

PROCEEDING

Civil Engineering, Environmental
and Disaster Risk Management
Symposium 2020



KOMDA 3
BMPTTSSI



BMPTTSSI
Badan Musyawarah
Pendidikan Tinggi Teknik Sipil Seluruh Indonesia

Yogyakarta, 10 Agustus 2020



**UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA**

PROSIDING

Civil Engineering Environmental and Disaster Risk Management Symposium (CEE DRiMS 2020)

Penguatan Riset dan Teknologi untuk Mewujudkan
Infrastruktur yang Cerdas, Lestari, dan Tangguh
Bencana

Yogyakarta, 10 Agustus 2020

Penerbit:



**UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA**

2020

SAMBUTAN KETUA JURUSAN TEKNIK SIPIL UII

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat-Nya prosiding Civil Engineering Environmental and Disaster Risk Management Symposium (CEE DRiMS) 2020 dapat terselenggara dengan baik. Simposium berskala nasional ini mengangkat tema “Penguatan Riset dan Teknologi untuk Mewujudkan Infrastruktur yang Cerdas, Lestari, dan Tangguh Bencana”.

Kegiatan CEE DRiMS 2020 merupakan wadah publikasi secara nasional yang diharapkan mampu memberikan kesempatan untuk terutama para mahasiswa S2 maupun S1 tingkat akhir untuk dapat berkompetisi menunjukkan hasil penelitian dengan cara presentasi yang baik. Selain itu, kegiatan simposium ini dimaksudkan secara khusus dapat menjadi wadah publikasi hasil penelitian pada periode tahun akademik semester genap.

Kegiatan CEE DRiMS 2020 ini diselenggarakan atas kerjasama antar perguruan tinggi sehingga diharapkan mampu menjadi wadah networking dan saling mengenal perkembangan antar perguruan tinggi. Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu berlangsungnya kegiatan simposium ini setelah sebelumnya tertunda akibat adanya pandemi Covid-19. Prosiding ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kami mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan kegiatan prosiding ini.

Semoga prosiding ini dapat memberikan informasi bagi masyarakat dan bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan khususnya pada bidang teknik sipil dan lingkungan. Atas kerjasama yang baik, dedikasi serta bantuan semua pihak dalam menyukseskan CEE DRiMS 2020, mewakili segenap civitas akademik Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia selaku tuan rumah kami ucapkan terima kasih.

Yogyakarta, 11 Agustus 2020

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia



Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D.

KATA SAMBUTAN KETUA KOMDA 3 BMPTSSI

Assalamu'alaikum Wr. Wb. Salam sejahtera untuk kita semua. Bapak ibu dan peserta simposium yang saya hormati. Marilah kita panjatkan puji syukur kepada Allah SWT, atas nikmat dan hidayah yang diberikan sehingga kita masih diberikan kesehatan.

Selamat datang kami ucapkan kepada seluruh peserta CEE DRiMS 2020. Sejarah kegiatan CEE DRiMS 2020 dimulai pada tahun 2018. Pada tahun 2018, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada menyelenggarakan kegiatan simposium yang mencakup seluruh bidang Teknik Sipil dan Lingkungan, ditujukan untuk mahasiswa, akademisi, dan peneliti skala nasional. Pada tahun 2019, Badan Musyawarah Pendidikan Tinggi Teknik Sipil Seluruh Indonesia (BMPTTSSI) Komisariat Daerah 3 (Komda 3), dengan melibatkan UNDIP, UNNES, UNTAG, UNISSULA, POLINES, UNIKA SOEGIJOPRANOTO, dan UPGRIS menyelenggarakan simposium yang mencakup seluruh bidang Teknik Sipil dan Lingkungan. Kegiatan simposium pada tahun 2018 dan 2019 masih bernama CEES. Pada tahun 2020, CEES dilaksanakan di UII. Jurusan Teknik Sipil UII memiliki kekhasan konsentrasi studi, yaitu kebencanaan. Mempertimbangkan hal ini, CEES berubah nama menjadi Civil Engineering Environmental and Disaster Risk Management Symposium (CEEDRiMS). CEE DRiMS tahun 2020 mengusung tema besar "Penguatan Riset dan Teknologi untuk Mewujudkan Infrastruktur yang Cerdas, Lestari, dan Tangguh Bencana".

CEEDRiMS 2020 menjadi wadah publikasi secara nasional yang diharapkan mampu memberikan kesempatan kepada para mahasiswa S1 dan S2 tingkat akhir untuk dapat berkompetisi menunjukkan hasil penelitian dengan cara presentasi yang baik. Selain mahasiswa, panitia juga memberi kesempatan kepada akademisi dan peneliti skala nasional untuk berpartisipasi. Kegiatan CEEDRiMS 2020 ini diselenggarakan atas kerjasama antar perguruan tinggi di wilayah Komda 3 sehingga diharapkan mampu menjadi wadah networking dan saling mengenal perkembangan antar perguruan tinggi.

Pada saat ini dunia sedang mengalami kondisi luar biasa akibat pandemik Covid 19, dimana salah satu dampaknya adalah adanya pembatasan aktivitas fisik. Untuk tetap terselenggaranya simposium, maka kegiatan dilaksanakan secara daring, dengan tanpa mengurangi esensinya.

Atas terselenggaranya acara simposium ini, kami mengucapkan terima kasih atas dukungan Bapak Ibu khususnya kepada:

1. Rektor Universitas Islam Indonesia Bapak Prof. Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D.
2. Sekjen BMPTTSSI Bapak Ir Muhamad Abduh , MT, PhD
3. Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., P.hD.
4. Kajur Teknik Sipil UII Bapak Prof. Ir. Widodo, MCSE., Ph.D
5. Seluruh Panitia
6. Pembicara dan moderator
7. Seluruh universitas partner, dan
8. Peserta simposium

Akhir kata, jika ada kekurangan dalam persiapan dan penyelenggaraan simposium ini, kami mohon maaf. Selamat mengikuti simposium, semoga bermanfaat untuk kemajuan kita semua. Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Koordinator Komda 3 BMPTTSSI



[Handwritten signature]
Dr. Niken Silmi Surjandari, S.T., M.T.

ANGGOTA KOMDA 3 BMPTSSI

Terlaksana Atas Kerjasama:

Universitas Jendral Sudirman
Universitas Diponegoro
Universitas Islam Sultan Agung
Universitas Pandanaran Semarang
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Universitas Tujuh Belas Agustus
Universitas Katholik Soegijapranata
Universitas Semarang
Universitas Surakarta
Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Universitas Muhammadiyah Purworejo
Universitas Tunas Pembangunan
Universitas Sebelas Maret Surakarta
Universitas Wijaya Kusuma Purwokerto
Universitas Tidar Magelang
Universitas Darul Ulum (UNDARIS)
STT Ronggolawe
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Universitas Gadjah Mada
Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Universitas Atmajaya Yogyakarta
Universitas Janabadra
Universitas Cokroaminoto Yogyakarta
Universitas Teknologi Yogyakarta
Universitas Sarjanawiyata Yogyakarta
Universitas Kristen Immanuel
Universitas Negeri Semarang
Politeknik Negeri Semarang
Universitas Islam Sultan Fatah Demak
Universitas Islam Indonesia
Universitas Veteran Bangun Nusantara
Universitas Sains Al-Quran

SUSUNAN PANITIA

(SC) Science Committee:

Prof. Ir. Widodo, MSCE, Ph.D. (Penanggungjawab)
D.A. Wahyu Wulan Pratiwi, S.T., M.T. (Pengarah)
Mochammad Teguh, Prof. Ir., MSCE., Ph.D. (Ketua)
Sarwidi, Prof. Ir., MSCE., Ph.D.
Miftahul Fauziah, Ph.D.
Setya Winarno, Ph.D.
Edy Purwanto, DR. Ir., CES., DEA.
Sri Amini Yuni Astuti, Dr. Ir., M.T.
Fitri Nugraheni, Ph.D.
Ruzardi, Dr. IR., MS.
Bambang Sulistiono, Ir., MSCE.
Suharyatma, Ir., MS.
Berlian Kushari, S.T., M.Eng.
Pradipta Nandi Wardhana, S.T., M.Eng.

(OC) Organizer Committee:

Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.
Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
Jafar, S.T., M.T., MURP
Mahmud Kori Effendi, Dr. Ing., M.T.
Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.
Rayendra, S.T., M.T.
Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
Wisnu Erlangga, S.T., M.T.
Rizka Ariyanto, S.Kom.
Muhammad Hidayatullah, S.Kom.
Ansatasia Sivana, Amd.

REVIEWER

Prof. Dr. IR. Antonius, M.T.	(Universitas Islam Sultan Agung)
Prof. Dr. Ir. Hj. Mudjiastuti Handajani	(Universitas Semarang)
Dr. Hermawan., S.T., M.T.	(Universitas Katolik Soegijapranata)
Dr. Sodikin, M.T.	(Universitas Veteran Bangun Nusantara)
Dr. Novi Andhi Setyo Purwono, S.T., M.T.	(Universitas Wijayakusuma Purwokerto)
Dr. Hermawan	(Universitas Katolik Soegijapranata)
Dr. Hj. Ani Tjitra Handayani, S.T, M.T.	(Institut Teknologi Nasional Yogyakarta)
Dr. Mohammad Debby Rizani, S.T., M.T.	(Universitas Sultan Fatah Demak)
Budi Yulianto, S.T., M.Sc., Ph.D.	(Universitas Sebelas Maret)
Ir. H. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D.	(Universitas Islam Sultan Agung)
Dr. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si.	(Universitas Islam Sultan Agung)
Dr. Sudarno, S.T., M.T.	(Universitas Tidar)
Ir. M. Faiqun Ni'am, MT., Ph.D.	(Universitas Islam Sultan Agung)
Daniel Hartanto, S.T., M.T.	(Universitas Katolik Soegijapranata)
Ir. Budi Santosa, M.T.	(Universitas Katolik Soegijapranata)
Ir. Teguh Marhendi, M.T., ASEAN Eng. IPM	(Universitas Muhammadiyah Purwokerto)
Agung Nusantoro, M.T.	(Universitas Muhammadiyah Purworejo)
Umar Abdul Aziz, M.T.	(Universitas Muhammadiyah Purworejo)
Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono	(Universitas Tunas Pembangan Surakarta)
Erni Mulyandari	(Universitas Tunas Pembangan Surakarta)
Reki Arbiyanto	(Universitas Tunas Pembangan Surakarta)
Suryo Handoyo	(Universitas Tunas Pembangan Surakarta)

EDITOR/PENYUNTING

Elvis Saputra, S.T.,M.T.
 Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.
 Dr. Eng. Mahmud Kori Effendi, S.T., M.T.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat-Nya kami dapat menyelenggarakan prosiding Civil Engineering Environmental and Disaster Risk Management Symposium (CEEDRiMS) 2020. Simposium berskala nasional ini mengangkat tema “Penguatan Riset dan Teknologi untuk Mewujudkan Infrastruktur yang Cerdas, Lestari, dan Tangguh Bencana”.

Kegiatan CEEDRiMS 2020 menjadi wadah publikasi secara nasional yang diharapkan mampu memberikan kesempatan untuk para mahasiswa S2 maupun S1 tingkat akhir untuk dapat berkompetisi menunjukkan hasil penelitian dengan cara presentasi yang baik. Kegiatan CEEDRiMS 2020 ini diselenggarakan atas kerjasama antar perguruan tinggi sehingga diharapkan mampu menjadi wadah *networking* dan saling mengenal perkembangan antar perguruan tinggi.



Simposium ini akan menjadi yang ketiga kali dilaksanakan. Sebelumnya, tahun 2018 Universitas Gadjah Mada menjadi tuan rumah simposium yang bernama Civil Engineering and Environmental Engineering (CEES). Tahun 2019, CEES kembali diadakan di Universitas Negeri Semarang.

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu berlangsungnya kegiatan simposium ini setelah sebelumnya tertunda akibat adanya pandemi Covid-19. Prosiding ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kami mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan prosiding ini.

Semoga prosiding ini dapat memberikan informasi bagi masyarakat dan bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan khususnya pada bidang teknik sipil dan lingkungan. Atas kerjasama yang baik, dedikasi serta bantuan semua pihak dalam menyelesaikan CEE DRiMS 2020, panitia mengucapkan terima kasih.

Yogyakarta, 11 Agustus 2020

Koordinator CEE DRiMS 2020


The logo for CEEDRiMS 2020, featuring the letters 'SR' in a stylized font with a green and blue color scheme, followed by the text 'CEEDRiMS' in a light blue, semi-transparent font.

Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN KETUA JURUSAN TEKNIK SIPIL UII	i
KATA SAMBUTAN KETUA KOMDA 3 BMPTSSI	ii
ANGGOTA KOMDA 3 BMPTSSI	iv
SUSUNAN PANITIA	v
REVIWER	vi
EDITOR/PENYUNTING	vi
KATA PENGATAR	vii
DAFTAR ISI	viii
TEMA A KEBENCANAAN	1
Analisis Model Simulator Gempa Berupa Meja Getar (Vibration Table)	2
(Jhonson Harianja)	
Kajian Awal Kelas Situs Untuk Perencanaan Ketahanan Gempa Berdasarkan Analisis Potensi Likuifaksi Akibat PGA Gempa Palu 2018 Dan Peta Gempa Indonesia (Studi Kasus Perencanaan Gedung Kuliah IAIN Palu)	8
(Widodo Pawirodikromo, Muhammad Irfan Marasabessy dan Jafar)	
<i>Scanning Electron Microscope</i> dalam Pengamatan Tanah Terlikuifaksi Daerah Petobo-Palu-Indonesia	15
(Giri Panca Aji dan Rini Kusumawardani)	
Investigasi Pasca Gempa Tasikmalaya 2009 Pada Rekonstruksi Rumah Tinggal Sederhana....	19
(Catur Singgih, Setya Winarno dan Mochamad Teguh)	
Indeks Kerentanan Seismik Di Kabupaten Klaten Bagian Selatan dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSr) dari Data Mikrotremor	29
(Anggit Mas)	
TEMA B TRANSPORTASI	39
Mengukur Keberhasilan Kerjasama Pemerintah Dan Badan Usaha Proyek Jalan Tol: Sebuah Kerangka Konseptual	40
(Geertje Efraty Kandiyoh, Rusdi Usman Latief, Muhammad Asad Abdurrahman dan Rosmariansi Arifuddin)	
Asumsi Prioritas Penanganan Pemeliharaan Jalan Kabupaten Menggunakan Metode Analisis Hirarki Proses (AHP)	46
(Sely Novita Sari)	

Integrasi Fasilitas Transportasi Ramah Lingkungan Di Kawasan UGM Menggunakan Metode Analisis Spasial	51
(Akhbari Cinthya Berliani, Siti Malkhamah dan Muhammad Zudhy Irawan)	
Pemetaan Multi-rawan Bencana Berbasis GIS dan Identifikasi Kerusakan Ruas Jalan Menggunakan Metode PCI (Studi Kasus: Jalan Parangtritis KM.8 sd KM.12)	57
(Emil Adly, Anita Rahmawati, Hanna Laksmi Iwandari Purbasari dan Herjuniarto Hendrardi)	
Perkembangan Mobilitas Masyarakat Perdesaan Di Wilayah Selatan Jawa Tengah (Studi Kasus Kecamatan Grabag Kabupaten Purworejo)	63
(Budiyono, Dewanti dan Muhammad Zudhy Irawan)	
Pengaruh Konsumsi BBM Kendaraan Bermotor Akibat Tundaan di Perlintasan Kereta Api Ruas Jalan Juwiring - Delanggu, Klaten	69
(Jodi Yuda Perkasa dan Hendramawat Aski Safarizki)	
Pemodelan Angkutan Penumpang Pesawat Udara Di Bandara Notohadinegoro Jember	75
(Agus Muldiyanto and Dhamang Budi Cahyono)	
Perencanaan Bus Kampus UII dengan Mempertimbangkan Aktivitas Civitas Akademika Kampus Terpadu Pada Wilayah Utara – Barat	79
(Romadhona dan Pradipta)	
Sensitivitas Kinerja Struktur Campuran Superpave Terhadap Pengaruh Variasi Tipe Bahan Ikatan dan Kecepatan Kendaraan	85
(Muhamad Abdul Hadi dan Miftahul Fauziah)	
Optimalisasi Rute Standard Instrument Arrival (STAR) dengan Point Merge System (PMS) (Studi Kasus: Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai)	90
(Anik Fitriana, Dewanti Dewanti dan Sigit Priyanto)	
Upaya Percepatan Peningkatan Pelayanan Angkutan Sungai Perkotaan Yang Terkoneksi di Kota Palembang	96
(Monica Amanda, Imam Muthohar dan Nur Yuwono)	
Analisis Kuat Geser Untuk Perencanaan Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>) Melalui Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated – Undraine</i>	102
(Sari Meliana dan Rini Kusumawardani)	
Kinerja Konstruksi Perkerasan Aspal Permeabel pada Jalan Perkotaan	108
(Hery Awan Susanto)	
Studi Komparasi Desain Struktur Perkerasan Dengan Metode AASHTO 1993, Bina Marga 2017 Dengan Menggunakan Program Kenpave Pada Ruas Jalan Yogyakarta – Bantul.....	113
(M Hary Juhindra dan Miftahul Fauziah)	
Pengaruh Perilaku Pengguna Jalan Terhadap Level Of Service (LOS) Pada Kawasan Pendidikan (Wilayah Kajian Studi : Segmen Jalan Depan USM)	118
(Rexy Mahendra, Moch Pranata dan Iin Irawati)	

Pengaruh Penggunaan Gamping Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Campuran Beton Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) dengan Metode Marshall Untuk Jenis Aspal Retona Blend 55	121
(Agus Juara, Wiji Lestarini dan Fajar Indra Setyonugroho)	
Analisis Aksesibilitas Jalan Dan Konektivitas Transportasi Untuk Meningkatkan Kepuasan Wisatawan Pada Objek Dan Daya Tarik Wisata (ODTW) “Heritage Sleman Timur” Dengan <i>SEM-LISREL</i>	128
(Sasikirana Sutarno, Sigit Priyanto dan Dewanti)	
Analisis Kinerja Angkutan Umum Menggunakan <i>Structural Equation Modeling</i>	135
(Nur Seta Mulyasari, Sigit Priyanto dan Bambang Hari Wibisono)	
TEMA C SUMBER DAYA AIR	142
Kajian Kebutuhan Air Irigasi Sawah Tadah Hujan Di Daerah Poncowarno Kebumen	143
(Eko Riyanto, Agung Setiawan dan Agung Nugroho)	
<i>The Influence of Breakwater Mouth Direction to Wave Damping on Pelabuhan Perikanan Samudera Cilacap Pool</i>	148
(Suhendri, Awang Oktora Rizki, Novi Andhi Setyo Purwono dan F. Eddy Poerwodihardjo)	
Analisis Kualitas Perairan Bendungan Gintung	155
(Dyah Meiliawati, Taty Yuniarti dan Hary Haryono)	
Sumber Daya Pantai Tanjung Pinang yang Berkelanjutan	160
(Retno Nalarsih, Nur Yuwono dan Wied Winaktoe)	
Kajian Peta Rawan Banjir Menggunakan Model <i>Rainfall-Runoff Inundation</i> Pada Daerah Aliran Sungai Wanggu, Provinsi Sulawesi Tenggara	166
(Westi Susi Aysa, Rachmad Jayadi dan Fatchan Nurrochmad)	
Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan DAS Progo terhadap Produksi Sedimen Metode <i>Modified Universal Soil Loss Equation</i> (MUSLE)	171
(Elfa Monica Zada, Fatchan Nurrochmad dan Joko Sujono)	
<i>Estimation of Lag Time and Falling Raindrop Diameter of Radar Rainfall in Mount Merapi Area</i>	177
(Chengtoem Chann, Rachmad Jayadi, Joko Sujono dan Akhyar Mushthofa)	
<i>Surface Runoff Simulation Using HEC-HMS Application; Case study: Blongkeng River Basin, Yogyakarta, Indonesia</i>	183
(Teu Teng, Joko Sujono dan Rachmad Jayadi)	
Kapasitas Kontrol Bangunan Pengendali Sedimen (SABO DAM) Bagian Hulu Sungai Gendol Sebagai Pengendali Aliran Lahar Gunung Merapi	189
(Paula Swastika, Djoko Legono, Bambang Yulistiyanto dan Naryo Widodo)	

Analisis Ketersediaan Air Embung Tambakboyo Dengan Metode <i>F.J.MOCK</i> Dan SNI 6738:2015.....	196
(Adzhary Dwi Anwar dan Dinia Anggraheni)	
Perkiraan Kemampuan Rencana Tata Ruang Kota Semarang Dalam Menghadapi Risiko Banjir di DAS Beringin	201
(Yoppi A. Priyadi Putra, Joko Sujono dan Achmad Djunaedi)	
Analisis Banjir Rancangan Metode Rasional dan Rasional Modifikasi Studi Kasus DAS Kali Pepe Hilir Kota Surakarta.....	207
(Yuhanes Widi Widodo, Istiarto dan Rachmad Jayadi)	
Perencanaan Kolam Retensi Untuk Penanggulangan Banjir Menggunakan EPA SWMM di Desa Sayung Kabupaten Demak	213
(Ari Sentani dan Muhammad Faiqun Ni'Am)	
Penentuan Head Hidrolis Pada Jaringan Distribusi Air Bersih Menggunakan Software EPANET 2.0	218
(Nasyiin Faqih dan Ashal Abdussalam)	
Evaluasi Kinerja Kantong Lumpur Bendung Karangtalun.....	222
(Bambang Sulistiono dan Ikhsan Fauzi Gunawan Putra)	
Kajian Risiko Bencana Banjir Di Daerah Aliran Sungai Dulang.....	226
(Agung Setiawan dan Irwansyah)	
TEMA D GEOTEKNIK	231
<i>Settlement Of A Six-Story Building On A Soft Organic Clay Deposit</i> In Kathmandu, Nepal.....	232
(Samuel Handali dan Maharjan Sudarshan)	
Perencanaan Kedalaman Pondasi Tiang Tanki TBBM Ampenan, Lombok dengan Mempertimbangkan Bahaya Liquefaksi Tanah	238
(Suwarno dan Luthfi Amri Wicaksono)	
Pengaruh Variasi Susunan Tiang Terhadap Perilaku Penurunan Pelat yang Diperkuat Tiang Mini di Atas Tanah Lunak Berlapis	245
(Jeihanni Fathia, Hary Christady Hardiyatmo dan Agus Darmawan Adi)	
Analisis Keamanan Lereng Galian Tanah Di Area Pertambangan Bauksit (Studi Kasus di Desa Pedalaman Kecamatan Tayan Hilir, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat).....	251
(Deden Rojudin, M. Lutfi dan F Muhammad. LT)	
Pengaruh Panjang <i>Sheetpile</i> di Bawah Struktur Pintu Air Terhadap Angka Aman <i>Uplift</i> (Studi Kasus Pintu Air Demangan, Surakarta).....	258
(Reki Arbianto dan Erni Mulyandari)	

Pengaruh Metode Elektroosmosis Variasi Tegangan Listrik dan Jarak Elektroda pada Sifat Fisik Tanah Lempung Tanon.....	263
(Niken Silmi Surjandari, Bambang Setiawan dan Siva Pradipta Respati Saputra)	
Analisis Pengaruh Sudut Geser Dan Kohesi Tanah Pada Perencanaan Perkerasan Jalan	268
(Adi Pratama dan Rini Kusumawardani)	
Penggunaan <i>Nanotube Multiwall</i> Guna Meningkatkan Daya Dukung Tanah	274
(A. Seputra Sudianto dan Daniel Hartanto)	
Pemetaan Daya Dukung Pondasi Tiang Dengan Menggunakan Data Sondir di Kota Semarang.	278
(I. Dwi, D.Decky F dan Daniel Hartanto)	
Pengaruh Pencampuran Semen dan Pupuk Urea pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Penurunan Pengembangan Dan Kekerasan Tanahnya.....	283
(Akhmad Marzuko, Muhammad Rifqi Abdurrozak dan Yudi Falal)	
Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Analisa Distribusi Butir.....	292
(Edy Purwanto, Artati Hanindya Kusuma dan Srikrit Srikrit)	
Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dan Turap	299
(Muhammad Rifqi Abdurrozak dan Nurrahman Iftah Fitriadi)	
TEMA E MANAJEMEN KONSTRUKSI	307
Pengaruh Pengawasan Terhadap Efektivitas Dan Kinerja Tukang Pada Proyek Konstruksi Di Surabaya	308
(Alfredeni Umbu Wunu Ndakularak, Sely Novita Sari dan Wuryanto Tri)	
Pengaruh Kinerja Pelaksanaan Proyek Dengan Sistem Pembayaran Berdasarkan Termin Pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung Di Provinsi DIY	314
(Fajri Istiana, Sely Novita Sari dan Tri Wuryanto)	
Manajemen Risiko Berbasis Kinerja Biaya Pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi Pelabuhan Laut	319
(Citra Pradipta Hudoyo, Novi Andhi Setyo Purwono, Iwan Rustendi dan Susatyo Adhi Pramono)	
Identifikasi Konsep Model Indikator Kinerja Proaktif Dan Reaktif Untuk Peningkatan Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (SMK3) (Studi Kasus: Proyek Konstruksi Gedung Bertingkat Tinggi di Kota Makassar).....	326
(Henri Masiku, Herman Parung, Rusdi Usman Latif dan Rosmariyani Arifuddin)	
Analisis Biaya Hunian Sementara Dengan Menggunakan Desain Rumah Sistem <i>Knockdown</i> “Tahan Tsunami” Memakai Material Baja Canai Dingin. (Studi kasus: Penanganan Rehabilitasi dan Rekontruksi Hunian di Wilayah Terdampak Gempa di Mataram, Nusa Tenggara Barat) ..	332
(Fitri Nugraheni, Astriana Hardawati dan Wahid Agung)	

Analisis Dan Evaluasi <i>Waste Material</i> Menggunakan BIM (Building Information Modeling) Pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus Pada Proyek Rumah Sakit X di Semarang).....	338
(Nazar Saras Okiwijaya, Robby Arsyadani, Hermawan Hermawan dan Budi Setiyadi)	
TEMA F MATERIAL.....	334
Perilaku Slag Nikel Sebagai Agregat Halus Dengan Menggunakan <i>Self Compacting Concrete</i>	345
(Nini Hasriyani Aswad, Tachrir Tachrir, Akbar Haryadi dan Mufti Amir Sultan)	
Analisis Kuat Tekan, Penyerapan Air dan Ketahanan Aus pada <i>Paving Block</i> terhadap Penggunaan Feldspar dan Abu Batu sebagai Agregat Halus	351
(Lilis Tiyani, Iwan Rustendi, Ferdinandes Eddy Poerwodihardjo, Bayu Septiaji Wicaksana dan Novi Andhi Setyo Purwono)	
Kuat Tekan Design Batu Bata Berbahan Tambah Blotong (Peningkatan Kinerja <i>Seismic</i>).....	355
(Marwahyudi dan Hendramawat Aski Safarizki)	
Pengaruh Penambahan Sekam Padi Sebagai Agregat Halus Terhadap Karakteristik Batako	360
(Wahyu Ari Pramono, Setya Winarno dan Mochamad Teguh)	
Karakteristik Conblock Berpori dengan Bahan Susun: Semen, Partikel Halus, Kerikil, dan Sekam Padi.....	367
(Setya Winarno, Novi Rahmayanti dan Faris Jamal Nahdi)	
Pengaruh Abu Limbah Kedelai Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tekan Beton.....	373
(Anik Kustirini, Bambang Purnijanto, Yuda Amanuyasa dan Bayu Aji Juniarto)	
TEMA G STRUKTUR.....	377
Evaluasi Pemenuhan Keandalan Bangunan Gedung Sekolah Dasar - Studi Kasus: Sekolah Dasar Islam Terpadu Aliya Bogor	378
(Muhamad Lutfi dan Pur Wanto)	
Pengaruh Jarak Hiposentral Gempa Bumi Terhadap Respon Dinamik Frame Baja	384
(Mahmud Kori Effendi dan Malik Mushthofa)	
Karakteristik Beton Umur 28 Hari dengan Varian <i>Portland Podzolan Cement</i> dan <i>Portland Compocite Cement</i>	390
(Hariadi Yulianto, Malik Mushthofa dan Zainul Anwar Yahya)	
Pengaruh Penggunaan <i>Base Isolation</i> Terhadap Kinerja Gedung Dengan Analisis <i>Pushover</i> (Studi Kasus Hotel Grand Keisha Yogyakarta)	397
(Margeritha Agustina Morib, Denot Bless Lively Hulu)	

TEMA H LINGKUNGAN	403
<i>Chloting-Trash Board</i> Upaya Pendayagunaan Limbah Pakaian Sebagai Bahan Baku Pembuatan Papan Partisi Bernilai Ekonomis	404
(Lala Anggraini, Aimmatul Husna, Aji Muhammad Sholeh dan Anik Kustirini)	
Efektifivitas Flushing Terhadap Reduksi Peningkatan Sedimentasi Di Waduk Pangsar Soedirman	408
(Teguh Marhendi, Moech Agus Salim A dan Satrio Triana Putra)	

TEMA A

KEBENCANAAN

Analisis Model Simulator Gempa Berupa Meja Getar (*Vibration Table*)

J. A. Harianja

Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta, INDONESIA

harianja_andar@ukrimuniversity.ac.id

INTISARI

Gempa adalah getaran yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba sehingga tercipta gelombang seismik yang dapat mengakibatkan kerusakan bangunan. Oleh karena itu, pengetahuan efek getaran gempa terhadap struktur sangat diperlukan. Untuk mengetahui respon struktur gedung akibat gempa, maka dalam penelitian ini dibuat alat simulator meja getar yang dirancang khusus meniru getaran gempa sesungguhnya. Agar alat berfungsi baik menirukan getaran gempa dilakukan analisis terhadap simulator meja getar yang dibuat. Analisis yang dilakukan meliputi analisis beban maksimum, frekuensi, periode, amplitudo, displacement, kecepatan, percepatan dan gaya yang dihasilkan oleh alat simulator. Pengujian dimulai dari tanpa beban dan dilanjutkan dengan pemberian beban berturut-turut 5 kg, 10 kg, 15 kg, 20 kg, dan 25 kg. Hasil penelitian menunjukkan beban maksimum yang bisa diterima alat simulator adalah 80 kg dengan frekuensi maksimum inverter 40 Hertz. Untuk menentukan frekuensi aktual dilakukan analisis manual mengingat frekuensi inverter tidak sesuai dengan frekuensi sebenarnya. Semakin besar beban pada simulator diperoleh frekuensi getaran semakin kecil tetapi sebaliknya gaya yang terjadi semakin besar.

Kata kunci: simulator, gempa, getaran.

1 PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa bumi biasanya disebabkan oleh pergerakan kerak bumi/lempeng bumi. Pengetahuan akan beban dinamik dan respon suatu struktur diperlukan untuk meningkatkan kualitas bangunan yang berada di daerah rawan gempa. Bangunan tersebut harus dirancang tahan terhadap gempa. Oleh karena itu pengetahuan akan efek getaran akibat gempa terhadap perilaku respon struktur bangunan sangat diperlukan. Hal ini mendorong perlunya sistem perancangan yang matang mengenai struktur bangunan yang akan dibangun khususnya di daerah rawan gempa seperti di sebagian besar wilayah Indonesia.

Berdasarkan hal tersebut di atas, permasalahan yang masih harus dianalisa dan dijawab adalah bagaimana mengetahui perilaku respon suatu struktur terhadap getaran akibat gempa. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dirancang sebuah alat yang direncanakan dapat merepresentasikan getaran akibat gempa bumi yang terjadi. Sebelum alat simulator gempa berupa meja getar yang dirancang dapat diaplikasikan dalam menganalisis perilaku respon struktur, maka alat tersebut harus diuji terlebih dahulu untuk mengetahui getaran yang dihasilkan oleh alat simulator yang selanjutnya digunakan untuk perhitungan frekuensi getaran. Selain itu, pengukuran perpindahan, kecepatan dan percepatan getaran pada alat memerlukan informasi berupa data periode dan simpangan pada alat. Alat simulator gempa berupa meja getar yang dirancang dapat bergerak di arah sumbu X, Y, dan Z tetapi dalam penelitian ini hanya dianalisis getaran di

arah X saja dengan berat beban dimulai dari 5 kg, 10 kg, 15 kg, 20 kg, dan 25 kg.

2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Gempa

Gempa Bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi). Gempa bumi merupakan fenomena alam biasa, sama dengan fenomena alam yang lain seperti hujan, angin, gunung meletus dan sebagainya. Menyusul terjadinya gerakan-gerakan lempeng tektonik pada proses pembentukan bumi, maka sejak itulah proses terjadinya gempa bumi dimulai. (Widodo Pawirodikromo, 2012). Dari beberapa definisi dan pengertian yang dikemukakan oleh para ahli, Widodo Pawirodikromo (2012) menyimpulkan bahwa gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan dilapisan kerak bumi. Jenis-jenis gempa bumi ditinjau dari penyebabnya adalah gempa runtuh (*collapse earthquake*), gempa vulkanik (*volcanic earthquake*), gempa ledakan (*explosion earthquake*), dan gempa tektonik (*tectonic earthquake*).

Bolt (1975) menerangkan gelombang energi gempa dengan mengambil perumpamaan gelombang udara akibat tepukan tangan. Apabila kedua tangan bertepuk maka akan terjadi tekanan gelombang udara yang menyebar ke segala arah. Energi mekanik dari kedua tangan yang bertepuk kemudian ditransformasikan menjadi getaran udara. Kejadian yang hampir sama juga terjadi apabila dijatuhkan suatu benda dalam air yang tenang. Energi mekanik akibat benturan benda dengan muka air di transfer menjadi gelombang air di

permukaan yang menyebar ke segala arah. Akibat yang sama juga terjadi pada benturan dua material dan pecahnya suatu material yang keduanya akan mengakibatkan getaran udara.

Sebelum terjadi gempa, pada pusat gempa akan terjadi akumulasi energi yang menimbulkan tegangan yang besar sebagai akibat dari adanya kopel gaya. Oleh karena itu pada saat terjadinya gempa atau saat patah/pecahnya masaa batuan, akan terjadi pelepasan energy (*released energy*) yang besar yang umumnya kemudian disebut energi gelombang gempa. Pada saat terjadi gempa, energi regangan (*strain energy*) yang dilepaskan akibat pecah/bergesernya batuan karena peristiwa mekanik (desak, geser, dan tarik) kemudian ditransfer menjadi gelombang. Dari pusat gempa, gelombang gempa akan merambat kesegala arah yang salah satu arahnya dapat mencapai permukaan tanah. Sebelum mencapai alat pencatat, gelombang gempa akan melewati bermacam-macam kondisi lapisan tanah, sebagian gelombang akan di pantulkan, dibiaskan, dan lainnya akan bergerak sepanjang permukaan tanah.

Secara umum gelombang energi gempa dapat di bedakan menjadi *body waves* yaitu gelombang yang menjalar di dalam bumi dan *surface waves* yaitu gelombang yang menjalar pada lapis permukaan tanah. Menurut Daniel L. Schodek (1999), gempa bumi terjadi karena fenomena getaran dengan kejutan pada kerak bumi. Faktor utama adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Gempa bumi ini menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini mempunyai suatu energi yang dapat menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya menjadi bergetar. Getaran ini nantinya akan menimbulkan gaya-gaya pada struktur karena struktur cenderung mempunyai gaya untuk mempertahankan dirinya dari gerakan.

2.2 Simulator Gempa Bumi

Simulator gempa bumi yang biasanya digunakan untuk mengetahui respon suatu struktur bangunan terdiri dari suatu meja getar dan penggerak seperti motor maupun aktuator hidrolik. Simulator gempa tersebut didesain dalam skala besar dan kecil. Skala besar digunakan untuk benar-benar mengetahui respon struktur bangunan terhadap input eksitasi gempa.

Simulator gempa pada penelitian yang dilakukan oleh Joel P. Conte pada tahun 2004 diletakkan di luar ruangan dengan kapasitas simulator mencapai 200 MN. Penggerak simulator tersebut menggunakan aktuator hidrolik dengan frekuensi yang dihasilkan adalah 0-20 Hz dengan material yang digunakan untuk meja getar

terbuat dari bahan baja. Untuk simulator gempa bumi berskala kecil umumnya digunakan untuk menguji kapasitas beban berskala kecil yang kegunaannya ditujukan untuk mengetahui respon struktur terhadap beban seismik. Salah satu contoh yaitu penelitian Herlien *et al.*, (2012) pada pengembangan sistem isolasi seismik pada struktur bangunan yang dikenai beban gempa sebagai solusi untuk membatasi respon dinamik menggunakan alat uji gempa dengan mekanisme *slider crank*. Alat uji gempa tersebut menerapkan mekanisme sederhana mengingat struktur bangunan yang ingin dianalisa dalam skala kecil. Alat uji gempa dengan menggunakan mekanisme *slider crank* memanfaatkan panjang radius (r) *disc motor* dan lengan (l) untuk mendapatkan gaya yang bekerja pada meja getar serta gaya yang harus ditransmisikan dari motor ke lantai (*base*).

Prinsip analisis getaran pada simulator gempa dapat berbeda-beda tergantung bagiannya. Pada bagian antara struktur beban dan meja getar menggunakan prinsip *motion of base* sedangkan pada bagian antar motor dan lantai (*base*) menggunakan prinsip *base isolation*. Input getaran yang diberikan pada alat uji gempa ini adalah *sinusoidal* karena gelombang gempa yang terjadi merupakan gelombang *sinusoidal* dan getaran dari meja getar menghasilkan gerak translasi.

2.3 Getaran

Getaran adalah suatu gerak bolak-balik di sekitar kesetimbangan. Kesetimbangan di sini maksudnya adalah keadaan di mana suatu benda berada pada posisi diam jika tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut. Getaran mempunyai amplitudo (jarak simpangan terjauh dengan titik tengah) yang sama. Getaran dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu getaran bebas dan getaran paksa. Getaran bebas terjadi bila sistem mekanis dimulai dengan gaya awal, lalu dibiarkan bergetar secara bebas. Contoh getaran seperti ini adalah memukul garpu tala dan membiarkannya bergetar, atau bandul yang ditarik dari keadaan setimbang lalu dilepaskan. Getaran bebas masih dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu getaran bebas tanpa peredam dan getaran bebas dengan redaman.

Pada model yang paling sederhana redaman dianggap dapat diabaikan, dan tidak ada gaya luar yang memengaruhi massa (getaran bebas). Dalam keadaan ini gaya yang berlaku pada pegas F_s sebanding dengan panjang peregangan x , sesuai dengan hukum Hooke yang dapat diekspresikan secara matematis sesuai Persamaan (1) berikut,

$$F_s = -kx \quad (1)$$

dengan k = kekakuan (kg/cm), F_s = gaya pegas (N), dan x = panjang peregangan (m). Sesuai Hukum kedua Newton, gaya yang ditimbulkan akan sebanding dengan percepatan massa sesuai Persamaan (2) berikut,

$$\sum F = ma = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2)$$

dengan F = gaya (N), m = massa (kg), a = percepatan (m/s^2), x = simpangan (m), dan t = waktu (s).

Jika dimulai getaran sistem dengan meregangkan pegas sejauh A kemudian melepaskannya, solusi persamaan di atas yang memberikan gerakan massa adalah sesuai dengan Per. (3) berikut,

$$x(t) = A \cos(2\pi f_n t) \quad (3)$$

Solusi ini menyatakan bahwa massa akan beresilasi dalam gerak harmonis sederhana yang memiliki amplitudo A dan frekuensi f_n . Bilangan f_n adalah salah satu besaran yang terpenting dalam analisis getaran, dan dinamakan frekuensi alami takredam. Untuk sistem massa-pegas sederhana, f_n didefinisikan sebagai,

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

dengan f_n = frekuensi (Hz), m = massa (kg), dan k = kekakuan (kg/cm)

Getaran bebas redaman memiliki pengertian bahwa peredaman berlaku pada massa selain gaya yang disebabkan oleh peregangan pegas. Bila bergerak dalam fluida, benda akan mendapatkan peredaman karena kekentalan fluida. Gaya akibat kekentalan ini sebanding dengan kecepatan benda. Konstanta akibat kekentalan (*viskositas*) c ini dinamakan koefisien peredam, dengan satuan N s/m (SI)

$$F_d = -cv = -c \frac{dx}{dt} \quad (5)$$

dengan F_d = gaya hambat (N), c = kekentalan / viskositas (Ns/m^2), x = simpangan (m), dan t = waktu (s). Jika dijumlahkan semua gaya yang berlaku pada benda akan diperoleh persamaan,

$$m + c + kx = 0 \quad (6)$$

Solusi persamaan ini tergantung pada besarnya redaman. Bila redaman cukup kecil, sistem masih akan bergetar, namun pada akhirnya akan berhenti. Keadaan ini disebut kurang redam, dan merupakan kasus yang paling mendapatkan perhatian dalam analisis vibrasi. Bila peredaman diperbesar sehingga mencapai titik saat

sistem tidak lagi beresilasi, akan dicapai titik redaman kritis. Bila peredaman ditambahkan melewati titik kritis ini sistem disebut dalam keadaan lewat redam. Nilai koefisien redaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis pada model massa-pegas-peredam adalah,

$$C_c = 2\sqrt{km} \quad (7)$$

dengan C_c = Nilai koefisien redaman (Ns/m), k = kekakuan (kg/cm), dan m = massa (kg). Untuk mengkarakterisasi jumlah peredaman dalam sistem digunakan nisbah yang dinamakan nisbah redaman. Nisbah ini adalah perbandingan antara peredaman sebenarnya terhadap jumlah peredaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis. Rumus untuk nisbah redaman (ζ) adalah.

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (8)$$

dengan ζ = nisbah redaman, k = kekakuan (kg/cm), dan m = massa (kg).

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena adanya gaya luar yang bekerja pada suatu sistem sehingga sistem tersebut bergetar. Bila gaya luar, biasanya $f(t) = fc \sin \omega t$ atau $fc \cos \omega t$ bekerja pada sistem getaran paksa, maka sistem cenderung bergetar pada frekuensi sendiri di samping mengikuti gaya eksitasi dan jika ada gesekan, bagian gerakan yang ditahan oleh gaya sinusoidal secara perlahan akan hilang dan dengan demikian sistem akan bergetar pada frekuensi pribadi sistem. Bagian getaran yang berlanjut terus disebut getaran keadaan *steady* atau respon sistem keadaan *steady* yang diperlukan dalam analisis getaran karena efek sinambungnya. Gerakan periodik atau getaran selalu berhubungan dengan frekuensi yang menyatakan banyaknya gerakan bolak-balik (satu siklus penuh) tiap satuan waktu. Hubungan antara frekuensi dan periode suatu getaran dapat dinyatakan dengan persamaan sederhana sebagai berikut.

$$F = \frac{n}{T} \quad (9)$$

dengan F = frekuensi (Hz), n = jumlah getaran, dan T = waktu (det).

Jarak yang ditempuh dari suatu puncak ke puncak yang lain disebut perpindahan getaran (*vibration displacement*). Selain perpindahan, getaran juga memiliki kecepatan getaran (*vibration velocity*). Untuk menghitung kecepatan getaran digunakan persamaan,

$$V = A\omega \cos(\omega t + \theta_0) \quad (10)$$

dengan V = kecepatan, A = amplitudo (simpangan maksimum), dan ωt = frekuensi sudut (2π), dan θ_0 = fase sudut awal.

Fase getaran merupakan informasi penting untuk menentukan bagaimana suatu bagian bergetar relatif terhadap bagian yang lain, atau untuk menentukan posisi suatu bagian yang bergetar pada suatu saat terhadap suatu referensi atau terhadap bagian lain yang bergetar dengan frekuensi yang sama. Simpangan getaran (*displacement*) adalah ukuran jumlah gerakan dari massa suatu benda yang menunjukkan jarak benda bergerak maju mundur (bolak-balik) pada saat mengalami getaran.

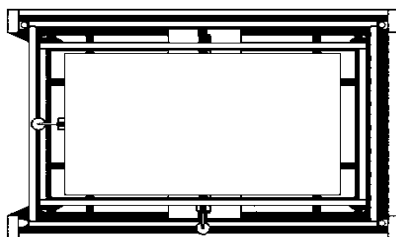
3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Pembuatan Simulator Gempa

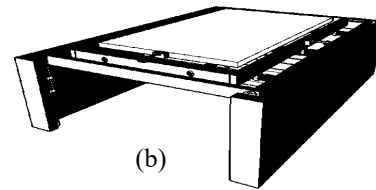
Rangka meja pertama dan kedua menggunakan baja hollow dimensi 40 mm × 40 mm × 1,8 mm sedang rangka lapisan meja ketiga dimensi 60 mm × 40 mm × 2 mm. Tempat *sliding* meja getar yang digerakkan motor penggerak menggunakan baja St 45 $\phi 1''$ dan St 45 $\phi 1 1/4''$. Alat pengikat/tumpuan penghubung rangka meja getar dengan baja *sliding* menggunakan *bushing PE/ny/on*. Motor penggerak meja di arah sumbu X menggunakan dynamo 1/2 HP sedang di arah sumbu Y dan Z menggunakan dynamo 1 HP. Bahan-bahan lainnya adalah pegas untuk meredam getaran, dan plat dudukan benda uji dimensi 1,5 m × 1 m × 2,5 cm terbuat dari kayu. Untuk mengatur kecepatan dan torsi motor penggerak sesuai yang diinginkan digunakan *inverter control*. Alat-alat yang digunakan untuk pembuatan simulator gempa adalah peralatan las, mesin bubut, bor, gurinda, *stopwatch* dan kamera (digunakan saat pengujian) dan alat bantu lainnya.

3.2 Proses Pembuatan Alat Simulator Gempa

Design alat terlebih dahulu dibuat sebagai acuan untuk membantu proses pelaksanaan. Dimensi meja alat simulator gempa yang dibuat adalah panjang 1,5 m, lebar 1 m dan tinggi 0,8 m. *Design* perspektif alat simulator gempa tampak pada Gambar 1. berikut.



(a)



(b)

Gambar 1. *Design* Simulator Gempa. (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping.

Motor sebagai input gaya menuju *vibrator table* menggunakan mekanisme slider *crank* (engkol) di mana rotasi pada motor menjadi translasi. Sehingga gaya eksitasi pada motor dapat diteruskan pada *vibrator table*. Mekanisme slider *crank* dipengaruhi panjang lengan *crank* dan radius (*disc*) pada motor. Meja getar yang di gunakan memiliki 3 arah gaya yang bekerja yaitu arah X, Y dan Z yang bisa bergerak satu persatu atau bergerak secara bersamaan.

3.3 Analisis Alat Simulator Gempa

Analisis frekuensi getaran yang dihasilkan alat simulator gempa memerlukan alat pengukur waktu *stopwatch* dan kamera. *Stopwatch* adalah alat ukur waktu yang dapat diaktifkan dan dimatikan. *Stopwatch* diaktifkan bersamaan dengan motor penggerak dan pada saat itu pengukuran waktu sudah dimulai dan dinonaktifkan pada saat akhir pengukuran dengan posisi kamera sudah aktif.

Analisis perpindahan getaran memerlukan data simpangan pada meja getar. Akibat getaran yang dihasilkan simulator meja getar cukup besar, maka dimungkinkan simpangan yang terjadi dapat bertambah sehingga untuk mendapatkan hasil yang akurat diperlukan pengukuran tersendiri. Cara yang dilakukan untuk pengukuran ini adalah menggunakan pena dan kertas skala millimeter. Pena ditempelkan pada alat simulator dengan ujung pena yang lembut menempel pada kertas millimeter gempa sehingga gesekan antara pena dan kertas dapat diabaikan. Pena akan menghasilkan coretan atau garis pada kertas ketika simulator meja getar diaktifkan. Hasil dari coretan pena berupa garis pada kertas millimeter digunakan sebagai data untuk menganalisis simpangan yang terjadi.

Untuk menganalisis kecepatan dan percepatan getaran simulator meja getar diperlukan data periode dan simpangan (amplitudo). Kecepatan getaran dihitung menggunakan Persamaan 10 dan percepatan dihitung menggunakan persamaan turunannya.

4 HASIL PENELITIAN

4.1 Frekuensi, Kecepatan, Percepatan, Periode, Simpangan, dan Gaya Tanpa Pembebanan

meja ditimbang dan diperoleh beratnya adalah 45 kg. Hasil pengujian alat simulator gempa tanpa beban dicantumkan dalam Tabel 1 dengan $t = 30$ det.

Sebelum dilakukan analisis frekuensi *inverter* dan frekuensi aktual alat simulator gempa, berat frame dan

Tabel 1. Frekuensi kecepatan, percepatan, periode, simpangan dan gaya tanpa pembebanan

Jumlah getaran	Frekuensi Inverter (Hz)	Frekuensi Aktual (Hz)	Periode (s)	R (m)	ω (rad/s)	V (m/s)	a (m/s ²)	F (N)
20	65	2,17	0,46	0,0295	13,61	0,40	5,46	245,8
22	75	2,50	0,40	0,0295	15,70	0,46	7,27	327,2
24	80	2,67	0,38	0,0295	16,75	0,49	8,27	372,3
26	85	2,83	0,35	0,0295	17,79	0,52	9,34	420,3
28	93	3,10	0,32	0,0295	19,47	0,57	11,18	503,1
30	101	3,37	0,30	0,0295	21,14	0,62	13,19	593,4
32	109	3,63	0,28	0,0295	22,82	0,67	15,36	691,1
34	117	3,90	0,26	0,0295	24,49	0,72	17,70	796,3
36	123	4,10	0,24	0,0295	25,75	0,76	19,56	880,1
38	131	4,37	0,23	0,0295	27,42	0,81	22,18	998,3
40	138	4,60	0,22	0,0295	28,89	0,85	24,62	1107,8

4.2 Frekuensi, Kecepatan, Percepatan, Periode, Simpangan, dan Gaya dengan Pembebanan

Tabel 2. Frekuensi kecepatan, percepatan, periode, simpangan dan gaya dengan beban 5 kg

Frekuensi Inverter (Hertz)	Jumlah Getaran	Frekuensi Aktual (Hz)	Periode (s)	R (m)	ω (rad/s)	V (m ² /s)	a (m/s ²)	F (N)
20	60	2,00	0,50	0,0295	12,56	0,37	4,65	232,7
22	69	2,30	0,43	0,0295	14,44	0,43	6,15	307,7
24	76	2,53	0,39	0,0295	15,91	0,47	7,47	373,3
26	79	2,63	0,38	0,0295	16,54	0,49	8,07	403,4
28	89	2,97	0,34	0,0295	18,63	0,55	10,24	512,0
30	98	3,27	0,31	0,0295	20,51	0,61	12,42	620,8

Tabel 3. Frekuensi kecepatan, percepatan, periode, simpangan dan gaya dengan beban 10 kg

Frekuensi Inverter (Hertz)	Jumlah Getaran	Frekuensi Aktual (Hz)	Periode (s)	R (m)	ω (rad/s)	V (m ² /s)	a (m/s ²)	F (N)
20	57	1,90	0,53	0,0295	11,93	0,35	4,20	231,0
22	65	2,17	0,46	0,0295	13,61	0,40	5,46	300,4
24	72	2,40	0,42	0,0295	15,07	0,44	6,70	368,6
26	76	2,53	0,39	0,0295	15,91	0,47	7,47	410,7
28	81	2,70	0,37	0,0295	16,96	0,50	8,48	466,5
30	90	3,00	0,33	0,0295	18,84	0,56	10,47	575,9

Tabel 4. Frekuensi kecepatan, percepatan, periode, simpangan dan gaya dengan beban 15 kg

Frekuensi Inverter (Hertz)	Jumlah Getaran	Frekuensi Aktual (Hz)	Periode (s)	R (m)	ω (rad/s)	V (m ² /s)	a (m/s ²)	F (N)
20	50	1,67	0,60	0,0295	10,47	0,31	3,23	193,9
22	57	1,90	0,53	0,0295	11,93	0,35	4,20	252,0
24	62	2,07	0,48	0,0295	12,98	0,38	4,97	298,1
26	66	2,20	0,45	0,0295	13,82	0,41	5,63	337,9
28	71	2,37	0,42	0,0295	14,86	0,44	6,52	391,0
30	76	2,53	0,39	0,0295	15,91	0,47	7,47	448,0

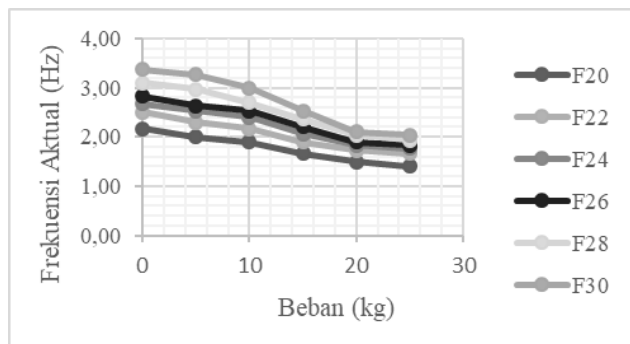
Tabel 5. Frekuensi kecepatan, percepatan, periode, simpangan dan gaya dengan beban 20 kg

Frekuensi Inverter (Hertz)	Jumlah Getaran	Frekuensi Aktual (Hz)	Periode (s)	R (m)	ω (rad/s)	V (m ² /s)	a (m/s ²)	F (N)
20	45	1,50	0,67	0,0295	9,42	0,28	2,62	170,2
22	52	1,73	0,58	0,0295	10,89	0,32	3,50	227,2
24	55	1,83	0,55	0,0295	11,51	0,34	3,91	254,2
26	57	1,90	0,53	0,0295	11,93	0,35	4,20	273,0
28	61	2,03	0,49	0,0295	12,77	0,38	4,81	312,7
30	63	2,10	0,48	0,0295	13,19	0,39	5,13	333,5

Tabel 6. Frekuensi kecepatan, percepatan, periode, simpangan dan gaya dengan beban 25 kg

Frekuensi Inverter (Hertz)	Jumlah Getaran	Frekuensi Aktual (Hz)	Periode (s)	R (m)	ω (rad/s)	V (m ² /s)	a (m/s ²)	F (N)
20	42	1,40	0,71	0,0295	8,79	0,26	2,28	159,6
22	50	1,67	0,60	0,0295	10,47	0,31	3,23	226,2
24	53	1,77	0,57	0,0295	11,09	0,33	3,63	254,2
26	55	1,83	0,55	0,0295	11,51	0,34	3,91	273,7
28	58	1,93	0,52	0,0295	12,14	0,36	4,35	304,4
30	61	2,03	0,49	0,0295	12,77	0,38	4,81	336,7

Dari Tabel 1 sampai dengan Tabel 6 selanjutnya dibuat grafik hubungan antara fekuensi aktual alat simulator gempa dengan beban yang diletakkan di atas meja getar dan grafik hubungan antara frekuensi aktual dan frekuensi inverter seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik hubungan fekuensi aktual alat simulator gempa dengan beban

5 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan ditarik kesimpulan yaitu beban yang bisa diterima oleh model simulator gempa maksimum 80 kg, dan untuk menentukan frekuensi aktual perlu dilakukan analisis manual mengingat frekuensi inverter tidak sesuai dengan frekuensi yang sebenarnya. Dari hasil

penelitian didapat frekuensi, kecepatan, percepatan, periode, amplitudo, dan gaya yang bekerja pada simulator gempa yang dapat dijadikan sebagai referensi penelitian model struktur. Semakin besar nilai massa beban struktur yang diuji, besarnya respon perpindahan, kecepatan, dan percepatan yang terjadi semakin kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada saudara Faatulloh Baene yang telah membantu selama pengujian dan perakitan alat.

REFERENSI

Bolt, B.A. (1975). *Earthquake A Primer*, W.H Freeman and Company, San Francisco.

Conte, J.P. (2004). *Large High Performance Outdoor Shake Table*, dalam Engineering Mechanic Conference, Delaware.

Herlien, D.S., Kusumastuti, D., Setio, S., Siregar, P.H.R., Hartanto, A. (2012). Pengembangan Sistem Isolasi pada Struktur Bangunan yang Dikenai Beban Gempa sebagai Solusi untuk Membatasi Respon Struktur. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol 19(1), 1-14.

Pawirodikromo W. (2012). *Seismologi & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.

Schodek D.L. (1999). *Struktur*. Erlangga, Jakarta.

Kajian Awal Kelas Situs untuk Perencanaan Ketahanan Gempa Berdasarkan Analisis Potensi Likuifaksi Akibat PGA Gempa Palu 2018 dan Peta Gempa Indonesia (Studi Kasus Perencanaan Gedung Kuliah IAIN Palu)

W. Pawirodikromo

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
widodo355@gmail.com

M. I. Marasabessy

PT. Pola Data Consultant, Yogyakarta, INDONESIA
irfanmarssy95@gmail.com

Jafar

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
jafar@uii.ac.id

INTISARI

Gempa Magnitude 7.4 yang mengguncang wilayah Palu dan sekitarnya tahun 2018 mengakibatkan peristiwa likuifaksi di beberapa tempat yang menyebabkan banyak bangunan, rumah, serta infrastruktur hancur dan tertimbun oleh tanah. Dalam SNI 1726-2012, ditegaskan bahwa dalam perencanaan gedung tahan gempa perlu adanya klasifikasi situs tanah setempat terlebih dahulu. Salah satu kriteria dalam menentukan kelas situs tersebut adalah potensi adanya likuifaksi yang termasuk dalam kriteria tanah khusus. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kelas situs dan metode perencanaan ketahanan gempa proyek perencanaan gedung kuliah Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Palu dengan menggunakan 3 (tiga) buah data penyelidikan tanah N-SPT serta pemodelan struktur dari gedung kuliah tersebut. Dalam menentukan kelas situs, penelitian ini melakukan analisis potensi likuifaksi. Penelitian ini membandingkan beberapa nilai percepatan gempa puncak (PGA, *Peak Ground Acceleration*), yakni nilai PGA yang dirilis oleh BMKG akibat Gempa Palu Mw 7,4 serta nilai PGA yang terdapat dalam peta gempa Indonesia tahun 2002, 2010, serta 2017 untuk wilayah Palu. Hasil analisis menunjukkan bahwa potensi likuifaksi yang dihasilkan oleh data BMKG (PGA = 0.14g) lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai percepatan pada peta gempa Indonesia berturut-turut (PGA = 0.2g, PGA = 0.85g, PGA = 0.65g). Hasil tersebut menunjukkan bahwa lokasi IAIN Palu termasuk kategori tanah khusus (SF). Menurut SNI 1726-2012 apabila bangunan akan didirikan di wilayah dengan kelas situs SF dan periode getar bangunan lebih besar dari 0,5 detik ($T > 0,5$ dt) maka perencanaan ketahanan gempa harus diselesaikan dengan metode analisis respons spesifik situs atau *Site Specific Analysis* (SSA). Oleh karena itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perencanaan ketahanan gempa seluruh Gedung IAIN Palu, kecuali Gedung 4, harus dilakukan dengan menggunakan metode SSA..

Kata kunci: Likuifaksi, PGA, *Site Classification*, *Site Specific Analysis*

1 PENDAHULUAN

Gempa Magnitude 7.4 yang terjadi pada sore hari tanggal 28 Desember 2018 dengan pusat gempa 26 km utara Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah telah menyebabkan guncangan yang sangat kuat serta terjadinya likuifaksi besar-besaran terutama di daerah Petobo dan Balaroa (PuSGeN, 2018).

Likuifaksi adalah suatu peristiwa dimana tegangan air pori sudah sedemikian besar sehingga menyamai tegangan butir efektif, akibatnya tanah pasir sudah kehilangan kekuatan geser atau kehilangan daya dukungnya (Widodo, 2012).

Adanya fenomena likuifaksi ini sendiri telah menjadi perhatian khusus yang tidak bisa ditiadakan karena dampaknya yang merusak dan dapat menelan korban

jiwa yang besar. Sehingga, dalam perencanaan struktur bangunan gedung maupun infrastruktur lainnya harus mempertimbangkan adanya potensi likuifaksi dalam proses analisisnya.

Potensi likuifaksi ini sendiri telah disebutkan dalam standar peraturan SNI 1726-2012 pasal 5.3 dalam hal mendefinisikan klasifikasi situs yang akan dilakukan dalam desain perencanaan. Klasifikasi tersebut terbagi atas 6 (enam) tipe tanah mulai dari tanah keras (SA) sampai tanah khusus (SF).

Gedung IAIN Palu sendiri, yang berjarak 80 km dari sumber gempa direncanakan sebagai gedung perkuliahan dan *Shelter* pengungsian ketika terjadinya tsunami sehingga keamanan struktur bangunan tersebut dalam menahan beban gempa harus dapat diantisipasi.

Terlebih lagi, lokasi gedung tersebut berada di pinggir pantai dengan tipe tanah berpasir dan muka air tanah yang tinggi sehingga menyebabkan adanya ancaman terjadinya likuifaksi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan besarnya potensi likuifaksi yang terjadi di lokasi gedung perkuliahan IAIN Palu serta menentukan klasifikasi situs tanah yang tepat sesuai SNI 1726-2012.

2 LANDASAN TEORI

2.1 SNI 1726-2012

Mengacu pada SNI 1726-2012 pasal 5.3 tabel, klasifikasi kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan Tabel 3. Sebagaimana tertulis dalam table tersebut, kelas situs terbagi atas 6 (enam) tingkatan klasifikasi yang berbeda, dimulai dari SA (batuan keras) sampai pada tipe SF (tanah khusus). Salah satu kriteria untuk mengklasifikasikan site ke dalam kategori tanah khusus (SF) ini adalah apabila ditemukan adanya potensi likuifaksi. Lebih lanjut di dalam pasal 5.3.1 SNI 1726-2012 dijelaskan bahwa perencanaan ketahanan gempa untuk tipe tanah SF harus diselesaikan dengan metode analisis respons spesifik-situs. Namun demikian, di dalam pasal tersebut juga terdapat pengecualian, yakni apabila periode getar fundamental struktur ≤ 0.5 detik maka analisis respons spesifik-situs tidak diperlukan meskipun kelas situsnya merupakan SF.

2.2 Teori Dasar Likuifaksi

Menurut Seed (1979) dalam Roski R.I Legrans (2016), likuifaksi adalah suatu kondisi dimana tanah akan mengalami deformasi yang kontinu pada tegangan sisa atau tahanan sisa yang rendah akibat terbentuknya tekanan air pori yang tinggi yang mengurangi tekanan efektif hingga menjadi sangat rendah. Selain itu dalam Widodo (2012) dijelaskan beberapa syarat terjadinya likuifaksi adalah sebagai berikut.

- Intensitas Gempa
Likuifaksi tidak selalu terjadi menyusul terjadinya gempa bumi. Berdasarkan pengalaman maka sayarat tidak terjadinya likuifaksi adalah apabila Magnitude gempa kurang dari 5 skala richter ($M < 5$), intensitas gempa kurang dari VI (IMM < VI), atau gempa termasuk gempa-dalam (kedalaman focus > 70 km)
- Jarak Episenter
Wang dan Law (1994) menunjukkan bahwa likuifaksi tidak akan terjadi apabila jarak episenter lebih dari pers (1).
$$R = 0,82 \times 10^{0,862(M-5)} \text{ km} \quad (1)$$
- Kedalaman Air Tanah Maksimum

Sebagaimana disampaikan sebelumnya, peristiwa likuifaksi terjadi karena tegangan air pori yang besar. Oleh karena itu likuifaksi tidak akan terjadi apabila tidak terdapat muka air tanah yang dapat menyebabkan naiknya tekanan air pori tersebut.

- Karakteristik Butir-butir Pasir
Jenis tanah yang memungkinkan terjadinya likuifaksi adalah pasir jenuh air, berdiameter halus sampai agak kasar maupun tanah pasir-silt terutama apabila sistem drainasenya tidak baik.
- Rentang Lapis Likuifaksi
Faktor lain yang akan mempengaruhi likuifaksi, yaitu *effective overburden pressure* atau disebut juga tegangan vertikal efektif σ_{ve} (*effective vertical stress*). Tegangan tanah ini dipengaruhi oleh kedalaman lapisan tanah sebagaimana ditunjukkan pada pers (2) berikut.

$$\sigma_{ve} = \gamma \cdot h - \gamma_w \cdot h \quad (2)$$

Dimana nilai γ adalah berat jenis tanah jenuh (T/m^3), γ_w adalah berat jenis air ($1 T/m^3$), dan h adalah kedalaman lapisan tanah (m).

2.3 Analisis Potensi Likuifaksi

Likuifaksi pada suatu lapisan tanah dapat dievaluasi menggunakan beberapa metode, salah satunya adalah menggunakan data SPT (Standard Penetration Test). Menurut Youd dan Idriss (1997) tanah dapat diasumsikan sebagai flexible body sehingga terdapat koreksi tegangan tanah yang ditunjukkan oleh stress-reduction factor (r_d). Nilai r_d sendiri dapat dirumuskan dari persamaan (3) sampai persamaan (6) berikut ini.

$$r_d = 1 - 0.00765(z) \quad < 9,15 \text{ m} \quad (3)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267(z) \quad 9,15 \text{ m} < z < 23 \text{ m} \quad (4)$$

$$r_d = 0.744 - 0.008(z) \quad 23 \text{ m} < z < 30 \text{ m} \quad (5)$$

$$r_d = 0.5 \quad z > 30 \text{ m} \quad (6)$$

Nilai z pada persamaan diatas adalah kedalaman lapisan tanah (m).

2.4 Cyclic Stress Ratio (CSR)

Kemudian langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dengan persamaan berikut.

$$CSR = 0.65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d \quad (7)$$

Dimana:

a_{max} = Percepatan gempa (gal)

g = Percepatan gravitasi (981 cm/dt²)
Cyclic Stress Ratio (CSR) pada hakekatnya adalah normalisasi tegangan lapisan tanah yang diakibatkan oleh gempa bumi dengan percepatan gempa. CSR untuk seterusnya akan berfungsi sebagai *stress normalization demand*. Mengingat CSR merupakan fungsi langsung dari total *overburden pressure* σ_{vo} yang nilainya relatif kecil di lapis-lapis atas dan membesar di lapis-lapis bawah, maka kejadian likuifaksi cenderung dimulai dari lapis atas.

2.5 *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

Menurut banyak literatur termasuk Youd dan Idriss (2001), *Cyclic Resistance Ratio* untuk magnitudo 7.5 (CRR_{7.5}) dapat diestimasi menjadi rumus empirik berikut ini.

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60CS}} + \frac{(N_1)_{60CS}}{135} + \dots$$

$$\dots + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60CS} + 45]} - \frac{1}{200}$$

Sementara pada skala gempa selain 7.5 maka nilai CRR dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$CRR = CRR_{7.5} \cdot K_{\sigma} \cdot MSF \tag{9}$$

Nilai $(N_1)_{60CS}$ merupakan nilai koreksi yang dilakukan terhadap nilai $(N_1)_{60}$ -SPT yang tergantung pada besarnya nilai persentase analisa saringan lolos #200 (*Fine Content, FC*) sebagaimana persamaan (10) berikut.

$$(N_1)_{60CS} = \alpha + \beta (N_1)_{60} \tag{10}$$

Dimana nilai α dan β dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\alpha = 0, \beta = 1, FC < 5\% \tag{11}$$

$$\alpha = e^{(1.76 - \frac{190}{FC^2})}, \beta = 0.99 + \left(\frac{FC^{1.5}}{1000}\right), \dots$$

$$\dots 5\% < FC < 35\% \tag{12}$$

$$\alpha = 5, \beta = 1.2, FC \geq 35\% \tag{13}$$

Sedangkan nilai $(N_1)_{60}$ dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini.

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S \tag{14}$$

Dimana:

- N_m = N-SPT yang diperoleh di lapangan
- C_N = faktor koreksi tekanan overburden
- C_E = faktor koreksi energy Hammer SPT
- C_B = faktor koreksi diameter lubang SPT
- C_R = faktor koreksi panjang batang SPT
- C_S = faktor koreksi pengambilan sampel

Menurut Skempton (1986) dalam Youd dan Idriss (1997), nilai-nilai dalam menghitung faktor koreksi tersebut diatas dapat ditentukan berdasarkan Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Koreksi Nilai SPT (Skempton, 1986)

Faktor	Peralatan/Variabel	Notasi	Nilai Koreksi
Tekanan Overburden		C_N	$(P_a/\sigma_{vo})^{0.5}$
			$CN \leq 2$
Rasio Energi	Donut Hammer	C_E	0.5-1
	Safety Hammer		0.7-1.2
	Automatic-Trip Donut-type Hammer		0.8-1.3
Diameter Lubang Bor	65 mm - 115 mm	C_B	1
	150 mm		1.05
	200 mm		1.15
Panjang batang	3 m - 4 m	C_R	0.75
	4 m - 6 m		0.85
	6 m - 10 m		0.95
	10 m - 30 m		1
	> 30 m		< 1
Metode Sampel	Metode standar	C_S	1
	Sampel tanpa liners		1.1-1.3

Sumber: Youd dan Idriss (1997)

2.6 Magnitude Scaling Factor MSF

Youd dan Idriss (2001), Cetin dkk (2004) dalam Widodo (2012) mengatakan bahwa *clean sands-based* CRR_{7.5} sebagaimana disajikan dalam persamaan (8) adalah berdasar pada gempa dengan Magnitude $M = 7.5$. Apabila gempa yang terjadi $M < 7.5$ maka sebenarnya efek/dampak yang terjadi akan lebih kecil atau terhadap gempa $M = 7.5$ seolah-olah lapisan tanah mempunyai *resistance* yang lebih besar. Gempa dengan $M = 7.5$ tersebut dinyatakan sebagai gempa referensi sehingga diperlukan koreksi (*Magnitude Scaling Factor, MSF*) untuk gempa-gempa dengan magnitudo yang lain. Nilai MSF ini bisa didapatkan dari beberapa persamaan-persamaan berikut ini.

$$MSF = 2.5 - 0.2M \tag{15}$$

$$MSF = e^{\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058} \tag{16}$$

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}} \tag{17}$$

$$MSF = \frac{174}{M^{2.56}} \tag{18}$$

dimana nilai M adalah Magnitude gempa

2.7 Factor of Safety FS

Potensi adanya likuifaksi dapat ditentukan dengan membandingkan antara *supply (resistance)* dan *demand (external load)* yang dinyatakan dalam bentuk angka aman (*Factor of Safety, FS*). Dengan demikian nilai FS dapat dihitung dengan persamaan (19) berikut ini.

$$FS = \left(\frac{CRR_{7.5}}{CSR} \right) \cdot MSF \quad (19)$$

Apabila analisis potensi likuifaksi dilakukan pada tanah yang > 15 m atau *high over burden pressure* maka perlu ada koreksi K_{σ} (Youd dan Idriss, 2001; Anonim, 2000, dalam Widodo (2012)).

$$K_{\sigma} = \left(\frac{\sigma'_{e}}{P_{\alpha}} \right)^{f-1} \quad (20)$$

Dengan $f = 0.7 - 0.8$ untuk kepadatan relative $Dr = 40\% - 60\%$ dan $f = 0.6 - 0.7$ untuk $Dr = 60\% - 80\%$.

Demikian apabila nilai FS kurang dari 1 ($FS < 1$) maka terdapat potensi terjadinya likuifaksi pada daerah tersebut. Sebaliknya, apabila nilai FS lebih besar daripada 1 ($FS > 1$) maka tidak terdapat potensi terjadinya likuifaksi. Kemudian, apabila FS sama dengan 1 ($FS = 1$) maka hal ini berarti tanah berada pada kondisi kritis.

2.8 Liquefaction Potential Index (LPI)

Indeks Potensi Likuifaksi (LPI) mengacu pada formula Iwasaki, 1986 dalam Dixit et.al (2012) sebagai berikut.

$$LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z) dz \quad (21)$$

Dimana:

$$F(z) = 1 - FS \text{ untuk } FS < 1.0 \quad (22)$$

$$F(z) = 0 \text{ untuk } FS \geq 1.0 \quad (23)$$

$$w(z) = 10 - 0.5z \text{ untuk } z < 20 \text{ m} \quad (24)$$

$$w(z) = 0 \text{ untuk } z > 20 \text{ m} \quad (25)$$

Untuk lapisan tanah kurang dari 20 m maka LPI dapat dihitung menggunakan persamaan (Luna dan Frost 1998):

$$LPI = \sum_{i=1}^n w_i F_i H_i \quad (26)$$

Dimana:

$$F_i = 1 - FS_i \text{ untuk } FS_i < 1.0 \quad (27)$$

$$F_i = 0 \text{ untuk } FS_i \geq 1.0 \quad (28)$$

Masih berdasarkan Iwasaki (1986) nilai LPI dapat diukur sebagai berikut.

Tabel 2. Klasifikasi Nilai LPI

LPI	Potensi Likuifaksi
LPI = 0	Sangat Rendah
LPI < 5	Rendah
5 < LPI < 15	Tinggi
LPI > 15	Sangat Tinggi

3 METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ini terbagi dalam beberapa tahapan yaitu:

- Tahap pertama adalah melakukan proses pengumpulan data *properties* lapisan tanah berupa 3 (tiga) buah data N-SPT yang berlokasi di lingkungan gedung perkuliahan IAIN Palu.
- Tahap kedua adalah melakukan pengumpulan Nilai Percepatan Gempa,
- Tahap ketiga adalah melakukan analisis potensi likuifaksi dengan menggunakan program Ms.Excel terhadap data-data yang sudah disiapkan sebelumnya.
- Tahap keempat adalah memodelkan struktur gedung kuliah IAIN Palu dengan bantuan software Etabs v.18 untuk mendapatkan nilai periode fundamental
- Tahap terakhir adalah menganalisis hasil dari potensi likuifaksi dan periode fundamental struktur sebagai acuan penentuan klasifikasi kelas situs berdasarkan SNI 1726-2012.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Potensi Likuifaksi

Berdasarkan analisis potensi likuifaksi terhadap ketiga data bor N-SPT ditemukan bahwa pada kedalaman kisaran 0-6 meter berpotensi untuk terjadinya likuifaksi dengan nilai $SF < 1$ dan angka Indeks Potensi Likuifaksi (LPI) > 15 (sangat tinggi) Sebagaimana dapat dilihat pada tabel 3 sampai tabel 5.

Berdasarkan Ketiga tabel diatas terlihat bahwa potensi terjadinya likuifaksi ($FS < 1$) berkisar sampai kedalaman -6 m dari permukaan tanah. Meskipun pada titik Bor-1 yang mana pada kedalaman diatas -12 m masih ditemukan potensi terjadinya likuifaksi selain

untuk semua nilai PGA kecuali yang berasal dari BMKG.

Tanah lempung dianggap tidak mengalami likuifaksi, dan hanya tipe jenis tanah berpasir jenuh air saja yang akan berpotensi.

Berikut di bawah ini tabel 6 yang menunjukkan besarnya nilai Indeks Potensi Likuifaksi (LPI).

Tabel 6. Nilai LPI setiap Titik Bor N-SPT

Data Tanah	Nilai LPI (Indeks Potensi Likuifaksi)			
	2002 PGA = 0.2 g	2010 PGA = 0.85 g	2017 PGA = 0.65 g	BMKG PGA = 0.14 g
Bor 1	36,64	55,94	52,61	28,59
Bor 2	27,49	42,36	39,70	19,67
Bor 3	39,27	46,86	45,59	32,77

Merujuk pada Tabel 2 klasifikasi nilai LPI, dapat disimpulkan potensi likuifaksi sampai kedalaman -6m di daerah tersebut adalah sangat tinggi (*very high potential*) yang mana nilai untuk titik bor-1 dengan PGA sesuai peta gempa tahun 2002, 2010, 2017, dan ulasan BMKG berturut-turut adalah 36.64, 55.94, 52.61, dan 28.59. Untuk titik bor-2 nilai LPI adalah berturut-turut 27.49, 42.36, 39.70, dan 19.67. Sedangkan untuk titik bor-3 maka nilai LPI yang dihasilkan adalah 39.27, 46.86, 45.59, dan 32.77 untuk tiap masing-masing nilai PGA.

4.2 Periode Fundamental Struktur

Gedung perkuliahan IAIN Palu dapat dibagi menjadi beberapa gedung yang terpisah dengan sistem dilatasi. Selain jumlah lantai-nya yang berbeda-beda, periode yang dihasilkan pun juga berbeda sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Periode Fundamental Struktur

Nama	Mode 1 T (dtk)	Jumlah Lantai	Tinggi Gedung
Gedung 1	0,791	4	15,4
Gedung 2	0,619	3	12,6
Gedung 3	0,627	3	12,6
Gedung 4	0,466	2	6,4
Gedung 5	0,761	3	12,6
Gedung 6	0,665	2	12,5

Berdasarkan Tabel 7 dapat disimpulkan hampir semua gedung memiliki periode fundamental struktur lebih

dari 0.5 detik ($T > 0.5$ dt) kecuali untuk gedung 4 yaitu sebesar 0.466 detik.

SNI 1726-2012 Pasal 5.3 menyebutkan apabila klasifikasi situs tergolong tipe SF (berpotensi terjadi likuifaksi) dan periode getar bangunan lebih besar dari 0,5 detik ($T > 0,5$ dt) maka dalam perencanaan ketahanan gempa harus dilakukan analisis spesifik situs atau *site specific analysis* (SSA). Oleh karena itu, pada semua gedung IAIN Palu, kecuali Gedung 4, perencanaan ketahanan gempa harus mengacu pada metode SSA.

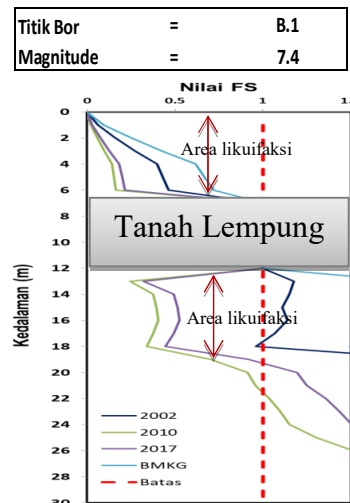
5 KESIMPULAN

Berdasarkan Analisis dan Kajian dalam penelitian ini maka dapat dirangkum kesimpulan sebagai berikut.

- Potensi likuifaksi yang terjadi pada area gedung perkuliahan IAIN Palu memiliki nilai FS < 1 berkisar pada kedalaman 0 – 6 meter dari permukaan tanah.
- Mengacu pada Indeks Potensi Likuifaksi (LPI) dapat disimpulkan bahwa potensi likuifaksi di area gedung IAIN Palu adalah sangat tinggi dengan nilai LPI > 15 sehingga dikategorikan sebagai kelas situs SF.
- Periode fundamental struktur dari hasil pemodelan menunjukkan nilai periode lebih besar dari 0.5 detik kecuali untuk gedung 4 yang memiliki periode getar ($T = 0.466$ detik)
- Pada semua gedung IAIN Palu, kecuali Gedung 4, perencanaan ketahanan gempa harus menggunakan metode SSA.

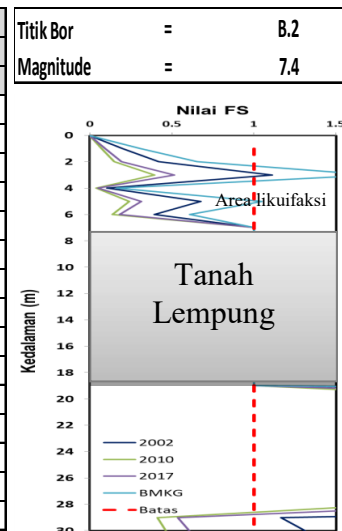
Tabel 3. Nilai FS tiap PGA pada titik Bor-1

Kedalaman m	Nilai FS			
	2002 PGA = 0.2 g	2010 PGA = 0.85 g	2017 PGA = 0.65 g	BMKG PGA = 0.14 g
2	0.16	0.06	0.07	0.25
4	0.40	0.14	0.18	0.62
6	0.46	0.16	0.21	0.72
8	NA	NA	NA	NA
10	NA	NA	NA	NA
12	NA	NA	NA	NA
14	1.15	0.38	0.49	1.79
16	1.14	0.40	0.53	1.77
18	0.96	0.34	0.44	1.50
20	2.59	0.91	1.19	4.02
22	2.94	1.04	1.36	4.57
24	3.26	1.15	1.51	5.07
26	4.29	1.51	1.98	6.67
28	4.42	1.56	2.04	6.87
30	4.66	1.64	2.15	7.24



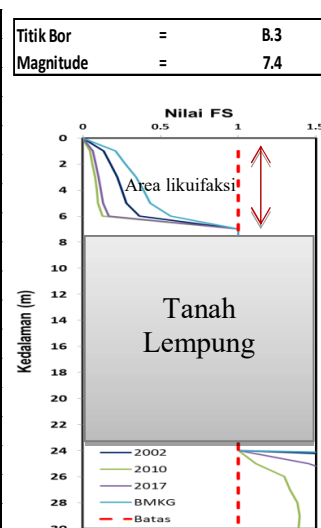
Tabel 4. Nilai FS tiap PGA pada titik Bor-2

Kedalaman m	Nilai FS			
	2002 PGA = 0.2 g	2010 PGA = 0.85 g	2017 PGA = 0.65 g	BMKG PGA = 0.14 g
2	0.42	0.15	0.19	0.65
4	0.10	0.04	0.05	0.16
6	0.39	0.14	0.18	0.61
8	NA	NA	NA	NA
10	NA	NA	NA	NA
12	NA	NA	NA	NA
14	NA	NA	NA	NA
16	NA	NA	NA	NA
18	NA	NA	NA	NA
20	7.80	2.75	3.60	12.13
22	7.69	2.71	3.55	11.95
24	4.72	1.67	2.18	7.34
26	5.50	1.94	2.54	8.55
28	5.33	1.88	2.46	8.28
30	1.31	0.46	0.61	2.04



Tabel 5. Nilai FS tiap PGA pada titik Bor-3

Kedalaman m	Nilai FS			
	2002 PGA = 0.2 g	2010 PGA = 0.85 g	2017 PGA = 0.65 g	BMKG PGA = 0.14 g
2	0.18	0.06	0.08	0.27
4	0.25	0.09	0.12	0.39
6	0.36	0.13	0.17	0.56
8	NA	NA	NA	NA
10	NA	NA	NA	NA
12	NA	NA	NA	NA
14	NA	NA	NA	NA
16	NA	NA	NA	NA
18	NA	NA	NA	NA
20	NA	NA	NA	NA
22	NA	NA	NA	NA
24	NA	NA	NA	NA
26	3.67	1.30	1.69	5.71
28	3.92	1.38	1.81	6.09
30	3.93	1.39	1.82	6.12



REFERENSI

- Badan Standarisasi Nasional, (2002), Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional, (2012), Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung. Jakarta
- BMKG, (2018), Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempa Bumi Donggala 28 September 2018
- Dixit J., Dewaikar D.M., Jangid R.S, (2012), *Assesment of Liquefaction Potential Index for Mumbai City*, Journal of Natural Hazards and Earth System Sciences
- Kementrian Pekerjaan Umum, (2010), Peta Hazard Gempa Indonesia 2010, sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa. Jakarta
- Kementrian Pekerjaan Umum, (2017), Peta Hazard Gempa Indonesia 2017, sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa. Jakarta
- Pusat Studi Gempa Nasional, (2018), Kajian Gempa Palu Provinsi Sulawesi Tengah, ISBN 978-602-5489-14-3.
- Roski R.I Legrans, (2016), Studi Potensi Likuifaksi Berdasarkan Uji Penetrasi Standar (SPT) di Pesisir Pantai Belang Minahasa Tenggara, Jurnal TEKNO Vol.14/No.65/April 2016
- Youd T.L and Idriss I.M., (1997), *Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, Technical Report NCEER-97-0022.
- Widodo Pawirodikromo, (2012), Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan, Pustaka Pelajar.

Scanning Electron Microscope dalam Pengamatan Tanah Terlikuifaksi Daerah Petobo-Palu-Indonesia

G. Panca Aji

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang, INDONESIA
giripancaaji@gmail.com

R. Kusumawardani

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang, INDONESIA
rini.kusumawardani@mail.unnes.ac.id

INTISARI

Daerah Sulawesi Tengah merupakan salah satu daerah rawan bencana gempa bumi di Indonesia, karena terletak dekat dengan sumber gempa bumi yang berada di laut. Pada tanggal 28 September 2018 terjadi gempa bumi di Kota Palu-Donggala sebesar 7,5 magnitudo yang disebabkan pergerakan patahan Palu-Koro yang mengakibatkan bencana tsunami pada pesisir pantai Kota Palu, tanah longsor dan likuifaksi di beberapa kawasan yaitu daerah Petobo, Balaroa, Desa Jono Oge, Sibalaya dan sekitarnya. Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran gempa. Lapisan pasir berubah menjadi seperti cairan sehingga tidak mampu menopang beban bangunan di dalam atau di atasnya. Metode pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan setelah proses pengambilan tanah likuifaksi pada tiga titik sampel. *Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan alat menyerupai mikroskop electron untuk melihat dan menyelidiki permukaan objek secara langsung. SEM memiliki perangkat aksesori tambahan yang biasanya disebut EDX. *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS atau EDX atau EDAX) adalah salah satu teknik yang bertujuan untuk mengidentifikasi persentase kandungan unsur dalam benda uji.

Kata kunci: SEM, EDX, Tanah, Likuifaksi

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia yang terletak di antara empat lempeng aktif Lempeng Pasifik, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Filipina (Hall, 2002) menjadikan Indonesia rawan gempa. Sulawesi merupakan pulau berbentuk huruf K yang terletak di persimpangan lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik, di kawasan kompleks tempat subduksi dan tabrakan yang masih aktif. Berdasarkan terjadinya kumpulan batuan yang berbeda, pulau ini dapat dibagi menjadi tiga provinsi geologi utama, yaitu: Sulawesi Barat, di mana sedimen tersier dan batuan magmatik menonjol, Sulawesi Tengah dan Tenggara, sebagian besar terdiri dari batuan metamorf Kapur Awal dan Sulawesi Timur, di mana nappe ophiolitik besar bersandar pada batuan sedimen Mesozoikum dan Paleozoikum (van Leeuwen, 2005). Hal ini menimbulkan adanya patahan-patahan yang muncul dari daerah tersebut yaitu patahan Palu-Koro yang terletak di Kawasan Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara. Daerah Sulawesi Tengah merupakan salah satu daerah rawan bencana gempa bumi di Indonesia, karena terletak dekat dengan sumber gempa bumi yang berada di laut (Supartoyo dan Surono, 2008). Kota Palu menjadi pusat dari sistem dari patahan Palu-Koro sehingga daerah tersebut rawan terhadap gempa yang bisa mengakibatkan bencana tanah longsor dan

likuifaksi pada daerah tersebut. Pada tanggal 28 September 2018 terjadi gempa bumi di Kota Palu-Donggala sebesar 7,5 magnitudo yang disebabkan pergerakan patahan Palu-Koro yang mengakibatkan bencana tsunami pada pesisir pantai Kota Palu, tanah longsor dan likuifaksi di beberapa kawasan yaitu daerah Petobo, Balaroa, Desa Jono Oge, Sibalaya dan sekitarnya. Hal ini mengakibatkan Kota Palu mengalami kerugian yang sangat besar termasuk rusaknya seluruh akses jalan dan fasilitas serta banyak menelan korban jiwa. Daerah Petobo menjadi daerah yang terkena dampak sangat parah pada peristiwa gempa di Kota Palu yang lalu, Seluruh daerah kelurahan Petobo hampir hilang seluruhnya akibat likuifaksi yang terjadi pada daerah tersebut. Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran gempa. Lapisan pasir berubah menjadi seperti cairan sehingga tidak mampu menopang beban bangunan di dalam atau di atasnya yang disebabkan oleh beban siklik pada waktu terjadi gempa sehingga tekanan air pori meningkat mendekati atau melampaui tegangan vertikal. Karena tekanan air meningkat, jarak antar partikel pasir menjadi semakin renggang, sehingga kekuatan totalnya berkurang drastis. Kerugian terbanyak terjadi akibat dari besarnya getaran yang menyebabkan runtuhnya bangunan dengan struktur yang lemah. Kejadian Likuifaksi ini perlu dikaji lebih lanjut untuk mendapatkan informasi yang detail. Dengan melakukan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) ini diharapkan bisa mengetahui

dan memahami bagaimana morfologi dan isi kandungan unsur tanah yang berada di daerah tanah terlikuifaksi.

1.2 Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini, kawasan Kelurahan Petobo yang digunakan sebagai acuan penelitian tanah likuifaksi serta pengambilan sampel tanah pada kawasan tersebut.

2 METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini melalui pengamatan analisis DEM (*Digital Elevation Model*), dan Peta Citra Satelit sebagai penentuan lokasi. Pengambilan sampel tanah likuifaksi dapat dilihat pada Tabel 1. Metode pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan setelah proses pengambilan tanah likuifaksi pada tiga titik sampel. SEM (*Scanning Electron Microscope*) merupakan alat menyerupai mikroskop electron untuk melihat dan menyelidiki permukaan objek secara langsung. Dengan SEM kita dapat melihat objek dengan perbesaran mulai dari 10x hingga 3000000x. Pengamatan SEM dapat menghasilkan informasi topografi (permukaan fitur objek), morfologi (bentuk dan ukuran partikel objek), komposisi (unsur dan senyawa pada objek), dan informasi kristalografi (bagaimana atom diatur di dalam objek). SEM memiliki perangkat aksesori tambahan yang biasanya disebut EDX. *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS atau EDX atau EDAX) adalah salah satu teknik yang bertujuan untuk mengidentifikasi persentase kandungan unsur dalam benda uji. Hasil dari EDAX diperoleh dari pancaran sinar-x yang akan dideteksi oleh *Energy Dispersive Spectrometer* (EDS) dan akan menghasilkan grafik yang mewakili kandungan unsur. Perlakuan pengamatan tiga sampel tanah likuifaksi saat pengujian menggunakan perbesaran dan bentang ketajaman topografi yang sama.

Tabel 1. Titik koordinat lokasi sampel tanah likuifaksi

No	Koordinat Lokasi	
1.	00°56'11" S	119°55'13" E
2.	00°56'35" S	119°55'09" E
3.	00°56'22" S	119°54'14" E

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Klasifikasi Tanah

Menurut *Indian Standar Soil Classification System* (ISSCS), tanah dikelompokkan berdasarkan ukuran,

dan dibagi menjadi tiga bagian yaitu, kuarsa, medium, dan halus. Kemudian untuk butir tanah dikelompokkan berdasarkan ukuran partikel tanah mulai dari *boulder*, *cobble*, *gravel*, pasir, lanau, dan lempung yang dapat dilihat pada Tabel 2. Jenis tanah pada pengamatan ini termasuk pada tanah jenis lanau dan lempung.

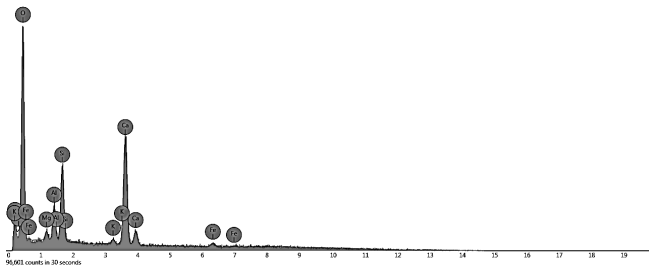
Tabel 2. *Indian Standar Soil Classification System*

Type	Group	Size	
Coarse	Boulder	> 300 mm	
	Cobble	80-300 mm	
Medium	Gravel	Coarse	20-80 mm
		Fine	4,75-20 mm
	Sand	Coarse	2-4,75 mm
		Medium	0,425-2 mm
Fine	Silt	Fine	0,075-0,425 mm
			0,002-0,075 mm
		Clay	< 0,002 mm

3.2 Pengujian SEM Sampel Pertama



Gambar 1. SEM sampel pertama diperbesar 1500 kali



Gambar 2. Grafik Hasil EDX sampel pertama

Pada pengamatan sampel pertama dilakukan uji SEM menggunakan perbesaran 1500 kali dengan bentang topografi 50µm, keadaan morfologi sampel pertama dapat dilihat pada Gambar 1. Diikuti hasil dari EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) dengan masing-masing unsur dapat dilihat pada Tabel 3. Grafik pada Gambar 2. Memperlihatkan bahwa kandungan unsur yang paling besar didominasi oleh Ca (*Calcium*) sebesar 11,78 persen. Diikuti Si (*Silica*) 4,76 persen, Al (*Aluminium*) 2,69 persen dan seterusnya.

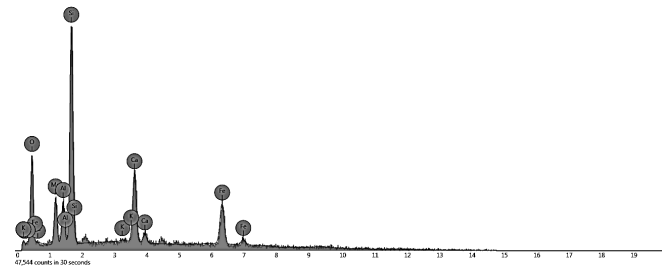
Tabel 3. Hasil EDX sampel pertama

Content	Percent (%)
O	61.64
C	7.79
N	8.64
Ca	11.78
Si	4.76
Al	2.69
Mg	0.85
Fe	1.43
K	0.43

3.3 Pengujian SEM Sampel Kedua



Gambar 3. SEM sampel kedua diperbesar 1500 kali



Gambar 4. Grafik Hasil EDX sampel kedua

Pada pengamatan sampel kedua dilakukan uji SEM menggunakan perbesaran 1500 kali dengan bentang topografi 50µm, keadaan morfologi sampel pertama dapat dilihat pada Gambar 3. Diikuti hasil dari EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) dengan masing-masing unsur dapat dilihat pada Tabel 4. Grafik pada Gambar 4. Memperlihatkan bahwa kandungan unsur yang paling besar didominasi oleh Fe (*Besi*) dan Si (*Silica*) dengan masing masing mempunyai besar yang sama yaitu 21,06 persen. Kemudian diikuti oleh Ca (*Calcium*) 10,47 persen dan seterusnya.

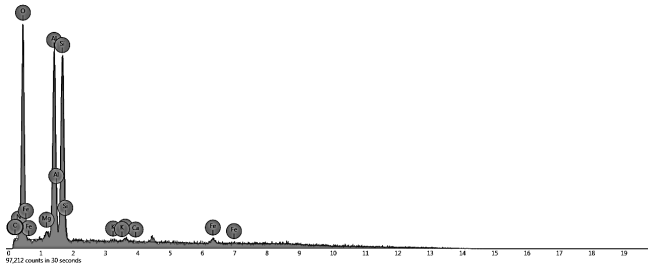
Tabel 4. Hasil EDX sampel kedua

Content	Percent (%)
O	30.24
Si	21.06
C	5.20
Fe	21.06
Ca	10.47
Mg	5.90
Al	4.75
N	1.11
K	0.20

3.4 Pengujian SEM Sampel Ketiga



Gambar 5. SEM sampel ketiga diperbesar 1500 kali



Gambar 6. Grafik Hasil EDX sampel ketiga

Pada pengamatan sampel ketiga dilakukan uji SEM menggunakan perbesaran 1500 kali dengan bentang topografi 50 μ m, keadaan morfologi sampel pertama dapat dilihat pada Gambar 5. Diikuti hasil dari EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) dengan masing-masing unsur dapat dilihat pada Tabel 5. Grafik pada Gambar 6. Memperlihatkan bahwa kandungan unsur yang paling besar didominasi oleh Si (*Silica*) sebesar 17,92 persen dan Al (*Aluminium*) sebesar 17,17 persen. Kemudian diikuti oleh Fe (*Besi*) 2,18 persen dan seterusnya.

Tabel 5. Hasil EDX sampel ketiga

Content	Percent (%)
O	54.91
Si	17.92
Al	17.17
N	5.85
C	0.59
Fe	2.18
Mg	0.78
Ca	0.45
K	0.15

4 KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pengamatan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan untuk memberikan informasi detail mengenai morfologi tanah serta EDX (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) memberikan detail komposisi kandungan unsur yang dimiliki oleh tanah likuifaksi yang diamati.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih sampaikan kepada Dr. Rini Kusumawardani, S.T, M.T, M.Sc atas kesempatan yang telah diberikan untuk mengikuti kegiatan pengamatan tanah likuifaksi di Petobo, Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia.

REFERENSI

Leeuwen, T.M. and Muhardjo. (2005). "Stratigraphy and tectonic setting of the retaceous and Paleogene volcanic sedimentary successions in northwest Sulawesi, Indonesia: implications for the Cenozoic evolution of Western and Northern Sulawesi", *Journal of Asian Earth Sciences* (25)

Hall, R. (2002). "Cenozoic Geological and Plate Tectonic Evolution of SE Asia and the SW Pacific: Computer Based Reconstruction, Model and Animation", *Journal of Asian Earth Science* (20), 353-431.

P.S. Thein, S. Pramumijoyo, K.S. Brotopuspito, W. Wilopo, J. Kiyono and A. Setianto. (2013). "Investigation of Subsurface Soil Structure by Microtremor Observation at Palu, Indonesia", *The 6 ASEAN Civil Engineering Conference (ACEC) & ASEAN Environmental Engineering Conference (AEEC), Civil and Environmental Engineering for ASEAN Community*, Bangkok, Thailand. p. C-6

Supartoyo and Surono. (2008). "Katalog Gempa bumi Merusak di Indonesia Tahun 1629 – 2007", *Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi*, Bandung.

M.M. Monkul, E. Etminan, and A. Senol. (2017). "Coupled influence of content, gradation, and shape characteristics of silts on static liquefaction of loose silty sands", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 101, 12-26.

R. Kusumawardani. (2009). "Prosedur Analisis Liquefaction dengan menggunakan Metode Semi Empiris", *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan* (11), 1-10

R. Kusumawardani, U. Nugroho, N.N. Isnaneni. (2018). "Back Analysis Fenomena Likuifaksi Akibat Gempa Padang 2009 menggunakan Metode Semi Empiric", *Prosiding Seminar Nasional & Internasional* (1)

R. Kusumawardani, U. Nugroho, S. Handayani, M.A. Fanenda. (2019). "The Analysis of Liquefaction Phenomenon of The Flexible Pavement Using Seismic Monitoring Equipment", *IJUM Engineering Journal* (20), 70-78.

Investigasi Pasca Gempa Tasikmalaya 2009 pada Rekonstruksi Rumah Tinggal Sederhana

C. Singgih

Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
19934002@students.uii.ac.id

S. Winarno

Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
winarno@uii.ac.id

M. Teguh

Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
m.teguh@uii.ac.id

INTISARI

Gempa bumi Tasikmalaya pada tahun 2009 menyebabkan sekitar 200.000 bangunan mengalami kerusakan ringan hingga berat. Pasca gempa, pemerintah pusat dan daerah melakukan rehabilitasi dan rekonstruksi secara selektif hingga akhir tahun 2012. Rumah yang tidak termasuk dalam program rehabilitasi dan rekonstruksi, dibangun oleh masyarakat secara mandiri. Penelitian ini difokuskan untuk menilai kepatuhan masyarakat dalam menerapkan standar bangunan aman gempa. Penilaian didasarkan pada 9 kriteria bangunan aman gempa, dan selanjutnya ditentukan level kinerja bangunan tersebut. Pengumpulan data dilakukan melalui survei dengan pengamatan terhadap kondisi rumah dan wawancara dengan pemilik rumah sebanyak 200 rumah baru dan lama. Cakupan dalam pengumpulan data diarahkan di 2 wilayah kecamatan di Kabupaten Tasikmalaya yang terdampak langsung akibat gempa tersebut. Hasil survei dibahas secara intensif dalam *focus group discussion* (FGD) yang melibatkan unsur-unsur pemerintah, tim ahli, dan tokoh masyarakat, serta unsur-unsur terkait yang diperlukan. Hasil investigasi membuktikan bahwa masyarakat cenderung mengabaikan penerapan standar bangunan aman gempa ketika membangun rumah tinggal. Secara kuantitatif sekitar 85% rumah yang telah atau sedang dibangun termasuk dalam kategori buruk dalam penerapan standar gempa untuk rumah tinggal (SNI 03-1726-2002). Alasan mendasar yang terungkap adalah masyarakat mempunyai persepsi bahwa penerapan standar gempa dapat menambah dan membebani biaya pembangunan. Di sisi lain masyarakat menganggap penting untuk dilakukan diseminasi konsep bangunan aman gempa. Hal lain yang dianggap penting (82% responden) yaitu penegakan hukum terhadap persyaratan teknis dalam mendirikan bangunan baru dan perawatan bangunan lama dengan memenuhi standar yang berlaku. Realisasi dalam penegakan hukum ini dapat dikendalikan melalui pengetatan dalam regulasi pemberian izin mendirikan bangunan.

Kata kunci: gempa bumi, rekonstruksi, rehabilitasi, *non-engineered building*, *focus group discussion*, ijin mendirikan bangunan.

1 PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah guncangan bumi yang tiba-tiba dan cepat yang disebabkan oleh pecah dan bergesernya lapisan batuan (lempeng) di bawah permukaan bumi (USGS, 2020a). Sebagai negara yang rawan gempa, Indonesia telah mengalami gempa-gempa besar yang mengakibatkan cukup banyak korban meninggal dan kerusakan infrastruktur yang masif. Salah satu kejadian gempa bumi besar yang tercatat di dunia sejak 1900 adalah Gempa Bumi Aceh pada tanggal 26 Desember 2004 yang terletak di lepas Pantai Barat Sumatera Utara, Indonesia. Riwayat kejadian gempa bumi, yang menelan banyak korban jiwa, telah terjadi di beberapa tempat di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir ini. Gempa bumi ini termasuk gempa bumi yang disertai gelombang tsunami di Samudera Hindia Indonesia pada tahun 2004 (USGS, 2020b), dengan lebih dari

225.000 korban meninggal di 12 negara (165.791 korban meninggal di Indonesia saja). Gempa bumi Yogyakarta pada tahun 2006 dengan korban meninggal sebanyak 5.716 orang; Gempa bumi Sumatra Barat pada tahun 2009, mengakibatkan korban meninggal lebih dari 1.000 orang; dan gempa bumi Pidie-Aceh pada bulan Desember 2016, merenggut lebih dari 50 korban meninggal (BNPB, 2020). Dengan berkembang dan meningkatnya populasi dan infrastruktur pendukungnya, dampak gempa bumi dapat menimbulkan bahaya yang lebih besar lagi bagi kehidupan dan komunitas masyarakat. Beberapa ratus tahun yang lalu, gempa bumi besar belum dapat diketahui oleh masyarakat secara langsung tetapi sekarang bahkan gempa kecil sekalipun sudah dapat dirasakan. Perlu dicatat bahwa para ilmuwan dunia hingga saat ini tidak dapat memprediksi kapan dan dimana gempa akan terjadi. Meskipun gempa bumi

tidak dapat dicegah, ilmu pengetahuan modern memberikan teori-teori dasar yang dapat digunakan untuk mensimulasi efek kerusakan akibat beban gempa (BSSC, 1995).

Berdasarkan investigasi lapangan dari gempa bumi masa lalu, sebagian besar kerusakan yang diakibatkan oleh gempa terjadi pada bangunan dan rumah yang buruk dalam desain dan konstruksi. Sebagian besar korban meninggal dan cedera terkait gempa bumi diakibatkan oleh runtuhnya bangunan bukan oleh gempa itu sendiri. Pada tahun 2004, gempa bumi Samudra Hindia Indonesia di Samudra Hindia (bersama dengan tsunami) menyebabkan sekitar 127.000 bangunan/rumah hancur total (BAPPENAS, 2005). Gempa Yogyakarta pada tahun 2006 menyebabkan 156.662 rumah pribadi hancur total dan 202.031 rusak (BAPPENAS, 2006). Demikian pula, gempa bumi Sumatra Barat pada tahun 2009 mengakibatkan sekitar 115.000 rumah hancur dan lebih dari 135.000 rumah rusak (BAPPENAS, 2009); dan gempa bumi Pidie-Aceh pada tahun 2016 membuat ratusan rumah hancur atau rusak (BNPB, 2016).

Gempa bumi pada tahun 2009 adalah gempa tektonik yang terjadi pada tanggal 2 september 2009 pada pukul 14:55:21 WIB dengan pusat gempa di laut sekitar 142 km barat daya Tasikmalaya, Jawa Barat berkekuatan 7,3 pada Skala Richter. Gempa bumi ini dirasakan di seluruh pulau Jawa bahkan hingga ke pulau Bali. Puluhan orang dilaporkan tewas dan ribuan orang lainnya dilaporkan mengalami luka-luka, dikarenakan gempa. Menurut data Rekapitulasi Dampak Kejadian Bencana Gempa Bumi korban meninggal yaitu 31 orang. Sementara itu sebanyak 1.254 orang mengalami luka-luka. Akibat bencana ini sebanyak 63.717 rumah rusak berat dan 131.275 rumah rusak ringan. Sarana umum lain, seperti masjid yang mengalami rusak berat berjumlah 2.010 unit, sekolah dan madrasah rusak berat 1.089 unit, kantor rusak berat 232 unit, dan pondok pesantren sebanyak 19 unit.

Pelajaran berharga dari gempa-gempa tersebut di atas memberikan fakta bahwa bencana besar terjadi di daerah berpenduduk padat, terutama terjadi pada bangunan yang tidak dilengkapi konstruksi tahan gempa. Ironisnya, rumah-rumah yang dibangun di beberapa kota besar di Indonesia belum menerapkan standar rumah aman gempa dan penegakan hukum terhadap kelalaian dalam penerapan standar yang berlaku (SNI 03-1726-2002) belum diaplikasikan secara konsisten. Sebagian besar bangunan dan rumah yang runtuh atau rusak parah adalah konstruksi bangunan yang tidak menggunakan perkuatan struktur yang memadai, khususnya yang dibangun oleh masyarakat berpenghasilan menengah-rendah. Di sisi lain, sangat sedikit bangunan yang dibangun menurut

standar rumah aman gempa yang mampu bertahan dari gempa bumi disebabkan oleh persepsi yang kurang tepat dalam memahami konsep bangunan aman gempa. Bukti ini mirip dengan temuan dari negara-negara berkembang lainnya (Mansouri et al., 2002).

Berdasarkan banyaknya kejadian gempa bumi, besarnya kerusakan bangunan setelah gempa dan konsentrasi penduduk, kota-kota di Indonesia mempunyai kemungkinan yang besar terhadap bahaya gempa bumi yang dapat mengancam semua elemen kehidupan masyarakat. Kualitas rekonstruksi pasca bencana adalah kunci terpenting untuk mengantisipasi terhadap kerusakan serupa pada kejadian gempa yang mungkin terjadi di masa yang akan datang. Oleh karena itu, masyarakat tidak perlu menunda penerapan standar rumah aman gempa pada setiap konstruksi bangunan.

Selama fase rekonstruksi sekitar 2 tahun setelah gempa, pemerintah, akademisi, dan insinyur lokal membantu masyarakat secara kolektif dan kolaboratif untuk membangun kembali rumah mereka dengan lebih baik. Sayangnya, banyak masyarakat cenderung mengabaikan penerapan standar rumah aman gempa pada bangunan yang dibangun pasca fase rekonstruksi.

Makalah ini memaparkan kondisi penerapan detail teknis tahan gempa saat ini untuk rekonstruksi rumah sederhana yang masih sulit dilakukan selama beberapa tahun terakhir ini pasca kejadian gempa bumi di Kabupaten Tasikmalaya. Hasil penelitian ini diharapkan akan memberikan pemahaman yang lebih baik kepada masyarakat mengenai penerapan persyaratan teknis tahan gempa pada bangunan rumah sederhana, sehingga dapat mengurangi, bahkan menghindari banyak korban jiwa dan harta jika penerapan standar kegempaan telah dilakukan dengan baik.

2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 Rumah tinggal sederhana (*non-engineered*)

Rumah tinggal sederhana adalah rumah yang dirancang, dibangun, dan diawasi dengan tidak melibatkan ahli bangunan secara sistematis. Rumah-rumah ini biasanya dibangun oleh masyarakat tradisional dan/atau pemilik bangunan, menggunakan pendekatan tradisional umum tanpa campur tangan oleh arsitek dan insinyur yang memenuhi syarat dalam desain dan konstruksi. Selama 30 tahun terakhir rumah-rumah *non-engineered* di Indonesia memiliki dua lantai dan dibangun dari rumah batu bata setebal setengah bata, dibangun dengan kerangka beton bertulang, yang terdiri dari apa yang disebut "kolom praktis dan balok" (Boen, 2006). Hal ini menjadi budaya baru pada

masyarakat dalam membangun rumah mereka. Alasan kenapa masih digunakan batu bata yang notabene dapat menambah berat struktur secara keseluruhan adalah karena tingginya harga kayu yang dapat digunakan sebagai material bangunan yang ringan. Namun, Boen menyoroti bahwa jika budaya baru dari rumah sederhana ini dibangun dengan bahan berkualitas dan pengerjaan yang baik, bangunan tersebut mungkin akan selamat dari gempa bumi terkuat sesuai dengan peta bahaya gempa Indonesia. Faktanya, berdasarkan kejadian gempa bumi baru-baru ini menunjukkan bahwa sebagian besar bangunan masih belum dibangun dengan tepat untuk tahan terhadap guncangan gempa, dan hanya sedikit yang dibangun sesuai dengan prosedur ketahanan gempa yang disarankan.

Secara statistik, jumlah perumahan sederhana saat ini sangat banyak. Sarwidi dan Winarno (2006) mempelajari bahwa sebelum gempa 2006 sebanyak 93,5% bangunan di Kota Yogyakarta adalah bangunan sederhana. Persentase bangunan sederhana yang terbuat dari bahan berat, seperti satu atau setengah bata adalah 84,8%, dimana 1% adalah rumah yang sangat tua tanpa penguatan dan pemeliharaan yang tepat. Persentase rumah sederhana yang dibangun dengan bahan ringan seperti kayu jati di rumah-rumah tradisional dan bersejarah, atau bahan ringan lainnya di tempat lain, adalah 8,7%. Beberapa dari mereka termasuk yang termiskin dan terbuat dari bahan yang sangat ringan yang mungkin dapat menahan guncangan tanah yang kuat dan juga tidak akan mengakibatkan kematian jika mengalami keruntuhan. Sisanya 6,5% adalah rumah-rumah yang dibangun sesuai dengan desain rumah aman gempa.

Karena pertumbuhan ekonomi yang cepat di Indonesia sebagai negara berkembang, jelas bahwa banyak bangunan baru di kota masih diperlukan untuk mengakomodasi pertumbuhan populasi yang terus bertambah. Hal ini memberikan data tambahan bahwa bangunan sederhana masih akan dipraktekkan oleh masyarakat pada umumnya. Meskipun rumah-rumah ini perlahan-lahan akan digantikan oleh konstruksi yang lebih baik, mereka akan tetap menjadi mayoritas dari total jumlah perumahan dan akan menjadi sumber tunggal terbesar dari resiko kegempaan yang ada dalam waktu dekat, terutama rumah-rumah dengan struktur yang berat, yang sebagian besar ditempati oleh keluarga berpenghasilan menengah ke bawah di Indonesia. Sebagian besar hilangnya nyawa dalam gempa bumi masa lalu terjadi karena runtuhnya bangunan sederhana ini. (IUDMP, 2002).

2.2 Penerapan Standar Bangunan Aman Gempa

Korelasi yang kuat antara sejumlah besar korban meninggal dan cedera akibat runtuhnya bangunan sederhana menunjukkan bahwa menjadi sangat penting untuk memperkenalkan standar rumah aman gempa bagi rumah-rumah baru dan bangunan sederhana, sehingga dapat mengurangi korban jiwa ketika terjadi gempa bumi di masa yang akan datang. Standar rumah aman gempa adalah seperangkat persyaratan hukum yang dimaksudkan untuk memastikan bahwa suatu bangunan dirancang dan dibangun sehingga jika terkena gempa, bangunan tersebut tidak akan memberikan ancaman yang signifikan terhadap kehidupan, kesehatan, atau kesejahteraan penghuninya atau masyarakat secara umum (BSSC, 1995).

Gempa bumi tidak menyebabkan korban meninggal secara langsung, akan tetapi pembangunan rumah dan bangunan yang tidak sesuai standar rumah aman gempa yang menyebabkan korban meninggal. Tanah yang bergetar ketika gempa bumi tidak akan menjadi bencana jika masyarakat memiliki tindakan untuk mengurangi resiko sebelumnya. Rekonstruksi rumah setelah gempa bumi harus mengikuti standar untuk desain kegempaan dalam pembangunan rumah. Gambar 1 menyajikan detail sambungan balok-kolom yang benar dengan pembengkokan seismik (*seismic hook*) atau panjang penyaluran yang sesuai untuk menahan beban lateral dan Gambar 2 memberikan contoh rumah yang direkonstruksi dengan detail teknis kegempaan.



Gambar 1. Detail sambungan baja balok-kolom yang benar dengan putaran potongan yang sesuai untuk dimuat secara lateral (Winarno, 2017).



Gambar 2. Rumah yang direkonstruksi sesuai dengan standar kegempaan (Winarno, 2017)

Di sisi lain masih banyak terdapat penggunaan beberapa bahan konstruksi yang tidak memadai. Seringkali, mortar dan beton dicampur di lokasi pekerjaan. Setiap sumber air yang ada di sekitar proyek langsung digunakan untuk campuran. Cara tersebut menghasilkan pencampuran berdasarkan volume dan bukan berdasarkan berat, sehingga tidak memperhitungkan kadar air yang sesuai aturan. Mortar dan beton yang dihasilkan umumnya berkualitas buruk, dengan kuat tekan yang rendah. Selain itu, pemadatan beton di beberapa lokasi tidak memenuhi standar, memiliki kadar air tinggi, dan ukuran agregat maksimum yang digunakan lebih dari 30 mm. Segregasi beton dan sarang lebah adalah hal umum yang sering dijumpai, sementara ketebalan selimut beton untuk tulangan sangat bervariasi, meskipun umumnya kurang dari 25 mm. Semua tulangan umumnya baja dengan kualitas ringan/halus. Rasio dan detail tulangan baja biasanya hanya memadai untuk pertimbangan pembebanan gravitasi. Ada banyak detail koneksi balok-kolom yang salah. Pengisian bata bervariasi dalam bentuk dan bahan, mulai dari batu bata tanah liat berlubang atau padat, semen, dan blok beton, umumnya diletakkan dalam mortar semen. Gambar 3 menggambarkan sarang lebah (keropos) dalam beton dan Gambar 4 menggambarkan sambungan balok-kolom yang salah.

Untuk tujuan rekonstruksi, desain bangunan secara umum sekarang tersedia dalam manual sederhana tentang bagaimana menerapkan standar rumah aman gempa dalam struktur sederhana. Setelah gempa bumi di Jawa, banyak organisasi, lembaga dan individu membuat dan mendistribusikan ribuan manual seperti itu ke daerah yang terkena dampak. Buku elektronik dan artikel tentang topik serupa dari banyak negara juga dapat diunduh dari internet. Melalui pendekatan ini, banyak insinyur struktural kegempaan mampu mendesak pelaku konstruksi bangunan sederhana

untuk fokus pada proses konstruksi. Jika mereka membangun rumah yang sesuai dengan manual, bangunan akan mematuhi detail teknis kegempaan yang disarankan. Secara umum, peralatan untuk mengimplementasikan standar rumah aman gempa seperti itu sekarang benar-benar ada di masyarakat umum. Dengan demikian, masalah yang paling penting adalah proses rekonstruksi yang dipandu oleh insinyur lokal di setiap kelompok masyarakat untuk mendampingi pada saat membangun rumah mereka sendiri pada jalur yang benar.



Gambar 3. Bahan beton berkualitas rendah dengan *honeycombing* (Winarno, 2017)



Gambar 4. Detail sambungan tulangan balok-ke-kolom yang salah (Boen, 2006)

2.3 Rekonstruksi Pasca Gempa

Rekonstruksi bertujuan untuk membangun kembali sistem publik, sistem ekonomi, infrastruktur, dan fungsi pemerintahan. Pemerintah Indonesia memutuskan untuk mengembangkan Program

Rehabilitasi dan Rekonstruksi Permukiman Berbasis Masyarakat dengan menempatkan anggota masyarakat sebagai aktor utama secara kolaboratif dengan beberapa pemangku kepentingan. Rekonstruksi berbasis masyarakat didasarkan pada budaya swadaya Jawa, yang dikenal sebagai gotong royong, di mana masyarakat diizinkan untuk merancang dan membangun rumah mereka sesuai dengan standar kegempanan dan juga kebutuhan masing-masing. Ini juga memungkinkan prinsip dan kebijakan yang berpusat pada masyarakat. Situasi serupa juga ditemukan di Iran (Ibrion et.al, 2015). Ditemukan juga bahwa banyak korban bencana menggunakan kembali bahan bangunan reruntuhan dalam proses rekonstruksi di Bantul (Sunoko, et.al, 2015).

Selama fase rekonstruksi formal, masyarakat berpartisipasi dalam pelatihan dan lokakarya untuk memiliki pengetahuan dasar tentang bagaimana membangun rumah agar memenuhi persyaratan rumah aman gempa. Beberapa organisasi non-pemerintah memberikan pelatihan praktis. Itu diperkuat oleh kegiatan pemantauan intensif untuk memastikan keberlanjutan kontrol kualitas konstruksi. Insinyur lokal disediakan oleh pemerintah daerah pada setiap kelompok masyarakat untuk menjaga dan memastikan bahwa semua rekonstruksi rumah mengikuti standar dengan ketat. Umumnya, pembangun lokal, mandor, tukang batu, tukang kayu, dan kontraktor kecil menengah adalah aktor utama. Dalam kasus tertentu, pemilik rumah bertindak sebagai pembangun juga. Di Pakistan (Leersum dan Arora, 2011), prosesnya juga menggunakan rekonstruksi berbasis pemilik. Tahap perencanaan sangat jarang dilakukan dengan cara yang sistematis.

Setelah fase rekostruksi selesai, masyarakat di daerah yang terkena dampak telah kembali kehidupan normal. Ironisnya, upaya bersama yang diambil dalam program rehabilitasi dan rekonstruksi oleh berbagai pemangku kepentingan menghilang karena tidak ada dana rekonstruksi formal lagi dari pemerintah. Beberapa bantuan dari organisasi non-pemerintah mulai pergi. Orang-orang yang membangun kembali rumah mereka baik yang baru maupun yang sedang dibangun sedang berjuang untuk menyelesaikan rumah mereka dengan dana mereka sendiri atau sedikit bantuan yang diterima dari para ahli yang masih tinggal di daerah yang terkena dampak. Masyarakat cenderung mengabaikan bencana terakhir dengan mengabaikan standar kegempanan untuk rumah mereka karena keterbatasan anggaran dan tekanan ekonomi lainnya.

Hal buruk yang dapat menjadikan pelajaran dari bencana saat ini adalah tidak adanya upaya yang baik dalam membangun rumah setelah periode rekonstruksi

formal berjalan. Tidak banyak yang berubah dalam hal desain atau konstruksi rumah desa di wilayah tersebut, dibandingkan dengan rumah yang rusak pada beberapa tahun yang lalu diakibatkan oleh gempa. Penerapan kode ini terutama terbatas pada keluarga dengan kemampuan ekonomi menengah ke atas. Di desa-desa, biasanya tidak ada desain standar bangunan aman gempa pada saat akan membangun rumah. Penduduk desa cenderung membangun rumah mereka sendiri dengan biaya minimal dan faktor keamanan yang tentunya minimal juga.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah melalui survei terhadap dua ratus rumah yang terletak di Kabupaten Tasikmalaya (pada wilayah-wilayah yang mengalami kerusakan berat akibat gempa tahun 2009), yang baru saja dibangun atau sedang dibangun. Data tentang segala aspek implementasi detail teknis rumah aman gempa pada konstruksi rumah mereka telah dikumpulkan berdasarkan pengamatan dan hasil wawancara dengan pemilik rumah. Tanggapan secara naratif yang mendalam dan luas dapat diperoleh melalui kebebasan ekspresi responden dalam sesi wawancara. Dalam tahapan ini dapat digali informasi tentang ketaatan dalam penerapan standar gempa oleh masing-masing pemilik rumah, termasuk para tukangnyanya. Responden penelitian ditujukan kepada pemilik rumah tanpa memandang strata sosialnya.

Tahap kedua adalah melalui *focus grup discussion* (FGD) yang dilaksanakan untuk menjelaskan alasan-alasan dari hasil investigasi yang telah dilakukan. Tahapan ini akan dapat menghasilkan pokok-pokok strategi yang dapat digeneralisasikan. FGD ini dilakukan dengan mengundang 10 orang dari berbagai latar belakang seperti unsur-unsur pemerintah, tim ahli, dan tokoh masyarakat, serta unsur-unsur terkait yang diperlukan. Peserta diskusi adalah orang-orang yang secara khusus mengambil bagian dalam tahap wawancara dan yang memegang posisi penting di Kabupaten Tasikmalaya. Metode ini dipilih berdasarkan asumsi bahwa setiap peserta ingin berbagi dan bertukar pengalaman dan pengetahuan umum tentang hambatan yang ada dan solusi yang mungkin secara langsung dan terbuka (Andrew, 2004). Tahap akhir dari penelitian ini adalah untuk menarik beberapa kesimpulan.

Mengacu pada IITK (2017), Widodo (2007), Winarno (2017) dan pendapat di antara 200 pemilik rumah, diputuskan untuk melanjutkan 9 indikator yang sesuai dengan penerapan standar kegempanan, seperti dijelaskan dalam Tabel 1. Misalnya, Gambar 3 adalah tentang kualitas rendah materi yang tidak sesuai

dengan Indikator 8. Juga, sambungan balok-ke-kolom yang salah, seperti yang dijelaskan dalam Gambar 4, tidak sesuai dengan Indikator 2.

Tabel 1. Sembilan indikator untuk implementasi standar rumah aman gempa (Winarno, 2017)

Kriteria	Indikator	Komentar
Perkuatan besi tulangan	1. Detail penulangan yang bagus: Jarak sengkang <15 cm 2. Detail penulangan yang bagus: Sambungan balok-kolom sesuai standar	Ketaatan dengan analisis beton bertulang harus dilakukan dengan baik. Beberapa kegagalan di bawah ini harus digarisbawahi: (a) kegagalan karena <i>weak and soft stories</i> , (b) kegagalan karena ketidakberaturan (c) kegagalan karena terguling, (d) kegagalan kolom karena gagal geser, (e) kegagalan karena kolom pendek, (f) kegagalan pada sambungan balok-ke-kolom.
Perkuatan terhadap beban lateral	3. Ketersediaan perkuatan beban horizontal: Sloof 4. Ketersediaan perkuatan beban horizontal: Perkuatan vertikal di semua sudut dinding 5. Ketersediaan perkuatan beban horizontal: Perkuatan Horizontal dengan Balok Ring dan Balok Gunungan Atap 6. Ketersediaan perkuatan beban horizontal: Perkuatan Horizontal dengan Balok Latei di atas pintu/Jendela	Struktur memiliki perkuatan untuk menahan beban gempa secara lateral dari semua arah yang dapat mentransfermomen inersia akibat gempa ke pondasi.
Angkur ke fondasi	7. Keberadaan angkur dari pondasi ke dinding	Elemen-elemen penahan beban vertikal (kolom, dinding) ditahanolehpondasi; kolom beton dan dinding diangkurkan ke pondasi.
Bahan bangunan	8. Bahan bangunan berkualitas bagus	Kualitas bahan bangunan harus sesuai persyaratan SNI bahan bangunan.
Kualitas tukang	9. Kualitas tukang yang bagus	Kualitas tukang (berdasarkan inspeksi visual beberapa bangunan) harus baik (sesuai standar konstruksi lokal).

Berdasarkan wawancara dengan semua pemilik rumah, diklasifikasikan menjadi 4 kategori, sebagai berikut:

A = sangat baik: merekonstruksi rumah sesuai dengan 8 atau 9 indikator,

B = baik: merekonstruksi rumah sesuai dengan 6 atau 7 indikator,

C = sedang: merekonstruksi rumah sesuai dengan 4 atau 5 indikator,

D = buruk: merekonstruksi rumah sesuai dengan 3 indikator, atau kurang.

Hasil investigasi 200 rumah disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Ringkasan data wawancara umum terhadap 200 rumah yang direkonstruksi

Kelompok rumah	Jumlah rumah		Detail tulangan baja yang bagus		Keberadaan jalur beban lateral			Keberadaan angkur dari pondasi ke dinding	Bahan bangunan berkualitas bagus	Kualitas pengerjaan yang bagus
	#	%	Jarak sengkang <15 cm	Koneksi balok-kolom	Balok sloof	Penguatan vertikal di semua sudut dinding	Balok atap dan gunungan			
A = Sangat bagus	5	2,5%	√	√	√	√	√	√	√	√
B = Bagus	12	6%	√	√	√	√	√	√	√	√
C = Sedang	15	7,5%		√	√	√	√	√	√	√
D = Buruk	168	84%			√	√	√	√	√	√
Total	200	100%								

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bulan Desember 2019 - Februari 2020, dilakukan beberapa penyelidikan sekilas di Kabupaten Tasikmalaya untuk menggambarkan beberapa kemajuan dalam rekonstruksi rumah setelah beberapa tahun gempa bumi yang terjadi di sekitar Tasikmalaya, apakah masyarakat menerapkan standar rumah aman gempa atau tidak dalam membangun rumah mereka. Beberapa bukti menunjukkan bahwa bangunan sederhana masih dibangun oleh pemilik dengan berprestasi menengah-rendah. Alasan mendasar yang terungkap adalah masyarakat mempunyai persepsi bahwa penerapan standar gempa dapat menambah dan membebani biaya pembangunan.

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa 84% rumah yang direkonstruksi masuk kepada kategori “buruk” dalam hal penerapan standar rumah aman gempa yang disarankan. Tampaknya tidak ada upaya yang signifikan dalam penerapan standar rumah aman gempa pada perumahan sederhana. Kesadaran masyarakat terhadap bencana gempa bumi cenderung menurun, bahkan mereka mulai mengabaikan bencana besar tahun 2009. Tidak adanya balok latei dan angkur pondasi adalah indikator yang buruk dan masih banyak dilaksanakan oleh masyarakat. Di sisi lain, hanya 2,5% rumah yang direkonstruksi yang mengikuti standar bangunan aman gempa sesuai dengan kategori yang dipersyaratkan.

Untuk mengungkapkan alasan di balik hasil pengamatan dan wawancara di atas, diadakan diskusi kelompok secara sistematis. Karena masalah yang kompleks, saling tergantung, dan dinamis, kesimpulan dicapai tidak hanya melalui pendapat masing-masing responden, pada saat wawancara, akan tetapi juga

melalui metode pelengkap, dengan memberi peluang berbagai pemangku kepentingan dapat berbagi pengalaman dan berpendapat secara langsung dan terbuka, dan juga dapat mempertimbangkan ide-ide orang lain. Jenis pengumpulan data ini lebih cocok untuk merumuskan dan menyelesaikan berbagai dimensi masalah dari berbagai perspektif. Oleh karena itu, diskusi kelompok dipilih karena sangat interaktif. Selain pengumpulan data sebelumnya melalui wawancara, metode ini juga memfasilitasi argumen yang beralasan dan masuk akal tentang pentingnya data yang dihasilkan untuk mengkonfirmasi validitas, agar sampai pada kesimpulan penelitian yang komprehensif dan menyeluruh.

Secara keseluruhan ada 10 peserta terpilih dalam diskusi, sebagian peserta merupakan tenaga dan tukang yang terlibat dalam pengumpulan data pada saat dilakukan wawancara. Mereka sudah dilatih oleh praktisi teknik sipil dan profesional selama periode rekonstruksi formal. Oleh karena itu, mereka memiliki tingkat keahlian atau kriteria pengetahuan khusus tentang peraturan bangunan, fenomena kegempaan, desain, dan juga mereka paham dengan konsep-konsep rumah aman gempa.

Implementasi standar rumah aman gempa yang tidak tepat dalam struktur bangunan sederhana sudah umum terjadi. Meskipun rumah-rumah ini perlahan-lahan akan digantikan oleh rumah-rumah dari konstruksi yang lebih baik, secara luas diterima bahwa mereka akan tetap menjadi sumber tunggal terbesar dari resiko bencana kegempaan yang ada untuk masa mendatang. Ini memberikan alasan yang kuat untuk memperkenalkan standar rumah aman gempa pada bangunan yang ada dan yang akan dibangun, karena sangat penting untuk mengurangi jumlah korban jiwa akibat gempa bumi di masa yang akan datang.

Implementasi standar rumah aman gempa dalam konstruksi menjadi sangat penting sebagai kunci untuk memastikan keamanan pada saat terjadi gempa bumi. Khususnya pada bangunan sederhana, yang menjadi penyumbang terbesar atas korban meninggal selama gempa bumi terjadi.

Berdasarkan diskusi, dapat dibuktikan bahwa peran para peneliti, ilmuwan, kontraktor, mandor, dan pekerja konstruksi sebagai agen perubahan yang memperkenalkan detail teknis bangunan aman gempa sehingga dapat mengurangi kerentanan fisik rumah sederhana. Tingkat kualitas rumah aman gempa sangat tergantung pada pengetahuan dan proses pengerjaan kontraktor, mandor, tukang batu, dan/atau tukang kayu. Saat ini, perubahan paradigma baru telah membuktikan bahwa kombinasi antara pendekatan teknis dan non-teknis adalah faktor penting dalam konteks pengurangan bencana yang lebih luas. Bahkan komitmen politik, sebagai tindakan non-teknis, harus menjadi yang paling penting (UNDP, 2004). Di sini, kombinasi keduanya telah muncul dengan jelas, meskipun pendekatan teknis masih dominan. Dengan demikian, pengurangan resiko bencana kegempaan melalui penerapan standar rumah aman gempa dalam konstruksi bukan pendekatan fisik dan teknis. Akan tetapi terdiri dari semua bentuk kegiatan, kepedulian berbagai pemangku kepentingan, dan tentunya masyarakat dari berbagai tingkat pemahaman, komitmen, dan keterampilan, termasuk langkah-langkah struktural dan non-struktural.

