedua pembasahan tujuh jam dan pengeringan selama tiga hari, sedangkan pada pemeraman 14 dan 28 hari hanya meningkat sangat kecil yaitu 1.18 dibandingkan nilai CBR awal. Peningkatan nilai CBR pada tanah campuran tanpa pemeraman terjadi karena campuran kapur dan semen bereaksi dengan cepat seiring dengan siklus pembasahan dan pengeringan yang berlangsung selama 6 hari 14 jam. Pemeraman 14 hari dan 28 hari peningkatan nilai CBR tidak terjadi begitu signifikan, hal tersebut terjadi karena pada proses pemeraman campuran kapur dan semen telah bereaksi dengan matang, sehingga pada tanah campuran pemeraman 14 hari dan 28 hari peningkatan nilai CBR terjadi karena proses pembasahan dan pengeringan.

3.1.8 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Kadar Air Tanah Asli

Hasil pengujian kadar air tanah asli di hubungkan dengan waktu pemeraman yang berfungsi untuk mengetahui pengaruh pemeraman terhadap nilai kadar air. Hasil dari pengujian kadar air tanah asli dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.17.

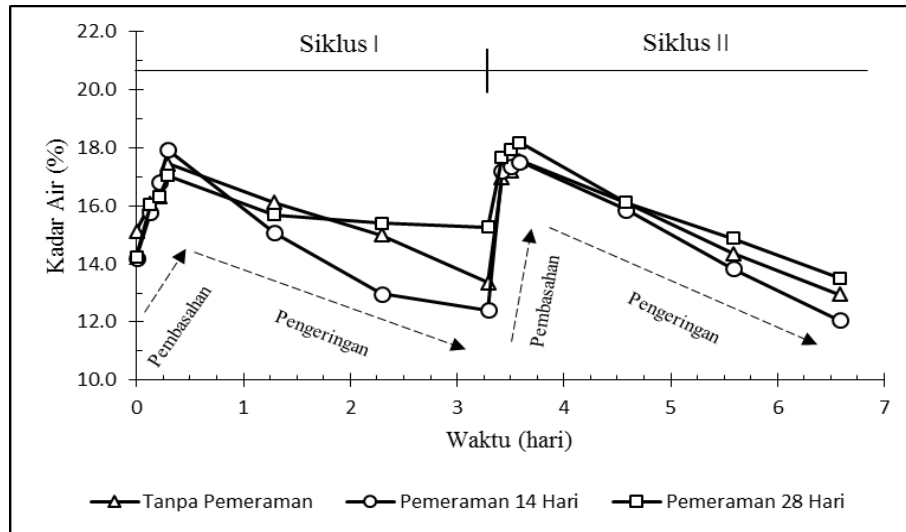


Gambar 7 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Kadar Air Tanah Asli

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat pengaruh pemeraman terhadap perubahan kadar air. Pada proses pembasahan siklus pertama terlihat kenaikan kadar air meningkat sesuai dengan lamanya pemeraman. Pada proses pengeringan dua hari siklus pertama terlihat kadar air tanah asli pemeraman 14 hari yang lebih rendah dibandingkan tanah tanpa pemeraman, hal itu mungkin terjadi karena pengambilan sampel untuk pengujian kadar air yang tidak sesuai dengan kadar air sebenarnya. Pada siklus kedua terlihat kadar air yang tanah asli pemeraman 14 hari lebih tinggi dibandingkan tanah asli pemeraman 28 hari dan tanah asli tanpa pemeraman, hal ini terjadi karena kadar air tanah asli pemeraman 28 hari telah mengalami berkurang akibat pemeraman. Tanah CL-ML sangat rentan terhadap perubahan kadar air, tanah plastisitas rendah yang cepat mengalami retak jika kekurangan kadar air dan menjadi sangat lunak jika kadar air tinggi.

3.1.9 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Kadar Air Tanah Campuran

Hasil pengujian kadar air tanah asli + 4% kapur + 3% semen di hubungkan dengan waktu pemeraman yang berfungsi untuk mengetahui pengaruh pemeraman terhadap nilai kadar air. Hasil dari pengujian kadar air tanah campuran dapat dilihat Gambar 8.



Gambar 8 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Kadar Air Tanah Campuran

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat perubahan kadar air tanah campuran akibat variasi pemeraman. Secara umum kadar air tanah campuran pemeraman 28 hari memiliki kadar air tertinggi, selanjutnya tanah campuran tanpa pemeraman dan yang paling rendah adalah tanah campuran 14 hari. Hal itu terjadi karena pada pemeraman yang terlalu lama yaitu 28 hari menyebabkan tanah campuran melemah akibat sifat fisik dari tanah CL-ML yang sangat rentan terhadap perubahan kadar air. Tanah CL-ML yang memiliki kadar air rendah mengakibatkan terbukanya pori tanah karena lemahnya ikatan antara tanah, jika pori yang kosong tersebut diisi oleh air menyebabkan tingginya nilai kadar air.

Kadar air tanah campuran yaitu berkisar antara 12,06% - 18,18%, sedangkan kadar air tanah asli yaitu berkisar antara 11,49% - 19,88%. Data tersebut menunjukkan bahwa tanah asli mudah dilewati oleh air dibandingkan tanah campuran, sehingga air lebih mudah meresap dan keluar pada tanah asli. Campuran kapur dan semen memperkecil nilai kadar air pada tanah CL-ML.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan mengenai karakteristik nilai CBR tanah CL-ML distabilisasi dengan semen dan kapur terhadap siklus pembasahan pengeringan, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian CBR tanah campuran 4% kapur dan 3% semen dapat disimpulkan bahwa penambahan semen dan kapur menaikkan nilai CBR yang sangat signifikan. Nilai CBR tanah campuran mencapai 125,12% sedangkan tanah asli jauh dibawah tanah campuran yaitu 24,98%, peningkatan nilai CBR mencapai 5 (lima) kali lipat.
2. Berdasarkan hasil penelitian waktu pemeraman mempengaruhi nilai CBR, tanah asli mengalami peningkatan yang tidak begitu signifikan sedangkan tanah campuran mengalami peningkatan yang signifikan dari tanpa pemeraman ke

pemeraman 14 hari tetapi pada pemeraman 28 hari tidak terjadi peningkatan yang signifikan.

3. Berdasarkan hasil normalisasi nilai CBR tanah campuran terlihat peningkatan nilai CBR paling besar pada tanah campuran tanpa pemeraman dibandingkan pemeraman 14 hari dan 28 hari. Reaksi kapur dan semen sangat cepat pada siklus pertama yang berlangsung selama 6 hari 14 jam, peningkatan nilai CBR mencapai 2,63 kali dibandingkan nilai CBR awal.
4. Kadar air berdasarkan hasil penelitian relatif sama pada setiap variasi pemeraman. Perbedaan kadar air tidak terlihat begitu signifikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknik Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B.M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Mekanika Tanah) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H.C. (2012). *Mekanika Tanah 1 Edisi ke Enam*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan Edisi Pertama*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Lesmana, R.I., Muhandi., Nugroho, S.A. (2016). *Stabilisasi Tanah Plastisitas Tinggi Dengan Semen*. Jom FTEKNIK Volume 3 No. 2
- Pratama, Dodi. (2018). *Karakteristik Nilai Kuat Tekan Bebas Stabilisasi Semen Tanah CL-ML Terhadap Siklus Pembasahan Pengeringan*. Jom FTEKNIK Volume 5 No. 1
- Pratito, M.J., Safitri, W., Safitri, C.N., dkk (2014). *Pengaruh Siklus Pengeringan dan Pembasahan Terhadap Sifat Fisik, Mekanik dan Dinamik Pada Tanah Tanggul Sungai Bengawan Solo Cross Section 0±500 Desa Semambung Bojonegoro Yang Distabilisasi Dengan Kapur, Fly Ash, dan Mikro Biobakteri*. Jurnal Teknik POMITS Vol. 1 No. 1
- Primadona, S., Muhandi., Kurniawandi, A. (2015). *Stabilisasi Tanah Plastisitas Rendah Dengan Semen*. Jom FTEKNIK Volume 2 No. 2
- SNI 3423:2008. *cara uji analisis ukuran butir tanah*. Badan Standar Nasional.
- SNI 03-3438-1994. *Tata Cara Pembuatan Rencana Stabilisasi Tanah Dengan Semen Portland Untuk Jalan*. Badan Standar Nasional Republik Indonesia.
- Tanfati, N.P., dan Ridwan, M. (2014). *Pengaruh Siklus Pembasahan (wetting) dan Pengeringan (Drying) Berulang Pada Tanah Lempung Ekspansif Dengan Kemampuan Kembang Susut Sedang Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (qu)*. Diakses: ejournal.unesa.ac.id
- Widodo, T., dan Qosari, R.I. (2011). *Efektifitas Penambahan Matos Pada Stabilisasi Semen Tanah Berbutir Halus*. Diakses: Jurnalteknik.janabadra.ac.id

Widiyanto, A., dan Wiyono, S. (2014). Pengaruh Kadar Air dan Bahan Ikat Semen Terhadap Keretakan Lapis Perkerasan Tanah Semen. Konferensi Regional Teknik Jalan ke 13, Makassar, Indonesia

ANALISIS NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) PADA TANAH DASAR (*SUBGRADE*) JALAN RAYA.

Liliwarti¹, Dwina Achenita², Yudhi Marlyanto³

¹ Teknik Sipil, Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang.
Email: liliwartie@gmail.com

² Teknik Sipil, Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang, Padang.
Email: dwina_a@hotmail.com

³ Mahasiswa Teknik Sipil, Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Padang,
Padang. Email: yudhimulyanto5@gmail.com

ABSTRACT

In the highway pavement design, the subgrade is very important for carrying the traffic load. Therefore, the quality of road pavement depends on the conditions of the subgrade. Many road pavements are damaged before the design life such as cracks and settlement, which is caused by soft-subgrade, so it is unable to carry the traffic load. To solve this problem, it is necessary to study the subgrade (physical and mechanical properties of the soil) so that it can provide the solution for the soft-subgrade problem. The Bypass Highway of Padang City is a highway with a very heavy traffic volume, and there has been damage to this road such as cracks and settlements on the flexible pavement or rigid pavement. This research discusses the soil classification and the value calculation of California Bearing Ratio (CBR) by using the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) and the laboratory CBR test. The results shows that the soil at STA 17 + 00 s/d STA 21+00 is classified as A-7-6 (clay soil with a moderate to bad rating) with the DCP test (field test) is 5% and the CBR laboratory test is 6.6%. The results of this study can contribute to the development of the Geotechnics Science and can also be utilized by the consultants and contractors for the consideration of the construction of the road on the soft soil.

Keywords : Soil classification, CBR, DCP

ABSTRAK

Pada perencanaan perkerasan jalan raya, tanah dasar (*Sub grade*) merupakan fondasi yang menahan beban perkerasan yang berasal dari beban / kendaraan yang melewati suatu jalan, oleh karena itu kualitas suatu jalan sangat di tentukan oleh kondisi tanah dasar (*sub grade*). Banyak jalan yang rusak sebelum umur rencana seperti, bergelombang, retak retak dan bahkan terjadi penurunan pada badan jalan, hal ini disebabkan oleh tanah dasar yang lunak, sehingga tidak mampu menahan beban lalu lintas. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan kajian terhadap tanah dasar (*subgrade*) sehingga dapat memberikan solusi yang tepat untuk penanganan tanah dasar yang lunak (bermasalah) . Jalan raya by pass kota Padang merupakan jalan yang sangat padat, dan sudah terjadi kerusakan jalan. Pada penelitian ini akan dibahas jenis tanah dan nilai *California Bearing Ratio (CBR)* dengan menggunakan *Dinamic Cone Penetrometer (DCP)* dan uji *CBR* laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan, jenis tanah pada pada STA 17 + 00 s/d STA 21+00 yaitu termasuk A-7-6 (AASTHO), dengan nilai CBR lapangan sebesar 5 % dan CBR laboratorium sebesar 6.6 %. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang perbaikan/perkuatan tanah (*soil improvement*), dan juga dapat dimanfaatkan oleh para pelaku konstruksi untuk pertimbangan pembangunan jalan diatas tanah yang bermasalah.

Key word : CBR, Jenis tanah, DCP

1. PENDAHULUAN

Tanah dasar (*Subgrade*) merupakan fondasi yang mendukung konstruksi perkerasan jalan yang ada di atasnya, oleh karena itu perencanaan suatu perkerasan jalan sangat ditentukan oleh kondisi tanah dasar (*subgrade*). Permasalahan yang sering timbul pada jalan raya adalah jalan retak retak, bergelombang dan terjadinya penurunan pada badan jalan, sehingga terganggu kenyamanan lalu lintas, bahkan dapat menimbulkan kecelakaan. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan kajian terhadap tanah dasar (*subgrade*) sehingga dapat memberikan solusi yang tepat untuk penanganan tanah dasar yang lunak (bermasalah), sudah banyak metoda yang digunakan untuk memperbaiki tanah dasar yang bermasalah, hal ini harus disesuaikan dengan kondisi dan jenis tanah pada lokasi tersebut.

Kelurahan Aia Pacah Kecamatan Koto Tangah kota Padang merupakan daerah pengembangan kota Padang pasca gempa 2009, sudah banyak bangunan jalan dan bangunan pemerintahan yang berlokasi di Aia Pacah tersebut, namun dari pengamatan lapangan banyak bangunan Jalan dan gedung yang mengalami retak dan terjadi penurunan, hal ini disebabkan oleh tanah dasar yang lunak dengan muka air tanah yang tinggi. Melihat kondisi seperti itu maka sangat dibutuhkan kajian terhadap tanah dasar (sifat fisik maupun mekanik) sehingga dapat memberikan solusi yang tepat dalam mengatasi tanah yang bermasalah.

Pada penelitian ini peneliti akan menganalisa jenis tanah dan nilai *California Bearing Ratio (CBR)* terhadap tanah dasar di Kelurahan Aia Pacah Kecamatan Koto Tangah kota Padang.

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan oleh para pelaku konstruksi untuk pembangunan jalan di Aia Pacah kota Padang .

2. STUDI PUSTAKA

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Permasalahan yang sering timbul adalah daya dukung tanah dasar yang kurang baik, kembang susut yang tinggi, dan terjadinya dan retak retak pada permukaan jalan raya. Untuk mengetahui/mendapatkan solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu dilakukan kajian dan analisa terhadap tanah dasar baik sifat fisis maupun sifat mekanis tanah. Sudah banyak dilakukan usaha perbaikan tanah dasar (stabilisasi dan perkuatan) dengan tujuan untuk mendapatkan daya dukung sehingga dapat mendukung beban yang berada di atasnya, terutama beban pada jalan raya.

Devendra Kumar Choudhary dkk, (2014) meneliti tentang metoda CBR untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan lentur, hasil menunjukkan, semakin tinggi nilai CBR maka tebal lapisan perkerasan semakin tipis.

Gill, K.S.dkk (2010), meneliti tentang Estimasi nilai CBR dengan menggunakan penetrasi dinamis (DCP), hasil memperlihatkan nilai CBR dari tes DCP dapat dibuat korelasi dengan nilai CBR laboratorium.

Sukirman (1999), menjelaskan perkerasan jalan diletakkan di atas tanah, maka secara keseluruhan mutu dan daya tahan konstruksi perkerasan tidak lepas dari sifat tanah dasar. Tanah dasar merupakan bagian terakhir yang menerima beban roda kendaraan yang distribusikan dari lapisan permukaan. Metode yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah dasar dapat ditentukan dengan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) dan DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*).

Setiadji (2005), meneliti tentang penggunaan berbagai bahan limbah sebagai material perkerasan, salah satu diantaranya adalah *Sugar mill residue ash*, hasil menunjukkan PI menurun secara signifikan, dan nilai CBR meningkat sampai penambahan *Sugar mill residue ash* 3% dan selanjutnya nilai CBR menurun.

2.1 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah didasarkan oleh ukuran partikel yang didapat dari hasil uji analisa saringan, hydrometer dan plastisitas. Dalam bidang geoteknik sering digunakan 2 sistim klasifikasi yaitu sistim AASTHO dan USCS.

2.2 Sifat Fisis Tanah

Pengujian sifat fisis meliputi : kadar air, berat jenis, analisa butir dan batas batas atterberg.

a. Kadar Air (w)

Adalah perbandingan antara berat air dengan berat tanah kering yang dinyatakan dalam persen.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

b. *Specific Gravity* (Berat Jenis Spesifik), G_s

Adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air γ_w pada temperatur 4⁰ C.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots(2)$$

c. Analisa Butir

Sifat-sifat tanah tergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan sebagai dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu.

d. Batas batas Atterberg

Konsistensi tanah adalah kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air (w_c)

Batas-batas konsistensi tanah di dasarkan pada kadar air, yaitu:

1. Batas cair (*Liquid limit /LL*)/ WL
2. Batas plastis (*Plastic Limit/ PL*)/ Wp.
3. Batas susut (*Shrinkage limit*)/ SL

2.3 Sifat Mekanis Tanah

Kemampuan tanah dalam menahan beban tanpa terjadi keruntuhan disebut dengan sifat mekanis.