Diskusi tentang diseminasi sering muncul di antara 80% peserta. Diyakini bahwa jika orang memiliki kesadaran yang tinggi tentang resiko bencana kegempaan dan pentingnya standar rumah aman gempa, maka mereka akan menerapkan standar tersebut secara sukarela. Diseminasi sudah sering dilakukan berdasarkan kenyataan bahwa informasi mengenai detail teknis bangunan aman gempa tersedia untuk umum dan mudah diakses setelah peristiwa tragis setelah gempa-gempa besar. Akan tetapi mekanisme untuk memastikan orang menerjemahkan dari perencanaan ke konstruksi nyata masih sangat rendah. Bagian yang paling menantang adalah disadari bahwa peristiwa kegempaan adalah fakta nyata, tetapi tidak ada alat yang dapat mengetahui secara pasti lokasi dan waktu terjadinya gempa. Tidak dapat diperkirakan kapan itu akan terjadi atau seberapa besarnya itu, dan oleh karena itu lebih baik untuk memahami daripada menyangkal atau mengabaikannya.

Selain itu, berdasarkan pengumpulan data dapat dikonfirmasi bahwa untuk mematahkan keengganan masyarakat pada saat menerapkan standar rumah aman gempa, pemerintah tidak dapat dengan mudah

memberikan manual standar rumah aman gempa atau pelatihan praktis kepada pembangun lokal dan kemudian meminta mereka untuk menerapkannya secara ketat. Kesadaran tinggi masyarakat akan resiko bencana kegempaan dengan pemahaman yang lebih baik tentang data gempa bumi: sejarahnya, distribusi spasial, karakteristik, dampak, dan garis patahan yang ada, mendasari setiap inisiatif untuk mengurangi resiko bencana kegempaan. Jika masyarakat belajar hidup secara harmonis dengan resiko bencana kegempaan, mereka secara otomatis akan berusaha menerapkan standar rumah aman gempa secara sukarela. Selain itu, kesadaran yang tinggi terhadap pemerintah akan membuat masyarakat tetap di jalur pembangunan yang lebih baik dan lebih aman. Inisiatif, inovatif, sinergi baru, dan jaringan dapat dengan mudah diserap masyarakat. Hal ini akan berkesan ke dalam struktur komunitas yang ada tanpa penolakan dan juga menghargai kontribusi setiap elemen masyarakat. Proses ini dapat mematahkan hambatan psikologis untuk terus membangun kepercayaan di antara mereka dan juga menekankan pentingnya keberlanjutan penerapan standar bangunan aman gempa.

Sehubungan dengan pesan diseminasi, jika masyarakat memahami bahwa penerapan detail teknis kegempaan di rumah mereka sendiri adalah strategi yang paling efektif untuk mengurangi atau menghindari kerugian maka mereka dapat mengendalikan strategi tersebut. Masyarakat menjadi lebih tenang dan tidak khawatir untuk menetap di daerah rawan gempa karena mereka memiliki kontrol atas akibat yang mungkin akan terjadi. Mendidik masyarakat bahwa penerapan standar rumah aman gempa secara sederhana, layak secara ekonomi, dan dapat diterapkan, sehingga dapat diterima secara budaya untuk mendapatkan rasa kontrol atas nasib mereka sendiri. Hal ini mendukung dengan apa yang ditemukan oleh Lustig (1997): bahwa agar sistem penanggulangan bencana dapat berkelanjutan, harus dirancang tidak hanya untuk menyampaikan pesan kepada anggota masyarakat yang rawan bencana bahwa mereka memegang kendali, tetapi juga bahwa sistem ini sebenarnya di bawah kendali mereka. Jika masyarakat memiliki rasa kontrol dan menerapkan detail teknis kegempaan dengan baik, maka mereka juga dapat mencapai rasa memiliki, membangun kekuatan dan keterampilan. Rasa kepemilikan ini memungkinkan masyarakat untuk menghasilkan budaya pencegahan dan juga membuat anggota masyarakat merasa menjadi bagian dari upaya tersebut. Melalui rasa kepemilikan yang lebih besar, semakin banyak masyarakat menyadari bahwa mengurangi resiko bencana kegempaan memerlukan tanggung jawab dan upaya bersama. Meskipun penyebaran ide-ide baru kepada masyarakat tidak disambut dengan baik pada awalnya, upaya yang konsisten harus terus

dilakukan dengan menyajikan argumen persuasif tentang langkah-langkah perlindungan yang nyata dan penghematan biaya total dalam pembangunan jika dapat menerapkan rumah aman gempa secara menyeluruh.

Elemen inspiratif yang muncul dalam diskusi ini oleh 80% peserta adalah pentingnya standar rumah aman gempa dan penegakannya. Istilah “Ijin Mendirikan Bangunan” (IMB) muncul dalam diskusi. Penegakan penerapan standar rumah aman gempa harus menjadi prioritas utama dari banyak persyaratan bagi masyarakat yang akan membuat IMB. Dipercayai secara teoritis bahwa jika pemerintah secara ketat menegakkan peraturan pembuatan IMB, maka standar rumah aman gempa juga akan diterapkan oleh masyarakat. Akibatnya, semakin banyak bangunan akan dilengkapi dengan detail teknis kegempaan. Selain itu, tentunya akibat yang ditimbulkan terhadap resiko bencana kegempaan akan menurun secara dramatis. Keberhasilan mekanisme ini terletak pada kerjasama para pembuat kebijakan di pemerintah daerah, yang bertanggung jawab atas penerbitan IMB bersama dengan manajemen pengembangan kota dan perencanaan penggunaan lahan.

Hal selanjutnya yang diutarakan bahwa diperlukan membangun sebuah budaya pencegahan bencana yang menjadi tugas setiap masyarakat untuk memastikan keberlanjutan. Hal ini berarti bahwa meskipun inisiatif dapat berasal dari sumber masyarakat dan organisasi, titik sentral dan keputusan akhir tentang apakah ada kemajuan implementasi sebagian besar berada di tangan pemerintah, yang bertindak sebagai pengambil keputusan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil diskusi pada subbab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut ini.

- a. Sebanyak 84% rumah masuk dalam kategori buruk dalam hal penerapan standar rumah aman gempa, setelah sepuluh tahun gempa jawa. Kesadaran masyarakat terhadap efek bencana gempa cenderung menurun.
- b. Pengurangan resiko akibat gempa melalui penerapan standar rumah aman gempa pada konstruksi dilakukan melalui pendekatan teknis dan non-teknis.
- c. Sekitar 80% responden menyebutkan tentang pesan diseminasi untuk mencapai rasa control (*sense of control*) dan rasa memiliki (*sense of ownership*). Jika masyarakat menyadari bahwa penerapan standar rumah aman gempa di rumah mereka sendiri adalah strategi yang paling efektif untuk mengurangi kerugian, maka pada saat yang

sama mereka menganggap hal itu dapat dicapai dengan mudah dan praktis, sehingga mereka dapat mengendalikan dampak kerugian yang akan terjadi. Jika masyarakat sudah memiliki *sense of control* dan dapat menerapkan standar rumah aman gempa dengan benar, maka mereka juga dapat mencapai *sense of ownership* sehingga memungkinkan masyarakat untuk menciptakan budaya pencegahan berupa pengurangan resiko bencana kegempaan.

- d. Penerapan standar rumah aman gempa harus menjadi persyaratan utama bagi masyarakat pada saat akan membuat Ijin Mendirikan Bangunan (IMB) menurut 80% peserta diskusi. Secara teoritis bahwa jika pemerintah secara ketat menegakkan peraturan tersebut, maka standar rumah aman gempa secara otomatis akan diterapkan oleh masyarakat.
- e. Penerapan standar rumah aman gempa yang tepat dalam konstruksi bangunan sederhana adalah solusi utama untuk membuat perbedaan besar dalam pengurangan resiko bencana kegempaan. Harus dicapai keseimbangan antara mengkomunikasikan resiko bencana kegempaan kepada masyarakat dan pentingnya standar rumah aman gempa itu sendiri. Menjadi sebuah keharusan penerapan regulasi yang berkaitan dengan rumah aman gempa, meskipun pelaksanaannya masih bersifat preskriptif (bersifat memaksa meskipun belum dapat melaksanakan sepenuhnya).

REFERENSI

Andrews, J. (2004). Development and Implementation of an Outreach Program to Promote Public Awareness of Seismic Hazards and Encourage Risk Mitigation in Vulnerability Communities

BAPPENAS/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2005). Catatan Indonesia tentang Rekonstruksi : Bencana Alam 26 Desember 2004, Kelompok Konsultatif di Indonesia Jakarta, 19-20 Januari 2005.

BAPPENAS / Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2009). Bencana Alam Sumatera Barat dan Jambi: Penilaian Kerusakan, Kehilangan dan Kebutuhan Awal. Laporan bersama oleh BNPB, Bappenas, dan Pemerintah Provinsi dan Kabupaten / Kota Sumatera Barat dan Jambi dan mitra internasional, Oktober 2009

BNPB. (2020). Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI). <https://bnpb.cloud/dibi/laporan5>, diakses pada tanggal 14 Februari 2020

Boen, T. (2006). *Yogya Earthquake 27 May 2006, Structural Damage Report*.

BSSC/Building Seismic Safety Council (1995). *Seismic Considerations for Communities at Risk*. BSSC & FEMA Publication, Washington DC.

Ibrion, M., Mokhtari, M., Lein, H., Nadim, F., and Parsizadeh, F. (2015). *Bam 2003 Earthquake Disaster: On the Earthquake Risk Perception, Resilience and Earthquake Culture – Cultural Beliefs and Cultural Landscape of Qanats, Gardens of Khorma trees and Argh-eBam*, *International Journal of Disaster Risk Reduction* 14 (2015), pp. 457 – 469.

IITK-BMTPC. (2017). *Earthquake Tip*, Indian Institute of Technology Kanpur and Building Materials and Technology Promotion Council, New Delhi.

IUDMP/Indonesian Urban Disaster Mitigation Project. (2002). *Increasing the Safety of Indonesian Cities from Earthquake Disaster Threat*, Asian Disaster Preparedness Center.

Leersum, A.V. and Arora, S. (2011). *Implementing Seismic-Resistant Technologies in Post-Earthquake Pakistan: A Process Analysis of Owner Driven Reconstruction*. *Habitat International* 35 (2011), pp 254-264.

Lustig, T. (1997). *Sustainable Management of Natural Disaster in Developing Countries (in Fundamental Risk Analysis and Risk Management edited by VlostaMolak)*, Lewis Publisher, USA.

Mansouri, B. Aghda, F. and Safari (2002). *Preliminary Earthquake Reconnaissance Report on the June 22, 2002 Changureh (Avaj), Iran Earthquake*.

Sarwidi dan Winarno, S. (2006). *Studi pada 27 Mei 2006, Kerugian Ekonomi Gempa Bumi di Rumah-Rumah Hunian di Kota Yogyakarta, Perbandingan antara Estimasi dan Kerugian Aktual (Kajian Perbandingan Kerugian Bencana Gempa 27 Mei 2006 Pada Sektor Rumah Tinggal Di Kota Yogyakarta)*.

Sunoko, K., Prijotomo, J., dan Noerwasito, T. (2015). *Menggunakan Kembali Reruntuhan Bahan*

Bangunan dalam Metode Rekonstruksi Pasca Gempa Bumi di Bantul. Konferensi Internasional, Perencanaan Cerdas Menuju Kota Cerdas, CITIES 2015, 3-4 November 2015, Surabaya, Indonesia, *Procedia - Ilmu Sosial dan Perilaku* 227 (2016), hlm. 341 - 346.

Teguh, M. (2016). *Structural Behaviour of Precast Reinforced Concrete Frames on a Non-Engineered Building Subjected to Lateral Loads*. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, vol. 6, no. 2, 2016, pp. 152 – 164

Teguh, M. (2017). *Experimental evaluation of masonry infill walls of RC frame building subjected to cyclic loads*. *Procedia Engineering* 171 (2017) 191 – 200.

UNDP/United Nations Development Programme (2004). *Reducing Disaster Risk, a Challenge for Development*, Bureau for Crisis Prevention and Recovery, New York.

USGS/The United States Geology Survey. (2020a). *The Science of Earthquakes*. https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/science-earthquakes?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

USGS/The United States Geology Survey. (2020b). *Tsunami Generation from The 2004 M=9.1 Sumatra-Andaman Earthquake*. https://www.usgs.gov/centers/pcmsc/science/tsunami-generation-2004-m91-sumatra-andaman-earthquake?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

Wardani. (2009). *Studi Implementasi Program Rehabilitasi dan Rekonstruksi Permukiman Berbasis Masyarakat (Re-Kompak) JRF (Java Reconstruction Fund) di Desa Patalan, Kecamatan Jetis, Kabupaten Bantul*. Gelar Magister Tesis tentang Program Penanggulangan Bencana, Tidak dipublikasikan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Widodo (2007). *Earthquake Resistant Housing “Tukukali”*, Civil Engineering, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Indeks Kerentanan Seismik Di Kabupaten Klaten Bagian Selatan dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (Hvsr) dari Data Mikrotremor

A. M. Arifudin

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA

anggit.mas@uii.ac.id

INTISARI

Telah dilakukan penelitian lapangan untuk mengetahui indeks kerentanan seismik (K_g) di Kabupaten Klaten menggunakan data mikrotremor. Penelitian ini dilakukan untuk membuat peta mikrozonasi faktor frekuensi dominan (f_g), amplifikasi tanah (A_g), dan indeks kerentanan seismik (K_g). Pengukuran mikrotremor dilakukan dengan seismometer tiga komponen TDS 303. Data tersebut dianalisa dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Dari hasil Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran nilai frekuensi dominan (f_g) berkisar antara 0,6232 Hz sampai 13,853 Hz, faktor amplifikasi tanah (A_g) berkisar antara 1,0968 sampai 26,1338, dan indeks kerentanan seismik (K_g) berkisar antara 0,2123 sampai 270,1838. Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di daerah penelitian pada umumnya terdapat di bagian selatan dari Kabupaten Klaten di sebagian besar wilayah Kecamatan Gantiwarno, Wedi dan Prambanan bagian selatan yang mengalami kerusakan parah. Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan antara tingkat kerusakan dengan indeks kerentanan seismik sebagaimana ditunjukkan pada peta indeks kerentanan seismik Kabupaten Klaten.

Kata kunci: mikrotremor, indeks kerentanan seismik, Hvsr

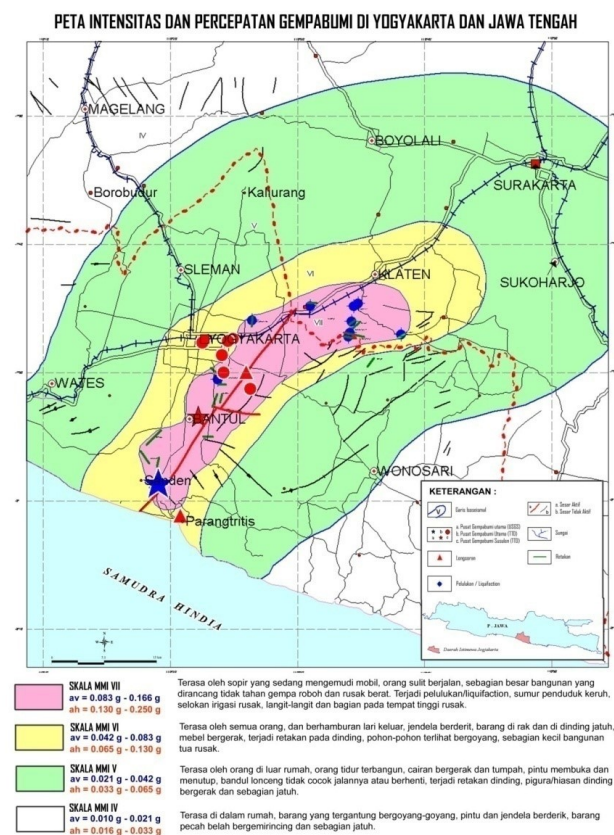
1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan titik temu antara tiga lempeng besar dunia, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Hindia-Australia yang lazim disebut *Triple Junction*. Pergerakan Lempeng Hindia-Australia setiap tahunnya sekitar 7 cm ke arah utara, Lempeng Pasifik sekitar 11 cm tiap tahunnya ke arah barat daya, dan lempeng Eurasia sekitar 9 cm tiap tahunnya ke arah selatan. Dampak pergerakan lempeng *triple junction* menyebabkan kepulauan Indonesia mempunyai tingkat kegempabumian cukup tinggi sehingga rawan gempabumi tektonik.

Adanya zona subduksi aktif ini menyebabkan daerah di sekitar jalur subduksi ini mempunyai tingkat kegempaan tinggi, termasuk wilayah Klaten, Jawa Tengah seperti bisa dilihat pada Gambar 1. Salah satu gempa bumi yang mengakibatkan kerusakan parah di Kabupaten Klaten yaitu gempa bumi Yogyakarta terjadi pada Sabtu, 27 Mei 2006, pukul 05.55 pagi dengan kekuatan 6,3 SR. Gempabumi terjadi akibat tumbukan dua lempeng tektonik yaitu lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia yang terjadi lebih kurang 37 km di Selatan Kota Yogyakarta dengan kedalaman 33 km di bawah permukaan laut. Gempa bumi menjadi begitu dahsyat dampaknya, karena adanya pergeseran Patahan Opak dari Bantul hingga ke Prambanan sepanjang 40 km dengan arah 30° Timur

Laut dengan menghasilkan hiposenter gempa berkedalaman dangkal 17,1 km (BAPPENAS, 2006).



Gempabumi tanggal 27 Mei 2006 bersumber di darat akibat reaktivasi sesar Opak. Wilayah ini rawan gempabumi merusak yang ditandai dengan kejadian pada 10 Juni 1867, 23 Juli 1943 dan 13 Januari 1981.

Gambar 1. Peta Intensitas Gempa Bumi DIY dan Jawa Tengah (PVMBG, 2006)

Sektor yang mengalami kerusakan dan kerugian terparah pada kejadian gempa bumi adalah sektor perumahan dibandingkan dengan sektor lainnya (Media Center DIY, 2006). Penyebab utama kerusakan adalah banyaknya bangunan yang tidak memiliki konstruksi tahan gempa bumi dan menggunakan bahan bangunan yang kurang berkualitas untuk menahan guncangan gempa bumi dahsyat. Selain itu, rumah yang terkena dampak gempa bumi tektonik telah berusia antara 15 hingga 25 tahun.

Gempabumi Yogyakarta mengakibatkan 5.716 orang meninggal, 126.326 tempat tinggal rusak berat, dan 1.275 infrastruktur rusak parah. Wilayah yang mengalami kerusakan terparah di Jawa Tengah adalah Kabupaten Klaten, dengan 1.041 orang meninggal, 30.300 rumah rata dengan tanah, dan 76 bangunan pemerintah rusak. Sebagian besar wilayah Klaten yang mengalami kerusakan parah yaitu Kecamatan Wedi dan Kecamatan Gantiwarno.

Kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi Yogyakarta ini ternyata memiliki pola persebaran yang tidak merata, tidak teratur, dan blok-blok wilayah tertentu. Kondisi geologi dan jenis tanah memegang peranan penting dalam menimbulkan tingkat kerusakan. Daerah yang dekat dengan sumber gempa tidak semuanya rusak parah sedangkan yang jauh dari pusat gempa tidak aman secara keseluruhan. Seperti ditunjukkan pada kerusakan yang terjadi di wilayah Wedi dan Gantiwarno yang jauh dari sumber gempa mengalami kerusakan parah, sedangkan di wilayah Kota Bantul yang lebih dekat dengan sumber gempa justru tidak mengalami kerusakan parah. Lapisan tanah lunak dan tebal yang berada di atas batuan dasar bisa meningkatkan faktor amplifikasi gelombang gempabumi dan efek pantulan gelombang gempa bumi dari batuan dasar. Cepat rambat gelombang juga akan sangat lambat pada lapisan lunak dibanding dengan lapisan keras. Wilayah yang termasuk dalam kategori rawan bencana gempa bumi yaitu wilayah yang memiliki nilai amplifikasi tanah cukup besar. Nilai amplifikasi tanah dipengaruhi oleh nilai periode dominan tanah dan ketebalan sedimen, semakin tebal nilai ketebalan sedimen tanah maka nilai periode dominan dan amplifikasi tanah akan semakin besar pula. Dengan kata lain ketebalan sedimen sangat mempengaruhi besar kecilnya guncangan saat terjadi gempa bumi.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di wilayah Kabupaten Klaten meliputi 9 kecamatan, yaitu : Kecamatan Gantiwarno, Wedi, Bayat, Kalikotes, Klaten Tengah,

Klaten Selatan, Jogonalan, Prambanan, Trucuk dan sebagian wilayah Kabupaten Gunung Kidul yang berbatasan dengan Kabupaten Klaten.

2.2 Peralatan

Data survei mikrotremor diperoleh dari pengukuran yang dilakukan di titik pengukuran yang direncanakan tersebar di daerah penelitian. Teknik penentuan titik ukur direncanakan berupa grid meliputi daerah penelitian dengan interval $\pm 1,5 \times 1,5$ km. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan TDL 303s *Digital Portable Seismograph*.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Sebelum pengambilan data, dilakukan pra-survei dan survei lapangan.

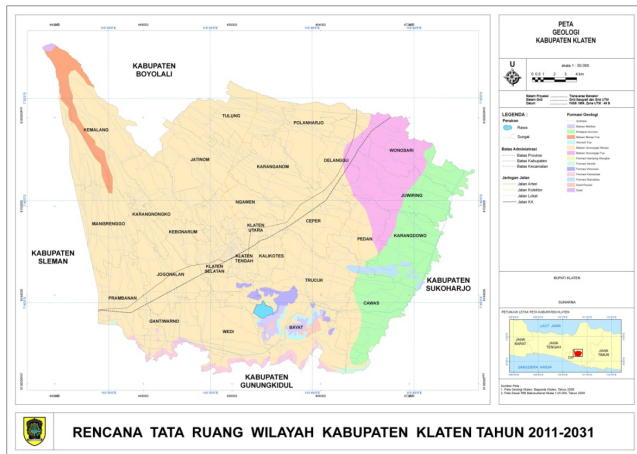
1. Pra-Survei

Tahapan yang dilakukan selama pra-survei yaitu penentuan lokasi penelitian, survei umum lokasi penelitian dan pembuatan desain survei. Penentuan lokasi penelitian didasarkan pada:

- Menurut IAGI (2006), gempa Yogyakarta tidak hanya mengguncang daerah yang berada di sepanjang jalur Sesar Opak, namun juga beberapa daerah di Kabupaten Klaten Jawa Tengah yang juga merasakan guncangan gempa yang cukup besar.
- Berdasarkan Gambar 1, daerah yang berada di kawasan Klaten bagian barat dan barat daya mengalami guncangan gempa dengan intensitas VII MMI yang diakibatkan oleh Gempabumi Yogyakarta 2006 (PVMBG dalam Supartoyo *et. al.*, 2016).

Tahapan kedua yaitu survei umum lokasi penelitian, bertujuan untuk mengetahui secara langsung daerah penelitian baik dari segi kepadatan penduduk, lingkungan sekitar juga kondisi topografi. Secara umum wilayah penelitian berada pada wilayah yang datar, banyak area pesawahan serta padat penduduk, dan wilayah pegunungan di Kecamatan Bayat serta perbatasan Gunung Kidul.

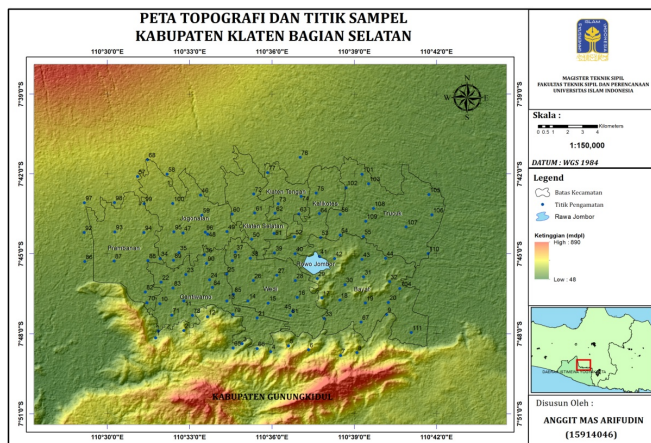
Tahapan ketiga yaitu pembuatan desain survei lokasi penelitian yang dibuat secara grid sebanyak 111 titik dengan spasi antar titik 1,5 km. Hal ini bertujuan supaya dapat mewakili setiap formasi geologi yang ada di lokasi penelitian. Pembuatan desain survei mengacu pada peta geologi Kabupaten Klaten seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Geologi Kabupaten Klaten

2. Survei Lapangan

Survei lapangan bertujuan untuk menemukan lokasi titik penelitian yang telah dibuat pada desain survei, menentukan lokasi penempatan sensor sesuai dengan aturan *SESAME European Research Project*, sehingga mempermudah pengambilan data. Hasil dari survei lapangan ditetapkan 111 titik. Lokasi titik pengambilan data mengalami pergeseran beberapa meter dikarenakan lokasi awal berada di tengah sawah, di dalam kandang ternak, di pinggir parit, di tengah selokan, di dalam rumah warga, dan di samping jalan raya. Titik pengukuran mikrotremor setelah dilakukan survei lapangan ditetapkan sebanyak 111 titik dan 1 titik bor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Rencana titik perekaman mikrotremor berdasarkan topografi



Gambar 4. Rencana titik pengukuran mikrotremor dan bor

3. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan selama ± 30 menit setiap titik penelitian dengan frekuensi *sampling* 100 Hz. Pemilihan frekuensi *sampling* harus memenuhi syarat Nyquist yaitu frekuensi *sampling* minimal dua kali lipat dari frekuensi maksimum sinyal informasi yang akan di sampel supaya tidak menimbulkan efek aliasing (frekuensi tertentu terlihat seperti frekuensi yang lain) (Yulisun, 2016). Pengambilan data dilakukan sesuai dengan syarat yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project*. Ada dua macam data yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

c. Data Primer.

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah data mikrotremor. Data mikrotremor ini tersimpan dalam *harddisk* berupa sinyal digital 3 komponen, yaitu komponen utara-selatan, timurbarat, dan vertikal dalam bentuk *soft file*. Data ini dikumpulkan melalui survei mikrotremor di lapangan. Durasi rekaman kurang lebih 30 menit.

d. Data Sekunder.

Data sekunder diperoleh dari studi pustaka berupa laporan hasil penelitian maupun data dari instansi terkait dengan data yang diperlukan. Data *borlog*, data hasil uji tanah, data mikrotremor, peta-peta pendukung lainnya.

2.4 Pengolahan Data

2.4.1 Pengolahan Data Mikrotremor

Pengolahan data mikrotremor menggunakan metode analisis *Horizontal to Vertical Spectrum Ratio* (HVSr). Hasil pengukuran mikrotremor di lapangan mendapatkan data getaran tanah fungsi waktu. Data ini tercatat dalam tiga komponen, yaitu komponen vertikal (*Up-Down*), utara-selatan (*North-South*), dan barat-timur (*East-West*). Data mentah ini tidak dapat langsung diolah karena dalam format *hexadecimal*.

Data ini harus diubah ke format ASCII atau format miniseed (.MSD) menggunakan perangkat lunak DATAPRO dan menghasilkan empat file, yaitu file komponen vertikal, utara-selatan, barat-timur, dan *file header*.

2.4.2 Perhitungan Frekuensi Dominan (f_0), Faktor Amplifikasi (A_g), dan Periode Dominan (T_g)

Proses pengolahan data mikrotremor menggunakan perangkat lunak GEOPSY untuk memperoleh rata-rata spektrum H/V dari rekaman getaran yang datanya telah disiapkan sebelumnya. Perangkat lunak geopsy ini akan memberikan grafik kurva HVSR, yang terdapat nilai frekuensi dominan (f_g) dan puncak kurva HVSR (faktor amplifikasi tanah, A_g). Secara ringkas tahap pengolahan metode HVSR dengan perangkat *geopsy* di sajikan dalam Gambar 5.

Pengolahan dengan GEOPSY ini dimulai dengan :

1. input data (file rekaman mikrotremor yang telah dirubah formatnya menjadi *ascii* atau *miniseed*) ke dalam *geopsy*.
2. *filtering* sinyal, sinyal mikrotremor mentah diambil dengan band pass 0,5 Hz – 25 Hz saja, dengan demikian sinyal yang dipakai adalah sinyal dengan frekuensi rendah sesuai dengan karakteristik sinyal mikrotremor.
3. *windowing* sinyal, sinyal akan dibagi menjadi beberapa kotak (*window*). Pemilahan *window* dilakukan secara manual. Pemilahan ini (*windowing*) dilakukan untuk memisahkan antara sinyal tremor dengan *event transien* (sumber spesifik seperti langkah kaki dan kendaraan lewat dan lain lainnya yang dianggap *noise*). Cara untuk mendeteksi sinyal *transien* adalah dengan membandingkan STA (*short term average*) dan LTA (*long term Average*). STA merupakan rata-rata amplitudo jangka pendek (0.5-2.0 detik), sedangkan LTA merupakan nilai rata-rata amplitudo jangka panjang (>10 detik). Pada saat perbandingan STA/LTA melebihi ambang batas yang sudah ditentukan, maka dapat dikatakan sebagai *event*. Setelah *event transien* terdeteksi maka data selain *transient* dibagi menjadi beberapa *window*.
4. transformasi fourier pada masing-masing komponen untuk diperoleh spektrum fourier pada masing-masing *window*.

Sebelum menghitung perbandingan H/V, amplitudo spektral fourier dari komponen NS, EW dan V dilakukan *smoothing* dengan fungsi Konno-Ohmachi :

$$\frac{\sin\left(\left(\log_{10}\left(\frac{f}{f_c}\right)\right)^b\right)}{\left(\left(\log_{10}\left(\frac{f}{f_c}\right)\right)^b\right)^4} \quad (1)$$

dengan f frekuensi, f_c frekuensi tengah dimana *smoothing* dilakukan dan b koefisien *bandwith*. Untuk meminimalkan efek perbatasan karena *windowing* amplitudo dari spektrum digunakan kosinus lancip.

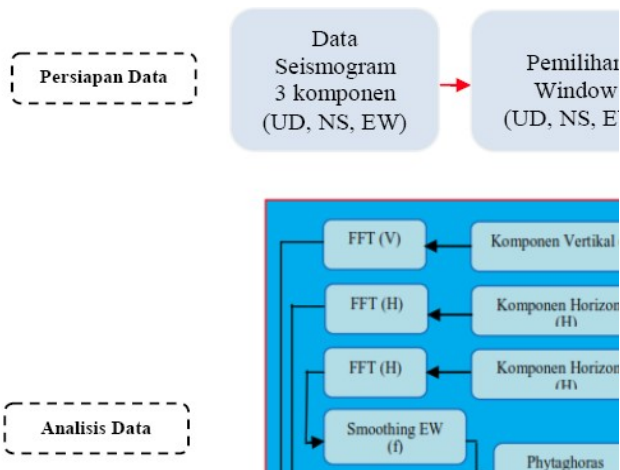
Spektrum Fourier komponen horisontal dirata-rata dengan akar rerata kuadrat dan dibagi dengan spektrum fourier komponen vertikal dalam kawasan frekuensi hingga didapatkan rata-rata spektrum H/V, dari rata-rata spektrum H/V ini dapat ditentukan frekuensi dominan (f_0) serta puncak spektrum HVSR yang merupakan nilai faktor amplifikasi spektrum tanah (A_g)

Kriteria untuk kurva H/V yang dapat dipercaya (*reliable*) meliputi tiga hal yang penting (SESAME, 2004). Ketiga kriteria itu adalah:

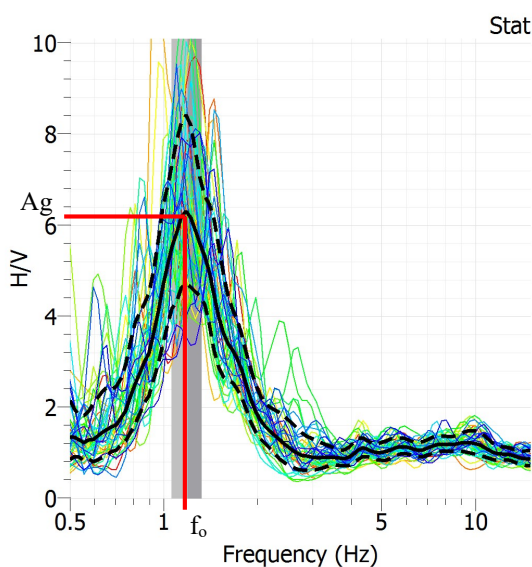
1. $f_0 > 10/l_w$
2. $n_c(f_0) > 200$
 $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5 < f < 2(f_0)$ if $f_0 > 0.5$ Hz dan
3. $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5 < f < 2(f_0)$ if $f_0 > 0.5$ Hz

dengan frekuensi f_0 pada puncak H/V, l_w panjang window dan $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0 \cdot \sigma_A(f)$ deviasi standar dari $A_{H/V}(f)$.

Berdasarkan hubungan $= \frac{1}{f_0}$, dari pengolahan data dengan metode f_0 HVSR maka akan didapatkan nilai periode dominan tanah (T_g) di lokasi pengukuran, karena yang terukur dari kurva adalah f_0 , dapat dilihat pada Gambar 6. Dari nilai-nilai yang terukur dari semua titik pengukuran kemudian dibuat peta frekuensi dominan tanah (f_g) dan peta faktor amplifikasi spektrum (A_g) daerah penelitian.



Gambar 5. Tahap-tahap Metode HVSR (Ari Sungkowo, 2016)



Gambar 6. Kurva HSR Titik 22

2.4.3 Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Sedangkan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di semua titik ukur diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2) dengan mengkuadratkan faktor amplifikasi spektrum tanah (A_g) dibagi dengan frekuensi dominan (f_g). Nilai-nilai indek kerentanan seismik yang diperoleh kemudian dipetakan untuk mengetahui distribusi nilai indeks kerentanan seismik di daerah penelitian.

$$K_g = \frac{A_g^2}{f_g} \quad (2)$$

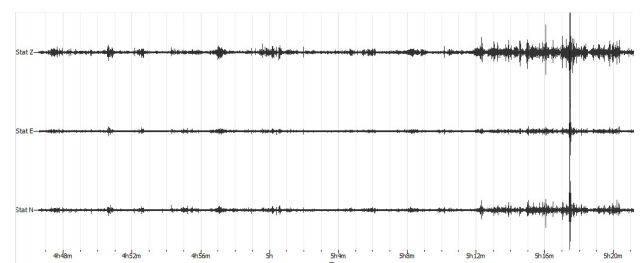
3 HASIL PENELITIAN

3.1 Pengolahan Data dan Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Pengukuran mikrotremor merupakan salah satu metode seismik pasif yang banyak digunakan dalam penelitian bawah permukaan. Metode ini menggunakan HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) dari mikrotremor untuk mengestimasi frekuensi *natural* dan faktor amplifikasi tanah setempat (Nakamura, 1989). Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR ialah frekuensi dominan tanah (f_g) dan faktor amplifikasi spektrum tanah (A_g) yang merupakan nilai puncak kurva HVSR, berkaitan dengan geologi setempat dan parameter fisik bawah permukaan. Perkembangan selanjutnya, metode ini mampu untuk mengestimasi indeks kerentanan tanah (Nakamura, 2007), indeks kerentanan bangunan (Sato et al., 2008; Triwulan et al., 2010) dan interaksi antara tanah dan bangunan (Gallipoli et al., 2004; Triwulan et al., 2010).

Pengukuran mikrotremor di wilayah penelitian dilakukan untuk mendapatkan rekaman mikrotremor yang akan dilakukan pengolahan untuk mendapatkan nilai karakteristik dinamik berupa frekuensi dominan tanah (f_g) dan faktor amplifikasi spektrum tanah (A_g). Pengambilan data mikrotremor ini meliputi 111 titik ukur yang berada di wilayah Kabupaten Klaten bagian selatan yang berbatasan langsung dengan Kabupaten Gunungkidul.

Hasil pengukuran di titik-titik ukur berupa data rekaman mikrotremor dalam interval waktu (durasi) tertentu, dalam pengukuran ini durasi perekaman antara 30 menit. Contoh seismogram mikrotremor hasil rekaman di Kabupaten Klaten seperti di perlihatkan pada Gambar 7. Komponen Vertikal (*Up-Down*), komponen horisontal Utara-Selatan (*North-South*) dan komponen horisontal Timur-Barat (*East-West*) dari sinyal mikrotremor.

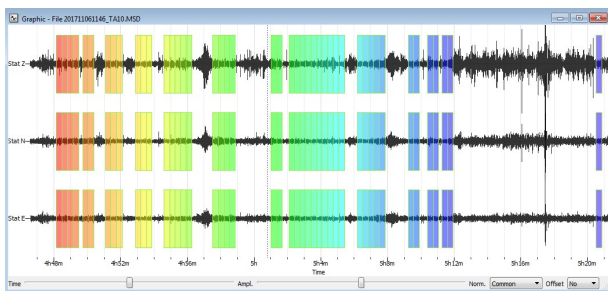


Gambar 7. Rekaman mikrotremor tiga komponen Titik 10 (UD, EW dan NS)

Tahapan selanjutnya adalah melakukan *windowing* pada rekaman mikrotremor, adalah terbaginya *seismogram* mikrotremor menjadi beberapa jendela (*window*) berupa kotak-kotak berwarna, untuk memilih

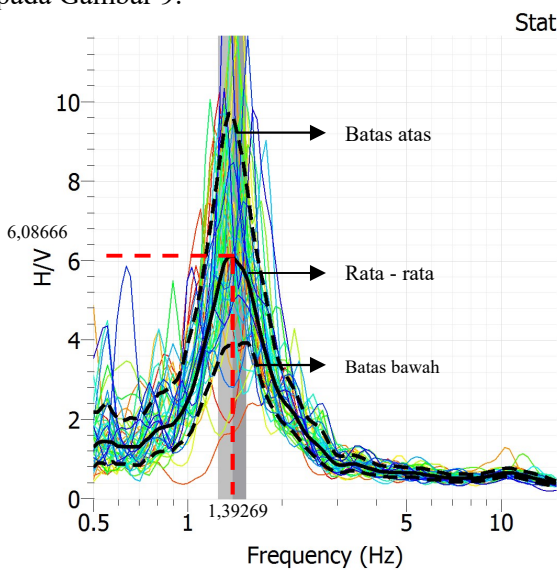
sinyal-sinyal yang bebas dari *noise*. Satu warna mewakili satu *window* dengan lebar kotak dalam satuan detik. Pada penelitian ini digunakan lebar kotak 20 detik, dengan pemilihan *window* secara manual. Contoh *windowing* seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

Satu *window* membentuk satu kurva HVSR, sehingga jumlah kurva HVSR yang terbentuk sejumlah *window* yang ada dalam satu rekaman mikrotremor. Jumlah *window* tergantung dari sinyal yang masuk dalam kategori data dan terhindar dari *noise*. Jumlah data dalam suatu rekaman mikrotremor tidak sama banyak, tergantung kualitas rekaman dan *noise* yang masuk. Semakin bagus sinyal, maka semakin banyak *window* yang terbentuk.



Gambar 8. *Windowing* sinyal mikrotremor Titik 10

Kurva HVSR yang terbentuk dari hasil dari *windowing* ditampilkan dari semua *window* sesuai dengan warna *window* (kotaknya). Kurva dengan warna hitam menunjukkan kurva rata-rata HVSR, sedangkan garis hitam putus-putus menunjukkan simpangan kurva HVSR. Contoh kurva HVSR hasil pengukuran mikrotremor di Kota Yogyakarta seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Kurva HVSR Titik 10

Pada kurva HVSR di atas nilai faktor amplifikasi tanah rata – rata (A_g) yakni 6,08666 dan nilai frekuensi

dominannya (f_g) yakni 1,39269. Perhitungan selanjutnya yaitu menghitung indeks kerentanan seismik dengan menggunakan Persamaan (2).

Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) dipengaruhi oleh nilai faktor amplifikasi tanah serta frekuensi dominan. Menurut Persamaan (2) untuk indeks kerentanan seismik Titik 10 dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 K_g &= \frac{A_g^2}{f_g} \\
 &= \frac{6,08666^2}{1,39268} \\
 &= 26,6013
 \end{aligned}$$

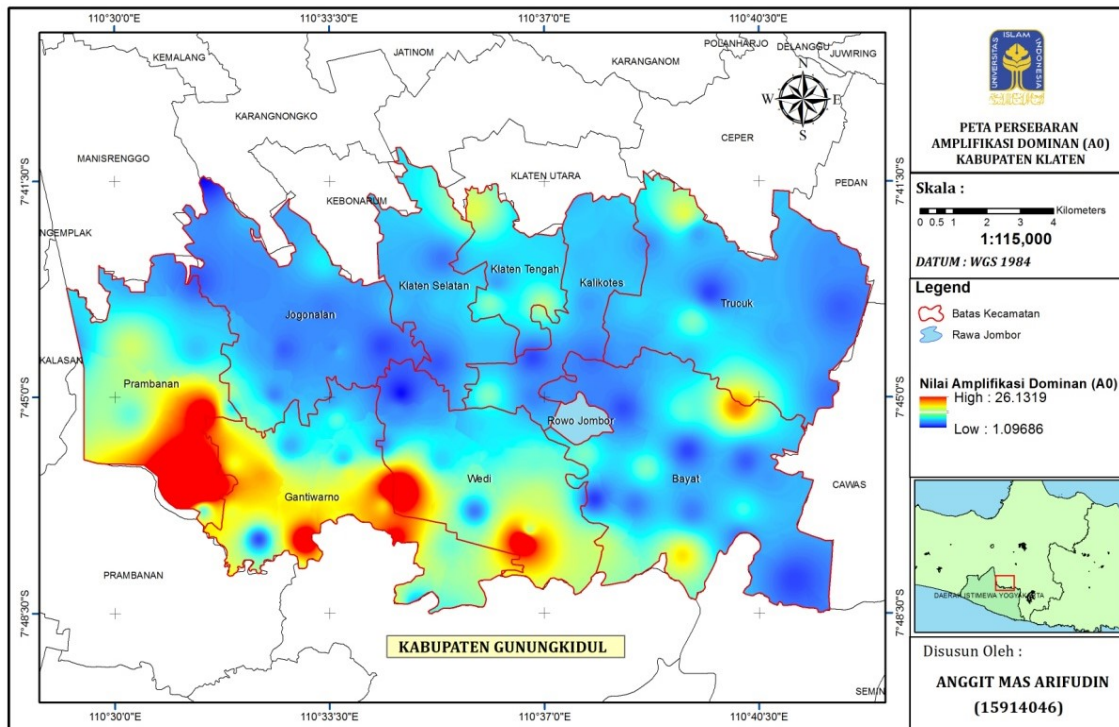
2.1 Pembahasan

3.1.1 Mikrozonasi Nilai Faktor Amplifikasi Tanah (A_g)

Kerusakan bangunan akibat gempa selain dipengaruhi kekuatan gempa itu sendiri sangat dipengaruhi oleh amplifikasi dari *bedrock* sampai permukaan tanah. Faktor amplifikasi spektrum tanah (A_g) merupakan nilai puncak kurva HVSR dan cerminan dari sifat fisik keras lunaknya sedimen. Secara teoritis jika nilai faktor amplifikasi spektrum tanahnya besar maka sedimen di daerah itu semakin lunak, sebaliknya jika nilai faktor amplifikasi spektrum tanahnya rendah, maka semakin keras lapisan sedimennya. Hal ini juga dapat disimpulkan jika nilai faktor amplifikasi spektrum tanahnya besar potensi kerusakan bangunan di daerah tersebut juga semakin besar jika daerah tersebut terkena guncangan gempa.

Dengan demikian, daerah yang rawan kerusakan bangunan akibat getaran gempa ialah daerah yang permukaannya tersusun atas sedimen lunak (gambut, pasir, pasir lanauan) dengan *bedrock* yang keras. Karena pada kondisi geologi yang seperti ini, perbedaan antara lapisan sedimen dan *bedrock* besar. Sebaran nilai faktor amplifikasi tanah di Kabupaten Klaten ditunjukkan pada Gambar 10. Nilai faktor amplifikasi spektrum tanahnya berkisar antara 1,0968 sampai dengan 26,1338. Hasil selengkapnya seperti ditunjukkan pada Lampiran 2. Menurut Seiawan (2008) nilai faktor amplifikasi tanah yang dihasilkan dari pengukuran mikrotremor terbagi menjadi 4 zona yaitu :

1. Zona amplifikasi rendah : $A_g < 3$
2. Zona amplifikasi sedang : $3 \leq A_g < 6$
3. Zona amplifikasi tinggi : $6 \leq A_g < 9$
4. Zona amplifikasi sangat tinggi : $A_g \geq 9$

Gambar 10. Peta faktor amplifikasi tanah (A_g)

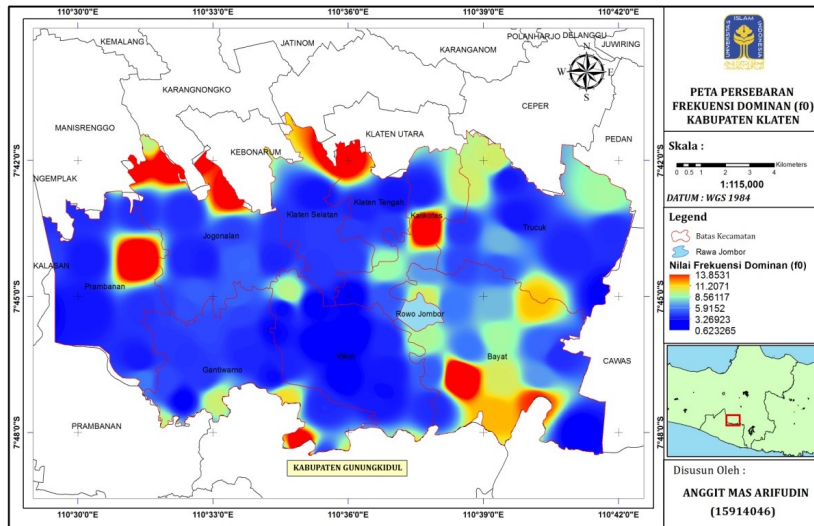
Berdasar klasifikasi tersebut nilai amplifikasi tanah di wilayah penelitian berkisar dari zona dengan nilai relatif rendah sampai sangat tinggi. Daerah dengan nilai amplifikasi spektrum tanah (A_g) rendah meliputi Kecamatan Jogonalan, Kecamatan Klaten Selatan, Kecamatan Klaten Tengah, Kecamatan Kalikotes, Kecamatan Trucuk (kecuali Kelurahan Kalikebo dan Gaden yang masuk sedang), dan Kecamatan Bayat (kecuali Kelurahan Wiro dan Jarum yang masuk sedang) dengan nilai A_g kurang dari 3. Zona wilayah yang mempunyai nilai faktor amplifikasi spektrum tanah relatif sedang meliputi Kecamatan Wedi bagian utara (Kelurahan Kadibolo, Sukorejo, Sembung, Jiwo Wetan), Kecamatan Prambanan bagian Tengah dan Barat (Kelurahan Bugisan, Taji, Tlogo) dengan nilai faktor amplifikasi spektrum tanahnya berkisar antara 3 sampai dengan 6. Zona wilayah yang mempunyai nilai amplifikasi spektrum tanah relatif tinggi meliputi Kecamatan Wedi bagian Tenggara (Kelurahan Kaligayam, Karangturi), Kecamatan Gantiwarno bagian Tengah (Kelurahan Mlese, Mutihan) dengan nilai faktor amplifikasi spektrum tanahnya berkisar antara 6 sampai dengan 9. Sedangkan wilayah yang mempunyai nilai amplifikasi spektrum tanah relatif sangat tinggi, meliputi wilayah Kecamatan Gantiwarno bagian selatan (Kelurahan Kragilan, Jogoprayan, Ngerut), Kecamatan Wedi bagian selatan (Kelurahan Gesikan, Pesu, Gentan), Kecamatan Prambanan bagian selatan (Kelurahan Sengon, Cucukan, Kotesan) dengan nilai faktor amplifikasi spektrum tanahnya lebih besar dari 9. Nilai - nilai puncak kurva HVSR yang juga merupakan nilai

faktor amplifikasi tanah A_g menunjukkan adanya perubahan impedansi dari perlapisan, kemungkinan adanya perubahan v_s atau perubahan densitas yang disebabkan oleh perubahan kekompakan batuan. Hal ini menjadikan daerah dengan nilai faktor amplifikasi tanahnya tinggi menjadi lebih rentan terhadap guncangan gempa bumi.

3.1.2 Mikrozonasi Nilai Frekuensi Dominan Tanah

(fg)

Frekuensi menunjukkan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Frekuensi dominan adalah frekuensi saat dimana nilai puncak kurva HVSR terjadi. Peta sebaran frekuensi dominan tanah di Kabupaten Klaten, ditunjukkan pada Gambar 11. Nilai frekuensi dominan di wilayah penelitian berkisar antara 0.6232 Hz sampai dengan 13,853 Hz. Dari peta frekuensi dominan dapat dilihat daerah yang mempunyai nilai frekuensi tanah tinggi berada di daerah Kecamatan Jogonalan bagian utara (Kelurahan Tambakan, Gumul, Joton), Kecamatan Klaten Tengah bagian utara (Kelurahan Sekarsuli, Semangkak, Bareng, Gayamprit), Kecamatan Prambanan bagian timur (Kelurahan Brajan, Kemudo), dan Kecamatan Bayat bagian barat (Kelurahan Paseban, Krikilan).

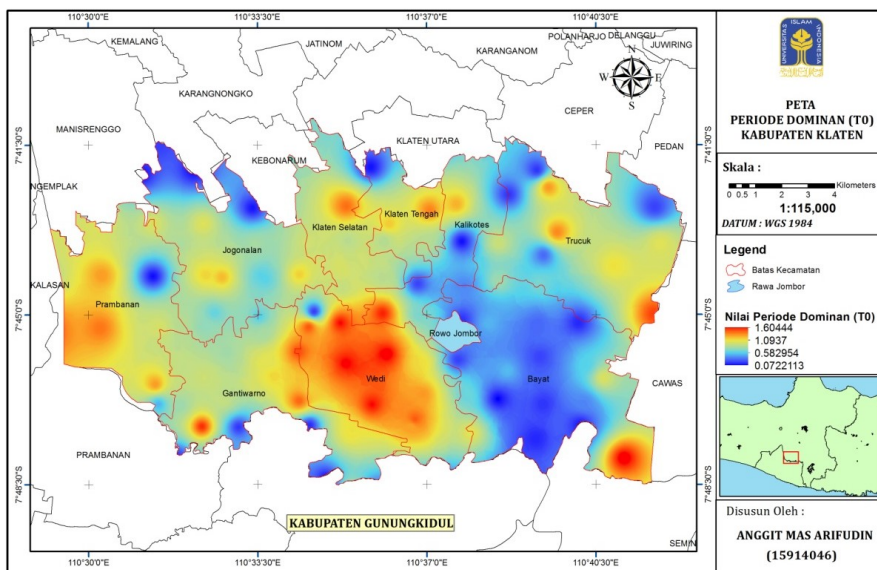


Gambar 11. Peta frekuensi dominan tanah (f_g)

Daerah yang mempunyai frekuensi rendah berada di hampir semua wilayah Kecamatan Gantiwarno, Kecamatan Wedi, dan Kecamatan Prambanan bagian selatan. Frekuensi dominan dipengaruhi oleh besarnya kecepatan rata-rata gelombang geser (v_s) dan ketebalan sedimen bawah permukaan (h). Keras atau lunaknya lapisan bawah permukaan berpengaruh terhadap kecepatan gelombang geser. Dengan demikian frekuensi dominan dipengaruhi oleh keras lunaknya lapisan tanah. Frekuensi dominan berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen dan berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata gelombang sekunder. Pada daerah sedimen dengan tingkat kekerasan dan jenis tanah yang sama, nilai frekuensi dominan yang tinggi berkorelasi dengan daerah yang memiliki ketebalan sedimen rendah dan demikian sebaliknya daerah dengan nilai frekuensi dominan rendah berkorelasi dengan ketebalan sedimen yang tinggi.

3.1.3 Mikrozonasi Nilai Periode Dominan Tanah (T_g)

Periode gelombang adalah waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu gelombang dalam satuan detik. Periode dominan (T_g) berbanding terbalik dengan frekuensi dominan dan periode dominan memiliki keterkaitan yang sangat dekat dengan kedalaman lapisan sedimen (h). Peta sebaran periode dominan tanah di Kabupaten Klaten, ditunjukkan pada Gambar 12. Nilai periode dominan di wilayah penelitian berkisar antara 0,072 Hz sampai dengan 1,604 Hz. Dari peta periode dominan dapat dilihat daerah yang mempunyai nilai periode tanah tinggi berada di daerah Kecamatan Wedi, Kecamatan Gantiwarno, dan Kecamatan Prambanan.



Gambar 12. Peta periode dominan tanah (T_g)

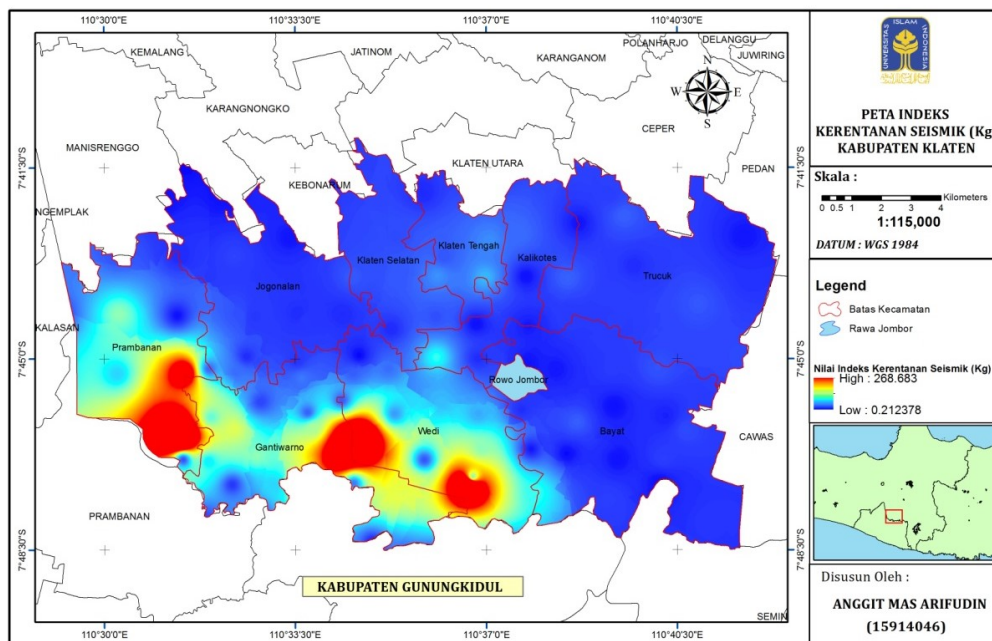
Daerah yang mempunyai periode rendah berada di wilayah Kecamatan Bayat, Kecamatan Jogonalan bagian utara, dan Kecamatan Kalikotes bagian utara. Periode dominan yang tinggi menunjukkan jenis lapisan sedimen dengan struktur yang lunak dan tebal. Sebaliknya periode dominan yang rendah menunjukkan jenis lapisan sedimen yang lunak dan tipis. Daerah yang memiliki periode dominan tinggi umumnya memiliki kerentanan untuk mengalami kerusakan. Hal ini dikarenakan periode dominan berbanding lurus dengan nilai amplifikasi. Menurut Kanai dari nilai periode dominan dapat diklasifikasikan susunan jenis tanah wilayah tersebut. Wilayah kecamatan Wedi dan sebagian Gantiwarno memiliki nilai periode $>0,4$ yang menunjukkan wilayah tersebut tersusun oleh batuan alluvial dan tanah lunak. Sedangkan nilai periode $0,072 - 0,15$ terletak di wilayah kecamatan Bayat yang menunjukkan bahwa wilayah tersebut tersusun oleh jenis batuan tersier yang lebih tua atau terdiri dari batuan pasir berkerikil keras.

3.1.4 Mikrozonasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Nilai indeks kerentanan seismik diperoleh dari perhitungan dengan persamaan (2). Besarnya nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh nilai faktor amplifikasi tanah dan periode dominan tanah. Nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi diperoleh pada

daerah dengan nilai amplifikasi tinggi dan nilai f_g rendah. Nilai amplifikasi tinggi berkaitan dengan daerah dengan nilai f_g kecil berkaitan dengan daerah dengan ketebalan besar dengan kekompakan tinggi. Nilai indeks kerentanan seismik rendah diperoleh pada daerah dengan nilai amplifikasi rendah dan nilai frekuensi dominannya tinggi. Daerah tersebut mempunyai kontras impedansi rendah dengan ketebalan lapisan sedimennya tipis, daerah ini umumnya berada di daerah perbukitan. Untuk wilayah Kabupaten Klaten terdapat perbukitan yaitu di Kecamatan Bayat, Kelurahan Paseban daerah bukit barisan Makam Sunan Pandanaran, dan perbatasan Klaten dengan Gunung Kidul bagian Selatan. Kontras impedansi mempunyai pengaruh yang lebih besar terhadap nilai faktor amplifikasi tanah (A_g), sehingga memberikan nilai indeks kerentanan yang tinggi.

Hasil penelitian indeks kerentanan seismik dalam penelitian ini, ditunjukkan pada Gambar 13. Nilai indeks kerentanan seismik tanah berkisar antara 0,212 sampai dengan 270,184. Nilai indeks kerentanan seismik relatif tinggi berada di daerah bagian selatan dari Kabupaten Klaten, yaitu Kecamatan Gantiwarno bagian selatan, Kecamatan Wedi bagian selatan, dan Kecamatan Prambanan bagian selatan. Nilai indeks kerentanan seismik relatif rendah meliputi wilayah Kecamatan Jogonalan, Kecamatan Klaten Selatan, Kecamatan Klaten Tengah, Kecamatan Kalikotes, Kecamatan Trucuk, dan Kecamatan Bayat.



Gambar 13. Peta Indeks Kerentanan Sesimik (Kg)

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian kerentanan seismik dan karakteristik dinamik tanah di Kabupaten Klaten bagian selatan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Distribusi nilai frekuensi dominan dengan nilai 0,623 – 13,853 Hz.
2. Distribusi nilai periode dominan dengan nilai 0,072 – 1,604 detik.
3. Distribusi nilai faktor amplifikasi berkisar antara 1,09 – 26,134.
4. Distribusi nilai indeks kerentanan seismik berkisar antara 0,212 – 270,184 dengan nilai relatif lebih tinggi di bagian selatan wilayah Kabupaten Klaten yaitu Kecamatan Wedi, Gantiwarno, dan Prambanan.

REFERENSI

- Bappeda, Klaten. (2008). *Data Kerusakan Akibat Gempabumi 27 Mei 2006 (Laporan Perkembangan Penanganan Pasca Gempabumi Tektonik Di Kabupaten Klaten Provinsi Jawa Tengah)*. Klaten: Bappeda.
- Bappenas. (2006). *Preliminary Damage and Loss Assesment, Yogyakarta and Central Java Natural Disaster*. Jakarta: The Consultatif Group on Indonesia.
- BMKG. (2016). *Data Gempabumi dirasakan di DIY dan sekitarnya*. Yogyakarta.
- BPS, Klaten. (2013). *Kabupaten Klaten Dalam Angka 2013*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Klaten.
- BPS, Klaten. (2016). *Kabupaten Klaten Dalam Angka 2016*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Klaten.
- BPS, Klaten. (2013). *Statistik Daerah Kabupaten Klaten 2013*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Klaten.
- BPS, Klaten. (2016). *Statistik Daerah Kabupaten Klaten 2016*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Klaten.
- Daryono. (2011). *Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor pada setiap satuan bentuk Lahan di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. Yogyakarta: Disertasi, Universitas Gadjah Mada.
- Daryono, & T. R. (2007). *Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya Untuk Pengkajian Bahaya Gempa Bumi*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Daryono, Sutikno, J. S., & K. S. (2009). *Local Site Effect of Graben Bantul Using Microtremor Measurement, Proceedings of international Conference Erath Science and Technology*. Yogyakarta: Department of Geological Engineering Gajah Mada University.
- Gurler, Nakamura, Saita, & Sato. (t.thn.). *Local Site Effect of Mexico City Based on Microtremor Measurement*. *System and Data Research Co., Ltd, Tokyo 186-0003, Japan*.
- Konno, & Ohmachi. (1998). *Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor*. *Bull. Seism. Soc. Am., Vo. 88, No.1*, 228-241.
- Litbang, BMKG. (2010). *Kajian Kerawanan Bahaya Gempabumi di Kabupaten Bantul DIY, Laporan Hasil Penelitian*. Yogyakarta: Litbang BMKG.
- Nakamura, Y. (1989). *A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*. *Q.R of R.T.I 30-1*, 25-33.
- Nakamura, Y. (2007). *Development of vulnerability assesment for ground and structures using microtremor*. *System and Data Research Co., Ltd*.
- Nakamura, Y. (2008). *On The H/V Spectrum*. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008*. Beijing, China.
- SESAME. (2004). *Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibratio Measurement, Processing and Interpretation*. European Commission - Research General Directorate.
- Sungkowo, A. (2016). *Studi Kerentanan Sesimik dan Karakteristik Dinamik Tanah di Kota Yogyakarta dari Data Mikrotremor*. Yogyakarta: Tesis, Universitas Islam Indonesia.
- USGS. (2018). *Search Earthquake Archives*. Dipetik April 5, 2018, dari <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map>
- Widodo. (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

SUB TEMA TRANSPORTASI

Mengukur Keberhasilan Kerjasama Pemerintah Dan Badan Usaha Proyek Jalan Tol: Sebuah Kerangka Konseptual

G. E. Kandyoh

Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar, INDONESIA
geertje.kandyoh@gmail.com

R. U. Latief

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar, INDONESIA
rusdiul@gmail.com

M. A. Abdurrahman

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar, INDONESIA
asadmuh@gmail.com

R. Arifuddin

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar, INDONESIA
rosmariani_ar@yahoo.com

INTISARI

Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha dalam proyek jalan tol telah berlangsung di banyak negara. Namun demikian, kajian literatur mengenai Kerjasama Pemerintah Badan Usaha untuk proyek jalan tol masih belum menemukan kejelasan secara tegas dalam kajian normatif. Makalah ini bertujuan untuk mengembangkan kerangka konseptual untuk menilai keberhasilan Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha. Sebab dalam praktiknya, pelaksanaan Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha menghadapi berbagai tantangan yang kompleks, sehingga membutuhkan sebuah kerangka konseptual yang tidak sederhana dalam mengidentifikasi faktor-faktor keberhasilan sebuah proyek kerjasama antara Pemerintah dengan Badan Usaha. Hasil dari kajian literatur makalah ini adalah dengan menggunakan pendekatan *Structural Equation Modelling* (SEM). Pendekatan ini digunakan karena dapat membuat sebuah permodelan dan memperkirakan kesalahan pengukuran dari variabel laten yang sulit untuk teridentifikasi pada metode penelitian sebelumnya. Dalam analisis SEM melibatkan pencampuran analisis faktor dan analisis jalur. Permodelan dalam analisis SEM memberikan potensi untuk perumusan dan validasi sebuah teori.

Kata kunci: Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha, Jalan Tol, Kerangka Konseptual

1 PENDAHULUAN

Model Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU) menjadi sebuah solusi yang semakin banyak diterapkan di berbagai negara, dalam upaya pembangunan fasilitas publik yang membutuhkan biaya besar. Maka adanya keterlibatan Badan Usaha menjadi sebuah jalan keluar untuk menjawab kebutuhan akan infrastruktur publik yang mendesak untuk dibangun. Adapun kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha untuk pembangunan infrastruktur transportasi, perumahan, pendidikan, kesehatan, air, hingga infrastruktur pertahanan. Walau Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha telah diterapkan di banyak negara, namun dalam pelaksanaannya tidak selalu berjalan dengan berhasil, beberapa proyek kerjasama dianggap gagal, sehingga proses dan tujuan pembangunan menjadi tidak tercapai dengan baik (Ahmadabadi & Heravi, 2019; Bae & Joo, 2016).

Dalam kasus Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha di berbagai negara, pelaksanaan sebuah proyek

kerjasama masih belum secara jelas menetapkan faktor-faktor keberhasilan KPBU jalan tol. Hal ini menjadi penting mengingat bahwa pemahaman tentang faktor-faktor keberhasilan adalah langkah utama dalam pengembangan kerangka konseptual KPBU yang efektif (Kwak et al, 2009). Pengukuran keberhasilan KPBU dibutuhkan untuk mencapai manfaat secara penuh dalam sebuah proyek kerjasama.

Beberapa penelitian menyebutkan bahwa selama ini evaluasi atas pelaksanaan KPBU dilakukan oleh penyelenggara pembangunan itu sendiri, yang dalam hal ini adalah pemerintah. Hal ini menjadikan proses evaluasi menjadi tidak efektif (Zayyanu, 2017). Hal ini juga terjadi pada pasar KPBU yang bahkan lebih maju dan matang seperti di Australia dan UK. Sehingga ketidakefektifan dalam melakukan evaluasi, terlebih dalam faktor-faktor yang digunakan untuk evaluasi kesuksesan KPBU jalan tol akan berimplikasi pada kualitas output yang dibawah standar atau tidak seharusnya. Hal ini menjadi penting mengingat biaya

pembangunan infrastruktur dari KPBU tidaklah sedikit, dengan melibatkan banyak sumberdaya, sehingga output proyek seharusnya sepadan dengan pengorbanan yang dikeluarkan (Banihashemi et al, 2017).

Fokus makalah ini adalah untuk mengembangkan kerangka konseptual dalam rangka mencapai keberhasilan KPBU untuk proyek jalan tol. Makalah ini akan mengkaji dan mengulas berbagai literatur yang relevan tentang keberhasilan proyek, dan melakukan pengelompokan dan pengidentifikasian atas ukuran-ukuran yang digunakan dalam KPBU. Berdasarkan indikator yang teridentifikasi, selanjutnya akan dikembangkan usulan kerangka konseptual dengan menggunakan pendekatan *Structural Equation Modelling (SEM)*.

2 KERANGKA TEORI

2.1 Definisi KPBU

Sektor swasta dalam hal ini adalah Badan Usaha yang dilibatkan dalam penyelenggaraan negara bukanlah sesuatu yang baru. Beberapa negara di eropa telah menerapkan penyertaan modal swasta dalam penyelenggaraan beberapa infrastruktur. Menurut Parente (2006) adalah suatu kesepakatan atau kontrak antara negara dan pihak swasta dimana pihak swasta memegang sebagian fungsi pemerintah dalam periode waktu tertentu, pihak swasta memiliki bagian dalam resiko dan tanggung jawab dalam rangka penyediaan fasilitas publik. Dalam publikasi skema kerjasama pemerintah British Columbia (2003), disampaikan bahwa *Public Private Partnership* merupakan bentuk kesepakatan resmi antara pemerintah dan pelaku bisnis dengan beberapa ketentuan dan syarat atas aset dan penyediaan pelayanan publik yang mencakup tentang tanggung jawab, keuntungan, resiko bagi semua pihak.

2.2 Dimensi Keberhasilan KPBU

Ekonomi makro merupakan gambaran mengenai stabilitas dan pertumbuhan ekonomi (Budiono dalam Hasyim, 2017). Dalam hal ini, ekonomi makro menjadi salah satu pertimbangan dalam faktor keberhasilan kerjasama pemerintah swasta, yang ditinjau dari ekonomi makro baik secara nasional. Berdasarkan penelitian terdahulu, maka disusun variabel yang membentuk dimensi ekonomi makro yaitu; inflasi (Hubudi, 2010; Chen, 2012; Hanaoka, 2012), pajak (Hanaoka, 2012; Wibowo, 2014; Osei-Kyei, 2015), pertumbuhan ekonomi (Hubudi, 2010; Wibowo, 2014), stabilitas ekonomi (Chan, 2010; Alinaitwe, 2013; Aerts, 2014; Wibowo, 2014; Chou, 2015; Osei-Kyei, 2015; Zayyanu, 2017), dan faktor produksi (Chen,

2012; Wibowo, 2014) menjadi variabel yang dapat mengukur gambaran ekonomi makro.

Dalam faktor sosial dalam penelitian terdahulu terkait dengan faktor sosial adalah dukungan masyarakat, kebermanfaatan bagi masyarakat, kesempatan kerja, dan keterlibatan masyarakat. Dalam hal dukungan masyarakat, diketahui bahwa sebuah proyek pembangunan infrastruktur harus mendapat dukungan dari masyarakat, atau mendapat persetujuan dari masyarakat, terutama masyarakat yang berada di sekitar lokasi pembangunan (Solomon, 2012; Chou, 2015).

Dalam faktor budaya, Kaminsky (2018) mengemukakan dimensi budaya yang dapat menentukan keberhasilan KPBU terdiri dari *Power Distance Index (PDI)*, *Masculinity vs Femininity (MAS)*, *Uncertainty Avoidance Index (UAI)*, *Individualism vs Collectivism (IDV)*. Konsep mengenai karakteristik kebudayaan, oleh Kaminsky (2018) mengembangkannya dalam konteks KPBU. PDI sendiri merupakan dimensi yang bertujuan untuk mengidentifikasi distribusi kekuasaan dalam sebuah entitas, seperti entitas sosial, atau organisasi. MAS mencerminkan cara masyarakat dalam menyelesaikan konflik (normatif vs musyawarah) dan cara mencapai tujuan (kompetitif vs kerjasama). UAI mencerminkan tingkat kekhawatiran entitas sosial/individu terhadap sesuatu yang tidak pasti dan yang bersifat ambigu. IDV mencerminkan tingkat integrasi individu dalam kelompok masyarakat.

Dalam faktor organisasi, reputasi pihak swasta memiliki peran penting dalam keberhasilan kerjasama pemerintah swasta. Reputasi adalah identitas dan citra yang dibangun dalam waktu lama dan telah tahan uji dalam jangka panjang terhadap lingkungan yang tidak stabil berkat adanya strategi komunikasi korporasi yang menyeluruh, termasuk melalui konsistensi pengalaman yang positif tentang nilai produk dan layanan jasa. Menurut Mangkunegara (2003), Keselamatan adalah kondisi aman seseorang dalam melakukan pekerjaan. Kondisi aman tersebut bisa berasal dari internal maupun eksternal. Dari lingkungan internal adalah kemampuan seseorang dalam menjaga dirinya dan lingkungan eksternal adalah bahaya yang terjadi dari luar.

Dalam faktor lingkungan, pengukuran dilakukan berdasarkan kualitas sumber daya alam (SDA) yang tersusun atas kualitas udara, volume sampah, dan tingkat kemacetan lalu lintas (Chen, 2012; Wibowo, 2012; Alinaitwe, 2013; Oyedel, 2013; Aerts, 2014; Almari, 2017; Banihashemi, 2017; Maqbool, 2017; Mavi, 2018). Disamping itu kebermanfaatan SDA juga menjadi bagian dari dimensi ini, dimana potensi SDA

yang dapat dimanfaatkan dalam proyek dan praktik keberlanjutan lingkungan (Mavi, 2018). Dimensi ini bertujuan untuk mengetahui penanganan terhadap dampak pembangunan yang dilakukan oleh penyelenggara pembangunan. Kejelasan mengenai penanganan terhadap polusi udara, suara, volume sampah, dan tingkat kemacetan lalu lintas (Chen, 2012; Wibowo, 2012; Alinaitwe, 2013; Oyedel, 2013; Aerts, 2014; Almari, 2017; Banihashemi, 2017; Maqbool, 2017; Mavi, 2018).

Dalam faktor risiko, pengalokasian risiko yang tepat dapat menghindarkan kerugian stakeholder yang terlibat. Berdasarkan Peraturan Menteri Keuangan No.38/PMK.01/2006 telah menetapkan acuan alokasi risiko untuk pembangunan jalan tol. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa alokasi risiko yang berimbang menjadi kunci keberhasilan KPBU jalan tol (Chan, 2010; Hubudi, 2010; Chen, 2012; Wibowo, 2012; Safitri, 2013; Muhammad, 2016; Villabarro, 2016; Almarri, 2017; Zayyanu, 2017).

Untuk menjelaskan faktor pemerintah dan politik, konstruk yang dibangun terdiri dari dimensi kelembagaan, dimensi program, dan dimensi aspirasi. Dimensi kelembagaan bertujuan untuk mengetahui kapabilitas lembaga pemerintah yang dapat meningkatkan akselerasi KPBU (Durdyev, 2017; Maqbool, 2017; Maavi, 2018; Zayyanu, 2017; Almarri, 2017; Osei-Kyei, 2015; Chou, 2015; Wibowo, 2014). Dimensi program bertujuan mengetahui keberadaan, kesiapan, kualitas, serta keterlibatan masyarakat jasa konstruksi terhadap program yang diselenggarakan pemerintah. Dimensi aspirasi bertujuan mengetahui kesesuaian program serta tingkat kepuasan masyarakat jasa konstruksi terhadap program (Wibowo, 2012; Aerts, 2014; Muhammad, 2016; Al-Saadi, 2016; Durdyev, 2017; Maqbool, 2017)

Faktor fisik dalam proses KPBU berkaitan dengan proses *procurement*, kualitas pengarah proyek, dan juga aspek teknis. Berdasarkan penelitian terdahulu, proses *procurement* yang transparan dan kompetitif menjadi faktor penentu keberhasilan (Hubudi, 2010; Chen, 2012; Solomon, 2012; Alinaitwe, 2013), kualitas pengarah proyek dan juga kualitas teknis juga menjadi faktor penentu keberhasilan (Mavi, 2018; Ye, 2018; Maqbool, 2017; Villalbaromero, 2016; Bae, 2016; Alsaadi, 2016; Osei-Kyei, 2015; Wibowo, 2015; Chou, 2015; Aerts, 2013, Alinaitwe, 2013; Safitri, 2013).

Untuk mengukur faktor hukum, terdiri dari dimensi substansi regulasi untuk mengetahui sejauh mana regulasi terkait KPBU dapat dipahami, rinci, dan jelas oleh setiap pihak terkait (Chan, 2010; Wibowo, 2012). Selain itu dimensi pelaksanaan hukum untuk

mengetahui sejauh mana penerapan dari regulasi terkait KPBU dijalankan dalam praktiknya (Wibowo, 2014; Zayyanum, 2017; Maqbool, 2017).

Kajian ini adalah untuk melengkapi setiap faktor dan juga dimensi penentu keberhasilan KPBU proyek jalan tol. Setiap faktor memiliki keterkaitan satu dengan yang lainnya dan saling memberi pengaruh. Tabel 1 menjelaskan ringkasan faktor dan dimensi yang dapat menentukan KPBU jalan tol, berdasarkan kajian literatur yang dihimpun secara komperhensif.

3 METODOLOGI

Untuk dapat menjawab tujuan penelitian, penelitian ini meninjau dan melakukan kajian literatur tentang keberhasilan Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha. Dari tinjauan berbagai pendekatan yang digunakan dalam mengukur keberhasilan Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha untuk Proyek Jalan Tol, kemudian akan dibentuk sebuah konstruk variabel dan indikator yang menjadi penentu keberhasilan. Konstruk variabel digunakan dalam pendekatan *Structural Equation Modelling (SEM)*. Pendekatan *Structural Equation Modelling (SEM)* yang digunakan adalah dengan metode *Partial Least Square* dengan model *first order*.

3.1 *Structural Equation Modelling*

Model Persamaan Struktural (SEM) merupakan sebuah alat analisis multi-variat yang dapat digunakan untuk merepresentasikan, membuat estimasi, dan menguji jaringan dari sebuah hubungan diantara variabel teramati dan variabel laten. Alat uji SEM ini menjadi sebuah pendekatan penting selama tiga dekade terakhir untuk melakukan beberapa kebutuhan analisis data (Yuan & Tian, 2015).

SEM merupakan tingkatan lebih lanjut dari teknik analisis yang telah ada sebelumnya seperti univariat dan bivariat, (Haier et al, 2006). SEM dapat membuat sebuah permodelan dan memperkirakan kesalahan pengukuran dari variabel laten yang sulit untuk teridentifikasi pada metode penelitian sebelumnya. Analisis SEM sendiri telah secara luas digunakan oleh berbagai disiplin keilmuan seperti Teknik, manajemen, dan manajemen konstruksi (Oke, 2012), pengukuran efektifitas perencanaan proyek (Qureshi, 2015), tingkat kepercayaan dalam keberhasilan kemitraan (Chen, 2012), dan evaluasi kelayakan keberhasilan proyek (Ng, 2010).

4 KERANGKA KONSEPTUAL KEBERHASILAN KPBU PROYEK JALAN TOL

Berdasarkan kajian literatur, makalah ini mengidentifikasi serangkaian faktor dan dimensi penentu keberhasilan KPBU jalan tol (Tabel 1). Faktor

dan dimensi ini kemudian disusun menjadi model konseptual dengan pendekatan *Structural Equation Modelling (SEM)* dengan tujuan mengukur keberhasilan KPBU jalan tol. Model ini mempertimbangkan setiap kategori faktor keberhasilan

KPBU sebagai konstruksi variabel, yang ditunjukkan oleh sub faktor atau dimensi sebagai variabel terukur.

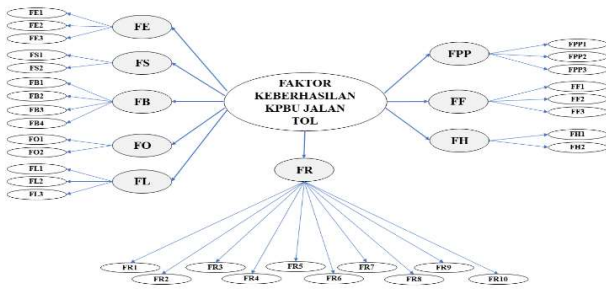
Tabel 1. Atribut keberhasilan KPBU jalan tol

Faktor Keberhasilan KPBU	Dimensi keberhasilan KPBU
FAKTOR EKONOMI (FE)	FE1 – Ekonomi makro FE2 – Pajak FE3 – Stabilitas ekonomi
FAKTOR SOSIAL (FS)	FS1 – Dukungan masyarakat FS2 – Kebermanfaatan sosial
FAKTOR BUDAYA (FB)	FB1 – PDI FB2 – MAS FB3 – UAI FB4 – IDV
FAKTOR ORGANISASI (FO)	FO1 – Reputasi developer FO2 – K3
FAKTOR LINGKUNGAN (FL)	FL1 – Kualitas SDA FL2 – Kebermanfaatan SDA FL3 – dampak pembangunan
FAKTOR RISIKO (FR)	FR1 - Dimensi Risiko Lokasi FR2 – Dimensi Risiko Desain, Konstruksi, Uji Operasi FR3 – Dimensi Risiko Sponsor FR4 – Dimensi Risiko Finansial FR5 – Dimensi Risiko Operasi FR6 – Dimensi Risiko Pendapatan FR7 – Dimensi Risiko Konektivitas Jaringan FR8 – Dimensi Risiko Interface FR9 – Dimensi Risiko Politik FR10 – Dimensi Risiko Force Majeur
FAKTOR POLITIK & PEMERINTAHAN (FPP)	FPP1 – kelembagaan FPP2 – Program FPP3 – Aspirasi
FAKTOR FISIK (FF)	FF1 – Prokuremen FF2 – Kualitas Perencanaan Proyek FF3 – Teknis
FAKTOR HUKUM (FH)	FH1 – Substansi regulasi FH2 – Pelaksanaan hukum

5 HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerangka konseptual yang diusulkan (gambar 1) terdiri dari 2 komponen model; model pengukuran dan model struktural. Komponen pertama dapat digunakan untuk estimasi kontribusi masing-masing dimensi terhadap faktor yang merupakan variabel laten. Sedangkan komponen kedua yang terdiri dari faktor (variabel laten) digunakan untuk mengevaluasi kontribusi setiap

faktor dalam keberhasilan KPBU jalan tol melalui model struktural.



Gambar 1. Kerangka konseptual keberhasilan KPBU jalan tolkesimpulan

Makalah ini mengulas berbagai metode yang digunakan dalam menilai keberhasilan KPBU jalan tol. Penulis berpendapat bahwa karena KPBU jalan tol dalam praktiknya dianggap sangat kompleks dan multi perspektif, maka diperlukan sebuah kajian dan pendekatan yang sistematis, dimana melibatkan proses pengidentifikasian faktor-faktor keberhasilan, dan dimensi keberhasilan. Para penulis berpendapat bahwa kerangka konseptual ini dapat membantu memahami keberhasilan KPBU jalan tol, dan dapat digunakan sebagai kerangka evaluasi KPBU jalan tol. Temuan dalam makalah ini diharapkan dapat digunakan sebagai landasan dalam pengembangan kajian mengenai keberhasilan KPBU jalan tol, dan sebagai penguat dalam konstruk teoritis mengenai keberhasilan KPBU jalan tol.

REFERENSI

Aerts, G., Grage, T., Dooms, M., & Haezendonck, E. (2014). Public-private partnerships for the provision of port infrastructure: An explorative multi-actor perspective on critical success factors. *Asian Journal of Shipping and Logistics*, 30(3), 273–298. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2014.12.002>

Ahmadabadi, A. A., & Heravi, G. (2019). The effect of critical success factors on project success in Public-Private Partnership projects: A case study of highway projects in Iran. *Transport Policy*, 73, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.07.004>

Alinaitwe, H., & Ayesiga, R. (2013). Success factors for the implementation of public-private partnerships in the construction industry in Uganda. *Journal of Construction in Developing Countries*, 18(2), 1–14.

Almarri, K., & Boussabaine, H. (2017). The Influence of Critical Success Factors on Value for Money Viability Analysis in Public-Private Partnership Projects. *Project Management Journal*, 48(4), 93–106. <https://doi.org/10.1177/875697281704800408>

Bae, Y., & Joo, Y. M. (2016). Pathways to meet critical success factors for local PPPs: The cases of urban

transport infrastructure in Korean cities. *Cities*, 53, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.01.007>

Bambrick, S., (2011) A Critical Review of the Methods used to Measure Project Success and the identification of key Success Factors, Manchester.

Banihashemi, S., Hosseini, M. R., Golizadeh, H., & Sankaran, S. (2017). Critical success factors (CSFs) for integration of sustainability into construction project management practices in developing countries. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1103–1119.

<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.01.014>

Chen, Y. Q., Zhang, Y. B., Liu, J. Y., & Mo, P. (2011). Interrelationships among critical success factors of construction projects based on the structural equation model. *Journal of Management in Engineering*, 28(3), 243–251. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000104](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000104)

Chou, J. S., & Pramudawardhani, D. (2015). Cross-country comparisons of key drivers, critical success factors and risk allocation for public-private partnership projects. *International Journal of Project Management*, 33(5), 1136–1150. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.12.003>

Durdyev, S., & Ismail, S. (2017). The build-operate-transfer model as an infrastructure privatisation strategy for Turkmenistan. *Utilities Policy*, 48, 195–200. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2016.12.002>

Hair, J.F. et al., 2006. *Multivariate Data Analysis Sixth.*, Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall.

Hubudi, H., Umar, H., Universitas, P., Unggul, E., & Swasta, K. P. (2010). Faktor-Faktor Penentu Kesuksesan (Critical Success Factors) Pada Kerjasama Pemerintah Swasta Bidang Infrastruktur di Indonesia.

Kaminsky, J. A. (2018). National Culture Shapes Private Investment in Transportation Infrastructure Projects around the Globe. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(2), 1–8. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001416](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001416)

Kwak, Y. H., Chih, Y., & Ibbs, C. W. (2009). Towards a comprehensive understanding of public private partnerships for infrastructure development. *California management review*, 51(2), 51–78. <https://doi.org/10.2307/41166480>

Maqbool, R., & Sudong, Y. (2018). Critical success factors for renewable energy projects; empirical

evidence from Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 195,991–1002.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.274>

Mangkunegara A, (2003). Evaluasi kinerja sumber daya manusia. Bandung: Refika aditama

Mavi, R. K., & Standing, C. (2018). Critical success factors of sustainable project management in construction: A fuzzy DEMATEL-ANP approach. *Journal of cleaner production*, 194, 751-765. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.120>

Muhammad, Z., Sik, K. K., Johar, F., & Sabri, S. (2016). An overview of critical success factors of publicprivate partnership in the delivery of urban infrastructure and services. *Planning Malaysia*, 4(Special Issue 4), 147–162 <http://dx.doi.org/10.21837/pmjournal.v14.i4.155>

Ng, S. T., Wong, Y. M., & Wong, J. M. (2010). A structural equation model of feasibility evaluation and project success for public–private partnerships in Hong Kong. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 57(2), 310-322. DOI:[10.1109/TEM.2009.2037142](https://doi.org/10.1109/TEM.2009.2037142)

Oke, A. E., Ogunsami, D. R., & Ogunlana, S. (2012). Establishing a common ground for the use of structural equation modelling for construction related research studies. *Construction economics and building*, 12(3), 89-94. **DOI:** <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v12i3.2658>

Osei-Kyei, R., & Chan, A. P. C. (2015). Review of studies on the critical success factors for public-private partnership (PPP) projects from 1990 to 2013. *International Journal of Project Management*, 33(6), 1335–1346. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.02.008>

Parente, W.J. (2006). Public Private Partnership. Workshop on Fundamental Principles and Technique

for Effective Public Private Partnership in Indonesia, Jakarta

Qureshi, S. M., & Kang, C. (2015). Analysing the organizational factors of project complexity using structural equation modelling. *International Journal of Project Management*, 33(1), 165-176. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.04.006>

Safitri, C., Faisal, A. A., & Dahlan, A. R. A. (2013). Success factors and change management in Malaysian institutions of higher learning (IHL). *International Journal of Science and Research*, 2(6), 29-36. <https://www.ijsr.net/archive/v2i6/IJSRON12013125.pdf>

Villalba-Romero, F., & Liyanage, C. (2016). Evaluating Success in PPP Road Projects in Europe: A Comparison of Performance Measurement Approaches. *Transportation Research Procedia*, 14, 372–381. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.089>

Wibowo, A., & Alfen, H. W. (2015). Government-led critical success factors in PPP infrastructure development. *Built Environment Project and Asset Management*, 5(1), 121-134. <http://dx.doi.org/10.1108/BEPAM-03-2014-0016>

Wibowo, A., & Alfen, H. W. (2014). Identifying macro-environmental critical success factors and key areas for improvement to promote public-private partnerships in infrastructure: Indonesia’s perspective. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 21(4), 383–402. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2013-0078>

Yuan, K. & Tian, Y., (2015). Structural Equation Modeling as a Statistical Method: An Overview. *JSM Math Stat*, 2(1), p.7.

Zayyanu, M. (2017). 2017 Measuring the Success of Public-Private Partnership Projects: a Conceptual Framework. 2(1993), 90–98

Asumsi Prioritas Penanganan pemeliharaan Jalan Kabupaten Menggunakan Metode Analisis Hirarki Proses (AHP)

S. N. Sari

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Yogyakarta, INDONESIA
sely.novita@itny.ac.id

INTISARI

Pembangunan sub sektor prasarana jalan kabupaten merupakan bagian pendukung pengembangan potensi daerah. Dengan meningkatnya kualitas prasarana jalan kabupaten akan membuka lebih banyak potensi sektor produksi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui penentuan prioritas penanganan jalan Kabupaten berdasarkan keterbatasan pelaksanaan pengerjaan yang tidak dapat memenuhi kebutuhan penanganan seluruh ruas jalan secara tepat dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Penelitian ini memiliki tujuan mengetahui prioritas penanganan jalan kabupaten berdasarkan asumsi keterbatasan pelaksanaan pengerjaan yang tidak dapat memenuhi kebutuhan penanganan seluruh ruas jalan secara tepat dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Pada penelitian ini membutuhkan data kuisioner pelaksana yang berpengalaman dalam bidang perbaikan atau pemeliharaan jalan. Kesimpulan pada penelitian berupa asumsi prioritas penanganan pemeliharaan jalan kabupaten dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah kriteria yang memperoleh prioritas paling tinggi adalah kondisi jumlah kendaraan berat dengan bobot 17,793 %, prioritas kedua lebar perkerasan dengan bobot 15,374 %, prioritas ketiga kondisi rusak sedang dengan bobot 14,201 %, prioritas keempat kondisi rusak dengan bobot 12,688 %, prioritas kelima angka LER dengan bobot 11,318 %, prioritas keenam LHR dengan bobot 10,952 %, prioritas ketujuh kondisi baik dengan bobot 10,977 dan terakhir kondisi rusak berat dengan bobot 6,698 %.

Kata kunci: asumsi, pelaksanaan, perbaikan

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu fasilitas publik yang seharusnya dapat dirasakan manfaatnya oleh seluruh lapisan masyarakat adalah prasarana jalan yang setiap hari dilalui oleh masyarakat untuk melakukan segala macam kegiatan. Oleh sebab itu prasarana jalan dikuasai dan dikelola oleh pemerintah sehingga pemerintah dapat mengembangkan pelayanan kepada masyarakat untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat. Terciptanya sistem transportasi jalan yang menjamin pergerakan manusia dan barang secara lancar, aman, cepat, murah dan nyaman merupakan tujuan pembangunan dalam sektor prasarana jalan. Kinerja jaringan jalan setiap tahunnya mengalami kerusakan jalan dari berbagai kriteria dan dapat di kategorikan kerusakan baik, sedang, rusak, dan rusak berat. Kondisi perkerasan jalan menjadi lebih cepat rusak apabila terjadi penundaan penanganan yang menyebabkan meningkatnya biaya penanganan jalan Kabupaten. Kinerja jaringan jalan sangat tergantung kepada besarnya alokasi dana, kualitas perumusan sasaran (program), dan kualitas perwujudan sasaran (pelaksanaan kegiatan fisik). Pembatasan besarnya alokasi dana dan kualitas penanganan perbaikan mengakibatkan tidak seluruh jalan bisa di perbaiki, dibutuhkan prioritas dalam pengambil keputusan

bagian mana yang diperbaiki terlebih dahulu. Pengambilan keputusan untuk memperbaiki perkerasan yang sudah mengalami kerusakan harus dikaji dengan sebaik mungkin sehingga tidak menimbulkan kesalahan daerah yang mengalami perbaikan. Pelaksanaan penanganan pemeliharaan jalan dianggap penting tetapi tidak semua kerusakan jalan bisa diperbaiki, dengan adanya pembatasan alokasi dana untuk pemeliharaan jalan atau perbaikan jalan maka perlu dilakukan skala prioritas. Pengambilan keputusan skala prioritas bisa dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dari sang pelaksana yang sudah biasa melaksanakan pemeliharaan jalan. Selain data kerusakan jadi data utama yang harus dimasukkan sebelum melakukan keputusan pemeliharaan, asumsi pelaksana juga bisa dimasukkan sebagai masukan. Asumsi yang dimaksud adalah pengalaman yang sudah dilaksanakan dalam pekerjaan menimbulkan asumsi apakah kegiatan pemeliharaan tersebut layak dilakukan atau tidak dengan melihat dari asumsi pelaksana yang sudah berpengalaman. Asumsi kepentingan pelaksana lapangan akan berbeda dengan asumsi pemilik kebijakan yang berada di belakang meja. Sehingga akan menghasilkan skala prioritas yang berdasarkan asumsi pelaksanaan pemeliharaan jalan tersebut.

Pada penelitian ini dikaji asumsi-asumsi beberapa pelaksana lapangan, pemilik kebijakan dan penghasil

keputusan yang perlu dipertimbangkan dalam keterbatasan pelaksanaan pengerjaan yang tidak dapat memenuhi kebutuhan penanganan seluruh ruas jalan secara tepat untuk pemeliharaan jalan kabupaten. Dalam hal ini kasus penanganan jalan akan dikonsentrasikan untuk jalan kabupaten yang perannya sebagai jalan sekunder cukup berarti dalam sistem distribusi. Kemampuan asumsi pelaksana pemeliharaan jalan yang berbeda-beda menurut pengalamannya mengakibatkan pelaksanaan pengerjaan perbaikan jalan tidak dapat memenuhi kebutuhan penanganan seluruh ruas jalan sehingga harus dilakukan prioritas pekerjaan perbaikan jalan antara pengerjaan teknis kondisi dibandingkan dengan kapasitas struktur.

Beberapa studi terdahulu telah mencoba untuk melakukan kajian prioritas penanganan jalan dengan pendekatan yang berbeda.

- a) Wahyudiana (2009) telah membahas Penentuan Prioritas Pemeliharaan Jalan Kabupaten Berdasarkan Ketersediaan Alokasi Dana, namun pembahasan hanya sekitar pemeliharaan jalan kabupaten tidak pada faktor lainnya.
- b) Putri (2011) juga melakukan penelitian Penentuan Skala Prioritas Penangan Jalan Kabupaten di Kabupaten Bangli. Metode penanganan dan kebutuhan tidak berdasarkan ketersediaan alokasi dana.
- c) Suyasa (2007) mencoba menentukan skala prioritas penangan jalan kabupaten di Kabupaten Badung dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

Kriteria eksisting kondisi jalan dan lalu lintas harian rata-rata, untuk metode pembobotan terdiri dari enam kriteria baru yaitu potensi ekonomi komoditi unggulan, manfaat pemakai jalan, penduduk pengguna ruas jalan, peran serta masyarakat, fasilitas umum dan trayek angkutan. Metode penanganan terbatas hanya pada pemeliharaan berkala saja. Kriteria yang digunakan ada 4 (empat) faktor kriteria yaitu kondisi jalan, volume lalu lintas, ekonomi dan kebijakan .

Beberapa studi terdahulu banyak mengkaji masalah prioritas penanganan pemeliharaan. Pada penelitian ini yang akan dikaji adalah asumsi prioritas penanganan jalan kabupaten dari berbagai faktor yang mempengaruhi. Sebagai alat bantu pengambilan keputusan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). *Analytical Hierarchy Process* (AHP) mendeskripsikan suatu pendekatan terstruktur dalam mengambil keputusan sebagai suatu pilihan umum (overall preference) diantara sejumlah alternatif yang dianggap mampu memenuhi serangkaian tujuan (*objectives*)[1]. Selain itu pada studi ini disusun

berdasarkan asumsi pelaksanaan pengerjaan yang tidak dapat memenuhi kebutuhan Kabupaten Purworejo. Diharapkan dengan adanya penelitian ini memberikan gambaran kepada pemerintah setempat dengan pelaksanaan pengerjaan yang tidak dapat memenuhi kebutuhan untuk prioritas penanganan jalan Kabupaten di Purworejo.

2.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah Mengetahui penentuan prioritas penanganan jalan Kabupaten berdasarkan asumsi pelaksanaan keterbatasan kebutuhan penanganan seluruh ruas jalan secara tepat dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Sesuai tujuan penelitian yang ingin diraih maka diharapkan penelitian ini bermanfaat untuk mendapatkan hasil yang dapat menentukan prioritas penanganan jalan kabupaten berdasarkan asumsi pelaksanaan keterbatasan kebutuhan penanganan seluruh ruas jalan secara tepat dan mendapatkan kondisi perkerasan jalan yang baik, tidak cepat rusak akibat penundaan penanganan seluruh ruas jalan kabupaten secara tepat.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk ke dalam katagori penelitian deskriptif yang bertujuan mengetahui prioritas penanganan jalan kabupaten berdasarkan keterbatasan pelaksanaan pengerjaan yang tidak dapat memenuhi kebutuhan penanganan seluruh ruas jalan secara tepat. Oleh karena itu penelitian ini membutuhkan data sekunder dari variabel yang diteliti. Dengan demikian penelitian ini akan didominasi dengan diskripsi pelaksanaan awal penelitian sehingga didapat hasil yang diinginkan. Bab ini akan menjelaskan tentang lokasi penelitian, metode penelitian, tahapan prosedur penelitian.

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi studi berada di Kabupaten Purworejo Jawa Tengah pada ruas jalan kabupaten dibawah penanganan Bidang Bina Marga Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Purworejo

2.2 Metode Penelitian

Metode yang diterapkan dalam studi ini adalah deskriptif kuantitatif, yaitu mengadakan penelitian dengan data sekunder dari variabel yang diteliti. Studi ini melibatkan beberapa parameter yang digunakan untuk pertimbangan dalam pengambilan keputusan. Parameter tersebut antara lain ; kondisi struktur jalan, kondisi lalu lintas, kondisi pelayanan dan tuntutan masyarakat. Skala prioritas menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

2.3 Tahapan Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini di mulai dengan melakukan studi pendahuluan yang meliputi :

- Pengenalan daerah studi.
- Tinjauan pustaka
- Identifikasi data.

Dari studi pendahuluan yang dilakukan, dilanjutkan identifikasi masalah sehingga dapat disusun latar belakang masalah dan rumusan masalah serta penetapan tujuan penelitian ini. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data baik diperoleh dari data sekunder.

Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari data penanganan jalan kabupaten di Kabupaten Purworejo serta pedoman perencanaan jalan kabupaten sesuai SK No.77/KPTS/Db/1990. Pengumpulan data sekunder bisa berupa peraturan perundangan, kependudukan, jaringan jalan, kondisi jalan, volume lalu lintas, biaya satuan penanganan ruas jalan dan ketersediaan dana penanganan ruas jalan eksisting. Data sekunder tidak dilakukan validasi dikarenakan data yang didapatkan merupakan data resmi kabupaten Purworejo sesuai dengan SK.

Langkah selanjutnya akan dilakukan pengambilan data primer berupa kuisisioner berupa asumsi prioritas pelaksanaan pemeliharaan, dari hasil kuisisioner tersebut maka dapat dilakukan analisisnya. Analisis dilakukan dengan penentuan urutan prioritas penanganan jalan kabupaten dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang diawali dengan penyusunan hirarki yaitu dengan penentuan kriteria dan penentuan subkriteria. Selanjutnya dilakukan analisis pembobotan dalam penentuan skala prioritas jalan dengan metode AHP. Kuisisioner sudah dilakukan validasi pada penelitian sebelumnya (Hidajat, 2017), karena pada penelitian ini kuisisioner mengacu pada kuisisioner pada penelitian sebelumnya.

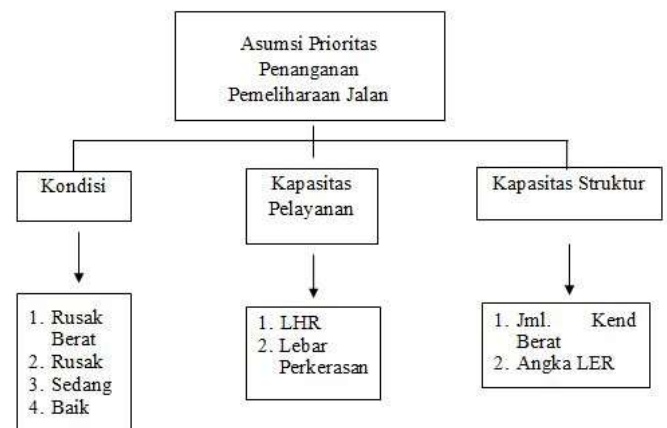
3 HASIL DAN ANALISA

3.1. Penyusunan Model AHP

Dari faktor-faktor yang sudah diperoleh baik dari literature, jurnal referensi maupun *stakeholder* yang berkompeten dibidang mutu jalan, langkah selanjutnya dalam penelitian ini yaitu melakukan perbandingan antar Prioritas Penanganan Kondisi Jalan. Faktor Prioritas Penanganan Kondisi Jalan tersebut yaitu Teknis.

Perbandingan Prioritas Penanganan Kondisi Jalan dilakukan dengan metode AHP, dimana metode tersebut bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tingkat kepentingan dari masing-masing variabel tersebut yang digunakan untuk proyek jalan. Tingkat

kepentingan Prioritas Penanganan Kondisi Jalan diperoleh peneliti dengan menggunakan kuisisioner yang telah disebar kepada para ahli yang berkompeten dalam bidang jalan. Adapun kriteria yang digunakan dalam metode AHP tersebut meliputi Kondisi Teknisnya. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui tingkatan variabel-variabel Prioritas Penanganan Kondisi Jalannya.



Gambar 1. Penyusunan metode AHP

Perbandingan antar kriteria di dalam masing-masing kuisisioner diberi pembobotan berdasarkan skala perbandingan terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Indikator indeks risiko dan komponennya

Angka	Definisi
1	Sama Pentingnya
3	Sedikit Lebih Penting
5	Lebih Penting
7	Sangat Lebih Penting
9	Mutlak Lebih Penting
2,4,6,8	Tingkat kepentingan diantara angka-angka tersebut diatas

Sumber: Hasil Perhitungan Penelitian, 2018

3.2. Pelaksanaan Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di wilayah kawasan kabupaten Purworejo, dilakukan pada pelaksana yang telah melakukan pengerjaan jalan dari berbagai instansi, asumsi yang ingin didapatkan adalah dari segi pelaksana lapangan yang sudah memiliki jam kerja tinggi dan pengalaman dibidang perbaikan jalan terutama jalan kabupaten, asumsi yang ingin di dapatkan adalah dari segi pengalaman lapangan apakah pengalaman tersebut sesuai dengan kebijakan pemerintah yang ditetapkan jika terjadi keadaan jalan rusak dari rusak ringan hingga berat sehingga harus dilakukan perawatan atau perbaikan dengan dana terbatas. Dana terbatas mengakibatkan pemaku kebijakan harus pintar-pintar dalam mengambil

keputusan agar dengan dana yang terbatas tersebut dialokasikan tepat sasaran.

Selama ini pelaksanaan hanya dilihat dari kebijakan pemerintah ataupun instansi terkait tanpa melihat asumsi dari segi lapangannya, padahal orang lapangan yang biasa melakukan pekerjaan tersebut memiliki insting yang baik apakah pekerjaan tersebut memang perlu dilakukan atau tidak. Oleh sebab itu peneliti melakukan penilaian asumsi prioritas dari segi orang lapangan dan pemaku kebijakan untuk dapat memberikan asumsi sesuai dengan pengalaman masing-masing.

Peneliti membagikan kuisisioner kepada pelaksana lapangan yang sehari-hari bekerja memperbaiki jalan dari segi kontraktor, konsultan dan dari dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Purworejo. Di kuisisioner tersebut ditanyakan tingkat kepentingan kriteria yang sudah ditetapkan antara kondisi rusak berat, kondisi rusak, kondisi sedang, kondisi baik hingga disesuaikan dengan angka LERnya. Sebagai responden yang menjawab kuisisioner tersebut, responden akan menjawab dengan mencentang sesuai perintah dari kuisisioner tersebut antara dua pilihan kriteria bagian mana yang diasumsikan lebih penting dengan nomor yang telah ditetapkan.

Perbandingannya adalah satu kriteria akan dibandingkan dengan kriteria yang lainnya, sehingga dari 9 responden yang dilakukan akan didapatkan kesimpulan atau akan didapat matriks rata-rata responden. Setelah hasil responden kita dapatkan maka akan dilakukan pembobotan prioritas penanganan pemeliharaan jalan Kabupaten Purworejo.

3.3. Pembobotan Prioritas Penanganan Pemeliharaan Jalan

Hasil yang didapat dalam penelitian ini merupakan hasil rata-rata yang diperoleh dari rata-rata ukur yang menyatakan akar pangkat n dari hasil perkalian bilangan sebanyak n . Kelebihan metode rata-rata ini selain cocok untuk bilangan rasio atau perbandingan juga mampu mengurangi gangguan yang ditimbulkan salah satu bilangan yang terlalu besar atau terlalu kecil. Perhitungan untuk perbandingan kondisi rusak berat dengan kondisi rusak diperoleh rata-rata penilaian dari 9 responden adalah:

$$\sqrt[9]{5 \times 2 \times 7 \times 7 \times 5 \times 5 \times 3 \times 3 \times 1} / 5 = 3,04 \quad (1)$$

Demikian seterusnya sampai pada perhitungan terakhir. Hasil perbandingan secara berpasangan antara kriteria tersebut untuk matriks hasil dari rata-rata ukur para responden akan ditampilkan pada tabel 2

Hasil matrik perbandingan antar variabel umum penentuan prioritas pemeliharaan jalan kabupaten berdasarkan *Analytical Hierarchi Process* (AHP) diatas dapat disimpulkan bahwa penelitian dalam matrik tersebut masih diterima inkonsistensinya. Hal ini terlihat inkonsistensi matrik tersebut sekitar 0,032 masih dibawah 10% yang merupakan batas krisis konsistensi. Hal ini dikarenakan partisipasi aktif para pakar atau *stakeholder* diindikasikan kesediaannya untuk mengisi dan mengembalikan formulir survei. Para pakar yang dipilih sebagai contoh atau responden dinilai mampu memberikan jawaban yang tepat atas pertimbangan kepakaran dan pengalaman rekayasa teknik jalan secara obyektif dan rasional. Dari 9 (Sembilan) pakar yang mengembalikan formulir survei sudah cukup mewakili studi kasus dalam penelitian ini, adapun para pakar tersebut berasal dari pelaksana lapangan proyek perbaikan jalan, konsultan, pelaksana bidang binmarga dll.

Kriteria yang memperoleh prioritas paling tinggi adalah kondisi jumlah kendaraan berat dengan bobot 17,793 %, prioritas kedua lebar perkerasan dengan bobot 15,374 %, prioritas ketiga kondisi rusak sedang dengan bobot 14,201 %, prioritas keempat kondisi rusak dengan bobot 12,688 %, prioritas kelima angka LER dengan bobot 11,318 %, prioritas keenam LHR dengan bobot 10,952 %, prioritas ketujuh kondisi baik dengan bobot 10,977 dan terakhir kondisi rusak berat dengan bobot 6,698 %.

3.4. Uji Konsistensi

Eigenvalue maksimum suatu matrik tidak akan lebih kecil dari nilai n sehingga tidak mungkin ada nilai CI yang negative. Untuk mendapatkan nilai *eigen* maksimum, maka dilakukan operasi perkalian matrik antar sub criteria di tinjau dari masing-masing variabel pengaruh (kriteria). Kemudian masing-masing dari hasil operasi matrik tersebut dijumlahkan.

Pengukuran konsistensi dari suatu matrik didasarkan atas suatu *eigenvalue* maksimum. Dengan *Eigenvalue* maksimum, inkonsistensi yang bisa dihasilkan matrik perbandingan, dapat diminimumkan. Makin dekat *Eigenvalue* maksimum dengan besarnya matrik, maka makin konsisten matrik tersebut.

$$CI = \frac{(\lambda_{maks} - n)}{(n-1)}, \text{ dengan } n = 8 \quad (2)$$

$$CI = \frac{(8,315 - 8)}{(8 - 1)} = 0,045$$

Indeks konsistensi kemudian diubah dalam bentuk rasio inkonsistensi dengan cara membaginya dengan suatu indeks random.

$$CR = \frac{0,045}{1,41} = 0,032 (< 0,1 \rightarrow \text{Konsisten}) \quad (3)$$

Dengan didapat nilai CR 0,034 lebih kecil dari 1 maka hasil perhitungan asumsi prioritas yang dilakukan diatas bisa dikatakan konsisten dan akurat.

Tabel 2. Matriks Hasil dari Rata-Rata Ukur Para Responden

Kriteria	Rusak Berat	Rusak	Rusak Sedang	Baik	LHR	Lebar Perkerasan	Jml Kendaraan Berat	Angka LER
Rusak Berat	1,00	0,33	0,56	0,93	0,79	0,61	0,32	0,44
Rusak	3,04	1,00	0,76	1,05	1,13	0,69	0,67	1,12
Rusak Sedang	1,78	1,31	1,00	1,28	0,85	1,34	1,60	0,85
Baik	1,08	0,95	0,78	1,00	0,70	0,68	0,77	0,91
LHR	1,26	0,88	1,18	1,43	1,00	0,49	0,52	0,92
Lebar Perkerasan	1,64	1,45	0,75	1,47	2,02	1,00	0,77	1,74
Jml Kendaraan Berat	3,14	1,49	0,63	1,30	1,91	1,30	1,00	2,92
Angka LER	2,25	0,89	1,18	1,10	1,09	0,57	0,34	1,00

4 KESIMPULAN

Setelah dilakukan seluruh kegiatan penelitian maka dapat diambil kesimpulan bahwa asumsi prioritas penanganan pemeliharaan jalan kabupaten dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dapat dipergunakan untuk menentukan urutan / prioritas pemeliharaan jalan kabupaten.

Kriteria yang memperoleh prioritas paling tinggi adalah kondisi jumlah kendaraan berat dengan bobot 17,793 %, prioritas kedua lebar perkerasan dengan bobot 15,374 %, prioritas ketiga kondisi rusak sedang dengan bobot 14,201 %, prioritas keempat kondisi rusak dengan bobot 12,688 %, prioritas kelima angka LER dengan bobot 11,318 %, prioritas keenam LHR dengan bobot 10,952 %, prioritas ketujuh kondisi baik dengan bobot 10,977 dan terakhir kondisi rusak berat dengan bobot 6,698 %. Maka setelah melihat hasil prosentasenya diurutkan pertama adalah pada kondisi jumlah kendaraan berat, karena menurut responden yang menyebabkan jalan semakin rusak adalah semakin bertambahnya jumlah kendaraan berat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Mengucapkan terimakasih kepada LPPMI ITNY atas pendanaan internal pada penelitian ini sehingga berjalan lancar dan sesuai harapan

REFERENSI

- Dewa, I., (2011), *Penentuan Skala Prioritas Penanganan Jalan Kabupaten di Kabupaten Bangli*. Denpasar: Universitas Udayana Denpasar
- Hidajat, A.N.,(2017), *Penentuan Prioritas Pemeliharaan Jalan Kabupaten Menggunakan Metode Analisis Hirarki Proses (AHP)*, Tesis, Pasca Sarjana Manajemen Konstruksi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Saaty, T.L., (1986), *Proses Hirarki Analitik untuk Pengambilan Keputusan Dalam Situasi yang Kompleks*, Jakarta : PT Pustaka Binman Pressindo
- Sugiyono, (2009), *Metode Penelitian Kuantitatif*, Bandung: Alfabeta
- Suyasa, D.G., (2007), *Penentuan Skala Prioritas Penanganan Jalan Kabupaten Badung dengan Metode AHP* (Tesis), Denpasar: Program Magister Teknik Sipil Universitas Udayana.
- Wahyudiana., (2009), *Penentuan Prioritas Pemeliharaan Jalan Kabupaten Berdasarkan Keetersediaan Alokasi Dana (Studi kasus Jalan Kabupaten di Kabupaten Tulungagung)*, Surakarta: Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Integrasi Fasilitas Transportasi Ramah Lingkungan di Kawasan UGM Menggunakan Metode Analisis Spasial

A. C. Berliani

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
akhbaricintha2018@mail.ugm.ac.id

S. Malkhamah

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

M. Z. Irawan

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

INTISARI

Universitas Gadjah Mada (UGM) sebagai salah satu kampus terluas di Indonesia memiliki tantangan khususnya dalam penataan transportasi di lingkungan kampus. Salah satu visinya yaitu mewujudkan kampus yang nyaman dan layak huni melalui penggunaan transportasi ramah lingkungan di kawasan UGM. Desain kampus yang tidak tertutup menjadikan banyak akses di kawasan UGM dapat dilalui oleh kendaraan masyarakat umum. Hal tersebut tentunya dapat berpengaruh pada kenyamanan, keselamatan, dan keamanan lalu lintas civitas akademika UGM. Fasilitas-fasilitas transportasi ramah lingkungan seperti halte bus Transjogja, sepeda kampus dan jalur pejalan kaki sebenarnya sudah tersedia. Namun, keberadaannya belum terintegrasi dan tidak sesuai dengan harapan civitas akademika UGM. Sehingga moda transportasi kendaraan bermotor pribadi masih mendominasi. Analisis spasial menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.1 pada penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi letak stasiun sepeda kampus dan halte bus Transjogja sesuai dengan harapan civitas akademika UGM serta mengusulkan rute dan lokasi halte bus kampus UGM untuk mewujudkan transportasi ramah lingkungan yang terintegrasi. Sehingga diharapkan dapat meningkatkan minat untuk menggunakan moda transportasi ramah lingkungan di kawasan UGM.

Kata kunci: transportasi, kampus, integrasi, ramah lingkungan

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Universitas di seluruh dunia telah meningkatkan perhatian mereka untuk mendorong penggunaan moda transportasi yang ramah lingkungan di kawasan kampus sebagai bukti adanya peningkatan kesadaran tentang masalah iklim (Limanond, Butsingkorn, & Chermkhunthod, 2011; Shannon, Corti, Pikora dkk., 2006). Penerapan strategi yang mendorong mahasiswa untuk bepergian menggunakan moda transportasi ramah lingkungan tidak hanya berdampak pada lingkungan tetapi juga kesehatan serta potensi dalam mengurangi depresi dan meningkatkan performa akademik (Shannon, dkk., 2006).

Kemauan mahasiswa untuk beralih menggunakan moda transportasi ramah lingkungan seperti berjalan kaki, bersepeda dan menggunakan angkutan umum harus didukung oleh ketersediaan fasilitas yang memadai, menjangkau wilayah asal-tujuan perjalanan mahasiswa dan sesuai dengan harapan. Hal mendasar yang perlu diperhatikan dan menjadi salah satu penentu kesuksesan transportasi adalah pemilihan lokasi sepeda

(Chen, dkk., 2015; Conrow, dkk., 2018; Frade & Ribeiro, 2015; Garcia Palomares, dkk., 2012; Mete, dkk., 2018; Straub, dkk., 2018), penggunaan sistem dan tarif (Conrow, dkk., 2018) dan jumlah sepeda serta rak sepeda (J. Wang, dkk., 2016).

Fasilitas-fasilitas transportasi ramah lingkungan seperti halte bus Transjogja, sepeda kampus, dan jalur pejalan kaki sebenarnya sudah tersedia. Namun, keberadaannya belum terintegrasi dan tidak sesuai dengan harapan civitas akademika UGM. Lokasi stasiun sepeda untuk melakukan proses peminjaman sepeda berada cukup jauh dari fakultas. Sehingga perlu ada evaluasi terkait lokasi stasiun sepeda dan beberapa usulan yang dapat mendukung terwujudnya transportasi ramah lingkungan di kawasan UGM.

Berdasarkan Rencana Induk Kampus (RIK) UGM tahun 2017-2037, salah satu visi UGM yaitu "Kampus menjadi ruang untuk mengaplikasikan ilmu-ilmu transportasi yang ideal dan teknologi terapan yang inovatif sesuai standar yang telah ditetapkan". Sehingga penelitian ini bertujuan untuk merekomendasikan sistem transportasi ramah

lingkungan yang ideal, terintegrasi, dan sesuai dengan harapan civitas akademika UGM.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, dapat diambil perumusan masalah sebagai berikut:

1. Apakah sebaran lokasi stasiun sepeda kampus UGM sudah menjangkau semua fakultas dan sesuai dengan kemauan jarak berjalan kaki mahasiswa?
2. Bagaimana rute angkutan umum (bus kampus) yang dapat menjangkau seluruh kawasan kampus UGM?
3. Bagaimana upaya untuk mewujudkan integrasi transportasi ramah lingkungan di kawasan UGM melalui metode analisis spasial?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi lokasi stasiun sepeda kampus UGM yang tersedia saat ini;
2. Menentukan rute bus kampus yang dapat menjangkau seluruh kawasan kampus UGM;
3. Mengevaluasi dan mengusulkan penempatan halte Bus Transjogja, halte bus kampus, dan lokasi stasiun sepeda yang terintegrasi.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah diperlukan agar ruang lingkup penelitian ini tidak terjadi perluasan dalam pengambilan data dan pembahasan, sehingga tujuan dari penelitian ini dapat tercapai. Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Usulan bus kampus hanya menentukan rekomendasi rute tidak sampai pada jumlah kebutuhan kendaraan dan manajemennya.
2. Halte bus kampus yang diusulkan hanya lokasi penempatan, tidak sampai pada gambar detail.
3. Penelitian tidak melibatkan perhitungan analisis biaya, manajemen lalu lintas dan analisis kinerja jalan.

2 LANDASAN TEORI

2.1 Konsep Integrasi

Integrasi erat kaitannya dengan suatu pelayanan yang berkesinambungan atau terus menerus (*seamless service*). Menurut Badan Litbang Perhubungan Darat, 2010, pelayanan transportasi yang berkesinambungan dapat diartikan sebagai transportasi antar/multi moda yang dapat memindahkan penumpang maupun barang dari titik asal ke titik tujuan diarahkan pada keterpaduan jaringan pelayanan dan jaringan prasarana

(fisik) transportasi dalam bentuk interkoneksi simpul transportasi yang berfungsi sebagai titik temu yang memfasilitasi alih moda. Menurut Malkhamah (2014), salah satu indikator penting integrasi adalah konektivitas, dan konektivitas yang baik berarti 75% dari asal dan tujuan perjalanan terhubung dengan transportasi umum.

Lowry, dkk., (2012) menjelaskan bahwa keterhubungan atau konektivitas infrastruktur sepeda merupakan faktor utama penentu kemauan orang untuk bersepeda (*bikeability*). Lokasi stasiun sepeda harus memperhatikan jarak terhadap lokasi yang menjadi bangkitan dan tarikan perjalanan sehingga pengguna dapat menjangkau dengan mudah dan mau menggunakan sepeda sebagai moda transportasi sehari-hari maupun pada mil pertama dan terakhir (*first and last miles*). Transportasi aktif seperti bersepeda dan berjalan kaki dapat meningkatkan konektivitas *first and last miles* dengan moda transportasi lain (De Maio, 2009).

Dalam Basuki (2009) diuraikan matriks skala prioritas sebagai masukan untuk perbaikan layanan transportasi perkotaan berbasis pada standar pelayanan dan harapan yang diinginkan penumpang terdiri dari 3 (tiga) kategori yaitu ‘sangat penting’, ‘penting’, dan ‘cukup penting’. Jarak berjalan kaki merupakan salah satu indikator yang masuk dalam kategori ‘penting’ terkait konektivitas (Malkhamah, 2018).

2.2 Analisis Spasial

Analisis spasial telah digunakan untuk menganalisis berbagai kasus atau permasalahan di berbagai bidang termasuk bidang transportasi. Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sebuah metode yang didasarkan pada analisis data spasial.

Sulviawan dan Susantono (2012) memberikan definisi informasi geografis yaitu informasi mengenai tempat-tempat yang terletak di permukaan bumi, pengetahuan mengenai posisi dimana suatu obyek terletak di permukaan bumi dan informasi mengenai keterangan-keterangan tambahan (atribut) yang terdapat di permukaan bumi yang posisinya diketahui.

SIG memberikan manfaat yang sangat luas serta mencakup berbagai bidang dan menyediakan berbagai metode analisis yang memudahkan dalam memperoleh preferensi dan alternatif-alternatif kebijakan maupun keputusan, misalnya dalam pemilihan lokasi dan penentuan rute

Secara umum, data spasial dikelompokkan dalam dua format, yaitu data vektor dan data raster. Data vektor adalah data yang mempresentasikan objek dalam bentuk titik, garis, atau area. Sedangkan data raster

merupakan data yang mempresentasikan objek dalam bentuk piksel-piksel. Data berformat vektor ada tiga jenis, yaitu titik, garis, dan polygon. Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data vektor berupa titik stasiun sepeda kampus, halte Bus Transjogja, ruas jalan di kawasan UGM, serta fakultas-fakultas di UGM.

2.3 Analisis Jaringan (*Network Analysis*)

Network analysis merupakan suatu analisis yang menyediakan analisis berbasis jaringan, termasuk analisis rute, arah perjalanan, analisis fasilitas terdekat dan analisis area layanan (Ahmed, dkk., 2017). Untuk menggunakan *network analysis* dapat menggunakan bantuan perangkat lunak ArcGIS. Pada perangkat lunak ArcGIS ada berbagai macam *tools* yang berkaitan dengan *network analysis* yaitu *route*, *service area*, *closest facility*, *cost matrix*, *vehicle routing problem*, dan *location-allocation*. Dalam penelitian ini *tools* pada *network analysis* yang digunakan adalah *route*.

3 METODE PENELITIAN

3.1 Pemetaan Sebaran Stasiun Sepeda Kampus dan Halte Transjogja

Untuk melakukan analisis jaringan menggunakan perangkat lunak ArcGIS memerlukan data jalan yang sudah topologi serta beberapa lokasi atau titik yang akan dianalisis diantaranya yaitu halte Transjogja, fakultas-fakultas di UGM, stasiun sepeda, serta lokasi parkir kendaraan bermotor. Penelitian ini menggunakan bantuan perangkat lunak ArcGIS 10.3 untuk melakukan analisis jaringan dan pembuatan peta untuk visualisasi.

Pemetaan sebaran stasiun sepeda kampus dan halte Transjogja di sekitar Kawasan UGM dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak *Avenza PDF Maps*. Perangkat lunak tersebut dapat membaca koordinat posisi, menginput koordinat, menghitung Panjang garis, menghitung luas polygon, menambahkan foto ber-geotag (foto yang diambil saat GPS aktif), dan sebagainya. Peta berbentuk file PDF dapat dimasukkan sebagai latar belakang pada saat akan melakukan *geo-tagging* di lapangan. Kemudian hasil survei di ekspor ke dalam format KML agar bisa dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan perangkat lunak ArcGIS.

3.2 Pengukuran Jarak Stasiun Sepeda Kampus ke Fakultas

Pengukuran jarak stasiun sepeda kampus ke fakultas dilakukan untuk mengevaluasi apakah jarak berjalan kaki yang harus ditempuh oleh mahasiswa masih dalam batas yang diharapkan atau tidak. Untuk mengetahui

jarak stasiun sepeda kampus ke fakultas menggunakan *tools route* pada *network analysis*. Perangkat lunak tersebut akan memilih rute terpendek dan jarak dapat diketahui.

3.3 Hirarki Jalan di Kawasan UGM

Hirarki jalan tersebut menjadi dasar dalam penentuan rute bus kampus UGM. Dalam masterplan Transportasi Kampus 2013 – 2022 telah ditentukan konsep hirarki jalan di kawasan UGM dengan rincian sebagai berikut:

- Akses utama: semua jalur yang menuju gedung pusat
- Akses pengumpan: jalur yang menghubungkan antar klaster
- Akses pintas: jalan pejalan kaki yang merupakan rute terpendek melalui gedung dan lorong gedung.
- Akses umum: jalan yang difungsikan untuk mengalihkan lalu lintas yang akan melalui UGM.

3.4 Analisis Rute Bus Kampus UGM

Pada *network analysis* terdapat fungsi *optimum routing* yang digunakan untuk mencari rute-rute menuju banyak lokasi dalam sekali jalan. *Tools* yang digunakan adalah *route*. Ekstensi tersebut digunakan untuk menemukan rute terbaik untuk bergerak dari suatu lokasi ke lokasi lain Rute terbaik dapat berarti terdekat atau tercepat. Analisis rute bus kampus UGM menentukan rute terbaik berdasar pertimbangan rute tercepat dan dapat menjangkau seluruh kawasan kampus UGM.

Titik fakultas-fakultas yang ada di kawasan UGM perlu dilakukan digitasi ulang menempel pada jaringan jalan terdekatnya agar dapat dilakukan analisis lebih lanjut. Untuk memunculkan *new route* atau rute baru dilakukan menggunakan ikon *solve*, maka akan muncul rute terdekat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Evaluasi Lokasi Stasiun Sepeda Kampus

Evaluasi lokasi stasiun sepeda kampus dilakukan berdasarkan hasil analisis buffer. Buffer merupakan salah satu fasilitas pada perangkat lunak ArcGIS yang memungkinkan untuk membuat suatu Batasan area tertentu dari obyek yang diinginkan.

Tabel 1. Jarak stasiun sepeda kampus ke fakultas

Stasiun Sepeda	Lokasi UGM	Jarak jalan (m)
Stasiun Teknik	Teknik Kimia	80
	Teknik Mesin dan Industri	110

Stasiun Sepeda	Lokasi UGM	Jarak jalan (m)
	Teknik Elektro dan teknologi informasi	218
	Arsitektur dan Perencanaan	314
	Teknik Sipil dan Lingkungan	131
	Teknik Geologi	132
	Teknik Nuklir dan Fisika	286
	Teknik Geodesi	410
	Diploma Teknik Mesin	99
Stasiun Pasca Sarjana	Pasca Sarjana	99
Stasiun Taman Biologi	Fakultas Biologi	265
	Fakultas MIPA	302
	Fakultas Geografi	389
Stasiun Kesehatan	Fakultas Kedokteran Gigi	139
	Fakultas Kedokteran	358
	Fakultas Farmasi	747
Stasiun Perpustakaan	Perpustakaan Pusat	50
	Fisipol	142
	FEB	263
	FIB	245
Stasiun Pertanian	Fakultas Kehutanan	153
	Fakultas Pertanian	278
	Fakultas Teknologi Pertanian	344
Stasiun Lembah	Fakultas Hukum	185
	Fakultas Filsafat	205
	Fakultas Psikologi	397
Stasiun Tevesia	D3 Ekonomi Bisnis	45
	Masjid Kampus	229
Stasiun Vokasi	Sekolah Vokasi	16
	MAP Fisipol	410
Stasiun Agro Fauna	Fakultas Kedokteran Hewan	66
	Fakultas Peternakan	316

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa terdapat beberapa stasiun sepeda yang jaraknya lebih dari 100-200 meter. Hal tersebut tidak sesuai dengan kemauan berjalan kaki mahasiswa UGM yang maksimal pada kisaran jarak 100-200 meter.

4.2 Sebaran Lokasi Tempat Tinggal Mahasiswa UGM
Sebaran tempat tinggal mahasiswa UGM dikelompokkan ke dalam kategori: 'sangat dekat' (≤ 1 Km), 'dekat' (1,1-2,5 Km), 'sedang' (2,6-5 Km), 'jauh' (5,1-10 Km) dan 'sangat jauh' (>10 Km). Dari 582 mahasiswa UGM yang diwawancarai secara acak dan tersebar dari beberapa fakultas, sebagian tempat tinggal mahasiswa UGM berada dalam radius ≤ 1 Km (32%) dan radius 1,1 – 2,5 Km (33%). Sisanya yaitu 13% berada pada radius 2,6-5 Km, dan sisanya berada dalam radius 5,1-10 Km dan lebih dari 10 Km.

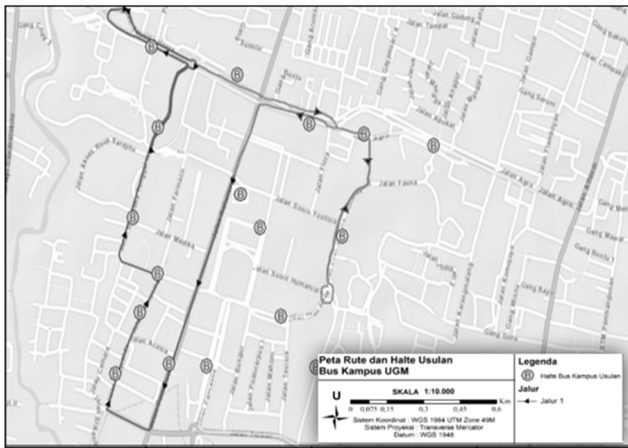
4.3 Rekomendasi Rute Bus Kampus UGM

Berdasarkan hasil wawancara, sebagian besar mahasiswa UGM tinggal di sekitar kawasan kampus. Hal tersebut merupakan potensi untuk diadakannya bus kampus untuk mengurangi penggunaan kendaraan pribadi. Dari hasil analisis terdapat 2 (dua) usulan rute bus kampus yang dapat menjangkau semua fakultas di kawasan UGM dan beberapa wilayah di sekitarnya yang merupakan tempat tinggal mahasiswa UGM. Ketiga alternatif rute tersebut melewati beberapa ruas jalan di kawasan UGM sebagaimana dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

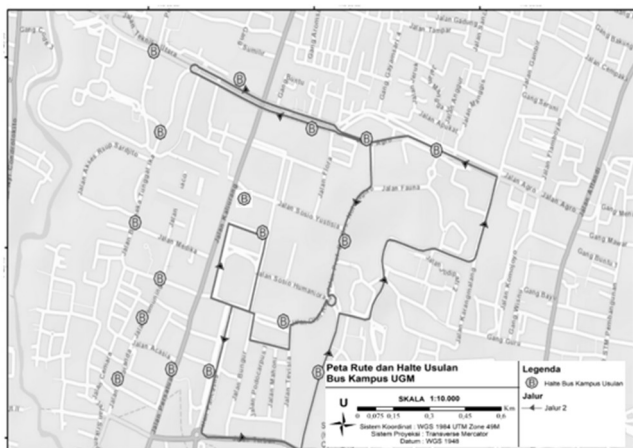
Tabel 2. Rekomendasi rute bus kampus UGM

Rute	Jalur yang dilewati	Panjang Rute (Km)
Rute 1	Jl. Jembatan Baru UGM – Jl. Agro – Jl. Olahraga – Jl. Persatuan – Jl. Yacaranda – Jl. Kemuning – Jl. Bhinneka Tunggal Ika – Jl. Kesehatan – Jl. Prof. Dr. Sardjito,	6,4
Rute 2	Jl. Teknik Selatan – Jl. Teknik Utara – Jl. Olahraga – Jl. Tevesia – Jl. Bhinneka Tunggal Ika – Jl. Nusantara – Utara GSP – Barat GSP – Jl. Pancasila – Jl. Colombo – Jl. Prof. Dr. Notonagoro – Jl. Lembah UGM – Jl. Karangmalang – Jl. Agro	6,8

Rekomendasi rute bus kampus dapat dilihat pada Gambar 1 – 2 di bawah ini:



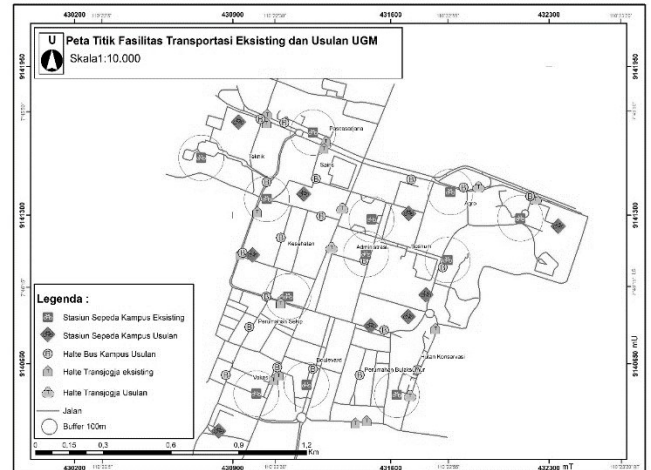
Gambar 1. Peta rekomendasi rute 1 dan halte bus kampus UGM



Gambar 2. Peta rekomendasi rute 2 dan halte bus kampus UGM

4.4 Pemetaan Lokasi Fasilitas Transportasi yang Terintegrasi

Sebagaimana telah disebutkan pada poin 2.1 bahwa keberhasilan integrasi dan konektivitas salah satunya ditentukan berdasarkan jarak berjalan kaki. Pemetaan lokasi fasilitas transportasi dilakukan berdasarkan hasil analisis buffer dengan jangkauan 100 meter sebagaimana yang paling banyak dipilih oleh mahasiswa UGM. Peta tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta integrasi fasilitas transportasi di kawasan UGM

Dari hasil analisis sebagaimana digambarkan pada peta di atas, terdapat beberapa usulan fasilitas transportasi seperti stasiun sepeda kampus baru, halte bus kampus, dan halte transjogja baru sebagaimana dijabarkan pada Tabel 3. Fasilitas-fasilitas tersebut mendukung terwujudnya integrasi fasilitas transportasi ramah lingkungan di kawasan UGM.

Tabel 3. Usulan fasilitas transportasi baru

Jenis Usulan Fasilitas Baru	Jumlah
Stasiun sepeda kampus	9
Halte Bus kampus	17
Halte Transjogja	5

Selain itu, berdasarkan hasil observasi di lapangan masih terdapat beberapa ruas jalan yang terhubung dengan fasilitas transportasi di atas yang belum memiliki fasilitas pejalan kaki. Diantaranya yaitu Jl. Taman Biologi, Jl. Pancasila, Jl. Prof. Dr. Drs. Notonegoro, Jl. Fauna, Jl. Agro, Jl. Kemuning, Jl. Yacaranda, dan Jl. Prof. Dr. Sardjito. Jl. Vokasi dan Jl. Fauna.

5. KESIMPULAN

Transportasi ramah lingkungan merupakan suatu gerakan yang mendorong penggunaan teknologi ramah lingkungan untuk memenuhi kebutuhan transportasi. Konsep tersebut dapat diwujudkan dalam bentuk peningkatan fasilitas bersepeda, berjalan kaki, serta penyediaan transportasi massal yang murah dan ramah lingkungan.

Beberapa lokasi stasiun sepeda kampus dimana dapat dilakukan proses peminjaman dan pengembalian sepeda terletak jauh dari fakultas. Hal tersebut menjadi salah satu alasan mahasiswa enggan menggunakan moda transportasi tersebut. Sehingga perlu adanya

penambahan lokasi stasiun sepeda kampus yang lebih dekat ke fakultas. Sebaran tempat tinggal mahasiswa UGM yang sebagian besar berada di sekitar kawasan UGM merupakan potensi untuk diselenggarakannya bus kampus yang mengakomodir kebutuhan perjalanan mahasiswa ke kampus. Sehingga penggunaan kendaraan pribadi dapat berkurang dan transportasi ramah lingkungan dapat terwujud. Berdasarkan hasil analisis terdapat 2 (dua) rekomendasi rute bus kampus yang dapat menjangkau kawasan UGM dan tempat tinggal mahasiswa yang ada di sekitarnya.

REFERENSI

- Ahmed, S., Ibrahim, R.F. dan Hefny, H.A. (2017). "GIS-based network analysis for the roads network of Greater Cairo area," *CEUR Workshop Proceedings*, 2144.
- Basuki, I. dan Malkhamah, S. (2009). Penentuan Prioritas Penanganan Kinerja Pelayanan Angkutan Perkotaan. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 3*: 17 – 24.
- Chen, L., Zhang, D., Pan, G., Ma, X., Yang, D., Kushlev, K., Li, S. (2015). "Bike sharing station placement leveraging heterogeneous urban open data". *ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, Osaka, Japan.
- Conrow, Murray, A.T., & Fischer, H.A. (2018). "An optimization approach for equitable bicycle share station siting". *Journal of Transport Geography*, 69, 163-170.
- De Maio, P., (2009). "Bike-sharing: history, impacts, models provision, and future". *Journal of Public Transportation*, 12 (4). 41-56.
- Lowry, M.B., Calliestwr, D., Gresham, M., & Moore, B., (2012). Assessment of Community wide bikeability with Bicycle Level of Service. *Transportation Research Record*, 2314 (1), 41-48.
- Malkhamah, S. (2014). Transportasi sebagai Sumber Permasalahan atau sebagai Motor Penggerak Perekonomian dan Kehidupan Masyarakat. *Dalam Bunga Rampai Dewan Riset daerah DIY 2014*. Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta dan DRD DIY.
- Malkhamah, S. (2018). Yogyakarta City Transport Service Planning for Integration with Existing Transport. *Jurnal Tekno Sains 8*: 1 - 88
- Shannon, T., Corti, B.G., Pikora, T., Bulsara, M., Shilton, T., & Bull, F. (2006). "Active Commuting in a University Setting: Assessing Commuting Habits and Potential for Modal Change. *Transport Policy*, 240 – 253.
- Straub, M., Rudloff, C., Graser, A., Kloimullner C., Raidl, G.R., Pajones, M., & Beyer, F., (2018). Semi-automate location planning for urban bike-sharing systems. *Paper presented at the 7th Transport Research Arena TRA 2018*, Vienna.
- Sulviawan, A.P., Susantono, B., (2012). Pemodelan Rute Bus Kampus UNDIP Tembalang dengan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG). *Jurnal Teknik PWK*, Vol. I Nomor I.

Pemetaan Multi-rawan Bencana Berbasis GIS dan Identifikasi Kerusakan Ruas Jalan Menggunakan Metode PCI (Studi Kasus: Jalan Parangtritis KM.8 sd KM.12)

Emil Adly

Departemen Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, INDONESIA
emil@umy.ac.id

Anita Rahmawati

Departemen Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, INDONESIA
Anita.rahmawati@umy.ac.id

H. L. I. Purbasari

Departemen Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, INDONESIA
hanna.laksmi@gmail.com

H. Hendrardi

Departemen Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, INDONESIA
Herjuniarto19696@gmail.com

INTISARI

Peristiwa bencana alam dapat terjadi secara tiba-tiba tanpa dapat diprediksi secara akurat, kapan dan dimana peristiwa tersebut akan terjadi dan seberapa besar kekuatan serta dampaknya. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengidentifikasi dan memetakan tingkat kerawanan bencana pada ruas Jalan Parangtritis KM.8 – KM.12 dengan menggunakan *Software ArcGIS*, serta mengidentifikasi kerusakan pada ruas jalan menggunakan metode *Pavement Condition Index (PCI)*. Pemetaan tingkat kerawanan bencana dilakukan terhadap empat jenis bencana yaitu banjir, amblesan, tanah longsor, dan gempa bumi dengan pendekatan bentanglahan serta metode skoring dan pembobotan. Hasil pemetaan menunjukkan bahwa bencana yang memiliki potensi tinggi adalah bencana banjir dan amblesan, gempa bumi tingkat kerawanan sedang dan tanah longsor berpotensi rendah, sehingga metode PCI didasarkan pada peta kerawanan bencana banjir sepanjang 1,5 km, karena bencana tersebut adalah bencana yang paling berpengaruh terhadap fungsi ruas jalan dan dapat mengganggu kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan. *PCI* yang dilakukan sepanjang 1,5 KM, dimulai dari sta.8+000 s.d sta.9+000 dan sta.11+200 s.d sta.11+700 dan di dapatkan nilai tingkat kerusakan jalan yang berpotensi terhadap kerawanan banjir tinggi sebesar 41,53 (sedang).

Kata kunci: *ArcGIS*, Bencana, Multi-Rawan, *PCI*, Pemetaan

1 PENDAHULUAN

Posisi geografis Indonesia diapit dua samudera besar dunia, samudra Hindia dan samudra Pasifik, dan posisi geologisnya merupakan pertemuan dari 3 lempeng utama dunia selain itu banyaknya gunung berapi di Indonesia menyebabkan rawan akan terjadinya bencana alam. Menurut UU RI No.24 Th.2007, bencana merupakan peristiwa yang dapat mengancam dan mengganggu kehidupan masyarakat, disebabkan oleh faktor alam atau non alam sehingga menimbulkan korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.

Bencana alam dapat terjadi tiba-tiba tanpa dapat diprediksi secara akurat kapan dan dimana peristiwa tersebut akan terjadi. Jalan raya termasuk infrastruktur pendukungnya juga tidak lepas dari potensi bencana alam dan dapat membahayakan pengguna jalan.

Kejadian bencana selalu menimbulkan banyak kerugian baik berupa materi dan korban jiwa, sehingga perlu adanya upaya untuk menghadapi ancaman bahaya dan meningkatkan kehati-hatian.

Yogyakarta khususnya Kab. Bantul juga memiliki potensi ancaman bencana didalamnya, data laporan (BPBD, 2016) Kabupaten Bantul pada triwulan pertama tahun 2016 menunjukkan terdapat 53 kejadian bencana. Menurut data histori ruas Jalan Parangtritis juga memiliki tingkat kerawanan terhadap beberapa bencana, selain itu kondisi jalan tersebut juga memiliki berbagai jenis kerusakan, sehingga perlu adanya pengujian terhadap kondisi kerusakan pada ruas jalan dengan menggunakan metode *Pavement Condition index (PCI)*.

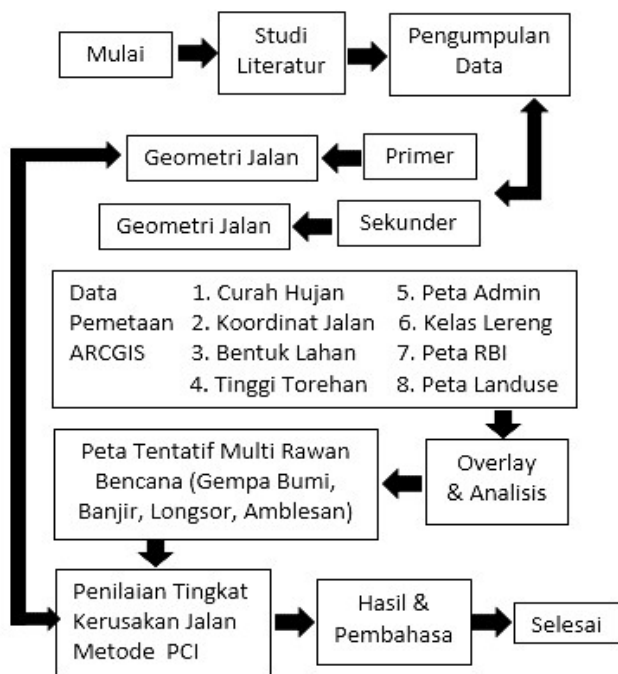
Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menentukan dan memetakan tingkatan kelas

kerawanan bencana pada ruas jalan Parangtritis KM 8 – KM 12, serta mengidentifikasi kerusakan pada titik yg merupakan daerah rawan bencana dengan menggunakan *PCI*. Studi identifikasi daerah multi-rawan bencana pada ruas Jalan Parangtritis, Kabupaten Bantul dilakukan terhadap 4 jenis bencana yaitu banjir, tanah longsor, amblesan dan gempa bumi yang kemudian dipetakan menggunakan *Software ArcGIS*. Selain itu penelitian ini juga dapat dijadikan database berbasis *GIS* untuk dapat dikembangkan dengan skala yang lebih besar dan detail.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alur Penelitian

Bagan alur dan tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Alur dan tahap penelitian penelitian.

2.2 Metode Pemetaan

Metode yang digunakan adalah metode pedekatan bentanglahan (*Landscape analysis*) atau pendekatan dengan faktor geomorfologi, sehingga didapatkan suatu daerah yang mempunyai karakter yang sama. Metode skoring digunakan untuk melakukan penilaian terhadap tiap parameter potensi bencana yang mungkin dapat timbul dan terjadi. Sedangkan pembobotan untuk menilai parameter manakah yang lebih berpengaruh dibanding parameter lainnya.

Menurut Peraturan BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana) Nomor 2 tahun 2012, indeks ancaman bencana disusun berdasarkan dengan komponen kemungkinan terjadinya suatu ancaman dan

besaran dampak yang pernah tercatat. Kemudian dari Indeks tersebut dilakukan penyusunan.

2.3 Curah Hujan

Data curah hujan didapatkan dari Badan Pusat Statistik (BPS) berupa curah hujan tahunan (mm/tahun). Data curah hujan kemudian diolah menjadi *polygon theisen* untuk mengetahui persebarannya dan klasifikasinya dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 1. Klasifikasi dan skoring intensitas curah hujan

Kelas	Intensitas (mm/Tahun)	Klasifikasi	Skor
I	0-1500	Sangat Rendah	0
II	1500-2000	Rendah	1
III	2000-2500	Sedang	2
IV	2500-3000	Tinggi	3
V	>3000	Sangat Tinggi	4

2.4 Kelas Lereng

Klasifikasi kelas lereng berdasarkan data *Digital Elevation Model (DEM)* dengan ketelitian 7 m. Data *DEM* tersebut kemudian diolah dengan menggunakan *software ArcGIS*. Sehingga dapat diklasifikasikan dan untuk skoring kemiringan kelas lereng dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Klasifikasi dan skoring terhadap kelas lereng

Kelas	Kemiringan (%)	Klasifikasi	Skor
I	0-8	Datar	0
II	8-15	Landai	1
III	15-25	Agak Curam	2
IV	25-45	Curam	3
V	>45	Sangat Curam	4

2.5 Kelas Torehan

Data tingkat torehan diperoleh dari peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) yang berupa *shapefile* bersumber dari Badan Informasi Geospasial - Ina Geoportal. Yang kemudian diidentifikasi dengan menggunakan *ArcGIS* dan didapatkan klasifikasi dan skoring tingkat kelas lereng dan torehan sebagai berikut.

Tabel 3. Klasifikasi dan skoring tingkat torehan

Kelas	Tingkat torehan	Skoring
I	Datar	1
III	Bergelombang	2
IV	Perbukitan	3

2.6 Klasifikasi Bentuk dan Tata Guna Lahan

Data bentuk dan tata guna lahan diperoleh dari peta kontur dan administrasi RBI. Yang kemudian diidentifikasi dengan ArcGIS dan didapatkan klasifikasi dan skoring sebagai berikut.

Tabel 4. Klasifikasi dan skoring bentuk dan tata guna lahan (Bintari, 2018)

Parameter	Nilai Skroing Tiap Kategori		
	(1)	(2)	(3)
Penggunaan Lahan	Hutan Lindung, Hutan Alam	Kebun, Campuran, Semak Belukar	Rawa, Tambak, Pemukiman
Bentuk Lahan	Dataran Bergelombang, Miring	Dataran Aluvial	Dataran Banjir, Teras, Lembah

2.7 Pavement Condition Index (PCI)

PCI merupakan penilaian kondisi perkerasan jalan secara visual yang dapat digunakan sebagai acuan dalam usaha pemeliharaan jalan, penilaian berdasarkan pada tingkat dan luas kerusakan yang terjadi.

Metode PCI memberikan informasi kondisi saat survei, dengan melakukan survei kondisi secara periodik, informasi kondisi perkerasan dapat berguna untuk prediksi kinerja di masa mendatang, Pramono (2016).

Nilai *PCI* memiliki rentang 0 sampai 100, dengan kriteria sempurna (*excellent*), sangat baik (*very good*), baik (*good*), sedang (*fair*), jelek (*poor*), sangat jelek (*very poor*) dan gagal (*failed*) (Suswandi dkk., 2008).. *Pavement condition index scale* dapat dilihat di bawah ini :

100 - 85	<i>Excellent</i>
84 - 70	<i>Very Good</i>
69 - 55	<i>Good</i>
40 - 54	<i>Fair</i>
39 - 25	<i>Poor</i>
24 - 10	<i>Very Poor</i>
9 - 0	<i>Failed</i>

Gambar 2. *Pavement condition index scale*.

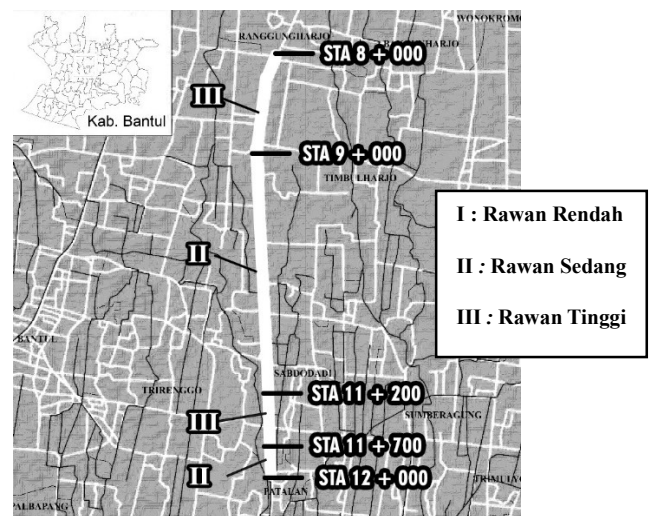
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan tingkat kerawanan bencana dibagi menjadi 3 kategori yaitu, tingkat kerawanan rendah dengan

warna hijau, rawan sedang dengan warna kuning dan merah yang berarti rawan tinggi.

3.1 Peta Kerawanan Banjir

Identifikasi terhadap bencana banjir digunakan 3 parameter yaitu data curah hujan Kabupaten Bantul dari BPS (Badan Pusat Statistika), data DEMNAS untuk dapat menentukan kelas lereng, dan data hipsografi untuk menentukan bentuk lahan. Gambar di bawah menunjukkan pada KM 8 s.d KM 9 dan pada KM 11,2 s.d KM 11,7, pada titik tersebut memiliki tingkat kerawanan banjir yang tinggi.



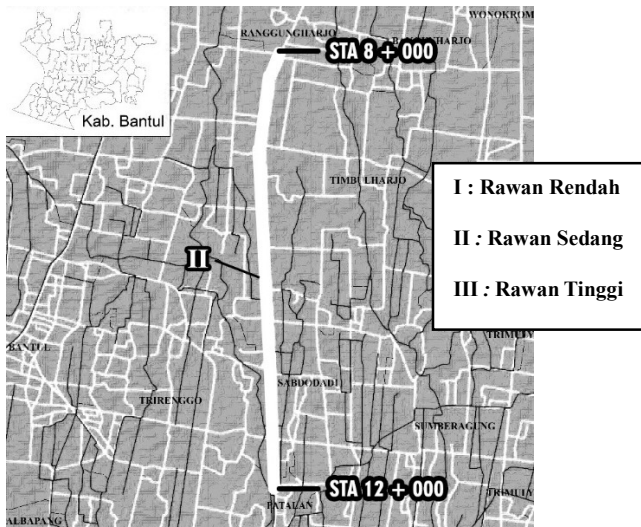
Gambar 3. Peta tentatif tingkat kerawanan terhadap bencana banjir Jalan Parangtritis KM.8- KM.12.

Hal tersebut terjadi dikarenakan lokasi memiliki tingkat curah hujan yang cukup tinggi, termasuk dataran aluvial dan terletak pada dataran rendah, selain itu histori pada daerah tersebut sering terjadi banjir, dan yang terbesar terjadi pada November 2017. Penyebab banjir dan lamanya genangan tidak hanya disebabkan oleh meluapnya air sungai, akan tetapi tingkat curah hujan yang tinggi dan fluktuasi muka air laut pada dataran aluvial, serta pertemuan sungai dengan dataran aluvial Dibyosaputro (1984). Selain itu parameter kemiringan lereng juga merupakan faktor yang berpengaruh terhadap bencana banjir. Selain tingkat curah hujan yang tinggi jenis lereng yang datar merupakan faktor kedua yang sangat berpengaruh terhadap bencana banjir, Danumah dkk. (2016).

3.2 Peta Kerawanan Gempa Bumi

Identifikasi kerawanan bencana gempa bumi dilakukan dengan menggunakan peta gempa bumi 2017 dari BPBD Kabupaten Bantul, dimana kelas rawan dirubah menjadi tiga kelas yaitu, rawan rendah, rawan sedang, dan rawan tinggi, lalu dilakukan *overlay* pada lokasi penelitian. Gambar dibawah ini menjelaskan seluruh ruas jalan Parangtritis KM.8 – KM.12 termasuk dalam

kelas kerawanan sedang yang ditandai dengan warna kuning seperti gambar di bawah.

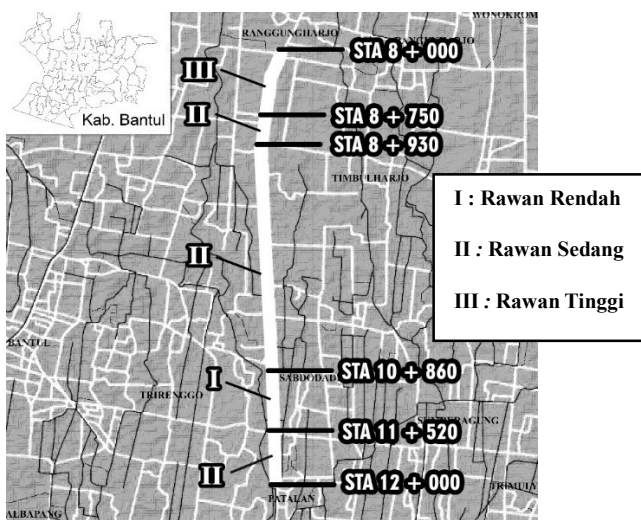


Gambar 4. Peta tentatif tingkat kerawanan terhadap bencana gempa bumi Jalan Parangtritis KM.8- KM.12.

Hasil tersebut diperkuat dengan kejadian gempa bumi di masa lalu yaitu 27 mei 2006 yang melanda Yogyakarta dan Kabupaten Bantul khususnya bagian timur dan selatan mengalami tingkat kerusakan yang paling parah dan korban jiwa terbanyak diantara daerah yang lain, selain itu pusat gempa pada saat itu berlokasi tidak begitu jauh dari lokasi penelitian. Aktivitas Sesar Opak adalah yang melatarbelakangi terjadinya gempa bumi Yogyakarta 27 mei 2006, posisi sumber gempa bumi belokasi 10 KM Kabupaten Bantul bagian timur (Sulaeman, 2008).

3.3 Peta Kerawanan Amblesan

Identifikasi tingkat kerawanan bencana amblesan menggunakan 2 parameter yaitu tataguna lahan dan bentuk lahan. Hasil pemetaan dapat dilihat di bawah.



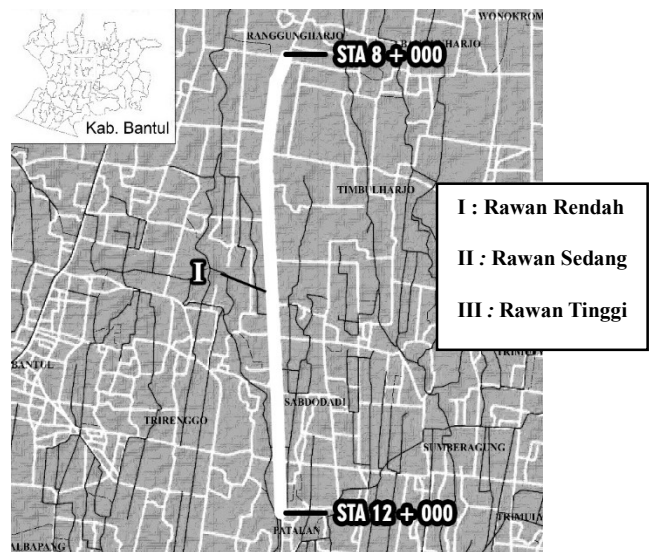
Gambar 5. Peta tentatif tingkat kerawanan terhadap bencana Amblesan Jalan Parangtritis KM.8- KM.12.

Gambar di atas menunjukkan rawan sedang hanya terjadi pada sekitar km 8,75 s.d KM 8,93 dan pada KM 10,86 s.d KM 11,52. Total daerah yang terkena rawan tinggi pada ruas jalan sebesar 1,3 KM dan sebesar 2,7 KM termasuk kedalam kelas rawan tinggi.

Tingginya tingkat amblesan disebabkan oleh banyaknya perubahan tata guna lahan, yang sebelumnya area genangan dan resapan air menjadi pemukiman penduduk yang padat, selain itu area tersebut cukup dekat dengan daerah pantai dan merupakan dataran aluvial yang memiliki tingkat rawan amblesan tinggi. Dataran aluvial merupakan jenis dataran yang rawan dengan bencana amblesan, adanya perubahan penggunaan lahan yang sebelumnya lahan tambak atau area genangan air menjadi pemukiman warga merupakan faktor penyebab bencana amblesan, semakin mendekati daerah pantai maka tingkat amblesan juga akan semakin besar, Soedarsono (2011).

3.4 Peta Kerawanan Tanah Longsor

Identifikasi tingkat kerawanan tanah longsor didasarkan pada parameter kelas lereng, curah hujan, dan tingkat torehan.

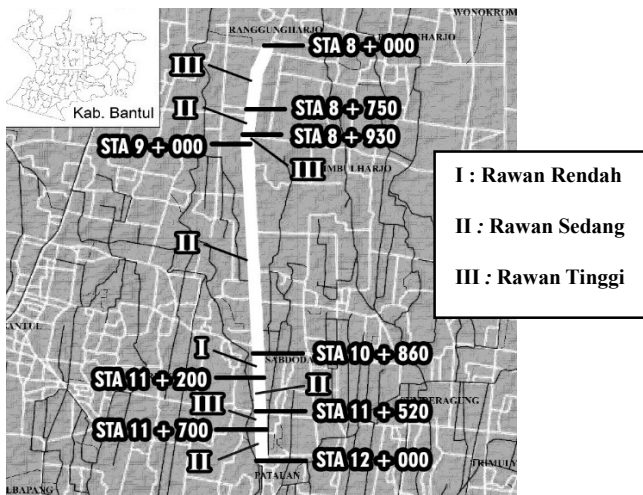


Gambar 6. Peta tentatif tingkat kerawanan bencana tanah longsor Jalan Parangtritis KM.8- KM.12.

Dari peta di atas menunjukkan bahwa seluruh area penelitian mempunyai tingkat kerawanan yang rendah. Hal tersebut karena pada ruas Jalan Parangtritis memiliki kelas lereng yang landai dan bentuk lahan yang datar. Tanah longsor biasa terjadi pada dataran dengan elevasi tanah yang tinggi, kelas lereng yang curam dan tingkat torehan bergelombang. Tingkat bencana tanah longsor tertinggi di Indonesia terjadi pada daerah dataran tinggi yang memiliki jenis topografi kasar dengan relief perbukitan bergelombang dan curam, Rahmad dan Nurman (2018).

3.5 Peta Multi Rawan Bencana

Peta tentatif multi-rawan bencana merupakan hasil gabungan dari empat peta bencana yang sudah dipetakan. Peta tersebut menampilkan daerah mana saja yang berpotensi terkena lebih dari satu jenis bencana. Tingkatan multi kerawanan bencana didapatkan melalui penjumlahan skor dari empat bencana tersebut. Hasil Pemetaan dapat dilihat pada gambar di bawah ini

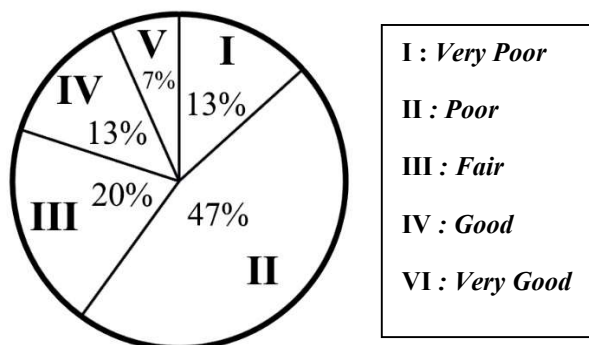


Gambar 7. Peta tentatif multi rawan bencana pada ruas Jalan Parangtritis KM.8 – KM.12.

Gambar diatas menjelaskan pada ruas jalan KM 8- KM 8,75, KM 8,93 – KM 9, KM 11,52 - KM 11,7 termasuk kedalam kelas rawan tinggi, sedangkan tingkat rawan sedang pada KM 8,75 – KM 8,93, KM 9 – KM 10,86 KM 11,2 – KM 11,52 , dan pada KM 11,7 – KM 12. Dan sisanya pada KM 10,86 – KM 11,2 termasuk kedalam rawan bencana rendah.

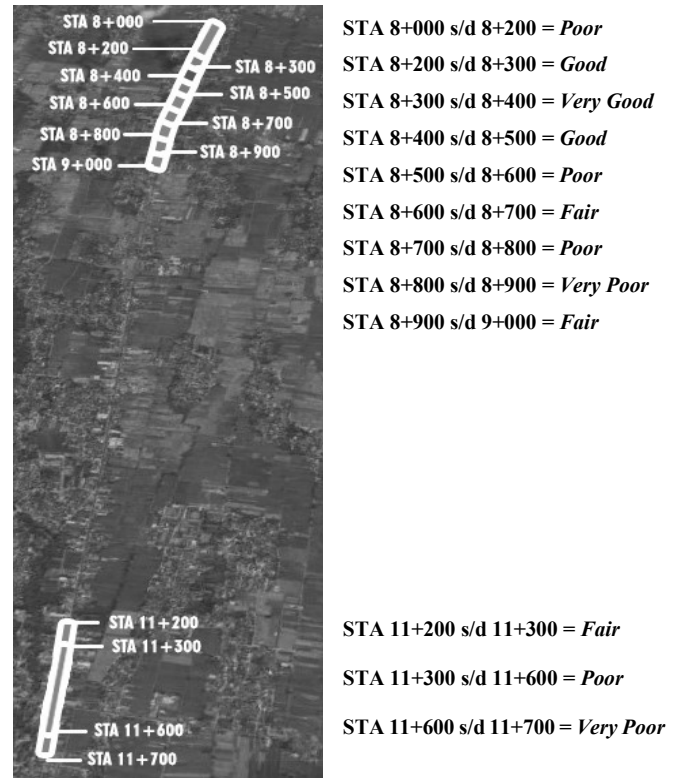
3.6 Hasil Penilaian Pekerasan Jalan Metode PCI

PCI dilakukan berdasarkan peta kerawanan banjir, hasil survei menunjukkan bahwa 47 % area yang dilakukan PCI didapatkan indeks perkerasan dengan kondisi *Poor* (buruk) dan hanya 7% yang memiliki indeks pekerasan *Very Good* (sangat baik). Persen indeks perkerasan dapat dilihat pada gambar di bawah.



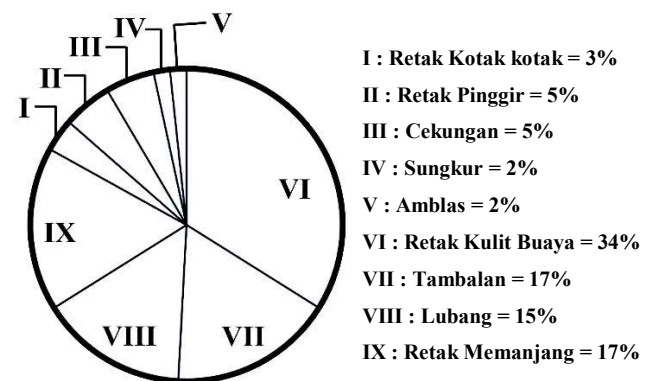
Gambar 8. Persen *Index Scale* kondisi perkerasan jalan.

Pada perhitungan rata-rata didapatkan nilai 41,53 yang menunjukkan ruas area penelitian termasuk ke dalam kategori kerusakan *fair* (Sedang). Di bawah ini adalah gambar titik stasioning yang dilakukan pengujian *PCI* berserta tingkat kerusakannya.



Gambar 9. Kondisi kerusakan jalan pada tiap titik.

Jenis kerusakan yang paling banyak ditemui pada area penelitian adalah retak kulit buaya, tambalan, retak memanjang dan lubang. Pengujian PCI tersebut didasarkan pada peta kerawanan banjir dikarenakan menurut histori ruas jalan tersebut sering terendam banjir saat musim hujan, terjadinya pada banjir November 2017 membuat banyak jalan yang rusak dan berlubang yang kemudian diperbaiki dengan cara dilakukan penambalan, sehingga jenis kerusakan tambalan banyak ditemui. Untuk persen dan jenis kerusakan dapat dilihat pada diagram di bawah ini.



Gambar 10. Persen jenis kerusakan yang terjadi.

Hatmoko (2017) mengatakan banjir yang terjadi pada ruas jalan dengan waktu yang lama akan merusak ikatan antara aspal dan agregat yang akan mengakibatkan pelepasan agregat dan dapat berlanjut menjadi kerusakan berlubang. Jalan yang berlubang akan menginisiasi untuk melakukan perbaikan dengan metode tambalan (*Patching*). Penambalan adalah tindakan korektif, akan tetapi justru menjadikan salah satu jenis kerusakan, karena metode penambalan hanya merupakan metode sementara yang membuat jalan tidak dapat rata seperti semula.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis dan pemetaan kerawanan banjir yang dilakukan, menunjukkan area penelitian termasuk dalam tiga kelas kerawanan terhadap bencana banjir rendah, sedang maupun tinggi. Namun kerawanan tinggi dan sedang mendominasi pada ruas jalan tersebut. Analisis kerawanan pada bencana amblesan menunjukkan area penelitian memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap bencana amblesan. Sedangkan pemetaan kerawanan terhadap gempa bumi dengan tingkat kerawanan sedang, dan tanah longsor dengan tingkat rendah. Analisis dan pemetaan multi rawan bencana menunjukkan terdapat tingkat multi rawan yang beragam. Namun kerawanan sedang dan tinggi mendominasi.

Pengujian PCI yang dilakukan sepanjang 1500 m menunjukkan ada 9 jenis kerusakan yang ditemui pada ruas jalan tersebut, namun jenis kerusakan yang sangat mendominasi adalah retak kulit buaya, retak memanjang dan tambalan. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan hasil pada ruas jalan tersebut termasuk ke dalam kondisi kerusakan sedang (*fair*).

Adanya penelitian multi-rawan bencana dapat memberikan informasi kepada masyarakat agar lebih berhati-hati, serta data ini dapat digunakan sebagai acuan instansi terkait dan pemerintah dalam upaya menentukan langkah-langkah mitigasi bencana. Serta memberi kesiapan dalam menghadapi kejadian bencana alam, di era yang sekarang masyarakat dituntut tidak hanya memberikan respon setelah bencana itu terjadi, akan tetapi dapat melakukan manajemen bencana dan mitigasi, seperti yang dilakukan di kebanyakan negara maju saat ini.

REFERENSI

Bintari, L.N., 2018, Pemetaan Multi-rawan Bencana Jalur Kereta Api Lintas Cirebon-Semarang Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG), *Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta*.

BNBP. (2012). Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Tentang Daftar Isi Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko 2 . Lampiran Peraturan.

Danumah, J. H., Odai, S. N., Saley, B. M., Szarzynski, J., Thiel, M., Kwaku, A., & Akpa, L. Y. (2016). Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques, (cote d'ivoire). *Geoenvironmental Disasters*, 3(1), 10.

Dibiyosaputro, P. 1984. Flood Susceptibility and Hazard Survey of The Kudus Prawata-Welahan. Area, Central Java, Indonesia. *Thesis. ITC. Enschede. The Netherlands*.

Hatmoko, J. U. D., Setiadi, B. H., & Wibowo, M. A. (2017). Evaluasi Pengaruh Banjir, Beban Berlebih, Dan Mutu Konstruksi Pada Kondisi Jalan . *Jurnal Transportasi*, 17(2).

Pramono, T. W. (2016). Analisis Kondisi Kerusakan Jalan Pada Lapis Permukaan Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Pavement Condition Index (Studi Kasus: Jalan Imogiri Timur, Bantul, Yogyakarta). *Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*.

Rahmad, R., Suib S., dan Nurman A. (2018). Aplikasi SIG Untuk Pemetaan Tingkat Ancaman Longsor di Kecamatan Sibolangit, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(1), 1-13.

Soedarsono, R. B. A. Prediksi Amblesan Tanah (Land Subsidence) Pada Dataran Aluvial Di Semarang Bagian Bawah. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan unissula*.

Sulaeman, C., Dewi, L. C., & Triyoso, W. (2008). Karakterisasi sumber gempa Yogyakarta 2006 berdasarkan data GPS. *Indonesian Journal on Geoscience*, 3(1), 49-56.

Suswandi, A., Sartono, W., & Christady, H. (2009, November). Evaluasi Tingkat Kerusakan Jalan dengan Metode Pavement Condition Index (Pci) untuk Menunjang Pengambilan Keputusan (Studi Kasus: Jalan Lingkar Selatan, YOGYAKARTA). *In Civil Engineering Forum*. (Vol. 18, No. 3, pp. 934-946).

Perkembangan Mobilitas Masyarakat Perdesaan di Wilayah Selatan Jawa Tengah (Studi Kasus Kecamatan Grabag Kabupaten Purworejo)

Budiyono

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
budhijono@mail.ugm.ac.id

Dewanti

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
dewanti@ugm.ac.id

M. Z. Irawan

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
zudhyirawan@ugm.ac.id

INTISARI

Kecamatan Grabag merupakan wilayah perdesaan yang berpotensi untuk lebih berkembang. Selain potensi pertanian, wilayah Kecamatan Grabag dilewati Jalur Jalan Lintas Selatan yang terhubung dengan Bandar Udara Internasional Yogyakarta (YIA). Pada wilayah tersebut penggunaan moda sepeda motor semakin banyak dan terjadi penurunan penggunaan angkutan umum. Perkembangan mobilitas masyarakat yang bersifat *sirkuler* (tidak bertujuan menetap di daerah lain) merupakan salah satu indikator perkembangan transportasi perdesaan. Untuk mendapatkan gambaran terhadap perkembangan mobilitas masyarakat perdesaan pada wilayah tersebut, dilakukan penelitian untuk mengetahui perubahan mobilitas masyarakat perdesaan dan mengidentifikasi faktor mobilitas masyarakat perdesaan. Penelitian menggunakan metode kuantitatif, pengumpulan data primer menggunakan kuisioner serta wawancara terhadap beberapa narasumber. Hasil penelitian berupa gambaran mobilitas masyarakat perdesaan (ditinjau dari segi jumlah, jarak dan waktu tempuh / kecepatan) pada wilayah yang terkoneksi / tidak terkoneksi dengan jalan propinsi dan atau jalan jalur lintas selatan (*Deandels*) dan mengidentifikasi pengaruh jumlah anggota keluarga, kendaraan dan pendapatan terhadap jumlah mobilitas masyarakat perdesaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan moda transportasi (dari kendaraan tidak bermotor menjadi kendaraan bermotor) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah perjalanan dan jarak perjalanan. Perubahan moda transportasi mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap waktu tempuh perjalanan.

Kata kunci: transportasi, mobilitas, perdesaan.

1 PENDAHULUAN

Wilayah Purworejo bagian selatan yang berbatasan dengan Samudra Indonesia mempunyai tiga kecamatan, yaitu kecamatan Grabag, Kecamatan Ngombol dan Kecamatan Purwodadi. Wilayah selatan tersebut menjadi lebih menarik pada beberapa tahun ini dikarenakan wilayah tersebut dilewati oleh jalan lintas selatan yang menghubungkan Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Kabupaten Kebumen dan Banyumas. Semenjak jalan tersebut diperbaiki dan diperlebar, jalur tersebut menjadi jalur alternatif yang eksotis dengan pemandangan pertanian yang hijau. Jalan tersebut juga terhubung dengan Bandar Udara Yogyakarta Internasional Airport.

Dari potensi yang ada di wilayah selatan Kabupaten Purworejo tersebut, pengembangan di kecamatan Grabag, Ngombol dan Purwodadi perlu mendapat perhatian yang lebih untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Pengembangan suatu wilayah sangat erat dengan pengembangan transportasi yang tersedia di

wilayah tersebut. Dewanti (2015) transportasi memiliki peran penting dalam pembangunan wilayah yang memungkinkan masyarakat mengakses berbagai fasilitas dan layanan umum yang diperlukan sehingga dapat meningkatkan kondisi sosial ekonomi masyarakat.

Untuk dapat mengembangkan transportasi yang ada, perlu mengetahui pola transportasi / mobilitas masyarakat serta sarana prasarana yang telah ada.

2. LANDASAN TEORI

Cullinane & Stoke (1998) menyebutkan bahwa mobilitas adalah kapasitas yang dimiliki oleh seseorang untuk berpergian. Mobilitas seseorang akan mengalami perubahan seiring dengan perjalanan hidupnya. Mobilitas seseorang akan berubah dari keadaan pada saat masa kecil, pada saat remaja dan setelah hidup mapan.

Mobilitas penduduk secara umum terbagi menjadi dua yaitu mobilitas permanen (migrasi) dan non permanen (mobilitas sirkuler). Seseorang dapat disebut sebagai seorang migran, apabila orang tersebut melintasi batas wilayah administrasi dan lamanya bertempat tinggal di daerah tujuan minimal enam bulan (Mantra, 2003).

Mobilitas merujuk pada pergerakan fisik terdiri dari jumlah perjalanan, jarak, kecepatan seperti orang per km atau kilometer per orang perjalanan dan ton-mil untuk angkutan barang (Kuswati & Herawati, 2017). Ukuran Jumlah Perjalanan, Jarak Perjalanan dan Kecepatan perjalanan merupakan indikator mobilitas.

Konsep dasar pergerakan berbasis rumah, peubah / variabel yang biasa digunakan dalam analisis adalah ukuran rumah tangga (jumlah orang), pemilikan kendaraan, dan pendapatan rumah tangga (Tamin, 2000).

3. METODE PENELITIAN

Jumlah sampel minimal untuk penelitian ini, ditentukan menggunakan rumus dari Slovin dalam Puspitasari (2017) :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2} \tag{1}$$

dimana : n = Jumlah Sampel

N = Jumlah Populasi

e = Derajat penyimpangan yang ditetapkan (persen kelonggaran ketidak telitian karena kesalahan pengambilan sampel yang masih dapat ditolerir)

Jumlah sampel kuesioner dalam penelitian ini sebanyak 125 responden, jumlah narasumber sebanyak 6 narasumber.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode pemilihan sampel acak sederhana (*simple random sampling*). Responden dipilih secara acak dari desa-desa yang tersebar di wilayah Kecamatan Grabag. Pemilihan Desa responden dilakukan memperhatikan jauh / dekatnya dengan akses jalan besar yang ada, dan jarak dengan pusat pemerintahan (kantor kecamatan). Lokasi sampling terbagi menjadi 4 desa kajian.

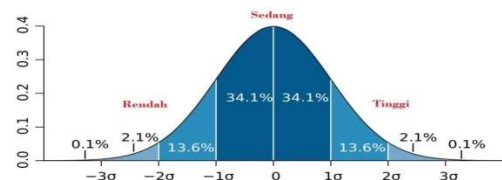
Gambar lokasi pelaksanaan survei sesuai dengan gambar 3.1.



Gambar 3.1. Peta lokasi sampling (Sumber :Olah data Googlemaps, 2019)

Penelitian menggunakan kuesioner dan wawancara beberapa narasumber. Untuk melakukan analisis terhadap mobilitas masyarakat perdesaan menggunakan skoring mobilitas berdasarkan karakter jarak, jumlah perjalanan dan waktu tempuh perjalanan. Sihotang (2016) model (sistem) skoring atau *Weighted Linear Combination* (WLC) digunakan untuk merepresentasikan tingkat kedekatan, keterkaitan, atau beratnya dampak tertentu pada suatu fenomena secara spasial. Setiap parameter masukan akan diberikan skor dan kemudian akan dijumlahkan untuk memperoleh tingkat keterkaitan.

Untuk dapat menentukan batas nilai agar dapat disebut sebagai rendah, sedang dan tinggi maka, deret tersebut adalah berbentuk distribusi normal. Distribusi normal standar terbagi atas enam bagian atau enam satuan deviasi standar (Azwar, 2012). Hal tersebut tergambar pada gambar 3.2



Gambar 3.2. Kurva Distribusi Normal Standar (Sumber : Azwar : 2012)

Azwar (2012) menyebutkan bahwa untuk kategorisasi dapat dilakukan dengan menggunakan cara lain yaitu menguji *mean* skor empirik dan *mean* skor teoritik. Cara ini bertujuan untuk kategori individu ke dalam jenjang-jenjang rendah, sedang, dan tinggi namun tidak dengan mengasumsikan distribusi populasi yang normal. Notasi kategorisasi untuk mencari batasan nilai tengah adalah :

$$\bar{X}-t(\alpha/2.n-1)(S/\sqrt{n})\leq X\leq \bar{X}+t(\alpha/2.n-1)(S/\sqrt{n}) \dots\dots(2)$$

- \bar{X} = Mean (rata-rata)
- $t(\alpha/2.n-1)$ = Nilai t pada $\alpha/2$ (dapat dilihat di tabel t)
- S = Standar deviasi
- n = Banyaknya Subjek

Analisis spasial sederhana digunakan dalam penelitian ini. Haining dalam Susilo (2012) menyatakan bahwa analisis spasial adalah sekumpulan teknik yang secara eksplisit menggunakan referensi keruangan yang berasosiasi dengan data atau obyek yang dikaji.

- Hasil analisis Kriteria mobilitas pada setiap lokasi akan digambarkan dalam peta yang menggambarkan hubungan tingkat indikator mobilitas dengan akses lokasi utama (JJLS dan Jalan Propinsi).
- Hasil analisis kriteria mobilitas pada setiap lokasi akan digambarkan dalam peta yang menggambarkan hubungan tingkat indikator mobilitas dengan pusat pemerintahan (Kantor Kecamatan).

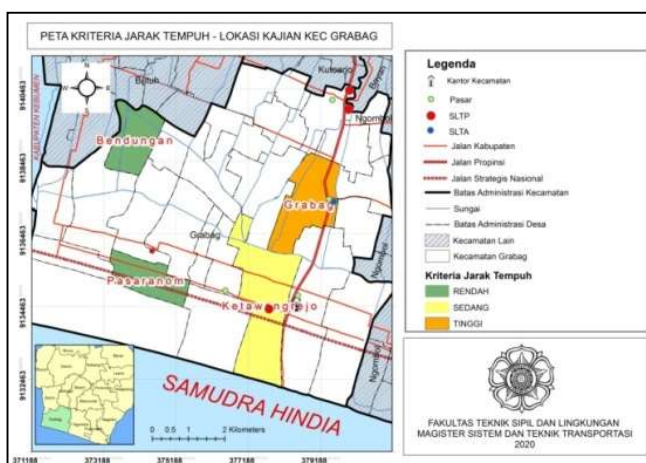
Analisis terhadap faktor yang mempengaruhi jumlah mobilitas masyarakat perdesaan menggunakan analisis regresi linear berganda, hal ini dikarenakan mobilitas dipengaruhi oleh lebih dari satu faktor. Konsep dasar pergerakan berbasis rumah, peubah / variabel yang biasa digunakan dalam analisis adalah ukuran rumah tangga (jumlah orang), pemilikan kendaraan, dan pendapatan rumah tangga (Tamin, 2000).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Mobilitas masyarakat

a. Karakter Jarak Perjalanan

Hasil kategorisasi jarak perjalanan per wilayah terhadap keseluruhan lokasi kajian divisualkan ke dalam peta spasial sederhana tampak pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Peta persebaran jarak perjalanan pada wilayah kajian

(Sumber : Olah data Peta RBI 2000)

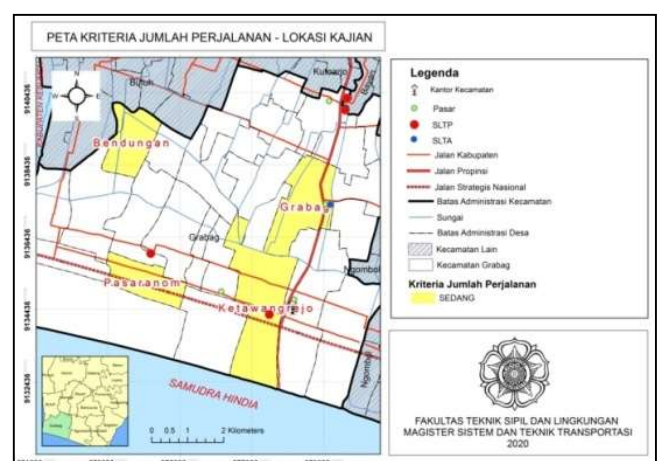
Kategori yang didapatkan dari perhitungan terdapat beberapa perbedaan antar beberapa wilayah. Apabila dibandingkan dengan observasi keadaan lapangan dan hasil wawancara dengan beberapa narasumber serta data kependudukan didapatkan beberapa kesesuaian

yaitu :

- Desa Bendungan**
Jalan Akses masuk ke desa Bendungan relatif tidak bagus sehingga akan menghambat mobilitas masyarakat ke luar desa. Pekerjaan masyarakat mayoritas adalah petani (sebesar 72.19 % dari pekerjaan yang dilakukan penduduk), sehingga perjalanan yang dilakukan adalah perjalanan jarak pendek.
- Desa Grabag**
Desa Grabag mempunyai infrastruktur jalan yang lebih bagus, sehingga memudahkan masyarakat untuk melakukan perjalanan yang relatif lebih jauh. Prosentasi pekerjaan sebagai petani relatif sedikit untuk wilayah perdesaan yaitu sebesar 24.03 % dari profesi yang dijalani penduduk, hal tersebut lebih kecil daripada jumlah karyawan swasta yang sebesar 30.54 %
- Desa Pasaranom**
Desa Pasaranom dilintasi Jalur Jalan Lintas Selatan yang merupakan jalan lintas yang tidak begitu banyak digunakan untuk perjalanan masyarakat lokal. Prosentasi pekerjaan sebagai petani relatif besar yaitu sebesar 60.06 % dari pekerjaan penduduk.
- Desa Kutowangrejo**
Desa Kutowangrejo dilintasi Jalur Jalan Lintas Selatan dan jalan propinsi Kutowang-Kutoarjo. Prosentasi pekerjaan sebagai petani relatif sedang yaitu sebesar 49.81 % dari pekerjaan penduduk.

b. Karakter Jumlah Perjalanan

Hasil kategorisasi jumlah perjalanan per wilayah terhadap keseluruhan lokasi dapat dilihat dalam gambar 4.2.



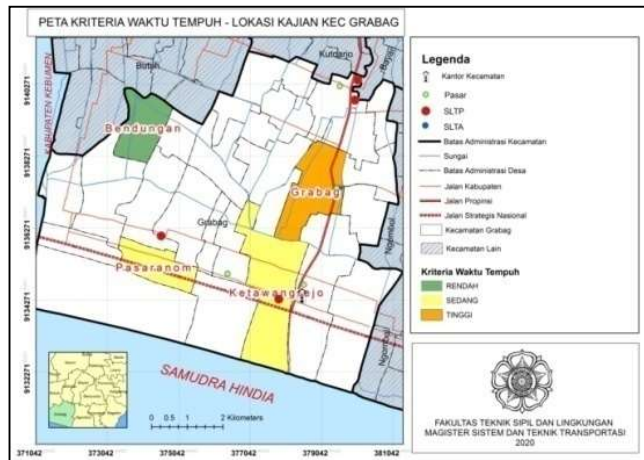
Gambar 4.2. Peta persebaran jumlah perjalanan pada wilayah kajian

(Sumber : Olah data Peta RBI 2000)

Berdasarkan jumlah perjalanan yang ada dilokasi desa kajian adalah merata / tidak terjadi ketimpangan yang jauh antara daerah satu dengan daerah lain.

c. Karakter Waktu Perjalanan

Hasil kategorisasi waktu perjalanan per wilayah terhadap keseluruhan lokasi dapat dilihat dalam gambar 4.3.



Gambar 4.3. Peta persebaran waktu perjalanan pada wilayah kajian (Sumber : Olah data Peta RBI 2000)

Desa Bendungan mempunyai rata-rata waktu perjalanan yang paling rendah. Hal tersebut relevan dengan berdasar jarak tempuh perjalanan yang cenderung dekat. Untuk waktu perjalanan desa Grabag cenderung lebih tinggi dibanding dengan wilayah lain hal ini relevan dengan kriteria jarak tempuh pada wilayah tersebut yang juga cenderung tinggi.

4.2. Analisis Perkembangan Mobilitas masyarakat

Pada daerah kajian sebagian besar transportasi menggunakan sepeda motor untuk melakukan mobilitas. Hal ini sesuai dengan penelitian terhadap transportasi perdesaan yang menyebutkan bahwa saat ini sepeda motor telah menjadi kendaraan dominan di perdesaan (Dewanti, 2015). Perubahan yang dirasakan oleh masyarakat adalah perubahan dalam waktu tempuh perjalanan dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Perubahan Indikator Mobilitas akibat perubahan moda

Indikator Mobilitas	Perubahan Moda Transportasi menjadi Kendaraan Bermotor
Jarak	Tidak terjadi perubahan jarak perjalanan (pada responden secara umum) akibat adanya perubahan penggunaan kendaraan bermotor; sebanyak 38,4 % responden yang menganggap ada perubahan dan sebanyak 51,2 % menganggap tetap. Perubahan jarak yang di alami oleh responden terdampak adalah rata-rata sejauh 1,6 Km untuk tiap perjalanan.
Waktu tempuh	Terjadi perubahan waktu tempuh yang dirasakan oleh sebagian besar responden (80 %). Perubahan waktu tempuh yang dirasakan setelah menggunakan kendaraan bermotor adalah rata-rata 11 menit lebih cepat
Jumlah (Frekuensi)	Relatif tidak terjadi perubahan jumlah akibat perubahan penggunaan kendaraan bermotor (44,8 % responden menganggap tetap). Perubahan yang terjadi pada responden yang menyatakan ada perubahan jumlah perjalanan (46,40 %) adalah sebanyak kurang lebih satu perjalanan setiap hari

4.3 Analisis Faktor- Faktor Mobilitas

Konsep dasar pergerakan berbasis rumah, peubah/ variabel yang biasa digunakan dalam analisis adalah ukuran rumah tangga (jumlah orang), pemilikan kendaraan, dan pendapatan rumah tangga (Tamin, 2000). Analisis terhadap faktor yang berpengaruh pada mobilitas masyarakat perdesaan akan menggunakan analisis *Crosstab* dan analisis regresi linear berganda.

a, Analisis *Crosstab*

Analisis menggunakan *Crosstab* ini digunakan untuk melihat hubungan antara dependent yaitu jumlah perjalanan, variabel independent jumlah kendaraan dan jumlah anggota keluarga.

Hasil analisis tabulasi silang (*Crosstab*) didapatkan bahwa masing-masing untuk ketiga variable independent terhadap variabel dependent mempunyai nilai signifikansi (*sig*) < 0.05 (nilai terbesar adalah 0.002), sehingga diindikasikan bahwa variable *independent* (Jumlah kendaraan, Jumlah keluarga dan jumlah penghasilan) mempengaruhi variabel *dependent* (Jumlah perjalanan).

b. Regresi Linear Berganda

1). Uji multikolinearitas

Uji multikolinearitas bertujuan untuk menguji apakah dalam model regresi terdapat korelasi antar variabel independent (Supriyadi, et all, 2017). Dalam Regresi Berganda dengan SPSS, masalah Multikolinieritas ini ditunjukkan lewat tabel *Coefficient*, yaitu pada kolom *Tolerance* dan kolom *VIF (Variance Inflated Factors)*. *Tolerance* adalah indikator seberapa banyak variabilitas sebuah variabel bebas tidak bisa dijelaskan oleh variabel bebas lainnya. Kriteria penerimaan uji multikolinearitas adalah sebagai berikut :

- 1). Jika nilai *Tolerance* sangat kecil (< 0,10), maka itu menandakan korelasi berganda satu variabel bebas sangat tinggi dengan variabel bebas lainnya dan mengindikasikan terjadi Multikolinieritas.
- 2). Nilai *VIF* merupakan *invers* dari nilai *Tolerance* (1 dibagi *Tolerance*). Jika nilai *VIF* > 10, maka itu mengindikasikan terjadinya Multikolinieritas.

Hasil menggunakan SPSS tersebut didapatkan bahwa hasil memberikan nilai *tolerance* yang tidak terlalu kecil yaitu sebesar 0.865 untuk Variabel X1 (Jumlah Anggota Keluarga); 0.797 untuk variabel X2 (Pendapatan) dan sebesar 0.705 untuk Variabel X3 (Jumlah kendaraan yang dimiliki). Nilai *VIF* didapatkan nilai sebesar 1.156 untuk variabel untuk Variabel X1 (Jumlah Anggota Keluarga); 1.255 untuk variabel X2 (Pendapatan) dan sebesar 1.418 untuk Variabel X3 (Jumlah kendaraan yang dimiliki).

2). Uji normalitas

Ghozali (2018) menyebutkan bahwa dalam data yang terdapat normalitas, maka nilai residual akan terdistribusi secara normal dan independent /nilai error akan terdistribusi simetri disekitar nilai means sama dengan nol. Penelitian ini akan menggunakan *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk mengetahui variabel terdistribusi normal. Adapun pedoman dalam estimasi variabel adalah :

- 1). Apabila nilai *Asymp. Sig.* suatu variabel lebih besar dari *level of significant 5%* (> 0.050) maka variabel tersebut terdistribusi normal;
- 2). Untuk nilai *Asymp. Sig.* suatu variabel lebih kecil dari *level of significant 5%* (< 0.050) maka variabel tersebut tidak terdistribusi dengan normal.

Pengujian uji normalitas yang dilakukan untuk tiap variabel yang diuji. Berdasarkan analisis statistik menggunakan bantuan software SPSS tersebut, didapatkan nilai signifikansi sebesar 0.2, sehingga disimpulkan bahwa variabel *independent* yang diuji adalah terdistribusi normal.

3). Uji heteroskedastisitas

Pengujian untuk uji heteroskedastisitas menggunakan uji *Glejser*. Kriteria yang digunakan menyatakan apakah terjadi heteroskedastisitas digunakan perbandingan antara nilai alpha yang ditentukan dengan tingkat signifikansi dari hasil olahan data. Dengan menggunakan alpha 5 %, maka dapat ditarik kesimpulan :

- a). Jika koefisien signifikansi < 0.05 maka terjadi heteroskedastisitas dan sebaliknya,
- b). Jika koefisien signifikansi > 0.05 maka tidak terjadi heteroskedastisitas.

Data yang dilakukan analisis regresi hendaknya adalah data yang tidak terjadi gejala heteroskedastisitas. Model regresi yang baik adalah yang homoskedastis (Bella, et all, 2013).

Uji *Glejser* menggunakan SPSS 22. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan bahwa nilai signifikansi ketiga variabel *independent* adalah > 0.05 . Didapatkan nilai sebesar 0.996 untuk variabel X1 (Jumlah Anggota Keluarga); 0.884 untuk variabel X2 (Pendapatan) dan sebesar 0.248 untuk Variabel X3 (Jumlah kendaraan yang dimiliki), sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa tidak terjadi gejala heterodeksitas dalam regresi tersebut.

4). Uji simultan (uji F)

Uji ini digunakan untuk melihat apakah variabel *independent* secara simultan (bersama-sama) mempengaruhi variabel *dependent*, adapun langkah-langkah pengujiannya (Amrin, 2016) sebagai berikut:

- 1). Menentukan Formulasi Hipotesis
 - a). $H_0 : b_i = 0$, artinya variabel *independent* tidak mempunyai pengaruh yang

signifikan secara bersama-sama terhadap variabel *dependent*.

- b). $H_0 : b_i \neq 0$, artinya variabel *independent* mempunyai pengaruh yang signifikan secara bersama-sama terhadap variabel *dependent*.
- 2). Menentukan derajat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$)
- 3). Menentukan signifikansi
 - a). Nilai signifikansi (*P Value*) $< 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.
 - b). Nilai signifikansi (*P Value*) $> 0,05$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.
- 4). Membuat kesimpulan, dengan menggunakan prinsip :
 - a). Bila (*P Value*) $< 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Artinya variabel *independent* secara simultan (bersama-sama) mempengaruhi variabel *dependent*.
 - b). Bila (*P Value*) $> 0,05$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak. Artinya variabel *independent* secara simultan (bersama-sama) tidak mempengaruhi variabel *dependent*.

Dari hasil analisis menggunakan SPSS didapatkan nilai F sebesar 4.726 dengan signifikansi sebesar Dari hasil analisis menggunakan SPSS didapatkan nilai F sebesar 4.726 dengan signifikansi sebesar 0.007. Signifikansi sebesar $< 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Artinya variabel *independent* secara simultan (bersama-sama) mempengaruhi variabel *dependent*.

5). Persamaan regresi linear berganda

Berdasarkan analisis menggunakan analisis regresi linear berganda dengan menggunakan SPSS, didapatkan koefisien dari nilai konstanta dan koefisien regresi yaitu :

$$\begin{aligned} a &= 57.872 \\ b_1 &= 9.826 \\ b_2 &= 0.0000002898 \\ b_3 &= 2.643 \end{aligned}$$

Persamaan regresi jumlah perjalanan (Y) yang dihasilkan dari jumlah anggota keluarga (X1); pendapatan keluarga (X2); serta jumlah kendaraan (X3) dapat dinotasikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Y' &= a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 \\ y &= 57.872 + 9.826X_1 + 0.0000002898 X_2 + 2.643 X_3 \end{aligned}$$

6). Determinasi

Uji koefisien determinasi bertujuan untuk mengetahui hubungan antara dua atau lebih variabel *independent* (X1, X2, dan X3) terhadap variabel *dependent* (Y) secara bersamaan. Hasil perhitungan koefisien determinasi untuk regresi linear terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Koefisien Determinasi

Jumlah Variabel Independent	Variabel Independent	Koefisien R ²	Standar Error
Tiga Variabel	Pendapatan	0,096	37,055
	Jumlah keluarga		
	Jumlah kendaraan		
Dua Variabel	Pendapatan	0,088	37,061
	Jumlah keluarga		
	Pendapatan	0,041	38,006
	Jumlah kendaraan		
	Jumlah keluarga		
Jumlah kendaraan	0,096	36,904	
Jumlah keluarga			

5. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

- 1). Indikator mobilitas berupa jumlah perjalanan tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada daerah kajian (jumlah hampir sama), perbedaan yang terlihat adalah pada indikator mobilitas berupa jarak dan waktu tempuh perjalanan.
- 2). Perkembangan mobilitas perdesaan pada saat sebelum menggunakan kendaraan bermotor dan setelah menggunakan kendaraan bermotor relatif tidak terjadi perbedaan yang signifikan untuk indikator mobilitas jumlah dan jarak perjalanan, perbedaan yang signifikan terjadi pada indikator mobilitas waktu perjalanan.
- 3). Identifikasi faktor jumlah anggota keluarga, pendapatan dan kepemilikan kendaraan terhadap jumlah perjalanan untuk masyarakat perdesaan mempunyai nilai R² (hubungan keeratan antara variabel independent dengan variabel dependent) yang relatif rendah (berkisar dibawah 0,1).

b. Saran

- 1) Penelitian yang dilakukan pada masa mendatang terhadap mobilitas masyarakat perdesaan hendaknya meneliti pertimbangan secara psikologis terhadap pengambilan keputusan untuk melaksanakan perjalanan yang dilakukan masyarakat perdesaan.
- 2). Kecamatan Grabag sebagai salah satu gerbang untuk menuju Bandar Udara Internasional Yogyakarta perlu dilakukan kajian lebih dalam terkait mobilitas sosial (pertanian menjadi sentra industri baru). Penelitian selanjutnya tentang kondisi sosial / psikologi pada wilayah perdesaan di sekitar Bandar Udara Internasional Yogyakarta adalah penelitian tentang kesiapan dari masyarakat

untuk melakukan mobilitas sosial.

REFERENSI

- Amrin, 2016. *Data Mining dengan Regresi Linear Berganda untuk Peramalan Tingkat Inflasi*. In *Jurnal Techno Nusa Mandiri*. Vol.XIII Nomor 1.
- Azwar, S., 2012. *Penyusunan Skala Psikologi*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- Bella, R.A.,et all., 2013. Permodelan Bangkitan Perjalanan Berbasis Rumah Tangga di Kompleks RSS. Baumata, Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang. In *Jurnal Teknik Sipil*. Vol.II Nomor 1.
- Cullinane, S., Stoke, G., 1998. *Rural Transport Policy*. UK : Pergamon.
- Dewanti, 2015. *Pola Perkembangan Layanan Transportasi Perdesaan Studi Kasus Wilayah Datar dan Berbukit*. Disertasi. Yogyakarta : UGM.
- Ghozali, I., 2018. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan IBM SPSS 25, Edisi 9*. Semarang : Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Kuswati, A., Herawati, 2017. Konektivitas Transportasi Antarmoda di Kabupaten Tulungagung. In *Jurnal Transportasi Multimoda*. Vol.15 Nomor 01.
- Mantra, I.B., 2003. *Demografi Umum*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- Puspitasari, D., 2017. *Analisis Kebutuhan Pelayanan Angkutan Perdesaan Berdasarkan Persepsi Responden (Studi Kasus : Kecamatan Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo)*. Tesis. Yogyakarta : UGM.
- Sihotang, D. M., 2016. Metode Skoring dan Metode Fuzzy dalam Penentuan Zona Resiko Malaria di Pulau Flores. In *JNTETI*. Vol.5 Nomor 4.
- Supriyadi, E., et all, 2017. Perbandingan Metode Partial Least Square (PLS) dan Principal Component Regression (PCR) untuk Mengatasi Multikolinearitas pada Model Regresi Linear Berganda. In *UNNES Journal of Mathematics*. Vol.6 Nomor 2.
- Susilo, B., 2012. Aplikasi Pemetaan dan Analisis Spasial untuk Kajian Potensi Ternak Ruminansia Kecil di Kabupaten Kulonprogo. In *Gea, Jurnal Pendidikan Geografi Transportasi Multimoda*. Vol.12 Nomor 2.
- Tamin, O.Z., 2000. *Perencanaan dan Permodelan Transportasi*. Bandung : ITB.

Pengaruh Konsumsi BBM Kendaraan Bermotor Akibat Tundaan di Perlintasan Kereta Api Ruas Jalan Juwiring - Delanggu, Klaten

J. Y. Perkasa

Prodi Teknik Sipil Universitas Veteran Bangun Nusantara, Sukoharjo, INDONESIA
jodhyudha@gmail.com

H. A. Safarizki

Prodi Teknik Sipil Universitas Veteran Bangun Nusantara, Sukoharjo, INDONESIA
hendra.mawat@gmail.com

INTISARI

Peningkatan pertumbuhan kendaraan menyebabkan berbagai permasalahan lalu lintas seperti tingginya tundaan dan panjang antrian. Hal ini terjadi tidak hanya pada ruas dan simpang jalan, namun pada perlintasan kereta api. Permasalahan yang terjadi juga berdampak terhadap tingginya konsumsi BBM. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan tundaan dan panjang antrian terhadap konsumsi BBM pada perlintasan kereta api di di Jalan Delanggu-Juwiring, Klaten. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Data diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan dengan waktu pengamatan pagi siang sore pada jam sibuk kemudian dianalisis menggunakan Metode *Shockwave*. Dari hasil analisis didapatkan durasi penutupan terlama terjadi pada hari minggu pukul 16.22 WIB selama 240 detik, dan durasi penutupan tercepat juga terjadi pada hari minggu pukul 07.39 WIB selama 100 detik. Jumlah konsumsi BBM akibat penutupan perlintasan pada hari Rabu arah Timur-Barat yaitu 2,17 liter/smp dan arah Barat-Timur sebesar 2,09 liter/smp. Besarnya kerugian yang terbuang untuk BBM setiap tundaan di pintu perlintasan kereta api dari arah Barat-Timur dengan jenis BBM Premium sebesar Rp 25.772.285, Pertalite Rp 30.100.455, Pertamina Rp 38.756.795, Pertamina Turbo Rp 44.068.640, dan Solar sebesar Rp 20.263.705 dalam 1 tahun/365hari tundaan.

Kata kunci: Konsumsi BBM, Panjang Antrian, Perlintasan Kereta Api, Shockwave, Tundaan

1 PENDAHULUAN

Persimpangan merupakan bagian dalam suatu sistem jaringan transportasi dimana dua atau lebih ruas jalan saling bertemu atau berpotongan yang bergerak didalamnya. Ada dua jenis persimpangan yaitu; a) Persimpangan sebidang, yaitu pertemuan antara dua ruas jalan dalam satu bidang. b) Persimpangan tidak sebidang, pertemuan dua ruas jalan atau lebih yang saling bertemu tidak dalam satu bidang tetapi salah satu ruas berada diatas atau bawah ruas jalan yang lain. Perpotongan antara jalur kereta api dengan jalan disebut perlintasan (Kementerian Perhubungan, 2011). Apabila ruas jalan bertemu dengan jalan rel dalam suatu bidang, maka disebut dengan perlintasan sebidang.

Peraturan pemerintah menyebutkan bahwa pada perpotongan sebidang antara jalur KA dengan jalan yang digunakan untuk lalu lintas umum atau lintas khusus, pemakai jalan wajib mendahulukan perjalanan KA (Peraturan Pemerintah, 2009). Perlintasan kereta api akan mempengaruhi kinerja pergerakan lalu lintas yang melewati perlintasan (Pratama and Susilo, 2019).

Tundaan yang terjadi pada lalu lintas jalan raya menimbulkan kerugian yang tidak sedikit (Yuly and Haryoputri, 2005; Muttaqin, Sumarsono and

Handayani, 2014; Julianto, 2016; Khafidz, Sumarsono and Mhm, 2016; Nurdjanah, 2019). Selain itu terdapat permasalahan polusi lingkungan akibat adanya tundaan lalu lintas (Gunawan and Budi, 2017).

Terdapat beberapa penelitian yang pernah dilakukan untuk membentuk model konsumsi bahan bakar di Indonesia, antara lain hasil penelitian oleh ITB (LAPI - ITB, 1996) yang mengajukan formulasi konsumsi bahan bakar menggunakan persamaan pendekatan.

Perlintasan Kereta Api Delanggu adalah salah satu perlintasan yang terbentuk dari pertemuan antara dua jenis prasarana transportasi yaitu jalan raya dengan jalan rel. Perlintasan ini terletak di Jalan Juwiring-Delanggu-Klaten, dimana jalan ini merupakan akses menuju ke Pasar Delanggu dan ke kota Klaten. Pusat perdagangan, rumah sakit PKU, stasiun Delanggu, tempat belajar, tempat keramaian, dan banyak perumahan yang terletak di sepanjang jalan Delanggu. Dengan demikian, akan terjadi pergerakan arus lalu lintas kendaraan yang tinggi. Adanya Perlintasan Kereta Api Delanggu, maka proses pergerakan arus lalu lintas kendaraan menjadi terganggu ketika pintu di tutup. Berdasarkan kenyataan tersebut, maka penulis ingin mengetahui seberapa besar pengaruh penutupan pintu perlintasan kereta api terhadap tundaan, nilai waktu panjang antrian kendaraan dan pengaruh

penggunaan bahan bakar minyak (BBM) di Perlintasan Kereta Api Delanggu.

2. METODE

Metode yang dilakukan yaitu dengan melakukan survei langsung ke lapangan. Hal ini mutlak dilakukan untuk mengetahui kondisi yang sebenarnya. Pengambilan data primer merupakan data yang didapatkan dengan caraturveilapangan yang dilakukan oleh peneliti. Metode Pengumpulan Data Pendukung/Data Sekunder, yaitu metode dengan bekerjasama dengan instansi pengelola atau sumber – sumber yang dianggap berkepentingan untuk dijadikan input atau referensi.

Untuk pengumpulan data maka dilakukan survey lalu lintas dilakukan selama 4 hari yaitu 3 hari kerja dan satu hari libur yaitu dengan pemabagian waktu survei sebagai berikut:

- Pagi hari antara pukul 07.00 WIB sampai dengan 09.00 WIB.
- Siang hari antara pukul 12.00 WIB sampi dengan 14.00 WIB.
- Sore hari antara pukul 16.00 WIB sampai dengan 18.00 WIB.

2.1 Volume Arus Lalu Lintas

Volume lalu lintas dalam satuan kendaraan/jam yang kemudian dikalikan dengan nilai emp masing masing jenis kendaraan (HV, LV dan MC) dan kemudian dikalikan 8 sehingga arus tersebut mendapatkan arus dalam smp/jam. Setelah didapatkan arus lalu lintas dalam kend/jam, dan nilai emp untuk jalan Delanggu-Juwiring. Variasi yang terjadi selama satu satu jam dinyatakan dalam faktor jam puncak (Peak Hour Factor/ PHF), yaitu merupakan perbandingan antara volume arus lalu lintas jam puncak dengan 4 kali rate of flow/15 menit volume arus lalu lintas tertinggi pada jam yang sama (jam puncak), seperti persamaan (1)

$$PHF = \frac{v}{4 \times v_{15}(\text{peak rate faktor of flow})} \quad (1)$$

dimana PHF adalah faktor jam puncak (Peak Hour Faktor), V adalah volume selama 1 jam (kendaraan / jam) dan V_{15} adalah volume selama 15 menit tersibuk pada jam tersebut (kendaraan/15 menit)

Untuk mendapatkan panjang antrian (Qm) yang terjadi ketika pintu perlintasan tertutup dapat diperkirakan dengan menggunakan Per. 2 berikut ini.

$$Qm = \frac{t}{3600} \times \left(\frac{U_{CB} \times U_{AB}}{U_{CB} - U_{AB}} \right) \quad (2)$$

Hasil perhitungan panjang antrian (Qm) pada Per. 2 dihitung dengan cara perhitungan teoritis, hasil Perhitungan teoritis berbeda dengan perhitungan di lapangan, hal tersebut terjadi karena antrian kendaraan di lapangan tidak sesuai dengan aturan seperti teori, contohnya kendaraan yang seharusnya mengantri ke belakang, sedangkan kondisi panjang antrian di lapangan dapat mengantri penuh dan menumpuk.

2.2 Konsumsi Bahan Bakar Minyak

Konsumsi bahan bakar minyak dihitung dengan konstanta yang diperoleh dari LAPI-ITB (1996) dikali lama tundaan yang dialami kendaraan dalam satuan detik

$$F = Bf (1 \pm (kk + kl + kr)) \quad (3)$$

dimana F adalah konsumsi bahan bakar, Bf adalah konsumsi bahan bakar dasar dalam (liter/1000 km), kk adalah koreksi akibat kelandaian, kl adalah koreksi akibat kondisi lalulintas, dan kr adalah koreksi akibat kekerasan jalan (roughness).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Jumlah Kereta Api Melintas

Hasil dari pengamatan langsung dilapangan diperoleh data untuk jenis kereta api yang melintas setiap harinya yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengamatan Kereta Melintas

Nama KA	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Jumlah	Rata-rata
KA Penumpang	76	75	80	231	77
KA Barang	12	13	12	37	12,33
KA Loko	1	0	0	1	1
KA Ganda	7	6	2	15	5
Jumlah	96	94	94	284	95,33

Tabel 2. Hasil Rekapitulasi Data Durasi Penutupan KAI

	Barat-Timur			Timur-Barat		
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 1	Hari 2	Hari 3
Waktu (WIB)	08.00	07.13	07.39	08.00	07.13	07.39
Tercepat (detik)	90	90	100	90	90	100
Waktu (WIB)	17.45	16.22	16.22	17.45	16.22	16.26
Nb	150	130	240	150	130	240
Rata-Rata	127,10	112,78	123,39	127,10	112,78	123,39

Data tabel 2. dapat dilihat bahwa durasi penutupan pintu perlintasan kereta api di jalan Delanggu-Juwiring hari ke 1 yang terlama terjadi pada jam 17.45 WIB dengan waktu penutupan selama 150 detik dari arah Barat-Timur dan yang tercepat terjadi pada jam

08.00 WIB dengan waktu penutupan 90 detik dari arah Barat-Timur, durasi penutupan pintu perlintasaan kereta api di jalan Delanggu-Juwiring hari ke-2 yang terlama 16.22 WIB dengan waktu penutupan selama 130 detik dari arah Timur-Barat dan yang tercepat terjadi pada jam 07.13 WIB dengan lama penutupan 90 detik dari arah Timur-Barat, durasi penutupan pintu perlintasaan kereta api di jalan Delanggu-Juwiring hari ke-3 yang terlama terjadi pada jam 16.26 WIB dengan lama penutupan 240 detik dan tercepat terjadi pada jam 07.99 WIB dengan lama penutupan 100 detik dari arah Timur-barat

3.2 Analisis Volume Arus Lalu Lintas

Volume lalu lintas dihitung dengan menggunakan pers.

1. Hasil perhitungannya ditampilkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Rekapitulasi Volume Arus Lalu lintas

Hari	Waktu Barat-Timur		Waktu Timur-Barat	
	(WIB)	(kend) (smp/jam)	(WIB)	(kend) (smp/jam)
1	16.15-16.30	158 434,4	16.45-17.00	174 544,4
2	17.00-17.15	221 573,4	07.15-07.30	166 448
3	17.30-17.45	278 653,1	16.00-16.15	104 326,4

Dari tabel 3. dapat dilihat bahwa volume lalu lintas yang terbesar pada jalan Delanggu-Juwiring hari ke 1 arah barat ke timur terjadi pada jam 16.15-16.30 WIB sebesar 158 kendaraan atau 434,4 smp/jam sedangkan arah Timur ke Barat terjadi pada jam 16.45-17.00 WIB sebesar 174 kendaraan atau 544,4 smp/jam untuk volume lalu lintas yang terbesar pada jalan Delanggu-Juwiring hari ke 2 arah Barat-Timur terjadi pada jam 17.00-17.15 WIB sebesar 221 kendaraan 573,4 sedangkan diarah Timur-Barat terjadi pada jam 07.15-07.30 WIB sebesar 166 kendaraan atau 448 dan volume lalu lintas di jalan Delanggu-Juwiring hari ke 3 arah Barat-Timur terjadi pada jam 17.30-17.45 WIB sebesar 278 kendaraan atau 653,1 smp/jam sedangkan arah Timur-Barat pada jam 16.00.16.15 WIB sebesar 104 kendaraan atau 326,4 smp/jam. Data rata rata arus volume arus lalu lintas selama tiga hari pengamatan ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4. Rata-rata Arus Volume Lalu Lintas

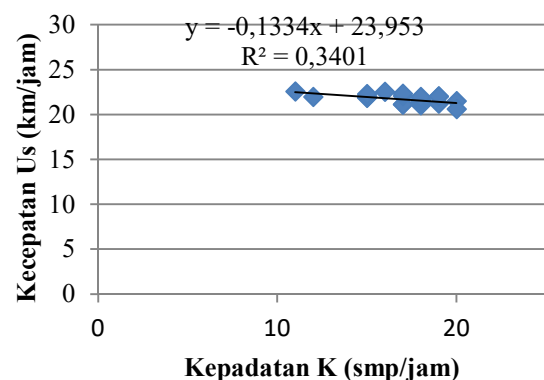
Hari	Barat-Timur		Timur-Barat	
	(kend)	(smp/jam)	(kend)	(smp/jam)
1	155,542	369,017	167,042	415,483
2	173,042	431,583	137,583	333,717
3	132,917	323,483	78,8333	221,533

Dari tabel 4. dapat dilihat bahwa rata-rata arus volume lalu lintas yang terbesar pada jalan Delanggu-Juwiring terjadi pada hari ke 2 arah Barat-Timur sebesar 173,042

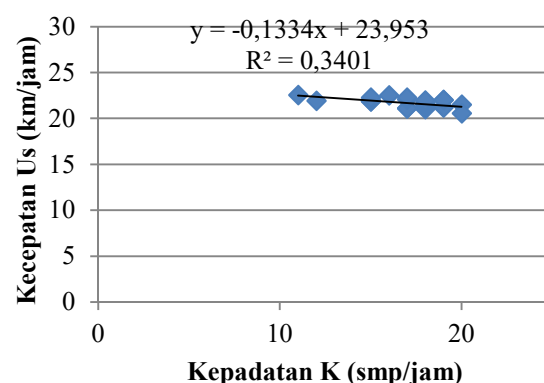
atau 431,583 smp/jam, yang terendah terjadi pada hari ke 3 arah Timur-Barat sebesar 78,8333 atau 221,533 smp/jam.

3.3 Analisis Tundaan dan Panjang Antrian Kendaraan secara Teoritis

Analisis yang dilakukan adalah pengaruh penutupan pintu perlintasaan terhadap kinerja lalu lintas di jalan Delanggu-Juwiring dengan metode *shockwave*. Analisis berdasarkan perolehan data pada kondisi eksisting berupa data kecepatan *shockwave*. Setelah mendapatkan nilai kecepatan *shockwave* dari A dan B (U_{AB})(gambar 1, 2, dan 3), nilai kecepatan dari B dan C (U_{BC}), dan nilai kecepatan dari A dan C (U_{AC}) pada kondisi eksisting masing-masing ruas jalan, kemudian dihitung lama waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk pelepasan antrian (t_a) dan waktu kembali normal setelah terjadi penutupan pintu perlintasaan (t_b), besar tundaan (*stopped delay*), jumlah kendaraan dalam antrian (N) dan panjang antrian yang terjadi selama Penutupan Pintu Perlintasaan Kereta api.



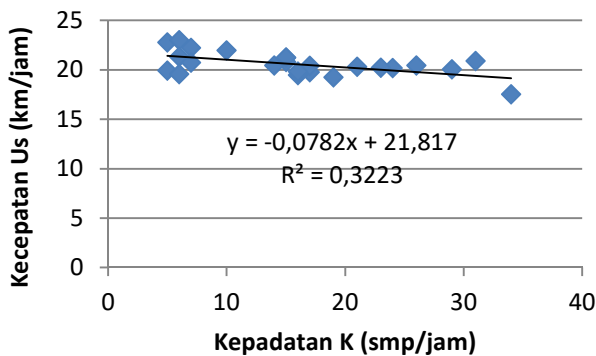
Gambar 1. Grafik Shockwave U_{AB} , U_{BC} , dan U_{AC} hari 1 dari Barat-Timur



Gambar 2. Grafik Shockwave U_{AB} , U_{BC} , dan U_{AC} hari 2 dari Barat -Timur

Nilai koefisien determinasi (R^2) pada gambar 1, 2 dan 3 berkisar diangka 0,3 hal ini sudah cukup baik

dikarenakan data survei (data primer) yang bersifat cross section. Hal ini ditunjukkan adanya penurunan kecepatan, peningkatan kepadatan yang signifikan dan menumbuhkan tundaan juga panjang antrian.



Gambar 3. Grafik Shockwave U_{AB}, U_{BC} , dan U_{AC} hari 3 dari Barat -Timur

3.4 Analisis Konsumsi Bahan Bakar Minyak

Analisis Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) ini didasarkan pada lama kendaraan yang mengalami tundaan (*stopped delay*). Data tersebut dimasukkan ke dalam rumus yang didapat dari LAPI-ITB (1996) Khususnya pada saat idle (diam) sehingga akan diperoleh jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang terbuang selama kendaraan tersebut mengalami tundaan akibat penutupan pintu perlintasan Kereta Api. Konsumsi bahan bakar minyak didapat dari konstanta yang diperoleh dari LAPI-ITB (1996) dikali lama tundaan yang dialami kendaraan dalam satuan detik (pers. 3). Semakin lama kendaraan tersebut mengalami tundaan maka semakin banyak bahan bakar minyak yang terkonsumsi secara tidak optimal atau terbuang percuma.

Berikut ini contoh perhitungan untuk memperoleh banyaknya konsumsi bahan bakar satu penutupan pintu perlintasan Kereta Api.

$$\begin{aligned}
 (F) &= 140 \cdot 10^{-2} \text{ (liter/smp-jam)} \\
 &= 140 \cdot 10^{-2} / 3600 \text{ (liter/smp-detik)} \\
 &= 3,889 \cdot 10^{-4} \text{ (liter/smp-detik)} \times 161,108 \text{ detik} \\
 &= 0,063 \text{ (liter/smp)} \\
 &= 62,65 \text{ (cc/smp)}
 \end{aligned}$$

Besarnya konsumsi bahan bakar untuk setiap penutupan pintu perlintasan Kereta Api seperti pada tabel 5. Dari tabel 5 telah menjabarkan secara rinci data 3 hari pengamatan di lapangan dari kedua arah, maka didapatkan kesimpulan bahwa jumlah konsumsi BBM dari arah Barat ke Timur pada hari ke 1, 2 dan 3 sebesar 5,46 liter/smp, sedangkandari arah Timur ke Barat

sebesar pada hari 1,2 dan 3 sebesar 5,32. Hasil total selama penelitian 3 hari dari perhitungan besarnya pengaruh konsumsi BBM pada tundaan di perlintasan dari arah Barat ke Timur Dan Timur ke Barat hampir sama karena padat penduduk yang melintasi pintu Kereta Api tersebut dari orang kerja, anak sekolah maupun aktivitas lainnya.

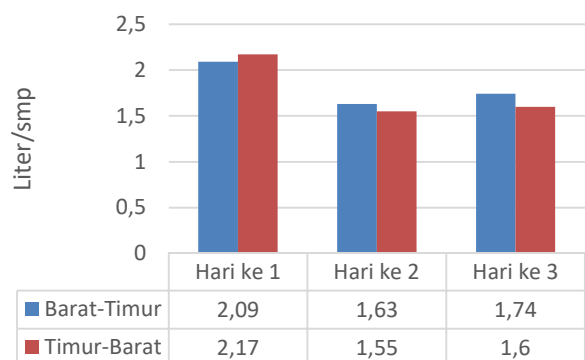
Tabel 5. Rekapitulasi Konsumsi Bahan Bakar berdasarkan lamanya *Stopped Delay*

Hari	Jumlah Konsumsi BBM	
	Barat-Timur	Timur-Barat
	Liter/smp	Liter/smp
1	2,09	2,17
2	1,63	1,55
3	1,74	1,60
Jumlah/3hari	5,46	5,32

Gambar 4 menunjukkan diagram batang jumlah konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) pada penutupan Perlintasan Kereta Api di jalan Delanggu-Juwiring selama Periode jam puncak pada hari ke 1 Rabu, 2 Jum'at dan 3 Minggu.

Dari hasil analisis sebelumnya dapat diketahui berapa banyak BBM yang terbuang dalam satuan liter/smp pada saat idle (diam). Bila banyaknya BBM dikali dengan harga BBM saat ini di tahun 2019 maka akan terlihat kerugian secara nyata bagi pengguna jalan akibat pengguna BBM secara tidak optimal atau terbuang percuma.

Tabel 6 menunjukkan banyaknya Konsumsi BBM saat idle (diam) pada jam puncak dan harga BBM. Dari data di atas dimisalkan penggunaannya mulai harian, mingguan (7 hari), bulanan (30 hari), hingga tahunan (365 hari) dengan jumlah konsumsi BBM.



Gambar 4. Diagram konsumsi (BBM) dalam liter/smp setiap penutupan perlintasan Kereta Api pada jam puncak (Arah Barat ke Timur dan Timur ke Barat).

Tabel 6. Jumlah Konsumsi BBM dan Harga BBM

Arah	Jumlah (liter/smp)	Harga BBM / Oktober 2019 (Rp)	Konsumsi BBM Barat-Timur	Timur-Barat	
Barat-Timur	5,46	Premium	6.550	35.763	34.846
		Pertalite	7.650	41.769	40.698
		Pertamax	9.850	53.781	52.402
Timur-Barat	5,32	Pertamax	11.200	61.152	59.584
		Turbo Solar	5.150	28.119	27.398

Pengaruh Konsumsi BBM terhadap kerugian akibat tundaan di Perlintasan Kereta Api ditampilkan pada

Tabel 7. Jumlah Kerugian Konsumsi Bahan Bakar Akibat Tundaan di Perlintasan Kereta Api Arus Lalu Lintas (Arah Barat-Timur) dan (Arah Timur-Barat)

	Jumlah Pengeluaran Dalam Rupiah Arah Barat-Timur				
	Premium Rp/smp	Pertalite Rp/smp	Pertamax Rp/smp	Pertamax Turbo Rp/smp	Solar Rp/smp
1 Minggu 7 hari	250.341	292.383	376.467	428.064	196.833
1 Bulan 30 hari	1.072.890	1.253.070	1.613.430	1.834.560	843.570
1 tahun 365 hari	13.053.495	15.245.685	19.630.065	22.320.480	10.263.435
	Jumlah Pengeluaran Dalam Rupiah Arah Timur-Barat				
	Premium Rp/smp	Pertalite Rp/smp	Pertamax Rp/smp	Pertamax Turbo Rp/smp	Solar Rp/smp
1 Minggu 7 hari	243.922	284.886	366.814	417.088	191.786
1 Bulan 30 hari	1.045.380	1.220.940	1.572.060	1.787.520	821.940
1 tahun 365 hari	12.718.790	14.854.770	19.126.730	21.748.160	10.000.270
	Total dari Arah Barat-Timur dan Timur-Barat				
	Premium Rp/smp	Pertalite Rp/smp	Pertamax Rp/smp	Pertamax Turbo Rp/smp	Solar Rp/smp
1 Minggu 7 hari	494.263	577.269	743.281	845.152	388.619
1 Bulan 30 hari	2.118.270	2.474.010	3.185.490	3.622.080	1.665.510
1 tahun 365 hari	25.772.285	30.100.455	38.756.795	44.068.640	20.263.705

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis yang dilakukan mengenai pengaruh BBM akibat tundaan pada pengoperasian palang pintu perlintasan di jalan Delanggu-Juwiring, maka didapatkan beberapa hasil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Besarnya stopped delay yang terlama pada pengoperasian palang pintu perlintasan kereta api di jalan Delanggu-Juwiring terjadi di hari ke 3 (Minggu) dari arah Timur-Barat sebesar 230,534 detik dengan panjang antrian 416,646 meter dan dari arah Barat-Timur 265,43 detik dengan panjang antrian 704,01 meter sedangkan tercepat terjadi di hari ke 3 Barat-Timur sebesar 136,704 detik dengan panjang antrian 137,65 meter dan dari arah Timur-Barat sebesar 121,979 detik dengan panjang antrian 127,363 meter .
2. Durasi penutupan terlama pada pengoperasian palang pintu perlintasan kereta api Jalan Delanggu-Juwiring adalah hari ke 3 minggu pada jam 17.42 WIB dengan waktu penutupan selama 230 detik, sedangkan pengoperasian palang pintu perlintasan kereta api tercepat pada hari ke 1 (rabu) jam 08.00 WIB dan 2 (jum'at) jam 07.39 dengan waktu penutupan 90 detik.

tabel 7. Bila di lihat dari kerugian konsumsi BBM pengaruh Tundaan di Perlintasan Kereta Api yang di terima masyarakat begitu memberatkan, rata-rata pengguna BBM jenis Pertalite, 1 minggu 7 hari Rp 292.383; (Barat-Timur) jika selama 1 tahun 365 hari maka kerugian yang diterima oleh masyarakat, pengguna jalan yaitu sebesar Rp 15.245.685; (Barat-Timur) di tambah dengan Rp 14.854.770; (Timur-Barat) maka kerugian yang diterima oleh masyarakat, pengguna jalan selama 1 tahun adalah Rp 30.100.455.

3. Jumlah Konsumsi BBM akibat tundaan pada pengoperasian palang pintu perlintasan Kereta Api di Jalan Delanggu-Juwiring pada kondisi existing. Dari Arah Barat ke Timur sebesar 5,46 liter/smp yang mengakibatkan kerugian sebesar Rp 41.769 dengan jenis BBM Pertalite dan Arah Timur ke Barat sebesar 5,32 liter/smp yang mengakibatkan kerugian sebesar Rp 40.698. Hal ini disebabkan oleh lamanya tundaan yang dialami oleh kendaraan serta perilaku pengguna kendaraan bermotor yang tidak beraturan pada saat pembukaan pintu perlintasan Kereta Api di jam puncak.

Berdasarkan analisis dan kesimpulan yang diperoleh maka perlu adanya kaji ulang terhadap rumus LAPI-ITB untuk mendapatkan perhitungan yang aktual. Pengendalian dan pengawasan pengembangan kota harus diikuti dengan peningkatan pelayanan angkutan umum yang baik dan sarana transportasi yang memadai sehingga pengguna kendaraan pribadi tidak terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk yang menyebabkan permasalahan transportasi dan beralih pada angkutan umum sehingga konsumsi BBM dapat digunakan dengan optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana atas bantuan dari Laboratorium Prodi Teknik Sipil Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo.

REFERENSI

Gunawan, H. and Budi, G. S. (2017) 'Kajian Emisi Kendaraan di Persimpangan Surabaya Tengah dan Timur serta Potensi Pengaruh terhadap Kesehatan Lingkungan Setempat', *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 5(2), p. 113. doi: 10.14710/jwl.5.2.113-124.

Julianto, E. N. (2016) 'Kebutuhan Bahan Bakar Minyak Dari Simpang Bangkong Menuju Jembatan Banjir Kanal Timur Pada Waktu Puncak Pagi', *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 13(2), pp. 121–130. doi: 10.15294/jtsp.v13i2.7064.

Kementerian Perhubungan (2011) 'PM No. 36 Tahun 2011 Tentang Perpotongan dan/atau Persinggungan Antara Jalur Kereta Api dengan Bangunan Lain'. Kementerian Perhubungan. Available at: http://jdih.dephub.go.id/produk_hukum/view/VUUwZ016WWdWRUZJVIU0Z01qQXhNUT09.

Khafidz, L., Sumarsono, A. and Mhm, A. (2016) 'Hubungan Tundaan dan Panjang Antrian Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak pada Lajur Pendekat Simpang (Studi Kasus pada Jalan Arteri Kota Surakarta)', *Matriks Teknik Sipil*, (September), pp. 774–780.

LAPI - ITB, (1996) (1996) 'Faktor koreksi konsumsi bahan bakar dasar kendaraan.', *Lembaga Afiliasi Penelitian dan Industri*.

Muttaqin, M. Z., Sumarsono, A. and Handayani, D. (2014) 'Pengaruh tundaan dan antrian panjang kendaraan terhadap konsumsi bahan bakar minyak akibat penutupan pintu perlintasan kereta api', *Matriks Teknik Sipil*, (September), pp. 344–350.

Nurdjanah, N. (2019) 'Biaya BBM Akibat Kemacetan di Persimpangan Wilayah Jabodetabek (Fuel Costs Because of Congestion In The Intersection of Jabodetabek)', *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*. doi: 10.25104/jptd.v15i4.1201.

Peraturan Pemerintah (2009) *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 72 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Kereta Api*.

Pratama, T. and Susilo, B. H. (2019) 'Evaluasi Kinerja Lalu Lintas pada Lintas Kereta Api di Jalan Abdul Rahman Saleh', *Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), pp. 46–64. doi: 10.28932/jts.v15i1.1856.

Yuly, C. and Haryoputri, F. (2005) *Analisis Tundaan Pada Ruas Jalan Majapahit Kota Semarang Dan Pengaruhnya Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak (Bbm)*.

Pemodelan Angkutan Penumpang Pesawat Udara Di Bandara Notohadinegoro Jember

A. Muldiyanto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Semarang, Semarang, INDONESIA
mulsuga@yahoo.co.id

D. B. Cahyono

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Semarang, Semarang, INDONESIA
dhamangbudicahyono@yahoo.co.id

INTISARI

Pertumbuhan penumpang pesawat di Bandara Notohadinegoro dari tahun 2014-2018 rata-rata pertahun sebesar 21,73 %, pertumbuhan yang signifikan maka perlu adanya prediksi kedepannya agar infrastruktur bandara dapat dikembangkan sesuai kebutuhan. Prediksi yang digunakan dengan model regresi, dimana jumlah penumpang pesawat sebagai variabel tetap, Y_1 adalah jumlah penumpang datang, Y_2 adalah jumlah penumpang berangkat dan Y_3 adalah jumlah penumpang total, dan PDRB atau X sebagai variabel bebasnya. Model dibuat 3 macam, yaitu model penumpang datang, model penumpang berangkat dan model penumpang total. Hasil persamaan model prediksi penumpang di bandara Notohadigoro untuk penumpang datang adalah $Y_1 = 2669,038 X - 100694,375$,. Sedangkan persamaan untuk penumpang berangkat adalah $Y_2 = 2693,266 X - 101150,266$, dan persamaan untuk penumpang total adalah $Y_3 = 5362,062 X - 201844,641$, ketiga persamaan tersebut terdistribusi normal dimana masing-masing persamaan tersebut diatas maka PDRB signifikan mempengaruhi pada model tersebut.

Kata kunci: Prediksi, regresi, variabel tetap dan bebas

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bandara Notohadinegoro, Jember, merupakan salah satu fasilitas transportasi udara untuk menuju kota Jember, selain sebagai penyelenggara jasa kebandarudaraan dalam pelaksanaan kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi dan wisata, serta akan dikembangkannya Bandara Notohadinegoro oleh Pemerintah Daerah Jember menjadi bandara Embarkasi Haji diperlukan penyelenggaraan penerbangan yang handal dan berkemampuan tinggi dalam rangka pembangunan nasional dan daerah.

Berdasarkan hal tersebut, Bandar Udara Notohadinegoro Jember dikembangkan berdasarkan kebutuhan pokok, rencana pengembangan bisnis dan usaha yang memenuhi persyaratan keselamatan penerbangan. Untuk itu perlu mengetahui perkembangan penumpang pesawat di bandara tersebut pada tahun-tahun yang akan datang guna penyesuaian atas pembangunan dan pengembangan yang dilaksanakan dalam rangka peningkatan kapasitas Bandar Udara Notohadinegoro selaras, efektif dan efisien.

1.2 Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian ini adalah membuat model prediksi penumpang pesawat yang sesuai kebutuhan untuk bandara Notohadinegoro Jember.

Manfaat penelitian sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang transportasi khususnya tentang model penumpang pesawat.

2 STUDI PUSTAKA

Pengertian bandara menurut (Anna, H. 2012), adalah kawasan di daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu yang digunakan sebagai tempat pesawat udara mendarat dan lepas landas, naik turun penumpang, bongkar muat barang, dan tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan. Bandara merupakan simpul penting dalam sistem transportasi dan dapat memiliki peran penting dalam mendukung pembangunan sosial ekonomi daerah kota, (Paolina, F. 2016).

Prediksi (*forecasting*) merupakan tahapan penting dalam perencanaan dan manajemen bandara, akan tetapi *forecasting* juga dapat salah dalam memprediksi karena adanya ketidakpastian, sehingga *forecasting* merupakan proses mengubah ketidakpastian menjadi risiko yang terukur, (Tito, M. 2015), bangkitan dan tarikan pergerakan dapat digunakan untuk menyatakan bangkitan pergerakan pada saat ini dan dapat digunakan untuk memprediksi pergerakan pada masa mendatang, (Robby, G.Y, 2007).

Dampak perencanaan transportasi yang ditentukan oleh kesesuaian fasilitas transportasi termasuk jaringan jalan, area parkir, bandara hal ini

mempengaruhi relativitas aksesibilitas serta peningkatan biaya perjalanan di lokasi yang berbeda, (Yoanita, et al, 2016).

Wardhani et al, (2015), ada tiga metode yang digunakan untuk peramalan untuk perencanaan bandara, yaitu antara lain metode serial waktu (*time series*), metode jangkauan pasar (*market share*) dan metode ekonometrik. Dalam penelitian ini direncanakan menggunakan model ekonometrik karena dianggap paling baik dan kompleks dalam peramalan permintaan penumpang pesawat. Bangkitan perjalanan dalam peramalan ini menggunakan analisa regresi sederhana maupun jamak, baik linier dan non linier. Adapun bentuk persamaannya ditunjukkan pada persamaan dibawah ini :

Model umum regresi sederhana adalah sebagai berikut:
 $Y_{est} = a + bX$

Dimana :

Y_{est} = variabel tetap (*dependent*) atau variabel yang diramalkan

X = Variabel bebas (*independent*)

a = Koefisien regresi atau konstanta yang digunakan untuk kalibrasi persamaan

3 METODE PENELITIAN

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah sekunder yang diperoleh dari instansi terkait, yaitu antara lain data penumpang pesawat di Bandara Notohadinegoro sebagai variabel tetap dan Produk Domestik Regional Brutto (PDRB) sebagai variabel bebasnya.

Tahap pertama, analisis kuantitatif digunakan untuk membuktikan adanya hubungan antar variabel yang kuat dalam membuat model prediksi dengan Regresi, dengan kontrol nilai (r^2), T-test dan F - test.

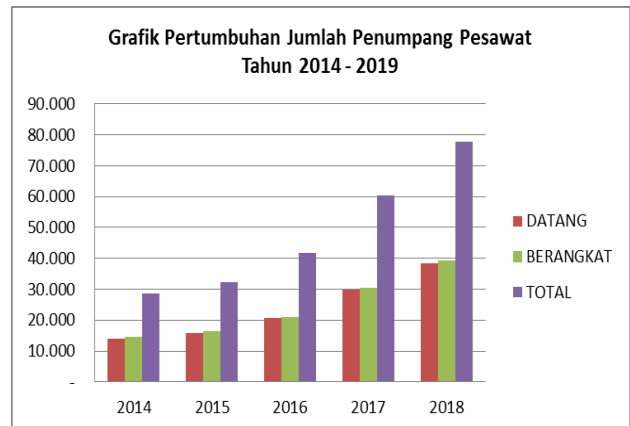
Tahap kedua, adalah memproyeksikan sesuai tahun rencana yaitu 5 dan 10 tahun yang akan datang.

Tahap ketiga, hasil dari proyeksi tersebut digunakan untuk menghitung prediksi penumpang pesawat dengan memasukan ke model regresi yang diperoleh.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Penumpang Pesawat dan PDRB Jember

Dari data Tahun 2014 – 2018, penumpang pesawat di Bandara pada Gambar 1. dibawah ini, diketahui bahwa pertumbuhan penumpang rata-ratanya adalah sebesar 21,73 % .



Gambar 1. Grafik Pertumbuhan Jumlah Penumpang Pesawat 2014-2019

Data pertumbuhan PDRB pada Tahun 2014-2018, dapat dilihat pada Tabel 1, dibawah ini:

Tabel 1. Pertumbuhan PDRB Tahun 2014 - 2018

Tahun	Rupiah	Dalam Jutaan Rp
2014	41.971.678,44	41,9717
2015	44.222.564,36	44,2226
2016	46.533.559,96	46,5336
2017	48.912.959,78	48,913
2018	51.472.979,11	51,473

Sumber: Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember, 2019

Dari data tersebut dapat diketahui bahwa pertumbuhan rata-rata PDRB di Kabupaten Jember adalah sebesar 4,97 %.

4.1 Korelasi Variabel Bebas

Dengan menggunakan software SPSS-23 dapat diketahui bahwa untuk PDRB Kabupaten Jember adalah naik, rata-rata pertumbuhan PDRB sebesar 4,97 %. Adapun nilai PDRB korelasinya (r) terhadap penumpang pesawat datang adalah sebesar 97,4 %, sehingga PDRB signifikan mempengaruhi jumlah penumpang pesawat datang di bandara Notohadinegoro, untuk penumpang pesawat berangkat korelasinya terhadap PDRB adalah sebesar 97,2 % hal ini PDRB signifikan mempengaruhi jumlah penumpang pesawat berangkat di bandara Notohadinegoro, dan untuk penumpang pesawat total korelasinya terhadap PDRB adalah sebesar 97,3 % hal ini PDRB signifikan mempengaruhi jumlah penumpang pesawat total di bandara Notohadinegoro.

4.2 Persamaan Model

Dari hasil analisa regresi dengan software SPSS-23, untuk masing-masing model penumpang datang, berangkat maupun total adalah sebagai berikut:

a. Model Penumpang Pesawat Datang di Bandara Notohadinegoro, yaitu:

$$Y_1 = 2669,038 X - 100694,375$$

Persamaan ini mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,947, yang dapat diartikan bahwa 94,7 % variasi kedatangan penumpang pesawat dapat diwakili dengan persamaan ini. Dengan derajat kebebasan 5, nilai $F = 53,359 > F$ tabel, hal ini diartikan bahwa 95 % variasi yang terjadi pada penumpang kedatangan ini dapat dijelaskan oleh nilai PDRB.

b. Model Penumpang Pesawat Berangkat di Bandara Notohadinegoro, yaitu:

$$Y_2 = 2693,266 X - 101150,266$$

Persamaan ini mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,944, yang dapat diartikan bahwa 94,4 % variasi keberangkatan penumpang pesawat dapat diwakili dengan persamaan ini. Dengan derajat kebebasan 5, nilai $F = 50,934 > F$ tabel, hal ini diartikan bahwa 95 % variasi yang terjadi pada penumpang keberangkatan ini dapat dijelaskan oleh nilai PDRB

c. Model Penumpang Pesawat Total di Bandara Notohadinegoro, yaitu:

$$Y_3 = 5362,062 X - 201844,641$$

Persamaan ini mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,947, yang dapat diartikan bahwa 94,7 % variasi total penumpang pesawat dapat diwakili dengan persamaan ini. Dengan derajat kebebasan 5, nilai $F = 53,359 > F$ tabel, hal ini diartikan bahwa 95 % variasi yang terjadi pada penumpang total ini dapat dijelaskan oleh nilai PDRB

Dimana:

Y_1 = Jumlah penumpang datang

Y_2 = Jumlah penumpang berangkat

Y_3 = Jumlah penumpang total

X = PDRB berdasarkan harga konsta

4.3 Prediksi Penumpang Pesawat

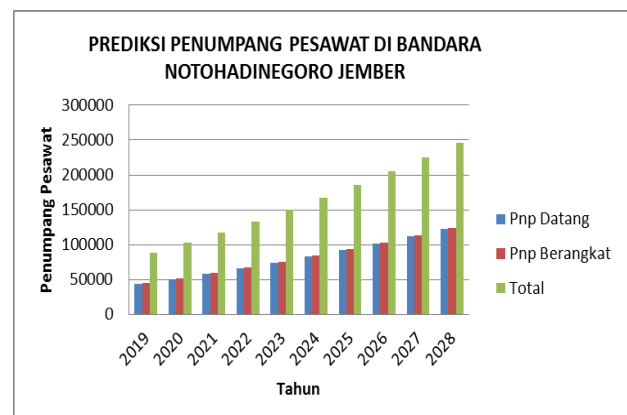
Pada perhitungan prediksi untuk penumpang pesawat tersebut sekaligus dihitung nilai proyeksi dari PDRB sesuai dengan yang di rencanakan dalam hal ini direncanakan sampai dengan 10 tahun yang akan datang. Sedangkan untuk hasil perhitungan yang digunakan sesuai tahapan perencanaan biasanya menggunakan per 5 tahunan, hasil perhitungan prediksi dimulai pada 2019 hingga pada tahun 2028.

Hasil proyeksi PDRB dan prediksi penumpang pesawat dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Proyeksi PDRB Dan Prediksi Penumpang Pesawat

Tahun	(1+i)	Proyeksi PDRB	Prediksi Penumpang		
		(Jutaan Rupiah)	Datang	Berangkat	Total
2019	1,0497	54,0312	43517	44370	87887
2020	1,1019	56,7165	50684	51602	102287
2021	1,1566	59,5353	58208	59194	117402
2022	1,2141	62,4943	66105	67163	133269
2023	1,2745	65,6002	74395	75529	149924
2024	1,3378	68,8606	83097	84310	167407
2025	1,4043	72,2829	92231	93527	185758
2026	1,4741	75,8754	101820	103202	205022
2027	1,5473	79,6464	111885	113359	225243
2028	1,6242	83,6048	122450	124020	246470

Prediksi penumpang pesawat di Bandara Notonegoro dapat dibuat grafiknya seperti pada Gambar 2, dibawah ini:



Gambar 2. Grafik Prediksi Penumpang Pesawat

Dari Tabel 2. dan Gambar 2. , dapat di jelaskan bahwa: Proyeksi PDRB pada tahun 2023 adalah sebesar 65.6002 dalam jutaan rupiah , dan prediksi penumpang datang sebesar 74.395 pnp, penumpang berangkat sebesar 75.529 pnp dan penumpang total sebesar 149.924 pnp.

Proyeksi PDRB pada tahun 2028 adalah sebesar 83.6048 dalam jutaan rupiah., dan prediksi penumpang datang sebesar 122.450 pnp, penumpang berangkat sebesar 124.020 pnp dan penumpang datang sebesar 246.470 pnp.

5 KESIMPULAN

Hasil persamaan model prediksi penumpang di bandara Notohadigoro untuk penumpang datang adalah $Y_1 = 2669,038 X - 100694,375$, penumpang berangkat adalah $Y_2 = 2693,266 X - 101150,266$, dan prediksi penumpang total adalah $Y_3 = 5362,062 X - 201844,641$, ketiga persamaan terdistribusi normal.

REFERENSI

- Anna, H. (2012). *Analisis pengembangan runway dan fasilitas alat bantu pendaratan di bandar udara depati amir bangka*.
- Paolina, F. (2016). *Green Airport Design Evaluation (GrADE) – methods and tools improving infrastructure planning*. Transportation Research Procedia, 14, 3781 – 3790.
- Robby, G.Y. (2007). *Studi Permodelan Bangkitan Perjalanan di Perkotaan*. Jurnal Teknik Sipil Volume 3 Nomor 1, April 2007 : 1-102
- Tito, M. (2015). *Airport passenger demand forecasting using radial basis function neural networks: juanda international airport case*. Tesis UGM.
- Wardhani, S., Deani dan Taqia, R. (2015). *Bandar Udara*. Cetakan 1, Penerbit: Gajah Mada University.2016
- Yoanita, E.R, Ervina, A dan Nursakti,A. P. (2016). *Land use development and its impact on airport access road*. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 227, 31 – 37

Perencanaan Bus Kampus Uii Dengan Mempertimbangkan Aktivitas Civitas Akademika Kampus Terpadu Pada Wilayah Utara – Barat

P. J. Romadhona

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
prima_dhona@uii.ac.id

H. E. Pradipta

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA

INTISARI

Saat ini, terdapat banyak jumlah mahasiswa sehingga menyebabkan jumlah kendaraan disekitar kampus UII juga meningkat. Sayangnya, hal tersebut tidak diimbangi dengan tingkat pertumbuhan jalan, kebutuhan parkir, serta fasilitas angkutan umum yang memadai. Untuk itu, dilakukan penelitian ini untuk membuat rencana angkutan umum dalam rangka memfasilitasi pergerakan mahasiswa yang berada di sekitar wilayah utara kampus. Penelitian ini menggunakan tiga tahap, yaitu pengumpulan data sekunder dan data primer yang diperlukan, kedua perencanaan trayek bus kampus civitas akademika berdasarkan Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Darat dengan MAT sebagai pembantu pengolahan data primer, dan penentuan Tempat Pemberhentian Bus (TPB) berdasarkan Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Darat dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum. Hasil studi perencanaan trayek bus kampus civitas akademika ini, terdapat 2 trayek yang direncanakan yaitu trayek A memiliki panjang trayek 3366 m dengan 6 titik TPB dan trayek B memiliki panjang trayek 7991 m dengan 6 titik TPB. Trayek A dengan headway 2 menit membutuhkan 7 kendaraan operasional dan Trayek B dengan headway 4 menit membutuhkan 6 kendaraan operasional.

Kata kunci: civitas akademika, bus kampus, transportasi publik, MAT

1 PENDAHULUAN

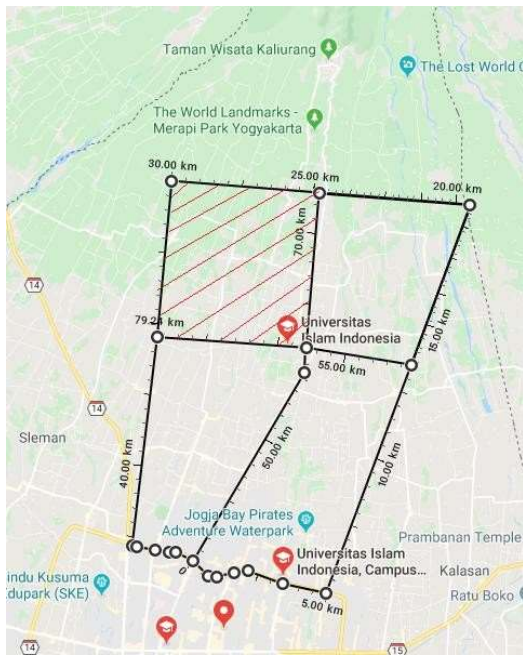
1.1 Latar Belakang

Universitas Islam Indonesia (UII) terletak pada kaki Gunung Merapi yang saat ini telah berdiri 6 fakultas di Kampus Terpadu UII. Dengan jumlah mahasiswa aktif lebih dari 23.000 mahasiswa, tingkat *interest* masyarakat kepada UII, keadaan lalu lintas pada sekitar UII juga meningkat. Kejadian ini dapat dilihat pada saat pencarian lokasi parkir. Setiap fakultas di UII memiliki lahan parkir tersendiri bagi roda 2, sedangkan bagi roda 4 khususnya mahasiswa/mahasiswi memarkir kendaraanya pada samping-samping jalan di dekat fakultas masing-masing. Namun pada saat jam sibuk baik pada pagi hari, tengah hari, dan sore hari saat civitas akademika UII datang dan pulang dari kampus terjadi penumpukan yang menyebabkan adanya antrian pada akses masuk dan akses keluar dari lahan parkir yang hanya memiliki 1 akses, sehingga sering terjadi keterlambatan.

Yogyakarta sendiri memiliki jaringan transportasi terintegrasi bernama Transjogja dan angkutan umum dalam kota. Transjogja telah beroperasi sejak tahun 2008 yang memiliki rute kurang lebih 14 rute, namun tidak melayani transportasi pada Jl. Kaliurang KM 6 (setelah *ring road*) ke arah utara. Transportasi setelah ring road Jl. Kaliurang KM 6 ditangani oleh AKDP

Jalur 5, akan tetapi pelayanan transportasi tersebut belum memiliki fasilitas yang cukup memadai, efektif dan efisien. Hal ini menyebabkan mayoritas civitas akademika (mahasiswa/mahasiswi, dosen, karyawan) UII menggunakan kendaraan pribadi.

Pada *master plan* yang telah direncanakan untuk tahun 2013-2023, UII sedang membangun kampus baru yaitu untuk Fakultas Ilmu Agama Islam yang pada awalnya bergabung dengan Fakultas Industri serta Fakultas Hukum yang awalnya berada pada Jl. Taman Siswa no.158 Yogyakarta. Hal ini kemungkinan dapat menyebabkan naiknya tingkat kebutuhan tempat tinggal pada sekitar kampus dan peningkatan penggunaan kendaraan bagi civitas akademika sehingga untuk memperoleh *space* parkir akan semakin susah dengan perkembangan jalan dan lahan parkir yang rendah serta kebutuhan akan transportasi yang tinggi. Pengambilan Utara-Barat dikarenakan penelitian ini dikerjakan oleh tim terdiri dari 4 orang, dengan batas penelitian dari Ring Road Jl Kaliurang KM 6 hingga Jl Kaliurang KM 19,5 dipecah menjadi 4 yaitu Selatan-Timur, Selatan-Barat, Utara-Timur, dan Utara-Barat. Peta Utara-Barat Kampus Terpadu UII. Bagian Utara-Barat dapat dilihat pada Gambar 1 pada daerah yang diarsir merah.



Gambar 1. Lokasi perencanaan bus kampus (diarsir untuk penelitian ini)

Wulan, Sulistyono, dan Nuranto (2017) dengan metode MAT dan Dephub 2002 menghasilkan potensi penumpang sejumlah 25564 dan pada masa mendatang 46107 dengan menggunakan metode furness. sedangkan Jauhari dan Sardjito (2015) dengan metode MAT Analytical Hierarchy Process, TRANETSIM, penentuan rute, meneliti bahwa lebih mengutamakan indikator kemampuan coverage dari rute angkutan umum, didapatkan 3 rute angkutan umum yang dinilai sesuai dengan kebutuhan perjalanan penduduk.

Sedangkan Huda (2017) dengan metode SIG dan Network Analyst, angkutan umum terintegrasi dibagi menjadi tiga zona. s Sulviawan dan Susanto (2014) dengan metode SIG dan *Network Analys*, diperoleh 3 rute Shu dan Wu (2018) dengan metode *The Wardrop Equilibrium Theory* memenuhi kebutuhan perjalanan personal kampus, dan pada saat yang sama dapat mewujudkan lalu lintas kampus yang hijau, aman dan harmonis.

1.2 Penentuan Rute dan Operasional Bus

- a) Direktorat Jendral Perhubungan Darat (2002) menentukan faktor dalam perencanaan rute sebagai bahan pertimbangan adalah sebagai berikut.
 1. Pola pergerakan penumpang angkutan umum
 2. Kepadatan penduduk
 3. Daerah pelayanan
 4. Karakteristik jaringan
- b) Direktorat Jendral Perhubungan Darat (1996) menyatakan bahwa tempat pemberhentian bus adalah tempat untuk menurunkan dan/atau menaikkan penumpang. Tujuan adanya tempat

pemberhentian bus (TPB) adalah sebagai berikut.

1. Menjamin kelancaran dan ketertiban arus lalu lintas.
 2. Menjamin keselamatan bagi pengguna angkutan penumpang umum.
 3. Menjamin kepastian keselamatan untuk menaikkan dan/atau menurunkan penumpang.
 4. Memudahkan penumpang dalam melakukan perpindahan moda angkutan umum atau bus.
- c) Menteri Pekerjaan Umum (2014) menyebutkan bahwa cuaca yang buruk akan mengurangi keinginan orang berjalan. Di Indonesia, dengan cuaca yang panas orang hanya ingin menempuh 400 meter, sedangkan untuk aktivitas berbelanja membawa barang, keinginan berjalan tidak lebih dari 300 meter.
 - d) Direktorat Jendral Perhubungan Darat (2002) menyatakan, penentuan jumlah operasional armada bus kampus dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, waktu sirkulasi dan waktu antara (*headway*) adalah sebagai berikut.

1. Waktu sirkulasi

$$CT = T + (\Sigma \text{TPB yang dilewati} \times 1 \text{ menit}) \quad (1)$$

CT adalah waktu sirkulasi dengan TPB, dan T adalah waktu sirkulasi tanpa TPB

2. *Headway*

$$H = \frac{60.C.L.f}{P} \quad (2)$$

Dimana H adalah *headway*, C adalah kapasitas kendaraan, Lf adalah faktor muat (100%), dan P adalah jumlah penumpang.

3. Kebutuhan bus kampus

$$H = \frac{CT}{H. Fa} \quad (3)$$

Dimana K adalah kebutuhan bus dan Fa adalah faktor ketersediaan bus (100%).

- e) Matriks Asal Tujuan

Miro (2005) menyatakan beberapa hal yang perlu dipahami dari sebuah matriks asal-tujuan adalah sebagai berikut.

- a) baris matriks menyatakan zona asal.
- b) kolom matriks menyatakan zona tujuan.
- c) pertemuan/persilangan baris dan kolom menyatakan besarnya perjalanan atau arus lalu lintas kendaraan.
- d) semakin banyak zona yang kita sampel dalam daerah studi, semakin banyak sel matriks dan MAT-nya semakin besar.

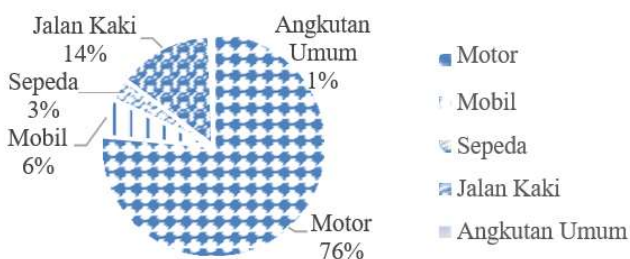
2 METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, dalam pengumpulan data primer menggunakan metode wawancara, yang dalam prosesnya dengan melakukan pertanyaan pada civitas akademika (dalam menentukan travel demand yang terjadi, menentukan tempat pemberhentian bus, menyusun rute yang akan digunakan untuk bus kampus. Penyebaran kuisioner akan dilakukan pada kampus UII terpadu) dan selanjutnya pengolahannya menggunakan Matriks Asal-Tujuan (MAT) sebagai pembantu dalam mengolah data primer. Dari data primer tersebut ditunjang juga dengan data sekunder dalam melakukan analisis, serta persyaratan dan prosedur mengacu pada Direktorat Jendral Perhubungan Darat (1996) tentang Teknis Perencanaan Tempat Perhentian Kendaraan Penumpang Umum. Direktorat Jendral Perhubungan Darat (2000) tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Angkutan Umum Diwilayah Perkotaan Dalam Trayek Tetap dan Teratur dan Menteri Pekerjaan Umum (2014) Pedoman Perencanaan, Penyediaan, Dan Pemanfaatan Prasarana Dan Sarana Jaringan Pejalan Kaki Di Kawasan Perkotaan.

3 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Civitas Akademika

a) Kendaraan yang digunakan civitas akademika Utara-Barat Kampus Terpadu UII



Gambar 2. Grafik kendaraan yang digunakan civitas akademika Kampus Terpadu UII

Berdasarkan Gambar 2, mayoritas civitas akademika menggunakan motor sebagai moda transportasi.

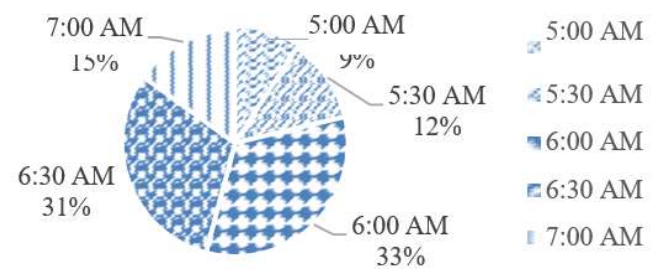
b) Pendapat civitas akademika Utara-Barat Kampus Terpadu UII dengan diadakannya bus kampus



Gambar 3. Grafik pendapat civitas akademika Kampus Terpadu UII dengan diadakannya bus kampus

Berdasarkan Gambar 3, mayoritas civitas akademika setuju dengan diadakannya bus kampus.

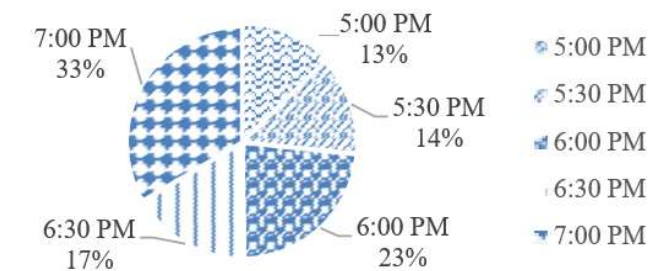
c) Pendapat jam dimulai operasional bus kampus



Gambar 4. Grafik pendapat jam dimulai operasional bus kampus.

Dari Gambar 4, mayoritas civitas akademika memilih jam 6:00 AM sebagai jam dimulai operasional bus kampus.

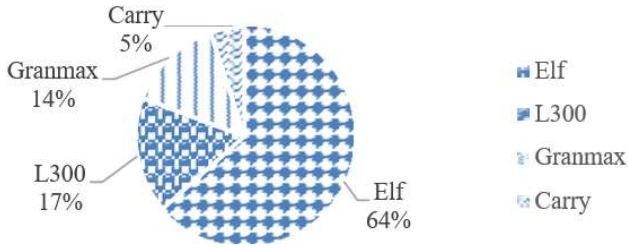
d) Pendapat jam diakhiri operasional bus kampus



Gambar 5. Grafik pendapat jam diakhiri operasional bus kampus.

Berdasarkan Gambar 5, mayoritas civitas akademika memilih jam 7:00 PM sebagai jam diakhiri operasional bus kampus.

e) Pendapat jenis kendaraan operasional bus kampus



Gambar 6. Grafik pendapat jenis kendaraan operasional bus kampus.

Berdasarkan Gambar 6, mayoritas civitas memilih Elf 16 tempat duduk sebagai kendaraan operasional bus kampus.

3.2 Matriks Asal Tujuan

Matriks asal tujuan (MAT) menjelaskan tentang kesamaan tujuan untuk melakukan pergerakan di dalam satu area, sehingga diketahui bangkitan pergerakan pada area tersebut.

O/D	Tujuan										Oi	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Asal	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
	2	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	15
	3	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0	47
	4	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	37
	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
	6	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	50
	7	0	0	72	0	0	0	0	0	0	0	72
	8	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	17
	9	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20
	10	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Dj	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0	89	

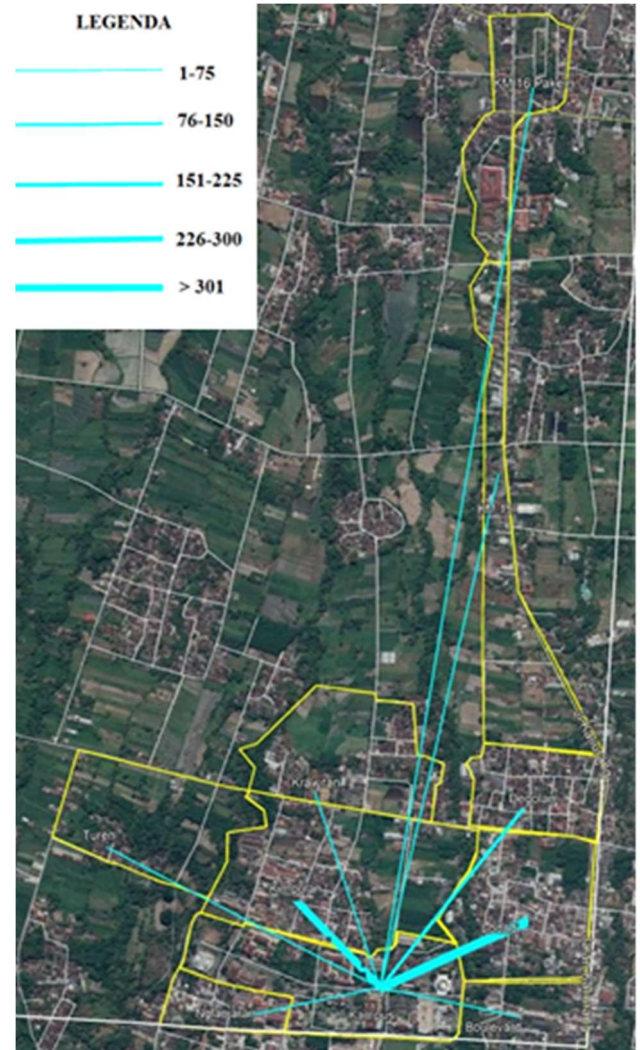
Keterangan

- 1 = Boulevard
- 2 = Degolan
- 3 = UII
- 4 = Kimpulan
- 5 = KM 15
- 6 = KM 16 Pakem
- 7 = Krawitan
- 8 = Lodadi
- 9 = Nglanjaran
- 10 = Turen

3.3 Desire Line

Desire line merupakan gambar garis keinginan perjalanan dari data-data pada matriks asal-tujuan agar

dapat memudahkan pembacaan data serta memberikan gambaran pola pergerakan yang terjadi pada masing-masing ruas.



Gambar 7. Desire line civitas akademika Utara-Barat Kampus Terpadu UII

3.4 Tempat Pemberhentian Bus (TPB)

Tata peletakan TPB mempertimbangkan demand civitas akademika pada daerah tersebut serta mengacu pada Keputusan Dirjen Perhubungan Darat (1996), sedangkan pada radius pelayanan (catchment area) TPB adalah 400m hal ini mengacu pada jarak nyaman pejalan kaki pada Indonesia sesuai dengan Permen PUPR (2014).