2.3.1 Pemasatan

Pemasatan merupakan usaha untuk meningkatkan kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel.

$$\text{Berat volume tanah } (\gamma) = \frac{B}{V} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan,

γ = berat volume, B = berat Tanah, V = volume tanah dan w = kadar air

$$\text{berat volume kering } (\gamma_d) = \frac{\gamma}{1 + w} \dots\dots\dots(4)$$

2.3.2 CBR (California Bearing Ratio)

CBR didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara beban percobaan (test load) dengan beban standar (standard load). CBR digunakan untuk menentukan tahanan penetrasi material terhadap tahanan penetrasi standar yang dinyatakan dalam persen..

$$CBR(\%) = \frac{\text{Beban.penetrasi}}{\text{Beban.s tan dar}} * 100\% \dots\dots\dots(5)$$

2.3.3 Dinamic Cone Penetrometer (DCP)

Pengujian DCP dilakukan dengan cara melakukan penetrasi pada tanah yang diuji, ujung konus DCP di masukan ke dalam tanah dengan cara ditumbuk yaitu menjatuhkan beban penumbuk setinggi jarak jatuh 575 mm pada batang DCP. Tumbukan dilakukan beberapa kali sampai kedalaman yang di inginkan, dengan maksimal kedalaman 1000 mm. Nilai DCP dihitung dari total kedalaman penetrasi ujung konus dalam satuan mm dibagi jumlah tumbukan (mm/tumbukan). Dewasa ini sudah ada system tumbukan yang di buat dengan otomatis, disamping secara manual. Pengujian DCP ini dapat memperlihatkan tingkat kepadatan yang berbeda-beda masing-masing lapisan.

3. HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian CBR Lapangan

Hasil yang didapatkan dalam pengujian DCP yang dilakukan dilapangan 26 titik yang ditinjau (Tabel 3.1)

Tabel.3 1 Rekapitulasi Nilai CBR STA 16+000 s/d STA 21+000

No	STA	DCP Rata Rata	CBR%
1	16+000	25,79	7,8
2	16+200	18,53	6
3	16+400	13,97	6
4	16+600	56,5	5
5	16+800	37,52	5,2
6	17+000	31,63	6,3
7	17+200	26,51	7,9
8	17+400	39,13	4,3
9	17+600	34,4	5,9
10	17+800	37,88	5
11	18+000	38,73	5
12	18+200	37,27	5
13	18+400	40,08	5,2
14	18+600	35,83	5,1
15	18+800	40,64	4,9
16	19+000	34,9	5,8
17	19+200	33,4	5,7
18	19+400	37,09	5
19	19+600	32,54	6
20	19+800	34,54	5,4
21	20+000	42,52	4,6
22	20+200	37,23	5,2
23	20+400	48,12	5
24	20+600	58,27	5
25	20+800	37,16	5,1
26	21+000	36,48	5,3

a. Perhitungan CBR dengan menggunakan Metoda analitis

$$\text{CBR Rata-rata} = \frac{\text{Jumlah CBR semua titik Pengujian}}{\text{jumlah Pengujian}}$$

$$= \frac{142,7}{26} = 5,44$$

$$\text{Nilai Maks} = 7,9$$

$$\text{Nilai Min} = 4,3$$

$$\text{Nilai R} = 3.18$$

$$\text{CBR segmen} = \frac{\text{CBR rata rata} - (\text{CBR max} - \text{CBR min})}{R}$$

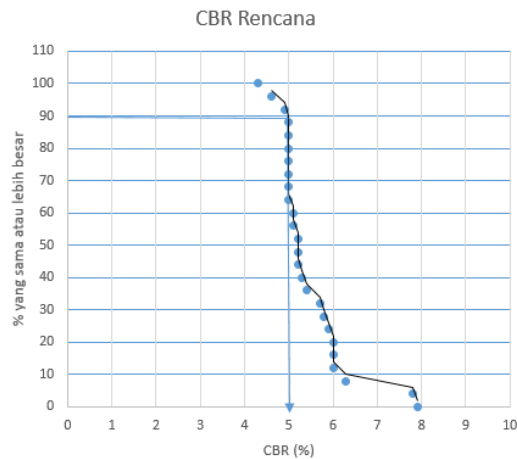
$$= \frac{5.44 - (7.9 - 4.3)}{3.18}$$

$$= 4.307\%$$

b. Perhitungan CBR secara grafis

Tabel.3 2 Perhitungan secara grafis

CBR (%)	Jumlah yang sama atau lebih besar	% yang sama atau lebih besar
4,3	26	100
4,6	25	96
4,9	24	92
5	23	88
5	22	84
5	21	80
5	20	76
5	19	72
5	18	68
5	17	64
5,1	16	60
5,1	15	56
5,2	14	52
5,2	13	48
5,2	12	44
5,3	11	40
5,4	10	36
5,7	9	32
5,8	8	28
5,9	7	24
6	6	20
6	5	16
6	4	12
6,3	3	8
7,8	2	4
7,9	1	0



Gambar 3. 14 CBR Rencana lapangan

Berdasarkan gambar 2.1 didapat CBR Rencana secara grafis sebesar 5 %, dan secara Analitis sebesar 4.3 %.

3.2 Pengujian Laboratorium sifat fisis tanah

Tabel.3 3 Data hasil uji sifat fisis tanah

Jenis Pengujian	Keterangan
Berat Jenis Tanah (GS)	2.64
Lolos Saringan No 10	100 %
Lolos Saringan No 40	78.460 %
Lolos Saringan No 200	57.560 %
Batas Cair (Liquid Limit)	35 %
Batas Cair (Plastic Limit)	27 %
Indek Plastis (PI)	8 %

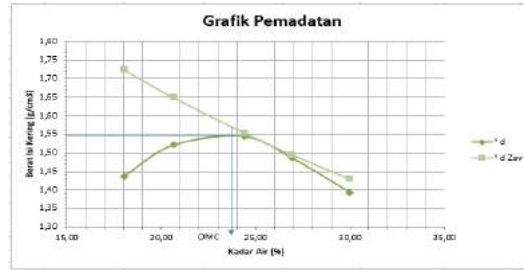
3.2.1 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

- Lolos Saringan No 10 = 100 %
- Lolos Saringan No 40 = 78,460 %
- Lolos Saringan No 200 = 57,560 %
- Nilai Batas Cair (LL) = 35 %
- Nilai Batas Plastis (PL) = 27,64 %
- Nilai Indeks Plastisitas (IP) = 7,36 %

Setelah diklasifikasikan dengan menggunakan **Sistem AASHTO**, maka sampel tanah By Pass merupakan : Tanah berklasifikasi A-7-6, tipe material yaitu tanah berlempung dengan penilaian Sedang sampai Buruk

3.2 Pengujian Pemadatan di laboratorium

Uji pemadatan dilakukan di laboratorium dengan cara *standar compaction* hasil uji pemadatan (gambar 2.3)

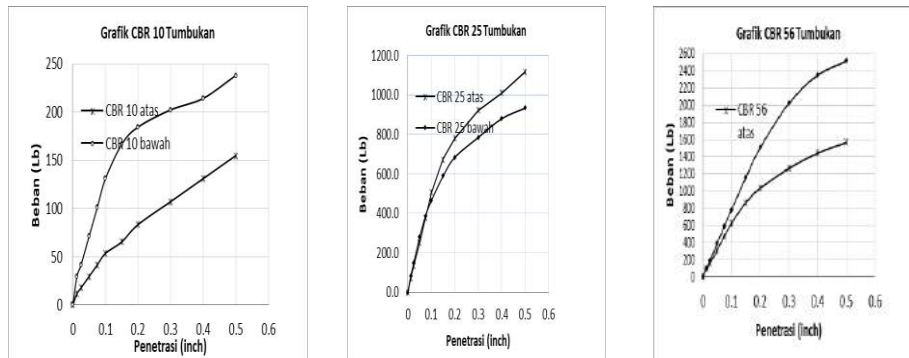


Gambar 3. 15 Grafik pemadatan

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa kadar air optimum dari sampel tanah yang diuji didapat 23.8 %, dan kepadatan kering maksimum (γ_d) = 1.54 kg/cm³.

3.3 Hasil Pengujian CBR Laboratorium

Pengujian CBR laboratorium dilakukan dengan cara CBR rendaman (direndam selama 4 hari), dan selanjutnya dilakukan uji CBR dengan hasil (Gambar.....)

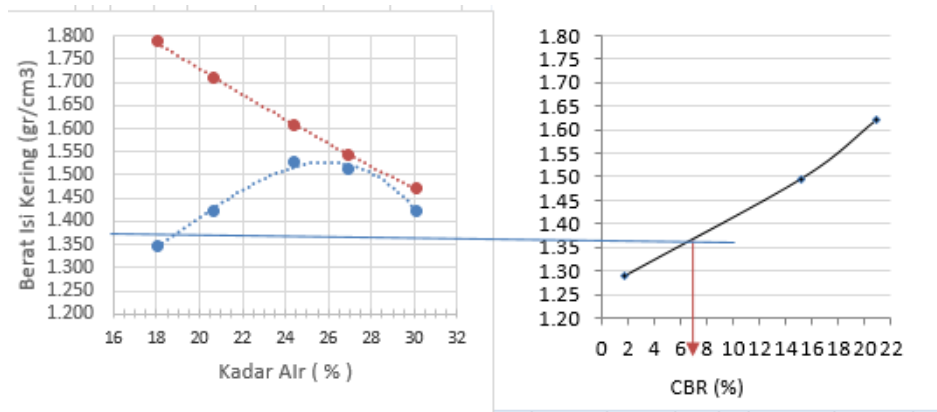


Gambar 3. 16 Hasil uji CBR laboratorium

Tabel.3 4 Rekapitulasi hasil uji CBR laboratorium

Jumlah Tumbukan Per Lapis	Penetrasi (inchi)	Nilai CBR (%)				
		Initial		Koreksi		CBR mewakli
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	
10	0.1	1.8	4.4	1.8	4.4	1.8
	0.2	1.9	4.1	1.9	4.1	
25	0.1	16.9	15.5	16.9	15.5	15.2
	0.2	15.2	15.2	15.2	15.2	
56	0.1	20.8	26.2	20.8	26.2	20.8
	0.2	23.0	33.6	23.0	33.6	

2. CBR desain laboratorium



Gambar 3. 17 CBR desain laboratorium

Dari hasil data pengujian CBR laboratorium (gambar 3.4) didapat nilai CBR rencana sebesar 6.6 % .

Berdasarkan hasil CBR laboratorium dan CBR lapangan (grafis dan analitis) terdapat perbedaan nilai CBR dan rata rata dari nilai tersebut yaitu 5.2 % . Nilai ini mendekati nilai CBR Lapangan secara grafis (5 %), jadi penggunaan *Dinamic Cone Penetrometer (DCP)* secara grafis dapat digunakan untuk menentukan nilai CBR , nilai ini dapat digunakan untuk perencanaan selanjutnya.

4. KESIMPULAN

Jenis tanah menurut AASTHO yang terletak di jalan by Pass STA 16+000 s/d STA 21+000, termasuk jenis A-7-6 yaitu tanah berlempung.

Berdasarkan uji *Dinamic Cone Penetrometer (DCP)*, nilai CBR tanah didapat 5 % (cara grafis) dan 4.3 % (cara analitis) sedangkan berdasarkan nilai CBR laboratorium didapat nilai CBR sebesar 6.6 % dan terdapat nilai penegembang (swelling) sebesar 0.47 %).

Berdasarkan hasil CBR laboratorium dan CBR lapangan (grafis dan analitis) terdapat perbedaan nilai, dan rata rata dari nilai tersebut yaitu 5.2 % . Nilai ini mendekati nilai CBR Lapangan secara grafis (5 %), jadi penggunaan *Dinamic Cone Penetrometer (DCP)* secara grafis dapat digunakan untuk menentukan nilai CBR , nilai ini dapat digunakan untuk perencanaan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM, 2003, *Annual Book of ASTM Standards*, section 4, volume 04.08 Soil and Rock

Burhanuddin. 2018. *Hubungan Empiris Daya Dukung Tanah Dasar Menggunakan Alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP) dan California Bearing Ratio (CBR) Rendaman Untuk Desaian Tebal Perkerasan Jalan Raya*. Universitas Syiah Kuala. Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala Volume 1 Special Issue, Nomor 3, Januari, 2018

Hardiyatmo, H.C., 2002, *Mekanika Tanah I*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

Karunaprema, K.A.K., 2002, *A laboratory Study to Establish Some Useful Relationships for the Use of Dynamic Cone Penetrometer*
<http://www.ejge.com/2002/Ppr0228/Ppr0228.htm>

Nafisah Al-Huda dkk (2014), *Perilaku Tanah Dasar Fondasi Embankment dengan Perkuatan Geogrid dan Drainase Vertikal*, Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil Vol. 21 No. 1 April 2014

Prisila I.dkk, 2013, *Hubungan Nilai CBR Laboratorium dan DCP Pada Tanah yang Dipadatkan Pada Ruas Jalan Wori–Likupang Kabupaten Minahasa Utara*, Jurnal Sipil Statik Vol.1 No.5, April 2013

Setiadji, B.H.2005, *Use Of Waste Materials For Pavement Construction In Indonesia*, Journal of The Institution of Engineers, Singapore Vol. 45 Issue 2 2005
http://www.ies.org.sg/journal/past/v45i2/v45i2_4.pdf

Warsiti (2009), *Meningkatkan Cbr Dan Memperkecil Swelling Tanah Sub Grade Dengan Metode Stabilisasi Tanah Dan Kapur*, Jurnal Pengembangan Teknik Sipil, Volume 16. No 1 2009.

Prisila I.dkk, 2013, *Hubungan Nilai CBR Laboratorium dan DCP Pada Tanah yang Dipadatkan Pada Ruas Jalan Wori–Likupang Kabupaten Minahasa Utara*, Jurnal Sipil Statik Vol.1 No.5, April 2013

KARAKTERISTIK NILAI CBR TANAH CL-ML DISTABILISASI DENGAN SEMEN DAN KAPUR TERHADAP SIKLUS PEMBASAHAN PENGERINGAN

Abdul Hadi¹, Ferry Fatnanta², Gunawan Wibisono³

¹Program Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email: abdul.hadiabdul@student.unri.ac.id

²Staf Pengajar Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email: fatnanto1964@gmail.com

³Staf Pengajar Sarjana Program Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Email: wibisono.gun@gmail.com

ABSTRACT

Soil is a material that is very influential in construction work. Most areas in Indonesia have soft soil conditions. CL-ML classified soils have a condition that is vulnerable to the addition of water content, causing the soil during the dry season to be cracked while in the rainy season it easily becomes soft (melting) like porridge. This situation becomes a problem when construction works are carried out on the soil. Efforts to improve the soil are needed so that the soil becomes stable. This research focuses to cycle process of wet-dry toward soil mechanical characterize effect that stabilized by cement and lime. The wetting cycle is done by immersing the sample test in the water while in the drying cycle the test object is placed in a place that is kept moist. The study was conducted with three variations of curing that are without curing, 14 and 28 days of curing. The results show that the characteristics of the CBR value for the wetting and drying cycle have different values. The addition of lime and cement to CL-ML soils show a significant increase in CBR values. This increase occurred in mixed soils without curing by drying 3 x 24 hours the second cycle with a value of 2.63 times compared to the initial CBR value. The addition of lime and cement increased the highest CBR value on curing for 28 days of drying 3 x 24 hours of the second cycle by 125.12%.

Keywords : CL-ML soil, stabilization of cement and lime, CBR, curing, wet-dry cycle.