- a) TPB Boulevard pada Kampus Terpadu UII,
- b) TPB Perempatan Degolan pada Jl. Degolan,
- c) TPB Krawitan pada Jl. Degolan,
- d) TPB GOR UII pada Kampus Terpadu UII,
- e) TPB Rektorat pada Jl. Teknika,
- f) TPB Raminten pada Jl. Kaliurang KM 15,
- g) TPB Jakal KM 16 pada Jl. Kaliurang KM 16, dan
- h) TPB Pakem pada Jl. Raya Turi. Gambar 8. Rute Bus A (merah) dan Rute Bus B (biru)

3.5 Rute Bus Kampus

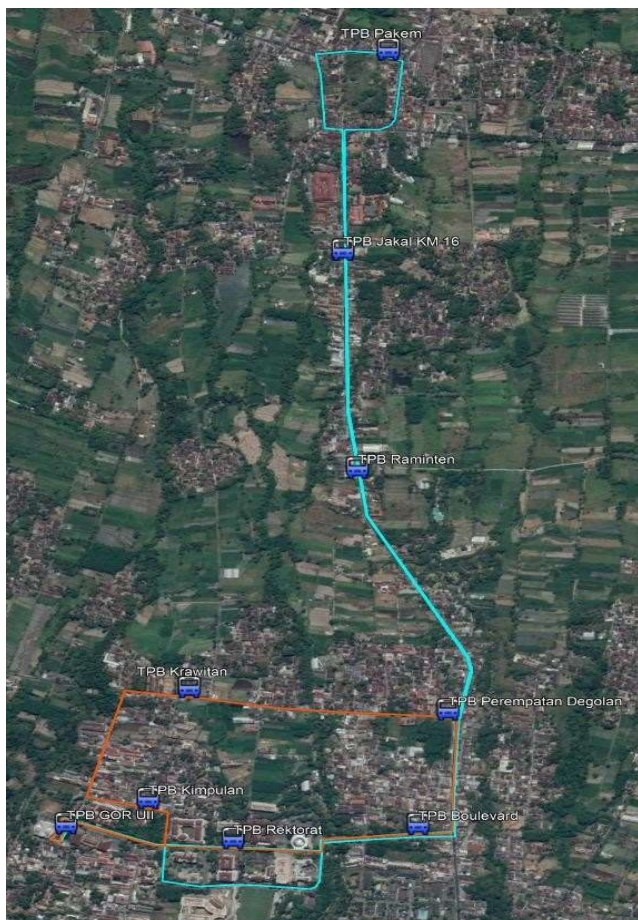
Pada hasil analisis diperoleh 2 rute yang akan dibahas sebagai berikut. Adapun gambar detailnya dapat dilihat di Gambar 8.

a) Rute A

Pada rute ini akan melewati TPB Boulevard pada Kampus Terpadu UII - TPB Perempatan Degolan pada Jl. Degolan - TPB Krawitan pada Jl. Degolan - TPB Kimpulan pada Jl. Kimpulan 3 - TPB GOR UII pada pada Kampus Terpadu UII - TPB Rektorat pada Jl. Teknika dan kembali ke TPB Boulevard, dengan jarak tempuh ± 3366 m.

b) Rute B

Pada rute ini akan melewati TPB Boulevard pada Kampus Terpadu UII - TPB Raminten pada Jl. Kaliurang KM 15.5 - TPB Jakal KM 16 pada Jl Kaliurang KM 16 - TPB Pakem pada Jl Raya Turi - TPB GOR UII pada pada Kampus Terpadu UII - TPB Rektorat pada Jl. Teknika dan kembali ke TPB Boulevard, dengan jarak tempuh ± 7991 m.



Gambar 8. Rute Bus A (merah) dan Rute Bus B (biru)

3.6 Demand pada rute

a) Rute A

1. TPB Boulevard 48 orang,
2. TPB Perempatan Degolan 41 orang,

3. TPB Krawitan 19 orang,
4. TPB Kimpulan 101 orang,
5. TPB GOR UII 5 orang, dan
6. TPB Rektorat 13
7. Total 227

b) Rute B

1. TPB Boulevard 48 orang,
2. TPB Raminten 0 orang,
3. TPB Jakal KM 16 10 orang,
4. TPB Pakem 4 orang,
5. TPB GOR UII 5 orang,
6. TPB Rektorat 13 orang, dan
7. Total 80

4 KESIMPULAN

1. Terdapat 2 Rute pelayanan civitas akademika sebagai berikut.
 1. Rute A dengan panjang 3366 m melalui 6 TPB membutuhkan 8 menit untuk menempuh 1 siklus rute dengan headway 10 menit membutuhkan 1 bus dalam operasionalnya.
 2. Rute B dengan panjang 7991 m melalui 6 TPB membutuhkan 19 menit untuk menempuh 1 siklus rute dengan headway 10 menit membutuhkan 2 bus dalam
2. Terdapat 8 TPB untuk menampung demand sebagai berikut.
 1. TPB Boulevard pada Kampus Terpadu UII dekat dengan Bookstore UII
 2. TPB GOR UII pada Kampus Terpadu UII dekat dengan GOR UII
 3. TPB Jakal KM 16 pada Jl Kaliurang KM 16
 4. TPB Kimpulan pada Jl Kimpulan 3
 5. TPB Krawitan pada Jl. Degolan
 6. TPB Pakem pada Jl. Raya Turi TPB Perempatan Degolan pada Jl. Degolan
 7. TPB Raminten pada Jl. Kaliurang KM 15.5
 8. TPB Rekotrat pada Jl. Teknika
3. Prosentase sangat setuju terhadap bus kampus sebesar 40%, setuju 54%, tidak setuju sebesar 4%, sangat tidak setuju sebesar 1% dan tidak memilih sebesar 1%, memilih jam dimulai operasional bus kampus pada jam 6:00 AM sebesar 33% dan memilih diakhiri pada jam 7:00 PM sebesar 33%, menggunakan Isuzu Elf sebagai bus kampus yang menempuh Rute A dengan headway 2 menit serta kebutuhan bus 7 buah dan Rute B dengan headway 4 menit serta kebutuhan bus 6 buah.

REFERENSI

Direktoral Jendral Perhubungan Darat. (1996). Teknis Perekayasa Tempat Perhentian Kendaraan

Penumpang Umum. Penerbit Perhubungan Darat, Jakarta.

Direktoral Jendral Perhubungan Darat. (2002). Pedoman Teknis Penyelenggaraan Angkutan Umum Diwilayah Perkotaan Dalam Trayek Tetap dan Teratur. Penerbit Perhubungan Darat, Jakarta.

Menteri Pekerjaan Umum. (2014). Pedoman Perencanaan, Penyediaan, Dan Pemanfaatan Prasarana Dan Sarana Jaringan Pejalan Kaki Di Kawasan Perkotaan. Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.

Miro, F. (2005). Perencanaan Transportasi untu Mahasiswa, Perencana, dan Praktisi. Erlangga, Jakarta.

Huda, S. (2017). Penyusunan Rencana Angkutan Umum Terintegrasi Di Kota Magelang. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.

Jauhari, K. dan Sardjito. (2015). Penentuan Rute Angkutan Umum berdasarkan Kebutuhan Perjalanan

Penduduk di Kawasan Perkotaan Gresik. JURNAL TEKNIK ITS. Vol 14, No.1, (2015) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print). Surabaya.

Wulan, D. S. A., Sulistyono, S., dan Nurtanto D. (2017). Perencanaan Jaringan Trayek Ranting Angkutan Umum Perkotaan Jember. Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan. ISSN 2548-9518 Vol. 01, No. 01. Jember.

Sulviawan, A.P. dan Susantono, B. 2012. Pemodelan Rute Bus Kampus UNDIP Tembalang Dengan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (GIS). Jurnal Teknik PWK. Vol. 3; No.4; 2014; hal 841-856. Semarang .

Shu, Z.G. and Wu, X.L. 2018. The Route Planning on Campus Bus in H University. American Journal of Industrial and Business Management , 8, 473-486.

Sensitivitas Kinerja Struktur Campuran *Superpave* Terhadap Pengaruh Variasi Tipe Bahan Ikat dan Kecepatan Kendaraan

M. A. Hadi

Program Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
muhamadabdulhadi.ha@gmail.com

M. Fauziah

Program Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
miftahul.fauziah@uii.ac.id

INTISARI

Jalan memiliki peranan yang sangat penting dan tidak terpisahkan dengan kegiatan sehari-hari, sehingga diperlukan adanya pemilihan jenis perkerasan dan modifikasi pada material penyusun perkerasan terutama pada aspal. Paper ini menyajikan hasil analisis pada jenis perkerasan *Superpave* dengan dua bahan ikat yang berbeda, yaitu dengan bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 terhadap pengaruh variasi rencana kecepatan kendaraan. Proses analisis diawali dengan pencarian tebal perkerasan rencana, kemudian menentukan nilai *Stiffness Modulus of Bitumen (Sbit)*, *Stiffness Modulus of Mixture (Smix)*, dan pencarian nilai prediksi kerusakan yang akan terjadi menggunakan metode mekanistik-empiris pada program KENPAVE, serta melakukan fungsi transfer guna mengetahui jumlah repetisi beban yang menyebabkan kerusakan struktural pada perkerasan. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *Sbit* dan *Smix* akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan kendaraan yang akan melintas, hal ini dikarenakan adanya pengaruh dari proses penurunan durasi pembebanan. Serta dari hasil penelitian dan analisis menggunakan program KENPAVE dapat diketahui bahwa campuran *Superpave* dengan bahan ikat Starbit E-55 memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mempertahankan kinerja perkerasan, hasil ini dibuktikan dengan didapatkannya prediksi nilai regangan pada tiap jenis kerusakan yang relatif lebih rendah dibandingkan campuran *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70, sehingga jenis perkerasan *Superpave* dengan bahan ikat Starbit E-55 ini sangat direkomendasikan penerapannya guna mendapatkan hasil pelayanan jalan yang maksimum.

Kata kunci: *Superpave*, Starbit E-55, *Stiffness Modulus of Bitumen*, *Stiffness Modulus of Mixture*, KENPAVE.

1 PENDAHULUAN

Jalan merupakan sarana transportasi darat yang sudah menjadi salah satu kebutuhan wajib bagi kehidupan manusia dalam menunjang keberhasilan pembangunan nasional. Peranannya semakin menjadi hal yang tidak terpisahkan dengan kegiatan sehari-hari setiap orang, oleh karena itu diperlukan adanya jalan yang mampu memberikan pelayanan yang maksimum terhadap kegiatan manusia. Terkait dengan peranannya dalam memberikan pelayanan dalam aksesibilitas, maka diperlukan pemilihan jenis perkerasan dan modifikasi pada material penyusun perkerasan tersebut terutama modifikasi pada aspal.

Salah satu jenis perkerasan yang dapat memberikan pelayanan yang baik adalah jenis perkerasan *Superpave*. Fauziah dan Safitri (2016) dalam penelitiannya mendapatkan hasil bahwa campuran *Superpave* memiliki ketahanan terhadap deformasi plastis yang diakibatkan oleh volume lalu lintas.

Starbit E-55 merupakan produk aspal komersial yang sudah dimodifikasi dengan pemberian bahan tambah atau *additive*, sehingga kualitas yang diberikan lebih baik jika dibandingkan dengan aspal konvensional

yang sering digunakan di Indonesia. Kajian penggunaan aspal Starbit E-55 sudah dipublikasikan dalam beberapa jurnal seperti jurnal penelitian yang dilakukan oleh Nugroho dan Subarkah (2018) pada campuran *Hot Rolled Asphalt*, serta Fauziah dan Handaka (2017) pada campuran *Split Mastic Asphalt* guna antisipasi terhadap pengaruh genangan air hujan.

Pemilihan jenis perkerasan dengan gradasi *Superpave* dan penggunaan aspal modifikasi Starbit E-55 sebelumnya sudah dikaji dalam penelitian yang dilakukan oleh Hadi dan Fauziah (2019) tentang perbandingan karakteristik campuran *Superpave* antara yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 dengan Pen 60/70 pada variasi durasi rendaman air payau yang mendapatkan hasil bahwa campuran *Superpave* dengan bahan ikat Starbit E-55 lebih unggul dalam mengantisipasi kerusakan yang diakibatkan oleh rendaman dibandingkan campuran *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70, hasil ini didapat berdasarkan pada hasil pengujian *Marshall Standard*, *Index of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, Koefisien Permeabilitas, dan *Cantabro Loss (CL)*.

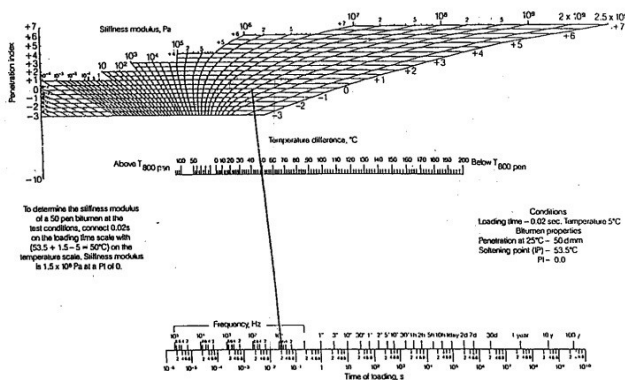
Berbeda dengan kajian sebelumnya, paper ini mengkaji lebih dalam terhadap manfaat penggunaan perkerasan bergradasi *Superpave* antara yang berbahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 dengan melakukan analisis mekanistik-empiris menggunakan program KENPAVE yang dikembangkan oleh Huang (2014). Program KENPAVE juga telah diterapkan oleh Ramadhani dan Fauziah (2018) pada penelitiannya tentang evaluasi ruas Jalan Jogja-Solo. Penelitian tersebut mendapatkan hasil bahwa dengan penggunaan program KENPAVE keamanan desain perkerasan relatif lebih baik karena hasil data yang disajikan memberikan prediksi kerusakan perkerasan yang akan terjadi kedepannya.

2 METODOLOGI

Data diperoleh dalam bentuk data sekunder dari penelitian Hadi dan Fauziah (2019) yaitu berupa data material aspal dan pengujian *Marshall Standard*. Berdasarkan data tersebut dilakukan analisis *stiffness of modulus* sebagai data input *stiffness of mixture* dengan variasi kondisi tambahan berupa variasi kecepatan kendaraan dan penambahan data Lalulintas Harian Rerata (LHR) dari P2JN Regional D.I.Yogyakarta sebagai pendekatan kondisi jalan yang sesuai apabila diterapkan dilapangan.

2.1 Stiffness Modulus of Bitumen (Sbit)

Sbit diperkirakan dengan menggunakan nomogram yang dikembangkan oleh Van Der Poel (1954) yang berdasarkan oleh beberapa faktor, yaitu lama pembebanan oleh roda kendaraan, temperatur permukaan perkerasan, temperatur pada *softening point*, dan *penetration index*.

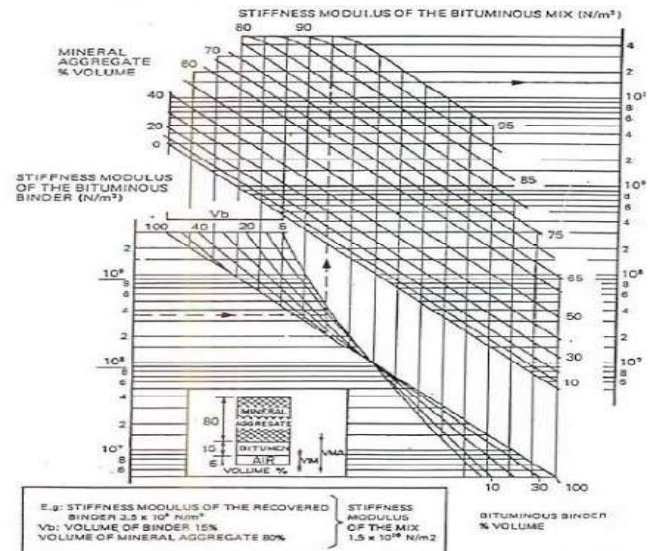


Gambar 1. Nomogram Van Der Poel (1954).

2.2 Stiffness Modulus of Mixture (Smix)

Smix menggambarkan kemampuan campuran perkerasan dalam mendukung beban atau disebut sebagai kapasitas dukung perkerasan dalam menahan beban roda kendaraan. *Smix* dapat diperkirakan dengan

menggunakan nomogram yang dikembangkan Shell (1990). Besarnya nilai *Smix* ditentukan oleh beberapa faktor yaitu *Sbit*, konsentrasi volume agregat padat, konsentrasi volume bitumen, dan konsentrasi rongga dalam campuran agregat dan bitumen.



Gambar 2. Nomogram Shell (1990).

2.3 Analisis Mekanik-Empiris KENPAVE

Program KENPAVE merupakan *software* yang menganalisa tebal perkerasan jalan dari tanah dasar, lapis pondasi hingga lapis permukaan jalan. Metode desain mekanistik-empiris diprogram KENPAVE didasarkan pada mekanika bahan yang berhubungan dengan data yang diperlukan seperti beban roda, respon perkerasan seperti tegangan dan regangan. Nilai respon digunakan untuk memprediksi tekanan tes laboratorium dan kinerja lapangan. Sangat perlu dilakukan pengamatan pada kinerja perkerasan karena teori saja belum terbukti cukup untuk desain perkerasan secara realistis. Huang (2014).

Input bagi program ini untuk mengkarakterisasi material perkerasan dan respon strukturnya meliputi: modulus elastisitas (E) dan rasio Poisson (μ) setiap lapis, tebal tiap lapis (t), serta kondisi pembebanan, yaitu besarnya, geometrinya, serta repetisinya, sedangkan outputnya berupa: tegangan, regangan, dan defleksi.

Pada umumnya, untuk mengecek ketiga output tersebut maka dilakukan peninjauan pada titik-titik kritis seperti pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Analisis Titik-Titik Kritis Struktur Perkerasan

Lokasi Titik	Respon Struktur	Kegunaan
Bagian bawah pada lapis beraspal	Regangan tarik arah horizontal	Memprediksi kerusakan lelah pada lapis beraspal
Bagian atas pada lapis pondasi atas (<i>base</i>) atau lapis pondasi bawah (<i>subbase</i>)	Regangan desak arah vertikal	Memprediksi kerusakan alur pada lapis pondasi atau bawah
Bagian atas lapis tanah dasar (<i>subgrade</i>)	Regangan desak arah vertikal	Memprediksi deformasi pada tanah dasar

Setelah mendapatkan respon struktur (Tabel 1), maka dilakukan transfer untuk mengetahui jumlah repetisi beban yang menyebabkan kerusakan struktural pada perkerasan. Fungsi transfer untuk kerusakan *fatigue cracking* (N_f) diformulasikan sebagai berikut :

$$N_f = 0,0796 (\epsilon_t)^{-3,921} |E|^{-0,085} \quad (1)$$

Dalam Persamaan (1), ϵ_t merupakan regangan tarik horizontal dibagian bawah aspal dan $|E|$ adalah modulus dinamis dari campuran beton aspal. Sementara itu, fungsi transfer untuk kerusakan N_d *rutting* dan N_d *permanent deformation* diformulasikan sebagai berikut :

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,477} \quad (2)$$

Dalam Persamaan (2), ϵ_c merupakan tekanan vertikal diatas lapisan dasar.

2.4 Repetisi Beban Sumbu Standar Rencana

Data yang digunakan adalah data Lalulintas Harian Rerata (LHR) Tahun 2017 di Jalan Kretek - Parangteritis, Bantul. Data LHR selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. LHR Kecamatan Kretek, Parangteritis, Bantul

Gol.	Jenis Kendaraan	LHR 2017
1	Motor	25960
2	Sedan, Jeep	2277
3	Pick-up	248
4	Truk 2 As (<i>light</i>), Truk Kecil	631
5a	Bus Kecil	163
5b	Bus Besar	145
6a	Truk 2 As (Kargo Ringan)	1887
6b	Truk 2 As (Kargo Sedang)	534
7a	Truk 3 As, Truk Gandeng	8
7c	Truk Semi Trailer	3
8	Kendaraan Tidak Bermotor	3482

Sumber : P2JN Regional D.I.Yogyakarta

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain Perkerasan

Desain perkerasan berpedoman pada Binamarga 2017, dengan penggunaan umur rencana selama 20 tahun dari tahun 2018 serta perkiraan pertumbuhan lalulintas pertahunnya mencapai 4,8%. Berdasarkan pedoman dan data LHR pada Tabel 2, maka diperoleh hasil desain struktur perkerasan sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Desain Struktur Perkerasan

Lapis Perkerasan	Binamarga 2017 (mm)
<i>AC Wearing Course</i>	40
<i>AC Binder Course</i>	60
<i>AC Base</i>	145
Lapis Pondasi Kelas A	300

3.2 Karakteristik Material Aspal

Berdasarkan penelitian Hadi dan Fauziah (2019), data karakteristik material aspal dan data karakteristik *marshall standard* disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5 berikut.

Tabel 4. Karakteristik Material Aspal

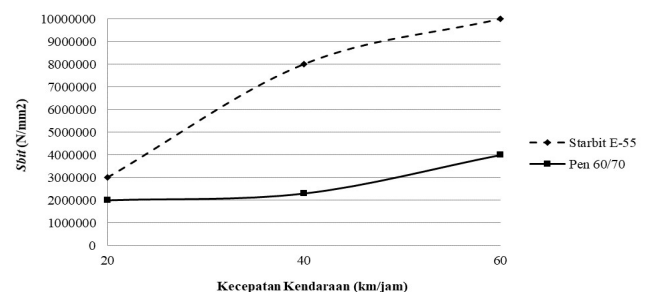
Parameter	Starbit E-55		Pen 60/70	
	Spek.	Hasil	Spek.	Hasil
Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,04	$\geq 1,0$	1,06
Penetrasi (0,1 mm)	50-80	55,8	60-70	61,7
Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 54	54	≥ 48	48

Tabel 5. Karakteristik *Marshall Standard*

Pengujian	Spek.	Starbit E-55	Pen 60/70
<i>VITM</i> (%)	3%-5%	4,65%	4,32%

3.3 *Stiffness Modulus Of Bitumen*

Grafik hubungan antara nilai *Sbit* dengan variasi tipe bahan ikat dan variasi kecepatan kendaraan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Nilai *Sbit* pada Tiap Variasi Kecepatan Kendaraan.

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai *Sbit* akan cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan kendaraan, hal ini

dikarenakan adanya penurunan durasi pembebanan yang terjadi pada saat kendaraan melintas. Berdasarkan Gambar 3 tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai *Sbit* aspal Starbit E-55 relatif lebih tinggi dibandingkan Pen 60/70 yang artinya tipe aspal tersebut memiliki kekakuan dan ketahanan yang lebih baik.

3.4 Stiffness Modulus Of Mixture

Nilai *Smix* pada variasi kecepatan kendaraan dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. *Stiffness Modulus Of Mixture*

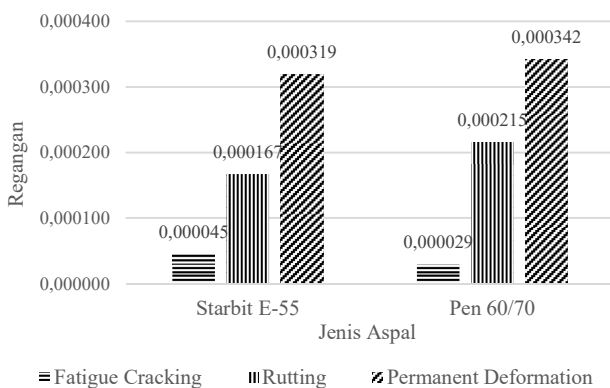
Jenis Aspal	20 km/jam		40 km/jam		60 km/jam	
	<i>Sbit</i> (1x10 ⁶ N/m ²)	<i>Smix</i> (1x10 ⁹ N/m ²)	<i>Sbit</i> (1x10 ⁶ N/m ²)	<i>Smix</i> (1x10 ⁹ N/m ²)	<i>Sbit</i> (1x10 ⁶ N/m ²)	<i>Smix</i> (1x10 ⁹ N/m ²)
Starbit E-55	3*	1	8	1,5	10	6
Pen 60/70	2*	1	2,3*	1	4*	1

*Sbit** (N/m²) = 5x10⁶ karena nilai *Sbit* yang didapatkan < batas minimal pada Nomogram Shell (1990).

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat bahwa perkerasan dengan bahan ikat Starbit E-55 memiliki nilai *Smix* yang lebih tinggi, hal ini membuktikan bahwa pada perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 akan menghasilkan perkerasan yang memiliki ketahanan terhadap perubahan distribusi beban yang berasal dari kecepatan kendaraan dibandingkan dengan perkerasan yang berbahan ikat Pen 60/70.

3.5 Analisis Mekanik-Empiris KENPAVE

Hasil akhir analisis pada program KANPAVE adalah berupa prediksi nilai regangan pada jenis kerusakan *fatigue cracking* (*F*), *rutting* (*R*), dan *permanent deformation* (*D*). Perbandingan hasil analisis terhadap perkerasan dengan bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 pada kecepatan kendaraan 40 km/jam disajikan pada Gambar 6, serta hasil analisis untuk prediksi regangan disetiap variasi dapat dilihat pada Tabel 7.



Gambar 6. Prediksi Nilai Regangan pada Perkerasan dengan Variasi Kecepatan Kendaraan 40 km/jam

Tabel 7. Prediksi Nilai Regangan Pada Setiap Variasi

Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Jenis Aspal	<i>Fatigue Cracking</i>	<i>Rutting</i>	<i>Permanent Deformation</i>
20	Starbit E-55	0,0000291	0,000215	0,000342
	Pen 60/70	0,0000291	0,000215	0,000342
40	Starbit E-55	0,0000452	0,000167	0,000319
	Pen 60/70	0,0000291	0,000215	0,000342
60	Starbit E-55	0,0000706	0,0000999	0,000252
	Pen 60/70	0,0000291	0,000215	0,000342

Setelah mendapatkan prediksi nilai regangan penyebab kerusakan pada Tabel 7, maka didapatkan hasil analisis beban lalu lintas sebagai berikut.

Tabel 8. Hasil Analisis Beban Lalu Lintas

Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Jenis Aspal	Repetisi Beban (ESAL)	
20	Starbit E-55	Nf <i>Fatigue</i>	311.192.246.730
		Nd <i>Rutting</i>	36.101.113
		Nd <i>Deformation</i>	4.484.658
	Pen 60/70	Nf <i>Fatigue</i>	311.192.246.730
		Nd <i>Rutting</i>	36.101.113
		Nd <i>Deformation</i>	4.484.658
40	Starbit E-55	Nf <i>Fatigue</i>	55.557.304.366
		Nd <i>Rutting</i>	111.779.188
		Nd <i>Deformation</i>	6.176.063
	Pen 60/70	Nf <i>Fatigue</i>	311.192.246.730
		Nd <i>Rutting</i>	36.101.113
		Nd <i>Deformation</i>	4.484.658
60	Starbit E-55	Nf <i>Fatigue</i>	9.674.905.240
		Nd <i>Rutting</i>	1.108.380.159
		Nd <i>Deformation</i>	17.685.045
	Pen 60/70	Nf <i>Fatigue</i>	311.192.246.730
		Nd <i>Rutting</i>	36.101.113
		Nd <i>Deformation</i>	4.484.658

Pada Gambar 6, dapat dilihat bahwa perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 ataupun Pen 60/70 akan terlebih dahulu mengalami kerusakan berupa *permanent deformation*. Hasil ini sejalan dengan kajian yang dilakukan oleh Yulianto dan Fauziah (2019) terhadap pengecekan kondisi perkerasan eksisting pada ruas Jalan Purworejo-Jogja, kajian ini memperoleh hasil nilai regangan penyebab *permanent deformation* lebih besar dari pada nilai regangan penyebab *rutting* dan *fatigue cracking*.

Berdasarkan Tabel 7 dan Tabel 8, dapat diketahui bahwa perkerasan *Superpave* yang dilewati kendaraan dengan kecepatan 60 km/jam memiliki prediksi nilai regangan penyebab kerusakan yang lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan 20 km/jam ataupun 40 km/jam, sehingga dapat disimpulkan bahwa perkerasan yang didesain untuk dilewati oleh kendaraan dengan kecepatan 60 km/jam akan memiliki ketahanan dan kemampuan yang lebih baik dalam mengakomodasi beban kendaraan. Pada Tabel 7 dan Tabel 8 juga dapat diketahui bahwa perkerasan dengan bahan ikat Starbit

E-55 relatif memiliki kemampuan dalam mempertahankan kinerja perkerasan terhadap resiko kerusakan awal yang telah diprediksi berupa *permanent deformation* yang lebih baik dibandingkan dengan perkerasan berbahan ikat Pen 60/70. Hal ini dapat dilihat salah satunya pada penggunaan aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70 divariasi kecepatan 60 km/jam, perkerasan dengan bahan ikat Starbit E-55 mampu mengakomodasi beban gandar repetisi sebesar 17.685.045 ESAL sampai terjadi *permanent defomation*, sedangkan pada perkerasan dengan bahan ikat Pen 60/70 hanya mampu mengakomodasi beban gandar repetisi sebesar 4.484.658 ESAL sampai terjadi *permanent defomation*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa nilai *Sbit* dan *Smix* akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan kendaraan yang melintas, hal ini dikarenakan dengan bertambahnya kecepatan kendaraan maka beban yang akan diterima oleh perkerasan akan relatif lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan sebelumnya. Serta dari hasil penelitian dan analisis menggunakan program KENPAVE dapat disimpulkan bahwa campuran *Superpave* dengan bahan ikat Starbit E-55 lebih baik dalam hal menjaga penurunan kinerja perkerasan akibat adanya pengaruh kecepatan kendaraan yang melintas dibandingkan dengan campuran *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70, sehingga jenis pekerasan *Superpave* dengan bahan ikat Starbit E-55 ini sangat direkomendasikan penerapannya guna mendapatkan hasil pelayanan jalan yang maksimum.

REFERENSI

- Asphalt Institute* (1982). *Research and Development of the Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1)*, 9th edition. *Research Report 82-2*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2010. Spesifikasi Umum Edisi 2010 Rev 3 Divisi 6. Penerbit Bina Marga. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (2017). Manual Desain Perkerasan Jalan No. 04/SE/DB/2017
- Fauziah, M., dan Handaka, A. 2017. *Pemanfaatan Aspal Starbit E-55 Untuk Menahan Penurunan Kinerja Akibat Rendaman Air Hujan Pada Campuran Split Mastic Asphalt*. *Jurnal Transportasi*. Vol. 17 No. 1. Yogyakarta.
- Fauziah, M., dan Safitri, A.D. 2016. *Perbandingan Karakteristik Campuran Superpave Dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 Dan Retona Blend 55 Pada Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Hujan, Prosiding The 19th International Symposium of FSTPT, Islamic University of Indonesia*, ISBN:979-95721-2-19. Yogyakarta.
- Hadi, M.A., dan Fauziah, M. 2019. *Perbandingan Karakteristik Campuran Superpave Antara yang Menggunakan Bahan Ikat Starbit E-55 dengan Pen 60/70 pada Variasi Durasi Rendaman Air Payau*. *Civil Engineering and Environment Symposium 2019*. Univeritas Negeri Semarang. Semarang.
- Huang, Y.H. 2004. *Pavement Analysis and Design*. 2nd edition. *Pearson Prentice-Hall: New Jersey*.
- Nugroho, A., dan Subarkah. 2018. *Perbandingan Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt (HRA) Berbahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E-55*. *Jurnal Teknisia*, Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- PT Bintang Jaya. 2013. *Latar Belakang Pengembangan Aspal Modifikasi Starbit E-55*, PT Bintang Djaja, Semarang.
- Ramadhani, R.I., dan Fauziah, M. 2018. *Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2013 Dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program Kenpave Pada Ruas Jalan Jogja-Solo*. *Civil Engineering and Environment Symposium 2018*. Univeritas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Shell (1990) Materi Perkuliahan Bahan Perkerasan Jalan. Universitas Islam Indonesia. 2015.
- Strategic Highway Research Program (SHRP) A-407*. 1994. *The Superpave Mix Design Manual for New Construction and Overlays*. *Strategic Highway Research Program National Research Council*. Washington.
- Van Der Poel (1954). Materi Perkuliahan Bahan Perkerasan Jalan. Universitas Islam Indonesia. 2015.
- Yulianto, D., dan Fauziah, M. 2019. *Analisis Nilai Sisa Perkerasan Lentur Akibat Beban Berlebih Kendaraan (Overloading) Dengan Metode Empirik Dan Metode Mekanistik-Empirik Dengan Program Kenpave Pada Ruas Jalan Purworejo – Jogja*. *Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun*. FTSP-UII. Yogyakarta.

Optimalisasi Rute *Standard Instrument Arrival* (STAR) Dengan *Point Merge System* (PMS) (Studi Kasus: Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai)

A. Fitriana

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
nikkafitriana@gmail.com

Dewanti

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
dewanti@ugm.ac.id

S. Priyanto

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
spriyanto@mstt.ugm.ac.id

INTISARI

Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai telah menerapkan RNAV-1 pada prosedur penerbangan kedatangan di wilayah ruang udara *Terminal Maneuvering Area* (TMA). Hal ini bertujuan untuk mengendalikan kompleksitas lalu lintas kedatangan dan meningkatkan efisiensi penerbangan yang berdampak positif pada lingkungan. Selain itu juga mengurangi beban kerja *Air Traffic Controller* (ATC) dengan mengurangi jumlah komunikasi yang dilakukan. Namun kompleksitas arus lalu lintas kedatangan saat ini semakin meningkat, dan efisiensi belum tercapai secara optimal. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis penerapan prosedur saat ini dan beban kerja mental ATC, serta merancang konsep *Point Merge System* pada prosedur penerbangan kedatangan. Pengukuran beban kerja mental ATC dilakukan dengan metode NASA-TLX, dan penyusunan desain PMS berdasarkan karakteristik lalu lintas kedatangan di wilayah TMA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban kerja mental ATC masuk pada kategori 'tinggi', dan aktivitas ATC dalam mengendalikan lalu lintas kedatangan berpengaruh terhadap beban kerja. Berdasarkan hasil analisis tersebut, konsep *Point Merge System* dirancang untuk mengurangi beban kerja mental ATC dengan mengumpulkan dan mengatur urutan arus lalu lintas penerbangan kedatangan, serta meningkatkan efisiensi penerbangan.

Kata kunci: *Point Merge System*, NASA-TLX, Kompleksitas Lalu lintas Penerbangan, *Standard Instrument Arrival*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Padatnya pergerakan lalu lintas pada suatu ruang udara dapat menimbulkan beberapa masalah pada efisiensi dan keselamatan penerbangan. Oleh karena itu, ICAO telah mencanangkan penerapan *Performance Based Navigation* (PBN). Konsep PBN merupakan peralihan metode navigasi berbasis penggunaan sensor di darat menjadi navigasi berbasis kinerja.

Dalam penerapan PBN terdapat 2 komponen yang diperlukan, yaitu infrastruktur navigasi dan spesifikasi navigasi. Infrastruktur navigasi dalam penerapan PBN meliputi *navigation aid* yang berbasis di darat, yaitu VOR/DME dan berbasis satelit, yaitu GNSS.

Spesifikasi navigasi dalam penerapan PBN merupakan kinerja yang diperlukan dan persyaratan bagi pesawat udara untuk mendukung aplikasi navigasi di dalam konsep ruang udara yang ditentukan. Spesifikasi navigasi dalam PBN, yaitu *Area Navigation* (RNAV) dan *Required Navigation Performance* (RNP).

Di Indonesia, PBN telah diterapkan pada zona wilayah ruang udara *Terminal Maneuvering Area* (TMA), dengan spesifikasi navigasi RNAV-1.

Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai telah menerapkan RNAV-1 pada prosedur penerbangan instrumen di wilayah TMA sejak tahun 2013. Pada wilayah ini, pesawat udara yang akan mendarat perlu melakukan prosedur penerbangan instrumen atau *Standard Instrument Arrival* (STAR).

Penerapan RNAV-1 pada prosedur STAR dalam rangka untuk mengendalikan kompleksitas di wilayah TMA dari banyaknya jumlah pergerakan lalu lintas kedatangan, serta meningkatkan efisiensi penerbangan dengan mengurangi jarak tempuh dan mendukung *Continuous Descent Approach* (CDA), yaitu pesawat dapat melakukan *descent* secara optimal dengan dorongan mesin secara minimum (*minimum thrust*).

Tujuan lain dari penerapan RNAV-1 adalah mengurangi beban kerja ATC yang sebelumnya terasa sangat berat karena menggunakan teknik pengaturan secara konvensional (*radar vector*), yaitu pemberian

perubahan arah kepada pesawat guna mengatur jarak antar pesawat kedatangan untuk *sequencing*.

Namun pada kondisi di lapangan saat ini, dimana banyaknya pesawat yang datang secara bersamaan, sehingga petugas ATC masih sering memberikan instruksi perubahan arah (*heading*) untuk mengatur jarak antar pesawat kedatangan dalam *sequencing*. Tentunya hal ini akan berdampak pada beban kerja petugas ATC.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan prosedur STAR saat ini dan beban kerja mental ATC di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai, serta merancang konsep struktur *Point Merge System* (PMS) pada STAR guna mengendalikan kompleksitas lalu lintas penerbangan kedatangan di wilayah TMA Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai.

2 LANDASAN TEORI

2.1 Penerapan RNAV-1 pada Prosedur *Standard Instrument Arrival* (STAR)

Dalam penelitian Leonaldy (2012) dijelaskan bahwa manfaat utama dari penerapan RNAV adalah dapat mempersingkat jarak tempuh penerbangan, meningkatkan kinerja navigasi, mengurangi kebisingan dan menghasilkan struktur rute yang lebih efektif.

Penerapan RNAV-1 telah diterapkan pada prosedur STAR. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas ruang udara, mengurangi beban kerja petugas ATC dan Pilot, meningkatkan efisiensi dan prediktabilitas serta meningkatkan manfaat pada lingkungan (Eurocontrol, 2010).

Standard Instrument Arrival (STAR) adalah prosedur penerbangan untuk mengatur arus lalu lintas kedatangan, yang terdiri dari jalur yang harus dilalui oleh pesawat dengan penerbangan *Instrument Flight Rules* (IFR) untuk melakukan pendekatan (*approaching*) untuk mendarat di suatu bandara.

2.2 Beban Kerja Mental ATC

Hilburn (2004) mengatakan bahwa aktivitas yang dilakukan *controller* merupakan tuntutan kerja yang didasarkan pada kemampuan kognitif, dan bersifat subyektif (*subjective mental workload*). Purwaningsih dan Sugiyanto (2007) menambahkan beban kerja mental adalah sebuah kombinasi antara faktor-faktor yang terkait dengan tuntutan tugas, kondisi operator dan faktor-faktor tertentu.

Kompleksitas lalu lintas udara menjadi salah satu faktor penyumbang beban kerja ATC yang berdampak pada keselamatan penerbangan. Kompleksitas tersebut

bersamaan dengan sistem peralatan dan kebutuhan prosedur yang mewakili kebutuhan tugas bagi *controller* (Djokic, 2010).

Cellier dkk (1996) pada penelitiannya mengungkapkan bahwa jumlah pesawat yang berada dalam kontrol bukan indeks yang sempurna. Misalnya, ketika terdapat 5 pesawat di sektor yang sama, maka beban kerja *controller* tidak akan setara jika setiap jalur penerbangan secara pasti tidak berpotongan, atau jika semuanya mengembangkan konflik. Dengan demikian, langkah-langkah kompleksitas ATC terkait dengan kesulitan kognitif mengendalikan situasi lalu lintas udara juga memperhitungkan pola lalu lintas serta jumlah lalu lintasnya.

2.3 Metode Penilaian Subjektif NASA-TLX

NASA-TLX merupakan metode penilaian subjektif yang dikembangkan oleh NASA. Pada penilaian beban kerja dalam metode subjektif NASA-TLX melibatkan 6 indikator (Hancock dan Meshkati, 1988), yaitu :

- Mental Demand*, yang menunjukkan seberapa besar aktivitas mental dan persepsi yang dibutuhkan oleh pekerja untuk melakukan suatu pekerjaan.
- Physical Demand*, yang menunjukkan seberapa besar aktivitas fisik yang dibutuhkan seseorang untuk melakukan suatu pekerjaan.
- Temporal Demand*, yang berhubungan dengan tekanan yang dirasakan berdasarkan waktu selama melakukan pekerjaan tersebut.
- Own Performance*, yang menunjukkan seberapa besar tingkat keberhasilan dan tingkat kepuasan pekerja dalam melaksanakan pekerjaannya.
- Effort*, yang menunjukkan seberapa besar usaha mental dan fisik yang dibutuhkan dalam menyelesaikan suatu pekerjaan.
- Frustration*, yang menunjukkan seberapa besar tingkat kecemasan yang dirasakan selama menyelesaikan suatu pekerjaan.

2.4 Aktivitas ATC dalam Mengendalikan Kompleksitas Lalu lintas Penerbangan.

Berdasarkan Airnav (2015), kegiatan petugas ATC terkait dengan beban kerja dalam memberikan pelayanan dikategorikan menjadi 3 (tiga), yaitu :

- Routine macro-task*, yaitu menerima atau menyampaikan estimasi *flight level/heading*, mengukur jarak antar pesawat pada layar monitor.
- Level change monitoring macro-task*, yaitu menyampaikan instruksi *climb* atau *descend*.
- Conflict monitoring & resolution macro-task*, yaitu pemberian informasi atau instruksi *heading* dan atau ketinggian untuk menghindari konflik.

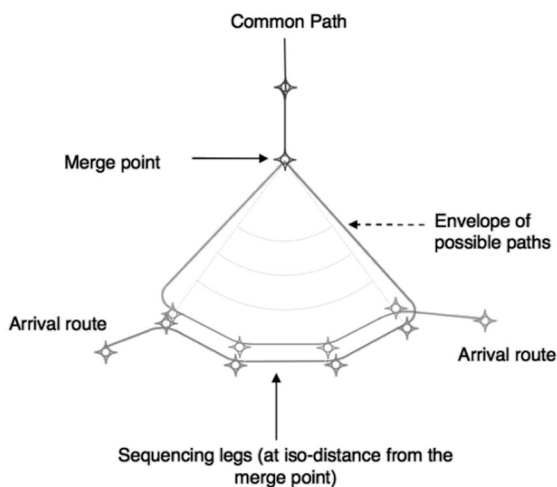
2.5 Desain Struktur *Point Merge System* (PMS)

EUROCONTROL, 2010 menjelaskan bahwa *Point Merge System* dapat didefinisikan sebagai prosedur RNAV STAR yang memiliki karakteristik, yaitu :

- Poin tunggal yang disebut '*Merge Point*', untuk integrasi lalu lintas penerbangan kedatangan.
- Lintasan yang dilalui sebelum menuju *merge point* disebut '*sequencing leg*', yang *isodistant* dan *equidistant*. *Isodistant* yaitu jarak ke *merge point* harus sama sepanjang lintasan *leg* yang diberikan. Masing-masing *sequencing leg* digunakan untuk melebarkan atau mempersingkat lintasan bagi arus lalu lintas penerbangan kedatangan. *Sequencing leg* harus didesain dengan memiliki jarak secara vertikal, lateral atau keduanya.

Menurut Favennec dkk (2009), PMS merupakan teknik pengaturan arus lalu lintas udara dengan menggabungkan pesawat *arrival* di *merge point* dengan sebelumnya diatur di *sequence legs*.

Konfigurasi *Point Merge System* yang sederhana, yaitu terdapat 2 *sequencing leg* untuk pergerakan lalu lintas kedatangan dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber : EUROCONTROL, 2010

Gambar 1. Struktur *Point Merge System*.

Sudut yang perlu diperhatikan dalam desain *Point Merge System*, yaitu :

- Sudut pada *waypoint* pertama di *sequencing leg* (α) dan sudut dalam segmen *sequencing leg* selanjutnya ($\alpha^1, \alpha^2, \dots$). Sudut ini harus lebih kecil dari 120° dan sesuai dengan *maneuver fly by* yang dilakukan pesawat, yang mana lebih kecil dari 90° . Pada sudut perubahan di *waypoint* sepanjang *sequencing leg* perlu mempertimbangkan faktor angin yang dapat mempengaruhi pergerakan pesawat.

- Sudut pada instruksi "*direct-to*" menuju *merge point* (β). Sudut ini sebaiknya kurang lebih 90° , untuk mengurangi dampak dari variasi jarak yang dihasilkan ketika meninggalkan *sequencing leg*.
- Sudut pada beberapa rute yang dimungkinkan terjadi untuk menuju *merge point* (δ). Sudut ini sebaiknya kurang dari 180° , untuk menghindari pertemuan antar pesawat pada *merge point* ketika menggunakan lintasan terpendek dari masing-masing *sequencing leg*.
- Sudut dari perubahan pada titik gabungan (γ) - menuju keluarnya *Point Merge System*.

Evaluasi penerapan PMS pada prosedur STAR di Paris telah dilakukan oleh Ivanescu (2009), dan hasilnya terdapat pengurangan sebesar 30% jumlah instruksi ATC dikarenakan tidak adanya *heading instruction* dan berdampak pada pengurangan beban kerja ATC. Selain itu juga penggunaan bahan bakar pesawat berkurang sebesar 2% pada masing-masing pesawat berdasarkan hasil perhitungan dengan BADA *aircraft performance*.

3 METODE PENELITIAN

3.1 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan dengan survei ke lapangan untuk mendapatkan data primer, yaitu data pergerakan lalu lintas kedatangan, jumlah instruksi yang dilakukan oleh petugas ATC selama 1 (satu) jam pelaksanaan tugas, serta wawancara kepada petugas ATC.

Penelitian ini mengambil lokasi di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai pada bulan Desember 2019. Arikunto (1993) menyatakan bahwa apabila subjek kurang dari 100, maka lebih baik diambil semua, sehingga penelitiannya merupakan penelitian populasi. Berdasarkan penjelasan tersebut, maka jumlah sampel dalam penelitian ini sebanyak jumlah populasi, yaitu 46 petugas ATC *Approach*.

3.2 Penilaian Beban kerja berdasarkan NASA-TLX

Adapun tahapan pengukuran metode NASA-TLX adalah sebagai berikut.

- Pembobotan
Pada tahap ini nilai bobot dihitung dari jumlah *tally* dari setiap indikator yang dirasakan paling berpengaruh.
- Pemberian *Rating*
Responden memberikan nilai terhadap masing-masing faktor. Penilaian ini bersifat subyektif sesuai dengan yang dirasakan oleh responden selama mengendalikan pergerakan lalu lintas penerbangan selama 1 jam terakhir.

- c) Menghitung nilai *Adjusted Rating*
Masing-masing indikator didapatkan dengan mengkalikan bobot dan *rating*.

$$\text{Adjusted Rating} = \text{Rating} \times \text{Bobot} \quad (1)$$

- d) Menghitung *Weighted Workload* (WWL)
Selanjutnya menghitung nilai *Weighted Workload* (WWL) dengan cara menjumlahkan hasil dari keenam nilai *adjusted rating* setiap responden.

$$\text{WWL} = \sum \text{adjusted rating} \quad (2)$$

- e) Menghitung Skor
Diperoleh dari membagi WWL yang didapatkan dengan jumlah bobot total yaitu 15.

$$\text{Skor} = \frac{\sum \text{nilai produk}}{15} \quad (3)$$

Skor NASA-TLX dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Interpretasi Skor NASA-TLX

Golongan Beban Kerja	Nilai
Rendah	0-9
Sedang	10-29
Agak Tinggi	30-49
Tinggi	50-79
Sangat Tinggi	80-100

3.3 Regresi Linear Sederhana

Pada penelitian ini menggunakan 2 variabel yaitu jumlah instruksi petugas ATC sebagai variabel bebas (X) dan beban kerja mental ATC sebagai variabel terikat (Y). Persamaan regresi linear sederhana adalah sebagai berikut.

$$Y = a + \beta X \quad (4)$$

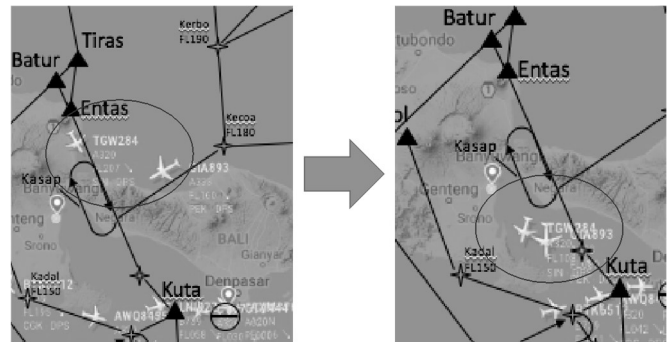
dimana Y merupakan variabel beban kerja mental ATC dan X merupakan variabel jumlah instruksi petugas ATC, sedangkan a merupakan konstanta dan β adalah koefisien kemiringan garis regresi terhadap perubahan X.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Aktivitas ATC pada penerapan prosedur STAR saat ini

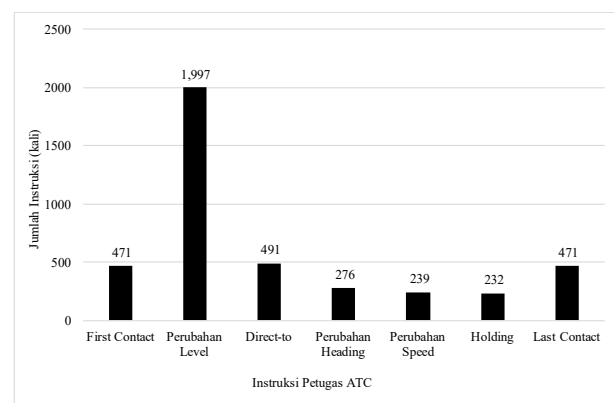
Berdasarkan hasil observasi, didapat bahwa STAR RNAV-1 belum diterapkan secara optimal. Hal ini dapat dilihat pada kondisi volume lalu lintas penerbangan rendah, ATC memberikan instruksi untuk menuju *point* tertentu secara langsung guna efisiensi jarak dan waktu. Namun, ketika volume lalu lintas penerbangan kedatangan meningkat, ATC memberikan instruksi perubahan arah (*heading*) guna menjaga

separasi antar pesawat untuk menyusun *sequencing*. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Radar Vectoring yang dilakukan oleh ATC.

Berdasarkan hasil analisis jumlah komunikasi yang dilakukan ATC, terdapat frekuensi yang tinggi pada instruksi perubahan level, dikarenakan separasi vertikal dan *step descent* pada pesawat kedatangan. Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Jumlah komunikasi yang dilakukan oleh ATC.

4.2 Tingkat Beban Kerja Mental Petugas ATC

Petugas ATC *Approach* di bandara ini terbagi menjadi 2 sektor, yaitu *Terminal West Controller*, yang mengatur pergerakan lalu lintas penerbangan di wilayah barat, dan *Terminal East Controller*, yang mengatur pergerakan lalu lintas penerbangan di wilayah timur.

Berdasarkan hasil penilaian, didapat bahwa rata-rata beban kerja mental pada tingkat 'tinggi' pada *Terminal West Controller*, dan tingkat 'agak tinggi' pada *Terminal East Controller*. Hasil penilaian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Penilaian Beban Kerja Mental

Sektor	Rata-Rata	Kategori
<i>Terminal West</i>	51.19	Tinggi
<i>Terminal East</i>	38.64	Agak Tinggi

Hal ini menunjukkan bahwa beban kerja mental petugas ATC APP tinggi dalam mengatur strategi, terutama dalam *sequencing*. Semakin tingginya beban kerja yang diemban, maka akan berdampak buruk pada keselamatan penerbangan. Beban kerja mental *Terminal West Controller* lebih tinggi karena volume *arrival traffic* di wilayah barat yang lebih tinggi. Hasil wawancara dengan petugas ATC yang juga dilakukan setelah pengisian kuesioner NASA-TLX adalah dengan struktur STAR RNAV-1 saat ini sudah cukup membantu, namun belum dapat menyelesaikan permasalahan jarak ketika kondisi pergerakan lalu lintas penerbangan kedatangan padat.

4.3 Hubungan antara Aktivitas ATC dengan Beban Kerja Mental ATC

Hasil analisis regresi yang dilakukan, dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Regresi Sederhana

Model	B	Beta	t	Sig.
(Constant)	24.206		9.510	0.000
Jumlah komunikasi	0.240	0.806	9.045	0.000

Pada Tabel 3, diperoleh persamaan regresi sederhana sebagai berikut.

$$Y = 24,206 + 0,24X \tag{5}$$

Persamaan tersebut menjelaskan bahwa koefisien regresi pada variabel jumlah komunikasi petugas ATC (X) bernilai positif, artinya variabel jumlah komunikasi yang dilakukan petugas ATC memiliki hubungan yang searah dengan tingkat beban kerja mental petugas ATC (Y). Semakin tinggi jumlah komunikasi yang dilakukan petugas ATC, maka beban kerja mental yang diemban semakin berat. Oleh karena itu, perlu adanya upaya yang dapat mengurangi jumlah komunikasi yang dilakukan, guna menurunkan beban kerja mental petugas ATC. Upaya tersebut dapat dilakukan dengan adanya perubahan desain prosedur penerbangan kedatangan atau *Standard Instrument Arrival (STAR)*.

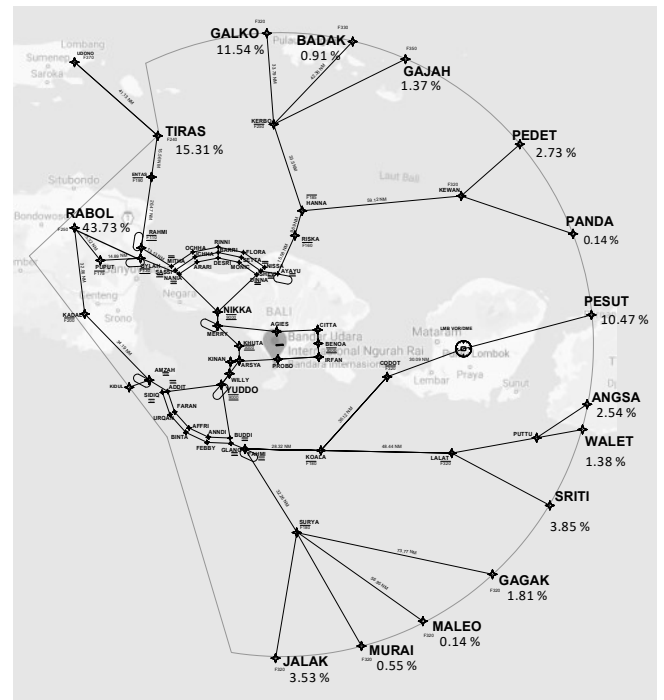
4.4 Konsep Desain *Point Merge System* pada Prosedur STAR

Berdasarkan hasil analisis, terdapat persentase tertinggi pada penggunaan *runway 09*, sehingga '*point merge*' didesain di dekat *runway 09*.

Tabel 4. Penggunaan Runway tahun 2015-2018

Tahun	2015	2016	2017	2018	Total
Rwy 09	68%	70%	63%	65%	67%
Rwy 27	32%	30%	37%	35%	33%

Salah satu struktur konsep PMS memiliki 3 *sequencing legs*, guna memfasilitasi pergerakan lalu lintas kedatangan dari arah utara dan barat, yang melalui *entry point* Rabol, Tiras, Galko, Badak, Gajah, Pedet dan Panda. Sedangkan struktur desain PMS yang memiliki 2 *sequencing legs*, memfasilitasi pergerakan lalu lintas kedatangan dari arah selatan dan timur, yang melalui *entry point* Rabol, Jalak, Murai, Maleo, Gagak, Sriti, Walet dan Angsa. Pada konsep desain STAR ini terdapat 1 *entry point* yang memiliki 2 jalur menuju PMS, yaitu Rabol. Hal ini dikarenakan beban pergerakan lalu lintas kedatangan di point Rabol memiliki persentase yang tinggi, yaitu 43,73%.



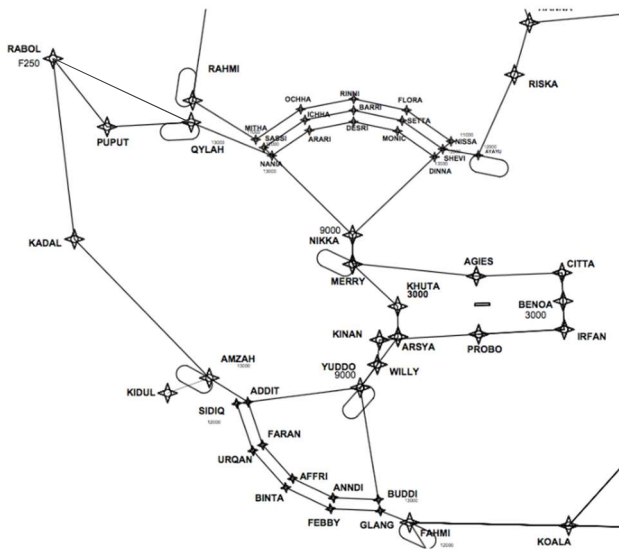
Gambar 4. Karakteristik Pergerakan Lalulintas Penerbangan Kedatangan di wilayah TMA.

4.5 Metode Pengoperasian *Point Merge System*

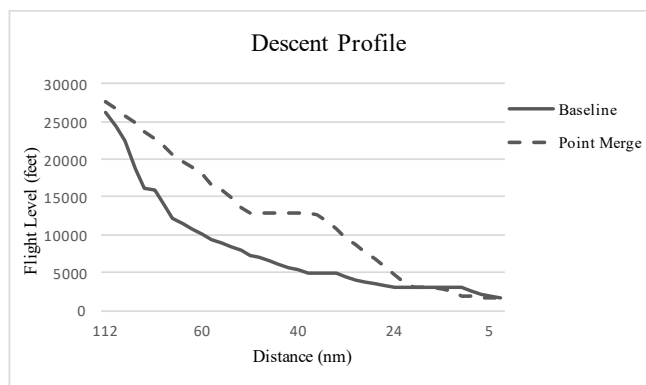
Pada Gambar 5, pesawat kedatangan yang masuk ke wilayah TMA melalui *entry point* Rabol, selanjutnya menuju *waypoint* 'QYLAH' dan *maintain flight level* 13.000 ft di *sequencing leg* sampai mendapat instruksi '*direct-to*' menuju *merge point* 'NIKKA'. Setelah mendapat instruksi '*direct-to*', pesawat meninggalkan *sequencing leg* dan mulai *descent* secara terus menerus sampai ke *initial approach fix (IAF)* point 'KHUTA'. Dalam desain PMS ini, menggunakan *gradient* jalur penerbangan sebesar 3°, dan jarak antara *sequencing leg* dan *merge point* sebesar 20 nm, sehingga memungkinkan pesawat dapat menerapkan *Continuous Descent Approach (CDA)*.

Gambar 6, menunjukkan perbandingan *descent profile* penerbangan kondisi saat ini dan *Point Merge System*. Pada kondisi saat ini pesawat *descent* secara bertahap

dan berdampak pada penggunaan bahan bakar serta lingkungan. Selain itu, dengan kompleksitas lalu lintas penerbangan kedatangan yang tinggi saat ini, pesawat sering bertahan di ketinggian yang rendah (antara 5.000 sampai 3.000 ft) selama beberapa waktu untuk menunggu antrian menuju IAF.



Gambar 5. Desain Point Merge System di Wilayah TMA Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai.



Gambar 6. Descent Profile Radar Vector dengan PMS.

5 KESIMPULAN

Dari hasil analisis beban kerja yang dilakukan, didapat beban kerja mental *Approach controller* di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai saat ini pada tingkat tinggi. Hal tersebut dikarenakan dalam pengendalian lalu lintas kedatangan masih diperlukan aktivitas mental tinggi untuk *sequencing*. Selain itu, pola arus lalu lintas pada prosedur penerbangan STAR saat ini juga dapat mempengaruhi beban kerja ATC, karena jumlah komunikasi yang dihasilkan akibat seringnya ATC memberikan instruksi perubahan level, arah,

kecepatan dan *holding* untuk *sequencing* pesawat kedatangan. Metode *point merge* pada prosedur penerbangan kedatangan, memiliki *sequencing leg* yang dapat memfasilitasi pergerakan lalu lintas kedatangan menuju satu titik, yaitu *merge point*. Adanya metode *point merge* pada prosedur STAR, dapat mengurangi beban kerja ATC dengan mengendalikan lalu lintas kedatangan tanpa memberikan perubahan arah untuk mengatur jarak antar pesawat dalam *sequencing*. Metode *point merge* ini juga dapat meningkatkan efisiensi penerbangan dengan menerapkan CDA.

REFERENSI

- Airnav. (2015). Perhitungan Kapasitas Ruang Udara. Jakarta
- Cellier, J.M., De Keyser, V., Valot C. (1996). La gestion du temps dans les environnements dynamiques, *PUF, Paris*, pp 287-310
- Djockic, J. (2010). Air Traffic Control Complexity as Workload Driver. *Transport Res. C-Emer.*, 930-936.
- EUROCONTROL. (2010). Point Merge Integration of Arrival Flows Enabling Extensive RNAV Application and Continuous Descent-Operational Services and Environment Definition, *Eurocontrol Experimental Centre, French*.
- Favennec, B., Hoffman, E., and Trzmiel, A. (2009). "The Point Merge Arrival Flow Integration Technique: Towards More Complex Environments and Advanced Continuous Descent." *9th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (ATIO)*, USA.
- Hancock, A. and N. Meshkati. (1998). *Human Mental Workload*. Elsevier Science Publishing Company, INC, Netherlands
- Hilburn, B. (2004). *Cognitive complexity in air traffic control - a literature review*, EUROCONTROL, France.
- Ivanescu, D., Shaw, C., and Tamvaclis, C. (2009). "Models of Air Traffic Merging Techniques: Evaluating Performance of Point Merge". *9th Aviation Technology, Integration and Operations Conference, American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)*, South California, USA, Volume 2.
- Leonaldy. (2012). "Analysis Implementation of RNAV 5 For Enroute Operation". Tesis, UGM, Yogyakarta.

Upaya Percepatan Peningkatan Pelayanan Angkutan Sungai Perkotaan yang Terkoneksi di Kota Palembang

M. Amanda

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
monicamanda18@gmail.com

I. Muthohar

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

N. Yuwono

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

INTISARI

Sungai Musi merupakan sarana transportasi yang diperlukan menjangkau daerah-daerah terisolasi melalui program percepatan (*quick wins*) untuk meningkatkan pelayanan sarana dan prasarana serta kualitas sumber daya manusia pada Pelabuhan Sungai Kawasan 16 Ilir sebagai titik simpul integrasi aktivitas masyarakat didukung integrasi antar moda maka perlu merumuskan acuan dalam meningkatkan pelayanan baik dari sisi *demand* yaitu kepuasan pengguna jasa melalui *service quality* dan dikuadratkan dengan *importance performance analysis* untuk mendapatkan faktor prioritas serta upaya perbaikan dengan *quality function deployment*, sedangkan dari sisi *supply* melalui *in-depth interview* para ahli / *stakeholder* terhadap aspek teknis serta evaluasi kinerja konektivitas integrasi moda dalam hal waktu tunggu dan jarak berjalan menggunakan standar direktorat jenderal perhubungan darat dan *world bank*. Hasil penelitian menunjukkan dari sisi *demand* nilai *servqual* rata-rata sebesar -1,09, nilai minus menyatakan pelayanan “Buruk” dengan perbaikan pada 13 atribut dan dari sisi teknis didapatkan nilai *customer satisfaction index* sebesar 66% dengan kategori “Buruk” sedangkan evaluasi kinerja konektivitas integrasi moda memenuhi standar, namun perlu penambahan akses khusus pejalan kaki sehingga manfaatnya akan dirasakan pengguna jasa.

Kata Kunci: *Servqual*, IPA, QFD, *In-depth Interview*, Konektivitas Integrasi Moda

1. PENDAHULUAN

Transportasi merupakan sektor kegiatan yang sangat penting karena berkaitan dengan kebutuhan setiap orang untuk melakukan pergerakan. Perkembangan Kota Palembang dari dulu sampai sekarang tidak dapat dilepaskan dari Sungai Musi yang merupakan salah satu sarana transportasi angkutan yang sangat diperlukan untuk menjangkau daerah-daerah terisolasi. Pelaksanaan program percepatan (*quick wins*) bertujuan untuk meningkatkan pelayanan sarana dan prasarana sungai serta kualitas sumber daya manusia berdasar Keputusan Menteri Nomor KP.1428 Tahun 2018 yang kemudian ditindak lanjuti oleh keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor KP. 1781/AP.005/DRJD/2019 tentang *Pilot Project* Program Percepatan Peningkatan Pelayanan Prasarana, Sarana dan Sumber Daya Manusia di Sungai Musi Kota Palembang Provinsi Sumatera Selatan. Alasan lainnya karena lokasi tersebut merupakan titik simpul integrasi aktivitas masyarakat yang didukung dengan integrasi antar moda seperti LRT Sumsel, BRT Trans Musi, angkutan sungai, pasar dan wisata air. Sehubungan hal tersebut, Kementerian Perhubungan khususnya Direktorat Jenderal Perhubungan Darat melalui Balai Pengelola Transportasi Darat (BPTD) Wilayah VII

Provinsi Sumatera Selatan dan Bangka Belitung yang juga mendapat dukungan Pemerintah Kota Palembang melakukan modernisasi peningkatan fasilitas angkutan sungai melalui pembangunan dermaga sungai beserta fasilitasnya sebagai *pilot project* angkutan sungai di tingkat nasional. Oleh karena itu perlu adanya penelitian lebih lanjut dalam merumuskan acuan yang lebih sesuai sebagai indikator penilaian kinerja pelayanan dan konektivitas angkutan sungai baik dari sisi *demand* yaitu kepuasan pengguna jasa dan dari sisi *supply* terhadap aspek teknis sarana dan prasarana operasional kapal *speedboat* berdasar pendapat para ahli / *stakeholder* serta upaya peningkatan kinerja dari respon teknik pihak terkait untuk mendukung percepatan peningkatan pelayanan angkutan sungai perkotaan yang terkoneksi di Kota Palembang.

2. LANDASAN TEORI

Kotler (2005) menjelaskan pelayanan merupakan setiap tindakan atau kegiatan yang dapat ditawarkan oleh satu pihak kepada pihak lain, pada dasarnya tidak berwujud dan tidak mengakibatkan kepemilikan apapun. Menurut Sastika (2017) Pengukuran kualitas pelayanan perahu ketek di perairan Sungai Musi dari sisi pengguna/wisatawan (*demand*) menggunakan 5 (lima)

dimensi *servqual* menjadi indikator penilaian kinerja dan dari sisi teknis (*supply*) melalui *in-depth interview* para pakar sebagai indikator aspek teknis perahu ketek serta merumuskan faktor prioritas dari 4 (empat) kuadran IPA untuk perbaikan layanan. *Service quality* ini merupakan skala multi item yang dapat digunakan untuk mengukur persepsi pelanggan atas kualitas yang meliputi lima dimensi (Zeithami dkk, 1990) sementara *Quality Function Deployment* (QFD) merupakan metode perencanaan dan pengembangan produk yang terstruktur sehingga memungkinkan tim pengembangan menentukan keinginan dan kebutuhan pelanggan dengan jelas, serta mengevaluasi produk atau melayani dengan kemampuan yang secara sistematis dalam pemenuhan keinginan pelanggan tersebut (Cohen, 1999).

Revitalisasi peran angkutan sungai yang dilaksanakan untuk menemukan model revitalisasi yang akan menjadi acuan dalam pengembangan transportasi sungai sebagai transportasi perkotaan *alternative* yang terintegrasi dengan angkutan darat perkotaan yang ada (Abidin, 2016). Kriteria keterpaduan transportasi antarmoda yaitu pada aspek jaringan prasarana, jaringan pelayanan, dan layanan (Dwitasari, 2014). Dalam *Transport for London* (2001) minimal ada 3 (tiga) faktor pendukung yang merupakan bagian utama dari pelayanan transportasi antarmoda dan keberadaannya sangat terkait satu sama lain. Faktor-faktor tersebut adalah prasarana, system informasi dan kerjasama moda. Berdasarkan pedoman teknis pemaduan pelayanan transportasi perkotaan di Indonesia yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Darat Kementerian Perhubungan pada tahun 2005, indikator kinerja pemaduan transportasi di perkotaan yaitu waktu, biaya, keselamatan, keamanan, kenyamanan dan ketersediaan informasi. Malkhamah dan Wiarco (2005) mengukur kinerja proses perubahan mode dalam hal waktu tunggu dan jarak berjalan berdasarkan pengukuran di lokasi dan pada apa yang dirasakan penumpang untuk memodelkan hubungan antara kinerja yang diharapkan dan apa yang dirasakan oleh penumpang dan mengevaluasi kinerja menggunakan standar yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Darat dan *World Bank* (1986).

3. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data primer dilakukan survei dengan cara pengisian kuesioner meliputi aspek *reliability* (kehandalan), *responsiveness* (cepat tanggap), *insurance* (jaminan), *empathy* (empati) dan *tangible* (kasat mata) dan melakukan *in-depth interview* dengan instansi terkait aspek teknis *speedboat* dalam hal ini BPTD Wilayah VII, Dinas Perhubungan Provinsi Sumatera Selatan dan Dinas Perhubungan Kota

Palembang. Pengumpulan data sekunder meliputi data arus kapal dan penumpang selama 2 (dua) tahun (2018-2019), luasan Pelabuhan, alur pelayaran Sungai Musi, spesifikasi kapal *speedboat*, dan layanan pemaduan moda yang di dapat dari instansi terkait. Populasi dalam penelitian ini adalah para pengguna kapal *speedboat* di Pelabuhan Kawasan 16 Ilir Kota Palembang pada Dermaga Ampera. Metode pengambilan sampel dengan *purposive sampling* terhadap penumpang *speedboat* yang telah atau sedang melakukan perjalanan dan bersedia menjadi responden dengan penentuan jumlah sampel menggunakan metode Slovin diambil sebanyak 100 orang responden dan penelitian ini juga akan melibatkan para ahli / *stakeholder* yang memiliki kompetensi di bidang angkutan sungai melalui metode *in-depth interview*. Pengukuran *servqual* menjadi model *servqual* yang didasarkan pada asumsi bahwa konsumen membandingkan kinerja jasa. Atribut yang digunakan untuk memperoleh persepsi dan harapan atas layanan yang diperoleh dari angkutan sungai meliputi aspek keselamatan, keamanan, kemudahan / keterjangkauan, kenyamanan, kesetaraan dan integrasi dirumuskan dalam 5 (lima) dimensi berikut.

- a. *Reliability* (Kehandalan) meliputi kemudahan menjangkau dermaga (K1), ketersediaan informasi pelayanan (K2), waktu tempuh moda menuju destinasi (K3), kemudahan memperoleh informasi (K4) dan kemudahan menjangkau moda lanjutan (K5).
- b. *Responsiveness* (Cepat Tanggap) meliputi ketersediaan informasi tentang destinasi (C6), waktu tunggu angkutan sungai (C7), waktu tunggu angkutan lanjutan (C8), kejelasan tarif yang ditawarkan (C9) ketersediaan layanan komunikasi pelanggan (C10).
- c. *Assurance* (Jaminan) meliputi kepercayaan pengguna terhadap petugas (J11), keramahan dan kesopanan petugas dalam memberikan pelayanan (J12), kemampuan petugas dalam melaksanakan pekerjaannya (J13), keamanan dan kenyamanan saat berada di dermaga (tempat duduk berteduh) (J14), ketersediaan asuransi dan atau jaminan keselamatan (J15).
- d. *Empathy* (Empati) meliputi kemampuan petugas memberikan informasi dengan bahasa yang mudah dimengerti (E16), ketersediaan karyawan untuk menghargai dan melayani serta mengutamakan kebutuhan pengguna jasa (E17), kejujuran dan kesabaran karyawan/petugas dalam memberikan pelayanan (E18), kemampuan memberikan pelayanan (membantu naik turun dll) (E19).
- e. *Tangible* (Bukti Fisik) meliputi ketersediaan alat keselamatan (B20), kebersihan dalam moda (B21), kenyamanan tempat duduk di kapal (B22), tampilan visual moda (B23), penampilan kru kapal (B24),

kemudahan naik turun moda (B25), kebersihan Toilet (B26), ketersediaan tempat ibadah (B27), ketersediaan kantin (B28), ketersediaan CCTV (kamera pemantau) (B29), ketersediaan parkir roda 2 dan roda 4 (B30), ketersediaan moda lanjutan (B31) ketersediaan koridor penghubung menuju moda lanjutan (B32).

Atribut aspek teknis sarana dan prasarana operasional kapal *speedboat* pada Tabel 1.

Tabel 1. Atribut aspek teknis *speedboat*

Atribut	Data Umum	Eksisting
Ukuran <i>speedboat</i>	12 meter	6-12 meter
Kapasitas penumpang	12 Orang	10-15 orang
Pelampung	Wajib	Tidak memiliki pelampung
Fungsi <i>speedboat</i>	Angkutan penumpang Standar	Melayani rute antar kota (relatif jauh)
Tampilan kapal	angkutan penumpang	Tradisional
Lebar kapal	2 meter	1,5-4 meter
Tinggi kapal	Maksimal 1,5 meter	1 meter
Tonase kapal	Maksimal 7 GT	1-5 GT
Material	Besi, Baja dan Fibre	Kayu
Asuransi	Wajib	Jasa Raharja
Ukuran dermaga	N= (1,1 x L) dan Lebar 1,5 meter	Ponton kedatangan 6x30 meter dan keberangkatan 6x40 meter
Desain Dermaga	Ponton dan lantai kayu	Ponton dan pelat baja dilengkapi <i>trestle</i> plat baja
Kelengkapan dermaga	Tempat duduk dan tempat berteduh	Ruang Tunggu, Kantin, Musholah dan Toilet
Keamanan alur pelayaran	Disesuaikan dengan kondisi sungai dan danau	Aman (KSOP Kelas II Palembang)
Pos Keamanan Rambu pelayaran	Wajib	Pos 26 Ilir
Sistim navigasi	Wajib	Ada
Papan informasi di dermaga	Wajib	Tidak ada
Hotline darurat	Wajib	Tidak ada
Halte integrasi	Transportasi Darat	Ada (BRT dan LRT) tidak terkoneksi dengan baik

(Sumber: Sastika,2017 dan BPTD Wil VII,2020)

Uji validitas menggunakan korelasi *pearson product moment* dan reliabilitas didasarkan pada nilai *Alpha Cronbach* (α), jika nilai α lebih besar dari 0,60 maka

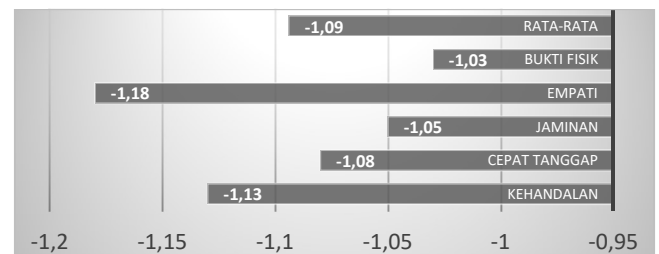
data penelitian dianggap cukup baik dan reliable. Analisa metode *Importance Performance Analysis* (IPA) digambar pada diagram kartesius untuk menentukan tingkat kepentingan dan kepuasan dari suatu kriteria untuk mencari faktor prioritas. Rancangan upaya peningkatan pelayanan yang diusulkan setelah melakukan analisis dengan *Quality Function Deployment* (QFD) melalui *House of Quality* (HoQ). Hasil *in-depth interview* diolah dengan *Customer Satisfaction Index* (CSI) untuk atribut aspek teknis sarana dan prasarana pendukung operasional kapal *speedboat*. Pengukuran kinerja konektivitas integrasi moda dalam hal waktu tunggu dan jarak berjalan menggunakan standar yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Nomor 10 Tahun 2012 Direktorat Jenderal Perhubungan Darat dan *World Bank* 1986.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan pada penelitian ini terdiri dari kualitas tingkat pelayanan dan aspek teknis serta konektivitas angkutan sungai sebagai berikut.

4.1 Analisis Service Quality

Pengukuran *servqual* untuk penyusunan model *Service Quality* didasarkan pada asumsi bahwa konsumen membandingkan kinerja jasa pada 5 dimensi sebagaimana disajikan hasilnya pada Gambar 1.



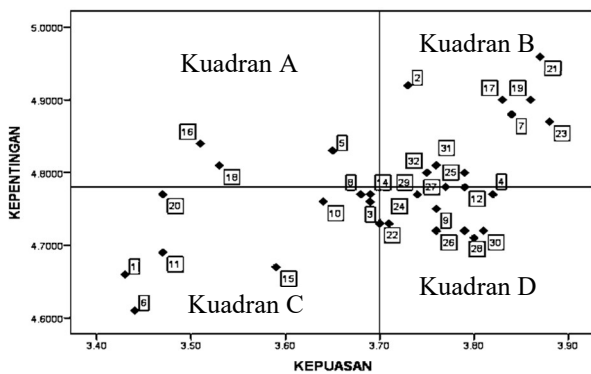
Gambar 1. Diagram *service quality*

Gambar 1 merupakan hasil *service quality* yang meliputi 5 dimensi dengan total 32 atribut pertanyaan. Perhitungan perbedaan dari variabel ekspektasi (harapan) dan persepsi (kenyataan) adalah mempunyai nilai rata-rata -1,09 dimana minus berarti tingkat kepuasan pengguna jasa secara keseluruhan adalah buruk. Dengan demikian, hasil tersebut apabila dikaitkan dengan hipotesis penelitian ini adalah $H - P > 0$ maka $H > P$; pengguna jasa kurang puas atas pelayanan yang diterima. Konsekuensi hasil skor *servqual* tersebut adalah jika $P - H \neq 0$; maka tolak H_0 dan terima H_1 . Oleh karena itu jawaban atas pertanyaan penelitian ini adalah terdapat kesenjangan antara harapan pengguna jasa dengan pelayanan yang diterima oleh pengguna jasa maka perlu perbaikan kualitas berdasarkan atribut dimensi *servqual* yang telah dilakukan melalui angket kepada responden. Pengukuran level kualitas layanan dengan model

servqual didasarkan pada input data yang mempunyai tingkat validitas dan reliabilitas yang baik. Hal ini menguatkan keyakinan bahwa perolehan hasil skor *servqual* dapat dipercaya dan menjadi acuan dilakukannya sebuah perbaikan.

4.2 *Important Performance Analysis (IPA)*

Analisa tingkat kepuasan dan tingkat kepentingan pada 32 atribut pelayanan perlu dilakukan analisa terkait atribut apa saja yang perlu ditingkatkan, pertahankan, cukup maupun berlebihan dengan melakukan penggambaran diagram kartesius pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram kartesius

Pada kuadran A yang menjadi prioritas utama karena keberadaan atribut ini dinilai sangat penting terdapat 3 atribut yaitu kemampuan petugas memberikan informasi dengan bahasa yang mudah dimengerti (E16), kejujuran dan kesabaran karyawan/petugas dalam memberikan pelayanan (E18) dan kemudahan menjangkau moda lanjutan (E5). Pada kuadran B menunjukkan atribut yang harus di pertahankan kinerjanya ada 11 atribut. Pada kuadran C menunjukkan prioritas rendah terdapat 10 atribut yaitu ketersediaan alat keselamatan (B20), kemudahan menjangkau dermaga (K1), kepercayaan pengguna terhadap petugas (J11), ketersediaan informasi tentang destinasi (C6), ketersediaan layanan komunikasi pelanggan (C10), waktu tunggu angkutan lanjutan (C8), ketersediaan asuransi dan atau jaminan keselamatan (J15), keamanan dan kenyamanan saat berada di dermaga (tempat duduk berteduh) (J14), waktu tempuh moda menuju destinasi (K3), dan kenyamanan tempat duduk (B22). Pada kuadran D kinerja sudah sangat memuaskan terdapat 8 atribut.

4.3 *Analisis Quality Function Deployment (QFD)*

Setelah melakukan analisis gap menggunakan *servqual* dan analisis IPA, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis QFD. Salah satu hal penting dalam QFD adalah *House of Quality (HOQ)*. Tahap-tahap penyusunan HOQ adalah sebagai berikut.

a. Penyusunan *Customers Needs (WHATs)* berdasarkan analisis IPA terdapat 13 atribut yang

digunakan sebagai *customers needs* pada *house of quality*, yaitu atribut kualitas pelayanan yang berada pada kuadran A (prioritas utama) dan C (prioritas rendah) meliputi kemampuan petugas memberikan informasi dengan bahasa yang mudah dimengerti (K1), kejujuran dan kesabaran karyawan/petugas dalam memberikan pelayanan (K2), ketersediaan alat keselamatan (K3), kemudahan menjangkau dermaga (K4), kepercayaan pengguna terhadap petugas (K5), kemudahan menjangkau moda lanjutan (K6), ketersediaan informasi tentang destinasi (K7), ketersediaan layanan komunikasi pelanggan (K8), waktu tunggu angkutan lanjutan (K9), ketersediaan asuransi dan atau jaminan keselamatan (K10), keamanan dan kenyamanan saat berada di dermaga (tempat duduk berteduh) (K11), waktu tempuh moda menuju destinasi (K12), dan kenyamanan tempat duduk (K13).

b. Penetapan *Technical Requirement (HOWs)* Berdasarkan *customers needs* yang telah ditentukan, maka dapat ditetapkan beberapa respon teknik yaitu himbauan dan pelatihan kepada petugas dalam pemberian informasi dengan bahasa yang lebih mudah dipahami (T1), menerapkan budaya 4S (senyum, salam, sapa dan sopan) (T2), peningkatan fasilitas alat keselamatan di kapal (T3), penambahan *trestle* untuk menuju dermaga (T4), memberikan *reward* kepada petugas (T5), penambahan sarana pendukung berupa akses khusus menuju moda lanjutan (*sky bridge* dan fasilitas pejalan kaki) (T6), peningkatan informasi tentang destinasi (T7), memaksimalkan teknologi sistem informasi untuk layanan komunikasi pelanggan (T8), peningkatan waktu tunggu angkutan lanjutan (T9), peningkatan penyesuaian pemberian asuransi dan atau jaminan keselamatan (T10), penambahan fasilitas tempat duduk di ruang tunggu dan pos pengamanan didermaga (T11), peningkatan waktu tempuh moda (T12), dan peningkatan penyesuaian luasan tempat duduk di kapal (T13).

c. Penyusunan *Corelation roof matrix*, penentuan arah Pengembangan hubungan matriks *whats* dan *hows* adalah Matriks *whats* merupakan pertanyaan yang didasarkan pada konsumen dan matriks *hows* merupakan jawaban dari pihak teknis dengan skala hubungan □ nilai 9 = kuat, O nilai 3 = sedang dan Δ nilai 1 = lemah dengan penentuan arah perbaikan dan target arah perbaikan *Direction of Improvement (DOI)* tiap respon teknik menggunakan simbol tiga arah perbaikan diantaranya adalah.

1. ↑, Meningkatkan;
2. ↓, Menurunkan; dan

- 3. O, Diberikan pada respon teknik yang meningkatkan kepuasan pelanggan apabila terdapat target (jangkauan nilai) tertentu Pengembangan *Customer Reqruiement Prioritas*.

Nilai kepentingan diperoleh dari nilai gap dengan minimal nilai gap -4 (penting perbaikan) dan maksimal nilai gap 4 (tidak perbaikan) menjadi tingkat kepentingan dengan skala 1 sampai 5 dikonversikan menggunakan interpolasi berikut.

$$Tingkat\ Kepentingan = 1 + \frac{gap-4}{(-4)-4} x(5 - 1) \quad (1)$$

Target value merupakan tingkat perbaikan yang hendak dilakukan oleh pihak manajemen berdasarkan kemampuan dan keinginan konsumen *Scale up factor* atau *Improvement Ratio (IR)* merupakan perbandingan antara *target value* dengan *customer satisfaction* (tingkat kepuasan pelanggan). Atribut jasa yang akan ditingkatkan dan dikembangkan perlu ditentukan bobot prioritas atributnya. Bobot atribut dihitung dengan rumus *sales point* adalah nilai 1 tanpa titik persaingan, nilai 1,2 titik persaingan menengah dan nilai 1,5 titik persaingan ketat dengan persamaan.

$$Bobot = Sales\ point \times Tingkat\ kepentingan \times Rasio \quad (2)$$

Nilai *absolute weight* adalah perhitungan normalitas bobot setiap atribut keinginan pelanggan memudahkan dalam menentukan prioritas pengembangan.

$$Normalisasi = \frac{Bobot}{Total\ Bobot} \times 100 \quad (3)$$

- d. Matrik HoQ (*House of Quality*) adalah *process requirements to quality procedures* dibuat berdasarkan penggabungan pengolahan data dari penentuan bobot sampai dengan penentuan prioritas pengembangan prosedur kualitas bahwa prioritas utama perbaikan yaitu himbauan dan pelatihan kepada petugas dalam pemberian informasi dengan bahasa yang mudah dimengerti dan selanjutnya sesuai dengan *final rank* pada Gambar 3.

Direction of Improvement		Respon Teknik													Tingkat Kepentingan	Target Value	Bobot	Sales Point	Tingkat (Bobot)	Normalisasi
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13						
kebutuhan pelanggan	K1	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	3,67	4,84	1,38	1,2	6,06	6,87
	K2	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	3,64	4,81	1,36	1,2	5,95	6,74
	K3	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	3,65	4,77	1,37	1,3	7,53	8,52
	K4	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	3,62	4,66	1,36	1,3	7,37	8,34
	K5	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	3,61	4,69	1,35	1,2	5,86	6,63
	K6	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	3,59	4,83	1,32	1,3	7,13	8,07
	K7	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	3,59	4,61	1,34	1,3	7,21	8,16
	K8	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	3,56	4,76	1,31	1,3	6,98	7,91
	K9	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	3,55	4,77	1,30	1,3	6,89	7,80
	K10	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	3,54	4,67	1,30	1,3	6,91	7,82
	K11	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	3,54	4,77	1,29	1,3	6,86	7,77
	K12	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	3,54	4,76	1,29	1,3	6,84	7,74
	K13	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	3,52	4,73	1,28	1,3	6,74	7,63
Importan service	48	36	22	24	30	37	13	39	15	25	11	23	21	344						
Relative Importance	14	10	6	7	9	11	4	11	4	7	3	7	6	100						
Final Rank	1	4	9	7	5	3	12	2	11	6	13	8	10					88,32	100	

Gambar 3. Matriks *House of Quality* (HoQ)

4.4 Analisis *In-depth Interview*

Masing-masing informan diberikan pertanyaan secara tertulis untuk memberikan penilaian skala *likert* (1-5) pada 21 atribut pertanyaan Tabel 1 diinterpretasikan hasil perhitungan CSI nilai *weighted total* 3,29 dibandingkan skala *likert* tertinggi, maka nilai CSI sebesar 0,66 atau 66% berada pada kisaran 64% - 71% dalam kategori “Buruk”. Atribut yang nilainya cukup besar dalam kategori “Baik” ada 5 atribut yaitu ukuran dermaga, tambatan kapal, fungsi *speedboat*, keamanan alur pelayaran dan desain dermaga. Sedangkan kategori “Buruk” 6 atribut yaitu pelampung, *hotline* darurat, sistim navigasi, papan informasi di dermaga, material dan tinggi kapal. Selanjutnya kategori “Cukup” terdapat 10 atribut yaitu lebar kapal, tampilan kapal, ukuran *speedboat*, asuransi, kapasitas penumpang, rambu pelayaran, halte integrasi, *tonase* kapal, pos keamanan, dan kelengkapan dermaga.

4.5 Analisis Kinerja Konektivitas Integrasi Moda

Hasil kuesioner 100% responden setuju adanya integrasi moda di Dermaga Ampera maka perlu evaluasi kinerja konektivitas integrasi moda dalam hal waktu tunggu dan jarak berjalan untuk moda *Bus Rapid Transit* (BRT) Trans Musi dan *Light Rail Transit* (LRT) Sumatera Selatan dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4 telah memenuhi standar waktu tunggu dan jarak berjalan, namun berdasar persepsi jarak berjalan dirasa jauh hal ini dikarenakan tidak adanya akses khusus pejalan kaki.

Tabel 2. Waktu tunggu dan jarak berjalan terukur

Jenis Moda	Terukur	
	Jarak Berjalan	Waktu Tunggu
BRT Trans Musi	370 m	5-10 menit
LRT Sumsel	350 m	18 menit

Tabel 3. Persepsi waktu tunggu dan jarak berjalan

Jenis Moda	Persepsi		Persepsi Responden Jarak Berjalan
	Jarak Berjalan	Waktu Tunggu	
BRT Trans Musi	<300 m	<10 menit	Jauh
LRT Sumsel	<300 m	<10 menit	Jauh

Tabel 4. Standar waktu tunggu dan jarak berjalan

Aspek	Parameter	Standar*
Waktu tunggu (menit)	Rata-rata	5-10
	Maksimum	10-20
Jarak berjalan (meter)	Daerah perkotaan	300-500
	maksimal	500-1000
	Daerah pinggiran kota maksimal	

*Direktorat Jenderal, 2012 dan World Bank, 1986

Hasil pemilihan transportasi lanjutan yang akan digunakan tertinggi adalah BRT Trans Musi sebesar 36%. Perhitungan *crosstab* dengan uji *chi-square* faktor yang dianalisis karakteristik responden yang meliputi jenis kelamin, usia, pekerjaan dan pendapatan dengan faktor yang terpengaruh adalah persepsi responden pemilihan transportasi lanjutan dengan probabilitas jika $> 0,05$ maka H_0 diterima (tidak ada hubungan) atau jika $< 0,05$ maka H_0 ditolak (ada hubungan). Dari hasil *Asymp.sig* $< 0,05$ keputusan hasil *crosstab* adalah H_0 ditolak artinya terdapat hubungan antara karakteristik responden dengan pemilihan transportasi lanjutan yang akan digunakan yaitu BRT Trans Musi, dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan *crosstab* dengan uji *chi-square*

Karakteristik Responden	Person Chi Square		
	Value	Df	Asymp.sig
Jenis kelamin	9,496	4	0,050
Pendidikan terakhir	40,302	20	0,005
Pekerjaan	34,558	20	0,023
Usia	27,758	8	0,001
Pendapatan	21,695	8	0,006

5 KESIMPULAN

Direkomendasikan kinerja pelayanan *speedboat* dari sisi *demand* pengguna jasa nilai rata-rata *servqual* -1,09 menyatakan "Buruk" perlu perbaikan pada 13 atribut kuadran IPA dengan prioritas utama dari matrik HoQ yaitu kemampuan petugas memberikan informasi dengan bahasa yang mudah di mengerti melalui matriks rumah kualitas prioritas perbaikan utama yaitu himbuan dan pelatihan kepada petugas dalam pemberian informasi dengan bahasa yang lebih mudah dipahami sedangkan dari sisi *supply* (para ahli /

stakeholder) aspek teknis sarana dan prasarana pendukung didapat nilai CSI sebesar 66% kategori "Buruk" pada prioritas utama perbaikan atribut pelampung sebagai alat keselamatan wajib tersedia di atas kapal serta integrasi moda yang akan digunakan oleh responden adalah BRT Trans Musi dengan hasil pengukuran kinerja konektivitas telah memenuhi standar namun jarak berjalan berdasar persepsi prngguna jasa masih dirasa jauh. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi usulan kepada pemerintah sebagai acuan indikator kinerja standar pelayanan minimal angkutan sungai dan perbaikan pelayanan dan aspek teknis serta penambahan akses khusus pejalan kaki yang singkat, teduh dan aman guna menunjang konektivitas integrasi moda sehingga manfaatnya akan dirasakan oleh pengguna jasa.

REFERENSI

- Abidin, Zainal. 2016, "Revitalisasi Angkutan Sungai Sebagai Moda Transportasi Perkotaan di Kota Banjarmasin". Agregat Vol 1, No.1, November 2019. Surabaya : Universitas Muhammadiyah Surabaya.
- Balai Pengelola Transportasi Darat Wilayah VII Sumatera Selatan dan Bangka Belitung. 2018, "Penyusunan Basic Desain Pelabuhan Sungai 16 Ilir Kota Palembang". Palembang: Dinamika Konsulindo.
- Cohen, L. 1999. How to Make QFD Work For You. USA: Addison Wesley.
- Dwitasari, Reslyana. 2014, "Penentuan Kriteria Keterpaduan Transportasi Antarmoda di Bandar Udara". Jurnal Penelitian Transportasi Darat, Volume 16, Nomor 3, September 2014, 107-118.
- Kotler, P. 2005, "Manajemen Pemasaran", 1st ed. Klaten: PT. Intan Sejati.
- Malkhamah, Siti., Wiarco, Yuwono. 2005, "Evaluasi terhadap Waktu Tunggu dan Jarak Berjalan Penumpang pada Perpindahan Moda di Stasiun Lempuyangan Yogyakarta". Forum Teknik Vol.29 No.1.
- Sastika, Anta. 2017, "Analisis Tingkat Pelayanan Perahu Ketek sebagai Angkutan Wisata di Sungai Musi Kota Palembang". Palembang: Universitas Lampung.
- Transport for London. 2001, "Intermodal Transport Interchange for London", Best Practice Guidelines
- Zeithami, A., V., Parasuraman, A., and Berry, L., L. 1990, "Delivering Quality Service Balancing Customer Perception and Expectation". The Press New York.

Analisis Kuat Geser Untuk Perencanaan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Melalui Pengujian *Triaxial Unconsolidated - Undrained*

S. Meliana

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang, INDONESIA
sarimeliana455@gmail.com

R. Kusumawardani

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang, INDONESIA
rini.kusumawardani@mail.unnes.ac.id

INTISARI

Tanah dasar (*subgrade*) yang lunak menimbulkan banyak masalah kerusakan pada perkerasan jalan raya terutama perkerasan kaku, sehingga perkerasan yang terletak pada tanah dasar lunak ini sering membutuhkan biaya pemeliharaan dan rehabilitasi yang besar sebelum perkerasan mencapai umur layannya. Untuk itu tanah untuk perkerasan jalan diuji dengan uji triaksial *unconsolidated – undrained* untuk menentukan parameter kuat geser tanah. Dari hasil pengujian indeks properties dan analisa butiran didapatkan tanah yang di uji di kota Tegal termasuk kedalam jenis tanah lanau kepasiran (*silty sand*) dan yang berbutir halus adalah MH (*silt high plasticity*). Pada pengujian triaksial *unconsolidated – undrained* didapatkan nilai kohesi dan sudut geser tanah yang dapat dijadikan data dalam perencanaan konstruksi jalan.

Kata kunci: Tanah dasar, Perkerasan kaku, Triaksial UU, Kuat Geser.

1 PENDAHULUAN

Perencanaan jalan tidak hanya meliputi aspek perencanaan geometrik dan perkerasan jalan, tetapi juga analisis lendutan/deformasi yang terjadi pada badan jalan dan tanah dasar akibat pembebanan lalu lintas (*Yanto, 2015*).

Struktur perkerasan jalan sering dianggap memperoleh beban statis. Sebagai konsekuensinya, perhitungan tebal perkerasan jalan dihitung berdasarkan beban statis. Namun dalam kasus lalu lintas aktual, beban lalu lintas dinamis, dan terjadi ketika kendaraan melintas. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa beban yang diterima oleh perkerasan jalan adalah beban dinamis (*Nugroho, 2017*).

Massa tanah yang terbebani secara dinamis akan mempunyai perilaku yang berbeda dibanding ketika terbebani secara statis. Pada tanah dengan kondisi kenyang air, pembebanan secara dinamis akan mempengaruhi perilaku tekanan air pori terhadap waktu. Perubahan nilai tekanan air pori tergantung pada besaran beban yang bekerja serta frekuensi pembebanan yang diterapkan (*Kusumawardani, 2015*).

Kusumawardani (2016) membahas perilaku dinamika *clean sand* dibawah pembebanan dinamis dengan frekuensi rendah. Dari penelitian tersebut digambarkan bahwa partikel tanah dibawah beban dinamis memiliki perilaku mengejutkan dengan indikasi tanah mencair.

Penumpukan tekanan air pori adalah fenomena dasar ketika pembebanan dinamis diterapkan pada massa tanah yang tidak terdrainase (*Kusumawardani, 2014*)

Tanah dasar (*subgrade*) yang lunak menimbulkan banyak masalah kerusakan pada perkerasan jalan raya terutama perkerasan kaku, sehingga perkerasan yang terletak pada tanah dasar lunak ini sering membutuhkan biaya pemeliharaan dan rehabilitasi yang besar sebelum perkerasan mencapai umur layannya. Penyebab utama kerugian ekonomi yang dikeluarkan untuk perkerasan yang dibangun diatas tanah dasar lunak adalah kurangnya pilihan yang tepat dari desain dan metode konstruksi. Kurangnya pemahaman para perencana dan pelaksana terhadap perilaku struktur perkerasan pada tanah lunak dan perilaku tanah lunak, sering menyebabkan cara pendekatan desain dan metode pelaksanaan yang dipilih kurang begitu tepat (*Surat, 2011*).

Dalam teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan – endapan yang relative lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antar butiran yang relative lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida – oksida yang mengendap di antara partikel – partikel. Ruang diantara partikel – partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik

maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel – partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel – partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk – bentuk diantaranya.

Tanah terdiri dari beberapa jenis antara lain pasir, lempung, lanau, ataupun lumpur. Istilah pasir, lempung, lanau atau pun lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Tanah daerah Tegal untuk penelitian ini adalah berjenis lempung.

Tanah lempung merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian terbesar terdiri dari butir – butir yang sangat kecil. Sifat lapisan tanah lempung lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampuan yang besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan mempunyai daya dukung rendah.

Dalam penelitian ini akan dilakukan uji kadar air untuk mengetahui berat air dalam tanah tersebut. Kadar air (w) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air (W_w) dengan butiran (W_s) dalam tanah tersebut, dinyatakan pada persen. sehingga secara matematis dapat ditulis

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan mengetahui kadar air tanah maka dapat diketahui seberapa besar air mengisi pori – pori tanah yang mengakibatkan kembang susut pada tanah.

Setelah menguji kadar air, kemudian diuji triaksial untuk memperoleh parameter kuat geser tanah. Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis – analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng, dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Mohr (1910) menyajikan sebuah teori tentang hubungan antara tegangan normal (σ) dan geser (τ) pada sebuah bidang keruntuhan yang dinyatakan dalam bentuk:

$$\tau = f(\sigma) \quad (2)$$

Coulomb (1776), mendefinisikan $f(\sigma)$ dengan persamaan:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3)$$

Dengan;

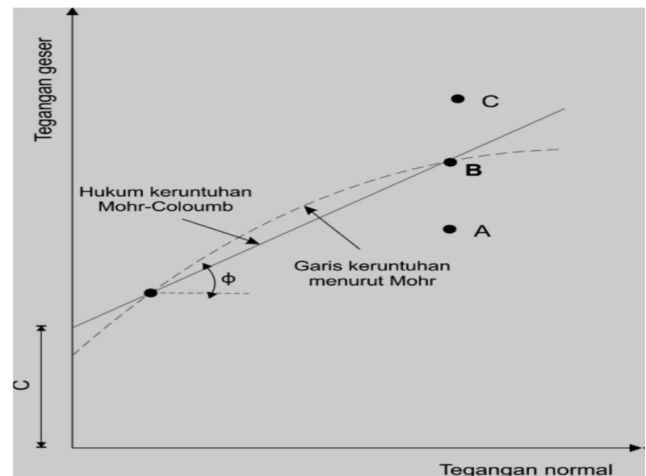
τ : tegangan geser tanah (N/m^2)

c : kohesi (N/m^2)

φ : sudut geser dalam efektif ($^\circ$)

σ : tegangan normal (N/m^2)

Persamaan disebut kriteria keruntuhan Mohr – Coulomb, dimana garis selubung kegagalan dari persamaan tersebut dilukiskan dalam bentuk garis lurus pada gambar keruntuhan Mohr – Coulomb.



Gambar 1. Kriteria keruntuhan Mohr-Coloumb

Kriteria keruntuhan Mohr – Coulomb digambarkan dalam bentuk garis lurus. Jika kedudukan tegangan baru mencapai titik A, keruntuhan karena titik tersebut terletak tepat pada garis kegagalan. Titik C tidak akan pernah dicapai, karena sebelum mencapai titik C sudah terjadi keruntuhan.

2 METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan pengujian yang dilaksanakan di laboratorium yang kemudian menganalisis data hasil dari eksperimen di laboratorium.

Pelaksanaan penelitian terdiri dari beberapa tahapan, antara lain:

2.1 Studi literatur

Studi literatur dalam penelitian ini yaitu dengan mempelajari literatur yang berkaitan dengan penelitian ini. Studi literatur yang digunakan seperti buku mengenai mekanika tanah, jurnal, artikel, skripsi, dan sumber literatur lain yang mendukung topik dalam penelitian ini.

2.2 Tahap persiapan

Pada tahap persiapan yaitu dengan mengambil sampel tanah di kota Tegal. Sampel diambil pada 3 titik lokasi, yang kemudian dinamai BH 1, BH 2, BH 3. Penelitian

ini mengambil sampel tanah yang nantinya akan dibuat jalan dengan perkerasan kaku (*Rigid Pavement*).

2.3 Tahap Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan di laboratorium mekanika tanah jurusan teknik sipil Universitas Negeri Semarang (UNNES). Sampel tanah yang sudah diambil kemudian diuji kadar air dan pengujian triaksial dengan metode *Unconsolidated – Undrained*.

2.3.1 Uji Kadar air

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui prosentase air pada tanah. Tanah 100 gr diletakkan kedalam cawan kemudian dikeringkan didalam oven. Setelah dikeringkan didalam oven selama 24 jam, tanah dikeluarkan kemudian ditimbang.

2.3.2 Uji Berat Jenis

Pengujian ini dilakukan dengan memanaskan sampel tanah seberat 85 gr didalam piknometer 250 ml yang kemudian diisi air sampai penuh kemudian ditimbang.

2.3.3 Uji Berat Volume

Pengujian berat volume dilakukan dengan mencetak tanah *undisturbed* pada ring yang kemudian ditimbang dan dikeringkan, setelah dikeringkan tanah ditimbang lagi.

2.3.4 Uji Analisa Butiran

Pengujian analisa butiran dilakukan dengan menyaring tanah yang telah selesai dikeringkan dengan nomor saringan 4, 10, 20, 40, 60, 100, 200.

2.3.5 Uji Triaxial *Unconsolidated Undrained*

Tujuan dari pengujian triaksial adalah untuk memperoleh sudut geser dan nilai kohesi tanah. Pengujian ini diawal dengan mencetak tanah *undisturbed* kedalam mold berdiameter 36 mm dengan tinggi 76 mm. Kemudian dibungkus dengan membrane dan dipasang pada alat uji triaksial dengan variasi beban 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa.

2.4 Menganalisa data

Analisa data dari hasil pengujian tanah dilakukan di laboratorium. Data yang didapat dari pengujian triaksial akan diolah pada software T5, dari hasil pengolahan tersebut akan dihasilkan grafik dan lingkaran Mohr - Coloumb. Analisa lingkaran Mohr akan menghasilkan sudut geser dan nilai kohesi.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang dilakukan yaitu tentang sifat fisik tanah yang berasal dari 3 titik lokasi yakni BH 1, BH 2, BH 3 dengan menguji kadar air dan pengujian triaksial *Unconsolidated - Undrained*.

3.1 Pengujian kadar air

Setelah pengambilan sampel tanah dari kota Tegal, pada setiap titik lokasi Bore Hole (BH) diambil sampel dengan kedalaman 5m. Masing – masing titik lokasi Bore Hole (BH) tersebut kemudian diuji kadar air sebanyak dua sampel. Masing – masing sampel diletakkan dalam cawan dengan tanah seberat 20 gr. Kemudian dioven selama 24 jam pada suhu 100°C. Setelah proses pengeringan, sampel ditimbang kembali, kemudian akan didapatkan kadar air untuk masing masing sampel. Berikut hasil pengujian kadar air

Tabel 1. Hasil Pengujian Kadar Air

Kode Sampel	Kedalaman	Kadar air (%)
BH 1.5	5 m	45.68
BH 2.5	5 m	51.22
BH 3.5	5 m	35.95

3.2 Pengujian berat jenis

Tabel 2. Hasil Pengujian Kadar Air

Kode Sampel	Kedalaman	Berat jenis
BH 1.5	5 m	2.64
BH 2.5	5 m	2.65
BH 3.5	5 m	2.56

3.3 Pengujian berat volume

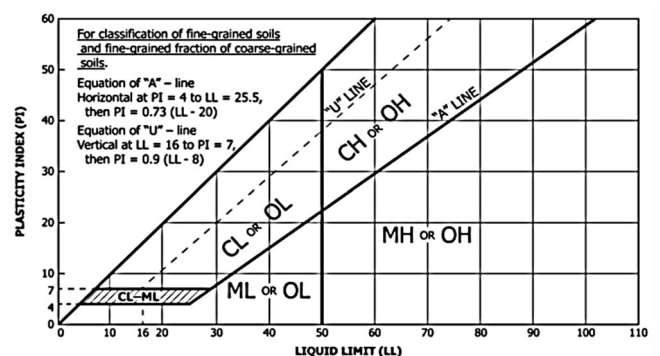
Tabel 3. Hasil Pengujian berat volume

Kode Sampel	Kedalaman	Angka Pori (e)	Porositas (n) %
BH 1.5	5 m	1.23	55.09
BH 2.5	5 m	1.44	59.043
BH 3.5	5 m	1.052	51.264

3.4 Pengujian Atteberg Limit

Tabel 4. Hasil Pengujian Atteberg Limit

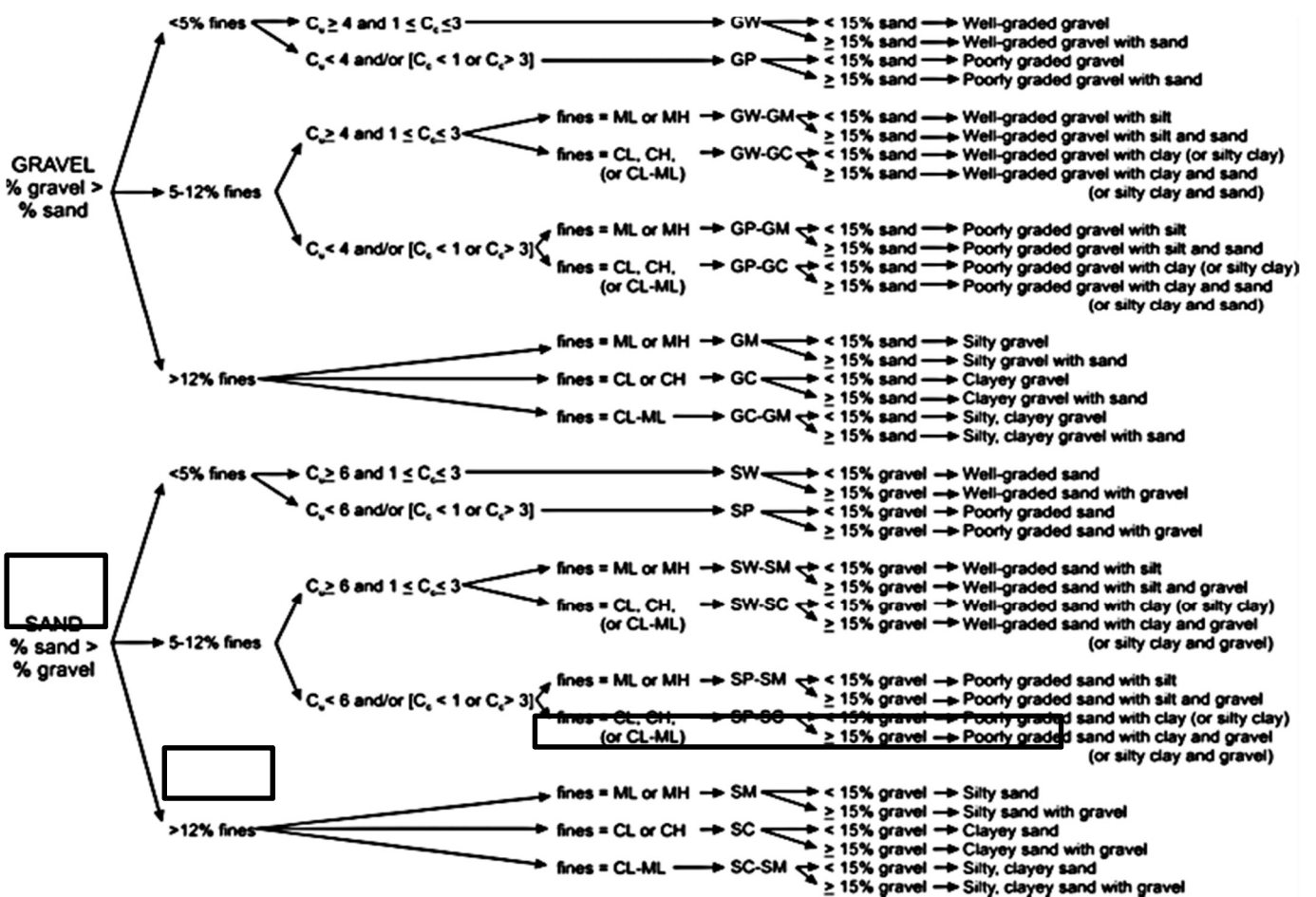
Kode Sampel	Kedalaman	SL (%)	PL (%)	LL (%)
BH 1.5	5 m	27.09	28.55	33.68
BH 2.5	5 m	26.95	28.55	38.88
BH 3.5	5 m	26.79	29.70	36.77



Gambar 2. Plastisitas Grande

3.5 Pengujian analisa butiran

Kode Sampel	Kedalaman	No. Saringan	Lolos Saringan (%)
BH 1.5	5 m	10	99.93
		40	98.72
		200	61.87
BH 2.5	5 m	10	99.33
		40	94.13
		200	44.52
BH 3.5	5 m	10	99.90
		40	96.03
		200	56.45



Gambar 3. Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200

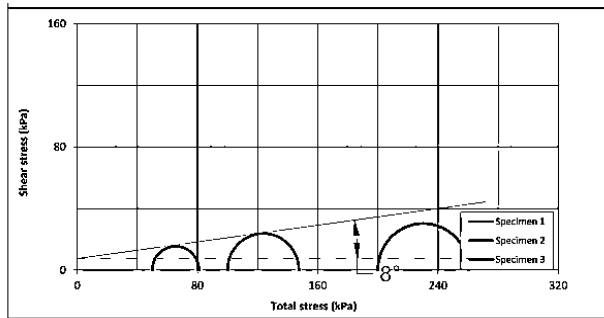
Berdasarkan klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) didapatkan hasil jenis tanah lanau kepasiran (*silty sand*) dan yang berbutir halus adalah MH (*silt high plasticity*).

3.6 Pengujian Triaksial *Unconsolidated – Undrained*
 Pada pengujian Triaksial *Unconsolidated - Undrained*, sampel yang akan diuji diambil pada tiga titik lokasi Bore Hole (BH) dengan kedalaman 5m. Masing – masing kedalaman diuji dengan 3 variasi tekanan Cell

yang berbeda yakni 50 kPa, 100 kPa, dan 200 kPa. Pada setiap tekanan Cell (*Cell Pressure*) dibuat satu sampel yang kemudian diuji kedalam alat triaksial dimana hasil pengujian akan diolah pada software T5 dan menghasilkan grafik beserta lingkaran Mohr – Coloumb. Dari Lingkaran Mohr – Coloumb, sudut geser dan nilai kohesi dapat diketahui. Berikut Nilai kohesi dan sudut geser dari hasil pengujian triaksial *Unconsolidated – Undrained*.

Tabel 5. Nilai Kohesi dan Sudut Geser

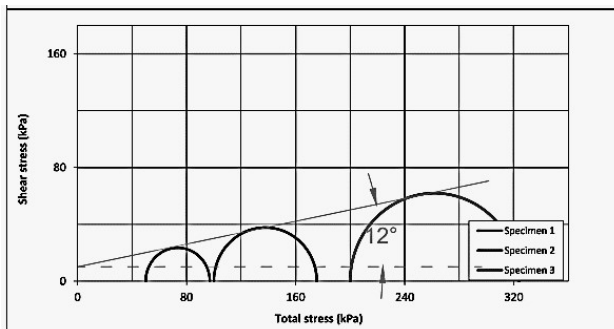
Kode Sampel	Nilai Kohesi, c (kg/cm ²)	Sudut Geser, ϕ (°)
BH 1.5	7,27	8
BH 2.5	9,9	12
BH 3.5	5,42	12



Tested Date	Checked Date	Approved Date
-------------	--------------	---------------

Nilai Kohesi = 7,27 kg/cm²
 Sudut Geser = 8°

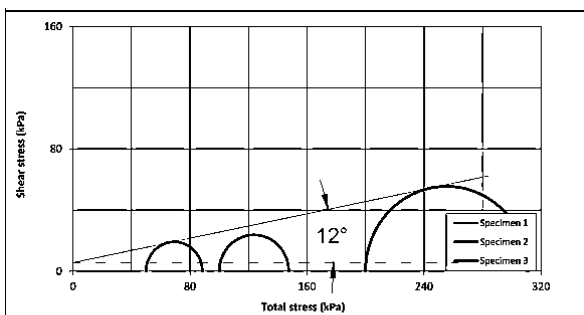
Gambar 4. Hasil Pengujian *Triaxial Unconsolidated Undrained* BH 1.5



Tested Date	Checked Date	Approved Date
-------------	--------------	---------------

Nilai Kohesi = 9,9 kg/cm²
 Sudut Geser = 12°

Gambar 5. Hasil Pengujian *Triaxial Unconsolidated Undrained* BH 2.5



Tested Date	Checked Date	Approved Date
-------------	--------------	---------------

Nilai Kohesi = 5,42 kg/cm²
 Sudut Geser = 12°

Gambar 6. Hasil Pengujian *Triaxial Unconsolidated Undrained* BH 3.5

4 KESIMPULAN

Dari hasil pengujian indeks properties dan analisa butiran didapatkan tanah yang di uji di kota Tegal termasuk kedalam jenis tanah lanau kepasiran (*silty sand*) dan yang berbutir halus adalah MH (*silt high plasticity*). Pada pengujian triaksial *unconsolidated – undrained* didapatkan nilai kohesi dan sudut geser tanah yang dapat dijadikan data dalam perencanaan konstruksi jalan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam penulisan ini, antara lain dosen pembimbing yang telah membimbing hingga penulisan selesai, asisten laboratorium Mekanika Tanah UNNES (Pak Faisal) dan partner pengujian Triaksial *Unconsolidated Undrained* yang turut membantu dalam penelitian hingga selesai. Dan teman – teman yang tak dapat disebutkan satu persatu.

REFERENSI

Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga. Jakarta.

Hartanti, Rizka Silviana, Masturi Masturi, and Ian Yulianti. "ANALISIS KUAT GESER LANGSUNG TANAH PADA TPA KUDUS YANG TERNORMALISASI." *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)*. Vol. 5. 2016.

Priska C. L. Lengkong, Sartje Monintja, J.E.R. Sumampouw, Alva N. Sarajar, 2013, Hubungan Kuat Geser Pada Tanah Dengan Hasil Percobaan Dynamic Cone Penetrometer Pada Ruas Jalan Wori-Likupang Kabupaten Minahasa Utara, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

Kusumawardani, Rini, et al. "The Analysis of Liquefaction Phenomenon of The Flexible Pavement Using Seismic Monitoring Equipment." *IJUM Engineering Journal* 20.1 (2019): 70-78.

Kusumawardani, Rini, and Untoro Nugroho. "ANALISIS KENAIKAN TEKANAN AIR PORI CLEAN SAND MENGGUNAKAN METODE CYCLIC SHEAR-STRAIN CONTROLLED." *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan* 17.1 (2015): 63-72.

Nugroho, Untoro, et al. "Analysis of ESAL factor on flexible pavement at Weleri Ring Road, Indonesia." *AIP Conference Proceedings*. Vol. 1818. No. 1. AIP Publishing LLC, 2017.

Kusumawardani, Rini. "Investigation of subgrade particles acceleration due to dynamic loading." *Aceh*

International Journal of Science and Technology 6.3
(2017): 97-103.

Kusumawardani, R., Suryolelono, K.B., Suhendro, B.,
Rifa'i, A., The Loading Frequency Effects of

Yogyakarta Sand Under Cyclic Triaxial Testing,
*International Journal of Civil & Environmental
Engineering*, Vol 14, No 02, (2014), 1-6

Kinerja Konstruksi Perkerasan Aspal Permeabel pada Jalan Perkotaan

Hery Awan Susanto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, INDONESIA
hery.susanto@unsoed.ac.id

INTISARI

Pada paruh kedua abad kedua puluh telah terjadi perubahan iklim yang ekstrim diseluruh dunia. Perubahan iklim tersebut berdampak pada peningkatan suhu dan curah hujan di daerah perkotaan yang mengakibatkan pemanasan wilayah (*urban heat island*) dan banjir. Untuk mengatasi dampak negatif dari perubahan iklim yang ekstrim, salah satu upaya di bidang infrastruktur transportasi adalah dengan membuat konstruksi perkerasan aspal permeabel. Konstruksi aspal permeabel adalah jenis konstruksi perkerasan yang mengijinkan air di atas permukaan perkerasan masuk kedalam rongga-rongga perkerasan. Keuntungan dari penggunaan perkerasan aspal permeabel adalah mengurangi air limpasan, menurunkan temperatur wilayah, meningkatkan kualitas air dan menurunkan tingkat kebisingan. Namun demikian konsep perkerasan aspal permeabel bertentangan dengan perencanaan perkerasan aspal beton yang tidak memungkinkan air masuk ke dalam lapisan struktur perkerasan yang akan berakibat pada penurunan kapasitas struktur jalan. Penelitian ini menggunakan analisis mekanistik-empiris untuk memodelkan kinerja perkerasan aspal permeabel pada jalan perkotaan dengan variasi beban lalu lintas, lapisan pondasi atas dan tanah dasar serta perbandingan kinerja terhadap perkerasan aspal beton. Parameter analisis *fatigue-cracking* dan *rutting* diperoleh dengan menggunakan software Kenlayer. Selanjutnya evolusi kerusakan dan umur perkerasan aspal permeabel ditentukan berdasarkan kriteria kinerja *fatigue-cracking* dan *rutting*.

Kata kunci: perkerasan aspal permeabel, analisis mekanistik-empiris, kinerja perkerasan, *fatigue-cracking*, *rutting*.

1 PENDAHULUAN

Secara alamiah air akan jatuh ke permukaan bumi dan meresap ke dalam tanah dan sebagian mengalir menuju danau, sungai dan laut. Konstruksi perkerasan aspal permeabel mampu menghasilkan perencanaan jalan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Perkerasan aspal permeabel mampu mengurangi air limpasan (*run off*), mengalirkan air hujan melalui rongga dalam struktur perkerasan dan menampung air hujan tersebut dalam aquifer.

Konstruksi aspal permeabel dirancang untuk mengalirkan air hujan dan air limpasan di sekitar jalan ke dalam lapisan struktur perkerasan aspal permeabel. Dalam proses infiltrasi perlu dilakukan kontrol terhadap sedimen dalam air yang akan berdampak penyumbatan terhadap rongga-rongga perkerasan aspal permeabel. Aplikasi perkerasan aspal permeabel sudah dilakukan secara luas baik di kawasan komersial ataupun di wilayah perumahan.

Kekuatan perkerasan aspal permeabel merupakan fungsi dari karakteristik tanah dasar dan sistem drainase. Tanah dasar sebagai pendukung struktur perkerasan harus mampu menerima distribusi tegangan yang terjadi. Disamping itu dalam perencanaan jalan fungsi drainase harus dipertimbangkan dengan baik untuk mengalirkan air limpasan. Apabila dirancang dan dibangun dengan baik, maka akan memenuhi persyaratan secara struktural dan hidrologi yang mampu menjadi alternatif solusi terhadap

permasalahan akibat perubahan iklim di daerah perkotaan.

Saat ini pembangunan perkerasan aspal permeabel telah berhasil dengan baik diterapkan di area parkir kendaraan dan tempat komersial lainnya untuk jalan dengan kecepatan kendaraan rendah dan beban lalu lintas ringan. Dalam dua dekade terakhir kemajuan pesat dalam penerapan perkerasan aspal permeabel telah dilakukan meliputi: desain struktur, desain hidrologi, kualitas air dan penanganan penyumbatan permukaan perkerasan aspal permeabel. Namun demikian permasalahan utama yang belum terselesaikan sampai saat ini adalah tentang bagaimana kekuatan dan ketahanan perkerasan aspal permeabel pada jalan dengan kecepatan kendaraan tinggi dan beban lalu lintas lalu berat.

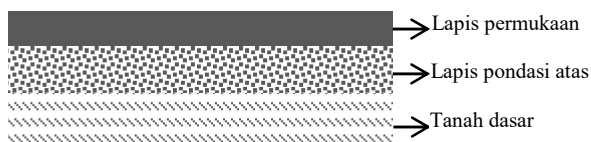
Pada saat ini belum banyak dilakukan penelitian yang berkaitan dengan kinerja kekuatan dan ketahanan perkerasan aspal permeabel akibat pengaruh kelembaban untuk beban lalu lintas tinggi dan rendah dengan karakteristik lapisan pondasi atas dan tanah dasar yang berbeda. Sedikit penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan fenomena tersebut yang hanya dilakukan untuk lalu lintas rendah.

Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki potensi penerapan perkerasan aspal permeabel untuk beban lalu lintas rendah dan tinggi pada jalan perkotaan. Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisa evolusi kerusakan dan umur

pelayanan perkerasan aspal permeabel. Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu menyediakan kerangka dasar dalam konsep mekanistik-empiris perkerasan aspal permeabel untuk jalan perkotaan.

2 MATERIAL DAN METODOLOGI

Kinerja perkerasan aspal permeabel yang terdiri dari 3 lapis (Gambar 2) dimodelkan dengan menggunakan pendekatan analisis mekanistik-empiris. Susunan konstruksi perkerasan divariasikan yang terdiri dari: lapisan permukaan perkerasan aspal permeabel, 2 tipe lapisan pondasi atas berpori (lapisan perkerasan beton permeabel dan agregat bergradasi terbuka), dan 2 tipe tanah dasar (pasir dan lanau). Dua skenario beban lalu lintas rendah (B1): 201.081 ESAL dan beban lalu lintas tinggi (B2): 5.115.703 ESAL digunakan untuk memprediksi evolusi kerusakan perkerasan aspal permeabel seperti terlihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Struktur lapisan perkerasan

Tabel 1 menunjukkan variasi struktur perkerasan jalan permeabel dan beban lalu lintas. Data dari Tabel 1 digunakan untuk menghitung *stress-strain* perkerasan aspal permeabel dengan software Kenlayer. Selanjutnya kinerja perkerasan aspal permeabel dapat ditentukan dengan mengevaluasi rasio kerusakan dan umur pelayanan jalan.

Tabel 1. Jenis struktur perkerasan permeabel

Jenis struktur perkerasan	Susunan dan tebal perkerasan (cm)	
	B1	B2
Perkerasan aspal beton/PAB (P0)	AC: 10 OGBL: 15 Silt: -	AC: 20 OGBL: 25 Silt: -
Perkerasan aspal permeabel 1 (P1)	PAP: 10 PCP: 38 Sand: -	PAP: 15 PCP: 56 Sand:
Perkerasan aspal permeabel 2 (P2)	PAP: 10 PBP: 30 Silt: -	PAP: 15 PBP: 46 Silt:
Perkerasan aspal permeabel 3 (P3)	PAP: 10 OGBL: 20 Sand: -	PAP: 20 OGBL: 36 Sand:
Perkerasan aspal permeabel 4 (P4)	PAP: 10 OGBL: 15 Silt: -	PAP: 20 OGBL: 25 Silt:

Keterangan: B1= beban lalu lintas rendah, B2=beban lalu lintas tinggi

2.1 Pengujian Material di Laboratorium

Perkerasan aspal permeabel didesain dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70 dan agregat dengan gradasi sesuai dengan spesifikasi yang berlaku. Tabel 2 di bawah ini menunjukkan gradasi agregat untuk perkerasan aspal permeabel.

Tabel 2. Gradasi agregat untuk perkerasan aspal permeabel

Ukuran agregat (mm)	No. saringan	Ukuran nominal agregat	
		19mm	25,5mm
25	1"	100	N/A
19	3/4"	95-100	100
12,5	1/2"	64-84	90-100
9,5	3/8"	N/A	N/A
4,75	#4	10-31	11-35
2,36	#8	10-20	10-20
1,18	#16	N/A	N/A
0,075	#200	3-7	3-7

Dalam spesifikasi tersebut juga terdapat persamaan untuk menghitung kadar aspal. Ketebalan aspal yang disarankan adalah 14 μ m. Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan kadar aspal.

$$\text{Kadar aspal} = A * T \quad (1)$$

$$A = \frac{(2+0,02a+0,04b+0,08c+0,14d+0,3e+0,6f+1,6g)}{48,74} \quad (2)$$

A: luas permukaan

T: Tebal aspal (μ m)

a: Persentase lolos #4

b: Persentase lolos #8

c: Persentase lolos #16

d: Persentase lolos #30

e: Persentase lolos #50

f: Persentase lolos #100

g: Persentase lolos #200

Untuk menghitung modulus perkerasan aspal permeabel (Giuliana, Nicolosi, & Festa, 2012) menggunakan persamaan:

$$\log|E^*| \text{MPa} = -7,04265 + 0,2314P_{200} - 0,01218(P_{200})^2 - 0,01995P_4 + 0,126288V_a + 17,98494 \frac{V_{beff}}{V_{beff}+V_a} + \frac{[A-B]}{1+e^{(-0,27958-0,61555 \log f - ,566591 \log \eta)}} \quad (3)$$

Sedangkan modulus elastisitas perkerasan aspal beton (Andrei, D., M., & Mirza, 1999) dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} \log|E^*| = & -1,249937 + 0,029232P_{200} - \\ & 0,001767(P_{200})^2 - 0,002841P_4 - 0,058097V_a - \\ & 0,802208 \left(\frac{V_{beff}}{V_{beff}+V_a} \right) 3,871977 - 0,0021P_4 + \\ & 0,003958P_{38} + \frac{-0,000017(P_{38})^2 + 0,005470P_{34}}{1+e^{(-0,603313-0,313351 \log f - 0,393532 \log \eta)}} \quad (4) \end{aligned}$$

dimana:

- $|E^*|$ = Modulus aspal (10^5 psi),
- η = Viskositas aspal (10^6 poise),
- f = Frekuensi (Hz),
- V_a = Rongga dalam campuran (% volume),
- V_{beff} = Kadar aspal efektif (% volume),
- P_{200} = % lolos saringan no. 0,075 mm,
- P_4 = % komulatif tertahan saringan no. 4,75 mm,
- P_{38} = % komulatif tertahan saringan no. 9,5 mm,
- P_{34} = % komulatif tertahan saringan no. 19 mm.
- A = $6,1131135 - 0,002562 \cdot P_4$
- B = $0,0976269 \cdot P_{38} + 0,0012708026 \cdot (P_{38})^2$

Penelitian ini menggunakan perkerasan beton permeabel (PBP) dan agregat gradasi terbuka untuk lapisan pondasi atas. PBP adalah jenis beton yang dibuat dengan porositas tinggi. PBP dibuat menggunakan agregat berukuran besar dengan sedikit atau tanpa agregat halus (pasir). Untuk menentukan kekuatan dan modulus elastisitas beton menggunakan pengujian kuat tekan beton.

Sedangkan lapisan agregat gradasi terbuka menggunakan tipe GP ($C_u=1,6 < 4$ dan $C_c=0,9 < 1$). Lapisan agregat gradasi terbuka dipadatkan terlebih dahulu sesuai dengan standar yang berlaku (ASTM D4253) sebelum dilakukan pengujian CBR untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas (ASTM D1883).

Dua jenis tanah dasar dipakai dalam penelitian ini, yaitu pasir dan lanau. Penentuan kekuatan tanah dasar berdasarkan pengujian CBR dari U. S. Army Corps of Engineers (U.S. Army Corps of Engineers, 1940). Kekuatan tanah dasar dipengaruhi oleh kadar kelembaban dan berat jenis sampel (Minnesota Department of Transportation, 2007).

2.2 Analisis Kerusakan berdasarkan Metode Mekanistik-Empiris

Metode mekanistik-empiris adalah metode yang dipakai untuk menentukan kinerja perkerasan berdasarkan nilai *fatigue-cracking* dan *rutting* yang terjadi pada lapisan perkerasan. Nilai tersebut diperoleh dari respon material akibat beban lalu lintas pada perkerasan jalan, yaitu nilai tegangan dan regangan. Nilai tegangan dan regangan ini diperoleh dari software Kenlayer.

Asphalt institute (Asphalt Institute, 1982) menyarankan bahwa hubungan antara kegagalan

fatigue-cracking aspal beton dengan regangan tarik adalah sebagai berikut ini.

$$N_f = 0,0796 (\epsilon_t)^{-3,291} (E)^{-0,854} \quad (5)$$

dimana;

- N_f = Jumlah beban repetisi maksimal
- ϵ_t = Regangan tarik horisontal pada bagian bawah lapisan aspal beton
- E = modulus elastis aspal beton

Hubungan kegagalan akibat rutting dengan regangan tekan adalah sebagai berikut ini (Asphalt Institute, 1982).

$$N_f = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,477} \quad (6)$$

dimana;

- N_f = Jumlah beban repetisi maksimal
 - ϵ_c = Regangan tekan vertikal pada bagian atas lapisan tanah dasar
- Selanjutnya rasio kerusakan bisa ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$D = \sum \frac{N_i}{N_r} \quad (7)$$

dimana;

- D = Rasio kerusakan
- N_i = Jumlah beban repetisi standar
- N_r = Jumlah beban repetisi maksimal

Jika nilai D lebih kecil dari 1, maka perkerasan jalan dapat diperkirakan memenuhi umur rencana jalan. Apabila nilai D lebih besar dari 1, maka perkerasan jalan akan mengalami kegagalan struktur lebih cepat sebelum umur rencana jalan tercapai.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Material Perkerasan aspal permeabel

Dalam penelitian ini setiap material dibuat dalam diameter 15 cm. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian gradasi agregat. Kadar aspal ditentukan dengan menggunakan persamaan (1) sehingga diperoleh nilai 5,34%.

Tabel 3. Hasil pengujian gradasi agregat

Ukuran agregat (mm)	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	0,075
Persentase lolos saringan (%)	100	95	64	64	10	10	3

Nilai modulus elastisitas lapisan permukaan terangkum dalam Table 4.

Tabel 4. Nilai modulus lapis perkerasan

Lapisan permukaan	Nilai E (psi)
PAP	209.190
PAB	216.206

Tabel 5 menunjukkan nilai modulus elastisitas lapisan pondasi atas.