ABSTRAK

Tanah merupakan material yang sangat berpengaruh dalam suatu pekerjaan konstruksi. Sebagian besar wilayah di Indonesia memiliki kondisi tanah yang lunak. Tanah yang diklasifikasikan CL-ML memiliki kondisi yang rentan terhadap penambahan kadar air sehingga menyebabkan tanah pada saat musim kemarau menjadi pecah-pecah sedangkan pada musim penghujan mudah menjadi lembek (mencair) seperti bubur. Keadaan ini menjadi masalah apabila dilaksanakan pekerjaan konstruksi di tanah tersebut. Usaha perbaikan tanah diperlukan agar tanah menjadi stabil. Penelitian ini menggunakan perbaikan tanah secara kimiawi yaitu dengan penambahan semen dan kapur yang menitik beratkan pengaruh proses siklus pembasahan pengeringan terhadap nilai CBR. Siklus pembasahan dilakukan dengan cara merendam sampel pengujian ke dalam air sedangkan pada siklus pengeringan benda uji diletakkan di dalam tempat yang terjaga kelembapannya. Penelitian dilakukan dengan tiga variasi pemeraman yaitu tanpa pemeraman, pemeraman 14 dan 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa karakteristik nilai CBR terhadap siklus pembasahan-pengeringan memiliki nilai yang berbeda. Peanambahan

kapur dan semen terhadap tanah CL-ML mengalami peningkatan yang signifikan terhadap nilai CBR. Peningkatan ini terjadi pada tanah campuran tanpa pemeraman dengan pengeringan 3 x 24 jam siklus ke 2 dengan nilai 2,63 kali dibandingkan nilai CBR awal. Penambahan kapur dan semen meningkatkan nilai CBR tertinggi pada pemeraman selama 28 hari pengeringan 3 x 24 jam siklus ke 2 sebesar 125.12%.

Kata Kunci : tanah CL-ML, stabilisasi semen dan kapur, CBR, pemeraman, siklus pembasahan - pengeringan.

1. PENDAHULUAN

Tanah yang diklasifikasikan tanah CL-ML memiliki rentang nilai indeks plastisitas berkisar 4% s/d 7 %, dan batas cair dengan rentang 12% s/d 30% menurut grafik Plastisitas Casagrande, kondisi tanah ini sangat rentan terhadap penambahan kadar ini sehingga menyebabkan tanah pada saat musim penghujan mudah menjadi lembek (mencair) seperti bubur dan musim kemarau menjadi pecah-pecah. Keadaan ini menjadi masalah apabila di atasnya dilaksanakan pekerjaan konstruksi seperti untuk pekerjaan jalan karena jenis tanah ini rentan terhadap perubahan kadar air. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut yaitu dengan melakukan stabilisasi.

Pada penelitian ini meninjau pengaruh pembasahan dan pengeringan terhadap nilai CBR dengan mengurangi campuran semen dan menambahkan kapur. Penambahan kapur dilakukan karena harga kapur yang lebih ekonomis dibandingkan harga semen. Pemilihan campuran direncanakan agar nilai CBR Tanah CL-ML dapat memenuhi syarat stabilisasi yang ekonomis dan memiliki nilai CBR yang cukup kuat sebagai pengganti base yaitu sebesar antara 50% sampai 150% menurut Ingles dan Metcalf, (1972).

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah : menganalisis karakteristik nilai CBR pada tanah CL-ML distabilisasi dengan campuran semen dan kapur menggunakan proctor standard. Sedangkan manfaat dari penelitian ini memperoleh pengetahuan mengenai pengaruh yang ditimbulkan oleh penambahan semen dan kapur terhadap tanah CL-ML dan dapat dijadikan sebagai acuan dalam perencanaan stabilisasi tanah.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*) (Hary Christady Hardiyatmo, 2006). Sedang Braja M. Das (1988) mendefinisikan tanah sebagai bahan yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) antara satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

2.2 Semen

Stabilisasi tanah-semen untuk mereduksi keplastisan tanah dasar (*subgrade*) yang plastis dan dalam kondisi sangat basah, untuk maksud stabilisasi campuran tanah-semen dapat berhasil dengan hanya kadar semen 4%, namun dalam beberapa kasus dibutuhkan kadar semen 20% sampai 25% yang menjadi tidak ekonomis lagi. Kadar semen yang cocok untuk tanah tertentu, dapat ditentukan dengan melakukan uji kuat tekan bebas dengan kadar semen yang divariasikan. (Primadona, S., Muhandi, Kurniawandy, A, 2015).

2.3 Kapur

Stabilisasi tanah dengan kapur telah banyak digunakan pada proyek-proyek jalan dibanyak negara. Untuk hasil optimum kapur yang digunakan biasanya antara 3% sampai dengan 7% Thomson (1968) menemukan bahwa dengan kadar kapur antara 5% sampai dengan 7% akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar dari pada kadar kapur 3%.

2.4 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh data-data mengenai sifat fisis benda uji meliputi analisa ukuran butiran, berat jenis dan batas-batas konsistensi tanah, selain itu juga untuk memperoleh data pemadatan dan karakteristik nilai CBR Tanah CL-ML terhadap siklus pembasahan pengeringan. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.4.1 Persiapan Benda Uji

Benda uji yang disiapkan berupa tanah CL-ML, Semen dan Kapur. Benda uji (tanah CL-ML) yang dipersiapkan merupakan benda uji yang sudah dihancurkan dan disaring dengan saringan nomor 4 untuk mendapatkan benda uji dengan ukuran yang diinginkan, dan sudah dikeringkan di dalam oven selama 24 jam untuk mendapatkan kondisi kadar air 0%, sebelum dilakukan pencampuran. Persiapan benda uji pada siklus pembasahan dan pengeringan diperlihatkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rencana persiapan benda uji pada siklus pembasahan pengeringan.

No	Campuran	Kadar air
1	Tanah Asli, Tanah Asli + 3% Semen + 4% Kapur	$w_1 = w$ (setelah pemeraman) Siklus I Pembasahan w_2 (w setelah direndam 3 jam) w_3 (w setelah direndam 5 jam) w_4 (w setelah direndam 7 jam) Pengeringan w_5 (w setelah direndam selama 7 jam dan diangin-anginkan 1 x 24 jam) w_6 (w setelah direndam selama 7 jam dan diangin-anginkan 2 x 24 jam) w_7 (w setelah direndam selama 7 jam dan diangin-anginkan 3 x 24 jam) Siklus II

Pembasahan

w₈ (w setelah siklus I (pembasahan dan pengeringan) dan direndam 3 jam)

w₉ (w setelah siklus I (pembasahan dan pengeringan) dan direndam 5 jam)

w₁₀ (w setelah siklus I (pembasahan dan pengeringan) dan direndam 7 jam)

Pengeringan

w₁₁ (w setelah pembasahan siklus ke II (direndam selama 7 jam) dan diangin-anginkan 1 x 24 jam)

w₁₂ (w setelah pembasahan siklus ke II (direndam selama 7 jam) dan diangin-anginkan 2 x 24 jam)

w₁₃ (w setelah pembasahan siklus ke II (direndam selama 7 jam) dan diangin-anginkan 3 x 24 jam)

2.4.2 Pengujian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan meliputi uji properties tanah, sifat fisik tanah dan pengujian pemadatan. Pengujian properties dan sifat fisik tanah di antaranya adalah analisa hidrometer, berat jenis, dan batas konsistensi tanah. Tujuan uji pendahuluan adalah untuk klasifikasi tanah. pengujian proktor standar dilakukan pada tanah asli campuran untuk mendapatkan kadar air optimum (OMC) dan berat volume kering maksimum (MDD).

2.4.3 Pengujian Utama

Pengujian CBR lab dilakukan berdasarkan ASTM d 1883 dan acuan normatif SNI 03-1744-1989. Pada penelitian ini benda uji diberikan perlakuan proses pembasahan dan pengeringan. Proses pembasahan dan pengeringan dilakukan sesuai Tabel 1.

3. HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian

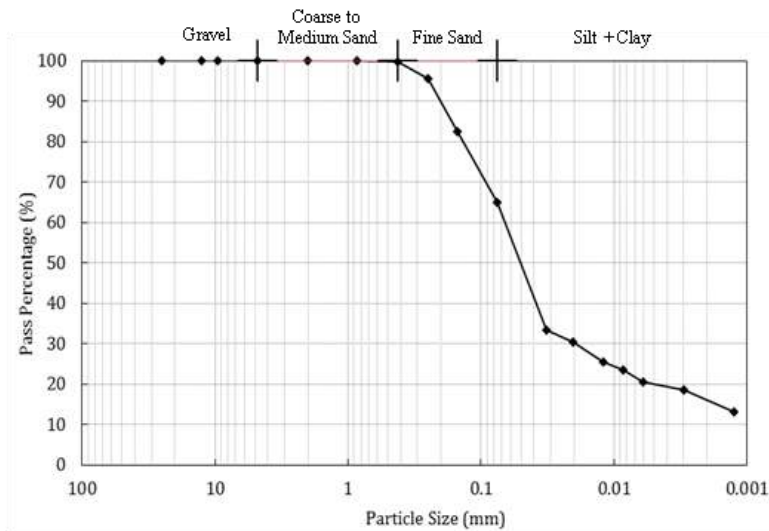
3.1.1 Hasil Pengujian Berat Jenis (Gs)

Berat Jenis adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) dengan volume yang sama. Hasil dari pengujian berat jenis menunjukkan bahwa berat jenis tanah asli yang digunakan pada penelitian ini sebesar 2.66.

3.1.2 Hasil Analisa Ukuran Butiran Tanah

Analisa ukuran butiran pada penelitian ini menggunakan hidrometer dan analisa ukuran butiran mekanis. Hidrometer digunakan untuk menentukan ukuran butiran yang lolos saringan No.200 atau butiran lebih kecil dari 0.074 mm, sedangkan analisa ukuran butiran mekanis untuk butiran yang tertahan saringan No.200 atau butiran lebih besar dari 0.074 mm menggunakan satu set saringan. Pengujian analisa ukuran butiran

dilakukan pada dua sampel dan diperoleh grafik distribusi ukuran butiran seperti yang terlihat pada Gambar 1.

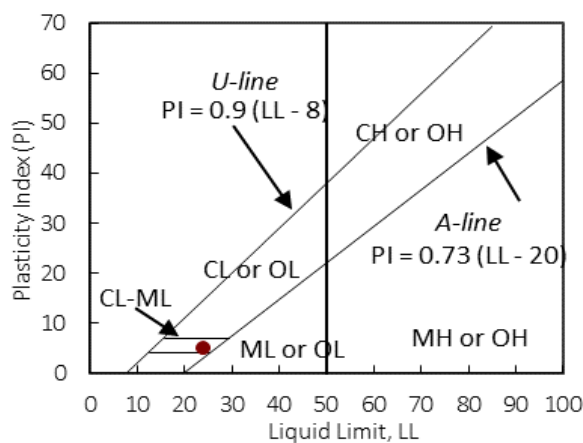


Gambar 1 Kurva Distribusi Ukuran Butiran Tanah Asli

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat dari tabel tanah didominasi oleh tanah halus sebesar 65,09% dan pasir sebesar 34,91%.

3.1.3 Hasil Pengujian Batas-Batas Konsistensi Tanah

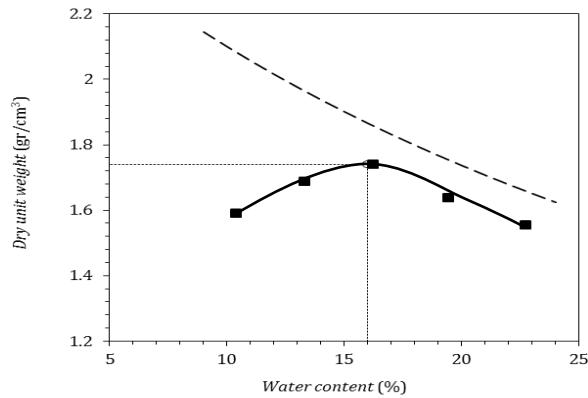
Pengujian batas konsistensi tanah yang dilakukan adalah pengujian batas cair tanah dan pengujian batas plastis tanah. Selisih dari nilai batas cair dan batas plastis menghasilkan nilai indeks plastisitas. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai batas cair sebesar 24,09%, batas plastis sebesar 19,19% dan indeks plastisitas 4,90%, sehingga tanah dapat diklasifikasikan menurut USCS dengan menghubungkan nilai batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik Klasifikasi Tanah Menurut USCS

3.1.4 Hasil Pengujian Pemadatan Tanah

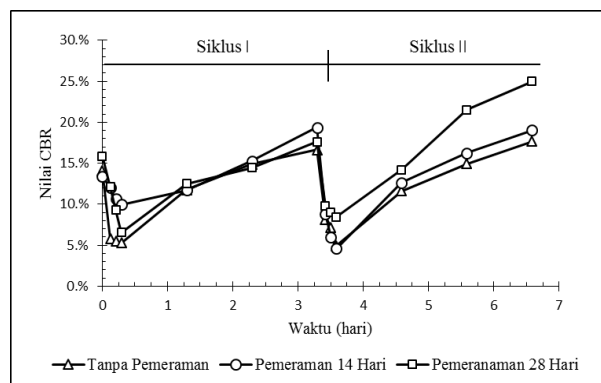
Pemadatan tanah dilakukan pada tanah asli untuk menentukan kadar air optimum dan berat volume optimum dari tanah. Hasil dari pengujian pemadatan tanah dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil Pengujian Pemadatan Tanah

Berdasarkan Gambar 4.4 diperoleh kadar air optimum tanah (OMC) adalah sebesar 16% dan berat volume kering (γ_{dry}) adalah 1,74 gr/cm³.

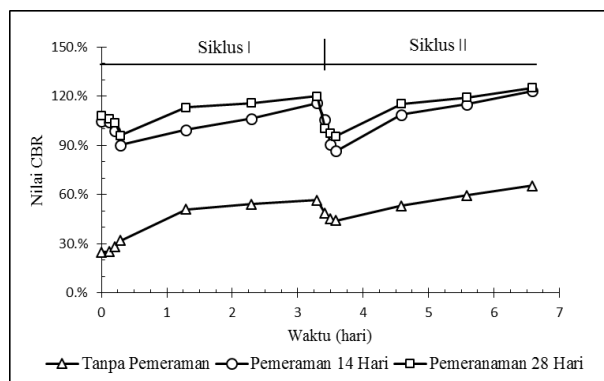
3.1.5 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Nilai CBR Tanah Asli



Gambar 4 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Nilai CBR Tanah Asli

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat perubahan nilai CBR akibat variasi pemeraman pada tanah asli. Secara keseluruhan perubahan nilai CBR tanah asli tidak begitu signifikan. Pada siklus pertama nilai CBR tidak jauh berbeda terlihat pada grafik yang saling bersinggung satu sama lain. Pada siklus kedua nilai CBR semakin tinggi seiring dengan lama pemeraman, karena semakin lama pemeraman maka tanah akan lebih mengikat antara partikelnya yang menyebabkan tanah menjadi lebih kuat.

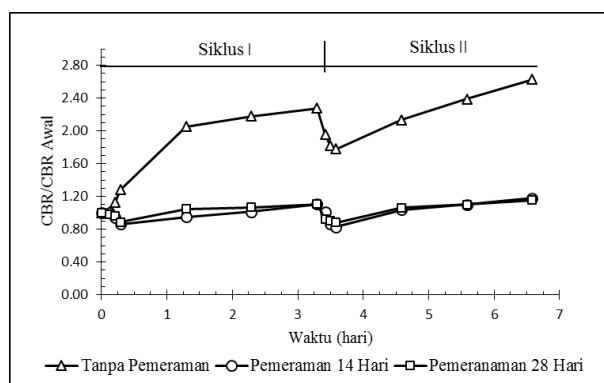
3.1.6 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Nilai CBR Tanah Campuran



Gambar 5 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Nilai CBR Tanah Campuran

Hasil pengujian CBR tanah asli + 4% Kapur + 3% semen di hubungkan dengan waktu pemeraman yang berfungsi untuk mengetahui pengaruh pemeraman terhadap nilai CBR. Hasil dari pengujian CBR tanah campuran ini dapat dilihat pada Gambar 5. Tanah campuran pemeraman 14 hari dibandingkan dengan tanah tanpa pemeraman terlihat sangat naik begitu drastis, karena pemeraman selama 14 hari mengakibatkan semen dan kapur bereaksi seiring berjalannya waktu sedangkan tanpa pemeraman tanah campuran masih dalam proses mengeras. Pada pemeraman tanah campuran 28 hari jika dibandingkan dengan pemeraman 14 hari maka terlihat peningkatan yang tidak begitu signifikan, karena semen dan kapur telah mengikat dengan sempurna. Terlihat pada Gambar 5 siklus kedua pembasahan tujuh jam lalu pengeringan tiga hari, nilai CBR tanah campuran pemeraman 14 hari dan 28 hari yang hampir sama, hal ini menunjukkan semen dan kapur telah mengalami akhir reaksi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemeraman 28 hari tidaklah efektif untuk daya dukung tanah berdasarkan nilai CBR.