Tabel 5. Nilai modulus lapis pondasi atas

Lapisan pondasi atas	Nilai E (psi)
PCP	277.500
Agregat gradasi terbuka	26.000

Untuk nilai modulus elastisitas tanah dasar ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Nilai modulus tanah dasar

Lapisan tanah dasar	Nilai E (psi)
Lanau	11.000
Pasir	5.600

3.2 Evolusi Kerusakan Perkerasan aspal permeabel

Tabel 7-Tabel 11 menunjukkan evolusi kerusakan jalan untuk jenis perkerasan aspal permeabel P1, P2, P3, dan P4. Dari keempat jenis perkerasan aspal permeabel tersebut terlihat bahwa peningkatan beban lalu lintas berbanding lurus dengan peningkatan faktor kerusakan jalan baik pada *fatigue-cracking* maupun *rutting*. Kinerja terbaik ditunjukkan oleh perkerasan aspal permeabel jenis P2 dengan nilai faktor kerusakan terkecil dibandingkan jenis yang lainnya. Sedangkan kinerja terendah ditunjukkan oleh perkerasan aspal permeabel jenis P3. Penggunaan PBP pada lapis pondasi atas dan tanah lanau mampu meningkatkan kekuatan struktural perkerasan aspal permeabel.

Tabel 7. Evolusi kerusakan perkerasan aspal beton

Tipe beban lalu lintas	Jenis struktur perkerasan: Po		
	ϵ_t/ϵ_c	N_f	D
	Fatigue		
B1	0,00603	$2 \cdot 10^8$	0,01025
B2	0,00316	$1,7 \cdot 10^8$	0,03070
	Rutting		
B1	0,00329	71.741	1,55476
B2	0,00314	$3,3 \cdot 10^6$	2,80860

Tabel 8. Evolusi kerusakan perkerasan aspal permeabel jenis P1

Tipe beban lalu lintas	Jenis struktur perkerasan: P1		
	ϵ_t/ϵ_c	N_f	D
	Fatigue		
B1	0,00018	$3,2 \cdot 10^8$	0,00063
B2	0,00014	$7,8 \cdot 10^8$	0,00653
	Rutting		
B1	0,00018	$7,0 \cdot 10^7$	0,00283
B2	0,00009	$1,5 \cdot 10^9$	0,00346

Tabel 9. Evolusi kerusakan perkerasan aspal permeabel jenis P2

Tipe beban lalu lintas	Jenis struktur perkerasan: P2		
	ϵ_t/ϵ_c	N_f	D
	Fatigue		
B1	0,00018	$3,1 \cdot 10^8$	0,00065
B2	0,00014	$7,8 \cdot 10^8$	0,00659
	Rutting		
B1	0,00018	$7,1 \cdot 10^7$	0,00283
B2	0,00010	$1,0 \cdot 10^9$	0,00508

Tabel 10 Evolusi kerusakan perkerasan aspal permeabel jenis P3

Tipe beban lalu lintas	Jenis struktur perkerasan: P3		
	ϵ_t/ϵ_c	N_f	D
	Fatigue		
B1	0,00048	$1,3 \cdot 10^7$	0,01530
B2	0,00022	$1,6 \cdot 10^8$	0,03172
	Rutting		
B1	0,00110	24.529	2,70003
B2	0,00041	$1,9 \cdot 10^6$	8,19776

Tabel 11. Evolusi kerusakan perkerasan aspal permeabel jenis P4

Tipe beban lalu lintas	Jenis struktur perkerasan: P4		
	ϵ_t/ϵ_c	N_f	D
	Fatigue		
B1	0,00048	$1,4 \cdot 10^7$	0,01478
B2	0,00022	$1,7 \cdot 10^8$	0,03103
	Rutting		
B1	0,00086	70.524	1,59891
B2	0,00037	$3,2 \cdot 10^6$	2,85124

3.3 Umur Pelayanan Perkerasan aspal permeabel

Dari Tabel 12, pada perkerasan aspal beton terlihat bahwa berdasarkan kerusakan *fatigue-cracking* umur pelayanan jalan dapat mencapai 20 tahun untuk beban lalu lintas rendah dan tinggi. Sedangkan dari kerusakan *rutting* dapat mencapai 7 dan 12 tahun untuk masing-masing beban lalu lintas rendah dan tinggi. Perkerasan aspal permeabel jenis P1 dan P4 mampu mencapai masa pelayanan jalan 20 tahun untuk beban lalu lintas rendah dan tinggi berdasarkan kerusakan *fatigue-cracking*. Sedangkan berdasarkan kerusakan *rutting* mampu mencapai umur pelayanan jalan 7 dan 12 tahun untuk beban lalu lintas rendah dan tinggi. Perkerasan aspal permeabel jenis P3 memberikan kinerja terendah berdasarkan kerusakan *rutting*, yaitu hanya mencapai 2 dan 7 tahun untuk beban lalu lintas rendah dan tinggi. Kinerja umur pelayanan jalan tertinggi diperoleh dari jenis perkerasan aspal permeabel jenis P2 yang mampu mencapai 20 tahun umur pelayanan jalan baik berdasarkan kerusakan *fatigue-cracking* maupun *rutting*.

Tabel 12. Perbandingan umur pelayanan perkerasan jalan

Jenis Perkerasan	B1		B2	
	<i>Fatigue</i>	<i>Rutting</i>	<i>Fatigue</i>	<i>Rutting</i>
P0	>20	7	>20	12
P1	>20	7	>20	12
P2	>20	>20	>20	>20
P3	>20	2	>20	7
P4	>20	7	>20	12

4 KESIMPULAN

Dua aspek yang ditinjau dalam penelitian ini adalah perbandingan tingkat kerusakan jalan dan umur pelayanan jalan. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- Kerusakan akibat *rutting* terjadi lebih cepat dibandingkan dengan kerusakan akibat *fatigue-cracking* baik untuk jenis perkerasan aspal beton maupun perkerasan aspal permeabel.
- Peningkatan beban lalu lintas berbanding lurus dengan peningkatan faktor kerusakan jalan.
- Penggunaan PCP sebagai lapisan pondasi atas akan meningkatkan kekuatan konstruksi permeabel aspal dibandingkan menggunakan lapisan agregat gradasi terbuka.
- Penggunaan lapisan tanah dasar lanau memberikan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan lapisan tanah pasir.

REFERENSI

- Andrei, D., W., M., W., & Mirza, M. W. (1999). "Development of a Revised Predictive Model For The Dynamic (Complex) Modulus of Asphalt Mixtures." NCHRP 1-37A Interim Team Report. University of Maryland.
- Asphalt Institute. (1982). "Research and Development of Asphalt Institute's Thickness Design Manual 9th Ed., Reseach Report 82-2." Kentucky, USA: The Asphalt Institute.
- Giuliana, G., Nicolosi, V., & Festa, B. (2012). "Predictive Formulas of Complex Modulus For High Air Void Content Mixes." Transportation Research Board.
- Heukelom, W., & Klomp, A. J. (1962). "Dynamic Testing as a Means of Controlling Pavement During and After Construction." *Proceedings of The International Conference on The Design Structural of Asphalt Pavement*. Ann Arbor, Michigan, USA.
- Kayhanian, M., Weiss, T. P., & Khazanovich, L. (2015). "Permeable Pavement with Emphasis on Successful Design Water Quality Benefits, and Identification of Knowledge and Data Gaps." California, USA: National Centre for Sustainable Transportation.
- Minnesota Departement of Transportation. (2007). "MnDoT Pavement Design Manual. Minnesota." USA: Minnesota Department of Transportation.
- Modeste, G. K., Falls, C. L., & Park, Y. P. (2015). "Performance Of Permeable Pavements Under Low Volume Traffic Loads." *The 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington D.C. USA: Transportation Research Board.
- U.S. Army Coprs of Engineers. (1940). "CBR Test Procedure." California, USA: U.S. Army Coprs of Engineers.
- Virginia DEQ Stormwater Design Spesification No. 7. (2011). "Permeable Pavement." Virginia, USA: <http://www.vwrrc.vt.edu/swc/NonPBMPSpecsMarch11A/ASWMBMPSpec7PERMEABLEP AVEMENT.html>.

Studi Komparasi Desain Struktur Perkerasan Dengan Metode *Aashto* 1993, Bina Marga 2017 Dengan Menggunakan Program *Kenpave* Pada Ruas Jalan Yogyakarta – Bantul

M. H. Juhindra

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
13511248@students.uii.ac.id

M. Fauziah

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
miftahul.fauziah@uui.ac.id

INTISARI

Ruas Jalan Yogyakarta- Bantul merupakan Jalan Nasional dan berfungsi sebagai jalan arteri. Paper ini menyajikan hasil kajian komparasi desain perkerasan dengan metode Bina Marga 2017 dibandingkan dengan metode *AASHTO* 1993 dan metode mekanistik-empirik menggunakan Program *KENPAVE*. tegangan dan regangan dihitung dengan software *KENPAVE*. berdasarkan tebal yang diperoleh dengan ke 3 metode tersebut nilai Tegangan dan Regangan untuk kerusakan *Fatigue cracking* sebesar 0,0002728 untuk metode Bina Marga 2017 dan 0,00003742 untuk metode *AASHTO* 1993. Untuk nilai kerusakan *Rutting* sebesar 0,0002123 untuk metode Bina Marga 2017 dan 0,0001117 untuk metode *AASHTO* 1993. Nilai Kerusakan *Permanent peformation* sebesar 0,0001256 untuk metode Bina Marga 2017 dan 0,0004699 untuk metode *AASHTO* 1993. jenis kerusakan yang terjadi lebih dahulu adalah jenis kerusakan *Rutting* pada metode Bina Marga 2017 dikarenakan nilai repetisi beban mendekati nilai repetisi beban rencananya. Untuk jenis kerusakan yang terlebih dahulu terjadi pada metode *AASHTO* 1993 adalah *Permanent peformation* karena nilai repetisi bebannya kurang dari beban repetisi rencananya sehingga akan mengalami kerusakan terlebih dahulu sebelum umur rencana.

Kata kunci: Bina Marga, *AASHTO* 1993, *KENPAVE*, *Overlay*, perkerasan lentur

1 PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan hal yang sangat penting dalam sektor perhubungan terutama dalam prasarana transportasi darat untuk keseimbangan barang dan jasa. Sebagai salah satu bangunan sipil, jalan mempunyai peranan penting dalam keberlangsungan hidup masyarakat. Jalan digunakan sebagai penghubung arus lalu lintas orang maupun barang dari satu tempat ke tempat lain. Untuk dapat memberikan rasa aman dan nyaman kepada pengguna jalan, maka konstruksi perkerasan jalan harus tersedia jalan yang rata dan konstruksi yang kuat.

Ruas jalan Yogyakarta- Bantul merupakan jalan Nasional dan berfungsi sebagai jalan arteri, panjang jalan 6 km merupakan jalan yang menuju jalan utama kabupaten bantul. Secara umum jalan ini sudah rusak dan perlu diadakannya perbaikan, mengingat jalan nasional Yogyakarta-bantul merupakan jalan yang penting untuk kepentingan wisata di Daerah Istimewa Yogyakarta dilalui oleh kendaraan beban besar dan juga sebagai akses jalan yang digunakan oleh masyarakat setempat, harus diimbangi dengan kondisi perkerasan yang baik. Namun kenyataan masih dapat ditemukan kerusakan pada jalan nasional Yogyakarta - bantul dan perlu diadakan evaluasi secara berkala

untuk menentukan jenis pemeliharaan dan perawatan jalan yang tepat.

Ramadhani dan Fauziah (2018) Menyimpulkan penemuannya bahwa jumlah repetisi beban yang dihasilkan dipengaruhi oleh tebal perkerasan yang diajukan tersebut. Hal yang sama juga terlihat pada penelitian Marita dan Fauziah (2016) Kesimpulan ini dapat dilihat bahwa semakin kecil tebal suatu lapis perkerasan, maka repetisi beban yang dihasilkan juga semakin kecil. Dan jika semakin besar tebal suatu lapisan perkerasan maka nilai repetisi beban yang dihasilkan juga semakin besar.

Menurut Purnaningrum dan Kushari (2018) Tebal lapis tambah (*Overlay*) merupakan lapis perkerasan tambahan yang dipasang di atas konstruksi perkerasan yang ada dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan struktur perkerasan yang ada agar dapat melayani lalu lintas yang direncanakan selama kurun waktu yang akan datang. Tebal lapis tambah (*Overlay*) dibutuhkan apabila konstruksi perkerasan yang ada tidak dapat lagi memikul beban lalu lintas yang beroperasi baik karena penurunan kemampuan struktural atau karena mutu lapisan

perkerasan yang sudah jelek. Berbeda dengan kajian sebelumnya, paper ini menyajikan hasil Komparasi Tebal Perkerasan dengan metode *AASHTO 1993*, Bina Marga 2017 dan Metode Mekanistik-Empirik menggunakan Program *KENPAVE* beserta *Overlay* pada ruas jalan Yogyakarta – Bantul.

2 DESAIN PERKERASAN METODE EMPIRIK DAN MEKANISTIK-EMPIRIK

2.1 Metode Empirik *AASHTO 1993*

AASHTO 1993 menggunakan nilai indeks pelayanan (P_o dan P_t) dan angka *Ekivalen*. Perhitungan tebal perkerasan lentur dengan metode *AASHTO 1993 Guide for Design of Pavement Structures 1993*, dilakukan dengan menghitung beberapa aspek berdasarkan manual *AASHTO 1993* Perhitungan tebal perkerasan lentur dengan metode *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993* dijelaskan sebagai berikut:

1. Umur rencana
Umur rencana perkerasan adalah 20 tahun.
2. Menentukan Nilai Indeks Pelayanan (P_o dan P_t)
3. *CBR* Design
4. Modulus *resullient* tanah dasar (MR)
5. Koefisien distribusi kendaraan (C)
6. *Realiabilitas* (R)
7. Simpangan Baku (S_o)
8. Angka *Ekivalen* (E)
9. Lintas *Ekivalen* Permulaan (LEP)
10. Lintas ekivalen selama umur rencana (w_{18})
11. Koefisien Relatif Lapisan (a)
12. *Struktural Number* (SN)

2.2 Metode Mekanistik Empirik Bina Marga 2017

Dalam perencanaan tebal lapisan perkerasan Metode Bina Marga perlu data-data sebagai berikut.

- a) Data lalu lintas harian rata-rata ($LHRT$), data jenis kendaraan
- b) Faktor pertumbuhan lalu lintas didasarkan pada data-data pertumbuhan historis atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang valid.
- c) Faktor ekuivalen beban, beban sumbu standar dan beban sumbu standar kumulatif. Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL)* merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana.
- d) Material yang dipakai dilihat dari jenis material yang digunakan sebelumnya pada jalan tersebut.
- e) Tipe perkerasan, pemilihan tipe perkerasan ditentukan sesuai estimasi lalu lintas, umur rencana,

dan kondisi pondasi jalan. Perhitungan tebal perkerasan untuk perkerasan lentur dihitung berdasarkan nilai *CESAL* umur rencana kemudian tebal struktur perkerasan menggunakan Bagan Desain 3 Bina Marga 2017.

2.3 Metode Mekanistik-Empirik menggunakan *KENPAVE*

Metode ini merupakan metode pada prinsip perencanaan perkerasan jalan yang dikembangkan dari kombinasi metode mekanistik dan empiris. Masing-masing metode yang telah dijelaskan diatas memiliki kelemahan dalam penggunaannya dalam desain perkerasan.

Metode desain mekanistik-empiris didasarkan pada mekanika bahan yang berhubungan dengan data yang diperlukan seperti beban roda, respon perkerasan, seperti tegangan regangan. Nilai respon digunakan untuk memprediksi tekanan dari tes laboratorium dan kinerja dilapangan. Sangat perlu dilakukan pengamatan pada kinerja perkerasan karena teori saja belum terbukti (Huang, 2004)

3 METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan metode *AASHTO 1993*, Bina marga 2017 dan Metode Mekanistik-Empirik menggunakan Program *KENPAVE* serta menentukan Tebal *Overlay* perkerasan dan akan dilakukan perbandingan tiap metode mulai dari konsep, hasil, prosedur, dan parameter SN sehingga dapat dilakukan perbandingan dengan sangat kompleks. pada urutan pertama akan dilakukan pengecekan kondisi *eksisting* perkerasan dengan *KENPAVE* apakah *eksisting* dapat memenuhi repetisi beban sesuai rencana atau tidak lalu dilanjutkan perhitungan tebal perkerasan Bina Marga 2017, *AASHTO 1993* setelah itu dilakukan pengecekan dengan *KENPAVE* untuk mencari nilai tegangan regangan dan nilai repetisi beban .

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Metode Empirik *AASHTO 1993*

Hasil Perhitungan tebal perkerasan lentur dengan metode *AASHTO 1993* disajikan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Metode *AASHTO 1993*

Perkerasan	Tebal Perkerasan (cm)			
	Manual	Konversi	<i>Overlay</i>	SN
LASTON MS	21	16		
B.Pecah A	15	20	14	6,3
Sirtu A	30	30		

Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat perbedaan hasil antara tebal perkerasan dengan hitungan manual AASHTO 1993 dan konversi tebal sesuai eksistingnya, berdasarkan hasil perhitungan software KENPAVE didapatkan Hasil repetisi beban yang tidak memenuhi atau kurang dari nilai repetisi beban rencananya. Desain perkerasan ini diprediksi akan mengalami kerusakan Permanent peformation sebelum umur rencana. Perhitungan Overlay diperlukan untuk mengatasi masalah tersebut, berdasarkan perhitungan desain overlay dengan metode AASHTO 1993, nilai tebal overlay sebesar 14 cm.

4.2 Metode Mekanistik-Empirik Bina Marga 2017

Hasil dari desain tebal perkerasan dengan metode Mekanistik-Empirik Bina Marga 2017 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Desain Tebal Perkerasan Lentur Bina Marga 2017

Perkerasan	Tebal Perkerasan (cm)			
	Manual	Konversi	Overlay	SN
AC-WC	4	4,5		
AC-BC	6	5		
AC-Base	7,5	7	14	4,4
CTB	15	15		
LPA Kelas A	15	15		

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat perbedaan antara tebal perkerasan dengan hitungan manual Bina Marga 2017 dan konversi tebal perkerasan sesuai tebal *Esistingnya*, dilakukan pengecekan dengan KENPAVE pada perkerasan konversi sesuai dengan tebal eksistingnya diperoleh hasil repetisi beban yang melebihi nilai repetisi beban rencannya. Diprediksi perkerasan akan mampu memenuhi umur rencana. Desain *overlay* dari Bina Marga 2017 sebagai pembandingan dengan metode lain apakah memiliki perbedaan yang signifikan atau tidak. Tebal lapis tambah yang dibutuhkan sebesar 14 cm dan nilai SN 4,4. Tebal *overlay* Bina Marga 2017 sama dengan tebal *Overlay AASHTO 1993* karena menurut peraturan Bina Marga 2017 apabila nilai *CESAL* 4 lebih dari 10×10^6 *ESAL* diutamakan menggunakan prosedur desain *Overlay* metode *AASHTO 1993*. Nilai *CESAL* 4 desain struktur metode Bina Marga 2017 sebesar 11.364.613 *ESAL*.

4.3 Metode Mekanistik Empirik menggunakan KENPAVE

Hasil dari pengecekan KENPAVE disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Pengecekan dengan KENPAVE

KENPAVE	Pengulangan	Vertical	Vertical	Vertical
	Beban	Displ	Strain	Strain
Eksisting	1	3.20E-05	2.50E-04	1,28E-04
	2	3.84E-05	1.38E-04	7,64E-05
	3	7.83E-06	7,75E-05	4,74E-05
Bina Marga 2017	1	1,81E-05	2,13E-04	1,26E-04
	2	8,65E-08	6,39E-05	8,83E-05
	3	2,73E-05	1,19E-04	6,71E-05
AASHTO 1993 1993	1	3,74E-05	1,12E-04	4,70E-04
	2	3,27E-05	5,46E-05	4,26E-04
	3	2,46E-05	5,25E-07	4,70E-04

Dari Tabel 3 diatas dapat dilihat hasil nilai tegangan dan regangan perkerasan berdasarkan software KENPAVE dari hasil tersebut diambil nilai maximumnya dan dilanjutkan perhitungan nilai repetisi beban untuk mengetahui apakah nilai repetisi beban memenuhi nilai repetisi beban rencananya.

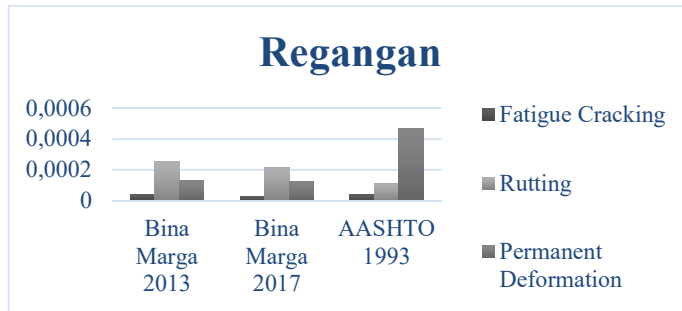
Pada perhitungan *eksisting* dengan metode Bina Marga 2013 didapatkan nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa tegangan sebesar 550 kPa dan nilai regangan *Fatigue cracking* sebesar 0.00003835, *Rutting* sebesar 0.0002503, dan *Permanent peformation* sebesar 0.0001276. Analisis repetisi beban diperoleh nilai 175.033.209 *ESAL*, karena nilai $N_f > N_r$ mak lapis permukaan masih dalam batas aman dan masih mampu menahan selama umur rencana desain.

Pada metode Bina Marga 2017 diperoleh nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa tegangan sebesar 550 kPa dan nilai regangan *Fatigue cracking* sebesar 0,00002728, *Rutting* sebesar 0,0002133, dan *Permanent peformation* sebesar 0,0001256. Hasil analisis repetisi beban diperoleh 536.943.359 *ESAL* maka $N_f > N_r$, sehingga lapis permukaan masih dalam batas aman dan masih mampu menahan selama umur rencana desain.pada penelitian ini prediksi kerusakan awal yang terjadi adalah *Rutting*. Hal ini sama dengan penelitian marita dan Fauziah (2016) dan juga Ramadhani dan Fauziah (2018) yang menyimpulkan bahwa nilai repetisi beban juga lebih besar dari nilai repetisi beban rencana

Pada metode *AASHTO 1993* diperoleh nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa tegangan sebesar 550 kPa dan nilai regangan *Fatigue cracking* sebesar 0,00003742, *Rutting* sebesar 0,0001117, dan *Permanent peformation* sebesar 0,0004699. Analisis repetisi beban diperoleh 189.761.338 *ESAL*, karena $N_f > N_r$ lapis permukaan masih dalam batas aman dan masih mampu menahan beban selama umur rencana

desain. Pada penelitian ini prediksi kerusakan yang terjadi terlebih dahulu adalah *Permanent peformation*

karena nilai repetisi beban yang kurang dari nilai repetisi beban rencana. Hal ini berbeda dengan penelitian Helyati dan Kushari (2016) yang menyimpulkan bahwa prediksi kerusakan awal yang terjadi adalah *Fatigue cracking*



Gambar 1. Regangan jenis kerusakan setiap metode

Berdasarkan Gambar 1 diatas, hasil nilai regangan tiap metode jelas terlihat perbedaannya. Setiap metode memiliki nilai regangan yang berbeda dan berdasarkan gambar tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai regangan maka semakin kecil nilai repetisi bebannya dan begitu juga sebaliknya.

Pada prediksi kerusakan dari perhitungan metode Empirik yang mengalami kerusakan terlebih dahulu *Rutting* dahulu pada perhitungan metode Empirik Bina Marga karena nilai repetisi beban yang dihasilkan mendekati nilai beban lalu lintas rencana. Pada penelitian yang dilakukan (Ramadhani dan Fauziah, 2018) juga diperoleh hasil nilai regangan penyebab kerusakan *Rutting* lebih besar daripada regangan penyebab *Fatigue cracking* dan *Permanent peformation*. sedangkan Metode Empirik *AASHTO 1993* akan mengalami kerusakan *Permanent peformation* terlebih dahulu karena nilai repetisi beban yang dihasilkan mendekati dari nilai beban lalu lintas rencana.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut. Tebal Perkerasan Bina Marga 2017 yaitu *AC-WC* sebesar 4 cm *AC-BC* sebesar 6 cm *AC Base* sebesar 7,5 cm *CTB* sebesar 15 dan *LPA Kelas A* sebesar 15 cm dikonversikan sesuai eksistingnya yang menjadi *AC-WC* sebesar 4,5 cm *AC-BC* sebesar 5 cm *AC Base* sebesar 7 cm Agregat A sebesar 15 dan Agregat B sebesar 15 cm beserta *Overlay* sebesar 14 cm. Tebal Perkerasan *AASHTO 1993* yaitu *LASTON MS* sebesar 21 cm, Batu Pecah sebesar 15 cm, Sirtu kelas A sebesar 30 dikonversikan

sesuai dengan tebal eksistingnya yakni *LASTON MS* sebesar 16 cm, Batu Pecah sebesar 20 cm, Sirtu kelas A sebesar 30 dan *overlay* 14 cm.

Berdasarkan hasil pengecekan dengan *KENPAVE* didapatkan hasil untuk perkerasan metode Bina Marga akan mengalami kerusakan *Rutting* terlebih dahulu berdasarkan nilai repetisi beban yang mendekati nilai repetisi beban rencana. Sedangkan metode *AASHTO 1993* akan mengalami kerusakan *Permanent peformation* Terlebih dahulu berdasarkan nilai repetisi beban yang mendekati nilai repetisi beban rencana. Hasil keseluruhan yang meliputi tebal perkerasan, tebal konversi perkerasan sesuai dengan tebal eksisting, tebal *overlay* dan nilai *SN (Structural Number)* di ketahui bahwa tebal perkerasan dengan metode *AASHTO 1993* diperoleh hasil jauh lebih tebal dibandingkan metode lain dan berdasarkan nilai *SN* metode *AASHTO 1993* jauh lebih tinggi dibanding metode lain. Nilai *SN AASHTO 1993* dicari menggunakan nomogram, sedangkan *SN* dengan Bina Marga 2017 dicari menggunakan rumus $SN = a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3$. hal ini bebeda dengan penelitian yang dilakukan (Mahmuddin dan Fauziah, 2020) diperoleh nilai *SN* Bina Marga 1987 lebih besar dari pada *AASHTO 1993*.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guide for Design of Pavement Structure*. Washington. D.C.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga. Juli, 2013. *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/DB/2017*. Jakarta.
- Helyati. C.A dan Kushari, B. (2016). Perbandingan perkerasan lentur dan perancangan perkerasan dengan metode Mekanistik Empirik pada ruas jalan Cebongan – Seyegan.
- Huang, Y.H. (2004). *Pavement Analysis and Design*, 2nd ed. Pearson Education. United States of America. USA.
- Mahmuddin, A. dan Fauziah, M. (2020) Analisis Lapis Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Empirik dan Metode Mekanistik-Empirik dengan program *KENPAVE* pada ruas jalan Imogiri Timur.

Marita, A. dan Fauziah, M. (2016). Perbandingan Perancangan Struktur Perkerasan Lentur jalan dengan Metode Mekanistik-Empirik dan Metode Bina Marga 2013 pada ruas jalan Pakem-Prambanan.

Purnaningrum, K.N. dan Kushari (2018). Perbandingan Desain Tebal Lapis Tambah dengan Metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO 1993* menggunakan data Lendutan pada ruas jalan Arteri Selatan Yogyakarta KM 6.750 – 25.250

Ramadhani, R.I dan Fauziah, M. (2018). Evaluasi tebal perkerasan lentur dengan metode Bina Marga 2013 dan metode mekanistik-empirik dengan menggunakan program KENPAVE pada ruas jalan Jogja – Solo

Pengaruh Perilaku Pengguna Jalan Terhadap Level Of Service (Los) Pada Kawasan Pendidikan (Wilayah Kajian Studi : Segmen Jalan Depan Usm)

Rexy Mahendra Ramadhani¹, Moch. Rigen Pranata², Iin Irawati^{3*}

¹²³Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Semarang (USM) Jalan Arteri Soekarno – Hatta – Tlogosari Semarang
Email : iin.irawati5477@gmail.com

INTISARI

Pola aliran lalu lintas dipengaruhi oleh berbagai faktor. Salah satunya adalah perilaku pengguna jalan. Pengguna jalan memberikan dampak terhadap nilai kapasitas jalan, sehingga akan mempengaruhi performa yang ditunjukkan pada tingkat pelayanan jalan (Level of Service (LOS)) suatu kawasan. Kawasan pendidikan merupakan kawasan yang memiliki tingkat kepadatan lalu lintas yang cukup tinggi. Salah satu kawasan pendidikan dengan bangkitan serta tarikan yang tinggi di kota Semarang adalah Universitas Semarang (USM). Karakteristik perilaku pengguna jalan yang ada di depan segmen jalan cenderung agresif dan tidak disiplin. Hal tersebut tercermin pada kurangnya tenggang rasa pengendara yang keluar masuk kampus, parkir semauanya pada sisi jalan dan area gate USM, kurangnya toleransi pengendara terhadap pejalan kaki dan adanya pengendara yang melawan arus. Berdasarkan karakteristik tersebut, penelitian ini difokuskan pada kajian perilaku pengguna jalan terhadap performa jalan dengan indicator LOS. Metode yang digunakan dalam analisis adalah metode pada manual jalan, hambatan samping (perilaku pengguna jalan), Serta data sekunder yaitu jumlah penduduk kota Semarang. Dari hasil analisis yang ada, diperoleh hasil bahwa perilaku pengguna jalan di kawasan pendidikan (USM) pada saat peak hour berada pada LOS C.

Kata kunci: *Level of Service*, pengguna jalan, hambatan samping, kapasitas, arus.

1 PENDAHULUAN

Tata guna lahan (land use) terdiri dari pembagian wilayah dalam fungsi-fungsi tertentu. Dalam suatu fungsi tata guna lahan akan tercipta suatu bangkitan dan tarikan dalam suatu zona. Pergerakan manusia yang merupakan akibat dari sistem aktifitas yang saling berhubungan dari satu tempat dengan tempat lain, selalu dikaitkan dengan pola hubungan antara distribusi spasial dengan tata guna lahan yang terdapat di suatu wilayah (Akbarudin, 2013). Fungsi tata guna lahan akan mempengaruhi jumlah bangkitan dan tarikan yang memberikan dampak jumlah lalulintas pada suatu kawasan (Supoyo dan Irawati, 2019). Pusat bangkitan dan tarikan yang tinggi menjadi salah satu penyebab kemacetan lalulintas. Salah satu kawasan yang memiliki bangkitan dan tarikan cukup tinggi adalah kawasan pendidikan (Irawati, 2017).

Setiap kawasan pendidikan memiliki karakteristik lalulintas yang berbeda – beda. Selain dipengaruhi oleh sistem yang mengatur lalulintas, pola tata guna lahan, maka perilaku pengguna jalan juga mempengaruhi pola aliran lalulintas yang ada.

USM merupakan salah satu kawasan pendidikan yang terletak di jalan arteri Sukarno Hatta Semarang. Jumlah mahasiswa USM sebanyak 22.000 orang, merupakan salah satu faktor tingginya bangkitan dan tarikan di

kawasan tersebut. Tingginya bangkitan dan tarikan tersebut memberikan dampak terhadap kondisi di sekitar kampus. Menurut Hidayat et.al, 2011; aktivitas pendidikan dapat memberikan pengaruh terhadap lingkungan sekitarnya. Pusat – pusat aktivitas masyarakat seperti pusat perkantoran, pusat perdagangan, industri, rekreasi dan sarana pendidikan akan menjadi penarik perjalanan dan merupakan penyebab terjadinya hambatan samping (Yasa dan Sutapa, 2011).

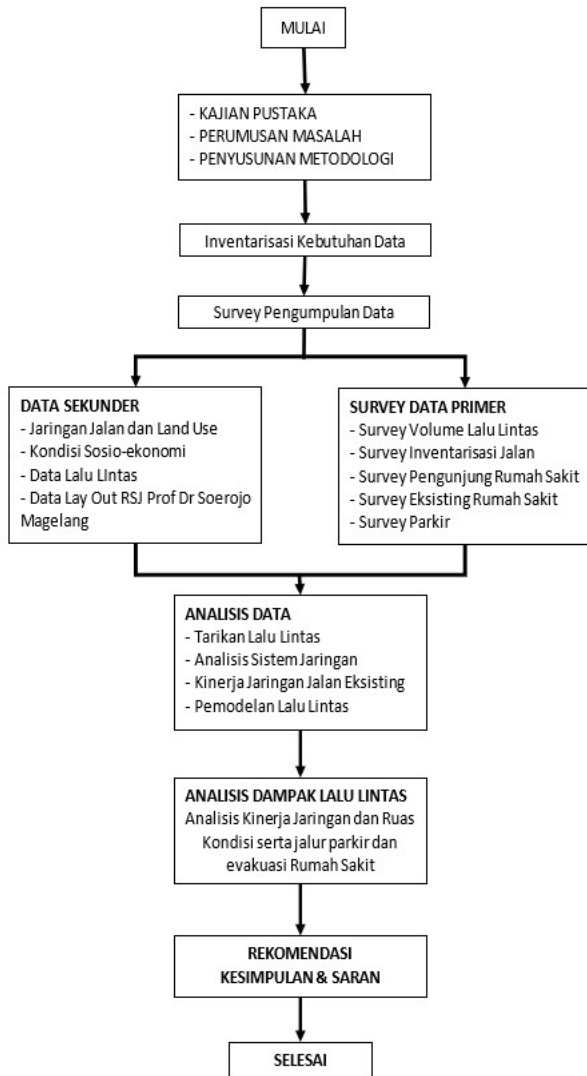
Berdasarkan kondisi di lapangan, kemacetan tertinggi terjadi pada waktu sore hingga malam hari. Kemacetan tersebut disebabkan oleh faktor hambatan samping. Hambatan samping yang terjadi di depan kampus USM dipengaruhi oleh berbagai aktivitas dari perilaku pengguna jalan (tidak hanya didominasi oleh pengguna kendaraan). Aktifitas samping pada sisi jalan pada kawasan USM terdiri dari: kendaraan keluar masuk kampus, kendaraan yang menaikkan dan menurunkan penumpang, kendaraan yang bergerak melambat, pejalan kaki, kendaraan parkir pada sisi jalan (karena pada kawasan USM tidak memiliki tempat khusus untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, banyak pengendara ojek online, pengantar, dan penjemput yang berhenti atau parkir pada sisi badan jalan hingga area gate USM), serta adanya pedagang kaki lima (PKL).

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat pelayanan jalan

akibat pengaruh perilaku pengemudi terhadap LOS pada segmen jalan depan USM.

2 METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Metode Penelitian
Sumber : Tim Peneliti, 2020

3 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data terbagi dalam data primer dan data sekunder. Uraian untuk kedua data tersebut adalah sebagai berikut :

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diambil dari hasil survei langsung di lokasi penelitian. Data yang diambil yaitu data geometrik jalan, data kondisi lalu lintas. Data primer terdiri dari :

- Data geometrik Data geometrik jalan diperoleh dari pengukuran lebar jalan, lebar trotoar, lebar median dan saluran drainase.
- Kondisi lalu-lintas Kondisi lalu-lintas adalah jumlah kendaraan yang melintas pada jalan tersebut per satuan waktu.

2. Data sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini adalah berupa data jumlah penduduk kota Semarang.

3.2 Analisis Data

Metode analisis yang digunakan adalah MKJI 1997. Dari hasil pengumpulan data, maka uraian analisis data adalah :

1. Volume lalu lintas

Berdasarkan hasil survei volume lalu lintas di lapangan khususnya pada waktu puncak untuk masing masing arah dan hari pengamatan, hasil analisis arus lalulintas dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Hasil Analisis Arus Lalulintas

Hari/Tanggal	Waktu pengamatan	Total Dua arah Q (smp/jam)
Senin, 13 Januari 2020	16.00-17.00	3.226,65
Senin, 13 Januari 2020	17.00-18.00	2.964,67
Selasa, 14 Januari 2020	16.00-17.00	2.914,35
Selasa, 14 Januari 2020	17.00-18.00	2.893,1

2. Hambatan Samping

Hasil analisis hambatan samping akibat perilaku pengguna jalan tertera pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Hasil Analisis Hambatan Samping

Hari/Tanggal	Waktu pengamatan	Frekuensi kejadian berbobot
Senin, 13 Januari 2020	16.00-17.00	780,7
Senin, 13 Januari 2020	17.00-18.00	686,4
Selasa, 14 Januari 2020	16.00-17.00	534,2
Selasa, 14 Januari 2020	17.00-18.00	666,6

3.3 Kapasitas Jalan

Nilai kapasitas jalan yang diperoleh pada segmen jalan depan USM dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Hasil Analisis Kapasitas Jalan

Hari/Tanggal	Waktu pengamatan	Total Dua arah C (smp/jam)
Senin, 13 Januari 2020	16.00-17.00	7.045,2
Senin, 13 Januari 2020	17.00-18.00	7.045,2
Selasa, 14 Januari 2020	16.00-17.00	7.045,2
Selasa, 14 Januari 2020	17.00-18.00	6.888,4

3.4 Derajat Kejenuhan (DS)

Berdasarkan perhitungan maka diperoleh nilai derajat kejenuhan seperti pada Tabel 3.4

Tabel 3.4. Analisis Nilai DS

Hari/Tanggal	Waktu pengamatan	DS
Senin, 13 Januari 2020	16.00-07.00	0,46
Senin, 13 Januari 2020	17.00-18.00	0,42
Selasa, 14 Januari 2020	16.00-17.00	0,41
Selasa, 14 Januari 2020	17.00-18.00	0.42

Dari hasil analisis tersebut, maka kemacetan tertinggi terjadi pada hari Senin pukul 16.00 – 17.00, dengan nilai DS = 0,46. Rata – rata nilai DS adalah 0,43. Karena nilai rata – rata DS = 0,43, maka segmen jalan depan USM pada saat peak hour, akibat pengaruh perilaku pengguna jalan berada pada LOS C.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang ada, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada jam puncak arus lalu lintas pada kawasan pendidikan Universitas Semarang (USM) pada hari Senin, 13 Januari 2020, jam 16.00-07.00, 17.00-18.00 didapatkan arus lalu lintas sebesar 3,226,65 smp/jam dan 2,964,67 smp/jam. Pada hari Selasa, 14 Januari 2020 pada jam 16.00-17.00, 17.00-18.00 didapatkan arus lalu lintas sebesar 2,914,35 smp/jam dan 2.893,1 smp/jam.

2. Hambatan samping pada kawasan pendidikan Universitas Semarang (USM) pada hari Senin, 13 Januari 2020, jam 16.00-17.00, 17.00-18.00 didapatkan nilai sebesar 780,7 (tinggi) dan 686,4 (tinggi). Pada hari Selasa, 14 Januari 2020 pada jam 16.00-17.00, 17.00-18.00 didapatkan nilai 534,2 (tinggi) dan 666,6 (tinggi).
3. Kapasitas jalan pada hari Senin, 13 Januari 2020, jam 16.00-17.00, 17.00-18.00 adalah 7.045,2 smp/jam dan 7.045,2 smp/jam. Pada hari Selasa, 14 Januari 2020 pada jam 16.00-17.00, 17.00-18.00 kapasitas jalan adalah 7.045,2 smp/jam dan 6,888,4 smp/jam.
4. Nilai derajat kejenuhan pada segmen jalan depan USM pada hari Senin, 13 Januari 2020, jam 16.00-17.00, 17.00-18.00 sebesar 0,46 dan 0,42. Pada hari Selasa, 14 Januari 2020 pada jam 16.00-17.00, 17.00-18.00 adalah 0,41 dan 0.42.
5. Rata – rata nilai DS = 0,43
6. Nilai DS sebesar 0,43 tersebut dipengaruhi oleh tingginya hambatan samping dari perilaku pengguna jalan, sehingga kinerja jalan berada pada LOS C.

REFERENSI

- Akbardin, J., 2013, Kajian Model Bangkitan Pergerakan Kawasan Pendidikan Jalan Sultan Fatah Kota Demak, *Portal Jurnal Universitas Pendidikan Indonesia*, Volume 11 no 1, Januari 2013.
- Anonim, 1997, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*, Direktorat Jendral Marga, Jakarta.
- Irawati. (2017), Analisis Performa Jalan Dengan Menggunakan Metode Pada Kawasan Pecinan Pati Sebagai Pengaruh Restrukturisasi Pasar Rogowangsan, *Teknika Journals*, Volume 12 No 1, Maret 2017.
- Sugiyono, 2011, *Metode penelitian kuantitatif, Kualitatif dan R&D*, Bandung.
- Supoyo dan Irawati, I. 2019, Kajian Level of Service (LOS) Pada Kawasan Mix Landuse Ruas Jalan Sudirman Pati, *Teknika Journals*, Volume 14 No 1, 2019.

Pengaruh Penggunaan Gamping Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Campuran Beton Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Dengan Metode Marshall Untuk Jenis Aspal Retona Blend 55

A. Juara

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an, Jawa Tengah, INDONESIA
agusjuara182@gmail.com

W. Lestarini

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an, Jawa Tengah, INDONESIA
lestariniw@yahoo.co.id

F. I. Setyonugroho

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an, Jawa Tengah, INDONESIA

INTISARI

Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) merupakan salah satu bagian dari lapis perkerasan yang berfungsi sebagai lapis antara yang menahan beban maksimum akibat beban lalu lintas. Secara umum bahan perkerasan campuran AC-BC terdiri dari agregat halus, agregat kasar, bahan pengisi (filler) dan aspal. Pemecahan agregat dengan menggunakan mesin pemecah (stone crusher) menghasilkan filler sebagai hasil sampingan tidak seimbang dengan jumlah kebutuhan campuran yang dibutuhkan, maka dicoba mencari solusi dengan menggunakan batu kapur (gamping) yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran AC-BC serta membuka wawasan tentang penggunaan batu kapur yang selama ini sebagian besar hanya digunakan sebagai bahan lapis pondasi dalam suatu konstruksi jalan.

Pada penelitian ini menggunakan bahan campuran Laston Lapis Antara dari Hot Bin I (agregat halus), Hot Bin II, Hot Bin III dan Hot Bin IV (agregat kasar), Bahan pengisi (filler) menggunakan Batu Kapur (Gamping) dengan variasi campuran 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%, 3.5%, 4% dan aspal dari jenis Retona Bland 55. Pemeriksaan dengan alat Marshall Test dan hasilnya dibandingkan dengan persyaratan spesifikasi (Devisi 6 Spesifikasi 2010 Revisi III).

Dari hasil penelitian untuk lalu lintas berat dengan metode uji Marshall standar, dengan jumlah tumbukan 75 kali pada sampel briket, ternyata kadar filler 3,5% mampu memenuhi persyaratan spesifikasi paling optimum dengan hasil nilai: (VIM 4,53%); (VFB 71,17%); (VMA 15,71%); (Stabilitas 1200,7 kg); (flow 3,7%) dan (MQ 330,82 kg/mm).

Kata kunci: AC-BC, filler batu kapur, Aspal Retona Blend 55

1 PENDAHULUAN

Asphalt Concrete – Binder Course merupakan lapisan perkerasan yang terletak diantara Wearing Course dan Base Course. Lapisan ini, berfungsi untuk menahan dan menyebarkan beban lalu lintas pada lapisan dibawahnya (base dan sub base). Lapis AC-BC difungsikan menahan beban maksimum akibat beban lalu lintas, sehingga diperlukan suatu campuran yang memiliki kekuatan yang cukup. Untuk mendapatkan campuran AC-BC yang memenuhi mutu yang diharapkan, maka diperlukan suatu pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan bahan yang diperlukan. Secara umum bahan perkerasan campuran AC-BC terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (filler) dan aspal. Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah dengan spesifikasi tertentu yang hasil dari mesin pemecah batu (Stone

Crusher). Agregat halus terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah yang memenuhi spesifikasi sebagai bahan campuran AC-BC. Bahan pengisi (filler) yang umum digunakan adalah abu batu yang diperoleh dari hasil sampingan mesin pemecah batu.

Pemecahan agregat menggunakan mesin pemecah (Stone Crusher) menghasilkan abu batu sebagai hasil sampingan tidak seimbang dengan jumlah kebutuhan campuran yang dibutuhkan. Oleh karena itu dicoba untuk mencari solusi dengan menggunakan abu batu kapur (gamping) yang keberadaannya masih banyak terdapat di alam, dengan jenis aspal yang digunakan adalah Aspal Retona Blend 55 (modifikasi AC 60/70 dengan asbuton yang di proses.

2 METODELOGI

2.1 Bahan dan Material

- a) Agregat
Hasil pemecahan mesin pecah batu (*Stone Crusher*), dari AMP PT.Bumiredjo (BRD) Jenggawur, Kecamatan Banjarnegara, Kabupaten Banjarnegara.
- b) Pasir
Dari sungai Serayu Banjarnegara.
- c) *Filler*
Batu Kapur (Gamping).
- d) Aspal
Aspal Retona Blend 55 (modifikasi aspal penetrasi 60/70 dengan Asbuton).

2.2 Pengujian Material dan Bahan

2.2.1 Keausan Agregat

Pemeriksaan agregat terhadap penghancuran (degradasi) diperiksa menggunakan percobaan Abrasi Los Angeles (Abrasion Los Angeles). Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat terhadap kausan. Dan sebelum pembuatan briket "Job Mix Formula" dikerjakan dahulu analisa saringan.

2.2.2 Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal karena umumnya direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan juga menentukan banyak pori.

2.2.3 Aspal

- a) Uji Penetrasi
Pemeriksaan penetrasi aspal bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Pemeriksaan ini didasarkan pada PA-0301-76 atau AASTHO T49-80.
- b) Uji Daktilitas
Titik pemeriksaan ini dengan jalan mengukur jarak terpanjang yang ditarik pada suhu dan kecepatan tertentu. Daktilitas aspal adalah nilai keelastisitasan aspal dan untuk mengetahui sifat kohesi aspal, yang diukur dari jarak terpanjang, apabila antara dua cetakan berisi bitumen keras yang ditarik sebelum putus pada temperatur 25°C dan dengan kecepatan 50 mm/menit.
- c) Uji Titik Lembek
Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan suhu dimana aspal mulai menjadi lunak, suhu titik lembek pada setiap hasil produksi aspal tidak sama. Cara pengujian untuk menentukan titik lembek bahan aspal dan ter yang berkisar 30°C

sampai 200°C dengan cara *ring and ball* sesuai SNI 06-2434-1991.

- d) Uji Titik Nyala dan Titik Bakar
Pemeriksaan ini berguna untuk memperkirakan maksimum pemanasan aspal sehingga aspal tidak terbakar. Titik nyala adalah suhu dimana terlihat nyala singkat dipermukaan aspal. Titik bakar yaitu dimana suhu pada saat terlihat nyala sekurang kurangnya 5 detik pada permukaan aspal yang di panaskan.
- e) Uji kelarutan dalam CCL4/ Extrasi Aspal
Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui kadar aspal pada aspal keras maupun kadar aspal pada aspal dimodifikasi dengan Asbuton yang dilarutkan dalam pelarut CCL4. Prosedur pengujian berdasarkan SNI 06-2438-1991.

2.3 Perencanaan Pencampuran

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah kadar aspal optimum, dengan variasi kadar *filler* (1%, 1,5%, 2%, 2,5% , 3% , 3,5% dan 4%) terhadap total agregat, dengan total benda uji 14 sampel. Komposisi campuran ditentukan dengan cara *Marshall Standar*, yaitu mula-mula ditentukan kadar aspal dengan cara *Marshall* terhadap mortar (agregat, *filler*, aspal), guna mendapatkan kadar aspal optimum yang sesuai dengan persyaratan.

2.4 Pembuatan Sampel Marshall

2.4.1 Persiapan

Langkah awal pembuatan sampel adalah menentukan gradasi agregat yang digunakan. Untuk menentukan berat agregat disesuaikan dengan kapasitas *mold* (cetakan) yang ada yaitu kurang lebih 1200 gram. Untuk menentukan kadar aspal yang akan dicampur ke dalam agregat, ditentukan berdasarkan berat total campuran.

2.4.2 Persiapan Pencampuran

Agregat yang sudah ditimbang berdasarkan prosentase perhitungan dipanaskan dalam wajan pada suhu 110 oc berguna menghilangkan kelembaban. Aspal dipanaskan pada suhu kurang lebih 150 oc-160 oc, kemudian dicurahkan ke dalam wajan yang ada agregatnya. Agregat dan aspal dicampur dalam wajan lalu dipanaskan sambil diaduk-aduk hingga rata. Suhu pencampuran hingga mencapai 150 oc-160 oc.

2.4.3 Pemasakan

Campuran yang sudah panas dan mencapai suhu 160°C dimasukkan dalam *mold*, kemudian ditusuk-tusuk dengan spatula agar diperoleh pematatan yang

maksimal. Campuran aspal ditumbuk 75 kali untuk tiap sisi cetakan dengan alat *kompaktor*.

Benda uji yang sudah dingin dikeluarkan dari *mold* dengan bantuan dongkrak (*extrude*). selanjutnya didiamkan selama 24 jam dalam suhu ruang.

2.4.4 Perawatan Sempel Marshall

- Setelah benda uji didiamkan selama 24 jam, benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel pada benda uji, diukur ketebalan dari empat sisi yang berbeda dengan ketelitian 0,1 mm kemudian ditimbang hasilnya disebut berat udara.
- Rendam sempel dalam air selama 24 jam dan ditimbang dalam air hingga diperoleh berat dalam air. Sempel dikeluarkan dalam air kemudian dibersihkan / dilap dengan kain, ditimbang hingga diperoleh berat sempel dalam keadaan *SSD* (kondisi kering permukaan jenuh).

2.5 Pengujian Perendaman (*Immersion Test*)

Pengujian ini prinsipnya sama dengan pengujian *marshall standar*, hanya waktu perendaman didalam *waterbath* yang berbeda. Menurut ASSTHO T.165-74 atau ASTM d.1075-54 (1969) ada dua metode uji perendaman *marshall (immersion test)* yaitu:

- Pengujian perendaman selama 4x24 jam dengan suhu $\pm 50^{\circ}\text{C}$.
- Pengujian perendaman selama 1x24 jam dengan suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$.

Hasil yang didapat dari test perendaman *marshall* adalah rasio stabilitas rendaman 30 menit dan 24 jam dibagi dengan stabilitas akibat rendaman selama 30 menit dengan target yang harus dicapai (Indeks Kekuatan Sisa /IKS) yang lebih besar dari 75%.

3 ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Data

a) Nilai VMA (*Void Mineral Asphalt*)

- Prosentase aspal terhadap campuran dengan rumus :

$$b = \frac{a}{100+a} \times 100$$

a = prosentase aspal terhadap batuan

b = prosentase aspal terhadap campuran

- Isi benda uji dengan rumus :

$$f = d - e$$

d = berat dalam keadaan jenuh

e = berat dalam air

f = isi (ml)

- Berat isi benda uji dengan rumus :

$$g = c / f$$

c = berat benda uji sebelum direndam

g = berat isi benda uji

- Prosentase rongga terhadap agregat
- $$l = 100 - j$$

$$j = \frac{(100-b)Q}{B_{jagregat}}$$

Dari data diatas dapat dihitung nilai VFWA sebagai berikut :

$$\text{VFWA} = 100 \times \frac{1}{j}$$

b) Nilai VIM (*Void In The Mix*)

$$h = \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{B_{jagregat}} + \frac{\% \text{ aspal}}{B_{jaspal}}}$$

$$\text{VITM} = 100 - 100(g/h)$$

Keterangan :

h = berat jenis maksimum teoritis

g = berat isi benda uji

c) Stabilitas

Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian *Marshall*. Hasil tersebut dicocokkan dengan angka kalibrasi (*proving ring*) dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi yang dipengaruhi oleh tebal benda uji.

$$S = p \times q$$

Keterangan :

S = Stabilitas beton aspal

p = pembacaan arloji stabilitas

q = angka koreksi benda uji

d) Kelelahan (*Flow*)

Flow menunjukkan deformasi benda uji akibat pembebanan (sampai beban atas). Nilai ini langsung dapat dibaca dari pembacaan arloji dalam satuan *inch*, kemudian harus dikonversikan lagi dalam satuan milimeter 0.01 mm.

e) Nilai Marshall Quotient

Nilai MQ didapat dengan membandingkan antara nilai stabilitas dengan *flow*. Nilai ini dihitung dengan rumus:

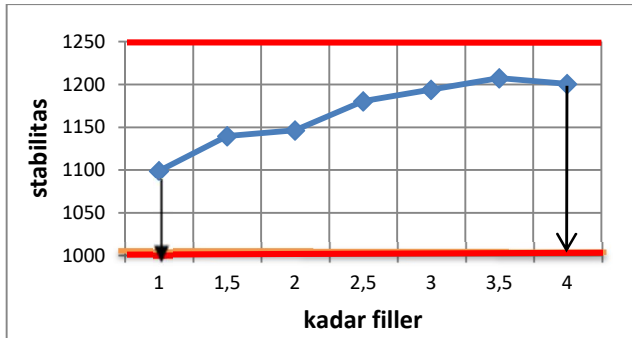
$$r = \frac{p}{q}$$

Keterangan :

- r = nilai *Marshall Quotient*
- p = angka stabilitas
- q = angka kelelehan

3.2 PEMBAHASAN

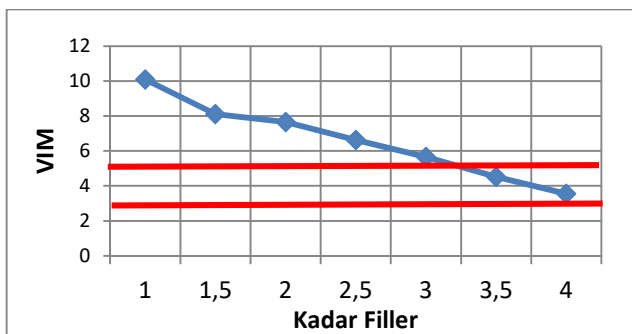
3.2.1 Evaluasi kadar filler terhadap Nilai Stabilitas



Gambar 1. Grafik hubungan antara kadar filler dengan stabilitas

Pada gambar 1, menunjukkan bahwa campuran dengan kadar filler 1-4 berada dalam batas spesifikasi yang disyaratkan. Penambahan filler 1%-3,5% terjadi kenaikan nilai stabilitasnya, sedang pada kadar filler 4% nilai stabilitas mengalami penurunan. Keadaan tersebut diatas menunjukkan bahwa kadar filler 3,5% dengan menggunakan kadar aspal optimum telah mencapai maksimum nilai stabilitasnya. Untuk campuran AC-BC dengan lalu lintas padat nilai stabilitas dibatasi minimum 1000 kg. Harga stabilitas yang terlalu kecil akan menyebabkan jalan mudah beralur (*rutting*) tetapi bila terlalu besar akan menyebabkan jalan mudah retak (*cracking*) akibat adanya beban lalu-lintas yang berulang.

3.2.2 Evaluasi kadar filler terhadap VIM (Void In Mix)

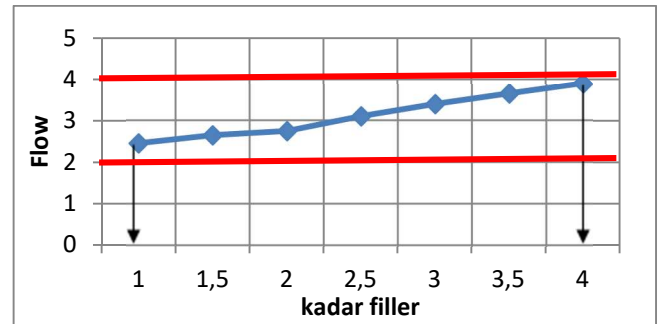


Gambar 2. Grafik hubungan kadar filler dengan nilai VIM

Pada gambar 3, menunjukkan bahwa pengaruh pemakaian kadar *filler* yang meningkat mengakibatkan menurunnya nilai VIM. Hal ini dikarenakan *filler* yang mengisi rongga agregat makin banyak, hingga pada

waktu pemadatan campuran akan semakin rapat. Dari gambar dan tabel di atas hasil yang memasuki persyaratan spesifikasi adalah campuran dengan kadar filler 3,5% dan 4% , dimana persyaratan nilai VIM nya adalah 3%-5%. Kadar VIM yang terlalu kecil akan menyebabkan aspal terlalu licin karena terlalu banyaknya film aspal yang menyelimuti agregat, hal ini akan terlihat jelas pada jalan yang konturnya menurun/naik dan pada saat temperatur tinggi aspal menjadi lunak menggelincir pada lapisan perkerasan, sedangkan VIM yang terlalu besar akan menyebabkan lapis perkerasan akan berongga dan *porous* (berpori).

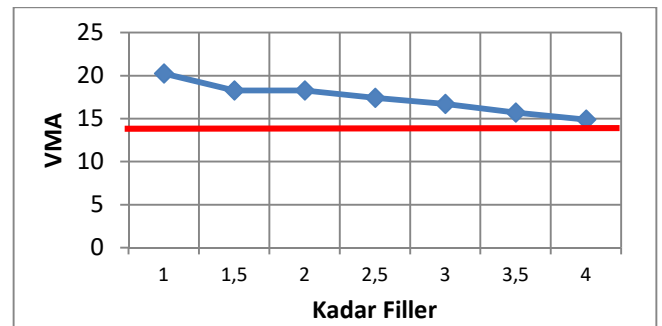
3.2.3 Evaluasi kadar filler terhadap Nilai Kelelahan (flow).



Gambar 3. Grafik hubungan antara kadar filler dengan *flow*

Pada gambar 3, menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kadar filler nilai kelelehannya cenderung meningkat sampai filler 4%. Dari gambar dan tabel diatas menunjukkan bahwa nilai flow yang dihasilkan dari campuran dengan kadar filler 1%-4% masih memenuhi persyaratan batas nilai minimum, yaitu 2-4 mm.

3.2.4 Evaluasi kadar filler terhadap VMA (Void Mineral Asphlat)



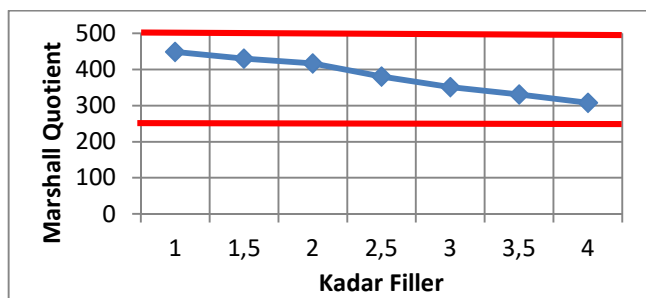
Gambar 4. Grafik hubungan antara kadar filler dengan VMA

Nilai VMA menunjukkan besarnya rongga antar mineral agregat atau ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, hal ini termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung

berdasarkan berat jenis *bulk* (G_{sb}) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan.

Pada gambar 4, menunjukkan bahwa besarnya rongga diantara agregat cenderung menurun berbanding terbalik dengan kadar *filler* yang digunakan. Dengan bertambahnya kadar *filler* akan memperkecil nilai rongga antara udara antar agregat karena rongga dalam campuran dapat terisi oleh *filler* serta kedap terhadap udara. Batas minimal nilai VMA untuk aspal jenis *retona bland 55* adalah 14%. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan penggunaan kadar *filler* Kapur (Gamping) yang digunakan, campuran bersifat padat atau semakin berkurangnya rongga udara antara agregat. Terlalu besarnya nilai VMA maka perkerasan semakin *porous* (berpori) serta tidak kedap terhadap air dan udara, akan tetapi batas minimal kerapatan rongga udara antara agregat adalah 14%. Dari data di atas penggunaan kadar *filler* 1% - 4% telah memenuhi nilai spesifikasinya.

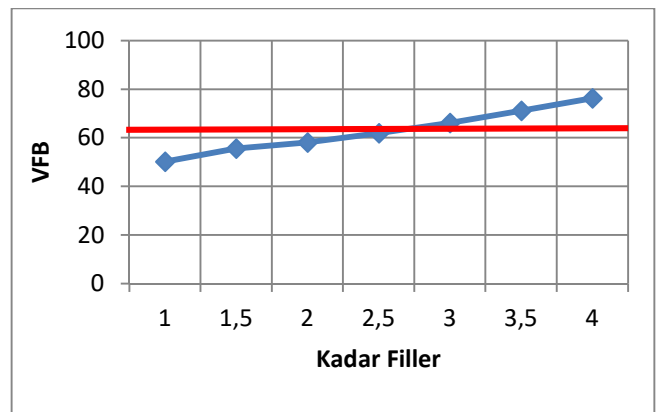
3.2.5 Evaluasi kadar filler terhadap Marshall Quotient



Gambar 5. Grafik hubungan kadar *filler* dengan *Marshall Quotient*

Nilai *Marshall Quotient* bisa dipakai sebagai pendekatan untuk mengukur tingkat fleksibilitas suatu lapisan perkerasan. Nilai ini tergantung dari nilai stabilitas dan kelelahan *flow*, karena nilai ini merupakan hasil bagi dari stabilitas dan kelelahan (*flow*). Persyaratan nilai minimum *Marshall Quotient* sebesar 2,5 kn/mm atau 250 kg/mm. Apabila benda uji telah melampaui batas nilai minimum *Marshall Quotient* yang di persyaratkan, maka dipastikan nilai plastisitas perkerasan tinggi sehingga mudah mengalami perubahan dari profil aslinya (deformasi) apabila menerima beban lalu-lintas. Sebaliknya apabila nilai *Marshall Quotient* di atas nilai yang di persyaratkan lapisan perkerasan menjadi retak (*cracking*). Dari data di atas yang semua memenuhi persyaratan standar yang ditentukan.

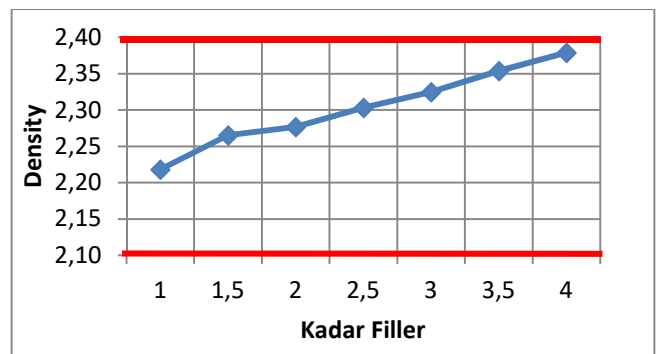
3.2.6 Evaluasi kadar Filler terhadap VFB (Void Filled with Bitumen)



Gambar 6. Grafik hubungan antara kadar *filler* dengan VFB

Pada gambar 6, menunjukkan bahwa nilai rongga terisi aspal cenderung naik berbanding lurus dengan kadar *filler*. Dengan bertambahnya kadar *filler* akan memperbesar nilai rapat karena rongga dalam campuran dapat terisi oleh aspal serta kedap terhadap air dan udara. Batas minimal nilai VFB untuk aspal jenis *retona bland 55* adalah 65%. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kadar *filler* batu kapur, campuran bersifat porous terhadap udara dan air. Sehingga mudah terjadi oksidasi dan durabilitasnya rendah. Sedangkan kadar *filler* 3%-4% mempunyai nilai VFB sesuai persyaratan yaitu sebesar 66%-76%.

3.2.7 Evaluasi Kadar Filler Terhadap Nilai Density



Gambar 7. Grafik hubungan kadar *filler* dengan *density*

Nilai *density* menunjukkan besarnya derajat kepadatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Nilai *density* sangat dipengaruhi oleh kualitas bahan, energi pemadatan, dan pemakaian kadar aspal dalam campuran. Campuran dengan *density* tinggi akan mampu menahan beban yang besar apabila dibandingkan dengan campuran kepadatan yang lebih rendah.

Pada gambar 7, menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kadar filler yang digunakan, nilai density campuran semakin meningkat pula. Dengan semakin meningkatnya kadar filler berat butiran pengisi menjadi semakin banyak, sehingga bila campuran dipadatkan butiran pengisi tersebut dapat mengisi rongga hingga kepadatannya semakin tinggi. Batasan maksimum untuk nilai density pada aspal beton modifikasi lapis Antara adalah 2,6 kn/mm dengan batas minimal 2 kn/mm. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa filler kapur (Gamping) dengan kadar 4% memberikan nilai density yang tinggi yaitu 2,3kn/mm.

3.2.8 Evaluasi Hasil Laboratorium dengan Spesifikasi

Dari hasil penelitian laboratorium dibandingkan dengan persyaratan spesifikasi yang harus dipenuhi untuk nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, dan Marshall Quotien.

Dari hasil evaluasi berdasarkan spesifikasi yang disyaratkan seperti tertera pada tabel 4.6 sampai tabel 4.12 ternyata kapur (gamping) dapat dimanfaatkan sebagai fraksi filler terhadap campuran perkerasan beton aspal lapis Antara AC-BC, dengan kadar filler 3,5%, yang telah memenuhi batasan minimal dan maksimum suatu spesifikasi yang ditentukan (Devisi 6 Spesifikasi 2010 Revisi III) yaitu dengan hasil nilai : (VIM 4,53%); (VFB 76,20%); (VMA 20,25%); (Stabilitas 1200,7 kg); (flow 3,9mm) dan (MQ 448,55 kg/mm).

Tabel 1. rekapitulasi karakteristik beton aspal lapis Antara yang memenuhi persyaratan.

Sifat campuran	kadar filler						
	1%	1,50%	2%	2,50%	3%	3,50%	4%
VIM %	10,08	8,11	7,66	6,63	5,66	4,53	3,55
VMA %	20,25	18,29	18,28	17,41	16,71	15,71	14,90
Stabilitas %	1098,9	1139,6	1146,4	1180,3	1193,9	1207,5	1200,7
Flow %	2,5	2,7	2,8	3,1	3,4	3,7	3,9
MQkg/mm	448,55	430,05	416,88	380,76	351,15	330,82	307,87

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

- Nilai stabilitas naik dengan bertambahnya kadar aspal dan mencapai puncak pada kadar filler 3,5%. Setelah itu pada kadar filler 4% menurun nilai stabilitasnya, keadaan tersebut di atas menunjukkan bahwa kadar filler 3,5% dengan menggunakan kadar aspal optimum telah mencapai maksimum nilai stabilitasnya.

- Nilai flow dari pemakaian kapur (gamping) sebagai filler 1% sampai 4% telah memenuhi persyaratan batas nilai minimum, yaitu 2 mm – 4 mm.
- Pemakaian kapur (gamping) sebagai filler pada perkerasan Lapis Antara yang memenuhi spesifikasi bila ditinjau dari nilai VIM nya berada pada kadar filler 3,5% dan 4%.
- Nilai VMA dari pemakaian kapur (gamping) sebagai filler yang memenuhi persyaratan berada pada kadar filler 1% sampai 4%. Penggunaan kadar filler Kapur (Gamping) digunakan maka campuran bersifat padat atau semakin berkurangnya rongga udara antara agregat.
- Nilai VFB dari pemakaian kapur (gamping) sebagai filler yang memenuhi persyaratan batas minimum 65% yaitu pada kadar filler 3%-4%.
- Manfaat dari pemakaian kapur sebagai filler pada perkerasan Aspal Beton Lapis Antara yang memenuhi persyaratan bila ditinjau dari nilai Marshall Quotient maka kadar filler 1% sampai 4% telah memenuhi semua.
- Abu batu kapur (gamping) dapat digunakan sebagai alternatif bahan pengisi (filler) dalam campuran AC-BC.
- Batu Kapur (gamping) dapat dimanfaatkan sebagai fraksi filler terhadap campuran perkerasan beton aspal lapis Antara (AC-BC Mod), dari rentan kadar 1% sampai 5%, hanya pada kadar filler 3,5% yang memenuhi batas minimal dan maksimum suatu spesifikasi yang ditentukan (Devisi 6 Perkerasan Aspal Spesifikasi 2010 Revisi III) yaitu dengan hasil nilai : (VIM 4,53%); (VFB 76,20%); (VMA 20,25%); (Stabilitas 1200,7 kg); (flow 3,9mm) dan (MQ 448,55 kg/mm).

4.2 Saran

- Perlu diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil penelitian antara lain : penimbangan bahan, pemeriksaan bahan baik bahan aspal maupun batuan, suhu pencampuran, pemadatan dan penimbangan benda uji.
- Kedepannya perlu dilakukan kajian secara ekonomi guna melihat manfaat secara keseluruhan terhadap pemakaian filler dengan batu kapur (gamping).

REFERENSI

AASHTO. 1990. Standard Specifications For Transportation Materials And Methods of Sampling and Testing. Part I. "Specifications". Fifteenth Edition. Washington, D.C.

Ariawan, Agus, IM. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 11 No.1, Januari 2007

Bataviase.co.id/PU, Dukung Penggunaan Asbuton/06 Aug 2010

Bina Marga, 1995, Syarat Gradasi Bahan Pengisi Campuran Aspal, Jakarta

Devisi Umum Pekerjaan Aspal Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3 Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga

Departemen Pekerjaan Umum, 1993, Direktorat Jendral Bina Marga, Penyiapan Rencana Campuran kerja (JMF), Bandung.

PT Olah Bumi Mandiri, 2001, Penelitian dan Pengembangan Aspal Retona Bland 55, perusahaan swasta Indonesia.

Putrowijoyo, Rian, (2006), Kajian Laboratorium Sifat Marshall

RSNI M-01-2003. Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall: Badan Standarisasi Nasional.

Revisi SNI 06-2456-1991. Uji Penetrasi Aspal: Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.

Revisi SNI 06-2434-1991. Cara uji titik lembek aspal dengan alat cincin dan bola (ring and ball): Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.

SNI 03-2417-1991. Metode Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.

SNI 1970-2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus: Badan Standarisasi Nasional.

Sukirman, Silvia, 2003, Beton Aspal Campuran Panas, Nova Bandung.

Analisis Angkutan Wisata dalam Upaya Peningkatan Aksesibilitas dan Konektivitas, Studi Kasus: ODTW “Heritage Sleman Timur” dengan SEM-LISREL

S. D. E. Sutarno

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
sasi.bppt@gmail.com

S. Priyanto

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

Dewanti

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

INTISARI

Pariwisata merupakan salah satu sektor unggulan perekonomian di Kabupaten Sleman yang sejalan dengan Visi Pembangunan DIY Tahun 2025. Maka ditempuh dengan Program Pengembangan Destinasi Pariwisata, dimana mutlak diperlukan sarana dan prasarana yang memadai untuk wisatawan, diantaranya berupa kemudahan aksesibilitas, konektivitas sarana angkutan pariwisata. Tujuan penulisan tesis ini adalah mendeskripsikan hasil analisis faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kepuasan wisatawan ODTW *Heritage* Sleman Timur dengan menggunakan SEM-LISREL. Hasilnya asumsi yang disyaratkan dalam analisis SEM-LISREL telah terpenuhi, yaitu: analisis model menunjukkan model fit ($Chi\ Square = 427,21$, $CMIN/DF$ atau $\chi^2/df=2,7385$, $GFI=0,9$, $RMSEA=0,077$, $CFI=0,97$ dan $ECVI=2,31$). Dari 4 variabel tersebut semua saling berpengaruh signifikan terhadap kepuasan, yaitu informasi, aksesibilitas, konektivitas, parkir. Hasil penelitian menunjukkan peluang pengembangan angkutan wisata untuk ODTW *Heritage* Sleman Timur sangat besar, dengan alasan ketersediaan infrastruktur jaringan jalan menuju obyek wisata, potensi jumlah wisatawan sebagai calon pengguna angkutan wisata cukup besar, dan dukungan kebijakan di sektor pariwisata daerah. Penelitian ini mengusulkan 4 rute perjalanan wisata menggunakan angkutan wisata tersebut.

Kata kunci: aksesibilitas, konektivitas, angkutan wisata, SEM-LISREL

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2025, Pembangunan DIY mempunyai visi mewujudkan DIY sebagai Pusat Pendidikan, Budaya, dan Daerah Tujuan Wisata Terkemuka di Asia Tenggara dalam lingkungan masyarakat yang maju, mandiri, dan sejahtera yang ditempuh dengan Program Pengembangan suatu destinasi pariwisata, mutlak diperlukan sarana dan prasarana yang memadai untuk memfasilitasi para wisatawan umum menuju tempat tujuan wisata. Wisatawan yang datang ke DIY khususnya Kabupaten Sleman tercatat menunjukkan peningkatan yang tinggi pada beberapa tahun terakhir. Aksesibilitas merupakan fungsi utama dasar angkutan pariwisata. Untuk mengakses lokasi yang merupakan tujuan utama, maka wisatawan akan menggunakan moda transportasi. Hubungan antara pariwisata dan transportasi terutama sangat dipengaruhi oleh dua elemen yaitu kemudahan mengakses tujuan (*convenient access*) dan kualitas layanan transportasi harus memenuhi harapan pengguna seperti tingkat

keamanan, kenyamanan, frekuensi, efisiensi dan keandalan. Pada waktu yang lalu kebanyakan perjalanan dilakukan untuk tujuan profesi, tetapi saat ini telah terjadi perubahan gaya hidup dan daya beli yang lebih tinggi, sehingga keadaan ini merubah keseimbangan dalam hal tamasya dan pariwisata. Untuk waktu yang lama kendaraan pribadi merupakan moda transportasi yang lebih disukai untuk kegiatan bersenang-senang dan wisata, sehingga pusat-pusat kota menjadi macet pada akhir minggu dan malam hari. Karena kemacetan, saat ini banyak orang berpaling ke kendaraan umum dan akan mencari pemecahan baru untuk kebutuhan pergerakan bersenang-senang mereka. Sehingga meningkatnya keperluan bersenang-senang dan wisata menjadi peluang nyata bagi operator transportasi umum.

Pemakaian angkutan untuk keperluan wisata jarang yang hanya menggunakan satu macam angkutan saja. Pemakaian angkutan hampir selalu merupakan kombinasi. Pemakaian angkutan banyak bergantung pada kondisi tempat atau daerah tujuan wisata. Jadi ada bermacam-macam kombinasi pengangkutan yang digunakan untuk mencapai daerah tujuan wisata,

bergantung pada pengaturan yang dilakukan oleh operator perjalanan (*tour operator*). Operator perjalanan merencanakan jenis angkutan sesuai dengan rencana perjalanan (*tour itinerary*) yang mereka susun. Perjalanan lintas negara yang jauh biasanya dilakukan dengan pesawat udara, sedangkan perjalanan jarak pendek umumnya menggunakan angkutan darat dan air.

Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisis faktor aksesibilitas, konektivitas, dan sarana parkir di ODTW *Heritage* Sleman Timur untuk meningkatkan kepuasan wisatawan yang diharapkan selaras dengan meningkatkan jumlah wisatawan pada ODTW *Heritage* Sleman Timur dengan menggunakan metode *SEM-LISREL*. Dari hasil analisis faktor-faktor tersebut akan ditindaklanjuti dengan melakukan perencanaan perbaikan dalam hal aksesibilitas, konektivitas dan penanganan masalah parkir, serta perencanaan rute angkutan wisata pada Kawasan ODTW *Heritage* Sleman Timur sebagai alternatif peningkatan konektivitas tersebut.

1.2 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang dan identifikasi masalah di atas, maka disusun rumusan-rumusan masalah sebagai berikut.

- Apakah faktor-faktor aksesibilitas, konektivitas dan fasilitas parkir dapat berpengaruh terhadap kepuasan pengunjung di ODTW *Heritage* Sleman Timur?
- Bagaimana aksesibilitas dan konektivitas menuju Objek dan Daya Tarik Wisata (ODTW) *Heritage* Sleman Timur, yaitu lokasi Candi Prambanan, Keraton Boko, Candi Barong, Candi Candisari, Candi Kalasan, Candi Sambi Sari, Candi Banyunibo, Tebing Breksi, dan Candi Ijo?
- Bagaimana alternatif penanganan masalah aksesibilitas, konektivitas dan fasilitas parkir di ODTW *Heritage* Sleman Timur, untuk pengembangan ODTW *Heritage* Sleman Timur?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Menganalisis faktor-faktor aksesibilitas, konektivitas dan fasilitas parkir berpengaruh terhadap kepuasan pengunjung di ODTW *Heritage* Sleman Timur dengan metode *SEM-LISREL*.
- Mengevaluasi ketersediaan aksesibilitas jalan, konektivitas dan fasilitas parkir wisatawan di ODTW *Heritage* Sleman Timur.
- Merumuskan alternatif upaya penanganan masalah aksesibilitas jalan, konektivitas dan fasilitas parkir serta penyediaan layanan

transportasi umum (angkutan wisata) di ODTW *Heritage* Sleman Timur, untuk pengembangan ODTW *Heritage* Sleman Timur.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian hanya dilakukan di akses utama, rute layanan transportasi dan fasilitas parkir ODTW *Heritage* Sleman Timur; Menginventarisasi kajian regulasi terkait layanan transportasi angkutan-angkutan wisata; Inventarisasi kondisi akses jalan menuju lokasi wisata ODTW *Heritage* Sleman Timur; Menginventarisasi konektivitas terkait layanan transportasi angkutan-angkutan wisata menuju lokasi wisata ODTW *Heritage* Sleman Timur; Pengamatan hambatan samping dilakukan secara visual menuju lokasi wisata ODTW *Heritage* Sleman Timur.

2 LANDASAN TEORI

2.1 Aksesibilitas Pada Kawasan Obyek Wisata

Aksesibilitas merupakan faktor penting dalam mendukung kegiatan wisata, karena dengan kemudahan aksesibilitas membuat jarak semakin pendek dan waktu tempuh lebih efisien. Kualitas transportasi dalam kepariwisataan sangat penting, tetapi perlu diperhatikan juga kemudahan untuk mendapatkan transportasi tersebut, serta harga yang kompetitif serta tetap memperhatikan keselamatan para wisatawan (Moeis dan Fahmi, 2012)

Menurut Suranny (2017), aksesibilitas merupakan unsur penting dalam menganalisis suatu objek wisata agar objek wisata tersebut dapat dijangkau wisatawan baik dari segi sarana transportasi maupun fasilitas yang ada selama perjalanan menuju objek wisata.

2.2 Konektivitas untuk mencapai lokasi obyek wisata

Akustia (2016) menyatakan keterpaduan antarmoda transportasi yang rendah akan memberikan kepastian layanan dan kenyamanan yang rendah pula dalam perpindahan moda. Pemilihan penggunaan moda transportasi tidak sepenuhnya terkait dengan biaya transportasi, tetapi juga faktor waktu perjalanan (termasuk waktu tunggu), kenyamanan dan kemudahan (*conveniency*).

2.3 Fasilitas Parkir di Objek Wisata

Menurut Munawar (2005), Aktivitas suatu pusat kegiatan akan menimbulkan aktivitas parkir kendaraan. Bangkitan parkir akan menimbulkan masalah antara lain:

- Kendaraan yang tidak dapat tertampung oleh fasilitas parkir yang tersedia, akan meluap ke badan jalan. Hal ini akan mengakibatkan gangguan kelancaran arus lalu lintas.

- b. Kendaraan yang parkir akan secara otomatis memanfaatkan badan jalan untuk parkir jika tidak tersedia fasilitas parkir.

2.4 Analisis SEM (*Structural Equation Modeling*)-LISREL (*Linear Structural Relationship*)

Penelitian ini menggunakan alat analisis *SEM-LISREL* dikembangkan oleh Karl Jöreskog and Dag Sörbom. Lisrel adalah software statistik yang digunakan paling meluas dikalangan peneliti maupun praktisi. Kelebihan dari software lisrel adalah kemampuannya mengidentifikasi hubungan antara variabel yang kompleks. Cara mengoperasikannya dengan *syntax* maupun dengan program sederhana, menjadikannya lebih banyak digunakan berbagai kalangan. *Syntax* tentu akan disukai bagi pengguna yang memang faham dengan bahasa pemrograman. Sementara Simplis atau simple lisrel merupakan alternatif bagi mereka yang awam dengan bahasa pemrograman. Simplis merupakan bahasa perintah yang digunakan dalam *LISREL* menggunakan Bahasa Internasional (Inggris). Pilihan berbagai metode estimasi sudah tersedia di Lisrel, sehingga tidak terpaku kepada satu metode estimasi *Maximum Likelihood*. *LISREL* akan menampilkan korelasi antar variable sekaligus menampilkan hasil pengaruh tidak langsung sehingga kita tidak perlu menghitung sendiri dan tampilan hasil *LISREL* menggunakan bahasa internasional yang umum digunakan sehingga memudahkan dalam melakukan interpretasi hasil, seperti menggunakan kata *indirect effect* atau kata-kata lainnya

3 METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian dan Pengumpulan Data

Penelitian dilakukan pada area Objek dan Daya Tarik Wisata (ODTW) *Heritage* Sleman Timur, yaitu lokasi-lokasi berikut ini : Candi Prambanan, Keraton / Candi Boko, Candi Candisari, Candi Kalasan, Candi Sambi Sari, Candi Barong, Candi Banyunibo, Tebing Breksi, dan Candi Ijo. Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan cara wawancara, observasi, dokumentasi, penyebaran kuesioner. Pengambilan sampel untuk kuesioner dilakukan dengan teknik *purposive sampling*. Pada penelitian ini ditetapkan sampel sebesar 400 responden dengan Skala Likert.

3.2 Analisa ketersediaan aksesibilitas, konektivitas dan fasilitas parkir wisatawan di ODTW *Heritage* Sleman Timur

Untuk melakukan perencanaan peningkatan dimasa yang akan datang, terlebih dahulu dilakukan evaluasi dengan melihat

kondisi eksisting dan ketersediaan aksesibilitas, konektivitas dan fasilitas parkir wisatawan di yang ada ODTW *Heritage* Sleman Timur. Tersedianya prasarana/ infrastruktur yang memadai merupakan salah satu modal dasar untuk meningkatkan kegiatan masyarakat suatu daerah, baik untuk kegiatan yang sifatnya sosial maupun kegiatan perekonomian. Salah satu prasarana/ infrastruktur yang pokok adalah jalan. Berdasarkan karakteristik parkir, kita dapat menentukan kondisi perparkiran yang ada pada daerah studi yang mencakup: Volume Parkir, Akumulasi Parkir, Tujuan Parkir, Lamanya Parkir, Angka Pergantian dan Indeks Parkir.

3.3 Analisis Deskriptif dan *SEM-LISREL*

Sebelum analisis *LISREL* dilakukan, peneliti melakukan survai pengamatan mengenai profil responden di lapangan dan memberikan kuesioner kepada responden. Untuk menghasilkan suatu data yang sesuai dengan tujuan penelitian, perlu dilakukan uji validitas dan reliabilitas kuesioner. Pada penelitian ini pengujian validitas dan reliabilitas menggunakan bantuan *software SPSS 21*.

LISREL merupakan salah satu sarana yang memadai untuk menyelesaikan permasalahan dalam *SEM*. Secara garis besar tahapan analisis *SEM*, adalah sebagai berikut.

- Pengujian undimensionalitas konstruk dengan *Confirmatory Factor Analysis* (CFA) untuk menguji apakah indikator-indikator merupakan indikator yang valid dan benar dapat dikatakan membentuk suatu konstruk sehingga konstruk tersebut menjadi homogen atau undimensional, dengan menggunakan SPSS 21.
- Penilaian kriteria *goodness-of-fit* adalah sebagai berikut : *Likelihood-Ratio Chi-square statistic* (χ^2), *GFI* atau *goodness of fit index*, *Cmin/Df*, adalah nilai *chi-square* dibagi dengan *degree of freedom*, *Root Mean Square of Approximation* (RMSEA), *Expected Cross Validation Index* (ECVI), *AGFI* (*Adjusted goodness of fit*) dan *TLI* atau *Tucker-Lewis Index* atau dikenal dengan *nonnormed fit index* (NFI)
- Penilaian kriteria *measurement model fit*. Tahapan ini dilakukan untuk menilai *measurement model* pada *full structural modeling*. *Measurement model fit* pada *full structural modeling* dilakukan

dengan melakukan pengukuran terhadap beberapa kriteria sebagai berikut: *Construct reliability* dan *Variance extracted (VE)*.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa ketersediaan aksesibilitas, konektivitas dan fasilitas parkir wisatawan di ODTW *Heritage Sleman Timur*

Panjang jalan di seluruh Provinsi D.I.Y pada tahun 2018 sepanjang 3.987,98 km yang jenis permukaannya seluruhnya aspal. Kondisi jalan secara umum dapat dikatakan layak untuk dilalui, 2.301,39 km kondisi jalan baik, 772,45 km kondisi jalan sedang, 444,99 km kondisi jalan rusak, dan 469,15 km kondisi jalan rusak berat. Hal ini berkaitan dengan aksesibilitas pengguna jalan. Pengguna jalan akan cenderung menggunakan jalan dengan kondisi baik, sehingga apabila Panjang jalan dengan kondisi baik kurang memadai maka diperkirakan akan menimbulkan kemacetan.

4.2 Proyeksi jumlah wisatawan ODTW *Heritage Sleman Timur*

Sesuai dengan visi Pembangunan DIY, Program Pengembangan Destinasi Pariwisata untuk memfasilitasi wisatawan umum menuju tempat tujuan



wisata pada tahun 2025, dilakukan proyeksi terhadap ODTW *Heritage Sleman Timur* seperti pada Gambar 1 di bawah ini:

Gambar 1. Jumlah dan Proyeksi Pengunjung ODTW *Heritage Sleman Timur*

4.3 Analisis Deskriptif dan SEM-LISREL

Karakteristik dari 400 responden antara lain: Jenis Kelamin, Usia, Pendidikan Terakhir, Jenis Pekerjaan, Intensitas/frekuensi Kunjungan, Rekan Berkunjung, Moda yang digunakan wisatawan

4.3.1 Desain Model Persamaan Struktural.

Dalam penelitian ini, menggunakan menggunakan 5 variabel laten dan masing-masing laten dipengaruhi oleh 4 indikator. Variable laten dan indikatornya adalah sebagai berikut : Informasi Umum (X1, X2, X3, X4); Aksesibilitas (X5, X6, X7, X8); Konektivitas (X9,

X10, X11, X12); Parkir (X13, X14, X15, X16); dan Kenyamanan dan Kepuasan (Y1, Y2, Y3, Y4).

4.3.2 Hasil Validitas dan Reliabilitas Instrumen.

Tabel 2. Perhitungan Uji Validitas.

Indikator	R Hitung	R Tabel	Keterangan
X1	0.952	0.098	Valid
X2	0.933	0.098	Valid
X3	0.942	0.098	Valid
X4	0.743	0.098	Valid
X5	0.947	0.098	Valid
X6	0.950	0.098	Valid
X7	0.959	0.098	Valid
X8	0.807	0.098	Valid
X9	0.948	0.098	Valid
X10	0.957	0.098	Valid
X11	0.957	0.098	Valid
X12	0.825	0.098	Valid
X13	0.920	0.098	Valid
X14	0.917	0.098	Valid
X15	0.919	0.098	Valid
X16	0.670	0.098	Valid
Y1	0.957	0.098	Valid
Y2	0.953	0.098	Valid
Y3	0.962	0.098	Valid
Y4	0.827	0.098	Valid

Dari table 1 di atas merupakan hasil perhitungan uji validitas dengan jumlah sample sebesar 400, diperoleh bahwa r tabel yang digunakan adalah 0,098. Berdasarkan pada hasil uji validitas bisa ditentukan bahwa semua instrumen pada variabel laten dihasilkan r hitung lebih besar dari r tabel, sehingga semua instrument dalam penelitian ini dinyatakan valid.

Tabel 2. Perhitungan Uji Reliabilitas.

Indikator	Nilai Reliabilitas	Syarat	Keterangan
Info Umum	0.917	0.6	Valid
Aksesibilitas	0.936	0.6	Valid
Konektivitas	0.940	0.6	Valid
Parkir	0,874	0.6	Valid
Kepuasan	0.945	0.6	Valid

Pada tabel 2 di atas adalah hasil perhitungan uji reliabilitas terhadap sample yang diperoleh sesuai ketentuan bahwa nilai *Cronbach's Alpha* harus > 0,6. Hasil analisis pada semua variabel laten yang ditetapkan pada penelitian ini dinyatakan bersifat reliabel, yang ditunjukkan dengan hasil uji reliabilitas diperoleh semua nilai *Cronbach's Alpha* > 0,6.

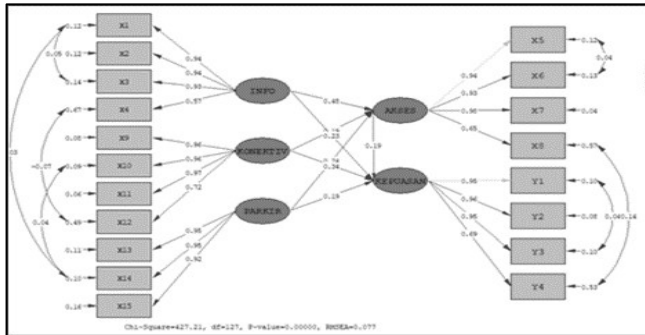
4.3.3 Pembangunan Model SIMPLIS

Setelah dilakukan Respesifikasi model, selanjutnya dilakukan modifikasi model yang dapat dilakukan melalui perubahan syntax-syntax yang terdapat pada

program SIMPLIS. Dari running program Lisrel dengan model ini diperoleh hasil sebagai berikut.

a. Spesifikasi Model

Nilai *degree of freedom* setelah respesifikasi model adalah 15 (jumlah data estimasi yang ditawarkan oleh program LISREL). *Path Diagram* nya seperti pada Gambar 3 di bawah ini :



Gambar 3. Hasil pendugaan parameter Model Struktur

b. Estimasi Model

Metode estimasi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Maximum Likelihood dengan bantuan software LISREL 8.80. hasil analisis SLF (*Standardized Loading Factor*), diperoleh semua data valid karena loading factor lebih dari 0,5.

c. Uji Kesesuaian

Kesesuaian Keseluruhan Model Uji kesesuaian model (*Goodness of Fit*) untuk melihat seberapa baik model penelitian yang diajukan apakah model yang diajukan cocok dengan data empiris.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kelayakan Model

Kriteria Statistik	Uraian dan Nilai Acuan	Hasil	Evaluasi Model
<i>Minimum Fit Function Chi-Square</i> (χ^2 / df)	Nilai <i>p Chi Square</i> > 0,05 menunjuk kan model dapat diterima (<i>good fit</i>). Disarankan (χ^2 / df) < 5 (Wheaton, 1977: 315). (χ^2 / df) = 427,21/156 = 2,73853	2,7385	<i>Good fit</i>
<i>RMSEA</i>	Nilai <i>RMSEA</i> ≤ 0,08 (Hair et al., 2006: 748).	0.077	<i>Good fit</i>
<i>ECVI</i>	Nilai <i>ECVI</i> model yang mendekati nilai <i>saturated ECVI</i> (1.84)	2,31	<i>Good fit</i>
<i>Normed Fit Index (NFI)</i>	Direkomendasikan nilai <i>NFI</i> ≥ 0,90.	0.95	<i>Good fit</i>
<i>Non-Normed Fit Index (NNFI)</i>	Diharapkan nilai <i>NNFI</i> ≥ 0,90 atau bisa ditingkatkan syaratnya menjadi ≥ 0,95.	0.95	<i>Good fit</i>

Kriteria Statistik	Uraian dan Nilai Acuan	Hasil	Evaluasi Model
<i>Comparative Fit Index (CFI)</i>	Ukuran <i>CFI</i> yang diharapkan adalah ≥ 0,90	0.97	<i>Good fit</i>
<i>Incremental Fit Index (IFI)</i>	Ukuran <i>IFI</i> yang diharapkan adalah ≥ 0,90	0.97	<i>Good fit</i>
<i>Relative Fit Index (RFI)</i>	Ukuran <i>RFI</i> yang diharapkan ≥ 0,90	0.94	<i>Good fit</i>
<i>Root Mean Square (RMR)</i>	Diharapkan nilai <i>RMR</i> yang kecil mendekati nol untuk menunjuk kan model fit.	0.073	<i>Good fit</i>
<i>Standard ized RMR</i>	Nilai <i>Standardize RMR</i> ≤ 0,10 masih dapat diterima.	0.1	<i>Good fit</i>
<i>Goodness of Fit Index (GFI)</i>	Nilai <i>GFI</i> yang dikatakan baik adalah ≥ 0,90.	0.9	<i>Good fit</i>

Berdasarkan tabel 3 diatas dapat diketahui bahwa nilai semua uji kelayakan model berada pada kriteria baik atau memenuhi nilai standar.

d. Kecocokan Model Pengukuran

Validitas dapat dilihat dari faktor loading (λ) dan nilai t faktor loadingnya. Dari model yang digunakan semua indikator dan variabel data dinyatakan cocok.

Untuk mengukur reliabilitas dengan SEM digunakan *construct reliability measure variabel* yang memiliki *composite reliability* yang baik adalah yang memiliki *construct reliability* >0,70. Dari model yang digunakan semua indikator dan variabel data dinyatakan reliabel.

e. Kecocokan Model Struktural

Kecocokan model struktural yang didapatkan dari hasil analisa adalah:

$$\text{KEPUASAN} = 0.19 \cdot \text{AKSES} + 0.23 \cdot \text{INFO} + 0.34 \cdot \text{KONEKTIV} + 0.19 \cdot \text{PARKIR},$$

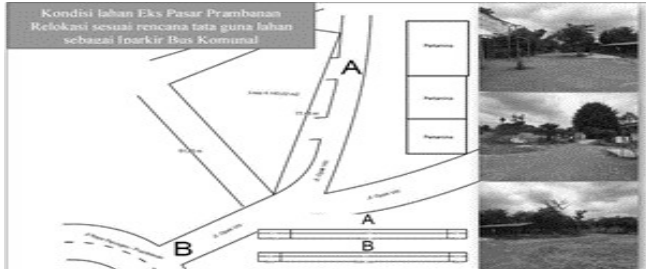
$$\text{Errorvar.} = 0.38, R^2 = 0.62$$

Dari hasil model struktur dengan menggunakan LISREL diperoleh bahwa variabel informasi umum secara langsung mempengaruhi kepuasan sebesar 20% Variabel konektivitas secara langsung mempengaruhi kepuasan sebesar 34%. Variabel parkir secara langsung melalui pengaruh kepuasan sebesar 24%. Sedangkan aksesibilitas sendiri memberikan pengaruh terhadap kepuasan sebesar 19% dengan koefisian determinasi R^2 sebesar 0,61, artinya 0,61 atau 61% perubahan pada aksesibilitas dapat dijelaskan oleh variabel informasi umum, konektivitas dan parkir. Pada struktur kepuasan sendiri secara keseluruhan mempunyai koefisian determinasi R^2 sebesar 0,62, artinya 0,62 atau 62% perubahan pada kepuasan pengunjung dapat dijelaskan

oleh variabel aksesibilitas, informasi umum, konektivitas dan parkir.

4.4 Rencana Peningkatan Aksesibilitas Sesuai Dengan Analisis Kinerja Ruas Jalan dan Penyediaan Lahan Parkir Komunal di area ODTW *Heritage* Sleman Timur.

Sesuai dengan hasil analisa dan tujuan penelitian bahwa aksesibilitas mempengaruhi kepuasan maupun jumlah wisatawan, maka aksesibilitas berupa peningkatan kapasitas jalan sangatlah berpengaruh. Ruas jalan yang terdampak dan nilai *V/C Ratio* dari rencana jalur angkutan pariwisata yaitu Jalan Candi Sewu (VCR: 0.50), Jalan Prambanan – Piyungan (VCR: 0.56), Jalan Raya Solo – Yogyakarta (VCR: 0.65), Jalan Ratu Boko (VCR: 0.52), Jalan Candi Ijo (VCR: 0.67), Jalan Selokan Mataram (VCR: 0.03), Jalan Cupu Watu (VCR: 0.02), dan Jalan Opak Raya (VCR: 0.34). Berdasarkan hasil koordinasi dengan Dinas Pertanahan dan Tata Ruang Kabupaten Sleman dan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Sleman, telah direkomendasikan lokasi sebagai tempat parkir bus yang ada di sekitar daya tarik wisata Prambanan – Boko dan sekitarnya, yaitu pada Relokasi Pasar Prambanan, adapun luasan lahan dilokasi tersebut adalah sebesar 4.143,02 m², terlihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Kondisi Luas Lahan Relokasi Pasar Prambanan rencana untuk parkir komunal

4.5 Rencana dan Identifikasi Rute Angkutan Pariwisata.

Sistem transportasi /perangkutan yang terbentuk akan menjadi penting maknanya bila dapat dikaitkan dengan jaringan antar daerah wisata (daya tarik) lainnya. Paket wisata yang tersusun baik hanya akan menarik bila didukung dengan sektor angkutan yang handal.

Dari hasil responden diberikan 4 alternatif rute perjalanan wisata ODTW *Heritage* Sleman Timur yaitu:

- Most Polupar Objects* (Ratu Boko, Tebing Bereksi, dan Candi Ijo), dengan panjang jalan total 11,75 km, waktu tempuh total 52 menit.
- Trail of The Lost Kingdom of Mataram* (Prambanan, Candi Sari, Candi Kalasan, Candi Sambisari, dan

Ratu Boko, dengan panjang jalan total 23,95 km, waktu tempuh total 85 menit.

- Trail of The Shiva Plateau Temples* (Ratu Boko, Candi Banyunibo, Candi Barong, Tebing Bereksi, dan Candi Ijo), dengan panjang jalan total 14.05 km, waktu tempuh total 73 menit.
- Repeaters* (Candi Sambisari, Tebing Bereksi, dan Candi Ijo), dengan panjang jalan total 23,55 km, waktu tempuh total 67 menit.

5 KESIMPULAN

Dari hasil analisis dengan Metode *SEM-LISREL* diperoleh hasil bahwa informasi terkait ODTW *Heritage* Sleman Timur, Aksesibilitas, konektivitas dan kemudahan maupun ketersediaan fasilitas parkir merupakan faktor yang mempengaruhi tingkat kepuasan wisatawan baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga sangat berpengaruh pula terhadap peningkatan jumlah wisatawan. Persamaan yang diperoleh adalah sebagai berikut.

$$\text{KEPUASAN} = 0.19 \cdot \text{AKSES} + 0.23 \cdot \text{INFO} + 0.34 \cdot \text{KONEKTIV} + 0.19 \cdot \text{PARKIR}, \text{Errorvar.} = 0.38, R^2 = 0.62.$$

Peruntukan luas lahan parkir yang dimiliki pemerintah Kabupaten Sleman adalah sebesar 4.143,02 m², berada tepat di sisi utara Relokasi Pasar Prambanan yang dapat digunakan sebagai alih fungsi lahan untuk mendukung tempat parkir bus untuk mendukung moda transportasi lanjutan angkutan umum wisata menuju objek wisata di kawasan Prambanan – Boko dan sekitarnya.

Ada 4 alternatif rute perjalanan wisata yang ditawarkan untuk meningkatkan jumlah maupun tingkat kepuasan wisatawan di ODTW *Heritage* Sleman Timur.

REFERENSI

- Akustia, Win, (2016), Evaluasi Keterpaduan Antarmoda Transportasi di Kota Gorontalo (Evaluation of Intermodal Transport Integration in Gorontalo), *Jurnal Penelitian Transportasi Multimoda*, Vol.14, No.1 Maret 2016, Hal. 31- 40.
- Budiartha R.M., Nyoman, (2011), Peranan Transportasi Dalam Pariwisata (Studi Kasus: Pemilihan Daerah Tujuan Wisata (DTW/Destinas) Oleh Wisatawan Di Bali, *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Vol. 15, No.2, Juli 2011.
- Ghozali, Imam., (2016). *Model Persamaan Struktural Konsep Dan Aplikasi Dengan Program Amos 24 Update Bayesian SEM*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Hartanto, Budi Dwi, (2014), Studi Perencanaan Rute Wisata di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta

(DIY), *Tesis: MSTT, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*

Moeis, Herman Dan Ali Fahmi, (2012), Model Layanan Transportasi Untuk Menarik Minat Wisatawan Berkunjung Ke Objek Wisata Di Jawa Timur, *Governance Jurnal Kebijakan Dan Manajemen Publik*, Vol.3, No.1, April 2012: 24-34.

Priyanto, Sigit, (2009), The Development of Rural Public Transport Routes: A Case Study in Bantul,

Central Java, *Int. J. Environment and Sustainable Development*, Vol. 8, Nos. 3/4.

Suranny, Lilyk Eka, (2017), Analisis Komponen Daya Tarik Wisata Pada Destinasi Wisata Kampung Wayang Kepuhsari Kabupaten Wonogiri, *Jurnal Inisiasi*, Vol. 6, No. 1, Juni 2017.

Analisis Kinerja Angkutan Umum Menggunakan *Structural Equation Modeling*

N. S Mulyasari

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
 nurseta2018@mail.ugm.ac.id

S. Priyanto

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
 spriyanto2007@ugm.ac.id

B. H Wibisono

Departemen Teknik Arsitektur dan Perencanaan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
 wibisono@ugm.ac.id

INTISARI

Pengembangan transportasi massal dapat mengurai permasalahan kemacetan di Yogyakarta. Maka diperlukan analisis faktor yang mempengaruhi kinerja pelayanan angkutan umum berdasarkan aspek keamanan, aspek keselamatan, aspek kenyamanan, aspek kesetaraan, aspek keterjangkauan dan aspek keteraturan. Analisis *Structural Equation Modeling* digunakan untuk menganalisis hubungan antara nilai, kualitas, skor terbaik, dan kepuasan pelanggan sehingga dapat menentukan model terbaik untuk menganalisis faktor persepsi setiap grup responden. Grup penumpang Trans Jogja menilai bahwa aspek kenyamanan secara langsung dipengaruhi oleh aspek keteraturan (16%). Sedangkan aspek kepuasan dipengaruhi oleh aspek kesetaraan (39,69%). Grup potensi penumpang Trans Jogja mengatakan bahwa aspek kenyamanan dipengaruhi oleh keterjangkauan (81%). Aspek kepuasan potensi penumpang sangat dipengaruhi oleh aspek kenyamanan (36%), aspek keselamatan (20,25) dan aspek keamanan (4,41%). Gabungan kedua grup menyebutkan aspek kenyamanan layanan Trans Jogja dipengaruhi oleh aspek keselamatan (11,56%). Sedangkan aspek kepuasan secara langsung dipengaruhi oleh aspek keselamatan (11,56%) dan aspek kenyamanan (6,76%).

Kata kunci: penumpang, potensial penumpang, persepsi, kepuasan, Trans Jogja

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemacetan di Kota Yogyakarta semakin meningkat disebabkan oleh tingginya penggunaan kendaraan pribadi sedangkan kapasitas jalan tidak bertambah secara signifikan. Hal ini menunjukkan adanya *demand* pergerakan perjalanan yang tidak terbatas sedangkan *supply* sarana dan prasarana lalu lintas yang terbatas sehingga diperlukan pendekatan transportasi menggunakan *Transportation Demand Management* (TDM) yaitu penerapan konsep menggeser penggunaan moda transportasi dengan cara optimalisasi angkutan massal.

Pemerintah Kota Yogyakarta menjawab tantangan tersebut dengan mengembangkan angkutan umum dengan skema *by the service* dalam bentuk angkutan Trans Jogja yang dioperasikan oleh PT Anindya Mitra Internasional Yogyakarta. Pada tahun 2018 Trans Jogja mempunyai jaringan pelayanan sebanyak 17 trayek. Pratomo, *et al* (2015) menyebutkan bahwa Trans Jogja yang dalam perkembangannya merupakan wujud dari

suatu sistem transportasi berupaya untuk menjadi simpul interaksi antar wilayah. Hal ini tercermin pada fasilitas transportasinya, sehingga harus ada langkah langkah strategis dalam rangka pengembangan sistem transportasi khususnya Trans Jogja

Kinerja layanan Trans Jogja dinilai dari kualitas pelayanan terhadap penumpangnya. Upaya dalam meningkatkan pelayanan ditempuh dengan beberapa cara seperti peremajaan armada, penambahan halte, penambahan jumlah armada, penerapan sistem tiket elektronik dengan *smartcard* serta pembayaran tiket di atas bus dengan menggunakan pembayaran manual untuk melayani penumpang yang belum mempunyai *smartcard*. Pengembangan tempat pemberhentian bus Trans Jogja yang telah dilakukan adalah pembuatan *park and ride* di luar ring road serta penyediaan *shelter* dengan dilengkapi fasilitas penitipan kendaraan yang berfungsi sebagai penghubung Trans Jogja dari lokasi simpul transportasi di luar *ring road* pada jalan utama menuju ke pusat Kota Yogyakarta. Beberapa *shelter* juga telah dibangun dengan memanfaatkan terminal yang ada seperti *shelter* Jombor. Meskipun demikian

masyarakat masih belum banyak berpindah menggunakan Trans Jogja dalam melakukan transportasi di dalam Kota Yogyakarta. Melihat permasalahan tersebut peneliti ingin meneliti besarnya potensi penumpang Trans Jogja dalam melakukan transfer di *park and ride* dan *shelter* tersebut.

Berdasar Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), pelayanan adalah sebagai suatu usaha untuk membantu menyediakan atau mengurus apa yang diperlukan orang lain. Pelayanan merupakan kegiatan yang mempunyai landasan faktor materi melalui sistem, prosedur dan metode tertentu dalam rangka usaha memenuhi kepentingan orang lain sesuai dengan haknya yang dilakukan oleh seseorang atau sekelompok orang. Dapat dikatakan bahwa pelayanan merupakan serangkaian kegiatan yang berlangsung secara rutin dan berkesinambungan dalam kehidupan organisasi dalam masyarakat dengan tujuan memenuhi kebutuhan antara penerima dan pemberi pelayanan. Penilaian kinerja pelayanan publik sebuah lembaga penyedia layanan publik dapat diukur dengan tingkat kualitas suatu pelayanan publik karena pada dasarnya pelayanan publik tersebut bertujuan untuk memuaskan masyarakat. Kurniawan (2016) mengatakan bahwa pelayanan publik merupakan suatu tolok ukur kinerja pemerintah yang paling kasat mata. Masyarakat dapat menilai langsung kinerja pemerintah berdasarkan pelayanan yang diterimanya. Untuk itu kualitas pelayanan publik disemua kementerian/lembaga adalah suatu hal yang mendasar yang harus segera ditingkatkan.

Dalam Abbas (2016), disebutkan bahwa transportasi sebagai dasar untuk pembangunan ekonomi dan perkembangan masyarakat serta pertumbuhan industrialisasi dengan adanya transportasi menyebabkan, adanya spesialisasi atau pembagian pekerjaan menurut keahlian sesuai dengan budaya, adat istiadat, dan budaya suatu bangsa atau daerah. ITDP (2016) juga berpendapat bahwa *Bus Rapit Transit* (BRT) merupakan sistem transportasi berbasis bus yang berkapasitas dan berkecepatan tinggi, serta memiliki kualitas layanan yang baik dengan biaya yang murah. BRT juga mengkombinasikan beberapa elemen seperti jalur khusus bus yang umumnya pada median jalan, penarikan *off-board*, *level boarding*, prioritas bus pada persimpangan, dan elemen kualitas layanan lainnya (seperti teknologi informasi dan *branding* yang kuat). Pelayanan Trans Jogja menggunakan *buy the service system* yaitu sebuah sistem yang dapat diberlakukan untuk pengoperasian bus dengan spesifikasi pelayanan, baik ditinjau dari segi kualitas ataupun kuantitas dimana pemerintah akan membayar operator berdasar tarif atas pelayanan yang akan mereka laksanakan sesuai dengan kilometer tempuh yang dicapai.

Priyanto & Muthohar (2015), standar pelayanan angkutan umum dapat dilihat dari beberapa aspek:

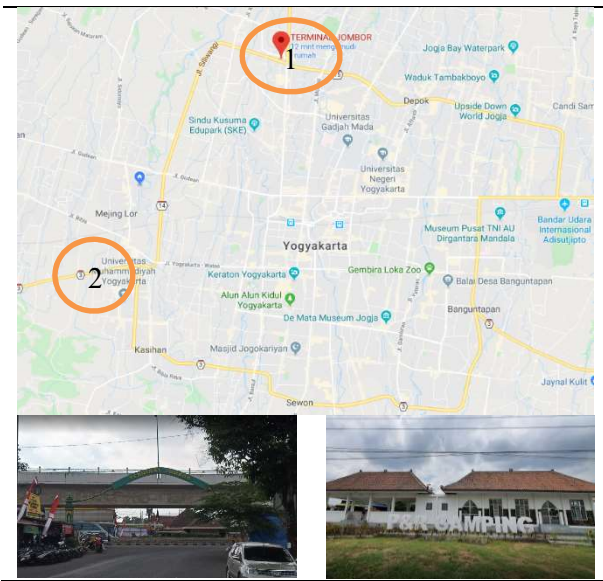
- a. Aspek keamanan
Keamanan sebagaimana dimaksud merupakan standar pelayanan yang perlu dipenuhi agar pengguna jasa terbebas dari gangguan perbuatan melawan hukum atau dan rasa takut.
- b. Aspek keselamatan
Keselamatan sebagaimana dimaksud merupakan standar pelayanan agar pengguna jasa terhindar dari risiko kecelakaan karena manusia, prasarana dan kendaraan.
- c. Aspek kenyamanan
Kenyamanan sebagaimana dimaksud merupakan standar pelayanan agar pengguna jasa dapat menikmati kondisi bersih, nyaman, sejuk dan indah.
- d. Aspek kesetaraan
Kesetaraan sebagaimana dimaksud merupakan standar pelayanan agar pengguna jasa dapat diberikan pelayanan khusus berupa prioritas pelayanan, aksesibilitas, dan fasilitas bagi anak-anak, manusia usia lanjut, penyandang cacat dan wanita hamil.
- e. Aspek keterjangkauan
Keterjangkauan sebagaimana dimaksud merupakan standar pelayanan agar pengguna jasa mendapat tarif yang terjangkau dan kemudahan akses memperoleh angkutan umum.
- f. Aspek keteraturan
Keteraturan sebagaimana dimaksud merupakan standar pelayanan agar pengguna jasa mendapatkan kepastian kedatangan dan keberangkatan bus, kapasitas angkut bus, fasilitas informasi dan peta rute perjalanan, frekuensi layanan yang diberlakukan bagi pengguna jasa angkutan.

1.2 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor persepsi penumpang Trans Jogja dan potensi penumpang Trans Jogja yang melakukan transfer moda di Gamping dan Jombor berdasarkan kinerja layanan Trans Jogja menggunakan aspek keselamatan, aspek keamanan, aspek keterjangkauan, aspek kesetaraan, aspek kenyamanan dan aspek keteraturan.

2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi



Gambar 1. Terminal Jombor dan Park and Ride Gamping.

Dari Gambar 1. menunjukkan lokasi penelitian yang dilakukan yaitu Terminal Jombor dan Park and Ride Gamping. Terminal Jombor merupakan tempat transfer penumpang dari Semarang, Magelang, Ambarawa dan sekitarnya sedangkan Park and Ride Gamping merupakan tempat transfer penumpang dari Wates, Purworejo, Kutoarjo dan sekitarnya. Lokasi ini dipilih karena koridor luar Kota Yogyakarta yang digunakan transfer penumpang.

2.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan menggunakan observasi kuisioner dengan skala Likert 1-5. Jumlah responden adalah 429 orang yang terbagi dalam penumpang dan potensi penumpang angkutan Trans Jogja. Instrumen yang digunakan pada penelitian ini untuk mengambil dan mengolah data antara lain formulir survei, alat tulis dan perangkat pengolahan data dan software *Structure Equation Model (SEM)* dengan Lisrel.

2.3 Pengolahan Data

Analisis yang digunakan untuk menganalisa kepuasan pengguna layanan angkutan umum ini akan menggunakan *Structural Equation Modeling (SEM)*. SEM merupakan sebuah alat statistik yang digunakan untuk memecahkan model bertingkat secara bersamaan yang tidak bisa dilakukan dengan model regresi linier atau dapat dikatakan bahwa SEM merupakan gabungan dari analisis regresi dan analisis faktor.

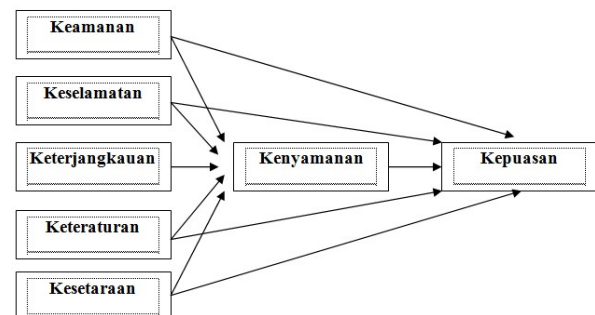
Yamin (2014) menyebutkan bahwa langkah uji menggunakan SEM meliputi :

- a. pengembangan model teori
- b. pengembangan diagram alur (*path diagram*)
- c. konversi diagram alur kedalam persamaan struktural dan model pengukuran
- d. memilih jenis matrik input dan estimasi model yang diusulkan
 - 1) estimasi model pengukuran (*Measurement Model*)
 - 2) model struktur persamaan (*Structure Equation Model*)
- e. evaluasi kriteria *goodness of fit*
 Index yang lazim digunakan antara lain : *GFI (Goodness of Fit Index)*, *AGFI (Adjusted Goodness of Fit Index)*, *RMR (Root Mean Square Residual Index)*, *ECVI (Expected Cross Validation Index)*, *RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation)*, *NFI (Normed Fit Index)*, *NNFI (Non-normed Fit Index)*, *AGFI (Adjusted Goodness of Fit Index)*, dan *PGFI (Parsimony Goodness of Fit Index)*.
- f. evaluasi model struktural
- g. penarikan hipotesis.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengembangan Teoritis

Ada 7 variabel laten yang terlibat dalam teori kepuasan pengguna angkutan umum yaitu :



Gambar 2. Diagram Alir SEM Pelayanan Angkutan Trans Jogja

Pada Gambar 2. menunjukkan diagram alir pelayanan angkutan Trans Jogja dengan 6 aspek yang mempengaruhi pelayanan angkutan umum dengan moderasi aspek kenyamanan.

3.2 Uji Kecocokan Model

Analisis menggunakan Lisrel dibagi menjadi 3 grup yang terdiri dari grup penumpang Trans Jogja, grup potensi penumpang Trans Jogja serta grup penumpang dan potensi penumpang Trans Jogja

Tabel .1 Evaluasi Kriteria *Goodness of Fit*

No	Kriteria Statistik	Nilai Acuan	Hasil		
			Penumpang	Potensi Penumpang	Penumpang dan potensi penumpang
<i>Goodness of Fit Model (GoF Absolut)</i>					
1	χ^2	nilai <i>p chi square</i> > 0,05	0	0	0
2	RMSEA	nilai RMSEA $\leq 0,08$ atau $\leq 0,1$	0,073	1,3	0,1
3	ECVI	nilai ECVI model mendekati nilai <i>saturated</i> ECVI (1.84)	2,2	4,89	3,11
4	SRMR	nilai SRMR yang kecil menuju 0	0,013	0,086	0,1
5	RMR	nilai <i>standarized</i> RMR diharapkan $\leq 0,05$ nilai RMR $\leq 0,1$ masih dapat diterima	0,021	0,1	0,1
6	GFI	nilai GFI $\geq 0,90$	0,86	0,58	0,72
7	AGFI	nilai AGFI yang direkomendasikan adalah $\geq 0,90$	0,81	0,49	0,75
<i>Goodness of Fit Model (GoF Incremental)</i>					
8	NFI	NFI $\geq 0,90$	0,97	0,93	0,93
9	NNFI	NNFI $\geq 0,90$ bisa ditingkatkan syaratnya menjadi $\geq 0,95$	0,98	0,94	0,93
10	CFI	nilai CFI $\geq 0,90$	0,98	0,94	0,94
11	IFI	nilai IFI $\geq 0,90$	0,98	0,94	0,94
12	RFI	nilai RFI $\geq 0,90$	0,96	0,93	0,93
<i>Goodness of Fit Model (GoF Parsimoni)</i>					
13	AIC	nilai standar model > nilai AIC lebih baik	497,18> 462	2644,55> 1190	4915,19> 1332
14	CAIC	nilai standar model > nilai CAIC lebih baik	775,95> 775,95	3756,36> 3058,62	87798> 4702,03
15	CN	nilai CN ≥ 200 lebih baik	123,5	137,93	48,7

Pada Tabel 1. menunjukkan bahwa hasil evaluasi *goodness of fit* ketiga grup yang dianalisis mempunyai nilai *GoF Absolut*, *GoF Incremental*, *GoF Parsimoni* bersifat *good fit* kecuali nilai RMSEA potensi penumpang bersifat *marginal fit* dan nilai CN juga bersifat *marginal fit*. Namun hal ini tidak menjadi kendala dalam permodelan mengingat indikator yang lain telah memenuhi persyaratan. Sehingga dapat

dikatakan bahwa model yang diajukan dapat dipakai dalam analisis persepsi tentang kinerja angkutan.

3.3 Hasil Evaluasi Model Struktural

Koefisien persamaan setiap model ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Uji SEM

No	Jenis Data	Model	Aspek													
			Nyaman		Aman		Selamat		Terjangkau		Setara		Teratur			
			A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
1	Penumpang dan Potensi Penumpang	I			0,073	1,5	-	-	0,23	0,47	0,65	13,23	0,39	2,15	0,12	2,65
		II	0,26	3,79	0,2	3,21	0,34	5,22	0,03	0,41	-	0,058	-1,8	0,024	-	0,41
2	Penumpang	I			-	-0,7	0,18	2,48	0,36	6,09	0,033	0,51	0,38	5,76		
		II	0,027	0,39	0,011	0,14	0,21	2,71	0,17	2,54	0,63	8,66	-0,27	-3,6		
3	Potensi Penumpang	I			0,086	-	-	14,8	0,9	0,49	0,02	2,22	0,1	7,66		
		II	0,6	3,82	0,21	2,94	0,45	5,12	0,31	-1,91	0,066	0,95	-	-	0,099	1,25

Ket : A = koefisien jalur , B = t hitung

Berdasarkan Tabel 2. diperoleh persamaan :

a. Penumpang

$$\text{Kenyamanan} = 0,18 \text{ Keselamatan} + 0,36 \text{ Keterjangkauan} + 0,033 \text{ Kesetaraan} \quad (1)$$

$$\text{Kepuasan} = 0,21 \text{ Keselamatan} + 0,17 \text{ Keterjangkauan} + 0,63 \text{ Kesetaraan} \quad (2)$$

b. Potensi penumpang

$$\text{Kenyamanan} = 0,086 \text{ Keamanan} + 0,9 \text{ Keterjangkauan} + 0,302 \text{ Kesetaraan} \quad (3)$$

$$\text{Kepuasan} = 0,26 \text{ Kenyamanan} + 0,2 \text{ Keamanan} + 0,34 \text{ Keselamatan} \quad (4)$$

c. Penumpang dan potensi penumpang

$$\text{Kenyamanan} = 0,65 \text{ Keterjangkauan} + 0,39 \text{ Kesetaraan} + 0,12 \text{ Keteraturan} \quad (5)$$

$$\text{Kepuasan} = 0,26 \text{ Kenyamanan} + 0,2 \text{ Keamanan} + 0,34 \text{ Keselamatan} \quad (6)$$

Tabel 3. Rekapitulasi Tingkat Pengaruh Model

No	Jenis Data	Model	Aspek					
			Nyaman	Aman	Selamat	Terjangkau	Setara	Teratur
1	Penumpang dan Potensi Penumpang	I	-	0,53	5,29	42,25	15,21	1,44
		II	6,76	4	11,56	0,09	0,34	0,06
2	Penumpang	I	-	0,29	3,24	12,96	0,11	14,44
		II	0,07	0,01	4,41	2,89	39,69	7,29
3	Potensi Penumpang	I	-	0,81	1,69	81	0,04	1
		II	36	4,41	20,25	9,61	0,44	0,98

Pada Tabel 3. menunjukkan seluruh responden menyebutkan bahwa model yang melibatkan aspek kenyamanan secara langsung dipengaruhi oleh aspek keterjangkauan (42,25%), aspek kesetaraan (15,21%) dan aspek keteraturan (1,44%). Sedangkan aspek kepuasan dipengaruhi oleh aspek kenyamanan (6,76%) dan aspek keselamatan (11,56%). Hal ini menunjukkan bahwa sebenarnya aspek keselamatan sangat penting dalam aspek kepuasan sebuah pelayanan angkutan umum. Adapun aspek keselamatan tersebut terdiri dari:

- perilaku sopir Trans Jogja yang tertib lalu lintas

- adanya jaminan keselamatan penumpang dari pemberhentian bus AKAP atau lokasi transfer kendaraan menuju shelter atau *park and ride*
- kendaraan bus yang baru dan laik jalan
- tersedianya informasi tanggap darurat di dalam bus Trans Jogja.

Selain itu aspek kenyamanan mempunyai pengaruh terhadap pelaksanaan angkutan Trans Jogja dengan aspek keterjangkauan sebagai tolok ukur utama. Adapun aspek keterjangkauan ini dapat dilihat dari :

- a. integrasi trayek Trans Jogja dengan trayek angkutan lain
- b. fasilitas *park and ride* dan halte yang memadai untuk layanan Trans Jogja
- c. sosialisasi rute Trans Jogja dari media cetak, media sosial dan media elektronik
- d. transfer kendaraan sebanyak 2 kali dalam satu kali perjalanan
- e. tarif Trans Jogja terjangkau
- f. waktu perjalanan yang cepat.

Grup penumpang Trans Jogja menilai bahwa dalam aspek kenyamanan secara langsung dipengaruhi oleh aspek keteraturan (16%), aspek keterjangkauan (12,96%) dan aspek keselamatan (3,24%). Penilaian atas aspek kepuasan penumpang secara langsung menunjukkan bahwa kenyamanan tidak menjadi faktor yang berpengaruh karena tidak mempunyai hubungan signifikan pada model kepuasan. Sedangkan aspek yang berpengaruh terhadap kepuasan adalah aspek kesetaraan (39,69%), aspek keselamatan (4,41%) dan aspek keterjangkauan (2,89). Hal ini menunjukkan bahwa penumpang layanan Trans Jogja sebenarnya tidak memperlakukan kenyamanan yang mereka peroleh namun mereka memakai layanan Trans Jogja karena adanya kesetaraan yang mereka dapat. Contohnya desain bus yang ramah terhadap difabel dengan dibuktikan adanya ruang untuk kursi roda, tempat duduk prioritas untuk manusia lanjut usia dan wanita hamil serta adanya fasilitas halte yang ramah difabel. Beberapa responden mengatakan bahwa tujuan perjalanan mereka dilalui rute Trans Jogja sehingga mereka memanfaatkan fasilitas angkutan ini.

Grup penumpang Trans Jogja masih menggunakan layanan Trans Jogja manakala kepastian kedatangan dan keberangkatan Trans Jogja belum pasti, kenyamanan di halte belum terpenuhi, adanya kemacetan dalam perjalanan menggunakan Trans Jogja masih dapat diterima oleh pengguna layanan Trans Jogja. Hal ini dapat dijadikan referensi dalam peningkatan pelayanan Trans Jogja dalam menjaga kepercayaan pelanggan yang telah menggunakan jasa Trans Jogja. Grup potensi penumpang menilai bahwa aspek kenyamanan merupakan faktor yang sangat penting dimana kenyamanan dipengaruhi langsung oleh keterjangkauan (81%) dan keteraturan (1%). Aspek kepuasan grup potensi penumpang sangat dipengaruhi oleh aspek kenyamanan (36%), aspek keselamatan (20,25%) dan aspek keamanan (4,41%). Hal ini menunjukkan aspek keterjangkauan sangat berpengaruh dalam pemilihan angkutan Trans Jogja bagi grup potensi penumpang, dimana aspek ini terdiri dari adanya sistem integrasi trayek Trans Jogja dengan trayek angkutan lain, adanya fasilitas *park and ride* dan *shelter* yang memadai untuk layanan Trans Jogja pada

daerah yang ramai penumpang. Selain itu rute yang telah ada belum mengakomodir tujuan grup responden ini. Mereka lebih memilih transfer kendaraan dari AKAP/AKDP dengan kendaraan pribadi atau angkutan *online* dengan alasan lebih fleksibel untuk menuju tujuan mereka. Sebagian besar responden menggunakan fasilitas parkir menginap di Terminal Jombor ataupun simpul Gamping. Aspek kenyamanan yang mempengaruhi kepuasan grup potensi penumpang (36 %) terdiri dari :

- a. bus Trans Jogja tidak ikut dalam terjebak kemacetan lalu lintas;
- b. kebersihan bus, *shelter* dan *park and ride* Trans Jogja tidak terjaga;
- c. proses naik turun penumpang dari bus Trans Jogja ke *shelter* dan *park and ride* Trans Jogja tidak nyaman;
- d. halte Trans Jogja yang tidak nyaman;
- e. penggunaan Trans Jogja tidak mengurangi polusi udara dan suara.

Melihat hal di atas menunjukkan bahwa grup potensi penumpang Trans Jogja menilai bahwa kondisi pelayanan Trans Jogja tidak nyaman.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

- a. Model yang dirumuskan dapat digunakan untuk menganalisa karakteristik persepsi terhadap pelayanan Trans Jogja. Model 1 menunjukkan aspek kenyamanan secara langsung dipengaruhi oleh aspek keamanan, aspek keselamatan, aspek keteraturan, aspek kesetaraan dan aspek keterjangkauan. Model 2 merupakan model aspek kepuasan menggunakan variabel moderasi kenyamanan. Model ini menunjukkan aspek kepuasan dipengaruhi oleh aspek kenyamanan, aspek keamanan, aspek keselamatan, aspek keteraturan, aspek kesetaraan dan aspek keterjangkauan.
- b. Hasil analisa model mempunyai kecocokan terbaik pada grup penumpang, namun untuk grup lain masih dapat menggunakan model yang telah dirumuskan.

REFERENSI

- Kementrian Perhubungan. (2019). "Peraturan Menteri Perhubungan RI Nomor PM 15 Tahun 2019 Tentang Penyelenggaraan Angkutan Orang Dengan Kendaraan Bermotor Umum Dalam Trayek "
- Kementrian Perhubungan. (2019). "Peraturan Menteri Perhubungan RI Nomor PM 29 Tahun 2015 Tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 98 Tahun 2013 Tentang Standar Pelayanan Minimal

Angkutan Orang dengan Kendaraan Bermotor Umum dalam Trayek.”

J.D. Anusanto, *et al.*, (2014). “Pola Perjalanan di Kota Yogyakarta”. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 12 No. 4 April 2009. Hal : 249-258

J. W. Creswel. (2019). “*Research Desain Pendekatan Metode Kuantitatif, Kualitatif dan Campuran*”. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.

Hendriyadi dan Suryani. (2014). “*Structural Equation Modeling dengan Lisrel 8.80*”. Bantul : Kaukaba Dipantara.

N. Hidayah. (2015). “Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Bus Perkotaan Berdasarkan

Persepsi Penumpang”. *Seminar Teknologi dan Rekayasa*, Vol. III-53.

R.Fitriyati, *et al.*, (2010). “Sistem Bus Rapid Transit TransJakarta Dalam Studi Rekayasa Sosial”. *Jurnal Transportasi*, Vol.11, No. 1, April 2010, Hal. 1-10

S.Priyanto & I. Muthohar, (2015). “*Pedoman Evaluasi Kinerja Angkutan Umum*”. Yogyakarta : Beta Offset.

S. Haryono. (2010) . “Analisis Kualitas Pelayanan Angkutan Umum (Bus Kota) Di Kota Yogyakarta”. *Jurnal Administrasi Bisnis*, Vol. 7, No. 1, Juli 2010

S. Yamin, (2014). “*Rahasia Olah Data Lisrel*”. Jakarta : Mitra Wacana Media

Y. Wibisono, 2015. *Metode Statistik*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.

TEMA C
SUMBER DAYA AIR

Kajian Kebutuhan Air Irigasi Sawah Tadah Hujan di Daerah Poncowarno Kebumen

E. Riyanto

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Purworejo, Purworejo, INDONESIA
eko.riyanto@umpwr.ac.id

A. Setiawan

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Purworejo, Purworejo, INDONESIA
agungsetiawan@umpwr.ac.id

A. Nugroho

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Purworejo, Purworejo, INDONESIA
agung.an73@gmail.com

INTISARI

Wilayah Kecamatan Poncowarno Kabupaten Kebumen khususnya di Desa Jembangan sebagian besar lahan pertaniannya merupakan lahan sawah tadah hujan, sehingga pada musim tanam kedua kebutuhan air irigasi pada lahan persawahan tersebut sangat dibutuhkan untuk keberlangsungan tanaman padi supaya tidak terjadi gagal panen. Penelitian ini menggunakan metode *penman modifikasi* dengan menggunakan data klimatologi untuk mengetahui kebutuhan air bagi tanaman, kemudian dilakukan rekap data curah hujan untuk menentukan hujan andalan dan hujan efektif tanaman. Hasil analisis kebutuhan sumber air irigasi sawah tadah hujan berdasarkan perhitungan kebutuhan pompa didapatkan hasil sejumlah 18 pompa. Kebutuhan air irigasi pada saat musim tanam (MT) padi, yaitu pada MT I diperlukan pompa sebanyak 2 unit, MT II diperlukan pompa sebanyak 6 unit, MT III diperlukan pompa sebanyak 12 unit. Sedangkan untuk masa operasional pompa air yang dibutuhkan selama musim tanam padi kedua yaitu sebanyak 2 kali selama 13 jam dalam satu minggu selama 14 minggu.

Kata Kunci: Kebutuhan Air Irigasi, Sawah Tadah Hujan, Wilayah Poncowarno Kebumen

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah Kecamatan Poncowarno Kabupaten Kebumen Provinsi Jawa Tengah terletak di sebelah barat Bendung Pejengkolan. Secara topografi sawah di Wilayah Kecamatan Poncowarno khususnya di Desa Jembangan kondisi lahannya berbentuk lahan terasering. Walaupun demikian untuk pemenuhan kebutuhan air irigasinya perlu dilakukan pemodelan khusus untuk mendapatkan sumber air mengingat saluran induk wadaslintang barat elevasinya berada di bawah elevasi lahan persawahan. Sistem Irigasi saat ini didalam memenuhi kebutuhan lahan persawahan pertanian masyarakat setempat hanya mengandalkan sumbernya dari air hujan.