3.1.7 Normalisasi Nilai CBR Tanah Campuran



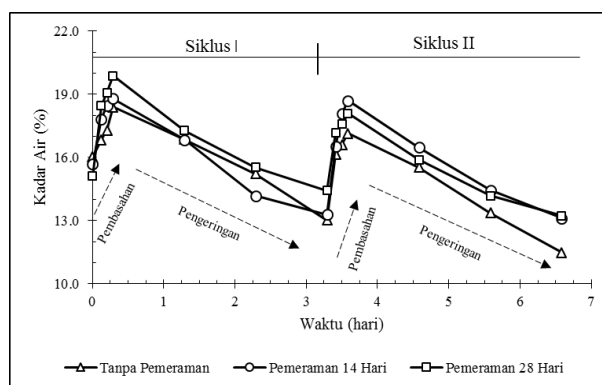
Gambar 6 Nilai CBR Tanah Campuran Dibagi Nilai CBR Awal

Peningkatan nilai CBR akibat waktu pemeraman dapat dilihat dengan membagi nilai CBR dengan CBR sebelum siklus pembasahan dan pengeringan dilakukan seperti yang terlihat pada Gambar 6. Peningkatan nilai CBR pada tanah campuran tanpa pemeraman meningkat drastis. Peningkatan terjadi karena pada awal campuran semen dan kapur

bereaksi dengan cepat, sedangkan pada pemeraman 14 hari dan 28 hari peningkatan nilai CBR relatif sama, hal tersebut terjadi karena campuran kapur dan semen telah bereaksi dengan matang.

Peningkatan nilai CBR pada tanah campuran tanpa pemeraman mencapai nilai 2,63 yang terjadi pada siklus kedua pembasahan tujuh jam dan pengeringan selama tiga hari, sedangkan pada pemeraman 14 dan 28 hari hanya meningkat sangat kecil yaitu 1.18 dibandingkan nilai CBR awal. Peningkatan nilai CBR pada tanah campuran tanpa pemeraman terjadi karena campuran kapur dan semen bereaksi dengan cepat seiring dengan siklus pembasahan dan pengeringan yang berlangsung selama 6 hari 14 jam. Pemeraman 14 hari dan 28 hari peningkatan nilai CBR tidak terjadi begitu signifikan, hal tersebut terjadi karena pada proses pemeraman campuran kapur dan semen telah bereaksi dengan matang, sehingga pada tanah campuran pemeraman 14 hari dan 28 hari peningkatan nilai CBR terjadi karena proses pembasahan dan pengeringan.

3.1.8 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Kadar Air Tanah Asli

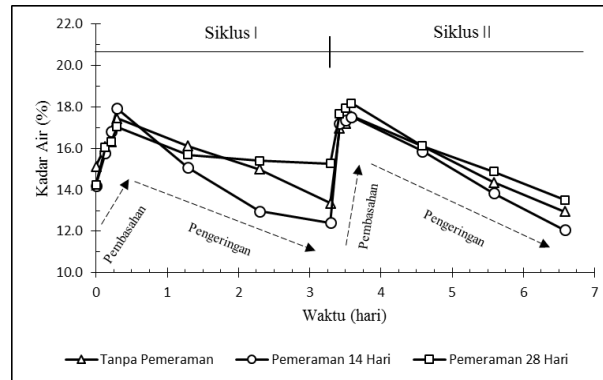


Gambar 7 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Kadar Air Tanah Asli

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat pengaruh pemeraman terhadap perubahan kadar air. Pada proses pembasahan siklus pertama terlihat kenaikan kadar air meningkat sesuai dengan lamanya pemeraman. Pada proses pengeringan dua hari siklus pertama terlihat kadar air tanah asli pemeraman 14 hari yang lebih rendah dibandingkan tanah tanpa pemeraman, hal itu mungkin terjadi karena pengambilan sampel untuk pengujian kadar air yang tidak sesuai dengan kadar air sebenarnya. Pada siklus kedua terlihat kadar air yang tanah asli pemeraman 14 hari lebih tinggi dibandingkan tanah asli pemeraman 28 hari dan tanah asli tanpa pemeraman, hal ini terjadi karena kadar air tanah asli pemeraman 28 hari telah mengalami berkurang akibat pemeraman. Tanah CL-ML sangat rentan terhadap perubahan kadar air, tanah plastisitas rendah yang cepat mengalami retak jika kekurangan kadar air dan menjadi sangat lunak jika kadar air tinggi.

3.1.9 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Kadar Air Tanah Campuran

Hasil pengujian kadar air tanah asli + 4% kapur + 3% semen di hubungkan dengan waktu pemeraman yang berfungsi untuk mengetahui pengaruh pemeraman terhadap nilai kadar air. Hasil dari pengujian kadar air tanah campuran dapat dilihat Gambar 8.



Gambar 8 Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Kadar Air Tanah Campuran

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat perubahan kadar air tanah campuran akibat variasi pemeraman. Secara umum kadar air tanah campuran pemeraman 28 hari memiliki kadar air tertinggi, selanjutnya tanah campuran tanpa pemeraman dan yang paling rendah adalah tanah campuran 14 hari. Hal itu terjadi karena pada pemeraman yang terlalu lama yaitu 28 hari menyebabkan tanah campuran melemah akibat sifat fisik dari tanah CL-ML yang sangat rentan terhadap perubahan kadar air. Tanah CL-ML yang memiliki kadar air rendah mengakibatkan terbukanya pori tanah karena lemahnya ikatan antara tanah, jika pori yang kosong tersebut diisi oleh air menyebabkan tingginya nilai kadar air.

Kadar air tanah campuran yaitu berkisar antara 12,06% - 18,18%, sedangkan kadar air tanah asli yaitu berkisar antara 11,49% - 19,88%. Data tersebut menunjukkan bahwa tanah asli mudah dilewati oleh air dibandingkan tanah campuran, sehingga air lebih mudah meresap dan keluar pada tanah asli. Campuran kapur dan semen memperkecil nilai kadar air pada tanah CL-ML.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan mengenai karakteristik nilai CBR tanah CL-ML distabilisasi dengan semen dan kapur terhadap siklus pembasahan pengeringan, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil pengujian CBR tanah campuran 4% kapur dan 3% semen dapat disimpulkan bahwa penambahan semen dan kapur menaikkan nilai CBR yang sangat signifikan. Nilai CBR tanah campuran mencapai 125,12% sedangkan tanah asli jauh dibawah tanah campuran yaitu 24,98%, peningkatan nilai CBR mencapai 5 (lima) kali lipat.
- Berdasarkan hasil penelitian waktu pemeraman mempengaruhi nilai CBR, tanah asli mengalami peningkatan yang tidak begitu signifikan sedangkan tanah

campuran mengalami peningkatan yang signifikan dari tanpa pemeraman ke pemeraman 14 hari tetapi pada pemeraman 28 hari tidak terjadi peningkatan yang signifikan.

7. Berdasarkan hasil normalisasi nilai CBR tanah campuran terlihat peningkatan nilai CBR paling besar pada tanah campuran tanpa pemeraman dibandingkan pemeraman 14 hari dan 28 hari. Reaksi kapur dan semen sangat cepat pada siklus pertama yang berlangsung selama 6 hari 14 jam, peningkatan nilai CBR mencapai 2,63 kali dibandingkan nilai CBR awal.
8. Kadar air berdasarkan hasil penelitian relatif sama pada setiap variasi pemeraman. Perbedaan kadar air tidak terlihat begitu signifikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknik Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B.M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Mekanika Tanah) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H.C. (2012). *Mekanika Tanah 1 Edisi ke Enam*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan Edisi Pertama*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Lesmana, R.I., Muhardi., Nugroho, S.A. (2016). *Stabilisasi Tanah Plastisitas Tinggi Dengan Semen*. Jom FTEKNIK Volume 3 No. 2
- Pratito, M.J., Safitri, W., Safitri, C.N., dkk (2014). *Pengaruh Siklus Pengeringan dan Pembasahan Terhadap Sifat Fisik, Mekanik dan Dinamik Pada Tanah Tanggul Sungai Bengawan Solo Cross Section 0±500 Desa Semambung Bojonegoro Yang Distabilisasi Dengan Kapur, Fly Ash, dan Mikro Biobakteri*. Jurnal Teknik POMITS Vol. 1 No. 1
- Primadona, S., Muhardi., Kurniawandi, A. (2015). *Stabilisasi Tanah Plastisitas Rendah Dengan Semen*. Jom FTEKNIK Volume 2 No. 2
- SNI 3423:2008. *cara uji analisis ukuran butir tanah*. Badan Standar Nasional.
- SNI 03-3438-1994. *Tata Cara Pembuatan Rencana Stabilisasi Tanah Dengan Semen Portland Untuk Jalan*. Badan Standar Nasional Republik Indonesia.
- Tanfati, N.P., dan Ridwan, M. (2014). *Pengaruh Siklus Pembasahan (wetting) dan Pengeringan (Drying) Berulang Pada Tanah Lempung Ekspansif Dengan Kemampuan Kembang Susut Sedang Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (qu)*. Diakses: ejournal.unesa.ac.id
- Widodo, T., dan Qosari, R.I. (2011). *Efektifitas Penambahan Matos Pada Stabilisasi Semen Tanah Berbutir Halus*. Diakses: Jurnalteknik.janabadra.ac.id
- Widiyanto, A., dan Wiyono, S. (2014). *Pengaruh Kadar Air dan Bahan Ikat Semen Terhadap Keretakan Lapis Perkerasan Tanah Semen*. Konferensi Regional Teknik Jalan ke 13, Makassar, Indonesia

STUDI PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* TERHADAP NILAI CBR DAN *SWELLING POTENTIAL* PADA TANAH LEMPUNG

M. Khadafi Lembasy¹, Soewignjo Agus Nugroho^{1*}, Ferry Fatnanta¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau; Pekanbaru.

Email: khadafilembasy46@gmail.com

*Corresponding Author: nugroho.sa@eng.unri.ac.id

Email: ferry.fatnanta@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Clay has a disadvantage, one of which is the potential swelling due to excessive absorption of water when the soil is saturated with water. Materials such as lime, fly ash, bottom ash can be used as stabilization materials to improve strength and improve soil conditions. This study examines the behavior of high plastic clay soils with lime, fly ash, and bottom ash. Improved soil performance can be seen with the CBR test, and measurement of potential for soil expansion. CBR test and swelling potential test were carried out under 6 conditions, 28 days of the curing test were tested directly, 28 days of curing and 4 days of immersion, 14 days of curing were tested directly, 14 days of curing and 4 days of immersion, were tested directly and immersed. An examination of the potential for development is supported by a dial on the immersed CBR. The results showed that the CBR value increased with duration of curing and decreased throughout the duration of immersion. Then the CBR value increases with the addition of lime percentage and each mixture in a mixture variation. The highest CBR value occurs in the soil 60% + Bottom ash 15% + Fly ash 20% + Lime 5% with a CBR value of 75.37% under conditions for 28 days of curing and 4 days of immersion. The lowest CBR value occurs in 80% soil + Bottom ash 10% + Fly ash 5% + Lime 5% with CBR value 12.85% in conditions immersed for 4 days without curing. The maximum expansion rate of the variation of the sample is obtained in the soil 80% + Bottom ash 5% + Fly ash 10% + Lime 5% in conditions of 4 immersion without curing.

Keywords : clay, fly ash, bottom ash, CBR, swelling potential

ABSTRAK

Tanah lempung memiliki kelemahan salah satunya adalah potential swelling (potensi mengembang) akibat penyerapan air secara berlebihan pada saat tanah jenuh air. Bahan seperti kapur, abu terbang, abu dasar dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi untuk meningkatkan kekuatan dan memperbaiki kondisi tanah. Studi ini menguji perilaku tanah lempung plastis tinggi dengan kapur, abu terbang, abu dasar. Peningkatan kinerja tanah dilihat dengan uji CBR, dan pengukuran potensial mengembang tanah. Uji CBR dan uji swelling potential dilakukan dengan 6 kondisi, uji 28 hari pemeraman diuji langsung, 28 hari pemeraman dan 4 hari perendaman, uji 14 hari pemeraman diuji langsung, 14 hari pemeraman dan 4 hari perendaman, diuji langsung dan direndam. Pemeriksaan potensi pengembangan didukung oleh dial pada CBR direndam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai CBR meningkat dengan durasi pemeraman dan menurun sepanjang durasi perendaman. Kemudian nilai CBR meningkat dengan penambahan persentase kapur dan masing-masing campuran dalam variasi campuran. Nilai CBR tertinggi terjadi di tanah 60% + Bottom ash 15% + Fly ash 20% + Kapur 5% dengan nilai CBR 75,37% dalam kondisi selama 28 hari pemeraman dan 4 hari perendaman. Nilai CBR terendah terjadi di tanah 80% + Bottom ash 10% + Fly ash 5% + Kapur 5% dengan nilai CBR 12,85% dalam kondisi direndam selama 4 hari tanpa pemeraman. Tingkat ekspansi maksimum

dari variasi sampel di dapatkan pada tanah 80% + Bottom ash 5% + Fly ash 10% + Kapur 5% dalam kondisi 4 perendaman tanpa pemeraman.

Kata Kunci : tanah lempung, abu terbang, abu dasar, CBR, potensi mengembang

1. PENDAHULUAN

Potensi pengembangan (*swelling potential*) tanah lempung sangat erat kaitannya dengan indeks plastisitas, sehingga tanah khususnya tanah lempung dapat diklasifikasikan sebagai tanah yang mempunyai potensi mengembang dengan kondisi tertentu yang didasarkan oleh indeks plastisitasnya. Stabilisasi tanah merupakan salah satu alternatif dalam perbaikan tanah untuk meningkatkan kepadatan dan daya dukung tanah. Umumnya, stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi dua yaitu stabilisasi mekanis dan stabilisasi dengan bahan-tambah (kimiawi). Stabilisasi dengan cara mekanis seperti kompaksi dan kuat tekan bebas, sedangkan dengan cara kimiawi seperti kapur, abu terbang (fly ash), bottom ash dan bahan kimia lainnya.

Dalam penelitian ini dilakukan stabilisasi tanah dengan cara mekanis dan kimiawi, stabilisasi tanah dengan cara mekanis dilakukan dengan metode kompaksi pada tanah, dan stabilisasi kimiawi dilakukan dengan memanfaatkan sisa pembakaran PLTU Tenayan Raya dalam hal ini limbah yang digunakan adalah *fly ash* dan *bottom ash* serta penggunaan kapur dalam campuran bahan tambah kimiawi yang digunakan.

Dengan dilakukan stabilisasi ini diharapkan dapat mengatasi masalah *swelling potential* pada tanah lempung serta memanfaatkan kembali limbah dari sisa pembakaran batu bara, dengan meningkatkan kekuatan daya dukung suatu tanah akan menghasilkan suatu konstruksi yang lebih bagus dan dapat bertahan lama dan dapat digunakan dalam berbagai macam konstruksi yang mengandalkan tanah dasar sebagai penyalur dan penahan beban dalam perencanaan serta proses lapangannya seperti konstruksi jalan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lempung

Tanah lempung (*clay*) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral lempung (*clay mineral*), dan mineral yang sangat halus lain. Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang mempunyai ukuran kurang dari 0,002 mm. (Das, 1985).

2.2 Kapur

Kapur adalah kalsium oksida (CaO) yang dibuat dari batuan karbonat yang dipanaskan pada suhu sangat tinggi. Stabilisasi tanah dengan kapur pada dasarnya sama dengan stabilisasi tanah dengan semen. Kapur lebih cocok untuk stabilisasi tanah untuk tanah lempungan dan kurang cocok untuk tanah granuler. Larutan kapur dapat digunakan untuk perawatan tanah yang terlalu basah atau kering.

2.3 Fly Ash (Abu Terbang)

Fly ash merupakan bagian terbesar dari abu batu bara yang memiliki ukuran butiran yang halus dan menampakkan warna keabuabuan. *fly ash* mengandung unsur kimia antara lain adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), feri oksida (Fe_2O_3), dan kalsium oksida (CaO). Juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkaliin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon (Wardani, 2008). Pemanfaatan *fly ash* ini untuk stabilisasi tanah adalah karena *fly ash* mempunyai sifat pozzolanik dan juga dapat mengurangi *shrinkage dan cracking problem* yang biasanya timbul pada penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi tanah.

2.4 Bottom Ash (Abu Dasar)

Bottom ash mempunyai karakteristik fisik berwarna abu-abu gelap, berbentuk butiran, berporos, dan mempunyai ukuran butiran antara pasir hingga kerikil. Abu dasar dikategorikan menjadi *dry bottom ash* dan *wet bottom ash/boiler slag* berdasarkan jenis tungkunya. Sifat dari *bottom ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya. *Bottom ash* memiliki kandungan kimia seperti Si, Al, Ti, Ca, dan Fe memiliki peranan dalam mengikat partikel negatif yang ada pada permukaan tanah (Wijaya, 2018).