2 METODE

2.1 Metode Penelitian

Metode dalam penelitian ini meliputi :

Tanaman padi membutuhkan air irigasi yang debitnya berbeda untuk setiap fase pertumbuhannya, pemberian air irigasi dapat dikatakan efektif apabila debit air yang disalurkan sesuai dengan kebutuhan tanaman padi pada lahan persawahan yang potensial. Wilayah persawahan di Desa Jembangan merupakan lahan tadah hujan, sehingga pada saat musim tanam kedua, sekitar bulan Juni sampai dengan bulan Agustus sering terjadi kekurangan air. Kekurangan air dimusim tanam kedua ini menyebabkan gagal panen atau puso karena lahan persawahan mengering. Berdasarkan latar belakang di atas maka perlu dilakukan kajian untuk mengetahui kebutuhan air irigasi musim tanam kedua pada lahan sawah tadah hujan tersebut dan bagaimana solusi untuk mendapatkan sumber airnya sehingga diharapkan hasil produksi pada musim tanam kedua bisa maksimal.

- a. Studi langsung di lapangan untuk mendapatkan kondisi dan permasalahan yang dihadapi para petani.

- b. Membuat data luas lokasi penelitian dan curah hujan dengan mengajukan permohonan data kepada Balai PSDA Probolo (Pengelolaan Sumber Daya Air, Probolo).
- c. Analisis penguraian data dengan menghitung kebutuhan air di petak lahan persawahan dan kebutuhan pompa air untuk memenuhi kebutuhan air irigasi tanaman padi.
- d. Perhitungan dan analisis data yang diperoleh dari hasil survei di lapangan.
- e. Pembahasan tentang hasil perhitungan yang telah dilakukan dan memberikan kesimpulan.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Klimatologi dan Evaporasi Potensial
Perhitungan klimatologi meliputi temperatur udara, kecepatan angin, kelembapan relatif dan lama penyinaran matahari yang kemudian data tersebut digunakan untuk menghitung evapotranspirasi. Selanjutnya data tersebut diolah menjadi data evapotranspirasi rata-rata bulanan dengan menggunakan metode *Penman Modifikasi*. Karakteristik data rerata klimatologi stasiun Padureso Kabupaten Kebumen disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data rerata klimatologi.

No	Jenis Data	Satuan	Bulan											
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1	Suhu (T)	°C	27.12	27.18	27.41	27.39	27.41	26.65	25.66	25.49	26.57	26.67	26.70	26.81
2	Kelembaban (RH)	%	82.76	82.10	81.28	82.84	81.83	81.79	81.20	78.90	79.80	84.19	84.12	83.84
3	Lama Penyinaran (n/N)	%	44.48	45.31	58.25	61.50	66.57	68.55	69.95	74.04	66.18	62.39	47.29	41.58
4	Kecepatan Angin (u)	m/det	0.39	0.43	0.49	0.49	0.56	0.64	0.73	0.86	0.63	0.81	0.52	0.53

3.2. Analisis Data Hujan

3.2.1. Konsistensi Data Curah Hujan (CH)

Data curah hujan yang digunakan merupakan data curah hujan yang didapat dari pengukuran di lapangan selama 10 tahun. Berdasarkan data tersebut, peneliti memperoleh data dari Balai PSDA Probolo yang selanjutnya dilakukan uji

konsistensi. Berikut adalah perhitungan uji konsistensi data curah hujan dengan metode Massa Kurva Ganda dari 2 stasiun hujan yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Uji Konsistensi Data Curah Hujan Tahunan Stasiun Hujan (mm).

Tahun	Merden	Kumulatif Merden	Pejengkolan	Kumulatif Pejengkolan	Rerata
2009	2177	31605	1932.4	29376.9	2054.7
2010	4306	29428	4039.5	27444.5	4172.75
2011	2761	25122	2646	23405	2703.5
2012	2730	22361	2191	20759	2460.5
2013	3190	19631	2896	18568	3043
2014	3296	16441	2845	15672	3070.5
2015	2626	13145	2324	12827	2475
2016	4442	10519	4482	10503	4462
2017	3605	6077	3530.5	6021	3567.75
2018	2472	2472	2490.5	2490.5	2481.25

Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh data stasiun curah hujan pada satu stasiun terhadap stasiun yang lainnya saling berpengaruh sehingga dapat disimpulkan bahwa data curah hujan yang diperoleh sudah valid.

3.2.2. Perhitungan Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif merupakan curah hujan andalan yang jatuh disuatu daerah dan digunakan tanaman sebagai pertumbuhan. Setelah memperoleh data hujan periode 15 harian dari masing-masing stasiun, selanjutnya dilakukan perhitungan curah hujan rata-rata daerah. Setelah diketahui nilai rerata hujan daerah periode 15 harian, selanjutnya mencari curah hujan andala. Curah Hujan Andalan. Berdasarkan SPI: KP-01, untuk tanaman padi, curah hujan efektif tanamannya adalah sebesar 70% dari curah hujan efektif R_{80} .

$$\begin{aligned} \text{Re padi} &= (R_{80} \times 70\%) / 15 \text{ mm/hari} \\ &= (168,40 \times 70\%) / 15 \\ &= 7,86 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan curah hujan efektif untuk tanaman padi dan palawija didapat hasil curah hujan terjadi pada bulan Januari yaitu sebesar 168,40 mm/hari dan curah hujan terendah terjadi pada bulan Juni sampai bulan September yaitu sebesar 0 mm/hari. Karena berdasarkan dari hasil rekapitulasi rerata curah hujan selama 10 tahun di dua stasiun hujan dimana pada bulan Juni sampai September jarang terjadi hujan.

Perhitungan kebutuhan air untuk irigasi tanaman padi yang dimulai musim tanam ke dua yaitu Bulan Februari Periode ke II didapat kebutuhan air irigasi terbanyak terjadi pada bulan Maret Periode ke II yaitu sebesar 6,733 mm/hari. Hasil perhitungan kebutuhan air bersih di sawah pada alternatif awal tanam selama satu tahun disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan kebutuhan air bersih di sawah pada alternatif awal tanam selama satu tahun.

No	Uraian	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni		Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
PADI MT II																									
PADI MT III																									
PADI MT I																									
1	Koefisien Tanaman	1,05	0,95	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05	0,95	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05	0,95	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
2	Rerata Koefisien tanaman (Kc)	1,1	1,1	1,05	0,95	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05	0,95	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05	0,95	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
3	Evapotranspirasi Potensial (Eto)	1,083	1,033	1,000	1,025	1,100	1,100	1,100	1,100	1,083	1,033	1,000	1,025	1,100	1,100	1,100	1,100	1,083	1,033	1,000	1,025	1,100	1,100	1,100	1,100
4	Kebutuhan Air Tanaman (Ea)	4,85	4,85	4,95	4,95	5,38	5,38	4,17	4,17	3,96	3,96	3,75	3,75	3,83	3,83	4,80	4,80	5,46	5,46	5,58	5,58	4,91	4,91	4,69	4,69
5	Penyisipan Lahan (R)	13,30	14,86	14,86	14,17	14,17	13,20	13,37	13,37	13,73	13,20	13,37	13,37	13,73	13,20	13,37	13,37	13,73	13,20	13,37	13,37	13,73	13,20	13,37	13,37
6	Rasio Penyisipan Lahan	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
7	Penyisipan Lahan dengan Rasio	3,45	3,72	3,72	3,54	3,54	3,30	3,34	3,34	3,43	3,30	3,34	3,34	3,43	3,30	3,34	3,34	3,43	3,30	3,34	3,34	3,43	3,30	3,34	3,34
8	Perkolasi (P)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9	Pengantian Lapisan Air (WLR)	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
10	Rasio Lapisan Tanaman	1	0,75	0,25	0,25	0,75	1	1	1	0,75	0,25	0,25	0,75	1	1	1	0,75	0,25	0,25	0,75	1	1	1	0,75	0,25
11	Kebutuhan Air (Ea-P+WLR)	10,551	5,257	1,736	1,767	5,935	11,213	6,586	6,586	9,586	4,566	1,438	1,461	4,656	9,509	7,280	7,280	11,212	5,729	1,894	1,929	5,553	10,703	7,154	7,154
12	Curah Hujan Efektif (Re)	7,86	5,74	7,49	4,22	4,50	4,48	6,18	3,66	3,06	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	6,00	8,17	5,74	7,72
13	Rasio Lapis Hujan Efektif	1	1	0,5	0,5	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1	1	1	1
14	Curah Hujan Efektif dengan Rasio	7,86	5,74	3,74	2,11	4,50	4,48	6,18	3,66	3,06	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	6,00	8,17	5,74	7,72
15	Kebutuhan Air Netto di Sawah (NFR)	2,693	-0,483	-2,006	-0,344	1,431	6,733	0,408	2,923	6,529	3,539	1,438	1,461	4,656	9,509	7,280	7,280	11,212	5,729	1,894	1,637	-0,444	2,537	1,414	-0,567
16	Kebutuhan Air Netto di Sawah	0,312	-0,056	-0,232	-0,040	0,166	0,779	0,047	0,338	0,756	0,410	0,166	0,169	0,539	1,101	0,843	0,843	1,298	0,663	0,219	0,190	-0,051	0,294	0,164	-0,066
17	Kebutuhan Air Netto di Sawah	0,112	-0,020	-0,084	-0,014	0,060	0,281	0,017	0,122	0,272	0,147	0,060	0,061	0,194	0,396	0,303	0,303	0,467	0,239	0,079	0,068	-0,019	0,106	0,059	-0,024

Tabel 4. Hasil perhitungan kebutuhan pompa irigasi pada musim tanam padi selama satu tahun.

No	Masa Tanam	Bulan	Periode	Kebutuhan Air Sawah	Kebutuhan Air Irigasi: Debit Pemompaan Kelebihan Air Irigasi/Debit Pemompa Musim Jumlah Pompa				Kebutuhan Bahan Bakar	Operasional Setiap Jam	
				mm/Jam	m ³ /menit	m ³ /menit	m ³ /menit	m ³ /menit	Unit	Liter/jam	Rp
1	Padi MT I	November	II	0,07	32,07	33,75	1,69				
			I	0,00							
		Desember	II	0,11	77,37	81,44	4,07				
			I	0,06							
		Januari	II	0,00	52,73	55,50	2,78				
			I	0,11							
		Februari	II	0,00	0,00	0,00	0,00				
			I	0,00							
		Total		0,35	162,16	170,70	8,53	6,32	1,92	5,64	29060,06
		2	Padi MT II	Maret	II	0,00	28,03	29,51	1,48		
I	0,06										
April	II			0,28	139,84	147,20	7,36				
	I			0,02							
Mei	II			0,12	185,11	194,85	9,74				
	I			0,27							
Juni	II			0,15	97,47	102,60	5,13				
	I			0,06							
Total				0,96	450,45	474,15	23,71	17,56	5,32	15,67	80721,78
3	Padi MT III			Juli	II	0,06	119,80	126,10	6,31		
		I	0,19								
		Agustus	II	0,40	328,77	346,07	17,30				
			I	0,30							
		September	II	0,30	362,12	381,18	19,06				
			I	0,47							
		Oktober	II	0,24	149,29	157,15	7,86				
			I	0,08							
		Total		2,04	959,98	1010,51	50,53	37,43	11,34	33,40	172032,23

Berdasarkan perhitungan kebutuhan pompa didapatkan hasil bahwa jumlah pompa yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan air irigasi pada saat musim tanam padi, pada MT I diperlukan pompa sebanyak 2 unit, MT II diperlukan pompa sebanyak 6 unit, MT III diperlukan pompa sebanyak 12 unit.

Berdasarkan perhitungan kebutuhan air netto di sawah dan luas areal tanam 23,5 ha di Desa Jembangan, Kecamatan Poncowarno, Kabupaten Kebumen. Maka jumlah keseluruhan kebutuhan pompa air untuk memenuhi kebutuhan air irigasi pada MT I antara bulan Oktober – Februari jumlah pompa yang dibutuhkan sebanyak 2 unit, MT II antara bulan Februari - Juni jumlah pompa yang dibutuhkan sebanyak 6 unit, MT III antara bulan Juni - Oktober jumlah pompa yang dibutuhkan sebanyak 12 unit. Perhitungan biaya pengoperasian untuk pompa air yang dioperasikan sebanyak 6 unit pompa air sebanyak 2 kali dalam satu minggu selama 13 jam pada MT II antara bulan Februari – Juni membutuhkan bahan bakar solar 15,674 liter/jam dimana setiap 1 liter solar Rp 5.150,00 sehingga dalam satu hari membutuhkan biaya Rp 1.049.374,00. Jadi total biaya operasional yang dibutuhkan selama musim tanam padi kedua selama 14 minggu yaitu sebesar Rp 9.382.472,00.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Musim tanam ke II membutuhkan debit air sebesar 450,447 m³/menit untuk menentukan kebutuhan air irigasi tanam padi dari pengelolaan lahan sampai dengan panen.
- Debit air dari pompa yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan air irigasi pada musim tanam padi II antara bulan Februari sampai dengan Juni yaitu sebesar 474,154 m³/menit.
- Pola pengoperasian pompa air yaitu pada masa penyiapan lahan sekitar 20 – 30 hari pompa air dioperasikan selama 13 jam dalam 2 kali dalam satu minggu, masa transplantasi pompa air 6 buah dioperasikan selama 13 jam dalam sehari dan sebanyak 2 kali dalam satu minggu sedangkan masa pertumbuhan sekitar 40 – 50 hari pompa air dioperasikan selama 13 jam

dalam sehari dan sebanyak 2 kali dalam satu minggu.

- Biaya operasional yang dibutuhkan selama musim tanam II dari mulai pengolahan lahan sampai dengan panen di lahan seluas 23,5 ha yaitu sebesar Rp 9.382.472.00

REFERENSI

- Akmal, dkk. (2014). “Efisiensi Irigasi pada Petak Tersier di Daerah Irigasi Lawe Bulan Kabupaten Aceh Tenggara. *Jurnal Teknik Sipil Pasca Sarjana, Universitas Syah Kuala*”. Volume 3, Nomor 3. ISSN 2302-0253. Darussalam Banda Aceh.
- Prabowo, A, dkk. (2011). “Analisis Kebutuhan Pompa Irigasi untuk Usaha Tani Jagung: Studi Kasus di Kabupaten Kediri”. *Jurnal Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada*. Volume, IX, Nomor 1. Yogyakarta.
- Prabowo, A. dan Affifuddin, (2006). “Metode Perbaikan Desain Pompa Irigasi untuk Mendukung Perbaikan Mutu Produk Lokal”. Seminar Nasional Pemasarakatan Inovasi Teknologi Pertanian Sebagai Penggerak Ketahanan Pangan Nasional. Di Mataram, NTB Pada tanggal 5-6 September 2006.
- Priyonugroho, A. (2014). “Analisis Kebutuhan Air Irigasi (Studi Kasus pada Daerah Irigasi Sungai Air Keban Daerah Kabupaten Empat Lawang)”. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Sriwijaya*. Volume 2, Nomor 3. ISSN 2355-374X. Palembang.
- Purwanto, dkk. (2016). “Analisis Kebutuhan Air Irigasi pada Daerah Irigasi Bendung Mrican1”. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*. Volume 9, Nomor 1.
- Sahrudin, dkk. (2014). “Analisis Kebutuhan Air Irigasi untuk Daerah Irigasi Cimanuk Kabupaten Garut”. *Jurnal Irigasi Sekolah Tinggi Teknologi Garut*. Volume 13, Nomor 1. ISSN 2302-7321. Garut.
- Sosrodarsono dan Takeda. (2003). *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: Paradnya Paramita.

Triatmodjo, B. (2013). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta : Beta Offset.

Wahyudi, E. dan Nugroho, Y. P. (2017).
“Analisa Kebutuhan Air pada Petak
Sawah Tersier Daerah Irigasi

Penungkulan Kabupaten Purworejo
dengan Metode Drum”. Skripsi,
tidak diterbitkan. Universitas
Muhammadiyah Purworejo,
Purworejo

The Influence Of Breakwater Mouth Direction To Wave Damping On Pelabuhan Perikanan Samudera Cilacap Pool

Suhendri

*Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Wijayakusuma Purwokerto University, INDONESIA
Suhendri1012@gmail.com*

A.O. Rizki

*Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Wijayakusuma Purwokerto University, INDONESIA
awangoktora@gmail.com*

N. A. S. Purwono

*Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Wijayakusuma Purwokerto University, INDONESIA
novi_andhisp@yahoo.com*

F. E. Poerwodihardjo

*Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Wijayakusuma Purwokerto University, INDONESIA
coronadwi1969@gmail.com*

ABSTRACT

Pelabuhan Perikanan Samudera Cilacap is a facility in the city of Cilacap to move goods and passengers from ships. The port has a breakwater that serves to dampen incoming waves. But its effectiveness depends on the placement of the mouth of the breakwater. The purpose of writing this Final Project is to determine the effect of the breakwater model on the wave current pattern. The method used in the analysis of the recalculation wave is the Weibull and Gumbel (Fisher-Tippet Type I) methods. For wave simulation, it uses CG Wave 8.0 Software. From the results of wind data analysis for 10 years, the dominant wind direction from the southeast and the longest effective fetch was 105.67 km. The results of the wave rose analysis concluded that August was the month where the wave height reached its highest point. The wave simulation results can be concluded that the new breakwater model is able to dampen the waves better than the existing breakwater, with a wave height percentage of 21.83% smaller than 23.81% (existing). So that the new breakwater model is effective and safe to reduce the wave rate, also can be used in the development of breakwaters in the future.

Keywords: PPSC Breakwater, Weibull Method, Gumbel Method (Fisher-Tippet Type I), CG Wave

1 PRELIMINARY

1.1 Background

Break Water is a building that is used to protect the waters of the port from the disruption of sea water waves. This building separates the waters around the harbor from the open sea, so that the harbor waters are not affected by large waves at sea. The waters are connected by the sea by the mouth of the harbor of a certain width and ships in / out of the harbor through the gap. Breakwater must be able to withstand the force that works even in bad weather. With the breakwater the ships will be greatly helped when moored at the port, so that activities at the port such as loading and unloading of cargo ships, raising passengers and when the ship is under repair can run smoothly.

The layout of the mouth of a breakwater is determined based on a review of the ease of shipping of calm waters to disturbing waves. The direction of the mouth of the breakwater at the Cilacap Ocean Fishery Port faces the southern sea (Indian Ocean) with a fairly high intensity wave.

The current wave conditions in the Cilacap Ocean Fisheries Port pond are still stable and able to absorb the incoming waves but do not rule out if in extreme conditions (beyond the anticipated wave conditions) can reduce the effectiveness of the breakwater. With this we took the initiative to examine the effect of the mouth of the breakwater on the existing wave attenuation and to examine variations in the modeling of the location of the breakwater by using the SMS 8.0 application.

1.2 Research Purposes

The purpose of this study is

- 1) Determine the effectiveness of the direction of the mouth of the breakwater against wave attenuation in the pond of the Cilacap Ocean Fisheries Port today.
- 2) Analyzing the wave height conditions that occur inside the Cilacap Ocean Fisheries Port pond.
- 3) Provides comfort when the ship is in the harbor pond.
- 4) Make it easier for ships that want to be moored into the port.
- 5) For consideration of the development model of the breakwater direction.

1.3 Scope of Problem

Limitation problems in this study include:

- 1) The location of the study area only covers PPSC's land and sea work areas.
- 2) Bathymetry and wind data are data obtained from PPSC and BMKG Cilacap, field surveys or other sources.
- 3) Wind data are used for 10 years, because the minimum wind data for the calculation of waves is 5 years with hourly duration, so 10 years is better data because 2 times the period required by the US Army USA. So that the 10-year data is relevant enough for planning, and to get longer data will be difficult from the BMKG, so the data approach has exceeded the requirements.
- 4) The water level used is the highest tide level.
- 5) Analysis of the return period wave calculation using the Gumbel and Weibull methods.
- 6) The return period used is 25 years. The 25-year return period is chosen according to the feasibility plan for a coastal building usually 25 years.
- 7) Wave height simulation using CG Wave modeling.

2 RESEARCH METHODS

2.1 Research Data

The research location used in this study is the Cilacap Ocean Fisheries Port. Data used include: Wind data for 2008 - 2017, Bathymetry data, and location maps obtained from BMKG Cilacap and the PPSC Office.

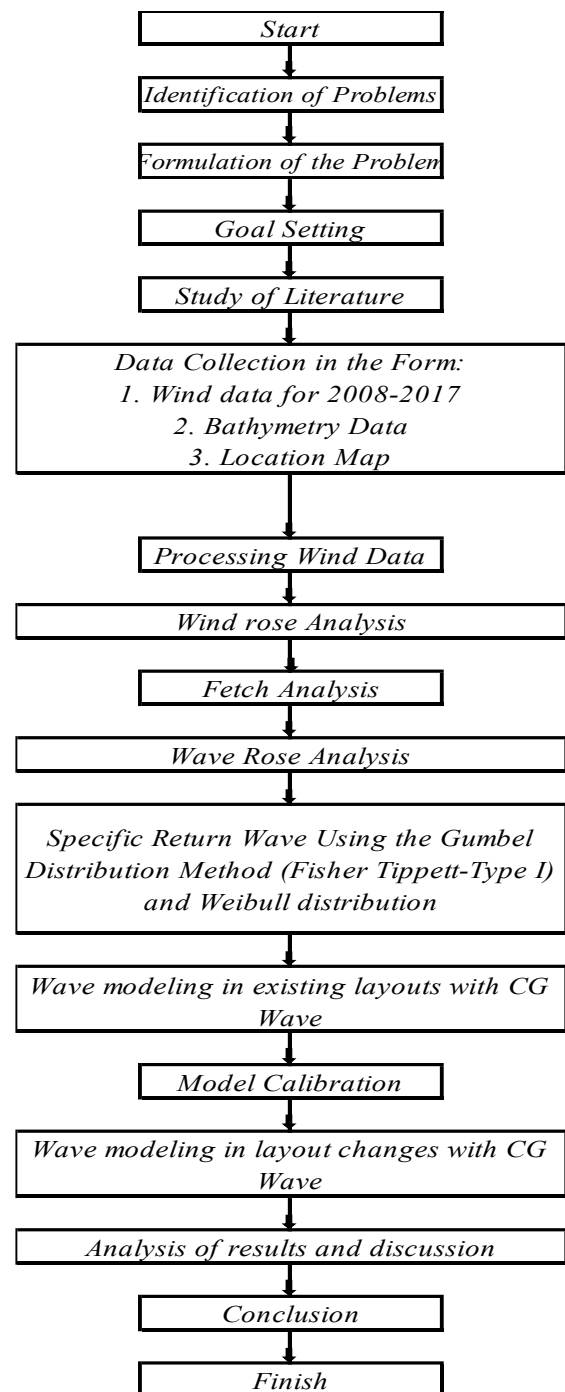
2.2 Data Processing Steps

The steps for data processing in general are as follows:

- 1) Processing wind data. Processing wind direction and speed data into wave height and wave direction data.

- 2) Analyze the fetch length based on a map of the study location.
- 3) Draw a wave rose.
- 4) Determine the plan wave height with a certain return using the Gumbel distribution method (Fisher Tippett-Type I) and the Weibull distribution.
- 5) Perform Wave Simulation with 8.0 CG Wave SMS software.

The stages of this research can be arranged based on the following Flowchart:



3 RESEARCH RESULT

1) Windrose

Windrose is a method of describing information about wind speed and direction at a particular location. Wind roses are depicted in a circular format with a wind frequency scheme that blows from a certain direction. The length of each crown shows the frequency of wind blowing from that direction, zero at the center of the rose and continues to rise until the edge of the rose.

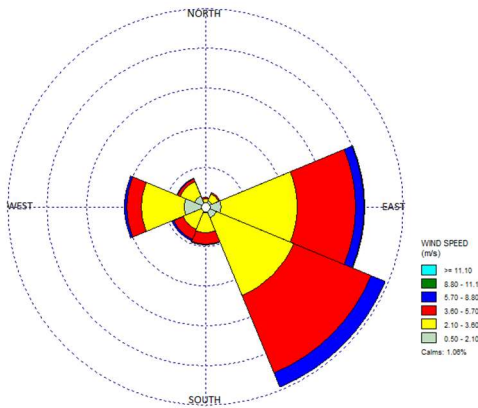


Figure 1. Windroses for 10 years (2008-2017)

2) Fetch

Fetch is a region of wave generation or in another sense it can be interpreted as a starting place where waves begin to form and spread to a certain area. Fetch is the distance traveled by the waves from the beginning of its generation. This fetch is limited by the shape of the land that surrounds the sea. The longer the fetch distance, the higher the wave height will be. If there is no land / island, the fetch length is limited to 200 km.



Figure 2. Eastern direction Fetch of 104.01 km



Figure 3. Southeast direction Fetch of 105.67 km



Figure 4. South direction Fetch of 42.55 km

3) Waverose

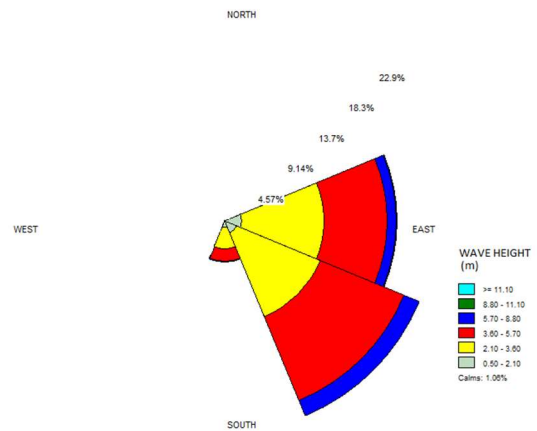


Figure 5. Waveroses for 10 years (2008-2017)

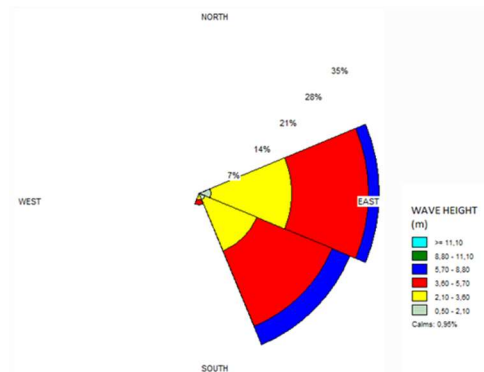


Figure 6. Waveroses in August for 10 years (2008-2017)

Waverose analysis results can be seen that the direction of waves originating from the Southeast direction is more dominant with a significant wave height of 3.757 m and

August is the month where the wave height reaches its highest point.

4) Recurrence Waves

Table 1. Recapitulation of the recurrence wave

Kala Ulang (Tahun)	Weibull		Fisher-Tippet Type I		Gumbel	
	YR	Hsr(m)	YR	Hsr(m)	YR	Hsr(m)
2	0,833	2,577	3,338	3,491	0,367	2,622
5	1,269	2,942	4,422	3,890	1,500	2,622
10	1,517	3,151	5,254	4,196	2,250	2,622
25	1,794	3,383	6,368	4,607	3,199	2,622
50	1,978	3,536	7,220	4,921	3,902	2,622
100	2,146	3,677	8,080	5,237	4,600	2,622

5) Wave Simulation

Subsequent analysis uses the SMS 8.0 Software CG Wave Model to simulate the effect of the mouth of the breakwater on the wave attenuation if its shape is changed. Here are the results of the simulation:

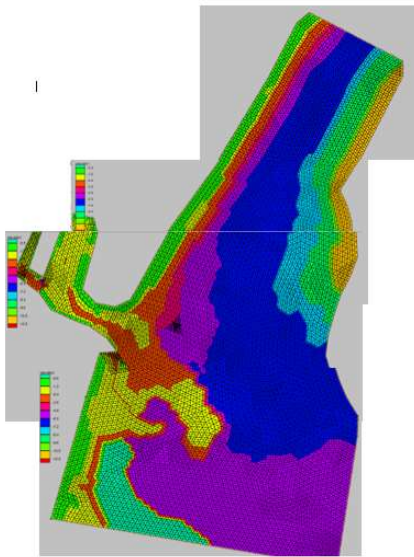


Figure 7. Mesh PPSC layout

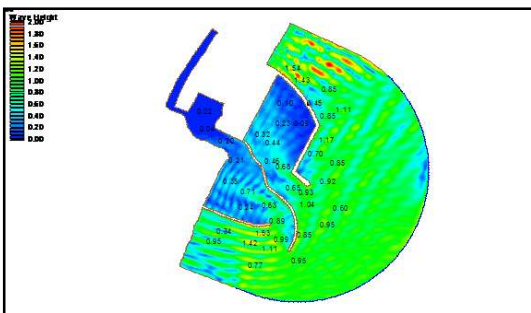


Figure 8. Simulation of Wave Height at the existing Breakwater (south direction)

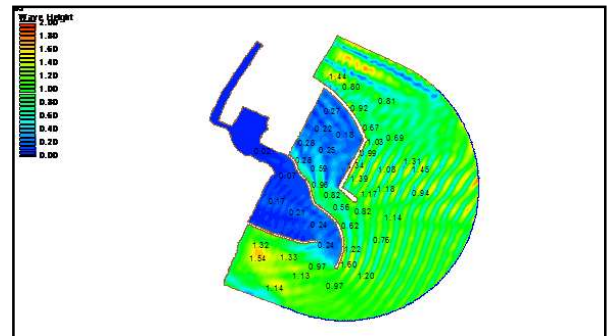


Figure 9. Simulation of Wave Height at existing Breakwater (southeast direction)

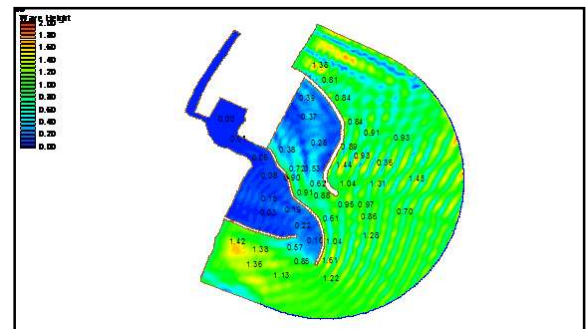


Figure 10. Simulation of Wave Height at existing Breakwater (east direction)

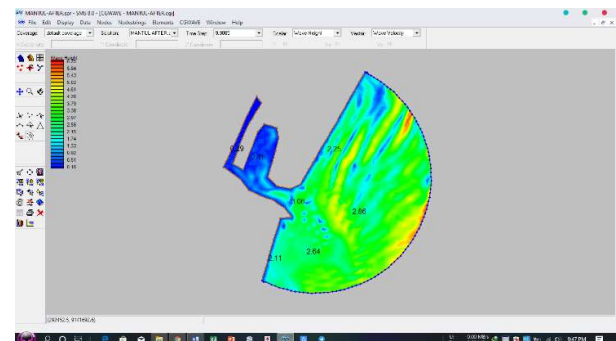


Figure 11. Simulation of Wave Height without Breakwater (south direction)

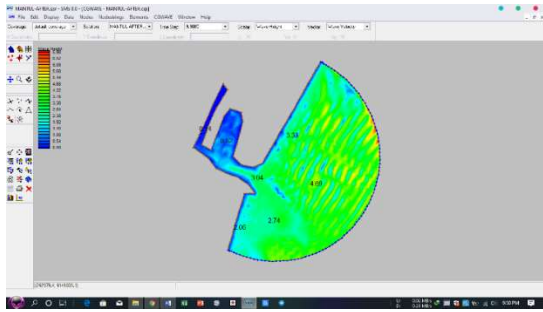


Figure 12. Simulation of Wave Height without Breakwater (southeast direction)

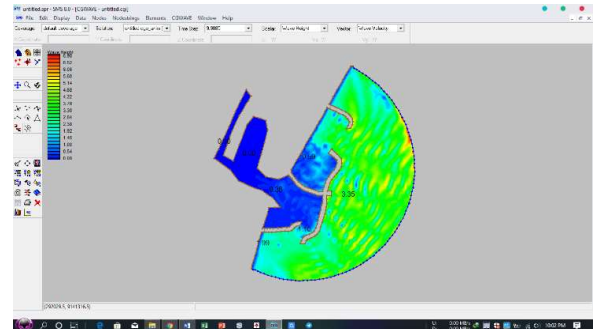


Figure 15. Simulation of Wave Height in a Breakwater Plan (southeast direction)

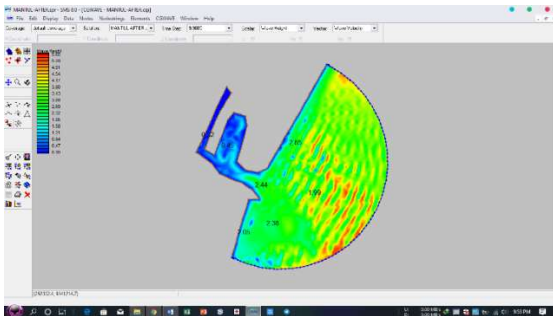


Figure 13. Simulation of Wave Height without Breakwater (east direction)

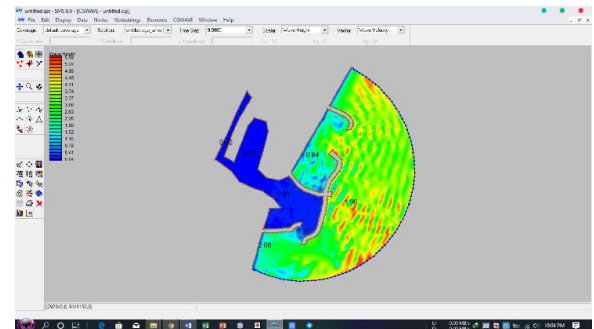


Figure 16. Simulation of Wave Height in a Breakwater Plan (east direction)

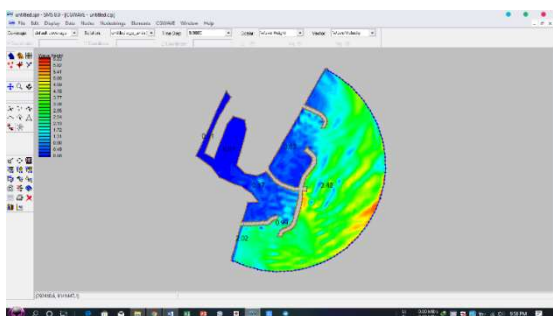


Figure 14. Simulation of Wave Height on a Breakwater Plan (south direction)

Table 2. Recapitulation of wave heights in the area around the mouth of the planned breakwater

Arah Gelombang		Tinggi Gelombang Tertinggi di Sekitar Mulut <i>Breakwater</i> Rencana (m)		
Arah Gelombang	Derajat	<i>Breakwater</i> Eksisting	Tanpa <i>Breakwater</i>	Dengan <i>Breakwater</i>
Selatan	90	1,53	2,64	0,99
	Persentase (%)	29,65	51,16	19,19
Tenggara	135	1,2	2,74	1,1
	Persentase (%)	23,81	54,37	21,83
Timur	180	0,57	2,38	0,36
	Persentase (%)	17,22	71,90	10,88

Table 3. Recapitulation of wave heights in the inner area of the breakwater plan

Arah Gelombang	Derajat	Tinggi Gelombang Tertinggi di daerah bagian dalam <i>Breakwater</i> Rencana (m)		
		<i>Breakwater</i> Eksisting	Tanpa <i>Breakwater</i>	Dengan <i>Breakwater</i>
Selatan	90	0,04	0,41	0,01
Persentase (%)		8,7	89,13	2,17
Tenggara	135	0,02	0,82	0
Persentase (%)		2,38	97,62	0
Timur	180	0,01	0,45	0
Persentase (%)		2,17	97,83	0

4 ONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

1) Conclusions

Some conclusions from the study as follows:

- From data taken from BMKG Cilacap for 10 years, the dominant wind that blows is from the Southeast with an average speed distribution of 3.73 m / s.
- The results of the Fetch analysis with the three cardinal directions namely east, southeast and south with incident angles (42o, 36o, 30o, 24o, 18o, 12o, 6o, 0o, -6o, -12o, -18o, -24o, -30o, -36o, -42o) obtained an effective Fetch from the east of 104.01 km while an effective Fetch from the south amounting to 42.55 km and the longest coming from the Southeast which is 105.67 km.
- The results of the wave rose analysis concluded that August was the month where the wave height reached its highest point.
- The result of significant wave height (Hs) for 10 is 3.757 m and significant wave period (Ts) is 10.427 s.
- Based on the calculation of the return wave with a 25-year return period, the result of wave height (Hsr) was 3,536 m (Weibull method).
- To determine the effectiveness of the mouth of the breakwater, a simulation is performed using SMS 8.0 software from US ARMY. The simulated breakwater is able to absorb the waves well. Therefore changes in the direction of the mouth of the breakwater can certainly affect the amount of wave currents that hit the port pool. The results of the simulation of the wave height that have been done are obtained the percentage of wave height that occurs around the mouth of the Breakwater Plan: Existing Breakwater of 23.53%, Without Breakwater at 53.73% and with Breakwater at 22.75%. While the percentage of wave height that

occurs in areas in Breakwater is 3.17%, without Breakwater 95.24% and 1.59% using Breakwater.

- The greater the percentage of the wave height, the greater the wave height that occurs so that it can affect the effectiveness of the mouth of the Breakwater.

2) Suggestions

From the analysis conducted, there are a number of suggestions made for further research development, namely:

- Wind data used in this study is wind data in 2008-2017, for this reason it is necessary to have the latest data to be used according to the current conditions.
- This research can be used as input in planning and choosing a Breakwater layout for the development of the Cilacap Ocean Fisheries Port in the future, so that it can provide optimal comfort for the shipping lane.

REFERENCES

- Muhammad Rizki. 2014. "Analisa Gelombang Ekstrim Di Perairan Pelabuhan Belawan". Universitas Sumatera Utara.
- Franto Novico, Sahudin Sahudin. 2011. "Model 2D Pengaruh Gaya Horizontal Arus Pada Pemecah Gelombang Di TPI Pancer Jawa Timur".
- Inayah Zhiaul Fajri. 2015. "Studi Model Numerik Pemecah Gelombang Tipe Zigzag Berpori Terhadap Perubahan Distribusi Kecepatan Dan Tekanan Arus Gelombang (Tinjauan Untuk Variasi Porositas)".

Angger Yufriant Pribadie. 2019. "*Studi Perencanaan Floating Breakwater di Pesisir Pantai Panjiwa Indramayu*". UII Yogyakarta.

Ika Nurmalita Sari. 2019. "*Studi Transpor Sedimen Di Muara Sungai Silugonggo Kecamatan Juwana Kabupaten Pati*". UII Yogyakarta.

Zunarzis. Oktober 2015. "*Break water*". Jakarta.

<https://zunarzis.blogspot.com/2015/10/normal-0-false-false-false-en-us-us-x-none.html>

Fadlan, Ahmad. 2015. "*Dampak Pembangunan Breakwater*".

Analisis Kualitas Perairan Bendungan Gintung

D. Meiliawati

Balai Litbang Lingkungan Keairan, Puslitbang Sumber Daya Air, Bandung, INDONESIA
dyahmeiliawati@gmail.com

T. Yuniarti

Balai Litbang Lingkungan Keairan, Puslitbang Sumber Daya Air, Bandung, INDONESIA
taty.yuniarti@gmail.com

H. Haryono

Balai Litbang Lingkungan Keairan, Puslitbang Sumber Daya Air, Bandung, INDONESIA
haryharyono11@gmail.com

INTISARI

Bendungan Gintung merupakan salah satu bendungan yang ada di wilayah sungai Ciliwung-Cisadane. Fungsi Bendungan Gintung adalah sebagai pengendali banjir, konservasi air tanah, dan kawasan wisata, sehingga harus memenuhi baku mutu air kelas II berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Aliran air Bendungan Gintung bersumber dari saluran-saluran domestik yang menambah beban pencemar pada badan air. Oleh karena itu, diperlukan analisis kualitas perairan di Bendungan Gintung sebagai bagian dari upaya pengelolaan kualitas air. Metode yang digunakan adalah storet dan status trofik berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009. Prinsip metode Storet adalah membandingkan data pengukuran kualitas air minimal 3 (tiga) seri data dengan standar baku mutu. Hasil perhitungan status mutu air pada inlet dengan metode storet didapatkan bahwa kondisi kualitas air termasuk dalam kategori tercemar berat. Selain itu, berdasarkan status trofik sebagai indikator kesuburan didapatkan bahwa Bendungan Gintung termasuk kategori hipereutrof. Berdasarkan 2 (dua) metode analisis tersebut, kondisi kualitas perairan di Bendungan Gintung berada pada kondisi tercemar berat dan mengandung unsur hara dengan kadar sangat tinggi, sehingga dibutuhkan upaya pengolahan air pada bagian inlet maupun badan air.

Kata kunci: Bendungan Gintung, status trofik, storet, beban pencemar

1 PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup. Air permukaan merupakan air yang paling mudah didapatkan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia dan makhluk hidup lain. Kebutuhan air yang terus meningkat tidak sebanding dengan kualitas air di negara kita, dimana masih belum sepenuhnya layak untuk digunakan. Kualitas dan kuantitas air di setiap wilayah akan berbeda-beda. Ada daerah yang kaya air bersih, ada juga yang kekeringan. Salah satu upaya penampungan air adalah pembuatan bendungan.

Bendungan merupakan tampungan sumber daya air, maka keberadaannya harus memperhatikan keberlanjutan sumber daya air. Akan tetapi, beberapa bendungan yang ada di Indonesia pada dasarnya telah terkontaminasi limbah cair, sehingga untuk fungsi keberlanjutan ini diperlukan suatu aksi pemulihan kualitas air.

Fungsi bendungan adalah menahan laju air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Seringkali, bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke Pembangkit Listrik Tenaga Air. Bendungan memiliki

pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan. Mengamankan bendungan dari kerusakan akan memberikan pengaruh positif dalam pemanfaatannya tidak hanya untuk jangka pendek namun untuk beberapa generasi. Untuk itu, sangat tepat untuk tetap menjaga kelestarian kawasan sekitar bendungan yang nantinya dapat ditetapkan sebagai kawasan lindung.

Bendungan Gintung yang merupakan wilayah daerah aliran Sungai Ciliwung-Cisadane, Kelurahan Cirendeui, Kecamatan Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten yang terdapat potensi wisata karena lokasinya yang berada ditengah permukiman.

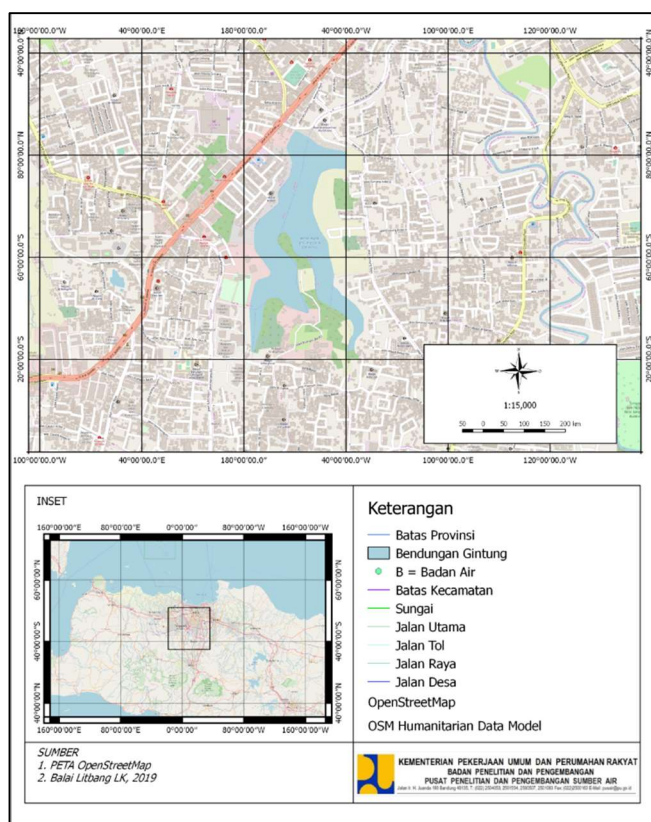
Kualitas fisik-kimia dan mikrobiologi (nilai pH, BOD, dan total coliform) air perairan Bendungan Gintung telah berada di luar baku mutu kelas I Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 dan terdapat cemaran bakteri *Salmonella sp* (Bahri, et al.,2015).

Berdasarkan data indeks kesesuaian wisata untuk kegiatan memancing dan berperahu, Bendungan Gintung memiliki nilai 81,48% sehingga termasuk dalam kondisi baik dan layak untuk dikembangkan sebagai objek wisata (Fauzi, 2016). Sebagai kawasan

wisata, maka kualitas air Bendungan Gintung harus memenuhi baku mutu air kelas II berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas air dan status mutu perairan Bendungan Gintung guna pengembangan sebagai kawasan wisata.

2 METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada Bendungan Gintung yang merupakan wilayah daerah aliran Sungai Ciliwung-Cisadane, Kelurahan Cirende, Kecamatan Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten (Gambar 1). Untuk mengetahui kualitas perairannya, penelitian ini menggunakan 2 (dua) metode, yaitu metode storet dan status trofik.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian Bendungan Gintung.

Metode storet merupakan salah satu metode yang biasa digunakan untuk menentukan status mutu air (Gambar 2). Data pengukuran kualitas air yang digunakan pada metode storet adalah data kualitas air pada 3 (tiga) inlet dan 2 (dua) outlet Bendungan Gintung, yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Ciliwung-Cisadane tahun 2016-2018. yang mewakili musim hujan dan kemarau. Dalam penelitian ini menggunakan 7 (tujuh) sampel data mutu air (jumlah sampel <10). Parameter yang dibutuhkan pada metode storet meliputi sifat fisik, kimia, dan mikrobiologi. Penentuan status mutu air metode storet dilakukan dengan tahapan: (1)menentukan nilai maksimum, minimum,

dan rata-rata dari data mutu air; (2)membandingkan data mutu air dengan nilai baku mutu air kelas II PP Nomor 82 Tahun 2001; (3)bila nilai data mutu air memenuhi baku mutu air maka diberi skor 0; (4)bila nilai data mutu tidak memenuhi baku mutu air maka diberi skor sesuai Tabel 1; (5)menjumlahkan nilai skor; (6)menentukan kelas mutu air berdasarkan EPA (*Environmental Protection Agency*) sebagai berikut:

- (1) Kelas A: baik sekali, skor = 0, memenuhi baku mutu;
- (2) Kelas B: baik, skor = -1 s/d -10, cemar ringan;
- (3) Kelas C: sedang, skor = -11 s/d -30 cemar sedang;
- (4) Kelas D: buruk, skor = >-31 cemar berat.

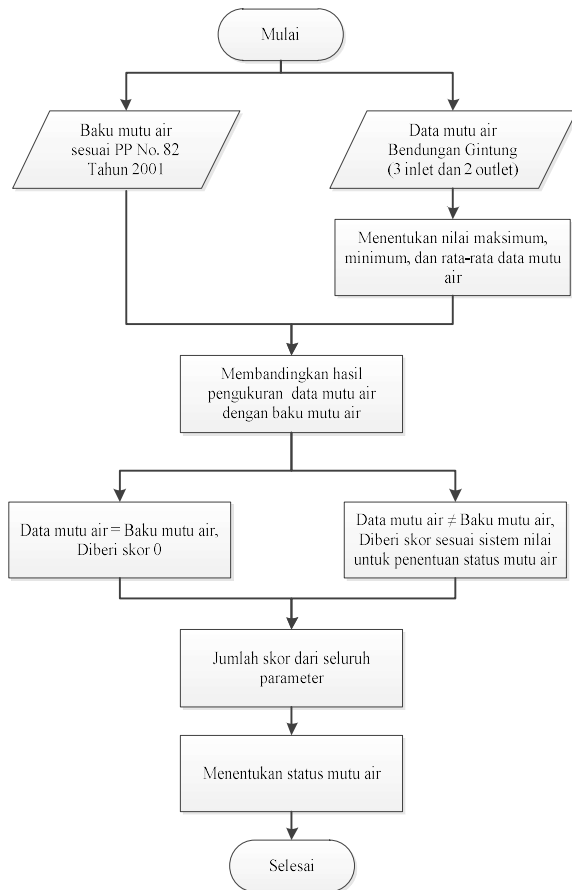
Selain itu untuk mengetahui kesuburan perairan dapat dilihat berdasarkan tingkatan status trofiknya (Gambar 3.). Data kualitas air yang digunakan untuk penentuan status trofik perairan adalah hasil pengukuran bulan Juli 2019, pada 10 (sepuluh) titik Bendungan Gintung. Sampel air diuji di Laboratorium Balai Litbang Lingkungan Keairan, Puslitbang Sumber Daya Air, Kementerian PUPR. Parameter uji meliputi total-N, total-P, khlorofil-a, dan kecerahan. Penentuan status mutu air metode status trofik dilakukan dengan tahapan: (1)membandingkan data mutu air dengan baku mutu air berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.28 Tahun 2009 (Tabel 2); (2)menentukan status trofik perairan (Tabel 2).

Tabel 1. Penentuan sistem nilai untuk metode storet (Canter, 1977)

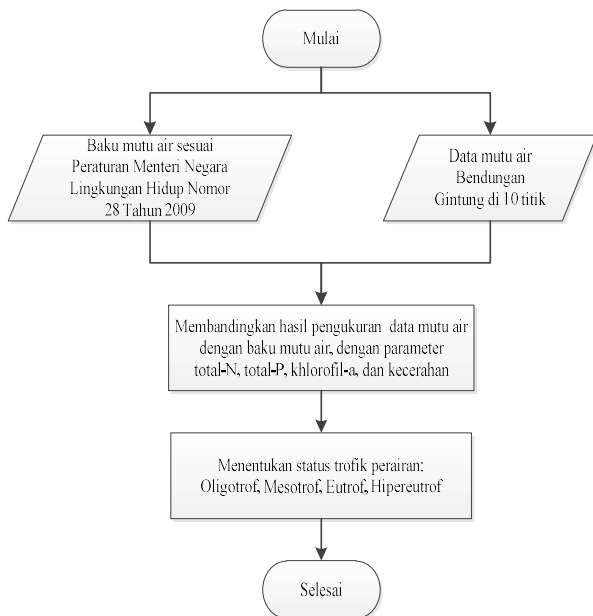
Jumlah contoh	Nilai	Parameter		
		Fisika	Kimia	Biologi
< 10	Maksimum	-1	-2	-3
	Minimum	-1	-2	-3
	Rata-rata	-3	-6	-9
≥ 10	Maksimum	-2	-4	-6
	Minimum	-2	-4	-6
	Rata-rata	-6	-12	-18

Tabel 2. Penentuan status trofik perairan (KLH 2009, Modifikasi OECD 1982, MAB 1989; UNEP-ILEC, 2001)

Status trofik	Kadar total-N (µg/L)	Kadar total-P (µg/L)	Kadar khlorofil-a (µg/L)	Kecerahan (m)
Oligotrof	≤ 650	< 10	< 2	≥ 10
Mesotrof	≤ 750	< 30	< 5	≥ 4
Eutrof	≤ 1900	< 100	< 15	≥ 2,5
Hipereutrof	> 1900	≥ 100	≥ 200	< 2,5



Gambar 2. Diagram alir metode storet.



Gambar 3. Diagram alir metode status trofik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Status Mutu Air dengan Metode Storet

Berdasarkan perhitungan status mutu air Bendungan Gantung dengan metode storet, menunjukkan bahwa Bendungan Gantung telah tercemar berat (Tabel 3).

Parameter yang paling dominan selama tahun 2016-2018 adalah BOD, COD, DO, fosfat total, fecal coliform, dan total coliform yang tidak memenuhi baku mutu air.

Tabel 3. Hasil penentuan status mutu air metode storet

Lokasi	Total skor	Status Mutu
Inlet 1 (S ₁)	-72	Tercemar berat
Inlet 2 (S ₂)	-82	Tercemar berat
Inlet 3 (S ₃)	-75	Tercemar berat
Outlet <i>spillway</i> (S ₄)	-64	Tercemar berat
Outlet Pasanggrahan (S ₅)	-65	Tercemar berat

Kadar parameter BOD tertinggi selama tahun 2016 hingga 2018 adalah 46 mg/l pada bulan Agustus 2018 di inlet 3. Sedangkan, baku mutu air parameter BOD untuk peruntukan kelas II sesuai PP Nomor 82 Tahun 2001 adalah 3 mg/l.

Kadar parameter COD tertinggi selama tahun 2016 hingga 2018 adalah 154 mg/l pada bulan Agustus 2018 di inlet 3. Sedangkan, baku mutu air parameter COD untuk peruntukan kelas II sesuai PP Nomor 82 Tahun 2001 adalah 25 mg/l.

Parameter DO merupakan suatu parameter yang jika nilai konsentrasi parameter menurun maka tingkat pencemaran meningkat (Priyono, et al., 2013). Kadar parameter DO yang terendah selama tahun 2016 hingga 2018 adalah 0,5 mg/l pada bulan Agustus 2018 di inlet 3. Sedangkan, baku mutu air parameter DO untuk peruntukan kelas II sesuai PP Nomor 82 Tahun 2001 adalah lebih besar dari 4 mg/l.

Kadar parameter fosfat total tertinggi selama tahun 2016 hingga 2018 adalah 2 mg/l pada bulan Agustus 2017 di inlet 1 dan bulan Agustus 2018 di inlet 3. Sedangkan, baku mutu air parameter fosfat total untuk peruntukan kelas II sesuai PP Nomor 82 Tahun 2001 adalah 0,2 mg/l.

Kadar parameter fecal coliform tertinggi selama tahun 2016 hingga 2018 adalah 120.000 MPN/100ml pada bulan Maret 2018 di inlet 1. Sedangkan, baku mutu air parameter fecal coliform untuk peruntukan kelas II sesuai PP Nomor 82 Tahun 2001 adalah 1000 MPN/100ml.

Kadar parameter total coliform tertinggi selama tahun 2016 hingga 2018 adalah 150.000 MPN/100ml pada

bulan Maret 2018 di inlet 1. Sedangkan, baku mutu air parameter total coliform untuk peruntukan kelas II sesuai PP Nomor 82 Tahun 2001 adalah 5000 MPN/100ml.

Total skor storet tertinggi di Bendungan Gintung terdapat pada inlet 2 yaitu -82, dimana nilai minimum, maksimum, dan rata-rata dari beberapa parameter fisik, kimia, dan mikrobiologi di inlet 2 melebihi baku mutu air. Skor mutu air dipengaruhi oleh beberapa kegiatan masyarakat sekitar. Sumber pencemar yang dominan pada Bendungan Gintung diantaranya adalah buangan kampus UIN Syarif Hidayatullah, area permukiman, area perdagangan dan ruko, bengkel, dan erosi tanah sekitar.

Kondisi saluran drainase menuju inlet Bendungan Gintung dapat dilihat pada Gambar 4. Terlihat bahwa selain limbah cair, terdapat pula sampah yang tentunya memperburuk kualitas air yang menuju Bendungan Gintung.



Gambar 4. Saluran drainase hulu inlet Bendungan Gintung.

3.2 Kesuburan Perairan dengan Metode Status Trofik Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.28 Tahun 2009, kondisi kualitas air danau dan/atau waduk diklasifikasikan berdasarkan eutrofikasi yang disebabkan adanya peningkatan kadar unsur hara dalam air. Data mutu air Bendungan Gintung tahun 2019 diperoleh bahwa kondisi perairan sudah termasuk kategori Hipereutrofik (lihat Tabel 4), dimana keempat parameter penentu kesuburan (total-N, total-P, khlorofil-a, dan kecerahan) telah melebihi baku mutu. Pada kondisi hipereutrofik, perairan Bendungan mengandung unsur hara dengan kadar yang sangat tinggi, status ini menunjukkan air telah tercemar berat oleh peningkatan kadar N dan P.

Sumber senyawa nitrogen dan fosfor pada Bendungan Gintung terutama berasal dari kegiatan domestik dan lahan permukiman, seperti buangan manusia, air bekas cuci dari lahan permukiman, serta aktivitas perdagangan dan industri. Selain itu, sumber pencemar nitrogen tersebar (*non point source*) dapat berasal dari pertanian atau pengolahan lahan dengan pemupukan (Susanti, et al., 2012). Kandungan nitrogen dan fosfor yang tinggi dapat meningkatkan pertumbuhan eceng gondok di perairan. Eceng gondok merupakan tanaman air yang menyerap banyak oksigen, sehingga biota air lainnya seperti ikan akan kekurangan oksigen dan tidak dapat tumbuh secara optimal. Status trofik dan penurunan kadar oksigen sangat erat kaitannya, dimana waduk/danau dengan kadar fosfor yang tinggi biasanya memiliki kadar oksigen yang rendah (Hupfer dan Lewandowski, 2008).

Peningkatan kandungan fosfor akan menyebabkan terjadinya pertumbuhan fitoplankton di perairan yang ditandai dengan konsentrasi khlorofil-a (Suryono, et al., 2010). Khlorofil-a adalah pigmen tumbuhan hijau yang diperlukan untuk fotosintesis. Semakin tinggi konsentrasi khlorofil-a maka tingkat kesuburan perairan akan semakin tinggi. Parameter khlorofil-a mengindikasikan kadar biomassa algae dengan perkiraan rata-rata beratnya adalah 1% dari biomassa (Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.28 Tahun 2009).

Peningkatan kandungan khlorofil-a dapat menyebabkan terhambatnya cahaya yang masuk ke dalam kolom perairan yang ditandai dengan semakin pendeknya kecerahan perairan (Suryono, et al., 2010). Pada 10 lokasi pengujian, kecerahan yang diukur dengan *secchi disk* hanya mencapai kedalaman 0,3 m. Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.28 Tahun 2009, nilai kecerahan dibawah 2,5 m termasuk kategori Hipereutrofikasi.

Tabel 4. Penentuan status trofik pada 10 titik pengujian di Bendungan Gintung

Lokasi	N-Total ($\mu\text{g/L}$)	P Total ($\mu\text{g/L}$)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Kecerahan (m)	Status Trofik
Titik 1	3.573	166	18	0,3	Hipereutrofik
Titik 2	2.494	144	210	0,3	Hipereutrofik
Titik 3	2.374	130	195	0,3	Hipereutrofik
Titik 4	2.805	104	122	0,3	Hipereutrofik
Titik 5	2.221	92	74	0,3	Eutrofik - Hipereutrofik
Titik 6	4.771	326	119	0,3	Hipereutrofik
Titik 7	3.152	169	63	0,3	Hipereutrofik
Titik 8	2.684	124	136	0,3	Hipereutrofik
Titik 9	2.471	98	55	0,3	Eutrofik - Hipereutrofik
Titik 10	2.111	108	192	0,3	Hipereutrofik

4 KESIMPULAN

Hasil dari analisis kualitas perairan Bendungan Gintung dengan metode storet didapatkan bahwa status mutu perairan sudah tercemar berat. Sedangkan, tingkat kesuburan dengan metode status trofik, Bendungan Gintung telah mencapai status hipereutrofik. Pencemaran Bendungan Gintung didominasi oleh bahan organik, yang dapat menyebabkan peningkatan beban BOD dan COD, serta penurunan DO. Penyumbang pencemar terbesar adalah nitrogen dan fosfor, yang menyebabkan *alga blooming* dan pertumbuhan eceng gondok di perairan. Sumber pencemar didominasi oleh limbah domestik karena bagian hulu Bendungan Gintung merupakan daerah permukiman dan aktivitas masyarakat sekitar seperti perdagangan.

Pada bagian hulu drainase inlet tidak terdapat unit pengolahan sebelum air limbah dibuang (*pre-treatment*) menuju Bendungan Gintung. Oleh sebab itu, pemantauan kualitas air di Bendungan Gintung perlu dilakukan secara periodik. Selain itu, perlu dilakukan pemasangan unit pengolahan air baik di inlet maupun di badan air Bendungan Gintung. Hal ini sebagai upaya untuk mencapai baku mutu air kelas II berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, sehingga Bendungan Gintung dapat dimanfaatkan sebagai kawasan wisata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Ciliwung-Cisadane atas penyediaan data dan bantuan dalam survei kualitas air, Kepala Balai Litbang Lingkungan Keairan atas arahan yang telah diberikan, dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam kelancaran pelaksanaan kegiatan ini.

REFERENSI

- Bahri, S., Ramadhan, F., dan Reihannisa, I. (2015). "Kualitas Perairan Situ Gintung, Tangerang Selatan." *Biogenesis Jurnal Ilmiah Biologi*, Volume 3, halaman 16-22.
- Canter, L.W. (1977). *Environmental Impact Assessment*, McGraw Hill Book Company., New York.
- Fauzi, F. (2016). "Analisis Potensi Wisata Situ Ciledug dan Situ Gintung di Kota Tangerang Selatan." *Jurnal Pro-Life*, Volume 3.
- Hupfer, M., dan Lewandowski, J. (2008). "Oxygen Controls the Phosphorus Release from Lake Sediments-a Long-Lasting Paradigm in Limnology." *Interscience*.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2001). Peraturan Pemerintah Nomor 82 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009 tentang Metode Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau dan/atau Waduk.
- Priyono, T.S.C., Yuliani, E., dan Sayekti, R.W. (2013). "Studi Penentuan Status Mutu Air di Sungai Surabaya untuk Keperluan Bahan Baku Air Minum." *Jurnal Teknik Pengairan*. Volume 4, Nomor 1, halaman 53-60.
- Suryono, T., Senny, S., Endang, M., dan Rosidah. (2010). "Tingkat Kesuburan dan Pencemaran Danau Limboto Gorontalo." *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 36(1), halaman 49-61.
- Susanti, I.T., Sasongko, S.B., dan Sudarno. (2012). "Status Trofik Waduk Manggar Kota Balikpapan dan Strategi Pengelolaannya." *Jurnal Presipitasi*., Volume 9 Nomor 2, ISSN 1907-187.

Perlindungan dan Pengelolaan Sumber Daya Pantai Tanjung Pinang yang Berkelanjutan

R.T.Nalarsih

Departemen Teknik Sipil, Universitas Veteran Bantara, Sukoharjo, INDONESIA
nalarsih@gmail.com

N. Yuwono

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
nuryuwono@yahoo.com

W. W. Winaktoe

Institute for Water Education (IHE)-UNESCO, Delft, NETHERLAND
motogaeri@gmail.com

INTISARI

Indonesia sangat terkenal dengan Benua Maritim sehingga Sumber Daya Pantai sangat membutuhkan pengelolaan secara berkelanjutan, penelitian mengambil lokasi di Bintan Tanjung Pinang Kepulauan Riau, perkembangan kota sangat pesat, di wilayah berdekatan dengan laut membutuhkan perlindungan dari erosi serta abrasi, peningkatan ekologi, ekonomi, sosial, dan jumlah penduduk merupakan kontributor besar, sehingga dihadapkan pada kebutuhan air bersih. Tujuan penelitian menghasilkan model seawall Pantai Kawal, model simulasi hidraulik air bersih dengan *software* EPANET, model Analisis *System-Dynamic* untuk mengidentifikasi dan mensimulasikan efek dari dinamika yang akan mempengaruhi sistem suplai sehingga antisipasi dapat dilakukan sesuai dengan rencana. Eksperimen di Laboratorium 2D di Balai Dinamika Pantai Yogyakarta dengan *software Mike 21*, dihasilkan model *seawall curved* dengan *block* yang dipasang hanya diarea yang terindikasi gelombang tinggi yang mengakibatkan abrasi dan erosi, model *Epanet* dihasilkan bahwa pemenuhan kebutuhan air bersih Bintan-Kawal dilakukan dengan cara pengembangan kapasitas 260 lt/dtk secara periodik per lima tahun telah sesuai perencanaan, model simulasi hidraulik jaringan air bersih untuk pelayanan diambil dari Bendungan Busung untuk SPAB Kawal, simulasi Model *System-Dynamic* antara ketersediaan air dan *demand*, bahwa volume Bendung Busung lebih besar dari *supply area* yang akan dikembangkan dengan demand pada $q = 600$ lt/dtk, didapatkan model perlindungan dan pengelolaan sumber daya air yang *sustainability*.

Kata kunci: pantai, *curved seawall*, *hidraulik*, *system-dynamic*, *sustainability*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah Kabupaten Bintan terdiri dari pulau-pulau besar dan kecil, umumnya merupakan daerah landai di bagian pantai. Ketinggian wilayah pada pulau-pulau berkisar antara 0-50 m di atas permukaan laut.

Menjadi wilayah strategis pembangunan yaitu perlindungan daerah pantai dari abrasi, terutama pada pulau kecil dan wilayah wisata. Guna mendorong pembangunan wilayah pesisir dan wilayah tertinggal.

Ruang wilayah Kabupaten Bintan memiliki potensi daya alam yang sangat besar dan beragam. Sehingga sangat perlu diarahkan secara bijaksana dengan menerapkan prinsip-prinsip berkelanjutan, terintegrasi, dan saling mendukung. Dewasa ini pembangunan berkembang ke arah pesisir pantai, hal ini merupakan dampak dari pertumbuhan penduduk yang

tinggi, sehingga membutuhkan permukiman, kemudian terjadi kegiatan ekonomi, sosial dan tentu saja peningkatan kebutuhan air bersih. Disisi lain terjadi kegiatan ekologi dan wisata meningkat yang berdampak pada perubahan tata guna wilayah pantai, disaat pantai sudah tidak bisa melindungi dirinya sendiri maka terjadi kerusakan erosi dan abrasi.

Lokasi penelitian diambil di Pantai Kawal, yang dikenal dengan sebutan Pantai Tri Kora salah satu pantai yang ada di Bintan, Tanjung Pinang, wilayah pantai ini sangat cepat perkembangannya, karena merupakan wilayah perkembangan perekonomian, perdagangan dan wisata bahari.

Kerusakan pantai yang terjadi di Pantai Kawal, yang dikenal dengan Pantai Trikora adalah berupa abrasi dan erosi, dikarena tingginya gelombang, khususnya saat gelombang pasang, apalagi seperti sekarang ini gelombang dalam kondisi iklim ekstrim.

Pemodelan fisik untuk membuat simulasi fenomena hidrodinamika merupakan pendekatan yang paling efektif dalam penelitian struktur seawall pelindung pantai sebagai fasilitas peredam gelombang di coastal area.

Fenomena yang terjadi dalam karakteristik gelombang di depan struktur *seawall* merupakan hal yang sangat penting yaitu untuk mengidentifikasi karakteristik gelombang, sehingga untuk mendapatkan informasi besarnya angka gelombang sebagai suatu acuan kinerja *seawall* yang handal yaitu koefisien refleksi terkecil yang dihasilkan dari dua design *seawall*.

1.2 Karakteristik Pantai Kawal Bintang

Pantai Kawal terletak di sebelah timur Pulau Bintang, dimana wilayah pantai tersebut memiliki karakteristik topografi jenis pantai landai, dan substrat dasar merupakan pasir berlumpur, dengan kedalaman 20 m berada pada jarak 6,29 km dari garis pantai (Suhana et al 2019).

Pantai Kawal sering terjadi abrasi, sementara perlindungan pantai Kawal hanya menggunakan terumbu karang. Lokasi Pantai Kawal atau yang biasa disebut Trikora, sesuai Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

1.3 Sumber Daya Air di Wilayah Pantai

Pulau Bintang memiliki DAS yang potensial adalah DAS Jago di Kecamatan Bintang Utara seluas 135,8 km². Dan DAS Kawal seluas 93 km², dengan pemanfaatan saat ini 60 lt/dtk.

Waduk pada kondisi minim untuk *suply* Empung Waduk Kawal, penurunan kuantitas sumber air baku dan rendahnya waktu pengoperasian IPA, kerusakan reservoir merupakan permasalahan penting.

1.4 Karakteristik Eksisiting Pelindung Pantai Kawal

1.4.1 Seawall

Apabila perlindungan pantai secara lamiah tidak ada, maka dapat dilakukan perlindungan pantai secara buatan (*artificial*), guna melindungi pantai secara buatan dapat dilakukan melalui lima cara salah satunya adalah perkuatan pantai dengan tembok laut atau revetment sehingga tahan terhadap gempuran gelombang, Nur Yuwono [2].

Besarnya efektifitas suatu seawall ditunjukkan koefisien refleksi yang dihasilkan kecil, dimana besar koefisien refleksi (K_r) adalah parameter dari refleksi gelombang yang didefinisikan sebagai perbandingan tinggi gelombang terpantul (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i) menurut Sila Dharma, IGB., 1994.

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \frac{H_{maks} - H_{min}}{H_{maks} + H_{min}} \quad (1)$$

Menurut Triatmodjo, 1999 gelombang yang membentur suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu dapat menyerap energi gelombang lebih banyak dibanding dengan bangunan tegak dan masif, seperti Tabel 1.

Tabel 1. Koefisien Refleksi

Building type	Coefficient of reflection (C_r)
Vertical wall with a peak on the water	0,70 – 1,00
Vertical wall with the top of the submerged	0,50 – 0,70
Piles of stone hypotenuse	0,30 – 0,50
Piles of concrete blocks	0,30 – 0,50
Vertical buildings with damper	0,05 – 0,20

Pada bangunan *vertical*, halus, dan dinding tidak permeabel, gelombang akan dipantulkan seluruhnya. Berdasarkan tes model, koefisien refleksi untuk berbagai tipe bangunan yang dilakukan Triatmodjo B diperlihatkan pada Table 1. Pada bangunan type vertical wall with apeak on the water memiliki Koefficient refleksi (K_r) sebesar 0,70 hingga 1,00 dan seterusnya.

Menurut Yuwono, (2003), bahwa pemantul gelombang lengkung lebih efektif dalam memantulkan gelombang kembali ke laut, menggunakan tinggi gelombang rencana (H_d) sebagai variabel yang mewakili besar kelengkungan, menghasilkan pedoman perancangan dipakai pusat kelengkungan di titik $1,5 H_d$ di atas DWL.

Yuwono, dkk, 2011, mengadakan penelitian model fisik berupa *seawall*, diletakkan di daerah laut dangkal, menggunakan beberapa variabel, diantaranya sudut bawah 40° dan sudut ekivalen 60° , kekasaran pada bidang miring, menggunakan bahan *blocks* penghancur energi gelombang dengan dimensi $4 \times 4 \times 4$ cm, dengan parameter nilai Koefisien seret (K_D) sebesar 1,4. Menghasilkan struktur *seawall* lengkung *non overtopping* dilengkapi *blocks* diatas kemiringan, dihasilkan bahwa model lebih efektif dalam merefleksikan gelombang yaitu memiliki kinerja *non overtopping*, dimana gelombang tidak melimpas ke belakang bangunan *seawall*, sehingga semua gelombang datang direfleksikan kembali ke laut.

Nalarsih, dkk (2015), melakukan penelitian perlindungan pantai Maron Semarang dengan pendekatan model fisik. Model *design* dinding laut ada 2 (dua), *Curved Seawall* untuk Maron (CSM), kedua model menggunakan kedalaman air 40 cm, kelandaian dinding laut 30° . Model A menggunakan lengkung $1H_d$ dan model B $1,5H_d$. Hasil pengujian model B, menghasilkan Koefisien refleksi (K_r) lebih kecil yaitu 0,199. Model b lebih efektif dalam merefleksikan gelombang.

(Nalarsih dkk, 2017) mengadakan penelitian pelindung pantai Canggu Bali, menggunakan pendekatan model desain dinding laut (*seawall*) lengkung, dengan 2 (dua) model, model pertama disebut *Curved Seawall pre* Canggu (CS_pC), dengan kemiringan 38° , reflektor melengkung 20cm, model kedua disebut *Curved Seawall for* Canggu (CS_fC), besar sudut 30° , reflektor lengkung 15cm, kedua model menggunakan *bloks revetment* dimensi $4,8 \times 4,8 \times 2,4$ cm, dimensi lebar melintang 80cm, tinggi 240cm. ketinggian air (d) 40cm, pasang tinggi 100cm. Kriteria yang digunakan sebagai indikator adalah Koefisien refleksi (K_r).

Menghasilkan besar Koefisien refleksi (K_r) model ke 1 (satu) adalah 0,56272 dan koefisien refleksi besar (K_r) model untuk dua (2) adalah 0,16923, dapat disimpulkan bahwa model kedua lebih efektif dalam kinerjanya mereduksi gelombang.

1.4.2 Sumber Daya Air Berkelanjutan

Sumber Daya Air di wilayah pesisir, khususnya di daerah Pantai Kawal, agar dalam menjamin penyediaan air minum dapat berlangsung secara berkesinambungan (*sustainable*), dalam penelitian ini dikerjakan dengan *software Epanet* (*Environmental Protection Agency Network*) dan dianalisis dengan *System-Dynamic Multi-Komponen*.

1.4.3 Analisis Epanet

Epanet (*Environmental Protection Agency Network*) untuk membuat simulasi hidraulik dengan output yang

dihasilkan dari program *Epanet* antara lain debit yang mengalir dalam pipa (lt/dtk), tekanan air dari masing-masing titik/*node/junction* yang dapat dipakai sebagai analisa dalam menentukan operasi instalasi, pompa dan reservoir.

Menentukan alternatif strategis manajemen sistem jaringan pipa distribusi air bersih, penentuan alternatif sumber atau instalasi, apabila terdapat banyak sumber atau instalasi. Sebagai simulasi dalam penentuan alternatif pengoperasian pompa dan melakukan pengisian reservoir maupun injeksi ke system distribusi. *Output* dari pemodelan ini adalah debit air bersih yang mengalir sepanjang jaringan pipa (lt/dtk), tekanan air pada setiap *node* atau *junction*, sehingga digunakan untuk menganalisa penentuan operasional instalasi, pompa, dan reservoir.

1.4.4 Analisis Sistem Dinamik

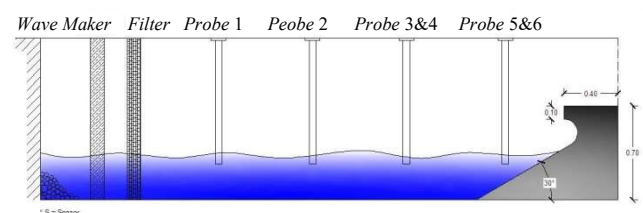
System-Dynamic Multi-Komponen bertujuan mengintegrasikan semua informasi (dokumen, kebijakan, dan faktor) sedemikian sehingga tujuan-tujuan Rencana Induk Sistem Perpipaan Air bersih (RISPAM) dalam menjamin penyediaan air minum dapat berlangsung secara berkesinambungan (*sustainable*).

Jika RISPAM berkonsetrasi pada upaya mendesain sistem suplai air minum maka *System-Dynamics Multi-Komponen* berkonsetrasi pada identifikasi dan mensimulasikan efek dari dinamika yang akan mempengaruhi sistem suplai tersebut sehinggaantisipasi dapat dilakukan mengiringi rencana-rencana pengembangan RISPAM (Winaktoe, 2019).

2 METODE ANALISIS DAN PEMBAHASAN

2.1 Pelindung Pantai *Curved Seawall* dan Hasil

Penelitian eksperimental dilakukan di *flume* gelombang Balai Pengkajian Dinamika Yogyakarta, Indonesia. Model *seawall* yang dibuat *composite cor* lengkung sesuai besar diameter yang digunakan yaitu 10 cm dan 12,5 cm. Pada model kedua bidang kemiringan diberi *block* kayu ukuran $4,8 \text{cm} \times 4,8 \text{cm} \times 4,8 \text{cm}$. Agar lebih jelas sesuai dengan Gambar 2.



Gambar 2. Model Peletakan *Seawall*

Dengan asumsi *slope* struktur stabil. *Probe* yang digunakan adalah 6, diletakkan tepat di depan model

seawall probe 5 dan 6, 1,2 m berikutnya probe 4 dan 3, 3m berikutnya probe 2, 1 m berikutnya probe 1.

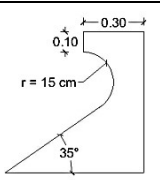
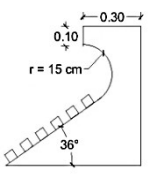
Pada Gambar 2, dimensi flume dan karakteristik gelombang yang digunakan untuk penelitian ini adalah:

- a. Panjang Saluran gelombang 50 m
- b. Lebar 2 m
- c. Kedalaman 1,6 m
- d. Kedalaman air yang digunakan 0,4 m
- e. Gelombang yang digunakan adalah regular
- f. Tinggi gelombang yang digunakan 0.4 – 0.3 m,
- g. Periode gelombang 1,
- h. Tipe model impermeabel dan blok,
- i. Dimensi yang digunakan model seawall lebar 1,85 m x 2,5 m
- j. Dimensi block 0.10 m x 0,05 m x 0,05 m
- k. Sudut datang gelombang tegak lurus

Pekerjaan laboratorium dimulai dengan persiapan peralatan, pengaturan model, peletakan block sebagai kekasaran lereng, pengaturan probe perekam tinggi gelombang, pemasangan kamera, dan recorder cable pada saluran gelombang untuk merekam data.

Penentuan kedalaman yang direncanakan, periode gelombang, kalibrasi sensor, berikutnya running data. Hasil pengolahan data software MIKE 21, hasil analisis dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Besar Koefisien Refleksi

Model	Tinggi Gelombang				
	Hmaks	Hmin	Hr	Hi	Kr
	3,21	0,95	2,26	4,16	0,54 3
	2,52	0,9	1,62	3,42	0,47 4

Berdasarkan Tabel 2, pada model pertama dengan nama SCnB, menghasilkan tinggi gelombang maksimum (Hmaks) sebesar 3,21 m kemudian tinggi gelombang Hminimum (Hmin) sebesar 0,95 m, berdasarkan persamaan 1 dihasilkan tinggi gelombang refleksi adalah 2,26 m dan tinggi gelombang incident adalah 4,16 m, sehingga dihasilkan Koefisien refleksi (Kr) sebesar 0,543.

Model kedua atau SCwB menghasilkan tinggi gelombang maksimum (Hmaks) sebesar 2,52 m kemudian tinggi gelombang Hminimum (Hmin) sebesar 0,9

m, berdasarkan persamaan 1 dihasilkan tinggi gelombang refleksi adalah 1,62 m dan tinggi gelombang inciden adalah 3,42 m, sehingga dihasilkan Koefisien refleksi (Kr) sebesar 0,474.

2.2 Epanet Analisis dan Hasil

Zonasi pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Pulau Bintan khususnya dimana lokasi wilayah Pantai Kawal berada, yaitu Kabupaten Bintan wilayah Timur seperti di Gambar 3.



Gambar 3. Lokasi Penelitian di Wilayah Bintan Timur

Gambar 3 menunjukkan jaringan air bersih dari Sistem Penyediaan Air Bersih (SPAB) dari Waduk Kawal menuju ke wilayah Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Wilayah Barat dan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Tanjung Pinang, dimana indikator merah berarti distribusi air mampu memenuhi kebutuhan air bersih pengguna, perhitungan pertumbuhan penduduk di Kecamatan Bintan Timur, dihitung dengan Persamaan 2 dan 3, berikut ini dengan hasil sesuai dengan Tabel 3.

$$a = (1/n)[(\sum Y) - (b) \cdot (\sum \ln X)] \quad (2)$$

$$b = (\sum Y \cdot \ln x) - (1/n)(\sum \ln X)(\sum Y) / (\sum \ln X^2) - (1/n) \cdot (\sum \ln X)^2 \quad (3)$$

Tabel 3. Proyeksi Penduduk di Kecamatan Bintan Timur

Tahun Proyeksi	x	a	b	lnx	Pn
2017	2	41.911,75	796,83	0,6931	42,464
2020	5	41.911,75	796,83	1,6094	43,194
2025	10	41.911,75	796,83	2,3026	43,747
2027	12	41.911,75	796,83	2,4849	43,892
2030	15	41.911,75	796,83	2,7082	44,07

Setelah diketahui rekapitulasi proyeksi penduduk, maka dihitung kebutuhan air penduduk seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Proyeksi kebutuhan air di Kec. Bintang Timur

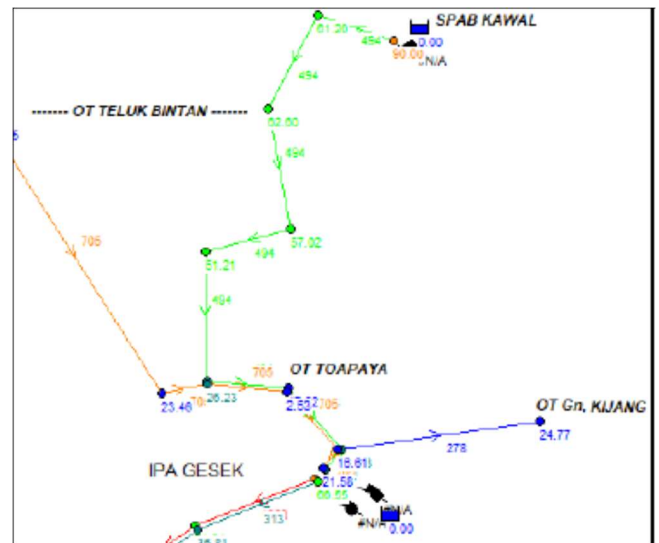
Uraian	Satuan	Tahun			
		2020	2025	2027	2030
Jumlah Penduduk	Jiwa	42374	42844	43194	43747
Tingkat Pelayanan	%	100	100	100	100
Penduduk Terlayani	Jiwa	42374	42844	43194	43747
SR : HU	%	70:30:00	71:30:00	72:30:00	73:30:00
Penduduk dilayani dengan SR	Jiwa	29662	29991	30236	30623
Penduduk dilayani dengan HU	Jiwa	12712	12853	12958	13124
Konsumsi unit SR	l/org/hr	130	130	130	130
Konsumsi unit HU	l/org/hr	30	30	30	30
Kebutuhan Air SR	l/hari	2203448	2227888	2246088	227484
Kebutuhan Air HU	l/hari	381366	385596	388746	393723
I. Kebutuhan Air Domestik	l/hari	1584814	2613484	2634834	266856
II. Kebutuhan Air Non Domestik	l/hari	300	300	300	300
III. Jumlah Kebutuhan I +II	l/hari	2585114	2613784	2635134	266886
IV. Kehilangan Air 20%	l/hari	517023	522757	527027	533773
V. Kebutuhan Air rata-rata III+ IV	l/hari	3102137	3136541	3162161	320264
VI. Kebutuhan Hari Maksimum	l/hari	3412350	3450195	3478377	352290
Faktor Hari Maksimum					4
VII. Kebutuhan Jam Puncak	l/hari	3877671	3920676	3952701	400330
Faktor Jam Puncak 1.25					1
VIII. Kebutuhan Air rata-rata	ltr//dtk	44.8805	45.3782	45.7489	46.3345

Berdasarkan Tabel 4, dihasilkan kebutuhan air rata-rata 46,3345 lt/dtk, dapat diprediksi pengembangan kapasitas untuk kebutuhan air sebesar 60 lt/dtk, sesuai dengan Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Pengembangan Air Baku

Rekap Air Baku	Pengembangan Kapasitas (lt/dtk)			
	Tersedia	2020-2025	2026-2030	2031-2035
SPAM Bintang-Kawal	200	260	260	260
Prosentase cakupan pelayanan Sistem Regional dengan pengembangan 260 lt/dtk secara periodik	-	95%	88%	*82%

Hasil pemetaan jaringan menggunakan Epanet sebagai berikut pada Gambar 4.



Gambar 4. Simulasi Epanet di Wilayah Pantai Kawal

Berdasarkan analisis Epanet dihasilkan bahwa pemenuhan kebutuhan air bersih Bintang-Kawal dengan cara pengembangan kapasitas per lima tahun mendatang sesuai dengan perencanaan.

2.3 Analisis Sistem Dinamik dan Hasil

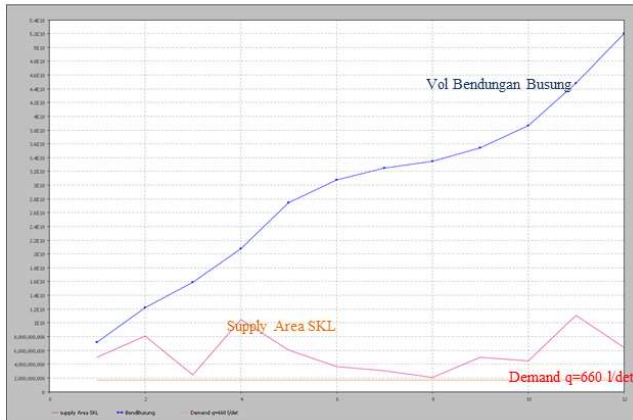
Lokus Kajian SPAM Bintang-Kawal dianalisis dengan System-Dynamics Multi-Komponen bertujuan untuk mengidentifikasi dan mensimulasikan efek dari dinamika yang akan mempengaruhi sistem suplai setiap wilayah tersebut sehinggaantisipasi dapat dilakukan sesuai dengan rencana.

Penelitian berdasarkan data volume bendungan yang akan dikembangkan, suplay area, dan demand sebesar 260 lt/dtk secara periodik dalam format system-dynamics, jaringan distribusi air minum hanya akan dapat disimulasikan jika stock atau volume waduk Kawal ditetapkan nilainya sesuai Gambar 5.



Gambar 5. Simulasi System-Dynamics Multi-Komponen

Berdasarkan *forecasting* maka diperkirakan suplai air dari DAS dalam administrasi Seri Kuala Lobam sebesar 5.096.831.548 l/bulan. Sementara ketersediaan air per wilayah Bintan Timur dengan luas 46.100 Ha, ketersediaan air 264.723.239 m³/tahun dan ketersediaan air bila dihitung perbulan 22.060.269.917 lt/bln.



Gambar 6. Grafik Simulasi Model System-Dynamics

Hasil Simulasi Model *System-Dynamics* dengan skenario dampak terhadap ketersediaan air profil SPAM Regional Bintan-Kawal menunjukkan bahwa kapasitas pengambilan (600 l/det) dan distribusinya (*demand*) per Kecamatan dan Kota diketahui dengan total distribusi 660 l/det, dinyatakan memenuhi kebutuhan yang direncanakan.

3 KESIMPULAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. Model perlindungan pantai Kawal yang paling cocok adalah *seawall* dengan *block*, dipasang hanya di area yang terindikasi tinggi terjadi abrasi dan erosi.
2. Model *Epanet* bahwa pemenuhan kebutuhan air bersih Bintan-Kawal dengan cara pengembangan kapasitas per lima tahun telah sesuai perencanaan.
3. Model *System-Dynamics* Multi-Komponen dengan Skenario Dampak terhadap Ketersediaan Air Profil SPAM Regional Bintan-Kawal bahwa dinyatakan memenuhi perencanaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami sampaikan kepada bapak Eka selaku Ketua Pelaksana Proyek SPAM di Bintan-Tanjung Pinang, Konsultan Hegardaya Bandung yang telah mengizinkan kami sebagai tenaga ahli dan mengizinkan kami menggunakan data penelitian ini.

REFERENSI

Nalarsih, 2015 "A Seawall Design with a Revetment and the Wave Reflector to Protect Coast and Maintain the Position of Maron Coast Line Semarang" 2015 2nd International Conference on Geological and Civil Engineering. Singapore. The Engineering & Technology Digital Library, and indexed by Ei Geobase (Elsevier), Ulrich's.

Nalarsih, 2017 "Innovation Design Roughness on Slope to Reduce Storms at Curved Seawall In Canggus Beach Bali" terideks scopus ISSN 03772969 Tahun 2017, Pakistan Academy of Sciences Journals.

Sila Dharma, 1994, " *Unjuk Kerja Terumbu Buatan (artificial Reef) sebagai Peredam Energi Gelombang*", Tesis, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Suhana MP, Nurjaya IW, Natih NMN. 2018. "Karakteristik gelombang laut pantai timur Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau". Tahun 2005-2014. *Dinamika Maritim*. 6 (2): 16-19.

Triatmodjo Bambang, 1999, " Perencanaan Bangunan Pantai", Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM, Yogyakarta.

Winaktoe, 2019 " *Analisis System-Dynamic Multi Komponen*" Tahun 2019, Tanjung Pinang, Indonesia.

Yuwono, 1992, *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai*, Lab. Hidrolika dan Hidrologi, PAU IT Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Yuwono, 2003 "Konstruksi *Seawall* dengan Buis Beton dan Reflektor" Penelitian, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Yuwono, Bobby P., Putra ,AT., Indriyani, M. 2011, "Model Revetment Inovatif dan Ekonomis" , Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Kajian Peta Rawan Banjir Menggunakan Model *Rainfall-Runoff Inundation* Pada Daerah Aliran Sungai Wanggu, Sulawesi Tenggara

W. S. Aysa

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
westi.susi.a@mail.ugm.ac.id

R. Jayadi

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
rjayadi@ugm.ac.id

F. Nurrochmad

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
fatchan.nurr@ugm.ac.id

INTISARI

Sungai Wanggu hampir setiap tahun meluapi daerah di sekitarnya. Hal ini berdampak pada kerusakan baik di sekitar sungai maupun daerah perkotaan di bagian hilir sungai. Oleh karena itu, dibutuhkan upaya penanganan secara struktural maupun non struktural, yang perlu didasarkan pada peta rawan banjir dengan kelengkapan informasi area dan kedalaman genangan untuk mendukung kegiatan mitigasi bencana banjir. Pembuatan peta rawan banjir dilakukan dengan pemodelan transformasi hujan menjadi aliran serta area genangan menggunakan model *Rainfall-Runoff Inundation* (RRI) yang dikembangkan oleh ICHARM-PWRI, Jepang. Model ini menghasilkan luaran berupa hidrograf banjir, sebaran area genangan dan kedalaman genangan. Data yang digunakan terdiri dari data hujan, topografi (DEM), jenis tanah dan penggunaan lahan dengan resolusi spasial 30x30 meter. Debit hitungan simulasi dibandingkan dengan debit terukur yang dihitung menggunakan rumus Manning, dimana menunjukkan hasil yang baik dengan nilai *volume error* (VE) sebesar 1.21%. Luaran sebaran area dan kedalaman genangan diklasifikasi ke dalam tiga kelas kerawanan berdasarkan PERKA BNPB No. 2 tahun 2012 tentang Pengkajian Risiko Bencana menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.4. Secara spasial, area yang potensial terdampak banjir meliputi kawasan permukiman, sawah, tambak, jalan dan kawasan pertokoan. Area kerawanan rendah yakni seluas 217,98 hektar, kerawanan sedang seluas 88,74 hektar dan kerawanan tinggi seluas 28,8 hektar, yaitu di wilayah Kecamatan Kadia dan Mandonga.

Kata kunci: mitigasi, model RRI, kerawanan banjir

1 PENDAHULUAN

Banjir yang sering terjadi di DAS Wanggu menimbulkan kerusakan pada sarana dan prasarana, kebun, sawah dan daerah permukiman baik sekitar alur maupun muara sungai. Banjir terbesar pada Juli tahun 2013 dengan kedalaman banjir mencapai ± 2 meter. Berdasarkan kerusakan dan dampak tersebut, dibutuhkan upaya pengendalian banjir baik secara struktural maupun non struktural. Secara struktural yakni pembangunan ataupun perbaikan bangunan pengendali banjir. Sedangkan secara non struktural melalui langkah mitigasi bencana seperti peringatan dini banjir, pengaturan tata guna lahan serta pemetaan bahaya banjir (*flood hazard mapping*) atau biasa dikenal pemetaan rawan banjir.

Menurut *Ministry of Land, Infrastructure and Transport* (MLIT) Jepang (2005), pemetaan bahaya banjir merupakan upaya pengendalian banjir non struktural yang efektif untuk mengurangi kerusakan akibat banjir. Informasi penting yakni area dan kedalaman genangan banjir yang akan terjadi sehingga dapat memudahkan untuk pembuatan skenario

tindakan evakuasi dari area yang berisiko banjir. Pemetaan genangan banjir dapat dilakukan dengan pendekatan model untuk menentukan area genangan.

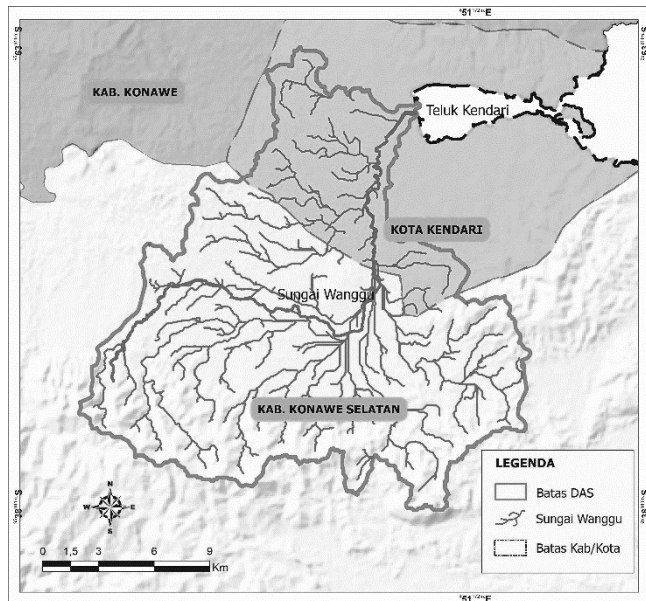
Model RRI adalah salah satu model hidrologi yang dapat diaplikasikan untuk mengestimasi debit banjir, tinggi muka air dan sebaran genangan banjir. Sebaran genangan menjadi masukan dalam pembuatan peta rawan banjir (*hazard map*). Model RRI menggabungkan antara *Rainfall-Runoff model* dengan *Flood Inundation model*, yang merepresentasikan keadaan banjir melalui metode matematik dan distribusi spasial. Makalah ini menyajikan penggunaan model RRI untuk pembuatan peta rawan banjir DAS Wanggu sebagai upaya mitigasi bencana banjir.

2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Secara administrasi, DAS Wanggu meliputi wilayah sebagian Kota Kendari (Kecamatan Mandonga, Kadia, Wua-wua, Baruga, dan Kambu) dan sebagian Kabupaten Konawe Selatan (Kecamatan Ranomeeto, Moramo Utara dan Konda). Luas DAS Wanggu sekitar

327,24 km² dan panjang sungai utama 34 km. Gambar 1 menyajikan peta lokasi penelitian DAS Wanggu.

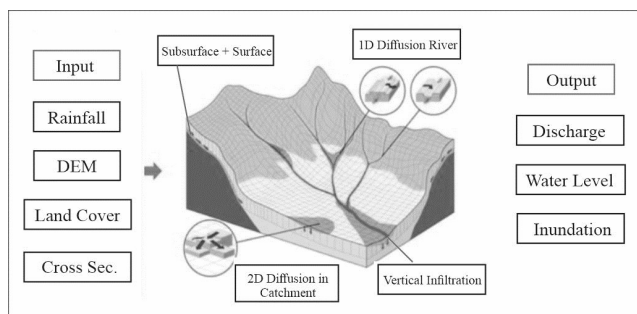


Gambar 1. Lokasi penelitian DAS Wanggu

2.2 Model RRI

Model RRI dibuat dan dikembangkan oleh *International Center for Water Hazard and Risk Management (ICHARM)* yang merupakan bagian dari *Public Works Research Institute (PWRI)*, Jepang. Model RRI dapat digunakan untuk mensimulasikan limpasan hujan dan aliran banjir secara bersamaan.

Model RRI menghitung aliran permukaan (*surface flow*), aliran antara (*subsurface flow*) dan infiltrasi untuk mensimulasikan proses alihragaman hujan-aliran. RRI model mengasumsikan terjadinya aliran *subsurface* yang dominan pada area pegunungan sedangkan pada area yang cenderung datar (*flat area*) diasumsikan terjadi aliran infiltrasi yang dihitung menggunakan metode *Green-Ampt*. Gambar 2 menyajikan skema diagram model RRI (Sayama, 2017).



Gambar 2. Skema model RRI

2.3 Pemetaan Rawan Banjir

Berdasarkan PERKA BNPB No. 2 Tahun 2012 tentang Pengkajian Risiko Bencana, peta bahaya (*hazard map*)

merupakan peta petunjuk zonasi tingkat bahaya satu jenis ancaman bencana pada suatu daerah pada waktu tertentu.

Pedoman tersebut mengklasifikasikan daerah rawan banjir menjadi tiga kelas berdasarkan kedalaman banjir. Tabel 1 menyajikan klasifikasi kelas pada peta rawan banjir (BNPB No.2, 2012).

Tabel 1. Klasifikasi Kelas Peta Rawan Banjir

Kedalaman (m)	Kelas
< 0,76	Rendah
0,76 – 1,5	Sedang
> 1,5	Tinggi

2.4 Ketersediaan Data

Data yang digunakan yakni data DEM yang telah direkondisi dan *resample* dengan resolusi 30 x 30 m, data curah hujan selama 4 hari, peta penggunaan lahan dan data jenis tanah yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai (BWS) Sulawesi IV, Balai Pengelolaan DAS (BPDAS) Sampara, website Badan Informasi Geospasial dan *Harmonized World Soil Data*.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

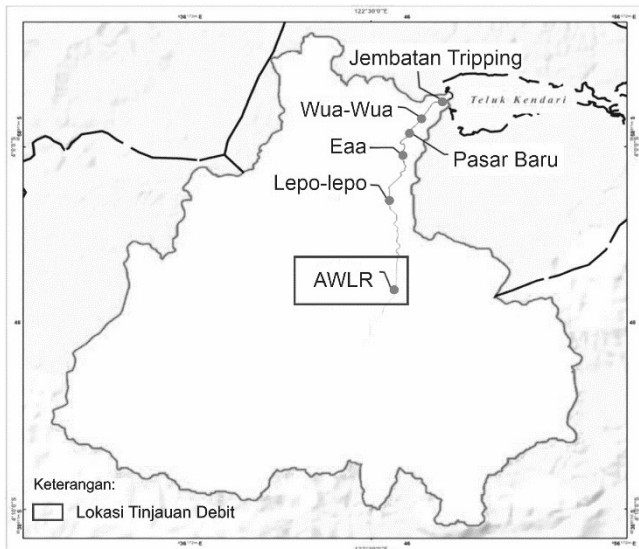
Simulasi banjir tahun 2013 dengan model RRI menghasilkan keluaran berupa debit sungai (*qr*), kedalaman genangan (*hs*) dan kedalaman air di sungai (*hr*).

3.1 Debit

Informasi debit sungai tertera pada tiap sel sesuai *time step* (jam). Debit sungai ditinjau pada titik AWLR Wanggu dan beberapa titik lokasi lainnya. Namun, dikarenakan data terukur terbatas maka pembandingan dengan data lapangan hanya dilakukan pada titik AWLR Wanggu. Tabel 2 dan Gambar 3 menunjukkan lokasi titik tinjauan debit.

Tabel 2. Lokasi tinjauan debit

No.	Titik Lokasi	Koordinat		Loc_i	Loc_j
		x	y		
1.	Jembatan Tripping	447928,10	9560090,00	116	604
2.	Wua-Wua	446916,22	9559464,81	138	571
3.	Pasar Baru	446127,69	9558331,17	166	553
4.	Eaa	445927,29	9557390,17	207	538
5.	Lepo-Lepo	445204,08	9555008,78	286	514
6.	AWLR Wanggu	445561,102	9550287,793	444	525



Gambar 3. Lokasi titik tinjauan debit

Debit aliran maksimum di titik AWLR adalah 32,26 m³/s pada *time step* ke-44, debit maksimum pada titik Lepo-lepo sebesar 51,99 m³/s, titik Ea sebesar 53,64 m³/s, titik Wua-Wua sebesar 49,90 m³/s pada *time step* ke-42, titik Pasar Baru sebesar 103,76 m³/s dan titik Wanggu/Jembatan sebesar 303,36 m³/s pada *time step* ke-63. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan debit di hulu dan hilir tidak terjadi secara bersamaan.

Debit terukur di titik AWLR sebesar 32,65 m³/s dibandingkan dengan debit simulasi menghasilkan *volume error* sebesar 1.21 %.

3.2 Kedalaman Aliran di Sungai (*hr*) dan Kedalaman Genangan di Daratan (*hs*)

Model RRI mampu mensimulasikan kedalaman aliran di sungai maupun genangan di daratan yang terjadi akibat kelebihan volume di sungai sehingga bisa diketahui ketinggian banjir yang terjadi.

Kedalaman aliran di sungai (*hr*) dan kedalaman genangan (*hs*) maksimum terjadi pada *time step* ke-49, Nilai sel *hs* adalah nilai sel *hr* dikurangi nilai sel kedalaman (*depth*) pada penampang sungai dengan asumsi genangan terjadi akibat kapasitas aliran di sungai sudah penuh. Tabel 3 menunjukkan kedalaman aliran di sungai dan kedalaman genangan,

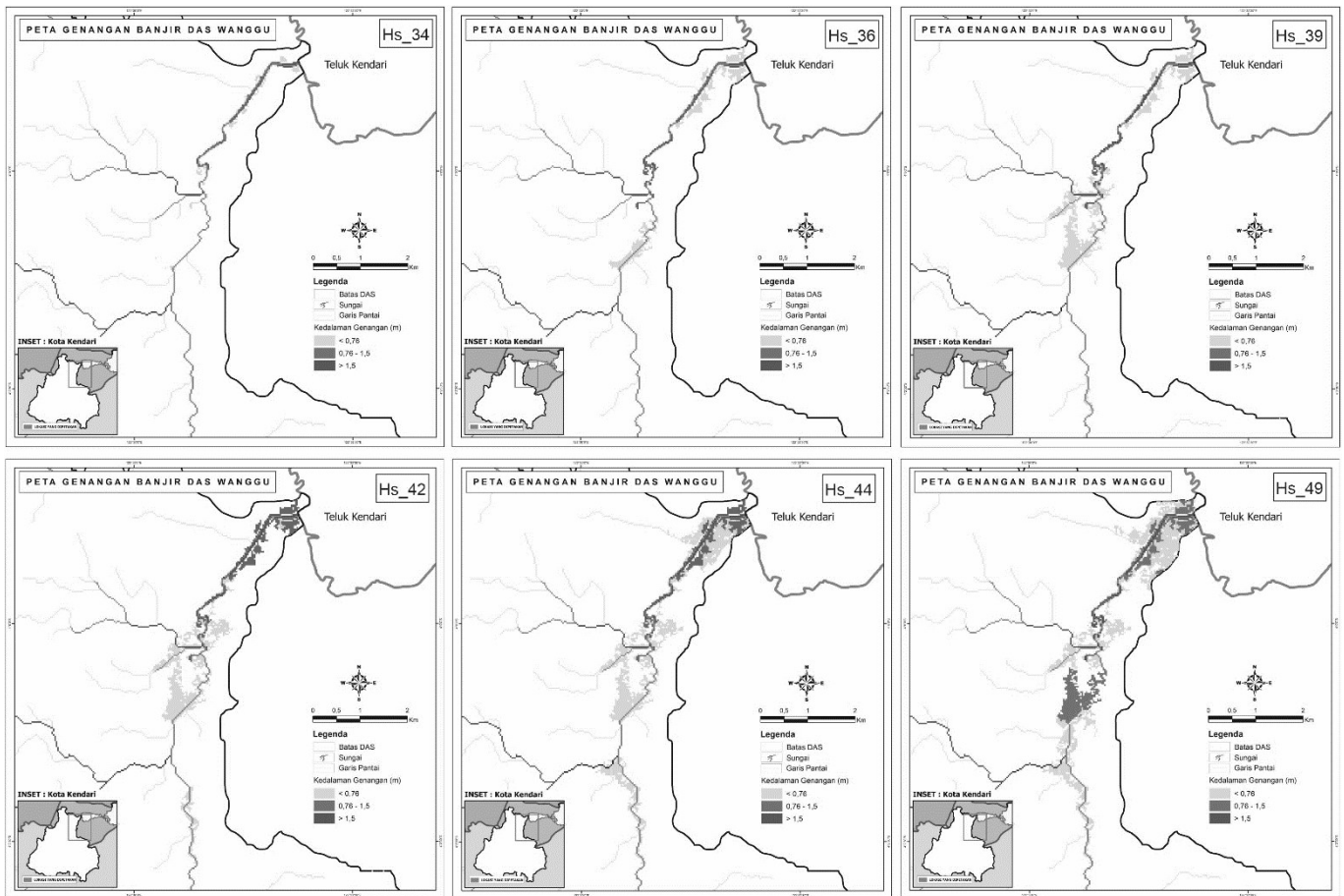
Tabel 3. Kedalaman aliran di sungai dan genangan

No.	Titik Lokasi	River Depth (m)	<i>hr</i> (m)	<i>hs</i> (m)
1.	Jembatan Tripping	2,57	2,04	0
2.	Wua-Wua	2,97	7,19	4,22
3.	Pasar Baru	2,97	5,37	2,40
4.	Eaa	2,97	5,49	2,52
5.	Lepo-Lepo	2,94	4,72	1,78
6.	AWLR Wanggu	2,83	3,23	0,40

Kedalaman genangan pada beberapa *time step* ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini menunjukkan bahwa banjir mulai terjadi saat *time step* ke-34 dan terus terjadi hingga banjir maksimum saat *time step* ke-49 dengan kedalaman genangan maksimum 5,3 m yang terjadi di sel sungai bagian hilir. Tabel 4 menunjukkan kedalaman genangan dan luas area terdampak berdasarkan *time step*:

Tabel 4. Sebaran kedalaman dan luas genangan banjir

No.	<i>hs</i> ke-	Luas Genangan (ha)		
		<i>h</i> <0,76 m	<i>h</i> =0,76-1,5 m	<i>h</i> >1,5 m
1.	<i>hs</i> _34	14,94	12,96	2,43
2.	<i>hs</i> _36	96,93	16,29	12,6
3.	<i>hs</i> _39	144,9	21,87	8,64
4.	<i>hs</i> _42	171,27	42,84	21,87
5.	<i>hs</i> _44	237,06	43,29	23,58
6.	<i>hs</i> _49	217,98	88,74	28,8



Gambar 4. Peta kedalaman genangan (*hs*) pada beberapa *time step*

3.3 Sebaran Genangan Banjir

Secara spasial, sebaran genangan banjir dianalisis untuk mengetahui lokasi daerah mana yang terdampak banjir serta luasannya. Hasil analisis diketahui bahwa luas genangan terbesar yakni pada tingkat kerawanan rendah dengan sebaran pada area permukiman, lahan terbuka, rawa, tambak dan jalan. Area pada tingkat kerawanan sedang berada di bantaran sungai dan beberapa lokasi lahan terbuka dan area tingkat kerawanan tinggi hanya berada pada bantaran sungai, Perhitungan area di ArcMap 10.4. Luas (ha) lokasi terdampak banjir digolongkan menjadi 3 kelas kerawanan seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Kerawanan menurut luas genangan

No,	Kelas kerawanan	Kedalaman (m)	Luas Genangan (ha)
1.	Rendah	< 0,76	217,98
2.	Sedang	0,76 – 1,5	88,74
3.	Tinggi	> 1,5	28,8

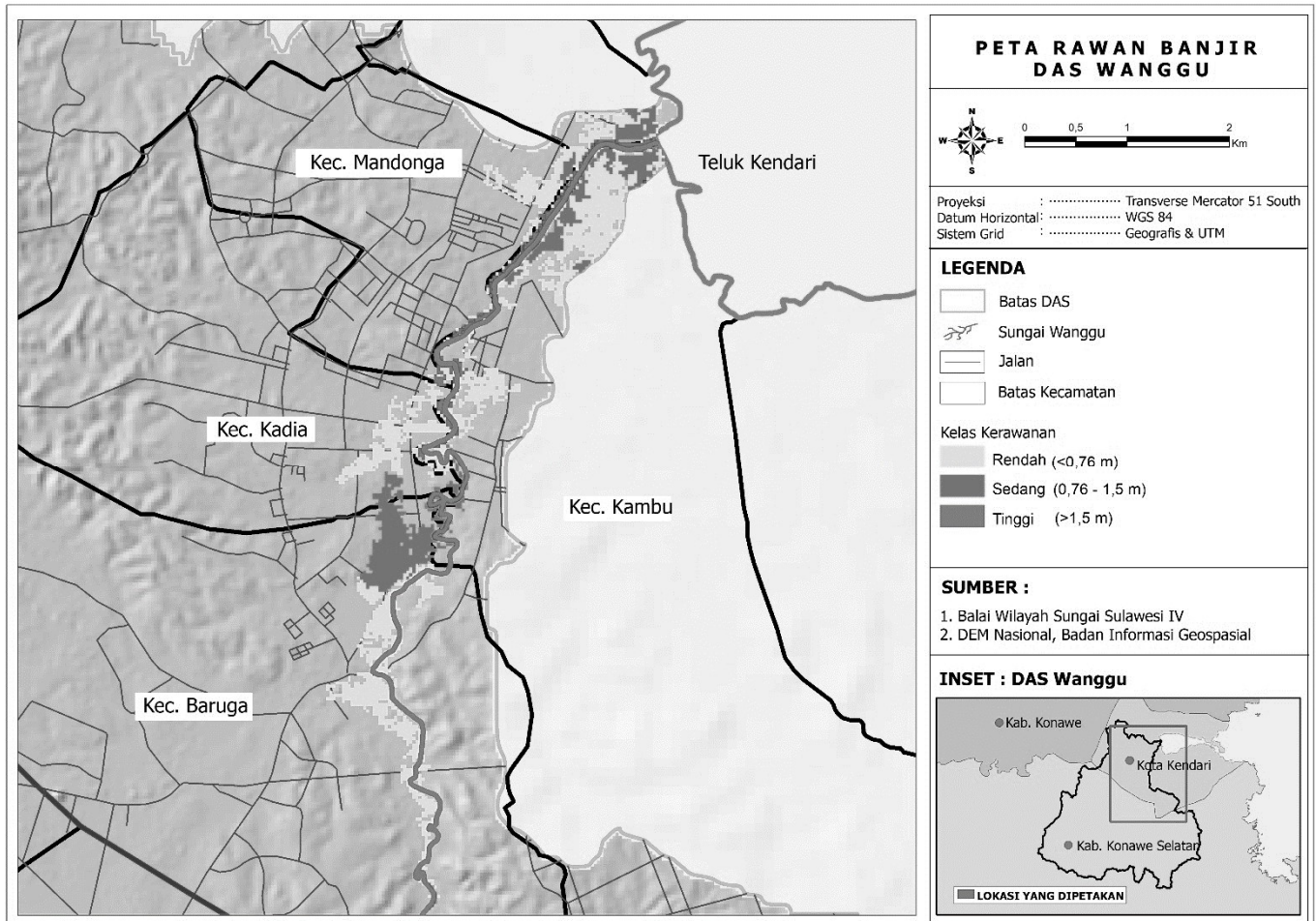
3.4 Kalibrasi Parameter Model RRI

Kalibrasi model dilakukan dengan mencocokkan beberapa parameter model RRI sehingga *output* yakni debit aliran, sebaran genangan dan kedalaman genangan bisa mendekati kondisi lapangan. Tabel 6

menunjukkan parameter model dan nilai kalibrasi yang digunakan untuk memodelkan kejadian banjir tahun 2013.

Tabel 6. Parameter kalibrasi model RRI

No	Parameter	Notasi	Nilai
1.	Kekasaran manning di sungai	n_{river}	0,04
	Kekasaran manning di <i>slope</i> (<i>land use</i>)	n_{slope}	0,3 0,04 0,1 0,15 0,08 0,25 0,23 0,2
3.	<i>Vertical saturated hydraulic conductivity</i>	k_v	3,67e-06
4.	<i>The suction at the vertical wetting front</i>	S_f	0,0889
5.	Porositas	ϕ_a	0,464



Gambar 5. Peta rawan banjir DAS Wanggu

4 KESIMPULAN

Sebaran banjir yang dihasilkan model RRI dapat digunakan untuk pembuatan Peta Rawan Banjir DAS Wanggu dengan klasifikasi kerawanan rendah, sedang dan tinggi berdasarkan kedalaman genangan. Daerah yang memiliki kerawanan banjir tertinggi adalah di wilayah Kecamatan Kadia dan Mandonga. Selain itu, Peta Rawan Banjir juga dapat dijadikan sebagai informasi penting untuk tindakan mitigasi banjir seperti penentuan lokasi evakuasi, pembuatan peta risiko banjir dan perencanaan infrastruktur pengendalian banjir.

REFERENSI

BNPB. (2012). “Peraturan Kepala BNPB No 2 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana.” Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Jakarta.

Mistry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT). (2005). “Flood Hazard Mapping Manual in Japan.” International Center for Water Hazard and Risk Management (ICHARM).

Sayama, T. (2017a). “Rainfall Runoff Inundation Model User's manual.” International Center for Water Hazard and Risk Management (ICHARM) Public Works Research Institute (PWRI).

Sayama, T. (2017b). “Fundamentals of Flood Hazard Modeling, Introduction to Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) Model.” International Center for Water Hazard and Risk Management (ICHARM) Public Works Research Institute (PWRI).

Sutikno, S., Fauzi, M. dan Mardhotillah, M. (2014). “Kalibrasi dan Validasi Model Hirdologi Hujan-Aliran dengan Menggunakan Data Satelit.” Universitas Riau.

Razak, E.N.P. (2017). “Flood Disaster Risk Mapping of Wanggu River, Kota Kendari.” M.Eng. Tesis. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan DAS Progo terhadap Produksi Sedimen Metode *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE)

E. Monica Zada

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
elfa.monica.z@mail.ugm.ac.id

F. Nurrochmad

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
fatchan.nurrochmad@gmail.com

J. Sujono

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
jsujono@ugm.ac.id

INTISARI

Perubahan tata guna lahan dapat menyebabkan penutupan vegetasi berkurang sehingga erosi lebih mudah terjadi. Erosi merupakan salah satu permasalahan yang terjadi di daerah aliran sungai (DAS). Erosi dapat memengaruhi produktivitas lahan yang biasanya terjadi pada DAS bagian hulu dan dapat memberikan dampak berupa hasil sedimen (*sediment yield*) pada bagian hilir. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap prediksi hasil sedimen di DAS Progo menggunakan Metode *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE). Metode MUSLE menggunakan faktor limpasan sebagai energi yang digunakan untuk penghancuran dan pengangkutan sedimen. Hasil analisis didapat nilai faktor erodibilitas tanah (K) sebesar 0,45, faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) sebesar 0,11, faktor konservasi dan penutupan vegetasi (CP) untuk tata guna lahan tahun 2011 sebesar 0,22 dan tata guna lahan tahun 2015 sebesar 0,24. Perkiraan hasil sedimen menggunakan tata guna lahan tahun 2011 dibanding tata guna lahan tahun 2015 menunjukkan adanya peningkatan hasil sedimen sebesar 8,9%. Hasil sedimen berbanding lurus dengan besarnya debit. Pada saat terjadi banjir, operator pintu pada bendung-bendung yang berada di Sungai Progo siaga menutup pintu pengambilan agar sedimen tidak terbawa masuk ke saluran irigasi.

Kata kunci: debit banjir, hasil sedimen, volume limpasan, musle

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk dapat menyebabkan kebutuhan pemukiman meningkat setiap tahun. Peningkatan kebutuhan pemukiman memengaruhi tata guna lahan, salah satunya adalah area pemukiman bertambah sedangkan area pertanian berkurang. Perubahan tata guna lahan tersebut menyebabkan penutupan vegetasi berkurang sehingga erosi lebih mudah terjadi. Erosi merupakan salah satu permasalahan yang terjadi di daerah aliran sungai (DAS). Erosi dapat mempengaruhi produktivitas lahan yang biasanya terjadi pada DAS bagian hulu dan dapat memberikan dampak berupa hasil sedimen (*sediment yield*) pada bagian hilir. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap prediksi hasil sedimen di DAS Progo. Prediksi hasil sedimen menggunakan Metode *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE). Metode MUSLE tidak menggunakan faktor energi hujan sebagai penyebab terjadinya erosi melainkan menggunakan faktor limpasan permukaan. Limpasan

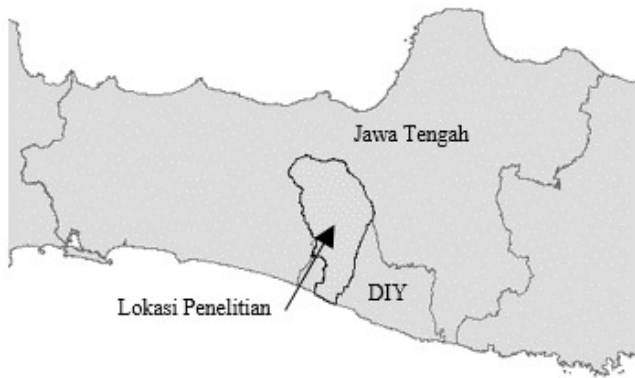
permukaan mewakili energi yang digunakan untuk penghancuran dan pengangkutan sedimen.

1.2 Tinjauan Pustaka

Areghi, dkk (2012) membandingkan perkiraan hasil sedimen menggunakan metode *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE) dengan nilai hasil sedimen observasi di DAS Kengir di Kota Iyvan, Provinsi Ilam, Iran. Perkiraan hasil sedimen di DAS Kengir disimulasikan untuk enam peristiwa hujan yang menyebar sepanjang tahun 2000. Hasil penelitian didapat nilai validasi yang tinggi dengan nilai (0,99), sehingga menunjukkan bahwa hasil sedimen model MUSLE prediksi baik untuk tujuan praktis.

1.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di DAS Progo yang terletak di Provinsi Jawa Tengah dan DIY. Luas DAS Progo 2479,35 km² dan panjang sungai 138 km. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 3. Lokasi penelitian

1.4 Ketersediaan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data sekunder berupa curah hujan, peta topografi, peta jenis tanah, peta tata guna lahan tahun 2015, dan aliran dasar diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai – Serayu Opak (BBWS-SO) dan peta tata guna lahan tahun 2011 diperoleh dari Kementerian Kehutanan Republik Indonesia.

2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)

Metode Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) merupakan metode yang digunakan untuk memprediksi hasil sedimen di daerah aliran sungai (DAS). Metode MUSLE tidak menggunakan faktor energi hujan sebagai penyebab terjadinya erosi melainkan menggunakan faktor limpasan permukaan. Volume limpasan permukaan mewakili energi yang digunakan untuk penghancuran dan pengangkutan sedimen. Menurut Williams & Berndt (1977), persamaan MUSLE dapat dilihat pada Per. (1).

$$Y_s = 11,8 (Q_p \cdot V_q)^{0,56} \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

dimana Y_s adalah hasil sedimen (ton), Q_p adalah debit puncak (m^3/s), V_q adalah volume limpasan (m^3), K adalah faktor erodibilitas tanah (ditunjukkan pada Tabel 1), LS adalah faktor kemiringan lereng, C adalah faktor penutupan vegetasi, dan P adalah faktor konservasi praktis.

Faktor kemiringan lereng (LS) menurut Williams & Berndt (1976) dapat dilihat pada Per. (2).

$$LS = \left(\frac{L}{22,1}\right)^M (0,065 + 0,0454 S + 0,0065 S^2) \quad (2)$$

dimana L adalah panjang sungai (m), S adalah kemiringan sungai, M adalah 0,5 untuk lereng yang lebih besar dari 3 persen, dan 0,3 untuk lereng yang lebih datar.

Tabel 1. Faktor erodibilitas tanah (K)

No.	Jenis tanah	Nilai K
1	Latosol coklat kemerahan dan litosol	0,43
2	Latosol kuning kemerahan dan litosol	0,36
3	Komplek mediteran dan litosol	0,46
4	Latosol kuning kemerahan	0,56
5	Grumusol dan andasol	0,20
6	Aluvial	0,47
7	Regasol	0,40

Sumber: Departemen Kehutanan (1998)

Penilaian faktor P di lapangan lebih mudah bila digabungkan dengan faktor C karena pada kenyataannya, kedua faktor tersebut berkaitan erat (Asdak, 2007). Nilai faktor CP berbagai jenis penggunaan lahan di Jawa dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor konservasi dan penutupan vegetasi (CP)

Tata guna lahan	Nilai CP
Tanaman pertanian	0,02
Pemukiman	1,00
Perladangan	0,28
Semak	0,10
Hutan	0,05
Perkebunan	0,07

Sumber: Abdurachman dkk (1984)

2.2 Alihragam Hujan – Aliran

Alihragam hujan – aliran diperlukan *transform method* seperti hidrograf satuan. Apabila data hidrograf satuan tidak tersedia, maka Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) yang berdasar pada karakteristik DAS dapat digunakan. HSS Gama I dikembangkan oleh Sri Harto (2009) berdasar perilaku hidrologik 30 DAS di Pulau Jawa. HSS Gama I terdiri dari empat variabel pokok, yaitu waktu naik (*time of rise*, TR), debit puncak (Q_p), waktu dasar (T_b), dan resesi-resesi yang ditentukan oleh nilai koefisien tampungan (*storage coefficient*, K). Persamaan yang digunakan pada metode HSS Gama I dapat dilihat pada Per. (3) sampai Per. (7).

$$TR = 0,43 (L/100 SF)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775 \quad (3)$$

$$QP = 0,1836 A^{0,5886} TR^{-0,4008} JN^{0,2574} \quad (4)$$

$$TB = 27,4132 TR^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574} \quad (5)$$

$$K = 0,5617 A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452} \quad (6)$$

$$QB = 0,4715 A^{0,6444} D^{0,9430} \quad (7)$$

dimana A adalah luas DAS (km^2), L adalah panjang sungai utama (km), S adalah kemiringan dasar sungai, SF adalah faktor sumber, SN adalah frekuensi sumber, WF adalah faktor lebar, JN adalah jumlah pertemuan sungai, SIM adalah faktor simetri, RUA adalah luas

relatif sebelah hulu, dan D adalah kerapatan jaringan kuras.

2.3 Tahapan Analisis Data

Tahapan analisis data pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Perhitungan Debit Banjir dan Volume Limpasan

Perhitungan debit banjir dan volume limpasan DAS Progo menggunakan program *HEC-HMS* Versi 4.2.1. Data masukan untuk pemodelan sebagai berikut.

- Hujan rerata daerah aliran sungai (DAS) menggunakan metode Poligon Thiessen.
- Limpasan
Perhitungan limpasan menggunakan metode *SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number)* (Soil Conservation Service, 1972).
- Alihragam Hujan – Aliran
Metode alihragaman hujan - aliran menggunakan metode hidrograf satuan sintetik (HSS) Gama I (Sri Harto, 2009).
- Aliran dasar dari data debit terukur (BBWS-SO, 2018).

2. Perhitungan Faktor Erodibilitas Tanah (K), Faktor Kemiringan Lereng (LS), dan Faktor Konservasi dan Penutupan Vegetasi (CP).

3. Perhitungan Hasil Sedimen di DAS Pogo

Perhitungan hasil sedimen di DAS Progo menggunakan metode *Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)*.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Debit Banjir dan Volume Limpasan

3.1.1 Hujan Rerata Daerah Aliran Sungai (DAS)

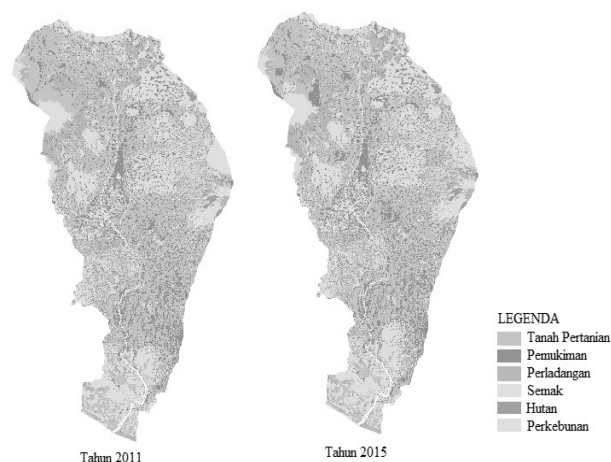
DAS Progo mempunyai karakteristik hujan dengan durasi 4 (empat) jam (Novita dan Mutia, 2015). Hasil analisis distribusi hujan jam-jaman menggunakan metode *Alternating Block Method (ABM)* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis distribusi hujan jam-jaman

Periode kala ulang (tahun)	Distribusi hujan (mm)			
	1	2	3	4
2	6,3	34,4	8,9	5,0
5	7,3	40,1	10,4	5,8
10	7,8	42,7	11,1	6,2
25	8,2	45,1	11,7	6,6
50	8,5	46,5	12,1	6,8
100	8,7	47,6	12,4	6,9

3.1.2 Nilai *Curve Number (CN)*

Nilai CN merupakan fungsi dari tipe tanah dan tata guna lahan. DAS Progo termasuk dalam kelompok hidrologi tanah D (Ritawati, dkk, 2012). Peta tata guna lahan DAS Progo tahun 2011 dan peta tata guna lahan tahun 2015 dapat dilihat pada Gambar 2. Apabila DAS terdiri dari beberapa tipe tanah dan tata guna lahan, maka dihitung nilai $CN_{komposit}$. Hasil perhitungan nilai $CN_{komposit}$ dapat dilihat pada Tabel 4.

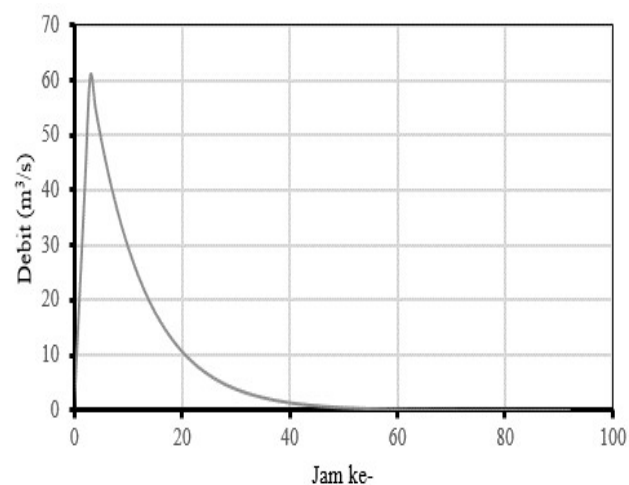


Gambar 4. Peta tata guna lahan DAS Progo

Tabel 4 menunjukkan DAS Progo mempunyai nilai CN untuk tata guna lahan tahun 2011 sebesar 80,02 dan nilai CN untuk tata guna lahan tahun 2015 sebesar 80,06.

3.1.3 Alihragam Hujan – Aliran

Hasil analisis HSS Gama I menggunakan Per. (4) sampai Per. (7) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 5. Hasil analisis HSS Gama I

Tabel 4. Hasil analisis nilai CN

No.	Tata guna lahan	Nilai CN	Luas (km ²)		Nilai CN x Luas (km ²)	
			Tata guna lahan		Tata guna lahan	
			Tahun 2011	Tahun 2015	Tahun 2011	Tahun 2015
1	Tanah Pertanian	81	1.172,37	912,63	94.961,63	73.923,35
2	Pemukiman	84	361,61	413,82	30.375,25	34.760,51
3	Perladangan	80	234,87	302,18	18.789,57	24.174,74
4	Semak	78	214,82	122,27	16.756,20	9.537,42
5	Hutan	77	71,50	9,68	5.505,46	745,65
6	Perkebunan	77	424,18	718,76	32.661,98	55.344,35
Total			2.479,35	2.479,35	198.397,59	198.486,02
Nilai CN Komposit					80,02	80,06

3.1.4 Aliran Dasar

Aliran dasar merupakan salah satu bagian penting untuk memprediksi besarnya debit banjir. Data aliran dasar yang digunakan dalam masukan untuk perhitungan debit banjir DAS Progo adalah 148 m³/s (BBWS-SO, 2018).

3.1.5 Analisis Debit Banjir dan Volume Limpasan

Hasil analisis debit banjir menggunakan program *HEC-HMS* Versi 4.2.1 dapat dilihat pada Tabel 5 dan hasil analisis volume limpasan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil analisis debit banjir

No.	Kala ulang (tahun)	Debit banjir (m ³ /s)	
		Tata guna lahan	
		Tahun 2011	Tahun 2015
1	2	1.047	1.049
2	5	1.372	1.375
3	10	1.533	1.536
4	25	1.681	1.684
5	50	1.773	1.777
6	100	1.843	1.846

Tabel 7. Faktor erodibilitas tanah (K) DAS Progo

No.	Jenis tanah	Nilai K	Luas (km ²)	Nilai K x Luas (km ²)
1	Latosol coklat kemerahan dan litosol	0,43	891,06	383,15
2	Latosol kuning kemerahan dan litosol	0,36	27,52	9,91
3	Komplek mediteran dan litosol	0,46	131,27	60,38
4	Latosol kuning kemerahan	0,56	535,78	300,04
5	Grumusol dan andasol	0,20	46,20	9,24
6	Aluvial	0,47	218,68	102,78
7	Regasol	0,40	628,84	251,4
Total			2.479,35	1.070,61
Nilai K rerata				0,45

Tabel 6. Hasil analisis volume limpasan

No.	Kala ulang (tahun)	Volume limpasan (m ³)	
		Tata guna lahan	
		Tahun 2011	Tahun 2015
1	2	35.777.016	35.876.190
2	5	48.644.841	48.768.809
3	10	55.016.770	55.140.738
4	25	60.917.623	61.041.590
5	50	64.562.267	64.686.234
6	100	67.264.758	67.413.519

3.2 Perhitungan Faktor Erodibilitas Tanah (K), Faktor Kemiringan Lereng (LS), dan Faktor Konservasi dan Penutupan Vegetasi (CP).

Perhitungan faktor K dapat dilihat pada Tabel 7, perhitungan faktor LS menggunakan Per. (2) didapat 0,11, dan perhitungan faktor CP dapat dilihat pada Tabel 8. Hasil perhitungan faktor yang berpengaruh pada metode MUSLE dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 8. Faktor konservasi dan penutupan vegetasi (CP) DAS Progo

No.	Tata guna lahan	Nilai CP	Luas (km ²)		Perubahan (%)	Nilai CP x Luas (km ²)	
			Tata guna lahan			Tata guna lahan	
			Tahun 2011	Tahun 2015		Tahun 2011	Tahun 2015
1	Tanaman pertanian	0,02	1.172,37	912,63	-22,15	23,45	18,25
2	Pemukiman	1,00	361,61	413,82	14,44	361,61	413,82
3	Perladangan	0,28	234,87	302,18	28,66	65,76	84,61
4	Semak	0,10	214,82	122,27	-43,08	21,48	12,23
5	Hutan	0,50	71,50	9,68	-86,46	35,75	4,84
6	Perkebunan	0,07	424,18	718,76	69,45	29,69	50,31
Total			2.479,35	2.479,35		537,75	584,06
Nilai CP rerata						0,22	0,24

Peningkatan pertumbuhan dan aktivitas penduduk menyebabkan perubahan tata guna lahan. Tabel 8 menunjukkan bahwa salah satu perubahan tata guna lahan berupa area pemukiman meningkat sebesar 14,44%, sedangkan area pertanian menurun sebesar 22,15%. Perubahan tata guna lahan DAS Progo tahun 2011 ke tahun 2015 menyebabkan nilai faktor konservasi dan penutupan vegetasi (CP) meningkat dari 0,22 menjadi 0,24.

Tabel 9. Hasil perhitungan faktor pada metode MUSLE

Faktor yang berpengaruh	Tata guna lahan	
	Tahun 2011	Tahun 2015
Faktor erodibilitas tanah (K)	0,45	0,45
Faktor kemiringan lereng (LS)	0,11	0,11
Faktor konservasi dan penutupan vegetasi (CP)	0,22	0,24

3.3 Perhitungan Perkiraan Hasil Sedimen di DAS Pogo

Hasil analisis prediksi hasil sedimen di DAS Progo menggunakan Per. (1) dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil analisis prediksi hasil sedimen di DAS Progo

Kala ulang (tahun)	Hasil sedimen (ton)		Peningkatan (%)
	Tahun 2011	Tahun 2015	
2	108.720,67	118.426,06	8,9
5	150.262,00	163.630,21	8,9
10	171.248,78	186.443,95	8,9
25	190.937,63	207.847,54	8,9
50	203.231,85	221.210,74	8,9
100	212.477,23	231.302,33	8,9

Tabel 10 menunjukkan adanya pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap prediksi hasil sedimen di DAS Progo. Prediksi hasil sedimen menggunakan tata guna lahan tahun 2011 dibandingkan dengan tata guna lahan tahun 2015 menunjukkan adanya peningkatan sebesar 8,9%.

Hasil sedimen dari tanah yang tererosi sebagian masuk ke cekungan permukaan tanah, waduk, dan ada yang ikut mengalir di sungai. Hal tersebut dapat menyebabkan pendangkalan waduk, sungai, dan saluran irigasi. Sedimen yang masuk ke saluran irigasi dapat menyebabkan kerugian pada petani berupa air menjadi keruh bercampur lumpur yang masuk ke area persawahan.

Jumlah hasil sedimen berbanding lurus dengan besarnya debit. Semakin besar debit, maka semakin besar sedimen yang dihasilkan. Pada saat debit besar atau terjadi banjir, operator pintu pada bendung-bendung yang berada di Sungai Progo harus siaga untuk menutup pintu pengambilan agar sedimen tidak terbawa masuk ke saluran irigasi.

KESIMPULAN

1. Perubahan lahan tahun 2011 ke tahun 2015 untuk area pemukiman semakin bertambah (14,44%), sedangkan area pertanian semakin berkurang (-22,15%) sehingga nilai faktor konservasi dan penutupan vegetasi (CP) meningkat dari 0,22 menjadi 0,24, mengakibatkan perkiraan hasil sedimen meningkat sebesar 8,9%.
2. Pada saat debit besar atau banjir, operator pintu pada bendung-bendung yang berada di Sungai Progo untuk harus siaga menutup pintu pengambilan agar sedimen tidak terbawa masuk ke saluran irigasi.

REFERENSI

- Abdurahman, A., S. Bunyamin dan U. Kurnia. (1984). "Pengelolaan Tanah dan Tanaman untuk Usaha Konservasi". *Bogor: Pusat Penelitian Tanah*.
- Asdak, Chay. (2007). "Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai". *Yogyakarta: Gadjah Mada University Press*.
- Arekhi, S., Shabani, A., dan Rostamizad. (2012). "Application of the modified universal soil loss equation (MUSLE) in prediction of sediment yield (Case study: Kengir Watershed, Iran)". *Arabian Journal of Geosciences.*, 6(6), 1259-1267.
- Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak (BBWS-SO). (2018).
- Chow, V. T., Maidment, D. R., dan Mays. (1988). "Applied Hydrology". *New York, U.S.A: McGraw-Hill*.
- Departemen Kehutanan. (1998). "Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Teknik Lapangan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai". *Jakarta: Departemen Kehutanan*.
- Hydrologic Engineering Center. (2002). "HEC-HMS Hydrologic Modeling System (Hydraulic Reference Manual)". *US Army Corps of Engineers, Davis, CA*.
- Kementerian Kehutanan Republik Indonesia. "Pentapan Lahan 2011". <http://appgis.dephut.go.id/appgis/download.aspx> (diakses 17 Januari 2020).
- Novita, E. L., dan Mutia, E. (2015). "Penentuan Pola Agihan Hujan Tanpa Pemisahan". *Jurnal Ilmiah Jurutera.*, 02(01), 048 – 056.
- Ritawati, S., Mawardi, M., dan Goenadi, S. (2012). "Kesesuaian Model Infiltrasi Philips Untuk Prediksi Limpasan Permukaan Menggunakan Metode Bilangan Kurva". *Agritech*, 32(3), 331 – 339.
- Soil Conservation Service. (1972). *National Engineering Handbook*. Washington, D. C: *U. S. Dept. of Agriculture*.
- Sri Harto. (2009). "Hidrologi Teori Masalah Penyelesaian". *Jakarta: Nafiri*.
- Williams, J.R., dan Berndt, H., D. (1976). "Determining the universal soil loss equation's length-slope factor for watersheds; in Soil Erosion: Prediction and Control.". *Soil Conservation Society of American*, 21, 217–225.
- Williams, J.R., dan Berndt, H., D. (1977). "Sediment Yield Prediction Based On Watershed Hydrology". *Trans. Amer. Sot. Agr. Eng.*, 20, 1100-1104.

Estimation of Lag Time and Falling Raindrop Diameter of Radar Rainfall in Mount Merapi Area

C. Chann

Department of Civil and Environmental Engineering, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
channchengtoem@mail.ugm.ac.id

R. Jayadi

Department of Civil and Environmental Engineering, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
rjayadi@ugm.ac.id

J. Sujono

Department of Civil and Environmental Engineering, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
jsujono@ugm.ac.id

A. Mushthofa

Sabo Technical Center, Research Center for Water Resources, Ministry of Public Works and Housing, Yogyakarta
INDONESIA
akhyar.mushthofa@pu.go.id

ABSTRACT

The radar rainfall data is normally measured above the ground surface. The movement of a raindrop from space toward the ground surface needs time as a lag time that can be used for developing an early warning system of rain-related disasters. Particularly, the lag time could be estimated by using the cross-correlation between X-band radar rainfall and the ground rain gauge rainfall. Notably, the radar rainfall data was collected at an elevation of 1000-meter with a grid resolution of 420×420 m above the ground rain gauge stations. Also, each radar rainfall data was average from the four-points of the radar grid and surrounded the selected ground rain gauge stations. Otherwise, MATLAB software was used to apply the cross-correlation calculation. The results show that the falling raindrop diameter varies from 0.04 mm to 0.23 mm. Additionally, the value of the lag time was found, such as the following 10 minutes of minimum and 50 minutes of maximum by different event time and rainfall stations that were selected to study.

Keyword: lag time, warning time, cross-correlation, X-band radar

1 INTRODUCTION

The hydro-meteorological disaster had become a significant concern in Indonesia due to its impact on human life and the environment. Notably, the flood materials that contain a mixture of water and volcano materials called lahar flows, the threat of flooding more severe in the volcano area (Hambali *et al.*, 2019; Fibriyantoro, 2015). Also, heavy rainfall resulting in frequent flood during the rainy season over Mount Merapi area (Sujono *et al.*, 2018). So, the early warning system must be developed for flood risk reduction (Hambali *et al.*, 2019; Sujono *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2016). Any flood warning system aims to provide useful information for improving decisions such for instance, issuing alerts or activating the required protection measures (Martina *et al.*, 2006).

Moreover, the X-band type radar can collect rainfall data at various elevations ranges from 1 km to 10 km above the ground surface (Balai Sabo, 2014). It is very

high elevation before the raindrop falling to the ground surface, whereas rain gauge stations cannot. Mainly, the time gap will be presented from raindrop movement from an elevation above to ground surface that it's called lag time (Hambali, *et al.*, 2018). It is referred to as a specific amount of time that can be generalized to pairs of rainfall drawn from two different time series (Menke and Menke, 2012). The information on the lag time between radar rainfall and the ground rainfall can be used to determine the short duration rainfall warning time base more accurately. However, the accuracy of radar rainfall data should be calibrated and corrected because there is still a lack of precision in estimating radar rainfall due to various sources of error (Hambali *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2016).

In order to better develop and improve the early warning system of the rainfall events that may trigger flood or lahar flow, the velocity and diameter of falling raindrop need to be understanding and examining. This study aims to: (i) determine the lag time of radar

rainfall measured at an elevation of 1000-meter to the rain gauge rainfall measured at the ground station; (ii) define the diameter of the radar falling raindrop.

2 DATA AND METHOD

2.1 The Study Area

The Mount Merapi area of Java Island, Indonesia was selected as the study area, but only three rain gauge stations were focused, as shown in Figure 1. Additionally, this area is located about 25 km from the center of Yogyakarta city. It is located between Central Java Province and Yogyakarta Special Region Province. In order to complete the early warning system facilities in the Mount Merapi area, in early 2012 a weather radar was installed and has been controlled by the Balai Sabo Office in Yogyakarta. Besides, the radar station is located at 7°45'38.05" S and 110°25'45.55" E with altitude 171 m. Moreover, that weather radar has a Doppler radar type X-band frequency with a range of 94 km (Balai Sabo, 2014). Thus, it can reach the area of Mount Merapi and the surrounded area. Particularly, it generates spatial rainfall data as extensive as its ranges, but for calibration purpose, the rain gauge at the ground surface is still needed.

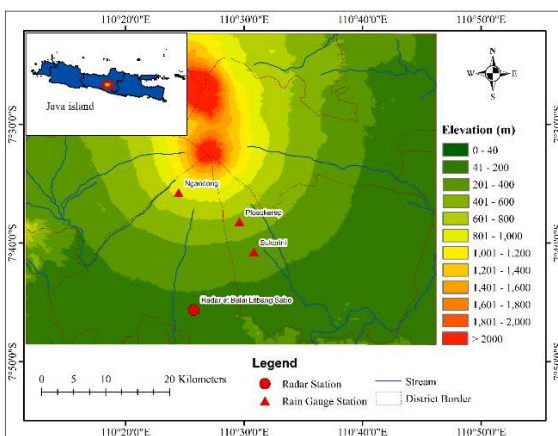


Figure 5. The location of research area.

2.2 Data Acquisition

The rainfall data from rain gauge stations and weather radar were selected from two different days for each station, as shown in Table 1. Accordingly, the weather radar carries a radius range of 94 km with a grid resolution of 420×420 m, but not all areas that have been recorded by radar will be used in this study. Indeed, rainfall from radar was measured at 1000-meter of elevation above the rain gauge stations that were recorded on the ground surface by the automatic rainfall recorder (ARR). The ARR data was recorded in 10-minutes intervals of rainfall, whereas the radar rainfall data is in a 5-minutes interval. Besides, the rain

gauge and radar rainfall were provided by the Balai Litbang Sabo in Yogyakarta. The rainfall events in each selected station for studying in this report are shown in Table 2.

The choice of the rain gauge stations was screened based on the assumption that the locations of the rain gauge stations are not expected to have a barrier and is relatively close to the radar location. Thus, the factor considered to increase the error can be minimized. Curiously, each rainfall event selected for this study based on the available rainfall data of both ARR and radar that existed, such as in the same location and the same event day.

Table 3. Location of rain gauge and radar station.

No	Station	Coordinate		Altitude (+msl)
		Latitude (S)	Longitude (E)	
1	Radar	7°45'37.80"	110°25'45.48"	171
2	Ngandong ARR	7°35'48.81"	110°24'10.49"	840
3	Plosokerep ARR	7°38'7.40"	110°29'28.98"	530
4	Sukorini ARR	7°40'44.40"	110°30'49.70"	326

2.3 Calibration of Radar Data

Reflectivity from the hybrid scan is used to compute two-dimension fields of precipitation rate in spherical coordinates (range, azimuth). The general form of reflectivity-to-rainfall relationships, or Z-R equations, is a power-law as follows (Hong and Gourley, 2015; Krajewski and Smith, 2002; Morin *et al.*, 2003):

$$Z = aR^b \quad (1)$$

Where a is the prefactor and b is the exponent. The two most common Z-R relations are the NEXRAD default for convection ($a = 300$, $b = 1.4$) and the Marshall-Palmer relation ($a = 200$, $b = 1.6$) generally applied to stratiform rain. The Z , reflectivity, is in linear units (mm^6m^{-3}) and R , rain intensity, is in mm hr^{-1} (Hong and Gourley, 2015).

The operation of the Balai Sabo radar can collect rainfall data at various elevations, such as 1 km, 2 km, 2.5 km, 3 km, 5 km, and 10 km. On the top, the radar rainfall data of this research was the 5-minutes interval rainfall that was recorded at elevation 1000 meters. Therefore, it should be converted to 10-minutes interval rainfall, which is the same interval with ARR rainfall data. The 10-minute is the minimum time interval of both rainfall data recorded. Subsequently, both of them can be used to determine the lag time by using the cross-correlation method.

2.4 The Lag Time

The lag time can be determined by using the cross-correlation method between two-time series of data x_k and y_k that have N samples are available (Arattano and Marchi, 2005) as follows:

$$[x_k] = [x_0, x_1, x_2, \dots, x_{N-1}] \quad (2)$$

$$[y_k] = [y_0, y_1, y_2, \dots, y_{N-1}] \quad (3)$$

Then the cross-correlation function, β_{yx} , is defined as (Arattano & Marchi, 2005; Akhyar et al., 2016)

$$\beta_{yx}(\tau) = \sum_{t=0}^{N-1} x_t y_{t+\tau} \quad (4)$$

Where x_t is the function expressing the radar data recorded at the 1000 meter of elevation, at the time t and $y_{t+\tau}$ is the function expressing the ARR data recorded at the ground surface stations at the time $t + \tau$; τ is the lag time (unknown) elapse between the recording of the radar rainfall and ARR rainfall. Moreover, The maximum of the function β_{yx} locates the lag time we are looking for, which is given by the value of τ that corresponds to that maximum.

2.5 Falling Raindrop Velocity

The falling velocity of a raindrop depends on gravitation and drag due to wind speed. The motion of a drop can be described by following (Mook, 2002)

$$m_D \frac{d\vec{u}}{dt} = m_D \vec{g} - \frac{\pi}{8} \mu \text{Re} C_d (\text{Re}) D (\vec{u}_D - \vec{u}) \quad (5)$$

Where m_D is mass of a raindrop ($= \rho_D \pi D^3 / 6$), [kg], D is drop diameter, [m], \vec{u}_D is drop velocity vector, [$m s^{-1}$], \vec{u} is wind velocity vector, [$m s^{-1}$], \vec{g} is gravitational acceleration, [$m s^{-2}$], C_d is drag coefficient depending on the Reynolds number, Re is Reynolds number ($= \rho D |\vec{u}_D - \vec{u}| / \mu$), ρ_D is density of water, [$kg m^{-3}$], ρ is density of air, [$kg m^{-3}$], μ is dynamic viscosity of air, [$kg m^{-1} s^{-1}$].

2.6 The Estimation Raindrop Diameter

The falling velocity of the raindrop is obtained from the lag time which is assumed to be unaffected by wind direction and speed. Therefore, the friction caused by

the existence of ignored wind speed and the existing gravitational force is assumed not to be influenced by wind direction and speed. Based on (Gunn and Kinzer, 1949) have been experimented in the laboratory to measure the terminal velocity data as a function of drop diameter. Those data are fitted with the following function.

$$w_{term} = 9.40 (1 - \exp(-1.57 \times 10^3 D^{1.15})) \quad (6)$$

With w_{term} is terminal velocity, [$m s^{-1}$] and D is equivalent raindrop diameter, [m]

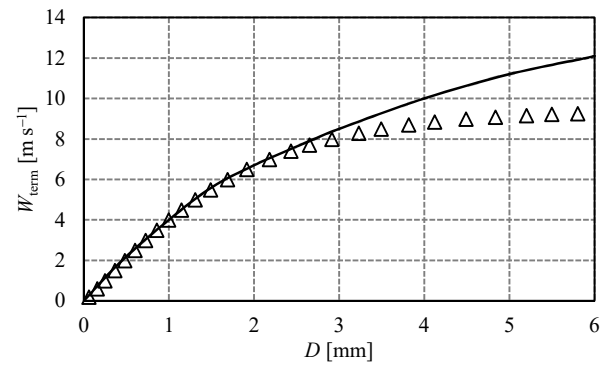


Figure 2. Terminal drop velocity as a function of raindrop diameter: according to equation (5) (—), and according to the equation (6), the measurements of Gunn and Kinzer (1949) (Δ). (Mook, 2002)

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 The Cross-Correlation Function to Lag Time

Figure 3 depicts an example of cross-correlation chart for Ngandong Station with maximum value of 119.7 that leads the lag time to be 10 minutes. Moreover, this chart was generated in MATLAB software by applying Equation (4).

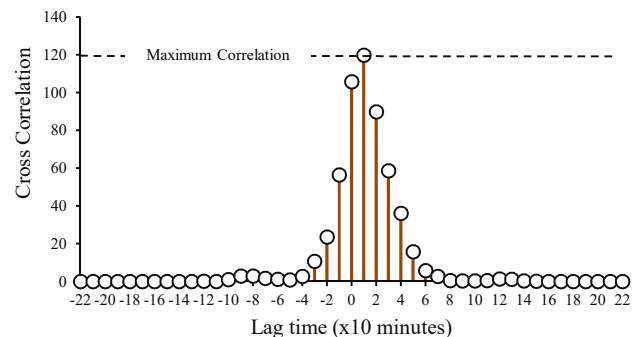


Figure 3. The cross-correlation of rainfall data at Ngandong Station on 11 November 2015, between ARR data and radar data (1000 m of elevation)

The maximum cross-correlation value in Plosokerep station on 06 December 2015 and Sukorini station on

04 December 2015 are 32.2 and 1.1 that leads that the lag time to be 10 minutes and 30 minutes, respectively, such as shown in Table 2.

3.2 Transformation of Radar Rainfall

Figure 4 shows that a bit of change occur when the radar rainfall data is converted time series from the 5-minute interval (a) to the 10-minute interval (b). However, the total amount of the rainfall depth of both different time series intervals rainfall is the same 17.8 mm, but the time peak and the peak value of (a) and (b) are a bit different. Most significantly, the peak value of (a) is 4.2 mm at 15:25 while the (b) peaked at 15:30 with a value of 6.9 mm. Particular, the converting process of the time intervals changed only the time series intervals of rainfall data from 5-minute interval to 10-minute interval by remaining the original total amount of rainfall depth.

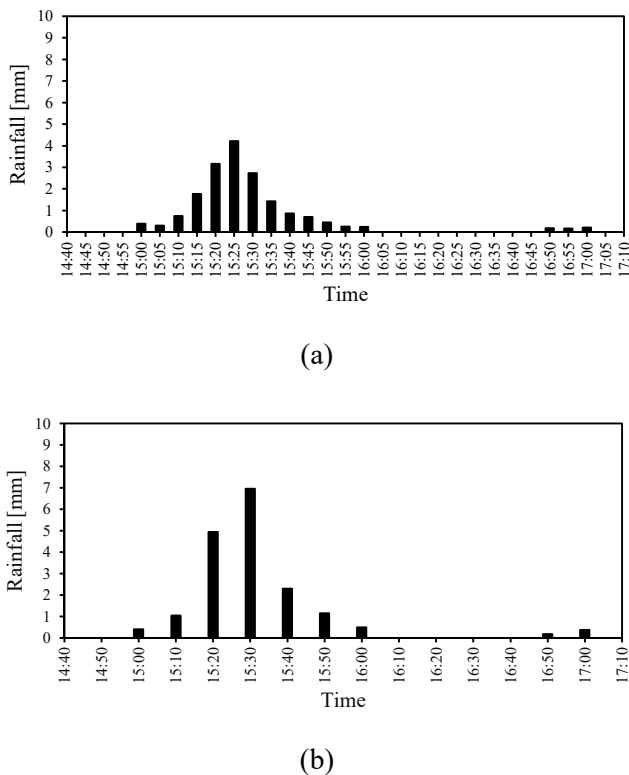


Figure 4. Converting radar rainfall data 5-minute interval (a) to radar rainfall data in the 10-minute interval (b), Ngandong station, on 11 November 2015.

3.3 The ARR Data and Average Radar Rainfall Data

That radar rainfall value was averaged from 4 grids of radar data recorded above and surround the ground rain gauge station such as shown in Figure 5. Primarily, the location of Ngandong station was surrounded by radar grid 1, grid 2, grid 3, and grid 4. Then averaged the radar rainfall value of those grids selected for use in the lag time estimation. Further, the highest radar rainfall of all grids chosen was not the same such as the

following 6.6 mm, 7.0 mm, 6.7 mm, and 6.3 mm for grid 1, grid 2, grid 3 and grid 4 respectively. Hence, the average peak of those grids is 6.6 mm at 15:30 as shown in Figure 6.

Based on Figure 6, the value of ARR rainfall data recorded on 11 November 2015 at Ngandong station is higher than the radar rainfall data. This data is parallel to a discussion that was made by previous research, Hambali *et al.* (2018) and Hairani *et al.* (2019). Instantly, at peak time 15:30, the depth of ARR rainfall data is 9.4 mm while the amount of radar rainfall data is 6.6 mm.

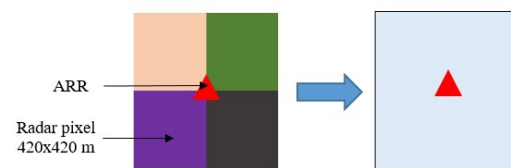


Figure 5. Sketch to show the concept of radar rainfall average to the rain gauge rainfall data.

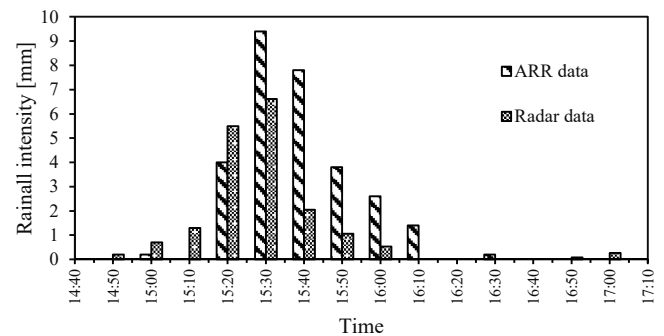


Figure 6. ARR data at Ngandong station with radar data obtained from X-band radar, average over 4 pixels around Ngandong station, on 11 November 2015.

3.4 The Overall Results

The Table 2 is the brief results of this study. Also, the lag time of raindrop moving from 1000-meter elevation toward the ground surface ranges from 10 minutes to 50 minutes. Besides, the maximum value of the lag time is 50 minutes that presented at Ngandong station on 09 November 2015 and at Sukorini station on 12 November 2015. Additionally, the smallest lag time value obtained 10 minutes that performed at Ngandong station. On the top, the lag time result is accurate if only if the radar rainfall data and ARR data are all accurate and reliable collection and calibration.

The minimum value of the falling raindrop velocity is 0.112 m/s. Also, its maximum value is 0.927 m/s. Otherwise, the highest number of the estimated raindrop diameter is 0.232 mm. Besides, 0.036 mm is the smallest value of the raindrop diameter calculated.

Consequently, the amount of falling raindrop velocity going high leads to the value of the estimated raindrop diameter going high too as shown in Table 2. In Figure 2, the maximum raindrop velocity is around 10 m/s following by an estimated raindrop diameter is 6 mm that is a big diameter of a raindrop. In this study found

that the falling raindrop velocity and diameter is so small according to Figure 7. It may occur because this study is considered the raindrop drop unobstructed by gravity without considered wind velocity and wind direction. Otherwise, it assumed that the gravitation force was equal and constant in all locations.

No	Station	Rainfall event	Lag time (minute)	Falling raindrop velocity (m/s)	The estimated raindrop diameter (mm)
1	Ngandong	09 November 2015	50	0.112	0.036
		11 November 2015	10	0.562	0.148
2	Plosokerep	04 December 2015	30	0.309	0.087
		06 December 2015	10	0.927	0.232
3	Sukorini	12 November 2015	50	0.245	0.071
		04 December 2015	30	0.409	0.111

Table 2. Time lag, raindrop velocity, and the estimated raindrop diameter

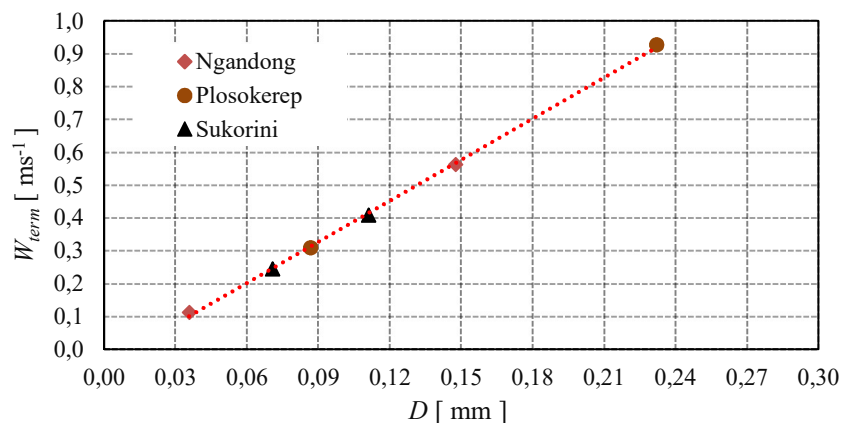


Figure 7. Terminal raindrop velocity (w_{term}) as a function of raindrop diameter (D) at Ngandong station, Plosokerep station, and Sukorini station.

Therefore, the range of raindrop values that were obtained by this study is smaller than the minimum amount of raindrops value that has been investigated previously by (Mook, 2002). It can occur because the prediction of the diameter of falling raindrops depends on the speed of its falling velocity while the speed of the falling raindrops depends on the distance of the tracking transferred.

4 CONCLUSION AND RECOMMENDATION

The result of lag time radar rainfall measured at an elevation of 1000 meters to the rain gauge rainfall measured at the selected ground stations ranges from 10 minutes to 50 minutes. Additionally, the lag time of the falling raindrop falling between different of an elevation depends on the falling raindrop velocity.

When the value of falling raindrop velocity is smaller, the lag time of raindrop moving from 1000 m of an elevation to the ground surface becomes bigger, and vice versa. Otherwise, the falling raindrop velocity value changes in parallel with the value of the falling raindrop size, while falling from an elevation above toward the ground surface. Finally, the smallest falling raindrop size is 0.036 mm, while the biggest value found 0.232 mm, which this droplet range is the characterization of raindrop size distribution in this research area. These findings are essential for radar rainfall utilization, both forecasting or monitoring. Temporarily, the lag time is a lead time of radar rainfall after the initial rainfall that is useful for an early warning system development of the lahar flow disaster. Besides, the spatial raindrop velocity of radar rainfall

is vital for using on warning decision of flood and lahar flow disaster to reduce the risk.

Even though the research achieved all objectives, there are some recommendations for further studies as the following; the wind speed and wind direction should be included in the raindrop velocity calculation. Besides, the ground rain gauge stations and the rainfall events should be selected as much as possible to get accurate results and reliable. For selecting the reliable rainfall data for hydrological analysis should be considered as the following. (a) the original raw data must be secured archive, and the storage data should be kept away from the electronic database and should be physically secure. (b) rainfall data may be necessary to check transcriptions from the original or to reassess the collector's interpretation of a doubtful. (c) records from a particular site may need to be verified by re-sampling in response to development activities, or changes in technology may result in an upgrading of standards.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Kemitraan Negara Berkembang (KNB)-Scholarship Collaboration Research Fund. Many thanks to the Master Program of Engineering in Natural Disaster Management, UGM. Thanks and appreciation are address to Balai Litbang Sabo for the provision of access to the data. Sincere appreciation to Akhyar Mushthofa, ST., M.Eng. for his invaluable support of this research.

REFERENCES

Akhyar, M., Hardjosuwarno, S. and Putri, R. N. (2016) 'The effect of lag time on correlation analysis of rainfall data between Radar X-Band and rainfall station in the Merapi volcano area', *Pusat Litbang Sumber Daya Air*, pp. 75–83.

Arattano, M. and Marchi, L. (2005) 'Measurements of debris flow velocity through cross-correlation of instrumentation data', *Natural Hazards and Earth System Science*, 5(1), pp. 137–142.

Balai Sabo (2014) *Sistem Informasi Curah Hujan Spasial di Daerah Gunung Merapi dan sekitarnya untuk keperluan Kebencanaan, Riset dan Informasi Publik melalui WebGIS*. Yogyakarta: Pusat Litbang Sumber Daya Air.

Chen, X. *et al.* (2016) 'Uncertainty of Flood Forecasting Based on Radar Rainfall Data Assimilation', *Advances in Meteorology*, 2016, pp. 1–12.

Fibriyantoro, E. A. (2015) 'Development of Warning

Criteria for Lahar Flow Disaster in Gendol River Area of Mount Merapi', *Journal of the Civil Engineering Forum*, 1(1), pp. 17–22.

Gunn, R. and Kinzer, G. (1949) 'The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air', *Journal of Meteorology*, 6, pp. 243–248.

Hairani, A. *et al.* (2019) 'Snake Line Performance Applying Single Pixel X-Band MP Radar Data (Case of Mt. Merapi Area, Indonesia)', *Journal of the Civil Engineering Forum*, 5(3), pp. 201–210.

Hambali, R., Mawandha, H. G., *et al.* (2018) 'Rain Behaviour at Mt. Merapi Area as Observed by XMPR and ARR', *Applied Mechanics and Materials*, 881, pp. 34–41.

Hambali, R., Legono, D., *et al.* (2018) 'Statistical properties o short-term rainfall time series as observed by XMP Radar (Case of Mt. Merapi area)', *Multi-perspective water for sustainable development*.

Hambali, R. *et al.* (2019) 'Improving Spatial Rainfall Estimates at Mt. Merapi Area Using Radar-Rain Gauge Conditional Merging', *Journal of Disaster Research*, 14(1), pp. 69–79.

Hong, Y. and Gourley, J. J. (2015) *Radar Hydrology Principles, Models, and Applications*. 1st edn, *Radar Hydrology*. 1st edn. Boca Raton, London, New York: CRC Press.

Krajewski W.F. and Smith J.A. (2002) 'Radar hydrology: rainfall estimation', *Advances in Water Resources*, 25, pp. 1387–1394.

Martina, M. L. V., Todini, E. and Libralon, A. (2006) 'A Bayesian decision approach to rainfall thresholds based flood warning', *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(June), pp. 413–426.

Menke, W. and Menke, J. (2012) *Environmental Data Analysis with MATLAB*. 2nd edn, *Elsevier*. 2nd edn. Edited by S. Ikeda and G. Nisbet. London: Glyn Jones.

Mook, F. J. R. van (2002) *Driving rain on building envelopes*. Bouwstenen. Edited by J. A. Wisse, K. Kopinga, and M. H. de Wit. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.

Morin, E. *et al.* (2003) 'Estimating Rainfall Intensities from Weather Radar Data: The Scale-Dependency Problem', *Journal of Hydrometeorology*, 4(5), pp. 782–797.

Sujono, J., Jayadi, R. and Nurrochmad, F. (2018) 'Heavy Rainfall Characteristics at South-West of Mt. Merapi-Yogyakarta and Central Java Province, Indonesia', *International Journal of GEOMATE*, 14(45), pp. 184–191.

Surface Runoff Simulation Using HEC-HMS Application

Case Study: Blongkeng River Basin, Yogyakarta, Indonesia

T. Teng

Department of Civil and Environmental Engineering, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
tengteu@mail.ugm.ac.id

J. Sujono

Department of Civil and Environmental Engineering, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
jsujono@ugm.ac.id

R. Jayadi

Department of Civil and Environmental Engineering, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
rjayadi@ugm.ac.id

ABSTRACT

Continuous flow hydrograph simulation is a crucial basis for flood forecasting, hazard mitigation and water resource management. In the past, Blongkeng river basin used to experience overflow and damage houses in the Ngembek village as well as one primary healthcare centre and elementary schools in Ngluwar sub-district. Furthermore, cold lava and mud from the slopes of Mt. Merapi began inundating houses and farms in Magelang District. The main objective of this study was to simulate flow hydrograph at Blongkeng river basin. Currently, hydrological models have advanced rapidly and become essential tools for human activities effected to the river flow. In this study, HEC-GeoHMS 10.4 integrated with ArcMap 10.4.1 was used to delineate subbasins at Blongkeng river basin using Digital Elevation Model (DEM) data then calculate Curve Number (CN) based on land use and soil type. In addition, HEC-HMS 4.3 application developed by the US Army Corps of Engineers was applied to simulate flow in Blongkeng river basin. SCS CN of loss method and SCS unit hydrograph of transform method were applied to simulate the excess storm water to direct runoff in the watershed. Three years of daily rainfall data from 2005 to 2007 recorded at Pucanganom ARR station were used. The results show that streamflow of watershed 170 contains the highest peak discharge approximately 20.3 m³/s by comparing to other watersheds. In contrast, the smallest discharge is in watershed 140 having amount around 2.6 m³/s. Otherwise, streamflow of the outlet exists the biggest peak discharge about 66 m³/s.

Keywords: Flow hydrograph, Curve Number, and SCS unit hydrograph

1 INTRODUCTION

Sustainable management of limited fresh water sources is a major challenge and extremely significance for the people living in the world. Failure to manage the water resources in an effective manner will adversely affect the society and the economy of the country. Management of water resources in a basin essentially requires understanding of dynamics of basin water and assessment of basin water availability for development use (Sampath *et al.*, 2015). Surface runoff simulation is one of the most common hydrologic analysis in a watershed based on rainfall distribution (Majidi and Shahedi, 2012). Currently, hydrological modelling is a commonly used tool to estimate the basin's hydrological response due to precipitation (Sampath *et al.*, 2015). It allows to predict the hydrologic response to various watershed management practices and to have a better understanding of the impact of these practices (Choudhari *et al.*, 2014). Indeed, there are numerous hydrological models for surface runoff simulation such as SWAT, GIUH, UBCWM, and HEC-HMS. Among of them, HEC-HMS is one of the most popular and suitable one which resulting accurate prediction (Patil

et al., 2019). In this study, HEC-HMS modelling was also selected to simulate continuous flow at Blongkeng river basin because a number of studies have also published a successful usage of HEC-HMS application in generating runoff in different areas and climate conditions around the world (Sok and Oeurng, 2016). Continuous flow output which was produced by modelling was directly utilized or in conjunction with other software for studies of urban drainage, water availability, future urbanization impact, flow forecasting, flood damage reduction, floodplain regulation and system operation.

The objective of this study was to simulate continuous flow at Blongkeng river basin using HEC-HMS 4.3 model.

2 MATERIALS AND METHODOLOGY

2.1 Study Area

This research was conducted in Blongkeng river basin located in Magelang district, Central Java province of Indonesia. The total area of the watershed covers around 70.8 km². There are 13 sub catchments delineated from Digital Elevation Model (DEM) using

HEC-GeoHMS 10.4 tool. The annual average temperature of this catchment is 26.6 °C. Annual average rainfall is 3113 mm. The river, its tributaries and sub catchments were shown in Figure 1. The main river of Blongkeng river is Putith river. The available rainfall for this simulation has only one station namely Pucanganom.

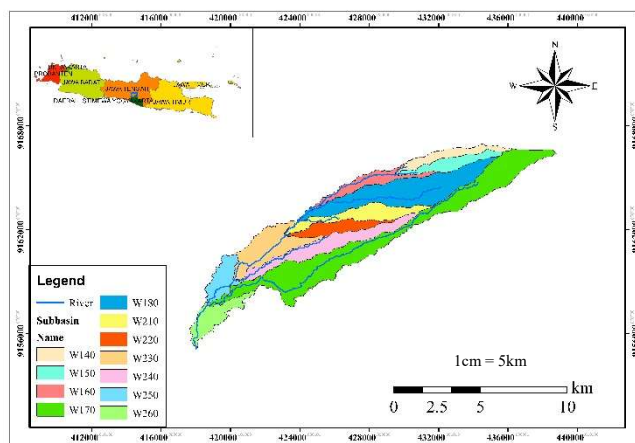


Figure 1. Blongkeng river basin, Central Java, Indonesia

2.2 Rainfall Data

For this assessment, three years of daily rainfall data from 2005 to 2007 collected from a ground rainfall station namely Pucanganom provided by Balai Litbang Sabo was used to simulate continuous flow. The rainfall characteristics of this station is illustrated as the following Figure 2.

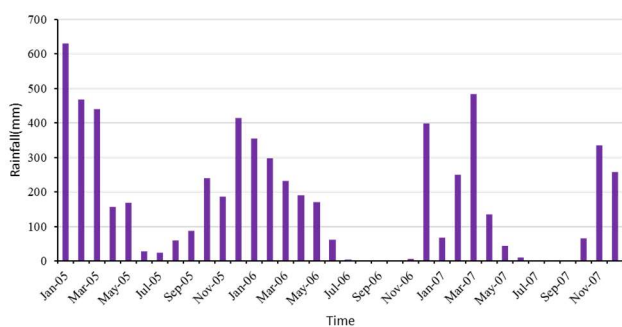


Figure 2. Monthly rainfall characteristic of Pucanganom station

Based on this figure, it can be clearly seen that rainfall characteristics was fluctuated in term of season and the peak monthly rainfall was occurred in January 2015, approximately 620 mm.

2.3 Land Use of Blongkeng River Basin

Land use/cover change is a cause and consequence of climate change and urban development. It is the major driver of current ecosystem and biodiversity change and a key cause of change in freshwater system. Furthermore, Land use/cover is the critical factor that

affects runoff, evaporation, and soil erosion characteristic of the basin (Gebre., 2015). In this study, land use in 2015 was downloaded from Indonesian government website <http://srgi.big.go.id/> then digitized with Google Earth Pro to get current land use as shown following Figure 3.

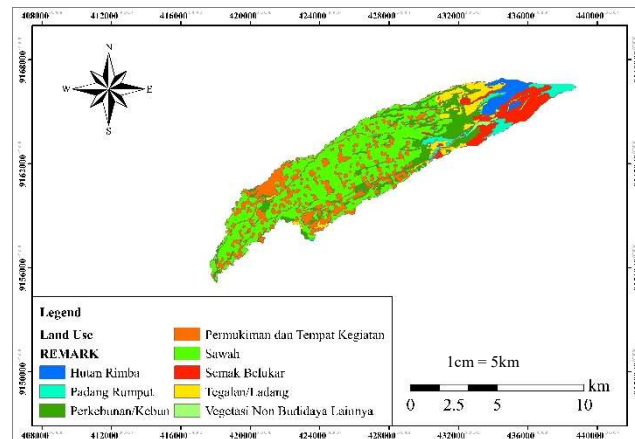


Figure 3. Land use map of Blongkeng river basin

According to this spatial data of land use at Blongkeng basin, we figured out that there were eight types of land use located in this basin: forest, grass, garden, residents and buildings, rice field, shrubs, agriculture and vegetation non cultivation.

2.4 Soil Type of Blongkeng River Basin

The additional key factor of basin property is soil type (Gebre.,2015). It influences the infiltration capacity which is an important function of soil to absorb water at the land surface and either store it for use by plants or slowly release it to groundwater through gravitational flow. When rainfall hits the ground, most water will infiltrate the soil; but some may runoff the surface and some may stand in ruts or depressions before infiltrating or evaporating (Scarnecchia and Magdoff, 1994). Soil type of this study was obtained from HWS Viewer. There are two types of soil in this location: Clay and Loamy Sand as shown in Figure 4. After containing soil type, we can get Hydrologic Soil Group from Table 1 (Chow.,1988). Based on Table 1, there are two types of soil group located in Blongkeng basin: Group A within loamy sand boundary and Group D within clay boundary as illustrated in Figure 4.

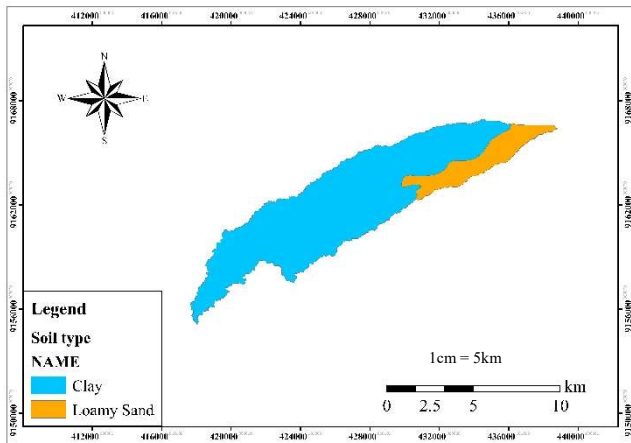


Figure 4. Soil type map of Blongkeng river basin

Table 1: Hydrologic soil group based on soil texture and infiltration rate

N ^o	Soil Texture	Minimum Infiltration Rate (mm/hr)	Hydrological Soil Group
1	Sand	210	A
2	Loamy Sand	61	A
3	Sandy Loamy	26	B
4	Loamy Sand	13	B
5	Silty Loam	6.9	C
6	Sandy Clay Loam	4.3	C
7	Silty Clay Loam	2.3	D
8	Clay Loam	1.5	D
9	Sandy Clay	1.3	D
10	Silty Clay	1	D
11	Clay	0.5	D

2.5 SCS CN

A CN is an index developed by the Soil Conservation Service (SCS) now called the Natural Resource Conservation Service (NRCS), is used to estimate the amount of rainfall that infiltrates into the soil and the amount of surface runoff (Halwatura and Najim, 2013). CN is a dimensionless runoff index value range from 1 to 100 (Ibrahim-Bathis and Ahmed, 2016). A higher CN means more runoff where a CN of 100 means that all the rain will flow as runoff. CN’s value is no greater than 98, even for conventional pavements, since some small amount of rainfall will be held by the surface (Halwatura and Najim, 2013). The estimation of a curve number requires mapping of the soil type and land use within the drainage basin boundaries, and specification of unique soil types and unique land use categories. In this study, CN value was calculated by using HEC-GeoHMS 10.4 tool combined with ArcMap 10.4.1 and the important data using in this calculation were soil type and land use/cover. Theoretically, some equations related to CN calculation was explained below.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \tag{1}$$

Where Q = Runoff (mm); P = Rainfall depth at time (mm); I_a = Initial abstraction (mm) and S = Potential maximum retention (mm).

I_a and S can be calculated from the equations below

$$I_a = 0.2S \tag{2}$$

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \tag{3}$$

Table 2: Curve numbers determination (antecedent moisture condition II, $I_a = 0.2S$)

Land Use Description	Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
Cultivated Land; without conservation treatment	72	81	88	91
with conservation treatment	62	71	78	81
Pasture or range land: poor condition	68	79	86	89
good condition	39	61	74	80
Meadow: good condition	30	58	71	78
Wood or forest land: thin stand, poor cover, no mulch	45	66	77	83
good cover	25	55	70	77
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.				
good condition: grass cover on 75% or more of the area	39	61	74	80
fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area	49	69	79	84
Commercial and business areas (85% impervious)	89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)	81	88	91	93
Residential ³				
Average lot size				
1/8 acre or less	65			
1/4 acre	38	77	85	90
1/3 acre	30	61	75	83
1/2 acre	25	57	72	81
1 acre	20	54	70	80
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.	98	98	98	98
Streets and roads				
Paved with curbs and storm sewers	98	98	98	98
gravel	76	85	89	91
dirt	72	82	87	89

The value of CN was determined by using Table 2 (Chow.,1988) based on land use in each subbasin and soil group getting from table 1. Finally, we got the results of CN, lag time, initial abstraction and time concentration as the following Table 3.

Table 3: Results of HEC-GeoHMS tool calculation

Name	CN	t_{lag} (hr)	I_a (mm)	T_c (min)
W140	78.438	1.061	12.945	47.063
W150	76.797	1.004	14.306	46.078
W160	79.639	1.657	11.984	47.783
W170	73.205	3.562	17.502	43.923
W180	77.596	2.133	13.636	46.558
W210	77.958	2.114	13.337	46.775
W220	75.782	1.813	15.179	45.469
W230	73.467	1.788	17.258	44.080
W240	75.091	2.800	15.786	45.055
W250	70.008	1.395	20.620	42.005
W260	67.143	1.977	23.667	40.286

2.6 SCS Unit Hydrograph

In this study, SCS unit hydrograph of transform method was applied for estimating direct runoff. This method required lag time and curve number as input data. Lag time was calculated by equation below:

$$L = 0.6T_c \tag{4}$$

Where L = lag time (hr) and T_c = time concentration (hr)

2.7 Model Description

2.7.1 HEC-GeoHMS Tool

HEC-GeoHMS is an extension tool for ArcMap created by the US Army Corps of Engineering, Hydrologic Engineering Center (HEC). It is a geospatial hydrology toolkit which allows user to create basin parameters based on topographic data for the use of hydrologic model. In this study, HEC-GeoHMS 10.4 is used to derive a river network of basin and also delineated basin and sub-basins of the Blongkeng watershed from Digital Elevation Model (DEM) data as shown in Figure 6. Additionally, Curve Number (CN) in each subbasin was calculated by this tool. HEC-GeoHMS tool creates the drainage network by analysing the digital terrain data and transforming the drainage paths and watershed boundaries into a hydrologic data structure to represent the drainage network (Ramly and Tahir, 2016). The overview of ArcGIS and HEC-GeoHMS is illustrated in Figure 5 below (Fleming and Doan, 2009).

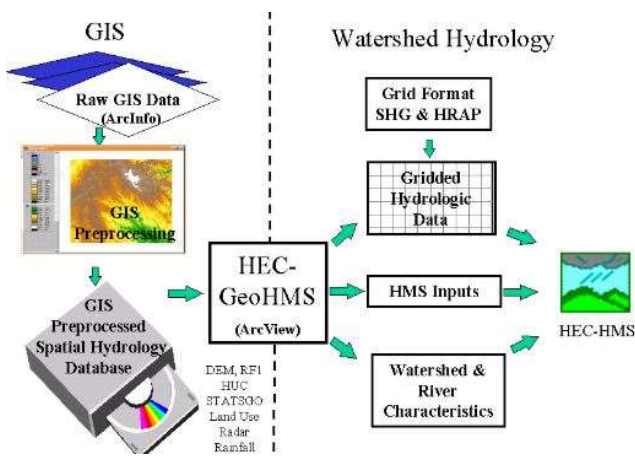


Figure 5. Overview of ArcGIS and hydrological model

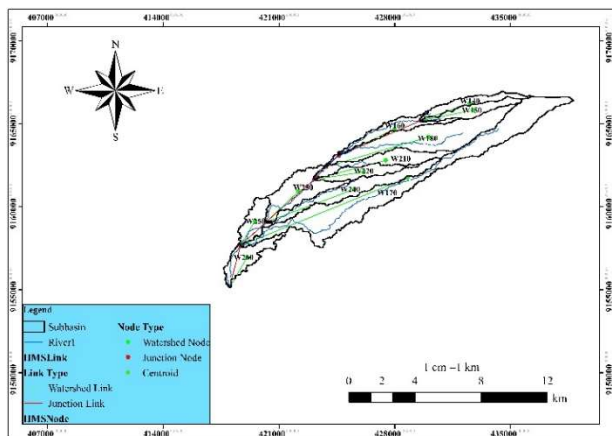


Figure 6. Subbasins delineation from HEC-GeoHMS tool

2.7.2 HEC-HMS Model

The HEC Hydrological Modelling System (HEC-HMS) is a hydrologic model developed to simulate hydrologic processes of the dendritic watershed system. This mathematical model will focus on rainfall-runoff simulation and routing processes in natural or controlled watershed. The spatial data from HEC-GeoHMS could be imported to HEC-HMS, and the model will predict flow, stage, and timing for the basin. HEC-HMS was used in several hydrologic analysis procedure for continuous or event-based analysis for hydrologic analysis (Ramly and Tahir, 2016). Users can select different methods based on existing data and local characteristic. In this study, SCS CN of loss method and SCS unit hydrograph of transform method were selected to simulate continuous flow of Blongkeng river basin.

The HEC-HMS model consists of (i) an analytical model to calculate overland flow runoff as well as channel routing; (ii) an advanced graphical user interface illustrating hydrologic system components with interactive features; (iii) a system for storing and managing data, specifically large, time-variable data set; and (iv) a means for displaying and reporting model outputs (Zema *et al.*, 2017).

Concerning on its structure, the model contains four main components with description as the following:

- *Basin model*: which estimates hydrologic losses (infiltration), rainfall-runoff transformation, baseflow, routing and specifies the general characteristics of the basin
- *Meteorological model*: which calculate the precipitation input required by a sub-basin element
- *Control specification*: specifying the time step, the inception and the simulation period
- *Input data*: to provide the observed hydrological variable to the model, as time-series data, gridded data and/or paired data.

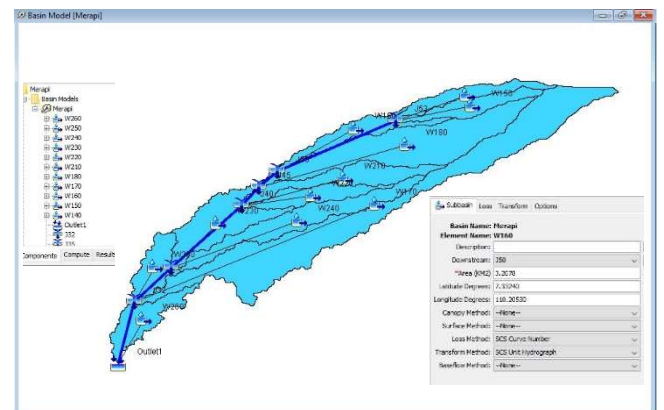


Figure 7. Overview of HEC-HMS application

3 RESULTS AND DISCUSSION

After simulation, we successfully obtained the results as the following: according to Table 4 below, It was clearly seen that among all watersheds, the highest and the lowest peak discharge were in watershed number 170 and 140 respectively, this is due to the size of watershed area. Otherwise, by comparing to the peak discharge amount we figured out that the outlet was stored the biggest amount of peak discharge among others.

Table 4: Summary results of HEC-HMS model simulation

Hydrologic element	Peak discharge (m ³ /s)
W260	3.4
W250	2.8
W240	6.2
W230	5.9
W220	2.9
W210	4.4
W180	11.9
W170	20.3
W160	3.0
W150	2.8
W140	2.6
Outlet1	66

The Figure 8 below is the outlet streamflow simulation, this hydrograph indicated that the most peak flow was frequently occurred in the early month of 2005, and the highest amount was approximately 67 m³/s in 2005. Generally, the most frequent fluctuation was in rainy season based on this graph because rainfall intensity increasingly flowed to the stream catchment during rainy season.

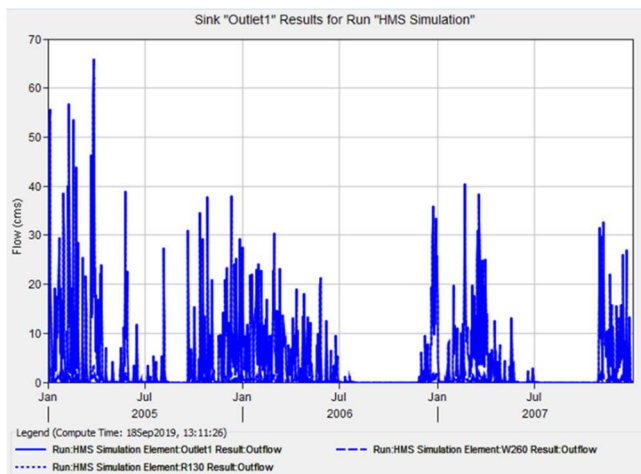


Figure 8. Continuous flow simulation of the outlet

For Figure 9 as seen below, the excess flow of watershed 170 was critical variation from 2005 to 2007. Otherwise, the most of peak discharge was jumped about 21 m³/s, in the middle of January and

July in 2005 because high rainfall intensity dropped in this period. Furthermore, the rest was fluctuated depend upon the rainfall characteristic which was most frequently in the early month of each year. Other than that, the water depth was varied similarly to flow characteristic but different in capacity, the highest one was approximately 157 mm and the rest was fluctuated from 0 mm as baseflow value to 80 mm.

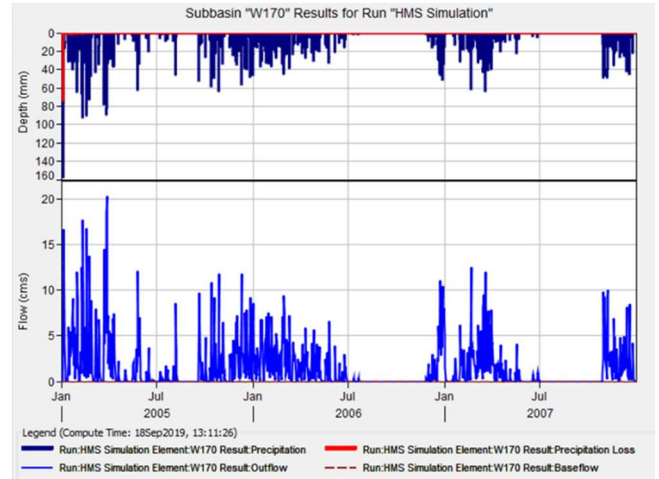


Figure 9. Continuous flow simulation of watershed 170

Watershed 140 as shown in Figure 10 was the smallest amount of water flow comparing to other watersheds which the highest flow was only 2.5 m³/s in the middle of January and July in 2005 this is due to the small watershed responding to the rainfall characteristic. besides, the variation of rainfall depth changed in similar pattern to the flow and biggest one was about 160 mm and the rest was around 0 mm to 80 mm which responded to rainfall characteristic.

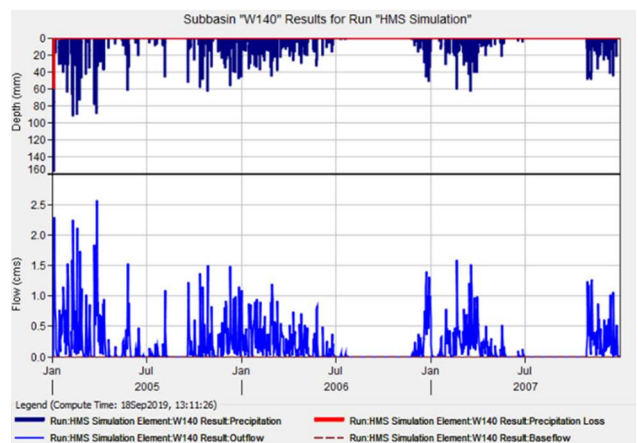


Figure 10. Continuous flow simulation of watershed 140

4 CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

To sum up, after using HEC-GeoHMS 10.4 tool integrated with ArcMap 10.4.1 as the parameters determination to input into HEC-HMS 4.3 application for continuous flow simulation in Blongkeng river

basin, we figured out that continuous flow simulation was successfully achieved. Somehow, the results were not acceptable and reliable yet because there were no observed discharge data for calibration and no direct field observation. Based on results simulation, the peak discharge was in Outlet and watershed 170 containing about 66 m³/s and 20.3 m³/s respectively. In contrast, the smallest discharge was located in watershed 140 which was around 2.6 m³/s.

According to this simulation, we found that this study needs to improve for results accuracy. The following descriptions are some recommendations we should enhance for next research:

- In order to obtain the accurate effective rainfall, land use and soil type data should be verified with field observation,
- Catchment rainfall should be calculated from the observed rainfall data of reliable number of rainfall stations,
- The simulated flow hydrograph should be verified using the real flow hydrograph that can be derived using a hypothetical rating curve,
- Meteorological data such as evapotranspiration, and weather data so on and so for should be considered into this simulation.

ACKNOWLEDGMENTS

My heartfelt thanks forward to Kemitraan Negara Berkembang (KNB) scholarship for funding financial support of my studying and Balai Litbang Sabo for kindly providing the data for this research.

REFERENCES

- Choudhari, K., Panigrahi, B. and Paul, J. C. (2014) 'Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore', *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 5(2), pp. 253–265.
- Fleming, M. and Doan, J. (2009) 'HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension Version 4.2', (May).
- Gebre, S. L. (2015) 'Application of the HEC-HMS Model for Runoff Simulation of Upper Blue Nile River Basin', *Journal of Waste Water Treatment & Analysis*, 06(02).
- Halwatura, D. and Najim, M. M. M. (2013)

'Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment', *Environmental Modelling and Software*, 46(August 2016).

Ibrahim-Bathis, K. and Ahmed, S. A. (2016) 'Rainfall-runoff modelling of Doddahalla watershed—an application of HEC-HMS and SCN-CN in ungauged agricultural watershed', *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3), pp. 1–16.

Majidi, a and Shahedi, K. (2012) 'Simulation of Rainfall-Runoff Process Using Green-Ampt Method and HEC-HMS Model (Case Study: Abnama Watershed, Iran)', *International Journal of Hydraulic ...*, 1(1), pp. 5–9.

Patil, V. K. *et al.* (2019) 'Simulation of Rainfall Runoff Process Using HEC-HMS Model for Upper Godavari Basin Maharashtra, India', *European Journal of Engineering Research and Science*, 4(4), pp. 102–107.

Ramly, S. and Tahir, W. (2016) 'Isfram 2015', *Isfram 2015*.

Sampath, D. S., Weerakoon, S. B. and Herath, S. (2015) 'HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment with intra-basin diversions – case study of the Deduru Oya river basin, Sri Lanka', *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 48(1), p. 1.

Scarnecchia, D. L. and Magdoff, F. (1994) *Building Soils for Better Crops. Organic Matter Management, Journal of Range Management*.

Sok, K. and Oeurng, C. (2016) 'Application of HEC-HMS Model to Assess Streamflow and Water Resources Availability in Stung Sangker Catchment of Mekong' Tonle Sap Lake Basin in Cambodia', *Institute of Technology of Cambodia*, (December), pp. 1–16.

Ven Te Chow, Maidment, D.R., Mays, L.W., 1988. APPLIED

Zema, D. A. *et al.* (2017) 'Comparing Different Infiltration Methods of the HEC-HMS Model: The Case Study of the Mésima Torrent (Southern Italy)', *Land Degradation and Development*, 28(1), pp. 294–308.

Kapasitas Kontrol Bangunan Pengendali Sedimen (Sabo Dam) Bagian Hulu Sungai Gendol Sebagai Pengendali Aliran Lahar Gunung Merapi

P. Swastika

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
paulaswastika89@gmail.com

D. Legono

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
djokolegono@ugm.ac.id

B. Yulistiyanto

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
yulis@ugm.ac.id

N. Widodo

Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak, Kementerian PUPR, Yogyakarta, INDONESIA
naryowidodo69@gmail.com

INTISARI

Merapi adalah salah satu gunung teraktif di Indonesia. Erupsi eksplosif Gunung Merapi pada Oktober 2010 menghasilkan 140 juta m³ sedimen, sementara erupsi freatik pada Mei 2018 berupa semburan awan panas dan guguran material. Fase erupsi 2018 membawa periode status “waspada” relatif panjang sejak Mei 2018 hingga saat ini. Besarnya sumber sedimen yang terakumulasi di puncak Merapi tahun 2010, berpeluang terjadi kembali sehingga perlu dilakukan mitigasi bencana erupsi Merapi selanjutnya. Bangunan Sabo merupakan teknik penanggulangan sedimen yang telah diterapkan selama ini. Sabo dam menahan dan mengendalikan laju aliran sedimen ke arah hilir sehingga mengurangi besarnya daya rusak yang ditimbulkan dari letusan Merapi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kapasitas sedimen kontrol, mengetahui penyebab rusaknya sabo dam dan usaha penanggulangannya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi lapangan, studi pustaka, dan pendekatan deskripsi kualitatif. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh rencana total sedimen kontrol bagian hulu mulai dari hulu GE-D sampai batas hulu GE-D1 sejumlah 1.1562.244 m³ dan total keseluruhan sedimen kontrol pada sistem sabo dam Sungai Gendol sebesar 2.068.744 m³. Secara teknis, hasil penelitian ini digunakan sebagai bahan informasi dalam melakukan revitalisasi bangunan sabo dan tinjauan ulang rencana pembangunan pada sistem pengendalian banjir lahar di daerah vulkanik lainnya.

Kata kunci: erupsi, sabo dam, sedimen.

1 PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan yang mempunyai letak sangat strategis karena terletak diantara dua benua yaitu Benua Asia dan Australia dan juga terletak diantara dua samudra yaitu Samudra Hindia dan Samudra Pasifik, serta berdekatan dengan pertemuan tiga lempeng tektonik besar yaitu lempeng Eurasia, Australia dan Pasifik. Indonesia juga dilalui oleh tiga lingkaran gunung api yaitu gunung api jalur pegunungan Mediterania, jalur Australia dan jalur Pasifik. Iklim Indonesia adalah tropis basah yang mempunyai dua musim utama yaitu musim kemarau yang terjadi sekitar bulan April sampai Oktober dan musim penghujan di sekitar bulan Oktober sampai April. Dengan adanya kombinasi keadaan alam seperti tersebut maka di Indonesia sering terjadi bencana alam, dimana salah satu adalah bencana alam akibat aliran

sedimen, seperti banjir lahar, tanah longsor, banjir bandang dan sebagainya yang umumnya terjadi pada waktu musim hujan. Bencana ini telah banyak merugikan masyarakat berupa kerugian harta benda bahkan korban jiwa manusia.

Gunung Merapi merupakan salah satu gunung teraktif di Indonesia yang terletak pada koordinat 7°32,5'LS dan 110°26,5'BT. Secara administratif Gunung Merapi berada di wilayah kabupaten Sleman Provinsi DIY, kabupaten Magelang, Boyolali, Klaten, di Provinsi Jawa Tengah. Gunung dengan ketinggian 2.968 meter dari permukaan air laut ini adalah gunung api tipe strato dengan kubah lava. Erupsi Merapi secara eksplosif pada tahun 2010 mengeluarkan material yang banyak sekali jumlahnya, dalam berbagai bentuk, dari hujan abu sampai hujan pasir dan kerikil juga menghasilkan lava dan lahar serta aliran piroklastik yang

menimbulkan bencana alam, namun juga memberikan manfaat bagi kesuburan tanah dan material untuk penambangan bahan galian golongan C. Aliran piroklastik berlangsung saat erupsi terjadi sedangkan aliran lahar dingin berlangsung setelah erupsi terjadi. Erupsi Merapi pada Oktober 2010 menghasilkan 140 juta m³ sedimen yang berada di puncak Merapi (Yachiyo Engineering, 2013). Endapan sedimen tersebut merupakan potensi yang dapat menyebabkan aliran lahar dingin yang berlangsung terus menerus selama terjadi hujan dengan intensitas dan durasi tertentu dan selama masih ada sedimen yang tertimbun di puncak Merapi. Erupsi kembali terjadi pada Mei 2018 (BPPTKG, 2018). Fenomena erupsi yang terjadi pada tahun 2018 masih memiliki pola awal yang sama dengan erupsi yang terdahulu yaitu merupakan letusan freatik berupa semburan awan panas dan guguran material. Namun pada fase erupsi di tahun 2018 periode status “waspada” relatif panjang sejak Mei 2018 hingga saat ini. Mengingat besarnya sumber sedimen yang terakumulasi di sekitar puncak Merapi tahun 2010, maka fenomena yang sama seperti pada tahun 2010 dapat terulang kembali terjadi sehingga perlu dilakukan mitigasi terhadap bencana erupsi Merapi yang selanjutnya.

Bangunan Sabo merupakan teknik penanggulangan sedimen yang telah diterapkan selama ini. Sabo dam menahan dan mengendalikan laju aliran sedimen ke arah hilir sehingga mengurangi besarnya daya rusak yang ditimbulkan dari letusan Merapi. Pembangunan sabo bertujuan untuk melindungi masyarakat dan tempat tinggal beserta harta kekayaannya dari gangguan bencana alam yang diakibatkan oleh erosi dan aliran sedimen, memelihara kelestarian alam dan lingkungan serta melindungi daerah perkotaan, pedesaan serta bangunan-bangunan, asset dan fasilitas umum dari bencana yang diakibatkan oleh aliran sedimen, dalam penelitian ini di Daerah Istimewa Yogyakarta. Bangunan sabo atau bangunan pengendali sedimen yang sudah ada di sekitar Gunung Merapi manfaatnya sangat besar pada waktu suplai sedimen dari hulu relatif besar, yaitu memberikan bahan galian C yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat. Di sisi lain pada waktu suplai sedimen dari hulu semakin berkurang, maka keberadaan bangunan pengendali sedimen ini lebih sering dinilai sebagai salah satu penyebab utama terjadinya degradasi dasar sungai yang intensif di alur sebelah hilir bangunan sabo. Berdasarkan dari pengalaman penanggulangan bencana sedimen yang telah dilakukan, maka permasalahan dalam manajemen atau pengelolaan bencana sedimen saat ini didominasi oleh isu degradasi lingkungan yang merupakan suatu problem yang kompleks.

Penelitian mengenai Kapasitas Kontrol Bangunan Pengendali Sedimen (Sabo Dam) Bagian Hulu Sungai Gendol Sebagai Pengendali Aliran Lahar Gunung Merapi bertujuan untuk menganalisis kondisi sedimen kontrol, mengidentifikasi kerusakan bangunan dan menjelaskan usaha penanganan dalam rehabilitasi bangunan untuk mengantisipasi adanya aliran lahar Merapi selanjutnya. Penelitian ini diharapkan dapat memperoleh gambaran yang lebih jelas menyangkut volume kontrol material di alur sungai dan usaha penanggulangan dalam rehabilitasi bangunan pengendali sedimen. Secara teknis, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan informasi dan tinjauan ulang rencana pembangunan pada sistem pengendalian banjir lahar di daerah vulkanik lainnya.

1.1 Bangunan Sabo di Sungai Gendol

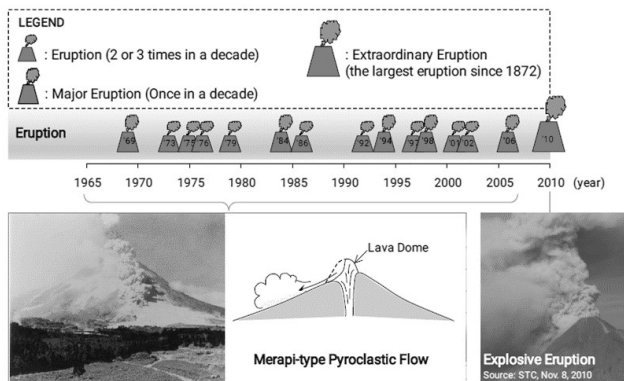
Berdasarkan fenomena pergerakan material yang sangat besar dan cepat dari hulu Sungai Gendol pada 5 November 2010, maka Sungai Gendol ditetapkan sebagai lokasi yang dikaji dalam penelitian ini. Sungai gendol merupakan anak sungai dari Sungai Opak dan mengalir ke arah tenggara dengan panjang sungai 22 km serta luas DAS 14.60 km². Bangunan sabo saat ini di Sungai Gendol sejumlah 22 bangunan. Ruang lingkup penelitian meliputi identifikasi jumlah sedimen kontrol pada bangunan pengendali sedimen dan identifikasi penyebab kerusakan serta usaha penanggulangannya. Data teknis dan data *existing* sabo dam merupakan data sekunder.

1.2 Erupsi Gunung Merapi dan Imbangan Sedimen

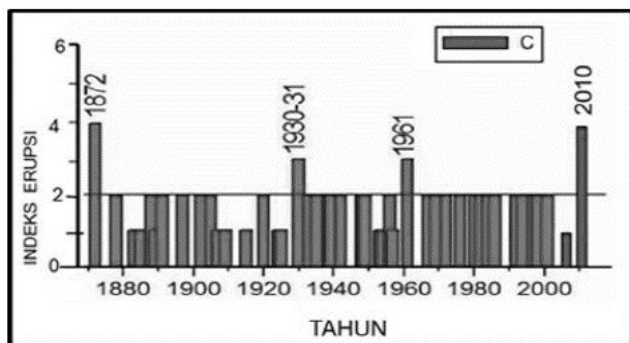
Erupsi Gunung Merapi mempunyai beberapa siklus, yaitu siklus kecil 2-3 tahun sekali dan siklus besar 10-15 tahun sekali (Gambar 1). Berdasarkan informasi Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) dalam sukutja et al (2017) mengenai grafik indeks erupsi Merapi tahun 1872 - 2010 pada Gambar 2, ditunjukkan bahwa erupsi Merapi dengan skala indeks erupsi 4 terjadi pada tahun 1872, dan 2010. Erupsi dengan skala besar tersebut dikenal sebagai periode erupsi 100 tahun.

Bencana sedimen potensial terjadi di daerah pegunungan, perbukitan terjal, daerah gunung api, dan daerah dengan kondisi geologi yang rentan terhadap erosi dan longsoran. Bencana sedimen yang banyak terjadi di Indonesia adalah erosi, sedimentasi, tanah longsor, serta banjir lahar (aliran debris). Aliran lahar atau yang dalam ilmu teknik sipil disebut sebagai aliran debris berpengaruh signifikan terhadap perubahan morfologi sungai sehingga dengan demikian juga berpengaruh terhadap kelestarian fungsi sungai itu sendiri. Secara umum faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kejadian aliran debris pada wilayah gunung api adalah kemiringan lereng, jumlah material, faktor

topografi dan geologi tanah, luas daerah pengaliran sungai, serta curah hujan. Aliran debris adalah suatu aliran massa berupa campuran antara air dan sedimen dengan konsentrasi yang sangat tinggi, yang terjadi karena kesetimbangan statik antara gaya geser yang ditimbulkan lebih besar dari gaya geser yang menahan, maka jumlah massa yang mengalir, ketinggiannya, serta kecepatannya akan selalu bertambah (memiliki percepatan). Faktor kemiringan dasar sungai sangat mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi.



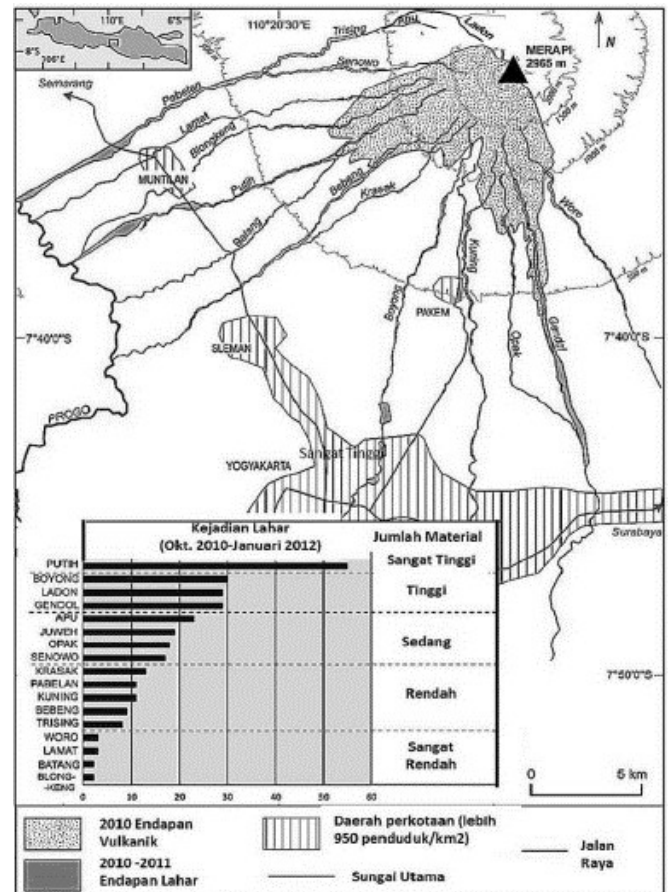
Gambar 1. Siklus erupsi Gunung Merapi (Yachiyo Engineering Co Ltd, 2013)



Gambar 2. Grafik erupsi Merapi tahun 1872-2010 (PVMBG dalam Sukatja et al, 2017)

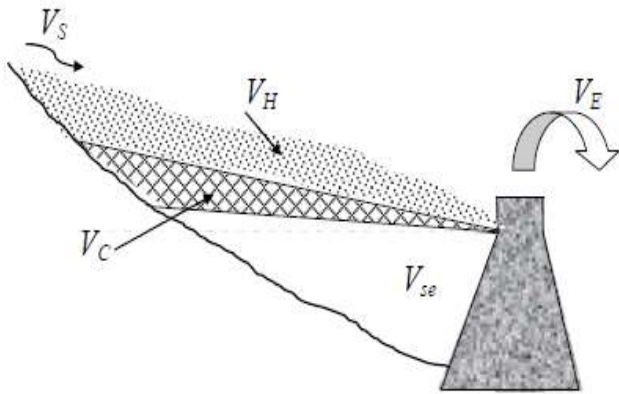
Dampak dari mega-erupsi 2010 tersebut (Gambar 3), menimbulkan sebaran awan panas, menghanguskan area sejauh 8,5 km ke arah lereng Selatan dengan konsentrasi endapan di Sungai Gendol mencapai 14 km. Pada saat turun hujan koefisien pelimpasan (*runoff*) bervariasi, bergantung dari topografi, tipe tanah, dan kelengasan tanah. Adanya material halus dari abu vulkanis yang ada di permukaan material vulkanis akan menaikkan tingkat limpasan serta mempercepat terjadinya pelepasan limpasan. Permukaan material vulkanis yang tertutup abu vulkanis akan mengalami penurunan kapasitas infiltrasi, sehingga ketika terjadi hujan akan menginduksi limpasan permukaan dalam jumlah besar yang pada akhirnya meningkatkan terjadinya erosi.

Gunung Merapi mempunyai predikat sebagai gunung api aktif di dunia. Dalam sejarah erupsinya Gunung Merapi mensuplai material vulkanis dengan banyak variasi, sehingga dalam merencanakan sabo dam sebagai pengendali lahar di daerah Gunung Merapi hendaknya mempunyai *master plan* untuk perencanaan sabo dam dalam jangka panjang yang memperhitungkan periode erupsi 100 tahun.



Gambar 3. Peta kejadian lahar dan sebaran material erupsi Merapi (Bélizal, 2013)

Hal penting terkait mitigasi bencana aliran sedimen adalah kapasitas bangunan pengendali sedimen. Kapasitas bangunan sabo dam adalah kemampuan menampung, menahan dan mengontrol terhadap aliran sedimen. Kapasitas ini dihitung dengan mempertimbangkan parameter-parameter, antara lain: lebar sungai, tinggi rencana bangunan sabo dam, kemiringan dasar sungai sebelum ada bangunan sabo dam dan kemiringan dasar sungai rencana (Sukarna, 2003) dalam Rahmat (2007). Kapasitas bangunan sabo dam didasari pada potensi aliran sedimen dalam kurun waktu tertentu, dimensi bangunan dan jumlah bangunan. Menurut Takahashi dalam Bawias, 2012, sketsa keseimbangan sedimen pada suatu struktur dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 4. Sketsa keseimbangan sedimen pada suatu struktur

Berdasarkan Gambar 4, maka persamaan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$V_E = V_s - (V_H + V_c + V_{se}) \quad (1)$$

dimana V_E adalah volume sedimen yang meluap ke struktur (m^3), V_s adalah volume sedimen yang memasuki hulu struktur (m^3), V_H adalah volume sedimen yang terperangkap di hulu struktur (m^3), V_c adalah volume kontrol sedimen (m^3), dan V_{se} adalah tumpukan mati (m^3).

2 METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan beberapa metode. Untuk mengetahui kapasitas sedimen kontrol, penyebab rusaknya sabo dam dan usaha penanggulangannya melalui metode studi pustaka dan pendekatan penelitian deskriptif kualitatif. Penelitian ini juga menggunakan metode observasi lapangan untuk mengetahui kesesuaian usaha penanggulangan kerusakan yang terjadi. Penelitian menggunakan data primer dan sekunder. Pengambilan data primer berupa observasi lapangan dan wawancara. Teknik wawancara yang digunakan merupakan wawancara non kuesioner dengan jumlah responden 20 orang, meliputi masyarakat sekitar daerah penelitian, dan instansi-instansi yang terkait. Hasil wawancara dianalisis melalui penjabaran secara deskripsi. Observasi lapangan untuk pengambilan dokumentasi dilakukan pada bulan Juli dan Oktober 2019. Observasi lapangan dilakukan di Sungai Gendol bagian hulu tepatnya pada proyek rehabilitasi bangunan sabo oleh Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak. Dokumentasi data sekunder diperoleh dari Kantor PPK PLG Merapi BBWS Serayu Opak Yogyakarta dan Yachiyo Engineering, Co,Ltd.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kapasitas Bangunan Pengendali Sedimen

Kajian ini menghitung volume kontrol berdasarkan kondisi *existing* fasilitas sabo pasca erupsi Merapi dan berdasarkan kondisi *review design* sabo setelah dilakukan rehabilitasi dan pembangunan baru. Dari kajian yang dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, total sedimen kontrol *existing* di bagian hulu (bangunan GE-D sampai GE-D1) sebesar $707.741 m^3$ dan total sedimen kontrol keseluruhan bangunan sebesar $1.630.293 m^3$, sedangkan total sedimen kontrol *review design* di bagian hulu sebesar $1.156.244 m^3$ dan total sedimen kontrol keseluruhan sebesar $2.068.744 m^3$. Jumlah sedimen berlebih merupakan jumlah sedimen yang diperoleh dengan mengurangi desain jumlah pembuangan sedimen yang diijinkan dari jumlah pembuangan sedimen di titik referensi sekunder. Hal ini menunjukkan bahwa jika jumlah sedimen berlebih Sungai Gendol sebesar $2.067.000 m^3$, maka sedimen kontrol ratio pada bangunan pengendali sedimen *existing* sebesar 78,9%, sedangkan berdasarkan hasil *review design* maka sedimen kontrol ratio mencapai 100%. Volume kontrol bangunan pengendali sedimen berdasarkan *review design* saat ini mempunyai jumlah yang lebih besar untuk dapat menahan aliran lahar dibandingkan kondisi *existing* pasca erupsi Merapi 2010.

4.2 Kerusakan Sabo Dam dan Penanggulangannya

Pengendalian aliran lahar di gunung api aktif harus mempertimbangkan perubahan aktivitas vulkanik yang terjadi (periode erupsi) dan perubahan kondisi daerah tangkapan air wilayah sungainya. Apabila mengabaikan faktor perubahan aktivitas vulkanik yang terjadi, sabo dam akan dipenuhi sedimen hanya dengan beberapa gelombang aliran lahar saja. (Sukatja et al, 2017). Akumulasi dari material sedimen yang datang dalam beberapa gelombang, sebagian ada yang tertahan dan memenuhi bagian tengah sabo dam, sehingga ketika aliran lahar berikutnya mengalir akan melalui bagian yang rendah, merambat melalui tumpukan material lama, kemudian melimpas melampaui sayap-sayap sabo dam, serta jatuh mengenai tebing sungai di hilir sabo dam. Hal tersebut mengakibatkan tebing sungai tergerus dan gelombang aliran lahar yang mengalir melalui pelimpah sabo dam dalam beberapa kali dapat mengakibatkan gerusan lokal semakin dalam. Bila hal ini terjadi secara berulang akan mengakibatkan sabo dam runtuh atau rusak berat (Munir, 2015).

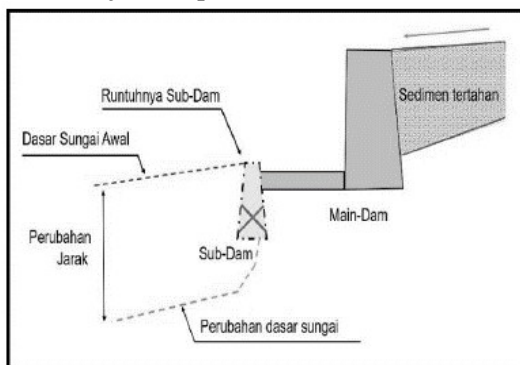
Tabel 1. Efek sedimen kontrol pada bangunan pengendali sedimen

Kondisi	Jumlah sedimen berlebih pasca erupsi Merapi 2010 (m ³)	Volume Kontrol (V _c) (m ³)	Ratio sedimen kontrol (%)	Keterangan
<i>Existing</i>	2,067,000	700,741	33.9	Hulu
<i>Review</i>		1,630,293	78.9	Seluruh bangunan
<i>Design</i>		1,156,244	55.9	Hulu
		2,068,744	100	Seluruh bangunan

Berdasarkan identifikasi melalui observasi dan dari data kerusakan sabo dam akibat banjir lahar pasca erupsi 2010 oleh Yachiyo Engineering, Co. Ltd, penyebab kerusakan bangunan sabo dam Sungai Gendol bagian hulu antara lain disebabkan oleh:

a) Degradasi dasar sungai

Kecepatan aliran lahar yang tinggi, dengan perbandingan antara pasokan sedimen dan sedimen yang terangkut tidak seimbang menyebabkan degradasi dasar sungai di bagian hilir sabo dam. Degradasi dasar sungai di bagian hilir tersebut bila terjadi secara terus-menerus akan melemahkan fondasi sabo dam. Hal ini mengakibatkan fondasi dari sub-dam menggantung, yang pada akhirnya memicu runtuhnya bangunan secara keseluruhan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Degradasi dasar sungai pada bangunan sabo dam (Yachiyo Engineering Co Ltd, 2013)

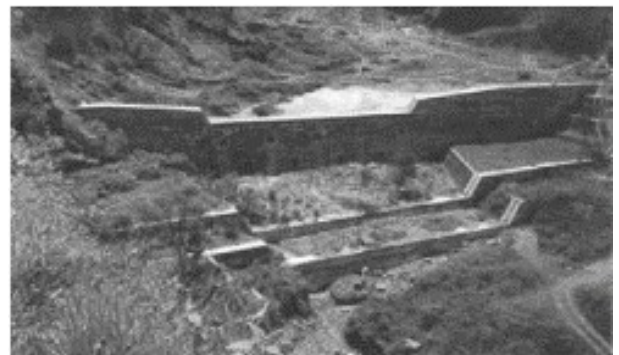
Penanggulangan terhadap degradasi dasar sungai dapat dilakukan dengan menambah sub dam atau menambah lantai apron. Hal tersebut bertujuan untuk memperbaiki dasar sungai dan mengurangi kemiringan lereng. Berdasarkan observasi lapangan pada Juli 2019, perpanjangan lantai apron dilakukan pada rehabilitasi bangunan GE-D5. Gambar 6 menunjukkan bangunan sabo dam GE-D5 sebelum penambahan lantai apron, Gambar 7 Sabo dam GE-D5 dengan penambahan lantai apron, dan Gambar 8 adalah bangunan GE-D2 dengan penambahan sub dam.

b) Lahar yang melimpas pada sayap *main dam*

Aliran lahar yang melimpas dan mempunyai kekuatan yang besar dapat merambat menaiki

tumpukan material endapan lama dan melimpas pada sayap *main dam*. Limpasan aliran lahar pada bagian sayap *main dam* akan jatuh mengenai tebing sungai di hilir bangunan sabo. Hal ini mengakibatkan tebing sungai akan tergerus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

Penanggulangan limpasan lahar pada sayap dan pelimpah *main-dam* dapat dilakukan dengan melakukan perkuatan di bagian hulu sayap. Perkuatan tersebut dilakukan untuk mencegah runtuhnya sabo dam akibat fondasi *main dam* yang menggantung, seperti pada Gambar 10. Puncak sayap *main dam* yang dibuat miring ke dalam selain untuk mencegah berhentinya batu di lokasi tersebut juga sebagai estetika bentuk bangunan. Perkuatan pada sayap dilakukan pada bangunan sabo dam GE-D3 (Gambar 11 dan 12).



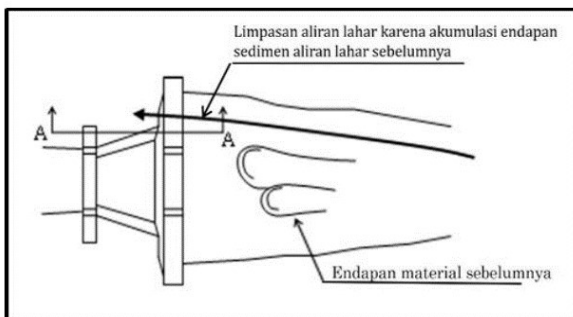
Gambar 6. Kondisi awal Sabo dam GE-D5 (Mananoma, 2006)



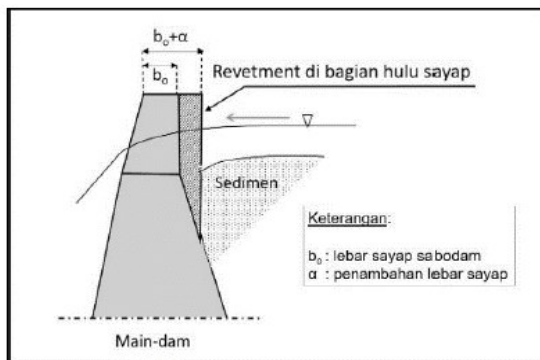
Gambar 7. Sabo dam GE-D5 dengan penambahan lantai apron



Gambar 8. Sabo dam GE-D2 dengan penambahan sub dam



Gambar 9. Limpasan aliran lahar pada sayap *main dam* (Yachiyo Engineering Co Ltd, 2013)



Gambar 10. Perkuatan pada sayap bagian hulu (Yachiyo Engineering Co Ltd, 2013)



Gambar 11. Tampak dari hulu perkuatan pada sayap sabo dam GE-D3 (Dokumentasi Abipraya, 2019)



Gambar 12. Tampak dari hilir perkuatan pada sayap sabo dam GE-D3 (Dokumentasi Abipraya, 2019)

5 KESIMPULAN

Pengendalian aliran lahar harus mempertimbangkan perbandingan antara jumlah persediaan material vulkanis di hulu sungai yang harus dikendalikan dengan sabo dam yang akan dibangun. Penambahan jumlah sabo dam dan rehabilitasi yang dilakukan saat ini memperbesar jumlah volume kontrol. Rehabilitasi sabo dam bagian hulu yang dilakukan merupakan bentuk mitigasi struktural terhadap bencana erupsi Merapi selanjutnya. Usaha penanggulangan kerusakan tersebut dapat digunakan pula sebagai dasar untuk merehabilitasi desain dan struktur bangunan sabo pada sistem pengendalian banjir lahar di daerah vulkanik lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Kantor PPK Pengendalian Lahar Gunung Merapi Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak dan Yachiyo Engineering Co. Ltd yang telah memberikan dukungan data.

REFERENSI

Bawias, Y.A. (2012). "Effect of Sand Mining Activity on the Sediment Control System." Tesis, Program Studi Magister Pengelolaan Bencana Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Bélizal, E. (2013). "Volcaniclastic Deposits as a Resource and Sand Mining: New Insights for Disaster Risk Reduction." Workshop Sedimen, Yogyakarta, 30-31 Juli 2013.

BPPTKG. (2018). Laporan Aktivitas Gunung Merapi. <https://www.instagram.com/p/BjbldoWH0ml/> (diunduh Mei 2018).

Mananoma, T., Rahmat, A., dan Legono, D., (2006). "Prediksi Kapasitas Tampung Sedimen Kali Gendol terhadap Material Erupsi Merapi 2006." Seminar PIT

XXIII Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI), Manado, 10-12 November 2006.

Munir, M.D dan Djudi. (2015). “Kerusakan Bangunan Pengendali Sedimen (Sabo dam) Pasca Erupsi Gunungapi Merapi 2010. ”Proceeding Seminar Nasional Kebumihan ke-8”, Academia Industry Linkage, 15-16 Oktober 2015, 128-140.a.

Rahmat, A. (2006). “Pengelolaan Sedimen Kali Gendol Pasca Erupsi Merapi Juni 2006.” Tesis, Program Studi

Magister Pengelolaan Bencana Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Sukatja, C.B dan Alfianto, A. (2012). “Revitalisasi Sabo Dam Sebagai Pengendali Aliran Lahar.” Jurnal Teknik Hidraulik, Vol 8, No 1, Juni 2017, 29 – 42.

Yachiyo Engineering Co., Ltd. (2013). “Effect and Damage of Sabo Facility in 2010 Eruption of Mount Merapi.” *Report on the study of sabo dam damage as lahar flow controller in Merapi volcano area.*

Analisis Ketersediaan Air Embung Tambakboyo dengan Metode F.J.Mock dan SNI 6738:2015

A. D. P. Anwar

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
adzharyade@gmail.com

D. Anggraheni

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
dina.anggraheni@uii.ac.id

INTISARI

Penelitian analisis ketersediaan air embung tambakboyo dengan metode model F.J.Mock dan SNI 6738:2015 di latar belakang oleh pemanfaatan embung tambakboyo yang belum maksimal guna pemenuhan kebutuhan air baku di masyarakat sekitar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi air embung tambakboyo guna mengetahui apakah air yang tersedia mampu mencukupi kebutuhan masyarakat sekitar. Metode yang digunakan dalam analisis data untuk menghitung ketersediaan air adalah metode F.J. Mock dan SNI 6738:2015. Berdasarkan hasil analisis perhitungan debit andalan model *Mock* Embung Tambakboyo dalam periode 10 tahun didapatkan debit maksimum sebesar 1,919 m³/dt, dan debit minimum sebesar 0,013 m³/dt. Hasil perhitungan debit andalan metode SNI 6738:2015 dalam periode 10 tahun didapatkan debit maksimum sebesar 1,222 m³/dt, dan debit minimum dengan debit 0,397 m³/dt. Hasil perhitungan potensi air berdasarkan SNI 19-6728.1-2002 didapatkan hasil sebesar 0,2621 m³/dt. Potensi kebutuhan air pertanian sebesar 0,01712 m³/dt. Potensi kebutuhan air tambak sebesar 0,08144 m³/dt. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa ketersediaan air sangat melimpah dan dapat memenuhi kebutuhan air bagi masyarakat di sekitar Embung Tambakboyo.

Kata kunci: embung, ketersediaan air, potensi air, F.J.Mock, SNI 6738:2015

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting untuk kelangsungan hidup dan kegiatan komersial seperti pertanian, perikanan, air minum, industri, dan lainnya. Semakin bertambahnya jumlah dan kebutuhan penduduk di suatu wilayah, hal ini akan menyebabkan keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air di sekitar wilayah tersebut terganggu. Embung merupakan tampungan air atau waduk berukuran kecil di lahan pertanian yang bertujuan untuk menampung kelebihan air pada waktu musim penghujan. Air yang ditampung tersebut selanjutnya digunakan sebagai sumber irigasi suplemen untuk budidaya komoditas pertanian bernilai ekonomi tinggi di musim kemarau atau di saat curah hujan makin jarang. Embung merupakan salah satu teknik pemanenan air yang sangat sesuai di segala jenis agro ekosistem. Sementara pada ekosistem tadah hujan atau lahan kering dengan intensitas dan distribusi hujan yang tidak merata, embung dapat digunakan untuk menahan kelebihan air dan menjadi sumber air irigasi. Secara operasional embung berfungsi untuk mendistribusikan dan menjamin kontinuitas ketersediaan pasokan air untuk keperluan tanaman atau ternak (Pedoman Teknis

Konservasi Air, 2007). Embung Tambakboyo dibangun di hilir Sungai Tambakboyo dan Sungai Buntung dengan luas genangan embung sebesar 7,8 Ha. Volume Tampung embung mencapai 400.000 m³. Embung Tambakboyo merupakan salah satu contoh upaya pemerintah untuk memenuhi kebutuhan irigasi dan air baku di daerah Sleman dan sekitarnya. Namun sampai saat ini Embung Tambakboyo belum dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan irigasi dan air baku bagi masyarakat sekitar. Simulasi debit andalan Model F.J.Mock merupakan salah satu metode model hujan aliran yang relatif sederhana dan telah dikembangkan di Indonesia. Menurut Habibi (2010), keuntungan Model F.J.Mock adalah hasil analisis lebih akurat karena lebih banyak mempertimbangkan keadaan alam yang mempengaruhi ketersediaan air. Metode SNI 6738:2015 juga dipakai untuk analisis debit andalan berdasarkan probabilitas dari data pengamat debit dan digunakan sebagai perbandingan hasil analisis dengan Model F.J.Mock.

Maka dari permasalahan di atas dapat digunakan sebagai penelitian dengan judul “Analisis Ketersediaan Air Embung Tambakboyo Dengan Metode Model F.J.Mock Dan SNI 6738:2015” dan diharapkan dapat memberikan gambaran tentang kemampuan Embung

Tambakboyo dalam memenuhi kebutuhan air baku bagi masyarakat Sleman dan sekitarnya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

- Bagaimana ketersediaan air di Embung Tambakboyo ?
- Bagaimana pengaruh perbedaan metode debit andalan Model F.J.Mock dan metode debit andalan SNI 6738:2015 pada analisis ketersediaan air ?
- Adakah potensi air di Embung Tambakboyo ?
- Bagaimana hubungan antara ketersediaan dan kebutuhan potensi air?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah mengetahui ketersediaan air di Embung Tambakboyo, mengetahui pengaruh perbedaan metode debit andalan Model F.J.Mock dan metode debit andalan SNI 6738:2015 pada analisis ketersediaan air, mengetahui adanya potensi air di Embung Tambakboyo, dan mengetahui hubungan antara ketersediaan dan kebutuhan potensi air.

2 METODE PENELITIAN

2.2 Data Penelitian

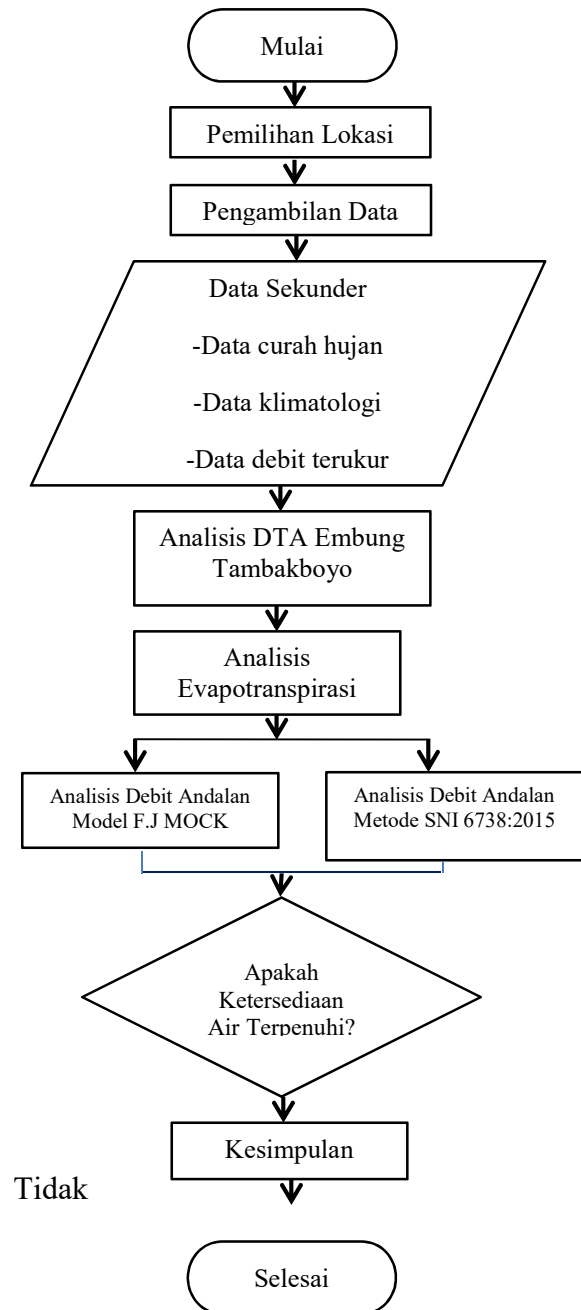
- Data curah hujan harian
Data curah hujan harian adalah data yang menjelaskan tentang jumlah curah hujan harian yang terjadi dalam satu hari tertentu.
- Data klimatologi
Data klimatologi adalah data yang menjelaskan tentang kondisi klimatologi pada suatu daerah yang terdiri dari cuaca, temperature udara, kelembapan udara, suhu, kecepatan angin, dan curah hujan pada suatu daerah.
- Data debit terukur
Data debit terukur adalah data yang menjelaskan tentang tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air sungai.

2.3 Tahapan penelitian

Tahapan-tahapan penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas air Embung Tambakboyo. Tahapan penelitiannya adalah sebagai berikut ini.

- Pemilihan Lokasi
- Pengambilan Data
- Pengolahan Data
- Analisis Daerah Tangkapan Air Embung Tambakboyo

- Analisis Evapotranspirasi (ET_0)
- Analisis Debit Andalan
 - Model F.J.Mock
 - Metode SNI 6738:2015
- Analisis Ketersediaan Air



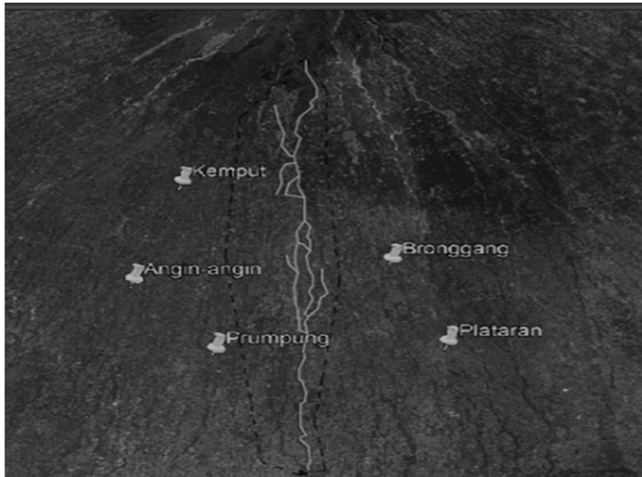
Gambar 1. Tahapan Penelitian.

3 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.2 Analisis Daerah Tangkapan Air

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan peta *Google Earth* dan program *AutoCAD 2010*, DTA Embung Tambakboyo memiliki luas sebesar 54,2 km². Gambar daerah tangkapan air

Embung Tambakboyo dapat dilihat pada Gambar 2. sebagai berikut.



Gambar 2. Daerah Tangkapan Air Embung Tambakboyo.

3.3 Analisis Data Hujan

Analisis hujan wilayah dihitung menggunakan metode Polygon Thiessen dengan 4 (empat) stasiun hujan yaitu : Stasiun Angin-angin, Stasiun Bronggang, Stasiun Kemput, dan Stasiun Prumpung. Rekapitulasi hujan tengah bulanan Tahun 2007 DTA Embung Tambakboyo dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi hujan tengah bulanan Tahun 2007 DTA Embung Tambakboyo

Bulan	Hujan tengah bulanan (mm)	
Januari	10,93	122,05
Februari	172,20	208,46
Maret	140,89	172,06
April	321,23	217,93
Mei	34,64	58,39
Juni	15,79	41,35
Juli	2,43	0,38
Agustus	0,38	0,00
September	0,00	1,54
Oktober	15,07	95,70
November	231,14	52,13
Desember	249,18	264,86

3.4 Evapotranspirasi Potensial

Pada penelitian ini, nilai evapotranspirasi potensial (ET_0) dihitung dengan menggunakan metode panci evaporasi. Menurut Linsley dan Franzini (1979) dalam nilai K_p yang baik untuk daerah tropis sebesar 0.7.

Rekapitulasi ET_0 Tahun 2007 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi ET_0 tahun 2007

Bulan	ET_0 (mm/hari)	
Januari	2,05	1,49
Februari	1,61	1,58
Maret	1,77	1,71
April	1,19	0,75
Mei	1,26	1,17
Juni	0,96	1,03
Juli	0,85	1,09
Agustus	1,03	1,23
September	1,10	1,56
Oktober	1,19	1,06
November	1,77	1,37
Desember	0,75	1,14

3.5 Simulasi F.J.mock

Proses simulasi F.J.Mock dilakukan dengan menggunakan data hujan bulanan, evapotranspirasi, luas DTA, dan nilai parameter DTA hasil dari percobaan. Hasil perhitungan nilai optimum Tahun 2007 DTA Embung Tambakboyo dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai optimum parameter DTA

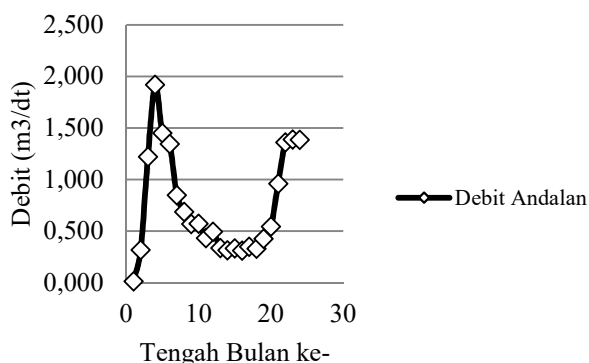
Parameter DTA	Satuan	Simbol	Nilai min	Nilai opt	Nilai maks
Luas DTA	Km ²	A	-	54,2	-
Koefisien infiltrasi kemarau	-	WIC	0,1	0,5	0,5
Koefisien infiltrasi basah	-	DIC	0,35	0,75	0,75
Initial soil moisture	mm	ISM	50	50	300
soil moisture capacity	mm	SMC	100	300	300
Initial groundwater storage	mm	IGWS	100	100	2000
Groundwater recession storage		K	0,75	0,995	0,995

3.6 Debit andalan model F.J.Mock

Debit andalan dihitung dengan mengambil nilai probabilitas (P) 80% yang dapat diartikan sebagai probabilitas terjadinya debit yang lebih besar dari yang direncanakan (SNI 6738, 2015). Cara mencari nilai debit andalan 80% adalah dengan mengurutkan data debit selama 10 tahun (2007-2017) dari yang terbesar hingga terkecil dan hitung probabilitas dari setiap data berdasarkan peringkat data. Rekapitulasi debit andalan 80% tahun 2007 -2017 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi debit andalan 80% tahun 2007 -2017

Bulan	Debit andalan (m ³ /dt)	
Januari	0,013	0,316
Februari	1,222	1,919
Maret	1,449	1,344
April	0,849	0,685
Mei	0,570	0,570
Juni	0,431	0,493
Juli	0,337	0,314
Agustus	0,333	0,311
September	0,349	0,329
Oktober	0,425	0,543
November	0,958	0,958
Desember	1,387	1,386



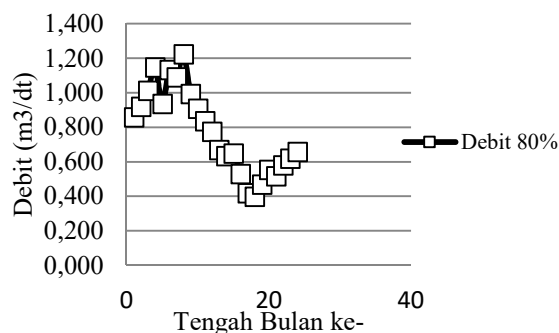
Gambar 3. Grafik debit andalan model F.J.Mock.

3.7 Debit andalan debit terukur 2007-2017

Debit andalan dihitung dengan mengambil nilai probabilitas (P) 80%. Cara mencari nilai debit andalan 80% adalah dengan mengurutkan data debit selama 10 tahun (2007-2017) dari yang terbesar hingga terkecil dan hitung probabilitas dari setiap data berdasarkan peringkat data. Rekapitulasi debit andalan 80% tahun 2007 -2017 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi debit andalan 80% tahun 2007 -2017

Bulan	Debit andalan (m ³ /dt)	
Januari	0,857	0,918
Februari	1,010	1,146
Maret	0,934	1,132
April	1,088	1,222
Mei	0,993	0,907
Juni	0,834	0,773
Juli	0,667	0,632
Agustus	0,648	0,528
September	0,418	0,397
Oktober	0,467	0,554
November	0,515	0,579
Desember	0,617	0,656



Gambar 4. Grafik debit andalan debit terukur.

3.8 Analisis potensi air

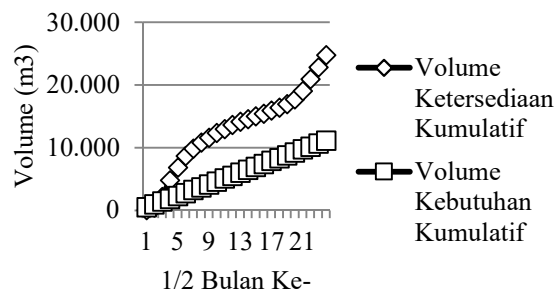
Perhitungan kebutuhan air sekitar wilayah Embung Tambakboyo didasarkan pada SNI 19-6728.1-2002 Bagian 1 : Sumber daya air spasial. Rekapitulasi kebutuhan air sekitar wilayah Embung Tambakboyo dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi kebutuhan air sekitar wilayah Embung Tambakboyo

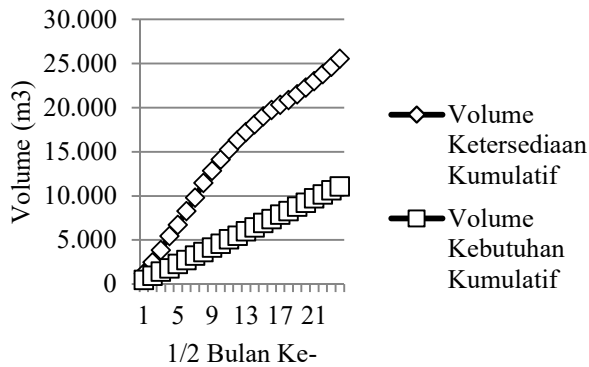
Kebutuhan	Volume (m ³ /dt)
Air baku	0,2621
Pertanian	0,01712
Tambak	0,08144
Total	0,35956

3.9 Analisis neraca air

Analisis neraca air antara ketersediaan air dan kebutuhan air diperlukan untuk mengetahui ketersediaan air yang ada di Embung Tambakboyo dan memperkirakan kebutuhan air yang bisa dipenuhi. Perhitungan neraca air menggunakan 2 (dua) metode yaitu dengan model mock dan metode SNI 6738:2015. Grafik neraca air dapat dilihat pada Gambar 5. dan Gambar 6.



Gambar 5. Neraca air model F.J.Mock.



Gambar 6. Neraca air metode SNI 6738:2015.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan debit andalan model *Mock* Embung Tambakboyo dalam periode 10 tahun didapatkan debit maksimum sebesar 1,919 m³/dt, dan debit minimum sebesar 0,013 m³/dt. Hasil perhitungan debit andalan metode SNI 6738:2015 dalam periode 10 tahun didapatkan debit maksimum sebesar 1,222 m³/dt, dan debit minimum dengan debit 0,397 m³/dt. Hasil perhitungan potensi air berdasarkan SNI 19-6728.1-2002 didapatkan hasil sebesar 0,2621 m³/dt. Potensi kebutuhan air pertanian sebesar 0,01712 m³/dt. Potensi kebutuhan air tambak sebesar 0,08144 m³/dt. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa ketersediaan air sangat melimpah dan dapat memenuhi kebutuhan air bagi masyarakat di sekitar Embung Tambakboyo.

REFERENSI

Azmid, I. 2015. "Prediksi Ketersediaan Air Menggunakan Model Mock Di Sub DAS Wuryantoro Kabupaten Wonogiri Jawa Tengah". *Tugas Akhir*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Cholifah, A. 2014. "Studi Pengembangan Pemanfaatan Embung Kaliaji Sebagai Air PDAM Sleman". *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.

Dewi, A. 2013. "Perbandingan Pendugaan Evapotranspirasi Menggunakan Metode Aerodinamik, Penman-Monteith, Dan Panci Kelas A". *Tugas Akhir*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian. 2007. "Pedoman Teknis Konservasi Air Dan Antisipasi Anomali Iklim". Penerbit Kementerian Pertanian. Jakarta.

Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian. 2015. "Pedoman Teknis Pengembangan Embung/Dam

Parit/Long Storage". Penerbit Kementerian Pertanian. Jakarta.

Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. 2015. "Pembangunan Embung Tambakboyo". Penerbit Sumber Daya Air. Yogyakarta.

Hambali, R. 2008. "Analisis Ketersediaan Air dengan Model Mock". Bahan Ajar. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Jayadi, R. 2000. "Teknik Optimasi untuk Pengelolaan Sumberdaya Air". Jurusan Teknik Sipil UGM. Yogyakarta.

Kriteria Perencanaan. 2013. "Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01". Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. Jakarta.

Mudjiatko. 2015. "Simulasi Potensi dan Kapasitas Embung Sungai Paku Terhadap Pemenuhan Kebutuhan Air Bagi Masyarakat". *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Riau. Pekanbaru.

Septian, PI. 2018. "Analisis Ketersediaan Air Sungai Sampit Dengan Model SWAT Untuk Kebutuhan Air di Kecamatan Mentaya Hilir Selatan". *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Standar Nasional Indonesia, 2002, "Penyusunan Neraca Sumber Daya Bagian 1 : Sumber Daya Spasial", SNI 19-6728.1, Indonesia.

Standar Nasional Indonesia, 2015, "Perhitungan Debit Andalan Sungai Dengan Kurva Durasi Debit, SNI 6738:2015", Indonesia.

Sudjarwadi, 2007, "Pengembangan Sumberdaya Air", Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Suarjana. dan Putu, IW. 2005. "Analisis Potensi Tukat Unda Hilir Sebagai Sumber Air Baku Kabupaten Klungkung". *Tesis*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Triatmodjo, B. 1998. "Studi Keseimbangan Air di Pulau Jawa". *Media Teknik*. Vol.XX No.1. Yogyakarta.

Triatmodjo, B. 2008. "Hidrologi Terapan". Beta Offset. Yogyakarta.

Walpole, Ronald E. 1993. "Pengantar Statistika edisi ke-3". PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Perkiraan Kemampuan Rencana Tata Ruang Kota Semarang Dalam Menghadapi Risiko Banjir di DAS Beringin

Y. A. P. Putra

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
aditya.yoppi@gmail.com

J. Sujono

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
jsujono@ugm.ac.id

A. Djunaedi

Departemen Teknik Arsitektur dan Perencanaan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
adjun@ugm.ac.id

INTISARI

Untuk mengurangi risiko banjir di Kawasan Semarang Barat, dirancang desain pengendalian banjir oleh BBWS Pemali Juana, berupa perbaikan alur dan tanggul di hilir Sungai Beringin. Desain tersebut diperkirakan mampu menampung debit $381,5 \text{ m}^3/\text{s}$ pada kala ulang 50 tahunan. Di sisi lain, Pemerintah Kota Semarang sudah menetapkan RTRW 2011-2031 yang memperlihatkan rencana pola penggunaan lahan hingga tahun 2031. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan Rencana Tata Ruang Kota Semarang terhadap risiko banjir di hilir Daerah Aliran Sungai (DAS) Beringin.

Berdasar rencana pola ruang dalam RTRW, dapat diketahui kondisi tutupan lahan pada masa mendatang. Dengan menggunakan analisis hidrologi, dapat diperkirakan besaran limpasan yang terjadi dari penggunaan lahan tersebut. Hidrograf banjir di DAS Beringin dapat diperkirakan menggunakan perhitungan hujan rancangan, aliran dasar, dan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) karena tidak terdapat data debit terukur. Pola ruang dapat digunakan untuk memperkirakan besaran volume limpasan dengan metode *curve number* (CN). Berdasarkan perhitungan dengan HSS GAMA-I, debit banjir 50 tahunan mencapai $268,7 \text{ m}^3/\text{s}$, sedangkan menggunakan metode SCS hasilnya melebihi kapasitas desain pengendalian banjir, yaitu mencapai $458,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Kata kunci: hidrologi, banjir, RTRW Kota Semarang, DAS Beringin, *curve number*

1. PENDAHULUAN

Kawasan Semarang Barat erat kaitannya dengan kejadian banjir, mendorong disusunnya *Detail Desain Pengelolaan dan Pengendalian Banjir Sistem Sungai Semarang Barat* oleh Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pemali Juana pada tahun 2016. Salah satu desain yang disusun di dalamnya berupa desain normalisasi dan perbaikan tanggul di hilir Sungai Beringin. Berdasarkan catatan Balai Besar BBWS Pemali Juana (2018), setidaknya terjadi sebelas kali banjir yang mengakibatkan kerusakan dan kerugian besar di Daerah Aliran Sungai (DAS) Beringin dalam kurun waktu 2009 – 2018. Desain tersebut merupakan upaya untuk mengurangi risiko banjir pada kawasan terdampak, yaitu di bagian hilir. Untuk hasil yang lebih efektif, perlu juga dilakukan kontrol terhadap sumber alirannya, yaitu di bagian hulu. Dalam hal ini, Pemerintah Kota Semarang sudah menetapkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Semarang 2011-2031 yang digunakan sebagai acuan izin dan program pembangunan kota. Dokumen tersebut memuat rencana pola ruang dan jaringan prasarana yang diharapkan tercapai hingga akhir tahun perencanaan, yaitu 2031. Dengan kata lain, RTRW

dapat memperlihatkan pola penggunaan lahan dan infrastruktur Kota Semarang pada masa mendatang. Jika dikaitkan dengan desain pengendalian banjir, maka rencana pola ruang di RTRW dapat dijadikan acuan untuk memperkirakan limpasan aliran ke sungai yang terjadi pada masa mendatang. Dengan menggunakan analisis hidrologi, dapat diketahui seberapa besar kemampuan pola ruang RTRW Kota Semarang terhadap potensi banjir di masa mendatang, sehingga berguna untuk bahan evaluasi atau revisi pada proses Peninjauan Kembali. Wilayah studi yang diambil pada penelitian ini adalah DAS Beringin yang sudah mempunyai desain pengendalian banjir di sungainya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perkiraan debit banjir dapat dihitung menggunakan metode hidrograf satuan. Chow dkk. (1988) menyebutkan bahwa hidrograf satuan merupakan hidrograf limpasan langsung yang terjadi akibat 1 satuan hujan efektif (dalam satuan internasional dapat menggunakan mm) yang merata pada satu daerah tangkapan air dalam durasi tertentu yang efektif. Pada kawasan yang tidak memiliki data debit terukur seperti

DAS Beringin, dapat digunakan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS). Metode HSS yang dilakukan pada penelitian ini adalah HSS GAMA-I dan HSS *SCS*. HSS GAMA-I dikembangkan berdasar perilaku hidrologis tiga puluh DAS di Pulau Jawa (Sri Harto, 2000), dan mampu memberikan variabel paling lengkap untuk membuat sebuah hidrograf banjir. HSS *SCS* sendiri adalah metode yang digunakan oleh BBWS Pemali Juana untuk mendesain debit banjir rencana di DAS Beringin.

Salah satu metode untuk menghitung hujan efektif di kawasan yang tidak mempunyai data debit terukur adalah metode *SCS curve number (SCS-CN)*. Metode ini menghitung besaran limpasan yang terjadi berdasar jenis penggunaan lahan di kawasan yang diamati. Dalam penelitian ini, RTRW Kota Semarang 2011-2031 adalah rujukan utama dalam analisis tersebut. Rencana pola ruang dan pengaturan ruang yang ada di RTRW menjadi dasar penentuan nilai *CN*. Chow dkk. (1988) menjelaskan bahwa nilai *CN* antara 0 sampai 100 berdasar penelitian *The Soil Conservation Service*. Nilai *CN* menentukan dengan besaran limpasan permukaan, yang bervariasi tergantung karakteristik DAS. Lebih lanjut disebutkan Chow dkk. (1988) bahwa kawasan kedap air atau permukaan air mempunyai *CN* 100, sedangkan permukaan alami mempunyai nilai *CN* kurang dari 100. Penggunaan *CN* sendiri pernah dilakukan Tikno dkk. (2012) untuk membandingkan besaran limpasan permukaan akibat hujan di Kawasan DAS Ciliwung Hulu antara perhitungan empiris (metode *SCS-CN*) dengan pengukuran langsung. Hasilnya, disebutkan bahwa penggunaan metode *SCS-CN* cukup baik untuk memperkirakan tebal aliran permukaan.

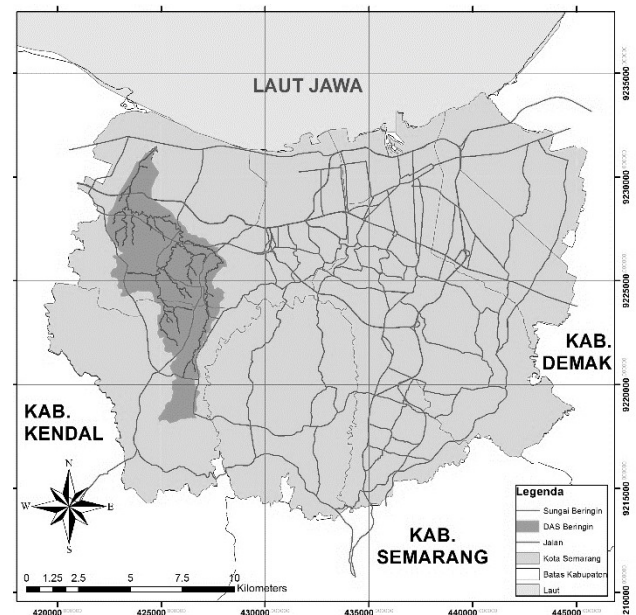
Penelitian Ozdemir dan Elbasi (2014) memperlihatkan daerah dengan aturan perubahan penggunaan lahan ketat, yang berarti tidak terjadi banyak perubahan nilai *CN*, mempunyai kecenderungan peningkatan debit aliran lebih rendah dibanding kawasan tetangganya yang perubahan lahannya lebih dinamis. Penelitian Li dkk. (2018) memperlihatkan adanya peningkatan kedalaman limpasan rata-rata sebesar 68,02 mm di Perkotaan Shenyang yang diakibatkan oleh proses urbanisasi. Metode *SCS-CN* juga digunakan oleh Ibrahim-Bathis dan Ahmed (2016) untuk memodelkan transformasi hujan ke aliran DAS di bagian selatan India yang tidak memiliki data debit terukur. Sementara, penelitian Al-Juaidi (2018) menyebutkan bahwa penggunaan *software GIS* dan *HEC-GeoHMS* untuk mendukung analisis *SCS-CN* memberikan kecepatan analisis dengan akurasi yang baik, sehingga berguna dalam proses pengambilan keputusan, terutama pada daerah yang tidak tersedia data pengukuran lengkap. Penelitian menggunakan metode

SCS-CN di DAS Beringin pernah dilakukan Purwanto (2004) yang memperlihatkan adanya peningkatan debit banjir sebesar 36,51% pada kala ulang 10 tahun dengan adanya perubahan penggunaan lahan dari tahun 2003 sampai 2010 (berdasar Rencana Detail Tata Ruang Kota Semarang 2010). Penelitian Widodo (2007) menjelaskan bahwa dengan desain pengendalian banjir Sungai Beringin sebelumnya, ternyata masih tetap terjadi luapan di kawasan hilir DAS.

3. METODOLOGI

3.1. Deskripsi Wilayah Studi

DAS Beringin terletak di bagian barat Kota Semarang, yaitu di sebagian Kecamatan Mijen, Ngaliyan, dan Tugu. Berdasarkan data IGT Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2017), luas DAS Beringin sekitar 33,62 km². Panjang sungai utama DAS sekitar 19,9 km diukur dari batas hilir DAS, yaitu di Kelurahan Mangkang Wetan. Penggunaan lahan eksisting didominasi oleh kawasan pertanian dan hutan produksi. Pada pola ruang rencana, peruntukan terbesar di DAS Beringin diarahkan sebagai kawasan perumahan (33,8%), pertanian (18,2%), dan hutan produksi (16,7%). Secara lebih jelas, gambaran lokasi DAS Beringin dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi DAS Beringin (blok warna gelap)

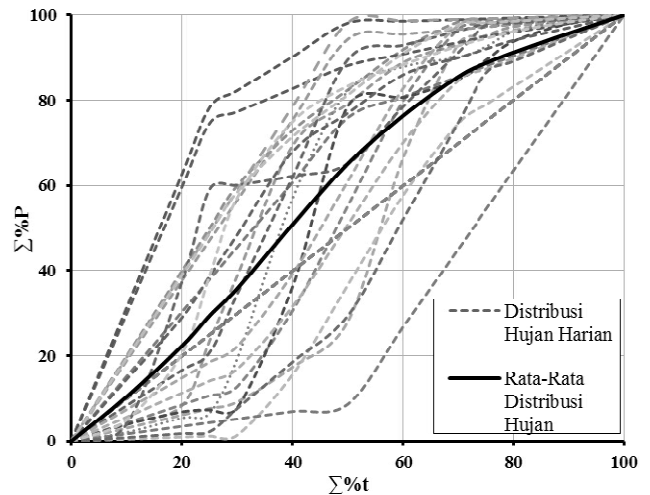
3.2. Ketersediaan Data

Dalam perhitungan debit banjir rancangan, diperlukan analisis transformasi hujan menjadi limpasan. Untuk itu, diperlukan data hujan harian di kawasan DAS. Berdasarkan inventarisasi data, didapatkan data dari tiga stasiun pengukur curah hujan dengan variasi data yang berbeda, yaitu Stasiun Ahmad Yani dari *website*

OGIMET (data lengkap dari tahun 2003-2019), Stasiun Gunungpati dari dokumen BBWS Pemali Juana (2006-2015), dan Stasiun Mangkang Waduk dari Dinas Pusdataru Jawa Tengah (2003-2018). Untuk data hujan jam-jaman, hanya ada di Stasiun Silandak milik BBWS Pemali Juana yang lokasinya paling dekat dengan kawasan DAS Beringin, dengan rentang data satu tahun terakhir. Untuk geometri kawasan studi, data spasial RTRW Kota Semarang skala 1:25.000 didapatkan dari *webgis* Kota Semarang, sedangkan data *Digital Elevation Model (DEM)* resolusi 9 m didapatkan dari *website* DEMNAS Badan Informasi Geospasial. Batas DAS menggunakan data Informasi Geospasial Tematik (IGT) skala 1:50.000 dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Data terkait kapasitas maksimal dan desain teknis saluran didapatkan dari dokumen *Detail Desain Pengelolaan dan Pengendalian Banjir Sistem Sungai Semarang Barat* (BBWS Pemali Juana, 2016).

3.3. Metode Analisis

Hasil pengecekan menggunakan metode *Rescaled Adjusted Partial Sum* menunjukkan bahwa data hujan di semua stasiun sudah konsisten, sehingga dapat dilanjutkan dengan perhitungan hujan kawasan. Untuk menentukan hujan harian di DAS Beringin, dilakukan pembuatan Poligon Thiessen dari Stasiun Ahmad Yani, Gunungpati, dan Mangkang Waduk. Bobot stasiun bervariasi, tergantung ketersediaan data hujan yang tercatat. Dari analisis curah hujan Thiessen, didapatkan data hujan kawasan harian dari tahun 2003 sampai 2019. Dengan menggunakan *software Anafrek 1.a* (Luknanto, 2012), diketahui bahwa data yang ada mengikuti distribusi Log Pearson III, dengan kala ulang 50 tahunan sebesar 245,2 mm. Angka tersebut lebih tinggi daripada kala ulang pada desain pengendali banjir DAS Beringin, yaitu 237 mm yang berdasarkan rentang data 10 tahun (2006-2015). Dari data hujan jam-jaman di Stasiun Silandak, dipilih kejadian hujan lebat sesuai kategori Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, yaitu hujan dengan intensitas lebih dari 10 mm/jam atau lebih dari 50 mm/hari. Dari kejadian hujan yang dipilih, didapatkan durasi hujan rata-rata 4 jam dengan distribusi hujan per jam berurutan 29,4%, 35,8%, 23,5%, dan 11,3%. Distribusi hujan harian secara lebih lengkap dapat dilihat pada kurva di Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Distribusi Hujan Harian DAS Beringin

Untuk melakukan perubahan hujan ke aliran, diperlukan jumlah hujan efektif, yaitu hujan yang menjadi aliran langsung di sungai, setelah dikurangi kehilangan air. Salah satu cara mencari hujan efektif ini adalah dengan metode *SCS-CN* yang dikembangkan oleh *The Soil Conservation Service* pada tahun 1972 (Chow dkk., 1988). Perhitungan tersebut menggunakan rumus pada Per. (1).

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (1)$$

dengan P_e adalah hujan efektif (mm), I_a adalah *initial abstraction* (kehilangan air awal, mm), dan S adalah retensi potensial maksimum (mm). Nilai S sendiri didapatkan dengan Per. (2).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

dengan CN adalah *curve number*. Nilai CN bervariasi, tergantung jenis tanah dan tata guna lahan. Chow dkk. (1988) menyebutkan bahwa jika dalam satu kawasan terdapat beberapa jenis tanah dan penggunaan lahan, maka dapat dihitung *CN composite*. Dikarenakan belum ada penelitian mengenai nilai CN di DAS Beringin, maka penentuan nilainya disesuaikan dengan hasil penelitian *The Soil Conservation Service* tahun 1972 sebagaimana disarikan oleh Chow dkk. (1988). Jenis tanah di DAS Beringin berdasar RTRW Kota Semarang adalah *alluvial*, *asosiasi alluvial kelabu*, *mediteran cokelat tua*, *latosol coklat kemerahan*, dan *latosol coklat*. Hampir semua tanah digolongkan sebagai tipe *C* secara hidrologis, kecuali *alluvial* yang masuk tipe *D* berdasar penelitian Dewi (2014). Penentuan nilai CN dari pola ruang DAS Beringin disesuaikan dengan kedetailan informasi yang dicantumkan di RTRW. Sebagai contoh, untuk kawasan perumahan sudah disebutkan adanya kewajiban penyediaan Ruang Terbuka Hijau (RTH)

sebesar 20% dari luas kawasan, serta koefisien dasar bangunan maksimum 60%. Hal tersebut berarti bahwa kawasan yang boleh terbangun hanya sebesar $(80\% \times \text{luas kawasan total}) + (60\% \times (80\% \text{ luas kawasan total}))$, sedangkan sisanya sebagai RTH. Dengan begitu, ada dua jenis *CN* di kawasan perumahan, yaitu *CN* bangunan (atap, *carport*, jalan, dan sebagainya) dan *CN* RTH. Hal ini berbeda dengan penentuan *CN* pada desain BBWS, yang didasarkan penggunaan lahan dalam Rencana Pengelolaan SDA (skala 1:250.000) untuk mengidentifikasi *CN*. Nilai *CN* yang didapatkan dari pola ruang RTRW Kota Semarang di DAS Beringin adalah 81,54.

Nilai *CN* tersebut berlaku pada kondisi normal (*AMC II*). Untuk analisis banjir, maka kondisi yang digunakan adalah kondisi basah (*AMC III*) yang mengikuti Per. (3).

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10+0.13CN(II)} \quad (3)$$

dengan *CN(II)* adalah *CN* pada kondisi normal, dan *CN(III)* adalah *CN* pada kondisi basah. Dari persamaan itu, maka didapatkan nilai *CN(III)* sebesar 91,04.

Dalam mengetahui besaran limpasan akibat hujan, diperlukan hidrograf satuan untuk memperkirakan besaran limpasan yang dihasilkan per 1 mm hujan. Dikarenakan tidak adanya debit terukur di Sungai Beringin, maka penurunan hidrograf satuan menggunakan HSS. Berikut persamaan yang digunakan dalam metode GAMA-I (Sri Harto, 2000):

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100SF} \right)^3 + 1,0665SIM + 1,2775 \quad (4)$$

$$Q_p = 0,1836A^{0,5886}TR^{-0,4008}JN^{0,2381} \quad (5)$$

$$TB = 27,4132TR^{0,1457}S^{-0,0986}SN^{0,7344}RUA^{0,2574} \quad (6)$$

$$K = 0,5617A^{0,1798}SF^{-1,0897}D^{0,0452} \quad (7)$$

$$Q_b = 0,4715A^{0,6444}D^{0,9430} \quad (8)$$

dengan *TR* adalah waktu puncak (jam), Q_p adalah debit banjir puncak (m^3/s), *TB* adalah waktu dasar (jam), *K* adalah koefisien resesi (jam^{-1}), Q_b adalah aliran dasar (m^3/s), *A* adalah luas DAS (km^2), *L* adalah kemiringan dasar sungai, *SF* adalah perbandingan antara panjang sungai utama dengan panjang semua sungai, *SN* adalah perbandingan jumlah pangsa sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai semua tingkat, *WF* adalah perbandingan lebar *DAS* di titik $0,25L$ sungai utama dengan lebar *DAS* dititik $0,75L$, *RUA* adalah luas *DAS* hulu, *JN* adalah jumlah pertemuan sungai, *SIM* adalah hasil kali *WF* dengan *RUA*, dan *D* adalah jumlah panjang sungai semua tingkat dibagi luas *DAS*. Pengukuran geometri kawasan ini menggunakan data

spasial RTRW Kota Semarang, RBI Kota Semarang, delineasi *DAS* dari Kementerian LHK, dan *DEM* Kota Semarang yang diolah menggunakan *software ArcGIS*.