2.5 Swelling Potential

Pengembangan (*swelling*) adalah bertambahnya volume tanah secara perlahan-lahan akibat tekanan air pori berlebih. Proses pengembangan (*swelling*) terjadi karena kandungan air yang tinggi, sehingga tanah yang jenuh air ini akan mengembang dan tegangan efektif tanah akan mengecil seiring dengan peningkatan tegangan air pori. Secara umum sifat *swelling* tanah lempung tergantung pada sifat plastisitasnya, semakin plastis mineral lempung semakin potensial untuk menyusut dan mengembang. Menurut yahya (2014), salah satu kondisi dimana dikatakan swelling potensial yaitu Plastisitas tinggi, yaitu $\text{LL} > 40\%$ dan $\text{PI} > 15\%$. Uji swelling dilakukan di silinder berbahan logam. Waktu yang di butuhkan untuk pengujian dipertimbangkan terhadap waktu yang dibutuhkan air untuk masuk kedalam tanah, karena tanah ekspansif tidak segera mengembang ketika berinteraksi dengan air. Beberapa penelitian melakukan pengujian ini selama 2 jam dan menunggu sampai kecepatan mengembang mencapai kecepatan tertentu ($0,001''/\text{jam}$), sehingga memerlukan waktu beberapa hari (Tobing, Suroso, & Zaika, 2011).

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Material

Material atau bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Sampel tanah lempung berplastisitas tinggi (CH) dari Kawasan Tenayan Raya Pekanbaru.

2. Tipe kapur yang dipergunakan adalah kapur yang terdapat dipasaran.
3. Bahan tambah *fly ash* dan *bottom ash* didapat dari PJB PLTU Tenaya raya.

3.2 Pengujian

Sebelum melakukan pengujian mekanis dilakukan terlebih dahulu pengujian fisis pada tanah lempung. Pengujian fisis pada tabel berikut berdasarkan ASTM:

Tabel 3.1 Jenis pengujian fisis pada tanah lempung

No.	Jenis Pengujian	Standar Pengujian
1.	Kadar air	ASTM D 2216
2.	Berat jenis	ASTM D 854
3.	Batas cair	ASTM D 4318
4.	Batas plastis dan <i>Indeks Plastisitas</i>	ASTM D 4318

Untuk pengujian mekanis dapat dilihat pada tabel berikut berdasarkan ASTM:

Tabel 3.2 Jenis pengujian mekanis pada tanah lempung

No.	Jenis Pengujian	Standar Pengujian
1.	<i>Proctor</i>	ASTM D 698
2.	CBR	ASTM D 1883
3.	Swelling Potensial	ASTM D 4546

3.3 Pembuatan Benda Uji

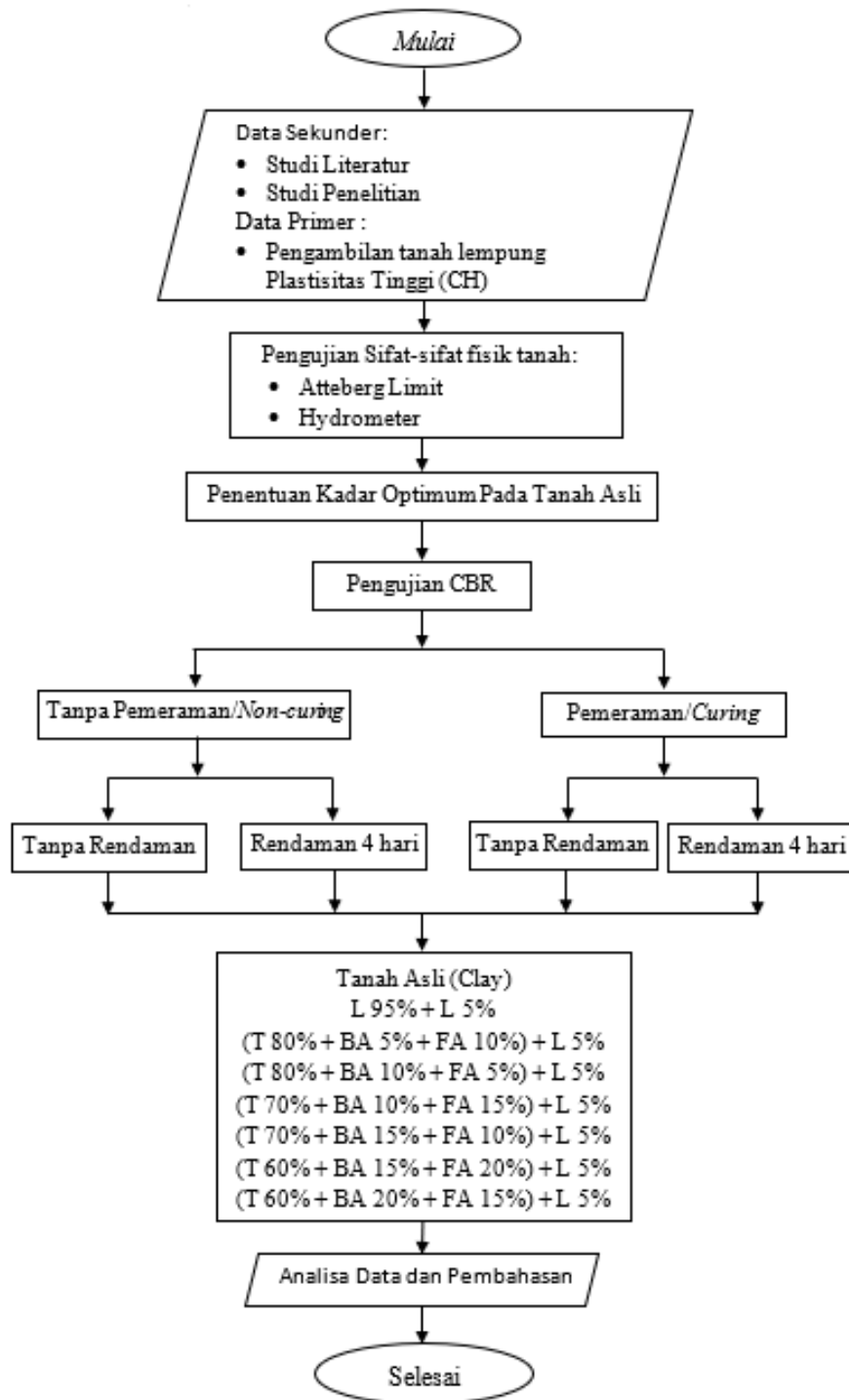
3.3.1 Variasi Campuran

Penelitian ini dilakukan dalam 2 (dua) tahapan, tahapan pertama dilakukan pengujian tanah natural untuk uji gradasi, berat jenis, *atteberg limit*, uji pemadatan *proctor standard*. Tahapan kedua melakukan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) dengan variasi campuran tanah, *fly ash* dan *battom ash*, dimana kapur dikunci sebesar 5%, lalu campuran tanah, *fly ash*, dan *battom ash* sebesar 95% dengan jumlah campuran tersebut divariasikan. Dari campuran tanah, *fly ash* dan *bottom ash* dapat ditampilkan tabel jumlah sampel yang digunakan pada penelitian

Tabel 3.3 Penggunaan Sampel Pada Pengujian

Variasi	Pemeraman (Hari)	Rendaman	
		0 Hari	4 Hari
Tanah Asli (L)	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
L 95% + K 5%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
(T 80% + BA 5% + FA 10%) + L 5%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
(T 80% + BA 10% + FA 5%) + L 5%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
(T 70% + BA 10% + FA 15%) + L 5%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
(T 70% + BA 15% + FA 10%) + L 5%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
(T 60% + BA 15% + FA 20%) + L 5%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
(T 60% + BA 20% + FA 15%) + L 5%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
Jumlah Sampel CBR		96	

Keterangan: T : Tanah Asli
L : *Lime* (Kapur)
FA : *Fly Ash* (Abu Terbang)
BA : *Bottom Ash* (Abu Tasar)

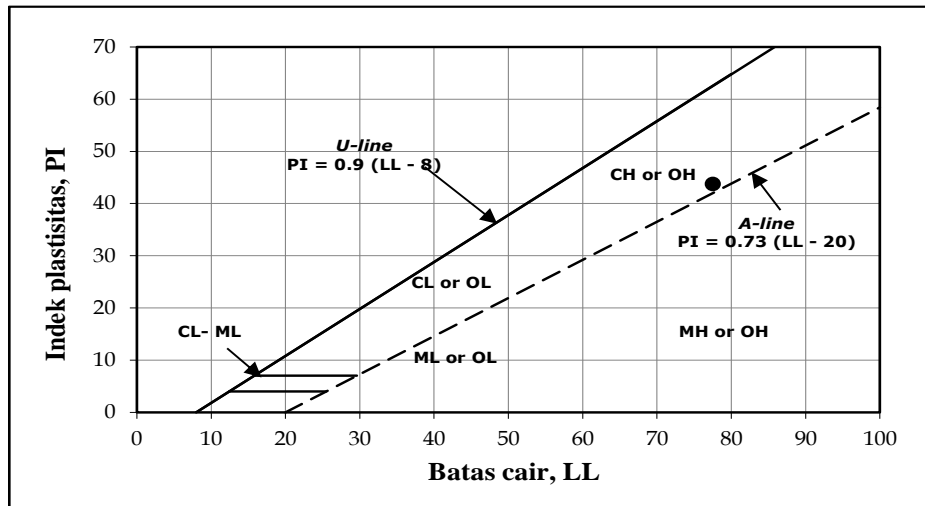


Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil pengujian batas - batas konsistensi tanah

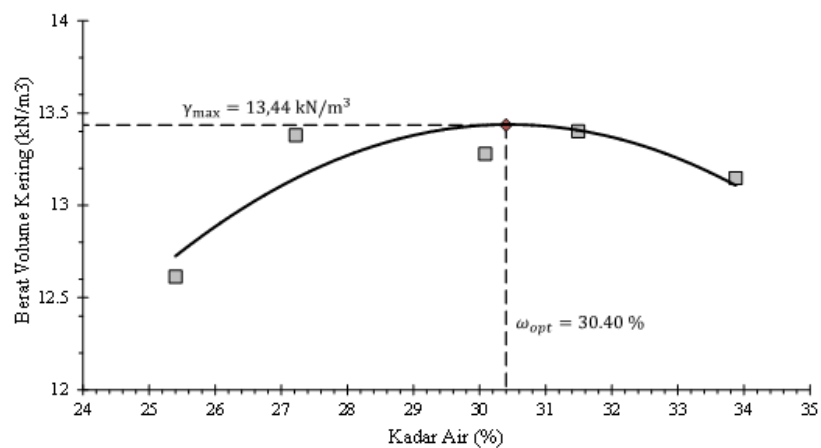
Dari hasil pengujian sifat tanah lempung yang dilakukan di laboratorium, maka diperoleh data nilai LL sebesar 77,51 % dan PL sebesar 33,77 % untuk nilai PI didapatkan selisih dari batas LL dan PL sebesar 43,74 %, hasil tersebut di plot ke grafik klasifikasi tanah di kategorikan sebagai CH (Tanah Plastisitas Tinggi) dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 4.1 Grafik Plastisitas Cassagrande

4.2 Hasil Pemadatan

Dari hasil pengujian proctor untuk mendapatkan kadar air optimum (OMC) dan kepadatan kering maksimum (γ_{dry}). Data ini digunakan untuk membuat sampel CBR



Gambar 4.2 Hasil Pemadatan Tanah Asli

Pada pemadatan dengan menggunakan standar proctor, didapatkan nilai kadar air optimum (OMC) sebesar 30,40% dan kepadatan kering maksimum (MDD) sebesar 13,44 kN/m³.

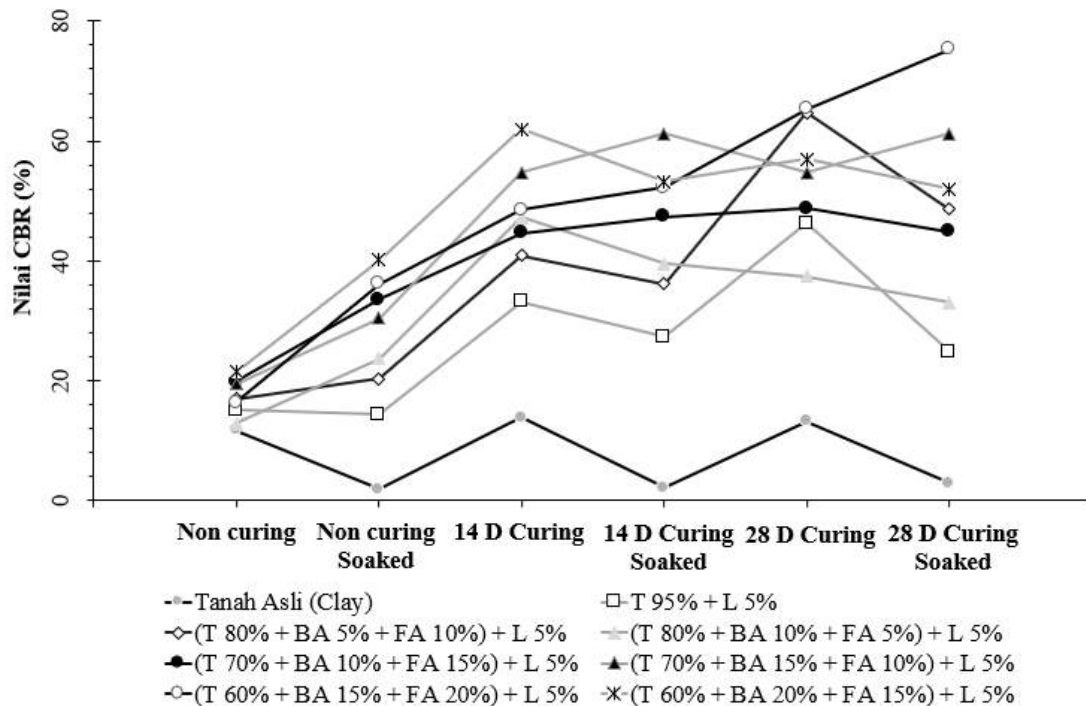
4.3 Hasil Pengujian CBR

Hasil dari pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan kualitas relatif tanah dasar dibandingkan dengan beban standar batu pecah dengan nilai CBR 100%. Berikut akan ditampilkan pengujian dari setiap variasi sampel benda uji yang ada.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Pengujian CBR

No.	Deskripsi Campuran	Nilai CBR %					
		Non Curing		Curing 14 Hari		Curing 28 Hari	
		Unsoaked	Soaked	Unsoaked	Soaked	Unsoaked	Soaked
1	Tanah Asli (Clay)	11.72	1.85	13.80	2.13	13.21	2.84
2	L 95% + L 5%	15.02	14.38	33.20	27.35	46.23	24.75
3	(T 80% + BA 5% + FA 10%) + L 5%	16.97	20.33	40.84	36.17	64.71	48.56
4	(T 80% + BA 10% + FA 5%) + L 5%	12.85	23.68	47.21	39.45	37.38	32.98
5	(T 70% + BA 10% + FA 15%) + L 5%	19.77	33.51	44.59	47.32	48.78	44.92
6	(T 70% + BA 15% + FA 10%) + L 5%	19.39	30.39	54.70	61.26	54.70	61.26
7	(T 60% + BA 15% + FA 20%) + L 5%	16.37	36.18	48.51	52.27	65.29	75.37
8	(T 60% + BA 20% + FA 15%) + L 5%	21.37	40.13	61.93	53.20	56.99	51.97

Hasil diatas merupakan rerata dari dua sampel pada masing-masing variasi campuran.

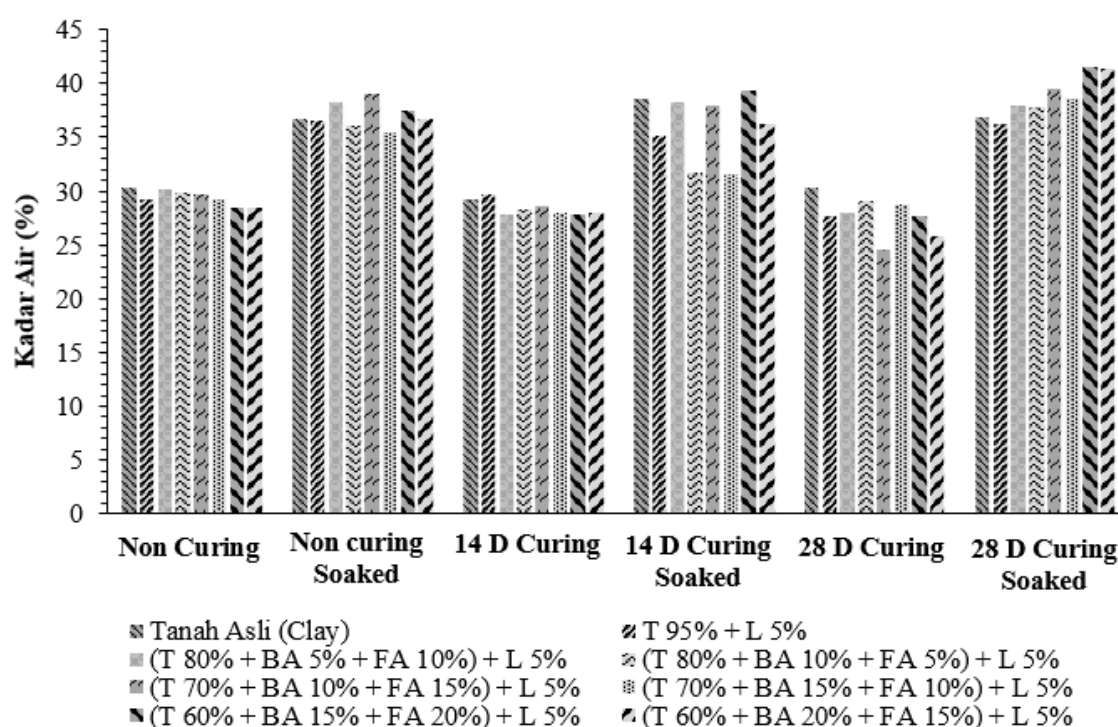


Gambar 4.3 Rekapitulasi Pengujian CBR

Berdasarkan gambar 4.3 dapat disimpulkan, bahwa setiap nilai variasi nilai menghasilkan nilai yang bervariasi, seperti pada sampel 28 hari kondisi pemeraman didapatkan nilai tertinggi pada variasi (T 60% + BA 15% + FA 20%) + L 5% memiliki

CBR sebesar 65,29%, pada nilai CBR kondisi diperam dan direndam nilai tertinggi pada variasi yang sama dengan CBR 75,37%. Sampel pada pemeraman 14 hari nilai yang tertinggi pada variasi campuran (T 60% + BA 20% + FA 15%) + L 5% dan pada sampel 14 hari pemeraman dan direndam 4 hari nilai yang tertinggi pada nilai CBR (T 70% + BA 15% + FA 10%) + L 5%. Kemudian sampel yang langsung diuji nilai CBR tertinggi pada campuran (T 60% + BA 20% + FA 15%) + L 5%, pada grafik 4.3 pengujian yang langsung direndam menunjukkan hasil meningkat apabila variasi campuran kapur, fly ash dan bottom ash ditambah, hal itu disebabkan karena terjadi reaksi kimia pada masing-masing variasi campuran pada saat rendaman. kondisi ini tidak berlaku pada sampel pengujian tanah asli dan T 95% + L 5% yang langsung direndam dikarenakan belum ada terjadinya reaksi kimia pada tanah asli dan T 95% + L 5% tersebut.

4.4 pengaruh kadar air terhadap nilai CBR



Gambar 4.4 Kadar Air Sempel CBR setiap Variasi

Berdasarkan gambar 4.4, sampel yang diperam selama 14 hari dan 28 hari memiliki nilai yang berbeda pada sampel yang direndam. Sampel yang langsung direndam memiliki nilai kadar air yang besar dibandingkan kadar air yang langsung diuji. Menurut Suroso & Suyadi (2013), pada kondisi rendaman, semakin besar kadar air yang diberikan pada tanah, maka nilai daya dukung pada tanah semakin berkurang, begitu pula sebaliknya. Untuk kadar air yang diperam selama 14 hari didapatkan nilai tertinggi pada campuran T 95% + L 5% dan di rendam pada campuran (T 60% + BA 15% + FA 20%) + L 5% untuk kadar air diperam selama 28 hari nilai tertinggi pada tanah asli dan direndam pada campuran (T 60% + BA 15% + FA 20%) + L 5%. Pada kondisi yang

langsung di uji nilai kadar air tertinggi pada tanah asli dan yang langsung direndam nilai campuran pada (T 70% + BA 10% + FA 15%) + L 5%.

4.5 Pengujian Swelling

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Swelling

Deskripsi Campuran	Pemeraman (Hari)	h (mm)		h2 (mm)		Δh (%)	
		Sampel		Sampel		Sampel	
		1	2	1	2	1	2
Tanah Asli (Clay)	0	5.26	5.11	121.59	121.44	4.522	4.393
	14	4.43	4.14	120.76	120.47	3.808	3.562
	28	2.20	1.52	118.53	117.85	1.891	1.302
L 95% + K 5%	0	0.73	0.77	117.06	117.10	0.623	0.662
	14	0.03	0.05	116.36	116.38	0.028	0.039
	28	0.07	0.06	116.40	116.39	0.056	0.047
(T 80% + BA 5% + FA 10%) + L 5%	0	1.17	1.06	117.50	117.39	1.006	0.911
	14	0.01	0.01	116.34	116.34	0.004	0.004
	28	0.02	0.02	116.35	116.35	0.013	0.013
(T 80% + BA 10% + FA 5%) + L 5%	0	0.35	0.34	116.68	116.67	0.301	0.292
	14	0.01	0.01	116.34	116.34	0.010	0.009
	28	0.03	0.02	116.36	116.35	0.026	0.019
(T 70% + BA 10% + FA 15%) + L 5%	0	0.76	0.84	117.09	117.17	0.653	0.718
	14	0.03	0.03	116.36	116.36	0.024	0.026
	28	0.00	0.00	116.33	116.33	0	0
(T 70% + BA 15% + FA 10%) + L 5%	0	0.76	0.63	117.09	116.96	0.653	0.542
	14	0.01	0.06	116.34	116.39	0.010	0.047
	28	0.01	0.02	116.34	116.35	0.009	0.013
(T 60% + BA 15% + FA 20%) + L 5%	0	0.34	0.79	116.67	117.12	0.292	0.677
	14	0.02	0.02	116.35	116.35	0.017	0.016
	28	0.00	0.00	116.33	116.33	0	0
(T 60% + BA 20% + FA 15%) + L 5%	0	0.28	0.29	116.61	116.62	0.241	0.249
	14	0.01	0.02	116.34	116.35	0.004	0.015
	28	0.00	0.00	116.33	116.33	0	0

Dari tabel diatas berdasarkan pengujian *swelling potential* menunjukkan bahwa sampel dengan komposisi (T 70% + BA 10% + FA 15%) + L 5% tidak mengalami pengembangan dengan nilai *swelling potential* 0%, kemudian pada sampel komposisi L (T 60% + BA 15% + FA 20%) + L 5% dan (T 60% + BA 20% + FA 15%) + L 5% juga tidak mengalami pengembangan dengan nilai *swelling* 0%. Kondisi ini terjadi pada umur pemeraman 28 hari dan 4 hari perendaman, sementara komposisi (T 80% + BA 5% + FA 10%) + L 5% mengalami pengembangan sebesar 1,006 % dengan kondisi pemeraman 0 hari (tidak dilakukan pemeraman) dan perendaman 4 hari.

5. KESIMPULAN

Simpulan dari penelitian ini yaitu :

1. Persentase nilai CBR tertinggi kondisi pemeraman 28 hari pada campuran (T 60% + BA 15% + FA 20%) + L 5% dengan nilai sebesar 65,29%. pada nilai CBR kondisi diperam 28 hari dan 4 hari perendaman nilai tertinggi pada variasi yang sama dengan CBR 75,37%.

2. Pemeraman dan perendaman mempengaruhi nilai CBR, sampel yang dilakukan pemeraman 28 hari memiliki rata-rata nilai CBR tertinggi. Dibandingkan dengan tanpa dilakukan pemeraman dan perendaman.
3. Berdasarkan hasil pemadatan proktor pada tanah asli diperoleh nilai OMC sebesar 30,40% dan kepadatan kering maksimum (*MDD*) 13,44 kN/m³.
4. Berdasarkan hasil pengujian attenberg limit diperoleh nilai tanah lempung berplastisitas tinggi dengan batas cair (*liquid limit*) 77,51 %, batas plastis (*plastis limit*) 33,77 %, dan indeks plastisitas (*plasticity index*) sebesar 43,74 %.
5. Pada sampel yang tidak dilakukan proses pemeraman dan langsung direndam memiliki nilai CBR yang cenderung tinggi dibandingkan dengan sampel yang dilakukan pengujian CBR langsung.
6. Pada pengujian pengembangan variasi campuran yang tidak mengalami potensi pengembangan pada campuran (T 70% + BA 10% + FA 15%) + L 5%, (T 60% + BA 15% + FA 20%) + L 5% dan (T 60% + BA 20% + FA 15%) + L 5%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Das, B. M. (1985). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* (1st ed.).
- Suroso, & Suyadi, W. (2013). Pengaruh Variasi Lama Perendaman , Energi Pemadatan , Dan Kadar Air Terhadap Pengembangan. 7(1), 55–65.
- Tobing, B. C. L., Suroso, & Zaika, Y. (2011). Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai Cbr Dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Bojonegoro Dengan Campuran 15% *Fly Ash*. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(2), 1–8.
- Wardani, S. P. R. (2008). Pemanfaatan Limbah Batubara (*Fly Ash*) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan. *Pidato Pengukuhan Guru Besar*, 1–71.
- Wijaya, O. (2018). Pengaruh Penambahan Abu Dasar (*Bottom Ash*) Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Surabaya Barat Terhadap Nilai Potensial Swelling. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 186–194.

TINJAUAN ULANG STRUKTUR BANGUNAN RUMAH SUSUN SEWA EMPAT LANTAI DAN PERKIRAAN POTENSI LIKUIFAKSINYA

Rina Yuliet¹, Padli Wahyu Septiawan²

¹Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email : yulietrina@gmail.com

²Mahasiswa Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email : padliwahyu10@gmail.com

ABSTRAK

Sumatera Barat merupakan salah satu daerah yang rawan terjadi gempa bumi karena terletak di bagian pesisir pantai barat Sumatera yang secara tektonik berada berdekatan dengan zona subduksi, yaitu zona pertemuan antara lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia sehingga juga berpotensi menimbulkan tsunami dan likuifaksi. Peristiwa likuifaksi saat gempa bumi bisa terjadi karena adanya pergerakan tanah yang terjadi dengan arah horizontal, bangunan yang berada pada daerah berpotensi terlikuifaksi dapat menimbulkan terjadinya amblas, miring atau bergerak ke samping dan bahkan dapat mengakibatkan keruntuhan terhadap bangunan tersebut. Untuk mengatasinya maka diperlukan evaluasi bangunan agar mampu menahan semua beban yang terjadi, salah satunya yaitu bangunan Rumah Susun Sewa Empat Lantai yang lokasinya berada dekat dengan pantai dan berpotensi terjadi likuifaksi. Evaluasi struktur dilakukan dengan menggunakan software ETABS dengan memasukkan beban gempa menggunakan respon spektrum serta beban tsunami menggunakan FEMA P-646 dan diketahui bahwa struktur kolom lantai 1 dan kolom lantai 2 tidak mampu menahan beban yang diterima. Untuk tanah di daerah tersebut sangat berpotensi terjadi likuifaksi berdasarkan hitungan hasil nilai CSR dengan nilai qc_1 dengan kedalaman yang berbeda, potensi terjadinya likuifaksi terdapat pada kedalaman 0-0,4 m, 0,8-4 m, 6,4-12 m, dan pada kedalaman 13,2-15 m. Sedangkan untuk analisa kekuatan pondasi diketahui bahwa pondasi square pile yang digunakan tidak mampu menahan beban yang diterima karena nilai daya dukung pondasi tersebut lebih kecil daripada beban yang diterima.

Kata kunci : Likuifaksi, Gempa Bumi, Tsunami, Pondasi, Penurunan

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah Indonesia khususnya Sumatera Barat merupakan daerah yang rawan terjadi gempa bumi yang juga berpotensi menimbulkan tsunami. Disamping dua kemungkinan bencana yang dapat terjadi tersebut, Sumatera Barat juga menyimpan bahaya lain yang dapat mengancam yaitu terjadinya likuifaksi. Likuifaksi tanah adalah fenomena yang terjadi ketika tanah yang jenuh kehilangan kekakuan dan kekuatannya akibat adanya tegangan. Tegangan yang terjadi dapat ditimbulkan oleh gempa bumi ataupun karena perubahan ketegangan lainnya secara mendadak, sehingga tanah yang awalnya padat dapat berubah wujud menjadi cairan atau air berat.

Melihat besarnya potensi bencana yang dapat ditimbulkan oleh permasalahan tersebut, maka penulis tertarik untuk mengangkat sebuah topik penelitian yang berjudul “Tinjauan Ulang Struktur Bangunan Rumah Susun Sewa Empat Lantai dan Perkiraan Potensi Likuifaksinya”.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian dari tugas akhir ini adalah :

1. Menghitung kekuatan struktur bangunan akibat beban gempa dan beban tsunami.
2. Menghitung potensi likuifaksi struktur bangunan rumah susun sewa empat lantai.
3. Menghitung daya dukung pondasi yang digunakan pada bangunan rumah susun sewa empat lantai.
4. Untuk mengetahui pengaruh keseluruhan beban terhadap bangunan rumah susun sewa empat lantai.

1.3 Batasan Masalah Penelitian

Agar hasil penelitian optimal dan memudahkan dalam peninjauan struktur dan potensi likuifaksi ini, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut ini:

1. Data teknis struktur bangunan yang digunakan adalah data-data yang didapat saat melakukan survey di lokasi bangunan Rumah Susun Sewa Universitas Negeri Padang.
2. Data kondisi tanah yang digunakan adalah data pengujian sondir yang berada di lokasi bangunan Integrated Classroom A Universitas Negeri Padang.
3. Tinjauan ulang dilakukan apabila bangunan Rumah Susun Sewa Universitas Negeri Padang berada di lokasi pengujian data sondir.
4. Analisa pembebanan dan gaya dalam didapatkan dengan menggunakan *software* ETABS (Extended 3D analysis of Building systems).
5. Beban-beban yang digunakan pada analisa struktur yaitu beban mati, beban hidup, beban gempa dan beban tsunami.
6. Analisis gaya gempa menggunakan beban gempa dinamis dengan respon spektrum gempa yang diambil dari website PU (http://puskim.pu.go.id/aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/) untuk wilayah Kota Padang.
7. Analisis beban tsunami dihitung berdasarkan FEMA P646 – 2012

2. PROSEDUR DAN PERHITUNGAN

2.1 Prosedur

Dalam pengerjaan tugas akhir ini diperlukan beberapa tahapan pengerjaan yang terdiri dari tahapan sebagai berikut :

1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan tinjauan pustaka tentang pengaruh likuifaksi tanah terhadap bangunan. Persiapan literatur dilakukan untuk menyiapkan dan mempelajari literatur yang sesuai dengan kasus yang akan dianalisis.

2. Pemilihan Objek Penelitian dan Studi Kasus

Objek penelitian yang ditinjau adalah dimensi Gedung Rumah Susun Sewa Universitas Negeri Padang. Pada tahap ini juga dilakukan pengambilan data tanah berdasarkan pengujian sondir yang terdapat di lokasi bangunan Integrated Classroom A Universitas Negeri Padang.

3. Pemodelan Struktur dan Analisis Pembebanan

Memodelkan struktur Gedung Rumah Susun Sewa Universitas Negeri Padang dengan menggunakan software ETABS. Analisis Pembebanan yang dilakukan berupa beban mati, beban hidup, beban gempa dan beban Tsunami.

4. Analisis Struktur

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kondisi bangunan dengan peraturan SNI 03-1726-2012 dan *Federal Emergency Management Agency* (FEMA P646) 2012 dan kondisi tanah dengan AASHTO-2012.

5. Perhitungan Likuifaksi

Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui potensi terjadinya likuifaksi di daerah tersebut yang akan berdampak pada bangunan Rumah Susun Sewa Universitas Negeri Padang apabila terjadi gempa bumi dengan kekuatan yang besar.

6. Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang

Evaluasi kekuatan tiang pancang dilakukan setelah adalah beberapa beban yang diterima oleh bangunan.

7. Hasil dan Pembahasan

Setelah analisis pembebanan, kemudian struktur dianalisis untuk mengetahui gaya dalam, dan perpindahan struktur dengan memperhitungkan beban tsunami, serta potensi likuifaksi. Apakah bangunan cukup mampu atau tidak apabila terjadi tsunami pada daerah tersebut dan analisa daya dukung tanah terhadap bangunan.

2.2 Perhitungan

Pengerjaan permodelan struktur dilakukan berdasarkan desain bangunan menggunakan data yang ada dilapangan sesuai struktur yang ada pada gambar rencana Gedung Rumah Susun Sewa Universitas Negeri Padang tersebut, yaitu:

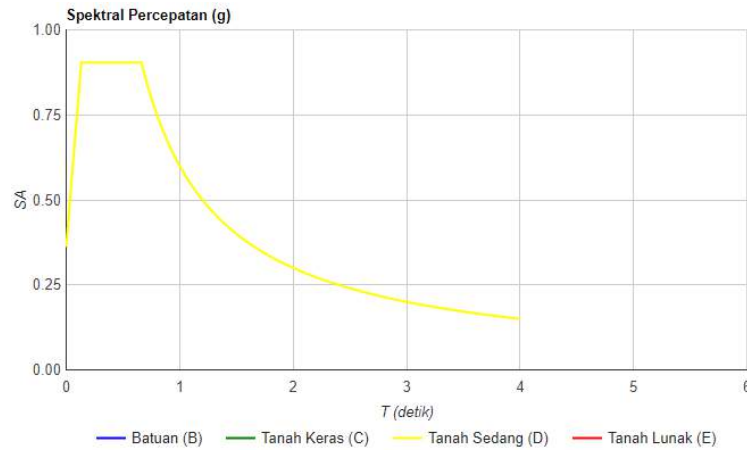
1. Jenis struktur : Beton Bertulang
2. Mutu Beton : $f_c' 25 \text{ MPa}$
3. Jumlah lantai : 4
4. Jenis Kolom : Kolom 50 x 30 cm
5. Jenis Balok : Balok 45 x 25 cm
6. Ketebalan Plat : 15 cm

Untuk analisa pembebanan struktur dibuat berdasarkan SNI 1727:2013 dan PPIUG 1983. Sedangkan data beban gempa diambil melalui *website* Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman berdasarkan lokasi gedung Rumah Susun Sewa Universitas Negeri Padang. Kelas situs tanah ditentukan berdasarkan nilai q_c rata-rata tanah pada tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi konsentrasi tanah

Konsistensi	$Q_c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
Tanah Sangat Lunak	<5
Tanah Lunak	5-10
Tanah Agak Lunak	10-35
Tanah Sedang	30-60
Tanah Agak Keras	60-120
Tanah Keras	>120

Berdasarkan data pengujian sondir di lokasi bangunan Integrated Classroom A Universitas Negeri Padang didapat nilai q_c rata-rata tanah sebesar 38,184. Berdasarkan tabel 1 dikategorikan sebagai tanah sedang, sehingga didapat grafik percepatan gempa pada Gedung Rumah Susun Sewa Empat Lantai yang terlihat pada gambar 1.



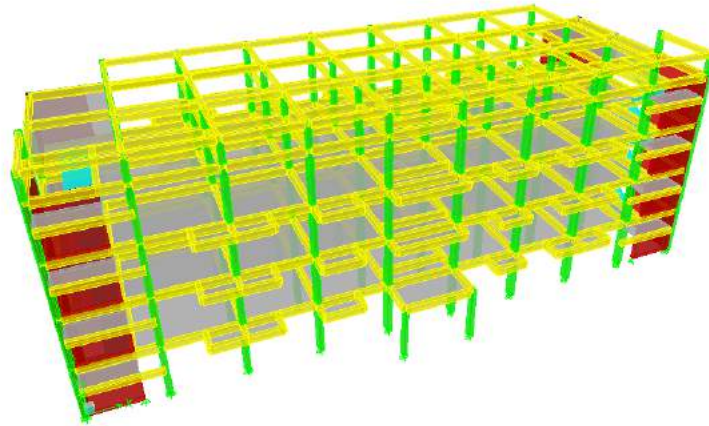
Gambar 81. Nilai Spektra Percepatan (g) vs Waktu (T)

Beban tsunami terdiri dari beberapa jenis beban, berikut perhitungan untuk beban tsunami seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan beban tsunami

Beban Tsunami		
Gaya Hidrostatik	$F_h = 0,5 \cdot \rho_s \cdot B \cdot h \cdot \max^2$ $= 32000,38 \text{ kg}$	(di ketinggian 1/3 h_{\max} pada bidang terkena aliran tsunami)
Gaya Apung	$F_b = \rho_s \cdot g \cdot V$ $= 4070 \text{ kg}$	(pada lantai yang terendam genangan tsunami)
Gaya Hidronamik	$F_d = 0,5 \cdot \rho_s \cdot C_d \cdot B \cdot (hu)^2_{\max}$ $= 8389,288 \text{ N}$	(pada elemen struktur terkena genangan tsunami)
Gaya Impuls	$F_s = 1,5 \cdot F_d$ $= 12583,93 \text{ kg}$	(pada dinding struktural)
Gaya hantaman Puing-puing	$F_i = 1,3 \cdot u_{\max} \cdot \sqrt{[k \cdot m \cdot d \cdot (1 + c)]}$ $= 364003,5 \text{ N}$ $= 37105,35 \text{ kg}$	(pada elemen struktur mengalami benturan)
Gaya akibat bendung puing-puing	$F_{dr} = (1/2) \cdot \rho_s \cdot C_d \cdot B \cdot d \cdot (hu)^2_{\max}$ $= 232373,4 \text{ N}$ $= 23687 \text{ kg}$	(pada elemen struktur yang lebar > 12 m)
Gaya tambahan gravitasi	$F_r = \rho_s \cdot g \cdot h_r$ $= 3237,3 \text{ N/m}^2$ $= 330 \text{ kg/m}^2$	(pada plat lantai teratas yang berada di bawah permukaan genangan tsunami)
Gaya Angkat Hidrodinamik	$F_u = 1/2 \cdot C_u \cdot \rho_s \cdot A_f \cdot uv^2$ $= 4,976393 \text{ N/m}^2$ $= 0,507278 \text{ kg/m}^2$	(pada plat lantai teratas yang berada di bawah permukaan genangan tsunami)

Dari data yang telah didapatkan diatas, selanjutnya dapat digunakan untuk permodelan struktur. Dalam hal ini permodelan struktur dibuat menggunakan software ETABS.



Gambar 2. Permodelan Struktur Gedung Rumah Susun Sewa Empat Lantai

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kapasitas Struktur

Analisa struktur untuk bangunan ini ada dua yaitu perhitungan untuk kapasitas balok dan kolom. Nilai kuat tekan rencana kolom mengalami reduksi sebesar 0,8 dengan perbandingan nilai analisa struktur seperti pada tabel 3 berikut :

Tabel 3. Nilai perbandingan kapasitas kuat tekan kolom

Lantai	ϕM_n (kN)	M_u (kN)	Keterangan
1	131,471	523,062	NOT OK
2	106,725	533,375	NOT OK
3	106,725	41,641	OK
4	106,725	26,682	OK
5	56,540	19,675	OK

Nilai kuat geser rencana balok mengalami reduksi sebesar 0,75 dengan perbandingan nilai analisa struktur sebagai berikut :

Tabel 4. Nilai perbandingan kapasitas kuat geser balok

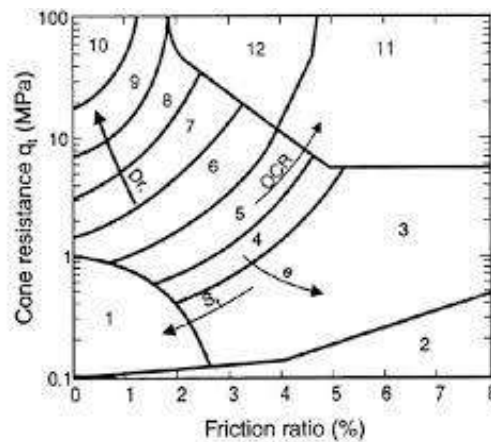
Lantai	Tumpuan		Lapangan		Keterangan
	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	
1	258,600	169,990	194,270	169,990	OK
2	258,600	86,050	194,270	86,050	OK
3	258,600	43,060	194,270	43,060	OK
4	258,600	43,060	194,270	43,060	OK
5	157,620	43,060	113,510	43,060	OK

3.2 Perhitungan Potensi Likuifaksi

Likuifaksi dapat menyebabkan kegagalan pada struktur bangunan karena hilangnya kekuatan tanah tempat berdirinya pondasi sehingga tidak mampu lagi menahan beban yang diterima dengan baik. Perhitungan potensi likuifaksi dilakukan menggunakan data CPT dengan tahapan berikut :

3.2.1 Menentukan Jenis Tanah

Untuk mengetahui potensi likuifaksi dibutuhkan data lapangan berupa nilai perlawanan konus (q_c) pada kedalaman yang ditinjau. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui jenis tanah dan berat volume tanah melalui gambar 3 dan nilainya dapat dikorelasikan ke dalam tabel 5.



Gambar 3. Grafik Perilaku Tanah Berdasarkan Data Sondir

Tabel 5. Estimasi jenis tanah dan berat volume tanah

Zona	Jenis Tanah	γ (kg/cm ³)
1	Butiran Halus Sensitif	0,00175
2	Organik	0,00125
3	Lempung	0,00175
4	Lempung Berlanau sampai Lempung	0,00180
5	Lanau Berlempung sampai Lempung Berlanau	0,00180
6	Lanau Berpasir sampai Lanau Berlempung	0,00180
7	Pasir Berlanau sampai Lanau Berpasir	0,00185
8	Pasir sampai Pasir Berlanau	0,00190
9	Pasir	0,00195
10	Pasir Berkerikil sampai Pasir	0,00200
11	Butiran Halus Sangat Kaku	0,00250
12	Pasir sampai Pasir Berlempung	0,00190

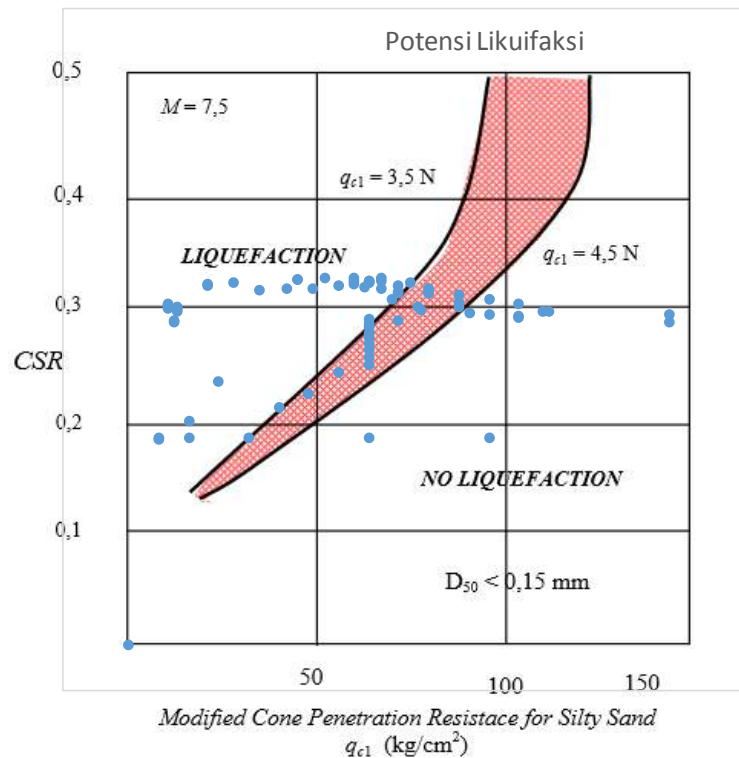
3.2.2 Perhitungan Likuifaksi

Dari hasil estimasi nilai berat volume tanah tersebut didapatkan nilai CSR atau nilai *Cyclic Stress Ratio* tiap kedalaman serta kedalaman yang berpotensi mengalami likuifaksi yang ditunjukkan oleh tabel 6.

Tabel 6. Hasil analisa likuifaksi

Kedalaman	qc	qc1	γ	γ_w	GWL	σ'	σ_o	Magnitudo	g	amax	rd	CSR	Keterangan
cm	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ³	kg/cm ³	cm	kg/cm ²	kg/cm ²	M	cm/det ²				
0	0	0	0	0,000981	120	0	0	7,6	980	274,680	1	0	Likuifaksi
20	20	32	0,00175	0,000981	120	0,035	0,035	7,6	980	274,680	0,998	0,182	Likuifaksi
40	40	64	0,00180	0,000981	120	0,072	0,072	7,6	980	274,680	0,997	0,182	Tidak Likuifaksi
60	60	96	0,00185	0,000981	120	0,111	0,111	7,6	980	274,680	0,995	0,181	Tidak Likuifaksi
80	10	16	0,00175	0,000981	120	0,140	0,140	7,6	980	274,680	0,994	0,181	Likuifaksi
100	5	8	0,00175	0,000981	120	0,175	0,175	7,6	980	274,680	0,992	0,181	Likuifaksi
120	5	8	0,00175	0,000981	120	0,210	0,210	7,6	980	274,680	0,991	0,181	Likuifaksi
140	10	16	0,00175	0,000981	120	0,245	0,225	7,6	980	274,680	0,989	0,196	Likuifaksi
160	25	40	0,00180	0,000981	120	0,288	0,249	7,6	980	274,680	0,988	0,208	Likuifaksi
180	30	48	0,00180	0,000981	120	0,324	0,265	7,6	980	274,680	0,986	0,220	Likuifaksi
200	15	24	0,00175	0,000981	120	0,350	0,272	7,6	980	274,680	0,985	0,231	Likuifaksi
220	35	56	0,00180	0,000981	120	0,396	0,298	7,6	980	274,680	0,983	0,238	Likuifaksi
240	40	64	0,00180	0,000981	120	0,432	0,314	7,6	980	274,680	0,982	0,246	Likuifaksi
260	40	64	0,00180	0,000981	120	0,468	0,331	7,6	980	274,680	0,980	0,253	Likuifaksi
280	40	64	0,00180	0,000981	120	0,504	0,347	7,6	980	274,680	0,979	0,259	Likuifaksi
300	40	64	0,00180	0,000981	120	0,540	0,363	7,6	980	274,680	0,977	0,264	Likuifaksi
320	40	64	0,00180	0,000981	120	0,576	0,380	7,6	980	274,680	0,976	0,270	Likuifaksi
340	40	64	0,00180	0,000981	120	0,612	0,396	7,6	980	274,680	0,974	0,274	Likuifaksi
360	40	64	0,00180	0,000981	120	0,648	0,413	7,6	980	274,680	0,972	0,278	Likuifaksi
380	40	64	0,00180	0,000981	120	0,684	0,429	7,6	980	274,680	0,971	0,282	Likuifaksi
400	40	64	0,00180	0,000981	120	0,720	0,445	7,6	980	274,680	0,969	0,286	Likuifaksi
420	45	72	0,00185	0,000981	120	0,777	0,483	7,6	980	274,680	0,968	0,284	Tidak Likuifaksi
440	65	104	0,00185	0,000981	120	0,814	0,500	7,6	980	274,680	0,966	0,287	Tidak Likuifaksi
460	60	96	0,00185	0,000981	120	0,851	0,517	7,6	980	274,680	0,965	0,289	Tidak Likuifaksi
480	55	88	0,00180	0,000981	120	0,864	0,511	7,6	980	274,680	0,963	0,297	Tidak Likuifaksi
500	65	104	0,00190	0,000981	120	0,950	0,577	7,6	980	274,680	0,962	0,288	Tidak Likuifaksi
520	90	144	0,00190	0,000981	120	0,988	0,596	7,6	980	274,680	0,960	0,290	Tidak Likuifaksi
540	70	112	0,00190	0,000981	120	1,026	0,614	7,6	980	274,680	0,959	0,292	Tidak Likuifaksi
560	65	104	0,00185	0,000981	120	1,036	0,604	7,6	980	274,680	0,957	0,299	Tidak Likuifaksi
580	55	88	0,00185	0,000981	120	1,073	0,622	7,6	980	274,680	0,956	0,300	Tidak Likuifaksi
600	45	72	0,00180	0,000981	120	1,080	0,609	7,6	980	274,680	0,954	0,308	Tidak Likuifaksi
620	60	96	0,00185	0,000981	120	1,147	0,657	7,6	980	274,680	0,953	0,303	Tidak Likuifaksi
640	50	80	0,00180	0,000981	120	1,152	0,642	7,6	980	274,680	0,951	0,311	Likuifaksi
660	50	80	0,00180	0,000981	120	1,188	0,658	7,6	980	274,680	0,950	0,312	Likuifaksi
680	55	88	0,00185	0,000981	120	1,258	0,709	7,6	980	274,680	0,948	0,307	Likuifaksi
700	45	72	0,00180	0,000981	120	1,260	0,691	7,6	980	274,680	0,946	0,314	Likuifaksi
720	50	80	0,00185	0,000981	120	1,332	0,743	7,6	980	274,680	0,945	0,308	Likuifaksi
740	45	72	0,00185	0,000981	120	1,369	0,761	7,6	980	274,680	0,943	0,309	Likuifaksi
760	40	64	0,00180	0,000981	120	1,368	0,740	7,6	980	274,680	0,942	0,317	Likuifaksi
780	40	64	0,00180	0,000981	120	1,404	0,757	7,6	980	274,680	0,940	0,318	Likuifaksi
800	40	64	0,00180	0,000981	120	1,440	0,773	7,6	980	274,680	0,939	0,319	Likuifaksi
820	40	64	0,00180	0,000981	120	1,476	0,789	7,6	980	274,680	0,937	0,319	Likuifaksi
840	30	45	0,00180	0,000981	120	1,512	0,806	7,6	980	274,680	0,936	0,320	Likuifaksi
860	30	45	0,00180	0,000981	120	1,548	0,822	7,6	980	274,680	0,934	0,320	Likuifaksi
880	40	60	0,00180	0,000981	120	1,584	0,838	7,6	980	274,680	0,933	0,321	Likuifaksi
900	45	67,5	0,00180	0,000981	120	1,620	0,855	7,6	980	274,680	0,931	0,321	Likuifaksi
920	35	52,5	0,00180	0,000981	120	1,656	0,871	7,6	980	274,680	0,928	0,321	Likuifaksi
940	45	67,5	0,00185	0,000981	120	1,739	0,935	7,6	980	274,680	0,923	0,313	Likuifaksi
960	40	60	0,00180	0,000981	120	1,728	0,904	7,6	980	274,680	0,918	0,320	Likuifaksi
980	45	67,5	0,00180	0,000981	120	1,764	0,920	7,6	980	274,680	0,912	0,319	Likuifaksi
1000	50	75	0,00180	0,000981	120	1,800	0,937	7,6	980	274,680	0,907	0,318	Likuifaksi
1020	40	60	0,00180	0,000981	120	1,836	0,953	7,6	980	274,680	0,902	0,316	Likuifaksi
1040	40	56	0,00180	0,000981	120	1,872	0,969	7,6	980	274,680	0,896	0,315	Likuifaksi
1060	45	63	0,00180	0,000981	120	1,908	0,986	7,6	980	274,680	0,891	0,314	Likuifaksi
1080	35	49	0,00180	0,000981	120	1,944	1,002	7,6	980	274,680	0,886	0,313	Likuifaksi
1100	30	42	0,00180	0,000981	120	1,980	1,019	7,6	980	274,680	0,880	0,312	Likuifaksi
1120	25	35	0,00180	0,000981	120	2,016	1,035	7,6	980	274,680	0,875	0,310	Likuifaksi
1140	20	28	0,00175	0,000981	120	1,995	0,994	7,6	980	274,680	0,870	0,318	Likuifaksi
1160	15	21	0,00175	0,000981	120	2,030	1,010	7,6	980	274,680	0,864	0,317	Likuifaksi
1180	15	21	0,00175	0,000981	120	2,065	1,025	7,6	980	274,680	0,859	0,315	Likuifaksi
1200	70	91	0,00190	0,000981	120	2,280	1,221	7,6	980	274,680	0,854	0,291	Tidak Likuifaksi
1220	55	77	0,00185	0,000981	120	2,257	1,178	7,6	980	274,680	0,848	0,296	Tidak Likuifaksi
1240	50	70	0,00180	0,000981	120	2,232	1,133	7,6	980	274,680	0,843	0,302	Tidak Likuifaksi
1260	60	78	0,00185	0,000981	120	2,331	1,213	7,6	980	274,680	0,838	0,293	Tidak Likuifaksi
1280	85	110,5	0,00185	0,000981	120	2,368	1,230	7,6	980	274,680	0,832	0,292	Tidak Likuifaksi
1300	120	144	0,00190	0,000981	120	2,470	1,312	7,6	980	274,680	0,827	0,284	Tidak Likuifaksi
1320	10	13	0,00180	0,000981	120	2,376	1,199	7,6	980	274,680	0,822	0,297	Likuifaksi
1340	10	13	0,00180	0,000981	120	2,412	1,215	7,6	980	274,680	0,816	0,295	Likuifaksi
1360	10	13	0,00180	0,000981	120	2,448	1,232	7,6	980	274,680	0,811	0,294	Likuifaksi
1380	10	13	0,00180	0,000981	120	2,484	1,248	7,6	980	274,680	0,806	0,292	Likuifaksi
1400	8	10,4	0,00175	0,000981	120	2,450	1,194	7,6	980	274,680	0,800	0,299	Likuifaksi
1420	8	10,4	0,00175	0,000981	120	2,485	1,210	7,6	980	274,680	0,795	0,297	Likuifaksi
1440	8	10,4	0,00175	0,000981	120	2,520	1,225	7,6	980	274,680	0,790	0,296	Likuifaksi
1460	8	10,4	0,00175	0,000981	120	2,555	1,240	7,6	980	274,680	0,784	0,294	Likuifaksi
1480	10	12	0,00180	0,000981	120	2,664	1,330	7,6	980	274,680	0,779	0,284	Likuifaksi
1500	10	12	0,00180	0,000981	120	2,700	1,346	7,6	980	274,680	0,774	0,283	Likuifaksi

Setelah semua data di dapatkan maka potensi terjadinya likuifaksi dapat diketahui berdasarkan grafik CSR vs q_{c1} yang terdapat pada gambar 4.



Gambar 4. Potensi Likuifaksi Berdasarkan Nilai CSR vs q_{c1}

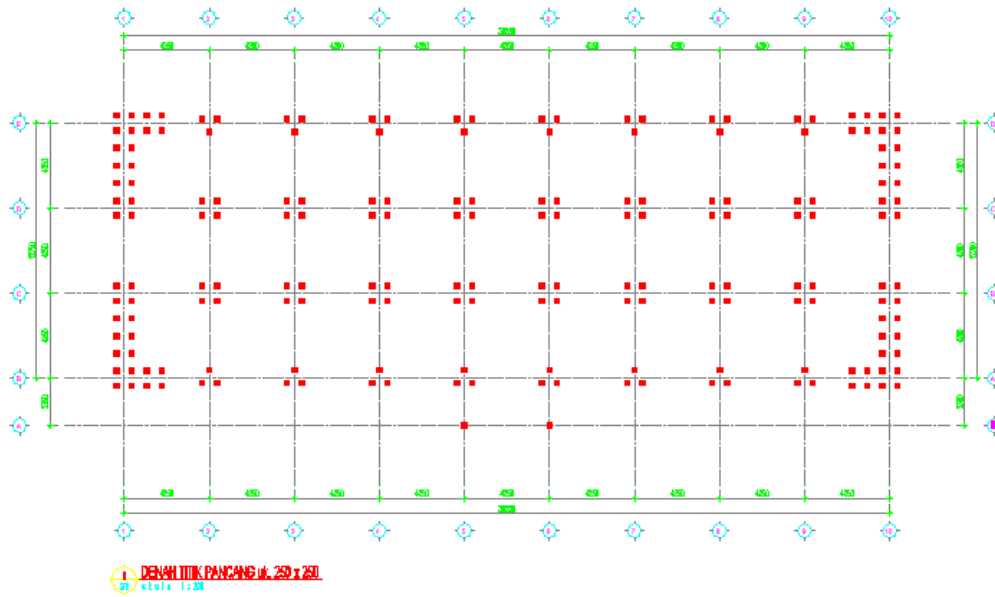
Dari tabel 6 dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah pada lokasi gedung Integrated Classroom A Universitas Negeri Padang berpotensi lebih banyak mengalami likuifaksi yakni pada kedalaman 0 m sampai 0,2 m, 1,8 m sampai 4 m, 6,4 m sampai 11,8 m dan 13,2 m sampai 15 m.

3.3 Perhitungan Nilai Daya Dukung Pondasi

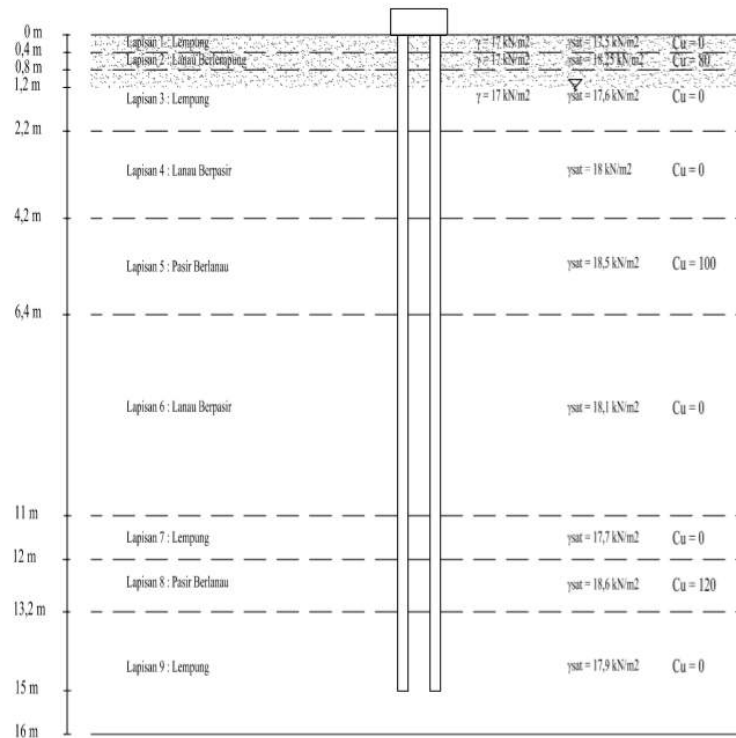
Untuk spesifikasi jenis tiang pondasi yang digunakan yaitu:

- Jenis Pondasi : Square Pile
- Panjang Pondasi : 15 m
- Dimensi Tiang: 250 x 250 mm

Berikut denah perencanaan pondasi pada gedung Rumah Susun Sewa Universitas Negeri Padang.



Gambar 5. Denah Pondasi Tiang Pancang Gedung Rumah Susun Sewa Universitas Negeri Padang



Gambar 6. Profil Tanah pada Lokasi Pengujian Sondir

Berdasarkan perhitungan daya dukung tiang tunggal dengan data CPT disertai potensi likuifaksi dengan tahapan berikut maka didapatkan nilai daya dukung tiap kelompok tiang pondasi

a. Menentukan Kapasitas Tahanan ujung tiang

$$C_u = (C_{u1} + C_{u2}) / 2 \quad (1)$$

$$q_t = 9 \times C_u \quad (2)$$

$$= 9 \times (20+17) / 2$$

$$= 166,5 \text{ kN}$$

$$R_t = q_t \times A_t \quad (3)$$

$$= 166,5 \times (0,25 \times 0,25)$$

$$= 10,406 \text{ kN}$$

b. Tahanan gesek tiang dengan potensi likuifaksi yang terjadi

Berdasarkan tabel 7 dapat diketahui nilai R_s yang didapat dari perkalian antara tahanan gesek dinding (F_s) dan luas permukaan selimut tiang (A_s).

Tabel 7. Hasil perhitungan nilai tahanan gesek tiang

Lapisan	Kedalaman	Jenis Tanah	F_s (kPa)	A_s (m ²)	R_s (kN)
1	0-0,4	Lempung	0	0,4	0,000
2	0,4-0,8	Lanau Berlempung	77	0,4	30,800
3	0,8-2,2	Lempung	0	1,4	0,000
4	2,2-4,2	Lanau Berpasir	0	2	0,000
5	4,2-6,4	Pasir Berlanau	87	2,2	191,400
6	6,4-11,0	Lanau Berpasir	0	4,6	0,000
7	11,0-12,0	Lempung	0	1	0,000
8	12,0-13,2	Pasir Berlanau	86	1,2	103,200
9	13,2-15,0	Lempung	0	1,8	0,000
ΣR_s					325,400

Dengan nilai yg telah didapat tersebut maka dapat ditentukan nilai kapasitas ultimit tiang tunggal dengan menggunakan rumus berikut

$$Q_u = R_t + \Sigma R_s \quad (4)$$

$$= 10,406 + 325,400$$

$$= 335,806 \text{ kN}$$

c. Menentukan Beban izin Pondasi kelompok tiang

Nilai daya dukung tiang grup didapatkan melalui perhitungan kapasitas tiang tunggal dikalikan dengan jumlah tiang pada satu grup dengan menggunakan *safety factor* sebesar 3.

Tabel 8. Nilai daya dukung izin tiang grup

Tiang Grup	Rs (kN)	Rt (kN)	Qu (kN)	Daya Dukung Izin (kN)	Beban (kN)	Ket
P1 (1 Tiang)	325,400	10,406	335,806	118,873	72,530	OK
P2 (3 Tiang)	325,400	10,406	1007,419	335,806	1240,710	NOT OK
P3 (4 Tiang)	325,400	10,406	1343,225	447,742	1654,840	NOT OK

Dari hasil analisa yang dilakukan, beban izin pada P2 dan P3 lebih kecil dari beban yang diterima. Sehingga pondasi tidak kuat menahan beban yang diterima.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan evaluasi dan perhitungan yang telah dilakukan pada bangunan Rumah Susun Sewa Empat Lantai ini maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari analisis struktur yang dilakukan didapatkan bahwa struktur kolom lantai 1 dan 2 pada bangunan Rumah Susun Sewa Empat Lantai tidak mampu menahan beban gempa dan beban tsunami.
2. Tanah di lokasi yang ditinjau sebagian besar berpotensi terjadi likuifaksi dengan kedalaman yang berbeda-beda.
3. Pondasi tidak mampu menahan beban yang diberikan oleh struktur di atasnya.
4. Secara keseluruhan struktur bangunan Rumah Susun Sewa Empat Lantai tidak dapat bertahan dari likuifaksi yang terjadi sehingga tidak dapat digunakan sebagai shelter untuk berlindung apabila terjadi tsunami karena bangunan sudah tidak mampu menahan beban.

5. DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Bowles, J. E. 1991. Analisa dan Desain Pondasi. Edisi keempat Jilid 1. Erlangga, Jakarta.
- Das, B. M. 2011. "Mekanika Tanah" Jilid I cetakan ke II Penerbit Bandung.
- FEMA P646-2012. Guidelines for Design of Structure for Vertical Evacuation from Tsunami. Federal Emergency Management. Washington D.C, USA.
- Hakam, A., Helmy, D., 2013. Penelusuran Potensi Likuifaksi Pantai Padang Berdasarkan Gradasi Butiran dan Tahanan Penetrasi Standar. Padang.
- Hardiyatmo, H. C. 1996. "Teknik Pondasi 1". PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Juang, C. H., and Jiang, T. 2000. Assessing Probability Based Methods for Liquefaction Potential Evaluation.

- Kementrian Pekerjaan Umum. 2017. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor:18/SE/Db/2017 tentang Panduan Perencanaan Jembatan Volume 2. Jakarta.
- Liao, S. C. C. and Whitman, R. V. 1986. Catalogue of Liquefaction and Non-Liquefaction Occurrences During Earthquakes. Cambridge.
- Muntohar, A. S. 2009. Mikro-Zonasi Potensi Likuifaksi dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi. Yogyakarta.
- Putra, H. G., Abdul, H., Dody, L. 2009. Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Pengujian Sondir (Studi Kasus Gor Haji Agus Salim dan Lapai, Padang). Padang.
- Seed, H. B., and Idriss, I. M. 1971. "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential," J. Soil. Mech. Foundat. Div., ASCE , 97 (SM9), 1249-1273.
- Seed, H. B., and Idriss, I. M. 1982. Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes. Oakland.
- SNI 1726:2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta, Indonesia. SNI 1727:2013. Beban Minimum untuk perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta, Indonesia.
- SNI 1727:2013. Beban Minimum untuk perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta, Indonesia.
- Soebowo, E., Tohari, A., Sarah, D. 2009. Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data CPT dan N-SPT di Daerah Patalan Bantul, Yogyakarta.
- Tohari, A., Khori, S., Eko, S. 2011. Liquefaction Potential at Padang City: A Comparison of Predicted and Observed Liquefactions During the 2009 Padang Earthquake. Padang.
- Yuliet, R., Fauzan, Abdul, H., Helza, R. 2019. Structural Evaluation of Nurul Haq Shelter Building Constructed on Liquefaction Prone Area in Padang City Indonesia. International Journal of GEOMATE Vol. 17. Jepang.
- Yuliet, R., Hendri, G. P., Siti, L. P. 2018. Perencanaan Ulang Pondasi Gedung ICR-A Universitas Negeri Padang Menggunakan Pondasi Tiang Pancang. Padang.

PROSIDING SEMINAR NASIONAL 6TH ACE CONFERENCE 2019 PADANG, 29 OKTOBER 2019



ISBN 978-623-7736-98-1

9 786237 736981

A white rectangular box containing the ISBN number 978-623-7736-98-1 at the top, a standard barcode in the middle, and the number 9 786237 736981 at the bottom.