Penggambaran kurva resesi HSS sendiri menggunakan metode GAMA-I, dengan persamaan sebagai berikut (Sri Harto, 2000):

$$Q_t = Q_p e^{\frac{-t}{K}} \quad (9)$$

dengan Q_t adalah debit pada jam ke-*t* (m^3/s), Q_p adalah debit puncak (m^3/s), *t* adalah waktu dari saat terjadinya debit puncak (jam), dan *K* adalah koefisien resesi (jam).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai perhitungan kala ulang hujan, didapatkan intensitas hujan harian rancangan sebesar 245,2 mm. Angka itu mengacu pada kala ulang 50 tahunan, sama dengan kala ulang yang digunakan untuk mendesain saluran di hilir *DAS* Beringin. Berdasarkan hujan rancangan P_{50} , dilakukan perhitungan menggunakan metode *CN* untuk mendapatkan hujan efektif rancangan (Pe_{50}). Dari perhitungan, nilai *S* yang didapatkan dari nilai *CN(III)* sebesar 91,04 adalah 25,00. Untuk nilai *Ia*, dikarenakan belum ada hasil penelitian terkait *Ia* di *DAS* Beringin, maka digunakan nilai rasio dari hasil penelitian *The Soil Conservation Service* sebagaimana dijelaskan Chow dkk. (1988), yaitu sebesar $0,2S$. Jika *Ia* lebih besar dari P_{50} , maka nilai *Ia* yang digunakan adalah nilai P_{50} tersebut.

Perhitungan geometri *DAS* Beringin dengan bantuan *software ArcGIS* pada data spasial mendapatkan nilai luas *DAS* sebesar $33,62 km^2$, *L* sebesar 19,92 km, *S* sebesar 0,012, *D* sebesar $1,58 km/km^2$, *RUA* sebesar 0,37, *WF* sebesar 0,99, *SIM* sebesar 0,37, *SF* sebesar 0,38, *SN* sebesar 0,30, dan *JN* sebesar 27. Dari hasil tersebut, dengan menggunakan Per. (4) sampai dengan Per. (8), didapatkan *TB* sebesar 14,80 jam yang dibulatkan menjadi 15 jam dengan *TR* sebesar 1,72 jam (dibulatkan menjadi 2 jam), dan Q_p sebesar $2,56 m^3/s$. Nilai *K* yang didapatkan adalah $5,87 jam^{-1}$. Sementara hasil perhitungan aliran dasar (*BF*) adalah $6,99 m^3/s$. Selanjutnya dilakukan penurunan HSS menggunakan Per. (9). HSS tersebut kemudian digunakan untuk mendapatkan Hidrograf Limpasan Langsung 50 tahunan (HLL_{50}). Debit banjir 50 tahunan (Q_{50}) didapatkan dari penjumlahan HLL_{50} dengan *BF*.

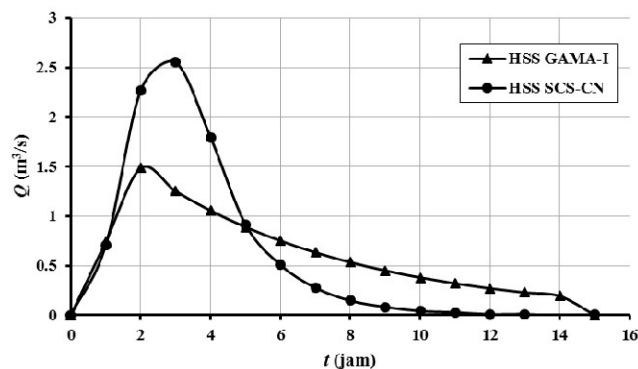
Dari hasil perhitungan banjir 50 tahunan menggunakan HSS GAMA-I, didapatkan debit puncak banjir sebesar $268,7 m^3/s$. Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan kapasitas maksimum desain pengendalian banjir Sungai Beringin dari BBWS Pemali Juana, yaitu $381,5 m^3/s$. Sebagai catatan, bahwa desain BBWS menggunakan asumsi bahwa sudah dibangun embung

pengendali banjir di hulu DAS. Dalam hal ini, sesuai dengan dokumen *Detail Desain Pengelolaan dan Pengendalian Banjir Sistem Sungai Semarang Barat*, debit banjir rancangan pada desain dibuat dengan menggunakan metode lain, yaitu HSS SCS yang disimulasikan dengan *software HEC HMS*. Untuk lebih mendekati metode, dilakukan simulasi menggunakan metode yang sama dengan yang dilakukan BBWS Pemali Juana, yaitu menggunakan *transform method* HSS SCS di *HEC HMS*, tetapi dengan data hasil perhitungan manual sebelumnya seperti *BF*, *CN(III)*, dan *Ia*. Pada metode SCS, diperlukan variabel *lag time* (T_{lag}) yang didapatkan dari waktu konsentrasi (T_c). Untuk itu, dilakukan perhitungan T_c (jam) menggunakan rumus Kirpich seperti pada Per. (10). Nilai T_{lag} (menit) sendiri didapatkan menggunakan Per. (11).

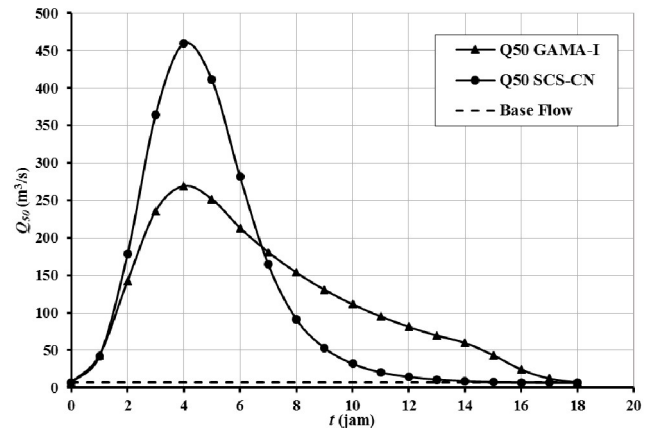
$$T_c = 0,0663L^{0,77}S^{-0,385} \tag{10}$$

$$T_{lag} = 0,6T_c \tag{11}$$

dengan L adalah panjang sungai utama (km), dan S adalah kemiringan sungai utama. Dari perhitungan, didapatkan nilai T_c sebesar 218,6 menit, dan T_{lag} sebesar 131,15 menit. Semua variabel diinput ke dalam *software HEC HMS* dengan *transform method SCS Unit Hydrograph*. Hasilnya, didapatkan debit puncak yang melebihi desain pengendalian banjir, yaitu mencapai sebesar 458,3 m³/s. Penggunaan dua jenis metode HSS menghasilkan dua hidrograf satuan yang berbeda, sehingga hidrograf banjir yang didapatkan juga akan berbeda. Gambar 3 memperlihatkan perbandingan debit HSS GAMA-I dan HSS SCS, sedangkan perbandingan debit banjir 50 tahunan dapat dilihat pada hidrograf di Gambar 4.



Gambar 3. Perbandingan Hidrograf Satuan Sintetis GAMA-I dan SCS di DAS Beringin



Gambar 4. Perbandingan hidrograf banjir kala ulang 50 tahun DAS Beringin berdasar metode HSS GAMA-I dan HSS SCS

5. KESIMPULAN

Penggunaan RTRW Kota memberikan kedalaman informasi yang lebih detail pada identifikasi penggunaan lahan, sehingga dapat memberikan nilai *CN* yang lebih detail dan akurat. Perhitungan menggunakan metode hidrologi terhadap pola penggunaan lahan dari RTRW Kota Semarang di DAS Beringin menunjukkan hasil yang bervariasi. Dengan metode HSS GAMA-I, debit puncak banjir yang terjadi diperkirakan tidak akan melampaui debit maksimum saluran di hilir DAS sebesar 381,5 m³/s. Sementara, dengan simulasi HSS SCS, seperti yang dilakukan pada penyusunan desain pengendalian banjir, didapatkan debit banjir yang melebihi desain, yaitu mencapai 458,3 m³/s. Kedua perhitungan tersebut dilakukan menggunakan hidrograf satuan sintesis. Apabila dilengkapi dengan data debit terukur, maka nilai yang dihasilkan akan lebih mendekati kenyataan karena ada data pembanding untuk melakukan kalibrasi. Mengingat kala ulang hujan harian penelitian yang menunjukkan hasil lebih besar dari desain pengendalian banjir, perhitungan debit limpasan juga kemungkinan menjadi lebih besar meskipun menggunakan metode dan data lain yang sama persis dengan analisis pada desain tersebut. Catatan lain yang perlu diperhatikan, bahwa debit yang didapatkan pada penelitian ini merupakan perkiraan besaran limpasan berdasarkan pola penggunaan lahan yang sudah direncanakan, tanpa asumsi adanya embung pengendali banjir seperti halnya desain BBWS. Karakteristik dari rencana embung pengendali banjir di sistem Sungai Beringin menjadi hal yang sangat penting karena dapat menurunkan debit puncak banjir rancangan, khususnya apabila menggunakan metode SCS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kantor BBWS Pemali Juana, Dinas PUSDATARU Provinsi Jawa Tengah, dan Pemerintah Kota Semarang yang telah menyediakan dukungan data utama penelitian ini.

REFERENSI

- Al-Juaidi, A. E. M. (2018). "A simplified GIS-based SCS-CN method for the assessment of land-use change on runoff," *Arabian Journal of Geosciences*. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(11). doi: 10.1007/s12517-018-3621-4.
- Badan Informasi Geospasial (2017). *Peta RBI Kota Semarang, Indonesia Geospatial Portal*. Tersedia pada: <http://tanahair.indonesia.go.id/portal-web> (Diakses: 6 Februari 2020).
- Badan Informasi Geospasial (2019). *Data Digital Elevation Model (DEM) Kota Semarang, DEMNAS_1408-54_v1.0 dan DEMNAS_1409-22_v1.0*. Tersedia pada: <http://tides.big.go.id/DEMNAS/>.
- Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana (2016). *Detail Desain Pengelolaan dan Pengendalian Banjir Sistem Sungai Semarang Barat*. Kota Semarang.
- Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana (2018). "Detail Desain Pengelolaan dan Pengendalian Banjir Sistem Sungai Semarang Barat," in *Pemaparan Rencana Pengendalian Banjir Sungai Beringin*. Kota Semarang.
- Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana (2020). *Data Hujan Jam-Jaman Stasiun Silandak Desember 2018-Januari 2020*. Kota Semarang.
- Chow, V. T., Maidment, D. R. dan Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology, McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering*. Amerika Serikat: McGraw-Hill Co.
- Dewi, Y. P. (2014). *Pengaruh pemakaian rumus CN konversi terhadap banjir*. Universitas Gadjah Mada.
- Dinas PUSDATARU Provinsi Jawa Tengah (2020). *Data Hujan Harian Stasiun Mangkang Waduk 2003-2018*. Kota Semarang.
- Ibrahim-Bathis, K. dan Ahmed, S. A. (2016). "Rainfall-runoff modelling of Doddahalla Watershed — an application of HEC-HMS and SCN-CN in ungauged agricultural watershed," *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3), hal. 1–16. doi: 10.1007/s12517-015-2228-2.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2017). "Data Informasi Geospasial Tematik Daerah Aliran Sungai Pulau Jawa." Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Li, C., Liu, M., Hu, Y., Shi, T., Qu, X. dan Walter, M.T. (2018). "Effects of urbanization on direct Runoff characteristics in urban functional zones," *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 643, hal. 301–311. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.211.
- Luknanto, D. (2012). "Anafrek 1.a." Yogyakarta: Djoko Luknanto. Tersedia pada: <http://luk.staff.ugm.ac.id/gapai/sw/anafrek/index.html>.
- Ozdemir, H. dan Elbasi, E. (2015). "Benchmarking land use change impacts on direct runoff in ungauged urban watersheds," *Physics and Chemistry of the Earth*, 79–82, hal. 100–107. doi: 10.1016/j.pce.2014.08.001.
- Pemerintah Kota Semarang (2011). *Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 14 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang Tahun 2011-2031, Lembaran Daerah Kota Semarang Tahun 2011 Nomor 61*. Indonesia.
- Pemerintah Kota Semarang (2019). *Data Spasial RTRW Kota Semarang 2011-2031, Dinas Tata Kota dan Perumahan Semarang*. Tersedia pada: <http://distaru.semarangkota.go.id/semarang/index.php?webgis=tataruang>.
- Purwanto, A. (2004). *Pengelolaan banjir Kali Beringin*. Universitas Gadjah Mada.
- Sri Harto (2000). *Hidrologi: Teori, Masalah, Penyelesaian*. Yogyakarta: Nafiri.
- Tikno, S., Hariyanto, T., Anwar, N., Karsidi, A. dan Aldrian, E. (2012). "Aplikasi metode curve number untuk mempresentasikan hubungan curah hujan dan aliran permukaan di DAS Ciliwung Hulu – Jawa Barat," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 13(1), hal. 25. doi: 10.29122/jtl.v13i1.1402.
- Valor, G. B. (2020). *Data Hujan Harian Stasiun Ahmad Yani 2003-2019, OGIMET*. Tersedia pada: www.ogimet.com (Diakses: 25 Januari 2020).
- Widodo, I. I. (2007). *Kajian rencana pengendalian banjir Kali Beringin Kota Semarang*. Universitas Gadjah Mada.

Analisis Banjir Rancangan Metode Rasional dan Rasional Modifikasi Studi Kasus DAS Kali Pepe Hilir Kota Surakarta

Y.W. Widodo

Prodi Magister Teknik Pengelolaan Bencana Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
yuhanes.w.w@mail.ugm.ac.id

Istiarto

Prodi Magister Teknik Pengelolaan Bencana Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
INDONESIA
istiarto@ugm.ac.id

R. Jayadi

Prodi Magister Teknik Pengelolaan Bencana Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
rjayadi@ugm.ac.id

INTISARI

Kota Surakarta merupakan salah satu kota di Jawa Tengah yang sering mengalami banjir. Banjir disebabkan karena muka air Sungai Bengawan Solo lebih tinggi dari muka air di saluran drainase kota, sehingga terjadi backwater yang mengakibatkan air meluap. Selain itu hujan yang terjadi di Kota Solo akan menambah beban pada sistem drainase kota. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perbandingan banjir rancangan dengan menggunakan metode Rasional dan Rasional Modifikasi pada DAS Kali Pepe Hilir. Metode Rasional Modifikasi dirumuskan berdasarkan teori hidrograf satuan dengan pendekatan berbentuk segitiga seperti pada metode Rasional. Volume aliran yang diakibatkan hujan efektif 1 mm yang jatuh di DTA dianggap sama dengan luas hidrograf satuan segitiga. Kedua metode hitungan banjir rancangan menghasilkan debit puncak yang berbeda. Faktor yang paling berpengaruh terhadap perbedaan debit puncak adalah luas DTA. Untuk luas DTA kurang dari 1 km² perbedaan tidak signifikan. Luas DTA sampai dengan 1,6 km², debit puncak metode Rasional Modifikasi 1,5 kali debit puncak metode Rasional. Perbedaan debit puncak di DTA Jenes yang memiliki luas 4,761 km² adalah 1,3 kali. Luas DTA berkaitan dengan waktu konsentrasi yang berakibat langsung pada nilai debit puncak.

Kata kunci: banjir rancangan, metode Rasional Modifikasi, hidrograf satuan, waktu konsentrasi

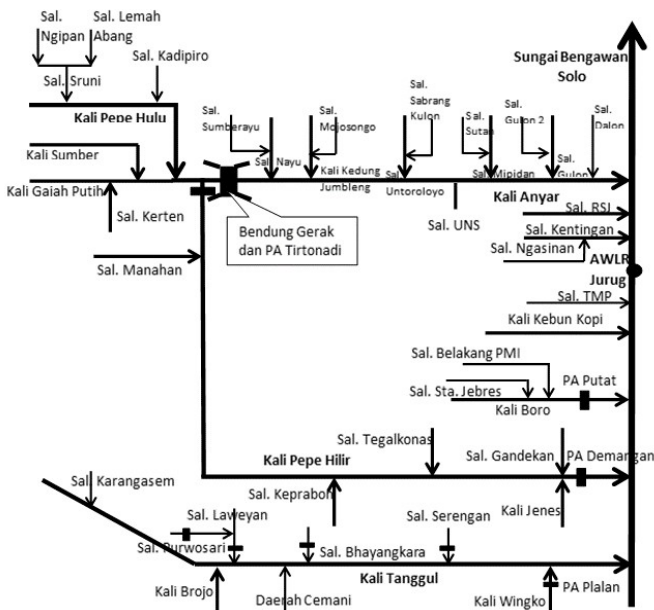
1 PENDAHULUAN

Kota Surakarta atau yang juga dikenal sebagai Kota Solo merupakan salah satu kota di Provinsi Jawa Tengah yang wilayahnya dibatasi oleh Sungai Bengawan Solo, sehingga drainase Kota Solo dipengaruhi oleh tinggi muka air Sungai Bengawan Solo. Kondisi ini menyebabkan Kota Solo sering terdampak banjir akibat muka air sungai Bengawan Solo yang lebih tinggi dari pada muka air di saluran drainase kota. Dampak banjir akan semakin bertambah besar apabila terjadi hujan lebat di wilayah Kota Solo, yang menyebabkan drainase tidak mampu menampung debit banjir yang terjadi. Kota Solo juga dilewati oleh Kali Pepe yang berhulu di Kabupaten Boyolali. Kali Pepe ini terbagi menjadi 2 (dua), yaitu Kali Pepe Hulu dan Kali Pepe Hilir yang keduanya dipisahkan oleh Pintu Air (PA) Tirtonadi. Kali Pepe Hilir mengalir melewati tengah Kota Solo berfungsi sebagai drainase utama dan sanitasi utama Kota Solo. Pada Kali Pepe Hilir terdapat PA Demangan yang dilengkapi dengan pompa banjir. Salah satu fungsi PA Demangan ini ialah mencegah pengaruh *backwater* dari Sungai Bengawan

Solo pada saat muka air Sungai Bengawan Solo tinggi. Faktor utama penyebab banjir di Kota Solo adalah beban hujan yang terjadi di Daerah Tangkapan Air (DTA) Kota Solo dan pengaruh tinggi muka air Sungai Bengawan Solo. Makalah ini menyajikan kajian terhadap debit banjir rancangan dengan menggunakan metode Rasional dan Rasional Modifikasi sehingga didapatkan banjir rancangan untuk perencanaan bangunan pengendali banjir di Kali Pepe Hilir.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Kali Pepe merupakan salah satu drainase utama Kota Solo. Kali Pepe ini terbagi menjadi dua, yaitu Pepe Hulu dan Kali Pepe Hilir yang sebelumnya merupakan satu bagian yang menerus. Untuk mengurangi beban Kali Pepe yang melewati pusat Kota Solo maka dibangun Kali Anyar yang merupakan sudetan saluran banjir yang langsung bermuara ke Sungai Bengawan Solo. Kali Anyar membagi Kali Pepe menjadi dua bagian Kali Pepe Hulu dan Hilir Pepe Hilir pada PA Tirtonadi (Laksitaningtyas, 2009). Sistem drainase Kota Solo dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema sistem drainase Kota Solo

3 METODOLOGI

3.2 Poligon Thiessen

Salah satu metode penghitungan hujan rata-rata di suatu DAS dengan cara poligon Thiessen. Metode poligon Thiessen memperhitungkan luas daerah yang diwakili oleh stasiun hujan yang bersangkutan, untuk digunakan sebagai faktor bobot Thiessen dalam menghitung hujan rata-rata (Triatmodjo, 2008).

3.3 Hidrograf Satuan

Konsep hidrograf satuan pertama kali dikenalkan oleh L. K. Sherman tahun 1932, yang banyak digunakan untuk mentransformasi dari hujan menjadi debit aliran (Ponce, 1989). Hidrograf satuan didefinisikan sebagai hidrograf limpasan langsung tanpa aliran dasar yang tercatat di ujung hilir DAS, yang disebabkan oleh hujan efektif sebesar 1 mm yang terjadi secara merata di permukaan DAS dengan intensitas tetap dalam suatu durasi tertentu (Sri Harto, 2000).

3.4 Analisa Frekuensi

Data yang digunakan untuk analisis frekuensi dibedakan menjadi dua tipe, yaitu *partial duration series* atau *peaks over threshold* dengan menetapkan suatu batas bawah tertentu dan *annual maximum series* dengan memilih satu data maksimum setiap tahunnya. Analisis frekuensi dilakukan melalui pendekatan statistik dengan mempertimbangkan empat macam distribusi, yaitu Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson III. Pemilihan distribusi yang akan digunakan perlu dilakukan dengan baik agar tidak mengakibatkan estimasi terlalu tinggi atau sebaliknya, terlalu rendah. Untuk itu, perlu dilakukan uji

kesesuaian distribusi, yaitu Uji Chi Kuadrat dan Uji Smirnov-Kolmogorov.

3.5 Metode Rasional

Metode Rasional digunakan untuk memperkirakan debit puncak yang ditimbulkan dari hujan pada daerah tangkapan (DAS). Metode Rasional merupakan metode sederhana yang sering digunakan dalam perencanaan drainase perkotaan (Triatmodjo, 2008). Persamaan dari metode Rasional untuk memperoleh debit puncak adalah:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (1)$$

dimana Q adalah debit puncak (m^3/s), C adalah koefisien pengaliran ($0 \leq C \leq 1$), I adalah intensitas hujan (mm/jam), A adalah luas DTA (km^2).

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman hujan per satuan waktu tertentu. Apabila data yang tersedia adalah hujan harian, hubungan antara intensitas dan durasi hujan dapat dinyatakan menggunakan persamaan Mononobe dengan rumus berikut (Sosrodarsono & Takeda, 1993).

$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2)$$

dimana I_t adalah intensitas curah hujan untuk durasi hujan t (mm/jam), R_{24} adalah curah hujan maksimum selama 24 jam (mm).

Waktu konsentrasi (t_c) adalah waktu yang dibutuhkan oleh air untuk mengalir dari tempat terjauh dalam suatu daerah tangkapan air menuju titik ukur. Aliran permukaan di suatu titik ukur akan mencapai puncak pada saat waktu konsentrasi yang menunjukkan bahwa seluruh daerah tangkapan air berkontribusi terhadap aliran permukaan yang terjadi (Chow, et al., 1988). Waktu konsentrasi dalam penelitian ini menggunakan persamaan *Australian Rainfall-Runoff* (1987).

$$t_c = 0,76 A^{0,38} \quad (3)$$

dimana A adalah luas DTA (km^2).

3.6 Durasi dan Distribusi Hujan Jam-jaman

Durasi hujan diperhitungkan dengan menggunakan kejadian hujan yang melebihi normal dengan kedalaman lebih dari 20 mm. Menurut Sosrodarsono & Takeda (1993), intensitas hujan diatas 20 mm/jam dikategorikan ke dalam hujan sangat lebat. Distribusi hujan jam-jaman dilakukan dengan metode *Alternating Block Method* (ABM), karena tidak adanya data distribusi hujan jam-jaman terukur. Hasil perhitungan distribusi hujan jam-jaman adalah hujan yang terjadi dalam n rangkaian interval waktu yang berurutan

dengan Δt sebesar 1 jam selama durasi hujan yang terjadi.

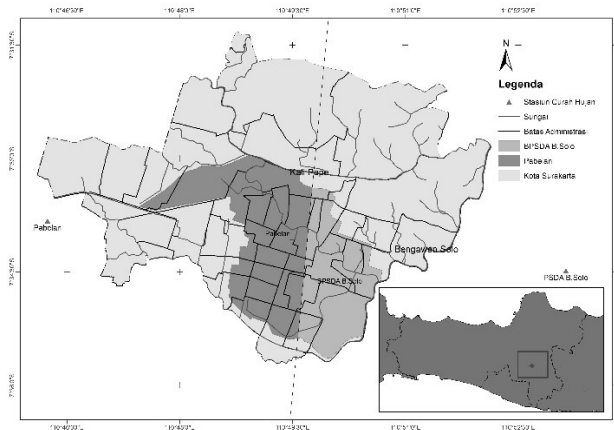
4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut Laksitaningtyas (2009) DAS Kali Pepe Hilir mempunyai luas 12,392 km², pembagian dan penamaan sub DAS dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penamaan dan luas DTA

No	Nama Saluran	DTA	Luas DTA (km ²)
1	Manahan	Manahan	0,426
2	Pepe Hilir 4	DTA 1	0,640
3	Pepe Hilir 3	DTA 2	1,310
4	Keprabon	Keprabon	0,348
5	Pepe Hilir 2	DTA 3	0,854
6	Tegalkonas	Tegalkonas	0,240
7	Pepe Hilir 1	DTA 4	1,566
8	Pepe Hilir 5	DTA 5	1,634
9	Gandekan	Gandekan	0,230
10	Kali Jenes	Kali Jenes	4,761
11	BS 1	DTA 6	0,383
		Luas Total	12,392

Analisis hujan rerata DTA dilakukan dengan menggunakan metode poligon *Thiessen*. Stasiun hujan yang mempengaruhi kawasan ini adalah Pabelan dan BPSDA Bengawan Solo. Data hujan yang digunakan adalah data hujan harian sepanjang 15 tahun (2003-2018). Poligon *Thiessen* DAS Kali Pepe Hilir dapat dilihat pada Gambar 2. Luas area dan faktor bobot *Thiessen* masing-masing stasiun hujan pada DAS Kali Pepe Hilir dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 2. Poligon *Thiessen* DAS Kali Pepe Hilir

Tabel 2. Luas area dan faktor bobot *Thiessen*

Stasiun Hujan	DAS Kali Pepe Hilir	
	Luas (km ²)	Bobot
Pabelan	7,66	0,62
BPSDA B.Solo	4,73	0,38
Total	12,39	1,00

Hasil perhitungan hujan harian maksimum DAS Kali Pepe Hilir disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hujan harian maksimum

Tahun	Hujan Harian Maksimum (mm)
2003	53
2004	71
2005	55
2006	61
2007	83
2008	101
2009	89
2010	74
2011	72
2012	65
2013	58
2014	79
2016	121
2017	98
2018	66

Analisis frekuensi hujan pada kawasan ini dilakukan untuk hujan rancangan dengan kala ulang tertentu. Analisis frekuensi dilakukan melalui pendekatan statistik dengan mempertimbangkan empat macam distribusi yaitu distribusi Normal, Log Normal, Gumbel dan Log Pearson III. Perhitungan uji Chi Square dan Smirnov-Kolmogorov menunjukkan distribusi Log Pearson III merupakan distribusi yang tepat untuk menentukan kedalaman hujan rancangan. Perhitungan uji kesesuaian distribusi dan hujan rancangan dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Uji kecocokan terhadap sebaran data teoretis

Uji	Gumbel	Log Normal	Log Pearson III	Normal
Smirnov-Kolmogorov	lolos	lolos	lolos	lolos
Selisih maks	0,065	0,072	0,057	0,115
Chi2	lolos	lolos	lolos	lolos
Chi2 maks	4,667	2,667	2,667	4,667

Tabel 5. Hujan rancangan berdasarkan berbagai nilai kala ulang

Kala Ulang	Gumbel	Log Normal	Log Pearson III	Normal
2	74	74	73	76
5	95	91	90	92
10	109	101	102	101

Untuk memperkirakan waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari titik terjauh pada setiap daerah tangkapan menuju Kali Pepe Hilir diperlukan perhitungan waktu konsentrasi yang merupakan fungsi dari luas daerah tangkapan air. Hasil perhitungan waktu konsentrasi untuk tiap DTA ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Waktu konsentrasi DTA Kali Pepe Hilir

No	DTA	t_c (jam)	t_c yang digunakan untuk Rasional Modifikasi (jam)
1	Manahan	0,550	1
2	DTA 1	0,641	1
3	DTA 2	0,842	1
4	Keprabon	0,509	1
5	DTA 3	0,716	1
6	Tegalkonas	0,442	1
7	DTA 4	0,901	1
8	DTA 5	0,916	1
9	Gandekan	0,435	1
10	Kali Jenes	1,375	2
11	DTA 6	0,528	1

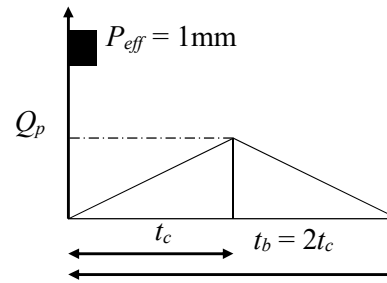
Metode Rasional digunakan untuk mendapatkan debit puncak berdasarkan intensitas hujan tanpa memperhatikan distribusi hujan dan durasi hujan. Nilai C untuk DAS Kali Pepe Hilir dikategorikan sebagai daerah perumahan *multi units* tertutup dengan nilai 0,75 (Ponce, 1989). Perhitungan debit puncak untuk beberapa kala ulang seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Debit puncak metode Rasional untuk kala ulang 2, 5 dan 10 tahun

No	DTA	Q_2 (m ³ /s)	Q_5 (m ³ /s)	Q_{10} (m ³ /s)
1	Manahan	3,34	4,14	4,68
2	DTA 1	4,53	5,61	6,34
3	DTA 2	7,74	9,57	10,82
4	Keprabon	2,88	3,56	4,02
5	DTA 3	5,62	6,95	7,86
6	Tegalkonas	2,18	2,70	3,05
7	DTA 4	8,84	10,94	12,36
8	DTA 5	9,13	11,29	12,76
9	Gandekan	2,11	2,61	2,95
10	Kali Jenes	20,28	25,09	28,35
11	DTA 6	3,09	3,82	4,32

Metode Rasional Modifikasi dirumuskan berdasarkan teori hidrograf satuan dengan pendekatan berbentuk segitiga seperti pada metode Rasional. Volume aliran yang diakibatkan hujan efektif 1 mm yang jatuh di DTA dianggap sama dengan luas hidrograf satuan

segitiga. Intensitas hujan efektif dihitung dengan memberikan kedalaman hujan efektif (P_{eff}) sebesar 1 mm. Model distribusi segitiga metode Rasional yang digunakan sebagai hidrograf satuan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Asumsi bentuk hidrograf metode Rasional

Debit puncak metode Rasional terjadi pada saat durasi hujan = waktu konsentrasi, dan waktu dasar (t_b) = $2t_c$. Dengan diketahui volume aliran yang diakibatkan oleh hujan efektif kedalaman 1 mm, maka Q_p dapat diperoleh. Dengan interpolasi linier dimana saat $t=0$ dan $t= t_b$, besarnya debit adalah 0 maka akan diperoleh debit untuk tiap jamnya. Volume limpasan langsung = luas segitiga.

$$Vol HS = A \times P_{eff} \tag{4}$$

$$0.5 \times 2t_c \times Q_p = A \times P_{eff} \tag{5}$$

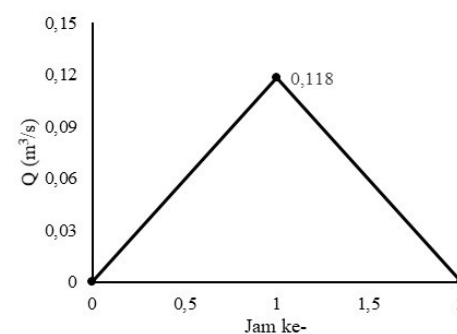
$$Q_p = \frac{A \times P_{eff}}{t_c} \tag{6}$$

Perhitungan Q_p untuk DTA Manahan, dengan $t_c = 1$ jam, $A = 0,426 \text{ km}^2 = 0,426 \times 10^6 \text{ m}^2$, dan $P_{eff} = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$.

$$Vol HS = (0,426 \times 10^6) \times 10^{-3} = 426 \text{ m}^3.$$

$$Q_p = 426 / (1 \times 3600) = 0,118 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Hasil perhitungan hidrograf satuan dengan menggunakan model segitiga metode Rasional untuk DTA Manahan dan perhitungan Q_p DTA lainnya dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 8.



Gambar 4. Hidrograf satuan DTA Manahan

Tabel 8. Debit puncak hidrograf satuan (Q_p) DTA Kali Pepe Hilir

No	DTA	t_c (jam)	Q_p (m ³ /s)
1	Manahan	1	0,118
2	DTA 1	1	0,178
3	DTA 2	1	0,364
4	Keprabon	1	0,097
5	DTA 3	1	0,237
6	Tegalkonas	1	0,067
7	DTA 4	1	0,435
8	DTA 5	1	0,454
9	Gandekan	1	0,064
10	Kali Jenes	2	0,661
11	DTA 6	1	0,106

Perhitungan durasi hujan menggunakan data hujan jam-jaman dari stasiun Pabelan tahun 2016 – 2019. Data hujan yang diperhitungkan adalah kejadian hujan yang melebihi normal dengan kedalaman lebih dari 20 mm. Kejadian-kejadian hujan tersebut kemudian dianalisa untuk mendapatkan durasi rata-rata hujan di atas 20 mm. Dari perhitungan yang dilakukan, diperoleh durasi hujan rata-rata sebesar 5,29 jam. Untuk kemudahan perhitungan dibulatkan menjadi 5 jam. Kehilangan (*loss*) dalam perhitungan hujan efektif dianggap sebagai pengurangan nilai hujan dengan parameter koefisien *run-off* (*C*) sebesar $1-C$, sehingga hujan efektif (P_{eff}) = $P_t \times C$ dimana P_t adalah hujan rancangan. Perhitungan hujan efektif untuk DTA Manahan hujan kala ulang 5 tahun dengan menggunakan distribusi metode ABM seperti ditunjukkan pada Tabel 9.

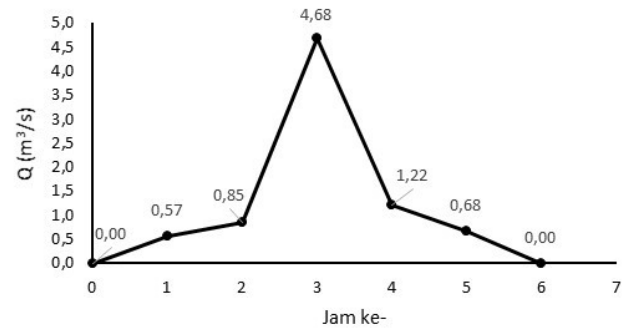
Tabel 9. Perhitungan hujan efektif kala ulang 5 tahun dengan metode ABM

No	t (jam)	I (mm/jam)	ΣP (mm)	ΔP (mm)	ABM (mm)	P_{eff} (mm)
1	1	52,72	52,72	52,72	6,46	4,85
2	2	33,21	66,42	13,70	9,61	7,21
3	3	25,35	76,04	9,61	52,72	39,54
4	4	20,92	83,69	7,65	13,70	10,28
5	5	18,03	90,15	6,46	7,65	5,74

Hidrograf limpasan langsung (HLL) yang merupakan hidrograf banjir rancangan dihitung sebagai jumlah perkalian hujan efektif setiap jam dengan hidrograf satuan. Perhitungan hidrograf limpasan langsung seperti pada Tabel 10. Hidrograf banjir DTA Manahan hujan kala ulang 5 tahun dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 10. Perhitungan HLL kala ulang 5 tahun DTA Manahan

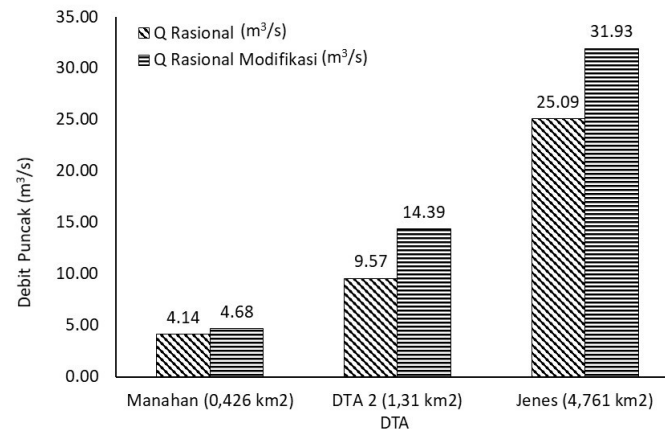
Jam Ke-	HS (m ³ /s)	P_{eff} (mm)					HLL (m ³ /s)
		4,85	7,21	39,54	10,28	5,74	
0	0,000	0,00					0,00
1	0,118	0,57	0,00				0,57
2	0,000	0,00	0,85	0,00			0,85
3			0,00	4,68	0,00		4,68
4				0,00	1,22	0,00	1,22
5					0,00	0,68	0,68
6						0,00	0,00



Gambar 5. Hidrograf banjir kala ulang 5 tahun di DTA Manahan

Perbandingan debit puncak metode Rasional dengan metode Rasional Modifikasi untuk kala ulang Q_5 dapat dilihat pada Gambar 6. Untuk DTA Manahan dengan luas 0,426 km² memiliki debit puncak sebesar 4,14 m³/s dan 4,68 m³/s masing-masing untuk metode Rasional dan metode Rasional Modifikasi, hal ini berarti untuk luas DTA dibawah 1 km² tidak ada perbedaan yang berarti untuk kedua metode tersebut. Debit puncak untuk DTA 2 dengan luas 1,31 km², debit puncak metode Rasional Modifikasi 1,5 kali debit puncak metode Rasional dengan debit sebesar 14,39 m³/s dan 9,57 m³/s. Perbedaan debit puncak di DTA Kali Jenes yang memiliki luas 4,761 km² adalah 1,3 kali dengan debit puncak metode Rasional sebesar 25,09 m³/s dan metode Rasional Modifikasi sebesar 31,93 m³/s, perbandingan 1,3 kali ini dikarenakan pada metode Rasional Modifikasi memiliki t_c yang lebih besar (2 jam) sehingga nilai Q_p hidrograf satuan dan debit puncak yang dihasilkan tidak berbanding lurus dengan perbedaan luas DTA.

Dari hasil perhitungan juga didapatkan waktu puncak (t_p) dengan metode Rasional Modifikasi untuk DTA Kali Jenes terjadi pada jam ke-4, untuk DTA lainnya terjadi pada jam ke-3. Perbandingan antara kedua metode untuk kala ulang 2, 5 dan 10 tahun seperti pada Tabel 11.



Gambar 6. Perbandingan debit puncak metode Rasional dengan metode Rasional Modifikasi untuk kala ulang 5 tahun.

Tabel 11. Perbandingan hasil debit puncak metode Rasional dan Rasional Modifikasi untuk kala ulang 2, 5, dan 10 tahun

DTA	Luas DTA (km ²)	Q_2		Q_5		Q_{10}	
		Q Rasional (m ³ /s)	Q Rasional Modifikasi (m ³ /s)	Q Rasional (m ³ /s)	Q Rasional Modifikasi (m ³ /s)	Q Rasional (m ³ /s)	Q Rasional Modifikasi (m ³ /s)
Manahan	0,426	3,34	3,78	4,14	4,68	4,68	5,29
DTA 1	0,640	4,53	5,68	5,61	7,03	6,34	7,94
DTA 2	1,310	7,74	11,63	9,57	14,39	10,82	16,26
Keprabon	0,348	2,88	3,09	3,56	3,82	4,02	4,32
DTA 3	0,854	5,62	7,58	6,95	9,38	7,86	10,60
Tegalkonas	0,240	2,18	2,13	2,70	2,64	3,05	2,98
DTA 4	1,566	8,84	13,90	10,94	17,20	12,36	19,44
DTA 5	1,634	9,13	14,51	11,29	17,95	12,76	20,28
Gandekan	0,230	2,11	2,04	2,61	2,53	2,95	2,85
Kali Jenes	4,761	20,28	25,81	25,09	31,93	28,35	36,08
DTA 6	0,383	3,09	3,40	3,82	4,21	4,32	4,75

Kedua metode hitungan banjir rancangan menghasilkan debit puncak yang berbeda. Faktor yang paling berpengaruh terhadap perbedaan debit puncak adalah luas DTA. Untuk luas DTA kurang dari 1 km² perbedaan tidak signifikan. Untuk luas DTA 1,3 sampai dengan 1,6 km², debit puncak metode Rasional Modifikasi 1,5 kali debit puncak Metode Rasional. Perbedaan debit puncak di DTA Kali Jenes yang memiliki luas 4,761 km² adalah 1,3 kali. Kedua metode memiliki perbedaan yang konsisten untuk nilai debit puncak untuk kala ulang 2, 5, 10.

5 KESIMPULAN

Luas DTA memiliki pengaruh terhadap nilai debit puncak. Semakin luas suatu DTA akan memberikan nilai t_c yang semakin besar sehingga nilai debit puncak juga akan semakin besar. Metode Rasional menghasilkan debit puncak yang lebih kecil dibandingkan metode Rasional Modifikasi hal ini dikarenakan debit puncak metode Rasional tidak mempertimbangkan durasi dan distribusi hujan yang terjadi. Metode Rasional Modifikasi memberikan hasil hidrograf banjir sehingga lebih cocok digunakan untuk analisa banjir rancangan, yang hasilnya akan

digunakan sebagai input hitungan hidraulika secara *unsteady flow*.

REFERENSI

- Chow, V. T., R, M. D. & W, M. L., 1988. *Applied Hydrology*. Singapore: Mc. Graw-Hill Book Company.
- Laksitaningtyas, A. P., 2009. *Kajian Kinerja Sistem Pengendalian Banjir Bengawan Solo, Studi Kasus Kota Solo (Tesis)*. Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Ponce, V. M., 1989. *Engineering Hydrology Principles and Practices*. New Jersey, USA: Prentice Hall Book Company.
- Sosrodarsono, S. & Takeda, K., 1993. *Hidrologi Untuk Pengairan*. 7 ed. Jakarta: Pradya Paramita.
- Sri Harto, B., 2000. *Hidrologi: Teori, Masalah, Penyelesaian*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Triatmodjo, B., 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.

Perencanaan Kolam Retensi Untuk Penanggulangan Banjir Menggunakan Epa SWMM Di Desa Sayung Kabupaten Demak

A. Sentani

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, INDONESIA
arisentani@unissula.ac.id

M. Faiqun Niam

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, INDONESIA
faiqun@unissula.ac.id

INTISARI

Wilayah Desa Sayung Kecamatan Sayung Kabupaten Demak adalah kawasan yang sering dilanda bencana banjir tahunan. Menurut Pemerintah Desa Sayung banjir pada tahun 2019 mengakibatkan 5.884 warga Desa Sayung mengungsi dan 1.471 rumah terendam banjir. Area sawah yang terendam adalah seluas 300 Ha dengan jumlah petani yang gagal panen mencapai 436 orang. Sehingga diperlukan penanganan yang komprehensif untuk menangani banjir tersebut.

Untuk penanggulangan banjir dibuatlah sebuah simulasi sistem penanganan banjir dengan software EPA SWMM (*Environmental Protection Agency Storm Water Management Model*). Pemilihan konsep penanganan didapatkan melalui simulasi ulang kapasitas saluran drainase agar dapat menampung debit rencana. Untuk dapat melakukan simulasi maka diperlukan data hidrologi dan pengukuran saluran eksisting. Debit Banjir yang didapat dari hasil perhitungan adalah Q2 sebesar 110,1 m³/detik, Q5 sebesar 134,9 m³/detik dan Q10 sebesar 147,8 m³/detik. Konsep Penanganan yang didapat dari penelitian ini adalah pembuatan kolam retensi di Dukuh Sayung Kidul dan Dukuh Sayung Wetan.

Kata kunci: Banjir, Debit, kolam retensi, EPA SWMM

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir merupakan fenomena alam yang biasa terjadi di suatu kawasan yang banyak dialiri oleh aliran sungai, wilayah Desa Sayung Kecamatan Sayung Kabupaten Demak adalah kawasan yang sering dilanda bencana banjir tahunan, menurut Pemerintah Desa Sayung pada tahun 2019 banjir mengakibatkan 5.884 warga Desa Sayung mengungsi dan 1.471 rumah terendam banjir. Area sawah yang terendam adalah seluas 300 Ha dengan jumlah petani yang gagal panen mencapai 436 orang.

Menurut Subardjo (2015) wilayah Pesisir Sayung merupakan dataran rendah dengan topografi relatif datar kurang dari 2%, elevasi 0-5 meter di atas permukaan air laut, selain itu juga adanya sedimentasi di Sungai Dombo Sayung dan saluran drainase Desa Sayung mengakibatkan air mudah meluap hingga ke pemukiman warga. Hal ini lah yang menjadi penyebab utama terjadinya banjir Desa Sayung 2018. Sehingga diperlukan penelitian untuk bisa melakukan

perencanaan sistem drainase yang dapat mengurangi dampak banjir ataupun bisa mengatasinya.

Untuk menganalisis kapasitas sistem drainase eksisting dalam menampung debit hujan digunakan simulasi dengan software EPA SWMM (*Environmental Protection Agency Storm Water Management Model*). Pemilihan konsep penanganan didapatkan melalui simulasi ulang kapasitas saluran drainase agar dapat menampung debit rencana. Untuk dapat melakukan simulasi maka diperlukan data hidrologi dan pengukuran saluran eksisting.

Permodelan EPA SWMM telah dipergunakan di berbagai negara termasuk Indonesia. Beberapa studi terdahulu yang dijadikan referensi pada studi ini adalah: Lei Jiang et al (2014) yang melakukan penelitian dengan judul *Urban Flood Simulation Based on the SWMM Model*; Situmorang, R (2015) melakukan penerapan model EPA SWMM 5.1 untuk evaluasi saluran drainase di Darmawangsa Residence, Bekasi, Jawa Barat; Wirosoedarmo, R et al (2017) memodelkan sistem drainase dengan aplikasi EPA SWMM di Perumahan Sawojajar Kota Malang; Syuhada, R.A et al (2016) dengan judul penelitian *Analisa Debit Banjir menggunakan EPA Storm Water Management Model (SWMM) di Sub DAS Kampar*

Kiri (Studi Kasus: Desa Lipat Kain, Kampar Kiri); Augusta, N (2017) yang melakukan penelitian mengenai evaluasi saluran drainase dengan menggunakan program swmm 5.1 di Perumahan Villa Ratu Endah, Bogor, Jawa Barat; Hudhiyantoro (2019) melakukan penelitian Potensi Penerapan *Ecodrainage* di Desa Sumberejo Kecamatan Pakal Kota Surabaya dengan menggunakan EPA SWMM 5.1 sebagai permodelan.

Penelitian ini mengambil posisi yang sedikit berbeda dengan penelitian sebelumnya dengan memfokuskan pada daerah pedesaan yang rentan terhadap banjir. Sehingga bisa didapatkan model yang tepat dalam penanganan banjir di wilayah pedesaan.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.2 EPA SWMM

EPA SWMM (*Environmental Protection Agency Storm Water Management Model*) adalah sebuah software yang didesain untuk membuat model simulasi hujan-runoff dinamik. Software ini mampu mensimulasikan pengaruh hujan-runoff dari suatu wilayah pada sistem drainasenya untuk jangka pendek maupun jangka panjang sekaligus memiliki fasilitas alternatif untuk mengantisipasi masalah banjir.

EPA SWMM telah dipergunakan secara luas untuk pemodelan kuantitas dan kualitas air di wilayah perkotaan di berbagai negara. Permodelan dalam EPA SWMM telah digunakan untuk analisa hidrolika yang rumit pada masalah saluran pembuangan, manajemen jaringan drainase dan studi berbagai permasalahan pencemaran.

Perencanaan dimensi jaringan pembuang untuk pengendalian banjir serta perencanaan daerah penahan sementara untuk pengendalian banjir dan pemetaan daerah genangan banjir dapat dianalisis dan disimulasikan menggunakan Aplikasi model EPA SWMM. Permodelan ini dapat digunakan untuk menghitung berbagai proses hidrologis dengan memperhatikan limpasan dari daerah perkotaan, yaitu curah hujan dengan variasi waktu, evaporasi permukaan air, akumulasi salju dan mencairnya, curah hujan di daerah tampungan, infiltrasi dari curah hujan yang masuk ke lapisan tanah tidak jenuh air, perkolasi dan infiltrasi ke dalam lapisan air tanah, aliran bawah antara air tanah, dan sistem drainase.

2.3 Analisis Frekuensi

Frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Kala ulang (return periode) adalah waktu hipotetik di mana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui (Suripin, 2004).

Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung (independent) dan terdistribusi secara acak dan bersifat stokastik (Suripin, 2004).

2.4 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air per-satuan waktu. Sifat umum intensitas hujan adalah makin singkat hujan berlangsung maka intensitasnya makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi intensitasnya.

Untuk memperoleh grafik IDF dari data curah hujan harian dilakukan dengan metode Mononobe. Persamaan ini digunakan apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian.

3 METODE PENELITIAN

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini bertempat pada Desa Sayung Kecamatan Sayung Kabupaten Demak. Untuk penanganan banjir akan difokuskan di Dukuh Sayung Kidul dan Dukuh Sayung Wetan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

3.3 Prosedur Penelitian

Metode pengumpulan data yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi secara langsung untuk mendapatkan data primer maupun pengumpulan data dari dokumen dokumen yang terkait. Setelah data terkumpul, maka dilakukan pengolahan data menggunakan software EPA SWMM. Metodologi penyelesaian dalam penelitian ini adalah seperti yang digambarkan dalam bagan alir.

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan dasar-dasar teori serta langkah-langkah penelitian yang berkaitan pembuatan pemodelan EPA SWMM yang didapatkan dari buku, website, ataupun jurnal. Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain adalah data curah hujan. Data curah hujan yang dipakai adalah data curah hujan harian maksimum tahun 2008-2019 yang didapatkan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Tahapan pengolahan dan analisis data adalah sebagai berikut :

1. Analisis Hidrologi dilakukan dengan menggunakan tahapan-tahapan sebagai berikut :

- a. Menentukan analisis curah hujan harian maksimum dengan distribusi statistik,
- b. Melakukan uji kesesuaian distribusi,
- c. Melakukan distribusi tinggi curah hujan per jam dengan rumus Mononobe yang akan dibandingkan dengan metode Nakayasu

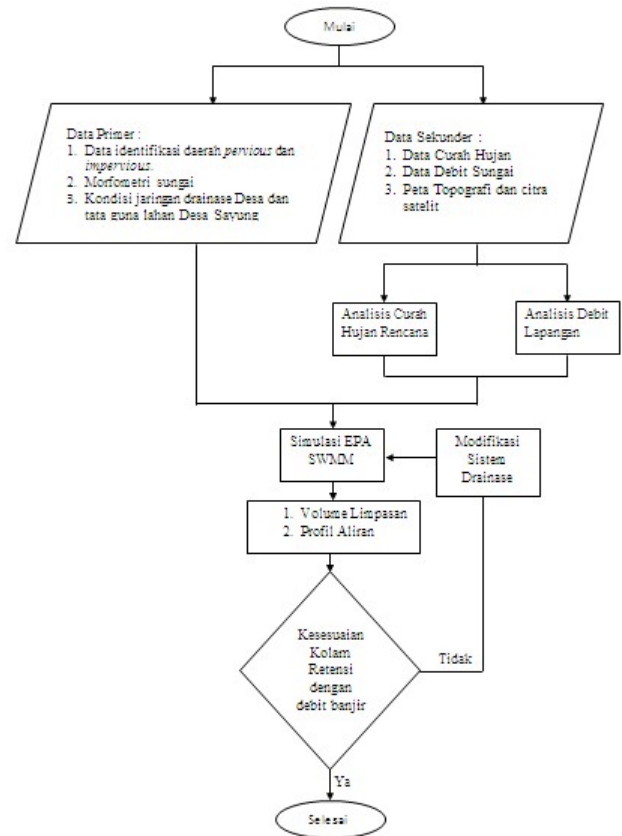
2. Menganalisis luasan sub area dan klasifikasi penggunaan lahan dari peta penggunaan lahan yang diolah dengan menggunakan program berbasis GIS.

3. Menganalisis debit banjir rencana menggunakan program EPA SWMM.

4. Melakukan perencanaan penanganan banjir berupa pembuatan kolam retensi dengan menggunakan EPA SWMM Analisis Intensitas Hujan.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian secara garis besar terdapat pada diagram alir penelitian , seperti pada gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.2 Analisa Hidrologi

Analisa Hidrologi diperlukan untuk dapat mengetahui debit banjir rancangan dengan menggunakan data curah hujan bulanan dari dua stasiun hujan, yaitu Banyumeneng (99) dan Pucanggading (98).

Tabel 1. Curah Hujan Harian Maksimum Rata-Rata

Tahun	Stasiun 98	Stasiun 99	$X=S(X_{1-2})$
2009	150	160	155
2010	87	85	86
2011	150	150	150
2012	100	61	80,5
2013	90	147	118,5
2014	106	175	140,5
2015	105	122	113,5
2016	104	215	159,5
2017	82	165	123,5
2018	88	95	91,5

Berdasarkan tabel diatas kemudian dihitung berdasarkan distribusi probabilitas maka diperoleh simpangan data yang terkecil menggunakan metode normal. Jadi data curah hujan rencana yang

dipergunakan menggunakan metode normal seperti pada tabel tersebut di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Hujan Rencana

Kala Ulang (tahun)	Hujan Rencana (mm)
2	110,1
5	134,9
10	147,8
20	158,5
25	161,6
50	170,6
100	178,6

Perencanaan sistem drainase memerlukan perkiraan debit puncak pada daerah tangkapan kecil dengan cara menganalisa grafik IDF atau hubungan antara intensitas hujan dengan durasi dan frekuensi. Untuk memperoleh grafik IDF dari data curah hujan harian dilakukan dengan rumus Mononobe. Hasil perhitungan intensitas hujan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3. Perhitungan Intensitas Hujan

Durasi		Intensitas		
Menit	Jam	2 tahun	5 tahun	10 tahun
		110,1	134,9	147,8
15	0,25	96,18	117,85	129,12
30	0,5	60,59	74,24	81,34
45	0,75	46,24	56,65	62,07
60	1	38,17	46,77	51,24
120	2	24,05	29,46	32,28
180	3	18,35	22,48	24,63
240	4	15,15	18,56	20,33
300	5	13,05	15,99	17,52
360	6	11,56	14,16	15,52

4.3 Analisa EPA SWMM

Analisa EPA SWMM dipergunakan untuk melakukan berbagai analisa hidrologi dan hidrolika dengan berbagai pilihan yang bisa dipergunakan. Fokus penataan saluran drainase dilakukan di Dukuh Sayung Kidul dan Dukuh Sayung Wetan, karena dua dukuh ini mengalami bencana banjir yang parah. Selain itu, terdapat lokasi yang dapat dipergunakan sebagai Kolam Retensi.

Dari analisis data kekasaran *manning*, data *despression storage*, data infiltrasi horton, data Saluran, dan data

curah hujan yang diolah menggunakan EPA SWMM sehingga didapat hasil seperti berikut.

Tabel 4. Data Sub DAS Dombo Sayung

Catchment	Luas (m ²)	Lebar (m) ^a	Keterangan
1	389	14	%Slope : 0,5
2	387	13	%Imperv : 25
3	619	16	N-imperv ^b : 0,012
4	616	15	N-perv ^c : 0,13
5	546	16	D-imperv ^d : 0,05
6	964	25	D-perv ^e : 0,15
7	398	12	
8	354	13	
9	1265	30	
10	354	12	
11	543	18	
12	276	16	
13	365	10	
14	342	8	

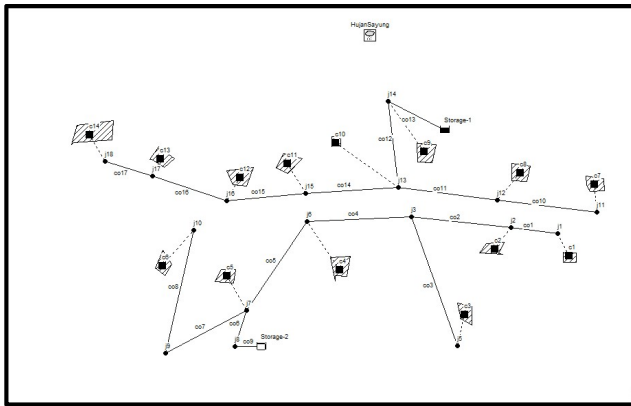
4.4 Skema EPA SWMM

Setelah melakukan analisis data, maka didapatkan gambar atau skema pada EPA SWMM.



Gambar 3. Skema SWMM Desa Sayung

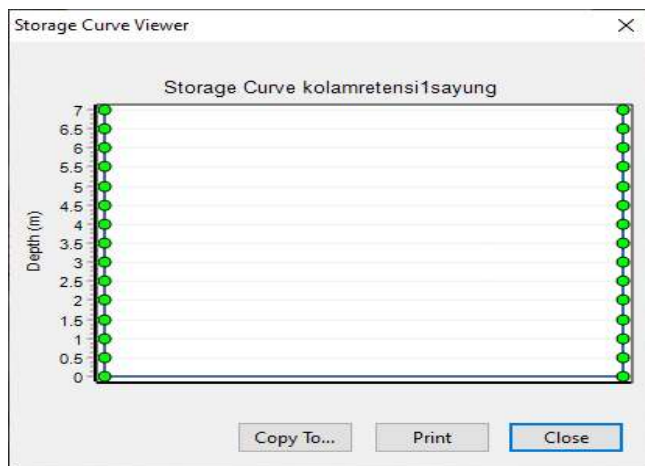
Skema tersebut didapatkan dengan membuat skema *junction*/saluran dan juga kolam retensi yang akan dipergunakan untuk penanganan banjir.



Gambar 4. Skema Junction dan Kolam Retensi

4.5 Data Storage Kolam Retensi

Kolam Retensi direncanakan di dua Dukuh yaitu Dukuh Sayung Wetan dan Dukuh Sayung Kidul. Perencanaan untuk kedua Kolam tersebut adalah sama, yaitu luas Kolam 25.000 m² dengan kedalaman 7 m dan kapasitas 175.000 m³. Adapun *Storage Curve* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Storage Curve

5 KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah :

- Debit banjir rencana yang didapat adalah Q₂ sebesar 110,1 m³/detik, Q₅ sebesar 134,9 m³/detik dan Q₁₀ sebesar 147,8 m³/detik.
- Volume Kolam Retensi yang digunakan untuk menangani banjir di Desa Sayung sebesar 175.000 m³ untuk Kolam di Dukuh Sayung

Kidul dan 175.000 m³ untuk Kolam di Dukuh Sayung Wetan.

- Penanganan banjir harus dilakukan secara menyeluruh dan simultan sehingga didapatkan penanganan yang komprehensif.

REFERENSI

Augusta, Nico, 2017, Evaluasi Saluran Drainase Dengan Menggunakan Program Swmm 5.1 Di Perumahan Villa Ratu Endah, Bogor, Jawa Barat. *Institut Pertanian Bogor, Bogor*.

Hudhiyantoro et al (2019), Potensi Penerapan Ecodrainage di Desa Sumberejo Kecamatan Pakal Kota Surabaya, *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil, No.1 Vol. 5, p.10-18*

Lei Jiang et al (2014), Urban Flood Simulation Based on the SWMM Model., *Proceedings RSHS14 and ICGRHWE14, Guangzhou, China, August 2014, p. 186-191*.

Situmorang, R (2015), Penerapan Model Epa Swmm 5.1 Untuk Evaluasi Saluran Drainase Di Darmawangsa Residence, Bekasi, Jawa Barat. *Institut Pertanian Bogor, Bogor*.

Subardjo P, 2015, Genangan Banjir Pasang Pada Kawasan Pemukiman di Kecamatan Sayung Kabupaten Demak. *FPIK Universitas Diponegoro, Semarang*.

Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta : Andi.

Syuhada, R.A et al (2016), Analisa Debit Banjir menggunakan EPA Storm Water Management Model (SWMM) di Sub DAS Kampar Kiri (Studi Kasus: Desa Lipat Kain, Kampar Kiri). *Jom FTEKNIK Volume 3 No.2 Oktober 2016*.

Wirosoedarmo, R et al (2017), Evaluasi Kinerja Saluran Drainase Pemukiman Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Epa Swmm 5.1 (Studi Kasus Perumahan Sawojajar Kota Malang, Indonesia), *Prosiding Seminar Nasional FKPT-TPI 2017, Kendari, p. 246-259*

Penentuan Head Hidrolis Pada Jaringan Distribusi Air Bersih Menggunakan Software EPANET 2.0

Nasyiin Faqih

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sains Al Qur'an, Wonosobo, INDONESIA
nasyiin@unsiq.ac.id

Ashal Abdussalam

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sains Al Qur'an, Wonosobo, INDONESIA
ashal@unsiq.ac.id

INTISARI

Air merupakan senyawa yang sangat penting bagi kehidupan manusia dan juga makhluk lainnya. Keberadaan air akan menjadi tolak ukur keberlangsungan hidup suatu komunitas dalam suatu lingkup wilayah tertentu. Desa Tegalsari, Kecamatan Garung Kabupaten Wonosobo merupakan desa dengan potensi sumber air yang melimpah, tetapi belum diimbangi dengan pemanfaatan yang maksimal. Masih ada beberapa dari penduduknya yang masih menggunakan sumber air dari sungai. Maka dilakukanlah peninjauan untuk membuat perencanaan jaringan air bersih bagi penduduk desa. Untuk mengetahui debit dari sumber mata air penulis telah melakukan pengumpulan data primer maupun sekunder. Metode yang digunakan adalah observasi dan studi pustaka. Analisa hidrolika menggunakan Software Epanet 2.0. Dari pengamatan dan peninjauan diketahui bahwa debit mata air sebesar 4,05 lt/dt. Angka ini cukup untuk memenuhi kebutuhan air penduduk sampai 15 tahun ke depan yang kurang lebih sebesar 2.25 l/dt dengan jumlah pemakai sebanyak 819 jiwa. Bangunan-bangunan penunjang direncanakan dengan perhitungan dan memperhatikan keadaan di lokasi yang sebenarnya. Dari hal tersebut didapatkan bangunan bak bronkaptering dengan dimensi 3 m x 2,5 m x 2 m, bak induk dengan dimensi 3m x 2,5m x 2m dan bangunan bak RT dengan dimensi 2m x 2 m x 1m. Total biaya yang diperlukan untuk melaksanakan rencana ini adalah Rp. 265.315.000,- dengan harga air Rp. 2.300,- per m³.

Kata kunci: jaringan, air, hidrolika, *EPANET*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan salah satu unsur terpenting dalam kehidupan setiap makhluk hidup di muka bumi, tak terkecuali manusia. Ketersediaan air dalam suatu wilayah menentukan kelangsungan hidup bagi seluruh spesies yang hidup di dalamnya (Faqih, Abdussalam, & Indriyati, 2019).

Sedangkan berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 1405/Menkes/Sk/XI/2002, bahwa air bersih adalah air yang dipergunakan untuk keperluan sehari-hari dan kualitasnya memenuhi persyaratan kesehatan air bersih sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku dan dapat diminum apabila dimasak. Dan menurut Kondoatie (2003), mengatakan bahwa air bersih adalah air yang kita pakai sehari-hari untuk keperluan mencuci, mandi, memasak dan dapat diminum setelah dimasak. Dimana air yang dihasilkan

PDAM pun bukan merupakan air minum yang langsung dapat diminum seperti air minum dari kemasan melainkan masih pada tingkat air bersih, karena air dari PDAM dapat kita minum setelah dimasak terlebih dahulu.

Air juga mengalami sirkulasi yang disebut daur hidrologi, yaitu pola pendauran air yang umum dan terdiri susunan gerakan-gerakan air yang rumit dan transformasi-tranformasinya (Lee, 1988).

Proses ini berawal dari air di permukaan tanah dan laut yang menguap ke udara kemudian berubah menjadi titik-titik air yang mengumpul dan membentuk awan, kemudian uap air ini mengalami titik jenuh, dan jatuh ke bumi menjadi hujan dan salju. Sebagian air yang jatuh diserap tumbuhan, sebagian menguap lagi dan sebagian lainnya meresap ke dalam tanah. Air dari mata air, sumur, sungai, dan lain-lain. Sepintas terlihat bersih kecuali ada pengaruh dari luar misalnya

tercemar atau setelah hari hujan dan sebagainya, sehingga air tampak keruh. Kualitas Air Bersih .Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001, air menurut penggunaannya digolongkan menjadi empat.

Tabel 1. Penggolongan Air Menurut Penggunaannya

No	Golongan	Keterangan
1	Kelas satu	Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum.
2	Kelas dua	Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan untuk mengairi pertanian.
3	Kelas tiga	Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan untuk mengairi pertanian.
4	Kelas empat	Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian.

Sumber : Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 Tahun 2001

Pembagian kelas ini didasarkan pada peringkat (gradasi) tingkatan baiknya mutu air, dan kemungkinan kegunaannya. Tingkatan mutu air Kelas Satu merupakan tingkatan yang terbaik. Secara relatif, tingkatan mutu air Kelas Satu lebih baik dari Kelas Dua, dan selanjutnya. Tingkatan mutu air dari setiap kelas disusun berdasarkan kemungkinan kegunaannya bagi suatu peruntukan air.

Air baku air minum adalah air yang dapat diolah menjadi air yang layak sebagai air minum dengan pengolahan secara sederhana dengan cara difiltrasi, disinfeksi, dan dididihkan (Sutrisno, 1996). Klasifikasi mutu air merupakan pendekatan untuk menetapkan kriteria mutu air dari tiap kelas, yang akan menjadi dasar untuk penetapan baku mutu air. Setiap kelas air mempersyaratkan mutu air yang dinilai masih layak untuk dimanfaatkan bagi peruntukkan tertentu. Peruntukan lain yang dimaksud misalnya kegunaan air untuk proses industri, kegiatan penambangan dan pembangkit tenaga listrik, asalkan kegunaan tersebut dapat menggunakan air dengan mutu air sebagaimana kriteria mutu air dari kelas air dimaksud (*Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 Tahun 2001*).

Desa Tegalsari, Kecamatan Garung, Kabupaten Wonosobo merupakan desa dengan sumber air bersih yang melimpah dan mengalir sepanjang tahun. Namun demikian tidak diimbangi dengan jaringan air bersih yang memadai. Dengan demikian perlu adanya perencanaan sistem jaringan air bersih Desa Tegalsari Kecamatan Wonosobo Kabupaten Wonosobo. Dengan uraian latar belakang di atas maka rumusan masalah dalam tulisan ini adalah :

1. Bagaimana *head hidrolis* (tinggi tekan) pada sistem jaringan air bersih di Desa Tegalsari.
2. Bagaimana proyeksi kebutuhan air (semua masyarakat tanpa terkecuali yang sudah menggunakan PDAM) dan pertambahan jumlah penduduk sampai dengan tahun perencanaan 15 tahun

2 METODOLOGI

2.1 Layout Halaman

Pada studi ini menggunakan bahan berupa data primer yaitu berupa , Data Ketersediaan Air, Skema dan Data Teknis Jaringan Pipa serta data sekunder yaitu Data Jumlah Penduduk dan Jumlah Pelanggan PDAM.

Dalam penyelesaian studi ini proyeksi jumlah penduduk digunakan sebagai dasar untuk menghitung tingkat kebutuhan air bersih pada masa mendatang (DPU Ciptakarya, 2013). Proyeksi jumlah penduduk di masa mendatang dapat dilakukan dengan menggunakan Metode Eksponensial, Metode Aritmatik, Metode Geometrik. Perhitungan analisa jaringan menggunakan Software EPANET 2.0.

3 ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Pertumbuhan Jumlah Penduduk

Proyeksi pertumbuhan penduduk selama 15 tahun (tahun 2032) menggunakan rumus :

$$P_n = P_0(1+r)^n$$

Tabel 2. Perkiraan Jumlah Penduduk

No	Proyeksi	Jumlah penduduk
1	Tahun Perencanaan	716 jiwa
2	5 tahun	749 jiwa
3	10 tahun	783 jiwa
4	15 tahun	819 jiwa

3.2 Pengukuran Debit

Pengukuran debit air dengan Metode Tampung.

Dari hasil pengukuran bisa dihitung besarnya debit yang mengalir, yaitu:

$$Q = \sum \text{rata rata } V / \sum \text{rata rata } T$$

$$= 20.26 \text{ liter} / 5,00 \text{ detik}$$

$$= \mathbf{4,05 \text{ liter/detik}}$$

3.3 Pengukuran Elevasi Jaringan

Elevasi titik pemakaian air (*node*) diukur menggunakan alat GPS (*Global Positioning System*) menggunakan GPS GARMIN 76csx. Elevasi titik pemakaian air (*node*) diukur menggunakan alat GPS (*Global Positioning System*). Hasil pengukuran elevasi dicantumkan pada tabel.

Dari tabel 3.2 diketahui bahwa kebutuhan air baku penduduk desa Tegalsari sebesar 2,25 lt/dt. Debit yang mengalir pada mata air adalah 4,05 lt/dt. Dengan demikian mata air tersebut memungkinkan untuk dijadikan sumber air baku dalam perencanaan jaringan air bersih di desa Tegalsari.

Tabel 3. Kebutuhan Baku Desa Tegalsari

no	Uraian	satuan	tahun proyeksi ke n				analisa perhitungan	
			th perenc 2017	5 th (2022)	10 th (2027)	15 th (2032)	kode	cara hitung
1	Jumlah penduduk	jiwa	716	749	783	819	1	
	Pertumbuhan penduduk	%	0,10	0,10	0,10	0,10	2	
2	Pelayanan sambungan	jiwa	716	749	783	819	3	
		jiwa/ sb	5,00	5,00	5,00	5,00	4	4=1
	Pemakaian	Jmlsb	143,20	149,78	156,67	163,87	5	
		L/org/hr	60,00	60,00	60,00	60,00	6	6=4+5
		L/sb/hr	300,00	300,00	300,00	300,00	7	
		L/dt	0,50	0,52	0,54	0,57	8	8=7.5
3	Total domestik	L/dt	0,50	0,52	0,54	0,57	9	9=4.786400
4	Total non domestik	%	0,00	0,00	0,00	0,00	10	10=9
		L/dt	0,00	0,00	0,00	0,00	11	
5	Total kebutuhan air	L/dt	0,50	0,52	0,54	0,57	12	
6	Kehilangan air	%	20,00	20,00	20,00	20,00	13	13=10+12
		L/dt	0,10	0,10	0,11	0,11	14	
7	kebutuhan air : - Rata - Rata - Harian pucak	L/dt	0,60	0,62	0,65	0,68	15	15=13.14/100
		Faktor	1,10	1,10	1,10	1,10	16	
		L/dt	0,66	0,69	0,72	0,75	17	16=13+15
		m ³ /jm	2,36	2,47	2,58	2,70	18	18=16.17
		m ³ /hr	56,71	59,31	62,04	64,89	19	19=18.3600/1000
8	Kapasitas air baku	faktor	3,00	3,00	3,00	3,00	20	20=19 (24)
		L/dt	1,97	2,06	2,15	2,25	21	
9	Kapasitas umum	m ³ /hari	11,34	11,86	12,41	12,98	22	22=16.21
						23	23=20.20%	

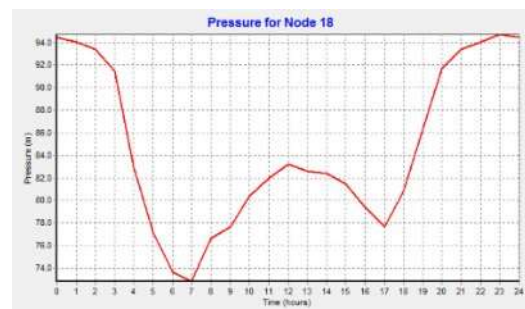
3.4 Perhitungan Pra desain

Perhitungan ini meliputi perhitungan kehilangan energi perhitungan diameter pipa, perhitungan sisa tekan pada tiap-tiap noda (Rossman, 2000). Hasil simulasi Jaringan pipa dengan menggunakan Software EPANET 2.0 sebagai berikut:

Tekanan sisa pada titik simpul merupakan selisih antara elevasi tinggi tekan pada titik simpul (HGL) dengan elevasi titik simpul tersebut.

Tabel 4. Hasil Simulasi Titik Simpul Jaringan Distribusi Pengembangan tahun 2045 pada J18

Time	Pressure	Time	Pressure	Time	Pressure
Jam	m	Jam	m	Jam	m
0:00	200.32	9:00	52.93	18:00	59.28
1:00	167.1	10:00	58.27	19:00	74.77
2:00	141.66	11:00	61.86	20:00	108.94
3:00	106.18	12:00	65.1	21:00	141.66
4:00	64.55	13:00	63.46	22:00	167.1
5:00	51.98	14:00	62.93	23:00	235.33
6:00	46.04	15:00	60.82	24:00:00	200.32
7:00	44.7	16:00	56.29		
8:00	51.05	17:00	52.93		



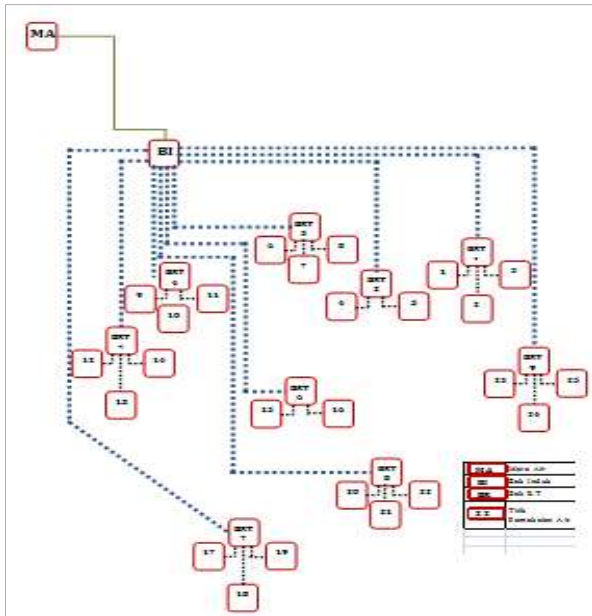
Gambar 1. Grafik Fluktuasi Tekanan Titik Simpul J18 Tahun 2032

Berikut disajikan contoh hasil simulasi pada distribusi jaringan pipa no 23 untuk kondisi pengembangan pada pukul 07.00 (jam puncak)



Gambar 2. Grafik Headloss Gradient Pada Pipa 23

Secara umum kehilangan tinggi pada jaringan pipa tahap pengembangan tahun 2032 telah memenuhi syarat yaitu tidak didapati adanya headloss yang cukup besar.



Gambar 3. Hasil simulasi jaringan dengan Software EPANET 2.0

4 KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan pada Desa Tegalsari dapat diambil kesimpulan :

1. Dari pengukuran debit mata air diperoleh 4.05 l/dt
2. Pada tahun rencana ke 15 (tahun 2032) pemanfaatan air masih dapat digunakan secara optimal. Berdasarkan perhitungan simulasi diperoleh bahwa kebutuhan perhari adalah 2.25 l/dt dimana debit tersebut masih jauh dibawah debit mata air.

4.2 Saran

Adapun saran yang dapat kami berikan sebagai upaya dalam pemenuhan kebutuhan air bersih Desa Tegalsari ini adalah :

1. Perlu diikuti sertakannya warga dalam perencanaan pembangunan jaringan air bersih ini, sehingga

tidak akan menimbulkan selisih pendapat antara perencana (pemerintah) dengan masyarakat dimasa yang akan datang.

2. Perlunya partisipasi yang lebih banyak dari pemerintah dalam tata kelola air dan pembangunan infrastruktur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih saya ucapkan kepada Ketua Program Studi Teknik Sipil UNSIQ Wonosobo yang telah memfasilitasi penelitian ini hingga selesai.

REFERENSI

Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Cipta Karya. (2013). *Petunjuk Praktis Perencanaan Pembangunan Sistem Penyediaan Air Bersih Pedesaan*. Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Rekompak – JRF. (2006), *Pedoman Perencanaan Pengadaan Air Bersih Pedesaan*. Jakarta.

Faqih, N., Abdussalam, A., & Indriyati, O. (2019). Potential Analysis of Muncar River for Utilization of Micro Hidro Power Plant (MHPP), 2(5), 1–8.

Kodoatie, Robert J., 2002. *Hidrolika Terapan: Aliran Pada Saluran Terbuka dan Pipa*. Andi. Yogyakarta.

Rossman, L., 2000. *Manual User Software EPANET 2.0 (Versi Bahasa Indonesia)*. EKAMITRA Engineering.

Totok Sutrisno, C, dkk, 1996. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. PT. Rineka Cipta, Jakarta.

Triatmojo, Bambang. (1996). *Hidrolika II*. Jakarta: Erlangga.

Wilson, E. M. (1993). *Hidrologi Teknik (MM Purbohadiwidjodjo, Penerjemah.)*. Bandung: Penerbit ITB.

Evaluasi Kinerja Kantong Lumpur Bendung Karangtalun

B. Sulistiono

Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
bambangulis33@gmail.com

I. F. G. Putra

Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
Ikhsangp99@gmail.com

INTISARI

Kantong lumpur merupakan salah satu bagian dari saluran irigasi yang berfungsi untuk mengendapkan sedimen sebelum aliran masuk ke saluran irigasi utama, bermanfaat untuk meminimalisir angkutan sedimen tidak mengendap ke petak-petak sawah. Kantong lumpur diletakan pada bagian hulu saluran utama, sebelum saluran primer. Sesuai fungsinya maka kinerja kantong lumpur tergantung dari volume lumpur yang diendapkan yang selanjutnya dibilas masuk ke sungai dari akhir sebuah bendung. Oleh karena itu, kinerja bangunan kantong lumpur dipengaruhi oleh debit pengambilan, karakter sedimen, dimensi bangunan kantong lumpur, dan periodisasi pengurusan kantong lumpur. Studi kasus ditetapkan bangunan kantong lumpur di bendung Karangtalun, Kabupaten Magelang. Besaran angkutan sedimen dihitung dengan metode *Meyer-Peter dan Muller* (MPM). Dimensi bangunan kantong lumpur didapat dari pengukuran langsung di lapangan dengan alat bantu *Theodolit*. Debit aliran dihitung dengan cara mengukur tampang aliran secara langsung dan kecepatan aliran dengan alat bantu *Current Meter*. Karakter sedimen didapatkan dari pengujian laboratorium yang terdiri dari uji berat jenis, berat volume, dan distribusi butiran sedimen. Berdasarkan analisis sedimen yang masuk dan pengukuran kantong lumpur, dibandingkan antara sedimen yang mengendap dengan kapasitas kantong lumpur. Dari data pengukuran didapat luas penampang saluran 25,13 m² dan debit 10,49 m³/detik. Nilai angkutan sedimen layang (*Suspended load*) yang mengendap sebesar 7,74x10⁻⁴ m³/hari, sedimen dasar (*Bed load*) sebesar 502,12 m³/hari, sehingga sedimen total sebesar 502,12 m³/hari. Kapasitas sedimen yang dapat ditampung sebesar 7192,38 m³. Berdasarkan informasi yang diperoleh Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak pembilasan yang dilakukan adalah setiap 14 hari sekali pada hari Selasa pekan kedua dan keempat setiap bulan. Sedimen yang mengendap selama kurun waktu tersebut sebesar 7029,68 m³, maka kantong lumpur bendung Karangtalun masih pada kondisi kinerja yang baik.

Kata kunci: Kantong lumpur, debit, Angkutan sedimen, *Meyer-Peter dan Muller*, kinerja.

1. PENDAHULUAN

Bangunan kantong lumpur merupakan salah satu bagian dari jaringan irigasi yang fungsinya untuk mengendapkan sedimen yang masuk untuk mengurangi jumlah sedimen yang mungkin terbawa aliran dan akan mengendap di petak sawah, sehingga terjadi kolmatasi. Kantong lumpur terletak pada paling hulu saluran primer, sebelum pintu pengambilan pada saluran primer tersebut. Bangunan dilengkapi dengan pintu pembilas endapan lumpur kembali sungai. Oleh karena itu perlu ditelaah kinerja kantong lumpur pada sebuah jaringan irigasi, terutama jaringan irigasi yang sudah berumur, sebagaimana saluran mataram yang pengambilannya terletak di Bendung Karangtalun. Bendung Karangtalun yang berada di desa Karangtalun, Kabupaten Magelang dibangun pada tahun 1909 pada masa Sri Sultan Hamengkubuwono VIII yang awalnya bertujuan untuk menunjang produksi pabrik gula. Pada tahun 1980 dilakukan rehabilitasi bendung dengan menambah fungsi air untuk irigasi padi disawah, baik langsung dengan pengambilan di petak sawah atau suplesi melalui

beberapa sungai yang terlewati oleh saluran mataram. Jumlah luas petak sawah yang dapat dilayani dari bendung Karangtalun secara menyeluruh seluas 30.000 hektar, dengan pelayanan langsung ke daerah irigasi seluas 4.290,20 hektar, selebihnya pelayanan melalui suplesi pada bendung-bendung kecil yang terdapat pada sungai-sungai yang dilintasi oleh saluran mataram. Saluran Mataram berpangkal di bendung Karangtalun pada kali Progo, melintas wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta dan berujung pada sungai Opak. Dari pentingnya fungsi dan umur kantong lumpur perlu dievaluasi kinerja kantong lumpur bendung Karangtalun.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Debit Sungai

Debit adalah ukuran volume aliran per satuan waktu. Debit sungai akan bervariasi sebanding dengan variasi hidroklimatologi wilayah tangkapan tersebut, dalam arti secara umum dipengaruhi oleh jumlah hujan pada kawasan tersebut, baik secara spasial maupun temporal. Pada sungai intermitten variasi debit terlihat

nyata dari waktu ke waktu sepanjang tahun, dengan kemungkinan terjadi kering pada musim kemarau yang panjang, namun melimpah pada saat puncak musim hujan. Dalam pemanfaatan aliran sungai untuk keperluan irigasi dikenal dua istilah debit, yakni: andalan dan pengambilan. Debit andalan adalah besaran debit yang dapat dimanfaatkan secara aman dari sudut pandang kebutuhan dan kelangsungan morfologi sungai. Definisi umum debit andalan adalah besaran debit yang dapat menjamin keterpenuhan aliran selama delapan puluh persen (80%) waktu aliran sepanjang tahun. Dalam arti kemungkinan kekurangan aliran yang dibutuhkan sebesar duapuluh persen (20%). Pada kondisi tertentu andalan ini dapat ditingkatkan menjadi 90% atau justru diturunkan menjadi 50%. Dalam menentukan besaran andalan dapat dilakukan dengan analitik atau grafis. Debit irigasi adalah besarnya pengambilan pada pintu pengambilan pada bendung. Besarnya debit pengambilan ditentukan oleh luasan sawah yang akan dilayani, jenis tanaman, dan pola tanam yang dipilih. Jenis tanaman dan pola tanam akan menghasilkan satuan debit tetapan dalam ukuran hektar pada tingkat strata sawah terendah, selanjutnya diakumulasikan menjadi debit pada saluran primer, dan diberi angka aman antara sepuluh persen (10%) sampai duapuluh persen (20%) pada pintu pengambilan. Kesesuaian antara debit andalan dengan debit pengambilan merupakan keputusan pokok dalam disain jaringan irigasi pada suatu wilayah. Pada studi kasus selokan mataram didapat bahwa debit pengambilan yang mencukupi untuk keperluan irigasi baik secara langsung diambil pada petak tersier maupun suplesi serta untuk pengglontoran sebesar 10,49 m³/detik.

2.2 Sedimen

Kinerja bangunan kantong lumpur dipengaruhi oleh karakter sedimen yang masuk, debit aliran, dan dimensi bangunan kantong lumpur itu sendiri. Dari ketiga faktor tersebut jumlah sedimen memegang peran utama dalam disain, operasi, dan pemeliharaan kantong lumpur. Sedimen terdiri atas sedimen layang (suspended load), sedimen dasar (bed load) dan sedimen total.

a. Sedimen melayang

Sedimen melayang dapat dihitung dengan Persamaan (1) sebagai berikut (Direktorat Jendral Sumber Daya Air, 2009):

$$S_s = 0,0864 \cdot c \cdot C_w \quad (1)$$

Dengan S_s adalah jumlah sedimen melayang (ton/hari), c adalah konsentrasi sedimen (mg/liter), dan C_w adalah debit retata saluran (m³/detik). Dalam hal tidak ada data pengukuran sedimen, maka volume sedimen layang

diperkirakan sebesar 5 permill dari debit saluran (KP-02, 2013).

b. Sedimen dasar.

Estimasi sedimen dasar dapat dihitung dengan persamaan Meyer Putter Muller sebagaimana Persamaan (2) berikut ini.

$$\gamma_w \left(\frac{Q_s}{Q} \right) \left(\frac{K_s}{K_s'} \right)^{3/2} h S = 0,047 (\gamma_s - \gamma_w) d_m + 0,25 \frac{\gamma_w^{1/3}}{g} S_b^{2/3} \quad (2)$$

Dengan γ_w adalah berat satuan volume air (ton/m³), γ_s adalah berat satuan volume sedimen (ton/m³), Q_s/Q adalah factor yang tergantung dengan tampang saluran, K_s/K_s' adalah *ripple factor*, h adalah tinggi aliran (m), S adalah kemiringan saluran, d_m adalah diameter median (mm), g adalah gravitasi (m/detik²), dan S_b adalah berat sedimen per satuan lebar saluran (kg/detik/m).

c. Sedimen total.

Sedimen total merupakan penjumlahan antara sedimen layang dan sedimen total, Persamaan (3) berikut ini.

$$S_T = S_s + S_b \quad (3)$$

Untuk menentukan diameter median dilakukan pengambilan sampel sedimen dalam saluran, yang selanjutnya dilakukan analisis saringan. Berdasarkan grafik hasil analisis saringan dapat ditetapkan nilai diameter median butiran, yakni diameter yang lepas lebih besar atau sama dengan 50%.

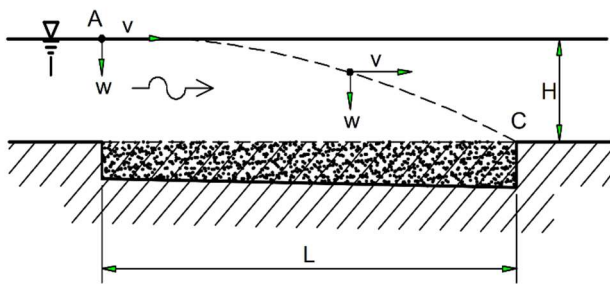
2.3 Kapasitas Kantong Lumpur

Kantong lumpur sebagai bangunan pengedali sedimen didisain sedemikian rupa agar sedimen yang terbawa oleh aliran dapat diendapkan pada bangunan ini, dengan memperlambat kecepatan aliran, yaitu dengan memperlebar ukuran saluran. Panjang kantong lumpur yang sering dijumpai antara 200 sampai 500 meter. Faktor yang mempengaruhi panjang kantong lumpur adalah: diameter sedimen yang akan mengendap, topografi saluran, dan kemungkinan operasional pembilasan. Pada kondisi diameter sedimen kurang dari 0,06 milimeter, kantong lumpur dapat dipertimbangkan untuk ditiadakan, namun kondisi tersebut jarang dijumpai. Dasar untuk menentukan panjang kantong lumpur diperlihatkan pada Persamaan (4) sebagai berikut.

$$L = \frac{hv}{w} \quad (4)$$

Dengan L adalah panjang kantong lumpur (m), h adalah tinggi aliran (m), v adalah kecepatan aliran

(m/detik) dan w adalah kecepatan endap sedimen sebagaimana terlihat pada Gambar 1



Gambar 1. Skema Kantong Lumpur.

Sebagaimana disampaikan sebelumnya, untuk memperlambat kecepatan aliran maka panjang kantong lumpur (L) harus lebih besar dari 8 (delapan) kali lebar saluran (b). Kecepatan endap sedimen (w) dapat ditetapkan dengan cara pengukuran di tempat sesuai metode analisis tabung pengendap (*settling tube*) terhadap contoh air yang diambil. Selain itu secara empirik, kecepatan endap dapat dihitung dengan menggunakan grafik *Shields* terkoreksi. Koreksi dilakukan karena grafik *Shield* merupakan kecepatan endap bagi partikel-partikel individual (*discrete particles*) dalam air yang tenang, sedangkan kenyataannya terdapat kecepatan aliran walaupun kecil. Untuk keperluan studi pada eksisting kantong lumpur, maka diperlukan pengukuran di lapangan. Pengukuran dilakukan terhadap dimensi saluran, kemiringan saluran, kecepatan aliran, tinggi aliran dan dimensi kantong lumpur yang ada dengan peralatan yang memadai sesuai dengan jenis parameter yang diukur.

2.4 Operasional Kantong lumpur

Volume kantong lumpur ditetapkan berdasar dimensi panjang yang dihitung dengan Persamaan (4), sedangkan dimensi saluran, h (tinggi aliran) dan b (lebar saluran) dihitung dengan persamaan kontinuitas sesuai persamaan *Strickler*. Dalam studi yang dilakukan dimensi saluran telah ditetapkan, sehingga dilakukan pengukuran secara langsung terhadap dimensi yang dimaksud, sesuai dengan Persamaan (5) berikut ini.

$$V = \frac{1}{2} \cdot b \cdot L + \frac{1}{2} (I_b - I_n) \cdot b^2 \cdot L \quad (5)$$

Dengan V adalah volume kantong lumpur (m^3), b adalah lebar saluran (m), L adalah panjang saluran (m), I_b adalah kemiringan dasar saluran, dan I_n adalah kemiringan permukaan aliran. Kemiringan dasar saluran dihitung dengan menjaga agar aliran tetap sub kritis dengan kecepatan aliran sekitar 1,5 m/detik.

Selisih antara I_b dan I_n diujung saluran merupakan kedalaman (t) kantong lumpur sebagai titik dasar pintu pembilas. Dengan demikian perkiraan periode pengurasan adalah perbandingan antara volume kantong lumpur dengan laju sedimentasi yang terjadi.

Berdasarkan data lapangan (hasil pengukuran) dan analisis sedimen diperoleh hasil penelitian sebagai berikut ini.

3. HASIL PENELITIAN

Berdasarkan analisis angkutan sedimen kantong lumpur di bendung Karangtalun yang dilakukan, maka didapatkan hasil sebagai berikut.

- jumlah sedimen layang (*Suspended load*) pada awal saluran sebanyak 57,67 kg/hari dan di akhir saluran sebanyak 56,42 kg/hari. Data tersebut membuktikan bahwa aliran masih jernih dan tidak mengandung banyak sedimen layang, dan yang diendapkan senilai 1,25 kg/hari atau $7,74 \times 10^{-4} m^3/hari$ yang mengendap di saluran sepanjang 427 m,
- jumlah angkutan sedimen dasar (*Bed load*) dengan metode *Meyer-Peter Muller* sebesar 32599,34 kg/hari atau 20,20 $m^3/hari$,
- hasil perhitungan kapasitas sedimen yang dapat ditampung oleh bangunan kantong lumpur di bendung Karangtalun sebesar 7192,38 m^3 .
- kantong lumpur di bendung Karangtalun dengan debit sedimen 502,12 $m^3/hari$ atau sebesar 0,55 ‰ (permil) dari debit aliran yang masuk, maka bangunan sanggup menampung sedimen hingga 14,32 hari.

4. KESIMPULAN

Didasarkan pada perhitungan kesetimbangan antara volume endapan dengan kapasitas kantong lumpur, kinerja kantong lumpur masih baik, dengan catatan operasional pengurasan dilakukan sebagaimana regulasi yang ditetapkan, yaitu setiap empat belas hari, yakni pada hari Selasa pekan kedua dan keempat.

REFERENSI

- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2013). Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Perencanaan Jaringan Irigasi, KP-01, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2013). Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama, KP-02, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.

Istiarto, I. (2014). Materi Kuliah Transpor Sedimen: Awal Gerak Butir Sedimen. Tidak diterbitkan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Pragnjono, M. (1988). Transportasi Sedimen. Edisi Revisi, Biro Penerbit KMTS UGM. Yogyakarta.

Triatmojo, B. (2014). Hidraulika II. Beta Offset. Yogyakarta.

Widaryanto, Lilik Hendro. (2017). Evaluasi Kinerja Kantong Lumpur (Studi Kasus Bendung Pendowo dan Pijenan Bantul), Jurnal Universitas Gadjah Mada.

Yang, Chih Ted. (1996). Sediment Transport, McGraw-Hill International Editions. Singapore.

Kajian Risiko Bencana Banjir Di Daerah Aliran Sungai Dulang

A. Setiawan

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Purworejo, Purworejo, INDONESIA
agungsetiawan@umpwr.ac.id

Irwansyah

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Purworejo, Purworejo, INDONESIA
irwansyah0442@gmail.com

INTISARI

Daerah Aliran Sungai (DAS) Dulang merupakan sub DAS Cokroyasan. Daerah Aliran Sungai (DAS) Cokroyasan merupakan salah satu dari 6 (enam) DAS pada wilayah kerja Balai PSDA Progo Bogowonto Luk Ulo. Secara geografis DAS ini terletak pada batas pengelolaan sumber daya air paling tengah, dengan luas total 405,500 km². Aktivitas penduduk dalam DAS Dulang berdampak pada perubahan penggunaan lahan. Perubahan lahan berdampak meningkatnya debit limpasan permukaan dan sedimentasi di alur sungai. Penelitian ini bertujuan mengkaji besarnya debit banjir dihubungkan dengan kapasitas sungai Dulang dan perkiraan lokasi titik yang mengalami luapan air sungai Dulang. Metode analisis profil muka air debit banjir dan daya tampung sungai digunakan program bantu *Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS) ver. 4.1*. Simulasi menggunakan debit banjir rancangan kala ulang 10, 25, 50 dan 100 tahun dari hasil analisis frekuensi data debit Bendung Jarakah Tahun 2004 – 2018. Hasil penelitian menunjukkan simulasi mulai debit banjir kala ulang 10 tahun (264,2962 m³/dt) di bagian hilir Sungai Dulang beberapa titik terjadi luapan air. Luapan air pada tanggul Sungai Dulang bagian hilir diakibatkan kemiringan sungai melandai dan sedimentasi yang berakibat pada berkurangnya kapasitas tampungan penampang sungai

Kata kunci: Debit banjir, kapasitas tampungan sungai, risiko banjir, DAS Dulang.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) Dulang merupakan sub DAS Cokroyasan. Daerah Aliran Sungai (DAS) Cokroyasan merupakan salah satu dari 6 (enam) DAS pada wilayah kerja Balai PSDA Progo Bogowonto Luk Ulo. Secara geografis DAS ini terletak pada batas pengelolaan sumber daya air paling tengah, dengan luas total 405,500 km². Aktivitas penduduk dalam DAS Dulang berdampak pada perubahan penggunaan lahan. Perubahan lahan berdampak meningkatnya debit limpasan permukaan dan sedimentasi di alur Sungai Dulang. Sungai Dulang merupakan sungai utama di DAS Dulang. Sungai ini membentang di Kecamatan Bayan, kabupaten Purworejo. Bagian hulu sungai berada di wilayah Gebang, Loano dan Bruno. Pada daerah hilirnya terjadi pertemuan dengan Sungai Jali di Desa Krandegan, Kecamatan Bayan. Saat musim penghujan bagian hilir sungai dulang antara lain Desa Dewi dan Desa Krandegan mengalami banjir. Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan kajian risiko banjir pada DAS Dulang dengan analisa kapasitas penampang Sungai Dulang terhadap debit banjir dan profil muka air banjir sungai.

Dengan diketahuinya kedua hal tersebut dapat digunakan sebagai acuan perencanaan penanggulangan banjir di DAS Dulang.

2. METODE

2.1. Metode Penelitian

Metode dalam penelitian ini meliputi.

- Analisis hidrologi untuk mendapatkan debit banjir rancangan kala ulang 10, 25, 50 dan 100 tahun.
- Pembuatan data geometrik sungai sebagai persyaratan data input model hidrologi HEC-RAS.
- Input data hidrologi dalam hal ini debit banjir rancangan kala ulang 10, 25, 50 dan 100 tahun Sungai Dulang.
- Simulasi perluapan kejadian banjir. Hasil simulasi kejadian banjir didapatkan titik-titik bantaran Sungai Dulang yang mengalami luapan.

Data geometri sungai terdiri dari.

- Stream centerline*, yaitu merupakan data garis sungai untuk menentukan posisi sungai dan untuk menempatkan data profil melintang sungai.
- Main channel bank*, merupakan data garis untuk memisahkan daerah aliran utama dengan daerah tanggul dikanan kiri sungai.

- c. *Flow path centerlines*, merupakan data garis yang digunakan untuk menentukan arah aliran sungai di saluran utama, dan aliran di sisi kanan dan kiri sungai.
- d. *Cross-sectional cut lines*, merupakan data garis untuk menentukan profil melintang sungai. Karakteristik dan profil aliran ditentukan berdasarkan lokasi setiap cross section ini.
- e. *Manning's Polygon Map*, merupakan data poligon yang menyatakan nilai dari penutup lahan untuk estimasi nilai manning.

Tahapan selanjutnya adalah masukan data hidrologi. Masukan data hidrologi dilakukan setelah seluruh data geometri selesai dimasukkan. Masukan data hidrologi terdiri dari debit banjir dan kondisi batas (*Boundary Condition*). Debit banjir yang digunakan adalah data banjir rancangan kala ulang 10, 25, 50 dan 100 tahun Sungai Dulang. Kondisi Pembatas adalah data elevasi/ketinggian permukaan air sungai. Hasil model dipengaruhi oleh nilai koefisien manning, profil aliran dan karakteristik kedalaman sungai. Asumsi jenis aliran adalah aliran permanen beraturan (*Steady Uniform Flow*). Aliran jenis ini sebenarnya jarang ditemukan di lapangan.

2.2. Memeriksa Kapasitas Penampang Sungai.

Kapasitas penampang sungai akan ditampilkan oleh HEC-RAS, bila muka air melebihi/melewati tanggul. Kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas/tampungan penampang sungai tidak mencukupi dan dapat mengakibatkan banjir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemodelan hidrolika ditampilkan sesuai kondisi setiap potongan melintang. Hasil pemodelan menggunakan *HEC-RAS ver.4.1* terdiri dari.

- a. Potongan melintang.
- b. Profil memanjang Sungai Dulang.

3.1. Potongan melintang bagian yang mengalami banjir

Titik-titik yang mengalami limpasan mulai terlihat saat simulasi Debit banjir menggunakan kala ulang 10 th = 264, 2962 m³/detik. Bagian Sungai Dulang yang mengalami banjir terlihat pada potongan melintang Tabel 2 di bawah ini.

Dari hulu ke hilir ketinggian air yang meluap semakin besar, disebabkan kemiringan dasar sungai semakin landau, kecepatan aliran melambat dan ketinggian muka air bertambah. Penampang sungai dari hulu ke hilir juga mengecil dikarenakan sedimentasi. Hal ini menyebabkan daya tampung sungai menjadi berkurang.

3.2. Potongan memanjang Sungai Dulang

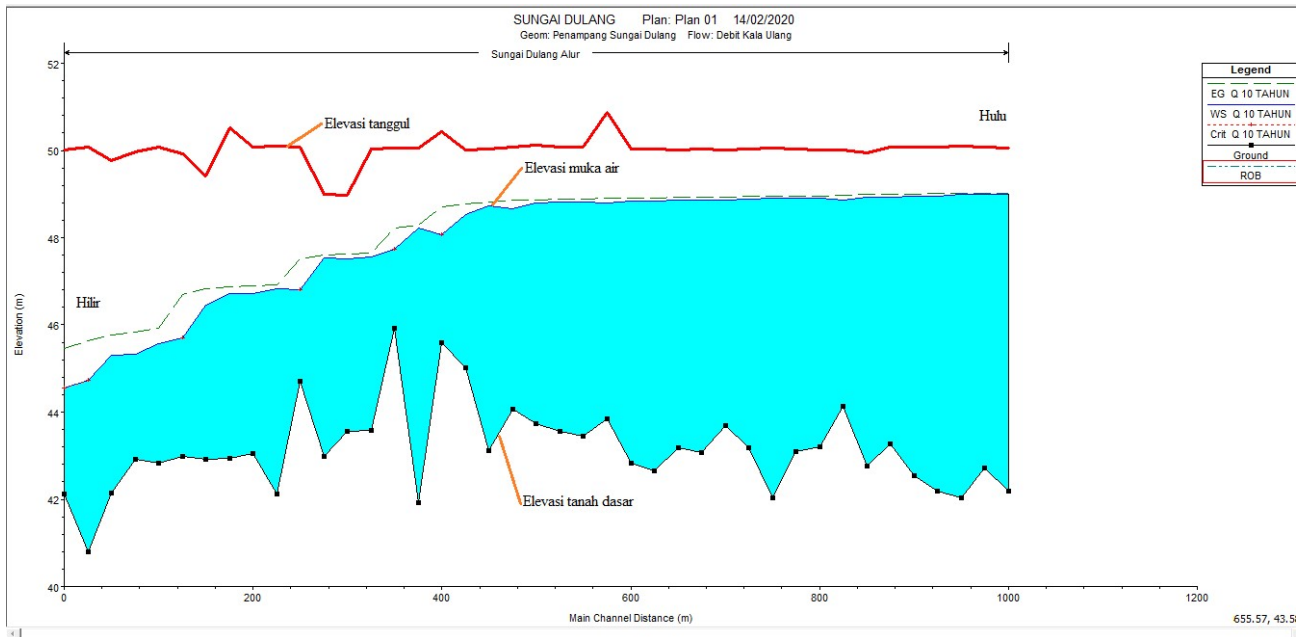
Hampir semua titik dari hulu sampai ke hilir mulai $Q_{10} = 264,2962$ m³/detik sampai dengan $Q_{100} = 539,9090$ m³/detik mengalami limpasan. Hal ini ditunjukkan Gambar 1 dan Gambar 2.

Tabel 1 Debit Rancangan Sungai Dulang

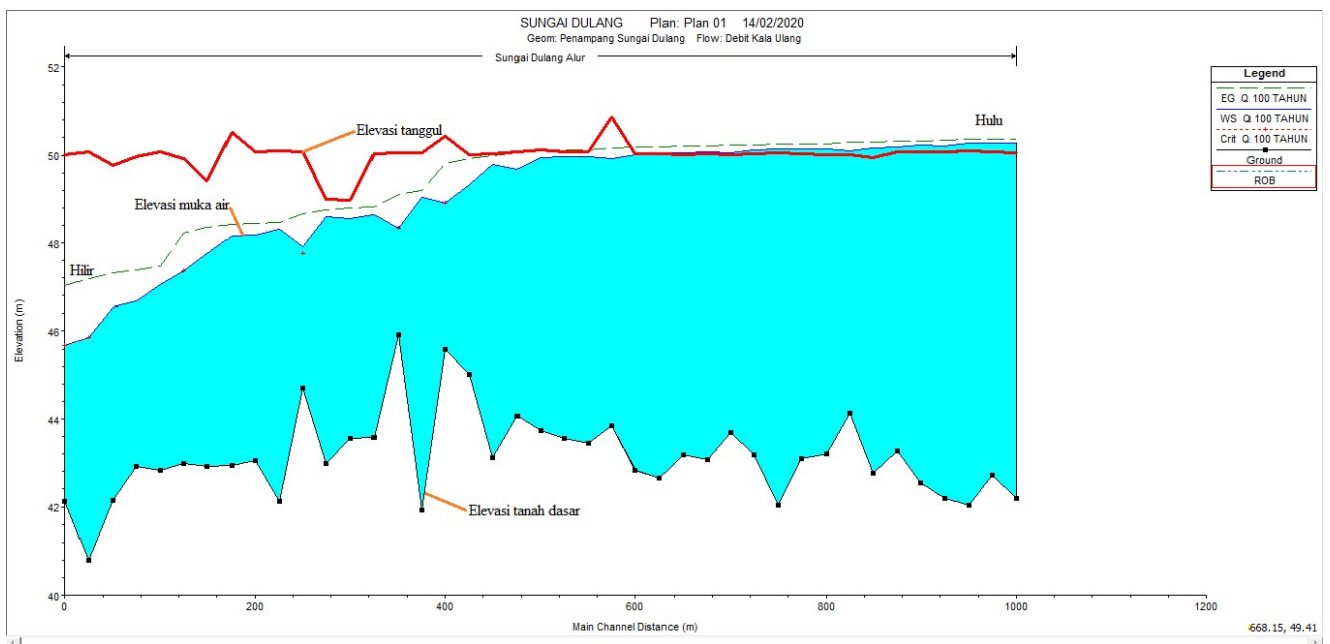
No	Kala ulang	Debit (m ³ /dt)
1	10	264,2962
2	25	345,0255
3	50	449,3214
4	100	539,9090

Tabel 2. Evaluasi limpasan tanggul $Q_{10} = 264,2962 \text{ m}^3/\text{detik}$

STA	ELEVASI BANJIR	ELEVASI TANGGUL KIRI	ELEVASI TANGGUL KANAN	ELEVASI TANGGU KIRI - ELEVASI BANJIR	ELEVASI TANGGU KANAN - ELEVASI BANJIR	SYARAT AMAN = ELEVASI TANGGUL - ELEVASI BANJIR $\geq 0 \text{ m}$
1000	48,99	48,9763	50,0623	-0,0137	1,0723	MELIMPAS
975	48,99	48,9525	50,0789	-0,0375	1,0889	MELIMPAS
950	48,99	50	50,0902	1,01	1,1002	TIDAK MELIMPAS
925	48,94	49,0187	50,0736	0,0787	1,1336	TIDAK MELIMPAS
900	48,96	50	50,0858	1,04	1,1258	TIDAK MELIMPAS
875	48,93	50	50,0681	1,07	1,1381	TIDAK MELIMPAS
850	48,92	50	50,0062	1,08	1,0862	TIDAK MELIMPAS
825	48,87	50,0007	50,7267	1,1307	1,8567	TIDAK MELIMPAS
800	48,9	50,0267	50,1678	1,1267	1,2678	TIDAK MELIMPAS
775	48,9	49,0203	50,4573	0,1203	1,5573	TIDAK MELIMPAS
750	48,9	50,0665	50,053	1,1665	1,153	TIDAK MELIMPAS
725	48,89	50,0066	50,025	1,1166	1,135	TIDAK MELIMPAS
700	48,86	50,0611	50,0092	1,2011	1,1492	TIDAK MELIMPAS
675	48,87	50,0489	50,0243	1,1789	1,1543	TIDAK MELIMPAS
650	48,86	50,0857	50,0161	1,2257	1,1561	TIDAK MELIMPAS
625	48,85	50,0387	50,0328	1,1887	1,1828	TIDAK MELIMPAS
600	48,84	50,0864	50,0227	1,2464	1,1827	TIDAK MELIMPAS
575	48,8	50,0087	50,8819	1,2087	2,0819	TIDAK MELIMPAS
550	48,82	50,0309	50,0832	1,2109	1,2632	TIDAK MELIMPAS
525	48,82	50,0754	50,0754	1,2554	1,2554	TIDAK MELIMPAS
500	48,8	50,0649	50,1312	1,2649	1,3312	TIDAK MELIMPAS
475	48,67	50,0616	50,0796	1,3916	1,4096	TIDAK MELIMPAS
450	48,73	50,081	50,0354	1,351	1,3054	TIDAK MELIMPAS
425	48,54	50,0321	50,0086	1,4921	1,4686	TIDAK MELIMPAS
400	48,07	50,4506	50,4303	2,3806	2,3603	TIDAK MELIMPAS
375	48,22	50,0334	50,0593	1,8134	1,8393	TIDAK MELIMPAS
350	47,73	50,0883	50,0564	2,3583	2,3264	TIDAK MELIMPAS
325	47,56	50,0545	50,0251	2,4945	2,4651	TIDAK MELIMPAS
300	47,51	50,0123	50,0051	2,5023	2,4951	TIDAK MELIMPAS
275	47,53	00.17	50,0271	11.34	2,4971	TIDAK MELIMPAS
250	46,81	50,076	50,0804	3,266	3,2704	TIDAK MELIMPAS
225	46,83	50,0849	50,099	3,2549	3,269	TIDAK MELIMPAS
200	46,71	50,1249	50,078	3,4149	3,368	TIDAK MELIMPAS
175	46,71	50,3583	50,5179	3,6483	3,8079	TIDAK MELIMPAS
150	46,46	50,0594	50,0018	3,5994	3,5418	TIDAK MELIMPAS
125	45,7	50	49,9213	4,3	4,2213	TIDAK MELIMPAS
100	45,57	50	50,0836	4,43	4,5136	TIDAK MELIMPAS
75	45,32	50,0955	49,9719	4,7755	4,6519	TIDAK MELIMPAS
50	45,3	50	50,0003	4,7	4,7003	TIDAK MELIMPAS
25	44,73	50	50,0705	5,27	5,3405	TIDAK MELIMPAS
0	44,56	50	50,0006	5,44	5,4406	TIDAK MELIMPAS



Gambar 1. Penampang memanjang $Q_{10} = 264,2962 \text{ m}^3/\text{detik}$



Gambar 2. Penampang memanjang $Q_{100} = 539,9090 \text{ m}^3/\text{detik}$

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa debit banjir dengan kapasitas penampang Sungai Dulang disimpulkan.

- a. Risiko bencana banjir di Sungai Dulang terjadi saat debit sebesar $Q=264,2962 \text{ m}^3/\text{detik}$. Bagian hilir di tanggul kanan maupun kiri mengalami limpasan. Hal ini menunjukkan daya tampung Sungai Dulang bagian hilir sudah tidak mencukupi.
- b. Kapasitas tampungan Sungai Dulang semakin ke hilir semakin kecil, karena sedimentasi.
- c. Risiko banjir di DAS Dulang semakin besar bila debit Sungai Dulang semakin besar.

REFERENSI

Anonim, 2013, Laporan Akhir Inventarisasi dan Identifikasi Sumber Pencemaran Air DAS Bogowonto, *Kantor Lingkungan Hidup Purworejo*, Tidak diterbitkan.

Jeffier Andrew Robot, dkk, 2014, Analisis Debit Banjir Sungai Ranoyapo Menggunakan Metode HSS GAMA-1 dan HSS Limantara, *Jurnal Sipil Statika*, vol. 2, no. 1, p.1-12.

Istiarto, 2011, Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS, *Modul Pelatihan tidak diterbitkan*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta,

Limantara, Montarjih, 2010, *Hidrologi Praktis*, CV Lubuk Agung, Bandung.

Akbar M., dkk, 2016, Analisa Profil Muka Air Banjir Sungai Molompar Kabupaten Minahasa Tenggara, *Jurnal Sipil Statika*, Vol. 4, p.49-64.

Sri Harto Br., 1993, *Analisis Hidrologi*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Sri Harto Br., 2000, *Hidrologi, Teori, Masalah dan Penyelesaian*, Nafiri, Yogyakarta.

Triatmodjo, B., *Hidraulika II*, Beta Offset, Yogyakarta, 2003.

Triatmodjo, B., 2009 *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.

TEMA D

GEOTEKNIK

Settlement of A Six-Story Building on A Soft Organic Clay Deposit in Kathmandu, Nepal

S. Handali

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta, INDONESIA
samhandali@ukrimuniversity.ac.id

S. Maharjan

Transport for New South Wales, NSW, AUSTRALIA
Maharjan.sudarshan@gmail.com

ABSTRACT

This paper presents the result of the settlement observations of a six-story building built on raft footing on a compressible organic clay deposit known as Kalomato in Kathmandu, Nepal. Settlement was recorded through elevation readings on markers on several reinforced concrete columns spread along the periphery of the building. Readings, taken weekly by means of a leveling instrument, commenced on February 21, 2006, or 136 days after the construction started, and ended on day 441, more than two months after the final application of the construction load.

The records suggest that the building settled in a non-uniform fashion, and that the settlement pattern changed gradually over the monitoring period. The building dipped initially towards the northwest then towards the west direction at the end of the monitoring program, with the highest settlement at one part of the building being 121 mm while the lowest being 48 mm. Finite difference analysis used to provide settlement estimation at the initial, unrecorded stage of the construction, resulted in estimated 144 mm maximum settlement at the end of the monitoring program, well beyond the conventional standards set for maximum allowable settlement for mat foundation on clay.

Key words: Raft footing, soft organic clay deposit, settlement

1 INTRODUCTION

The widely spread lacustrine organic soil deposit locally named Kalomato (meaning 'black soil' in Nepali) in Kathmandu Valley often posed construction limitations due to its low shear strength and high compressibility. Soil investigations conducted at different locations of the Valley revealed that the allowable bearing capacity for isolated footings on Kalomato could be as low as 20 KN/m², with settlement criterion to be the governing factor. Though in many areas in the Valley suitable bearing layers in the forms of sand, silt or low plastic clay layers could be found, there are areas where Kalomato virtually exists from the surface to large depths, forcing foundations in these areas to rest right above it.

In recent years Kathmandu has seen a steep increase in the number of highrise apartment buildings reaching well beyond ten stories. These buildings were generally built on mat footings underlain by deep piles. When this study was conducted in 2006, however, the buildings in Kathmandu rarely exceeded six floors. Most buildings were built on isolated footings, or to a much lesser extent, mat footings, even in areas where thick Kalomato deposit was found near the ground

surface. Except for the very old buildings, the buildings in Kathmandu rarely showed excessive damage associated with large settlement, even on those constructed above thick Kalomato deposit. The absence of problems normally associated with excessive settlements was intriguing and forced one to wonder whether the large settlements predicted from the results of soil tests on Kalomato samples would actually translate to building settlements at the same degree of severity. In the pursuit to find the answer to this question, a plan was envisaged to carry out a settlement monitoring program on a building on Kalomato deposit that was in its early stage of construction. The existence of a building settlement record would provide valuable information for the design of foundations on Kalomato, especially since to the authors' knowledge, no such information was available prior to this study.

Permission was obtained to carry out a settlement monitoring program on a six-story building which was being constructed to be the Civil Saving and Credit Co-operative Limited Head Office building. The building was located in Kalimati area where Kalomato deposit existed from the ground surface to deep depths. The building was made of reinforced concrete and has a

basement on raft footing placed at 2.5 m depth. The raft was supported by 102 bored piles, each 5.4 m long. Measurements of settlement started soon after the casting of the basement's columns, early enough for the intended purpose. Final measurements were taken more than 100 days after the roof slab was cast.

2 BUILDING AND FOUNDATION LAYOUT

The floor plan of the building can be seen in Fig. 1.

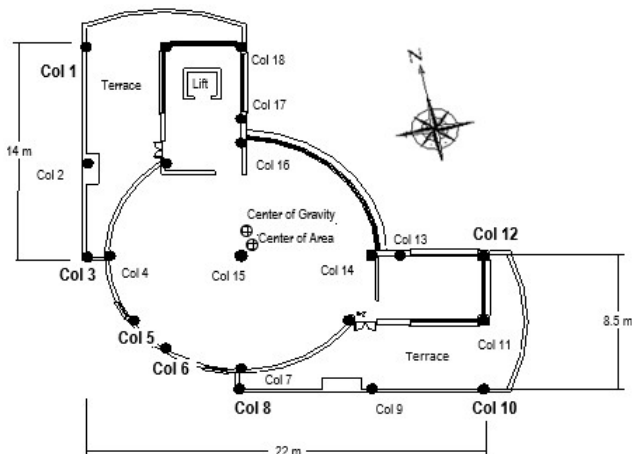


Fig. 1 Floor Plan of the Building.

The total area of each floor was 310 m². The building has 21 columns of circular section, each having a diameter of 0.6 m, except for the column at the center of the building which had a diameter of 0.7 m. The length of the columns were 3.2 m, except for those in the basement where they were 3.65 m long. The center of area and center of gravity of the building are indicated in the figure, the latter being determined from the dead weight of the building. The center of gravity was found to be 1 m north of the center of area, due to the presence of the shear walls around the lift shaft and the staircase on the northern side.

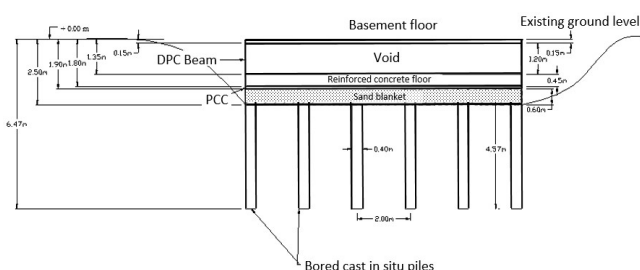


Fig. 2 Longitudinal Cross-section of the Foundation.

The longitudinal section of the foundation can be seen in Fig. 2. The RC slab of the raft footing was 450 mm thick. The bored piles under the raft were 5.4 m long

and 0.4 m in diameter, placed at a distance of 2 m from each other. The purpose of the piles were mainly to provide anchoring against potential seismic load and not to increase the allowable bearing capacity of the foundation, since at 7.9 m depth the pile tips rested entirely on deep and soft Kalomato. The rigidity of the footing was enhanced with the provision of 1.2 m thick tie beams above it. Basement floor of 150 mm thick was cast over the tie beams, creating a void of 1.2 m high between the raft and the basement floor.

3 NATURE OF SUBSOIL

Information on the subsoil was obtained from soil investigation work conducted for the design of the particular building. Three boreholes were drilled to 30 m depth. The disturbed and undisturbed samples from the boreholes were utilized to determine the soil properties, deformation and strength characteristics. The organic content was determined by Loss in Ignition Method according to ASTM D 2974-87. The soil investigation of one of the boreholes near the center of the building was performed in more detail for the thesis work of Upadhyay (2005) and the summary of results are shown in Fig. 3 and Fig. 4.

Except for the organic soil of low plasticity (OL) found from the ground surface to about 2 m depth, the subsoil consisted of slightly overconsolidated organic soil of High Plasticity (OH according to USCS) up to the end of the borehole. Thin laminated structures were observed at depths of 12 m, 15 m and 18 m, however based on the soil colour and properties the subsoil could be simplified into just three layers, namely the upper layer from the ground surface to 6 m depth, the middle layer from 6 m to 15 m depth and the bottom layer from 15 m to 30 m depth. The organic content of the soil had been found to increase with depth, with the upper, middle and bottom layers having organic contents in the range of 5% and 6%, 7% and 8%, 10% and 13%, respectively. The soil properties were strongly affected by the presence of the organic matter, i.e., water content, liquid limit, plasticity index, void ratio and compression index increased with increasing organic content (hence they increased with depth), while the specific gravity, bulk density and dry density decreased with increasing organic content, and hence they decreased with depth.

4 LOADING HISTORY OF THE BUILDING

The time history of the construction load applied on the base of the excavation is presented in Fig. 5.

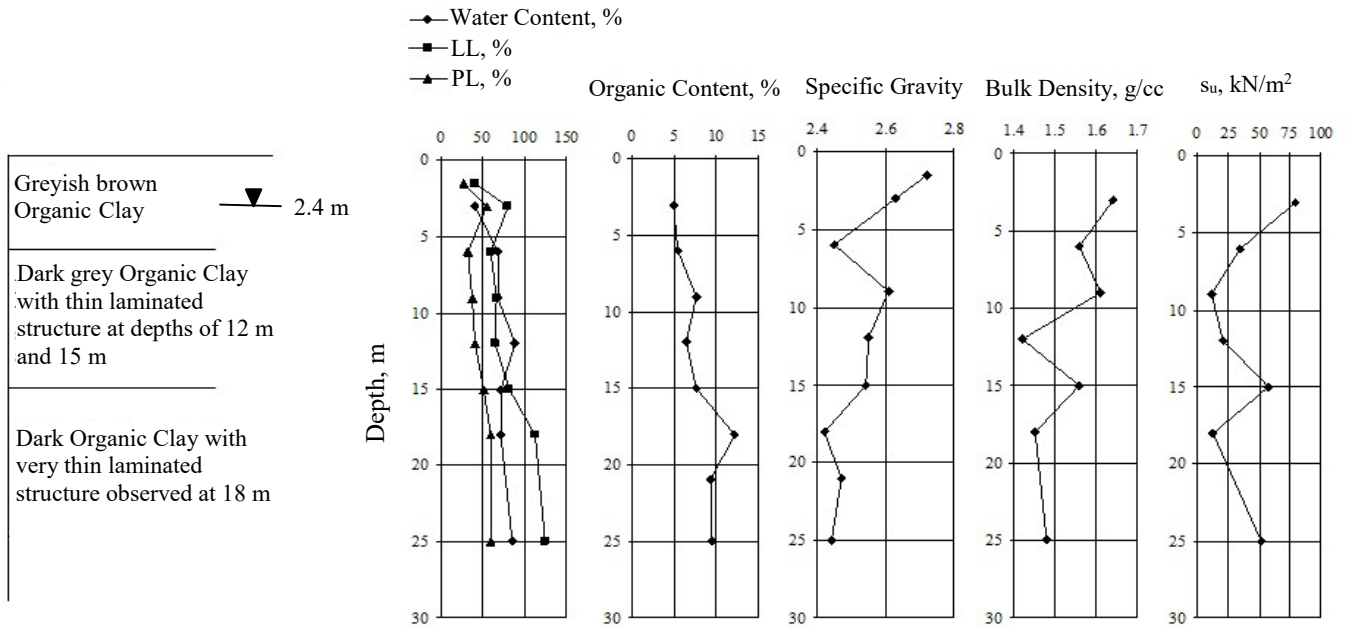


Fig. 3 Soil Profile at the Center of the Building. ((Upadhyay, 2005)

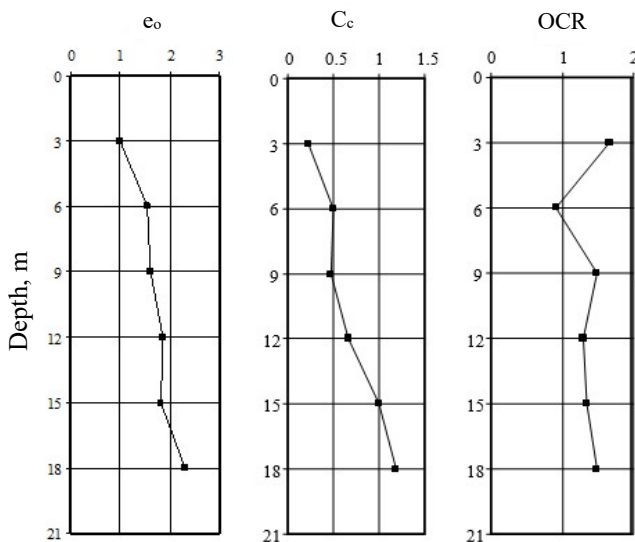


Fig. 4 Variations of Consolidation Parameters with Depth at the Center of Building (Upadhyay, 2005)

The graph commenced with unloading equal to 42.9 kN/m² due to the removal of 2.5 m thick overburden. Loading began with the application of 100 mm sand blanket at the base of excavation followed by the construction of 100 mm PCC slab. The elapsed time for each stage of construction in Fig. 5 was marked with reference to the date when the sand blanket was placed, which was September 9, 2005. Time delays observed in the graph were caused by non-technical reasons. Walls were constructed on each floor right after the particular floor was ready. The load imposed on the base of the excavation was 62.4 kN/m².

5 MEASUREMENT OF SETTLEMENT

Measurement of the settlement started on February 21, 2006, after the basement columns have been casted, or 136 days after the sand blanket has been placed on the base of excavation. Settlement readings were done by measuring the elevations of markers placed on seven of the columns in the basement, namely Columns 1, 3, 5, 6, 8, 10 and 12 (see Fig. 1). The columns for settlement reading were located at the periphery of the building to facilitate the observation of the settlement pattern of the building as a whole. The initial plan to include other columns, particularly Column 15 near the center of area of the building, and Columns 13 and 17 (on the eastern periphery) had to be abandoned since none of those columns were visible from the locations where the leveling equipment could be placed. Four permanent objects outside of the building were chosen to serve as reference points for the leveling work. These were permanent, existing features (such as electric poles)

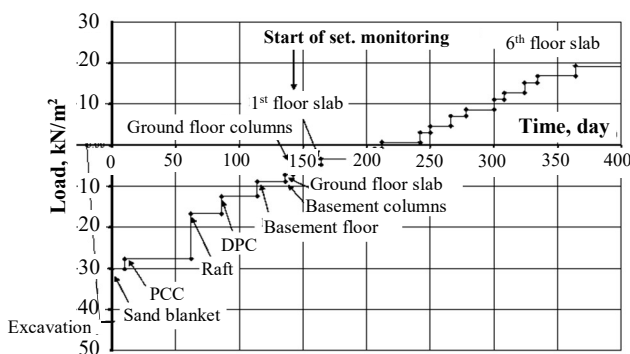


Fig. 5 Load vs. Time During Construction Period.

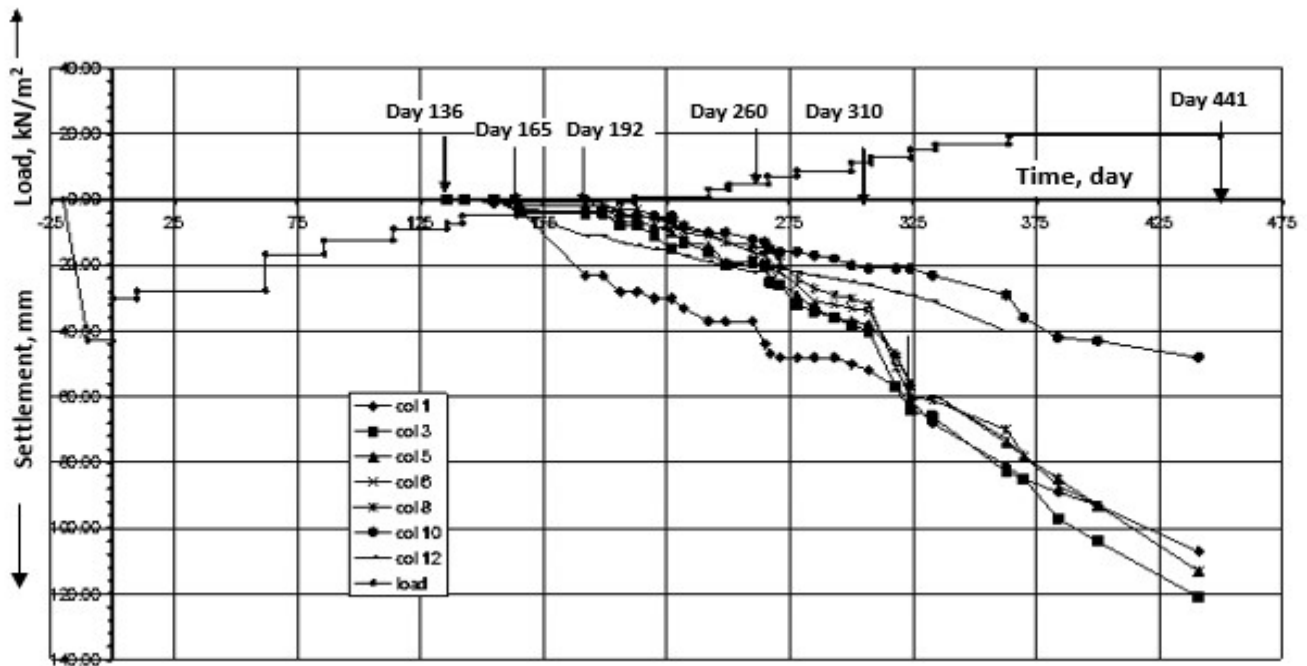


Fig. 6 Settlement and Load vs. Time Records.

that were positioned at sufficient distances from the building to assure that their integrity as reference points would not be compromised by the construction or other types of disturbances. Settlement readings were taken weekly or after a major load has been applied on the structure. Some longer than usual gaps in the readings were caused by non-technical situations.

6 SETTLEMENT OBSERVATIONS

6.2 Progress of Settlement

Figure 6 shows the settlement records of the columns with respect to time, along with the time history of the construction loading. Settlements were initially negligible prior to Day 165, ranging between 1 mm and 4 mm. On Day 192, however, the settlement of Column 1 had increased substantially compared to those of the other columns, increasing as much as 20 mm within less than a month. The settlement of Column 12 increased by 7 mm while the other columns experienced no additional settlement. Between Day 192 and Day 310 the rate of change in the settlements were similar in Columns 1, 3, 5, 6 and 8 but between Day 310 and Day 325 the settlements of Columns 3, 5, 6 and 8 accelerated relative to Column 1, adding between 18 mm and 28 mm within 15 days, causing the settlements of those columns to catch up with that of Column 1. From Day 325 until Day 441 (the end of monitoring program), the settlements of Columns 1, 3, 5, 6 and 8 grew more or less at the same rate. Settlement of these columns ranged between 107 mm and 121 mm on Day 441, while Columns 10 and 12

continued to experience relatively lower settlements below 50 mm at the end of the monitoring program.

6.3 Magnitude of Settlement

The guideline used for the calculation of allowable settlement based on settlement criterion in Nepal was the Indian Code of Practice IS:1904-1978, which permitted a maximum settlement of 100 mm for raft foundation on plastic clay, in accord with the widely accepted recommendation of Skempton and MacDonald (1956). As mentioned earlier, the highest settlement measured on the building at the end of the monitoring program was 121 mm, already beyond the permissible mark of 100 mm. The steep slopes of the end section of the settlement curves indicate that the consolidation of the soil on Day 441 was long from over, hence significantly higher settlement than the 100 mm mark would be expected. It should also be remembered that the settlement records did not include settlements during the first 136 days of construction.

A 1-D consolidation analysis was conducted to estimate the settlement at the center of the building, using the soil data in Figs. 3 and 4. The parameters for the regions in the stress bulb beyond 30 m deep were assumed to be the same as those of the lower organic layer. The analysis revealed that the ultimate settlement of the building would be 254 mm. Based on this value, Terzaghi's 1-D consolidation analysis was carried out to estimate the amount of settlement that had occurred before the monitoring program started. The analysis was also used to calculate the average degree of consolidation that the soil had undergone at

the final day of the monitoring program. Settlement-time relationship was created with the help of a Finite Difference Analysis, taking into account the construction loading history (see Maharjan, 2006). The result of the analysis revealed that the soil had undergone 23 mm settlement prior to the start of the monitoring program. This value was then added to the highest recorded settlement on Day 441, which was 121 mm, resulting in a 144 mm settlement. The result of the analysis also showed that the soil on Day 441 had just reached an average degree of consolidation of 42%, which means that the 100 mm mark had been well exceeded even before the soil has reached half of the consolidation process.

6.4 Differential Settlement

The above settlement records also suggest that the building settled in a non-uniform fashion, and that the settlement patterns changed with time. The following figures show the direction of the tilt that the building experienced during the monitoring period. Each of the figure in Figs. 8, 9 and 10 shows the difference in settlement between a pair of columns located at opposite ends of the building to highlight the direction of the tilt. The pair of columns and their locations are highlighted in Fig. 7.

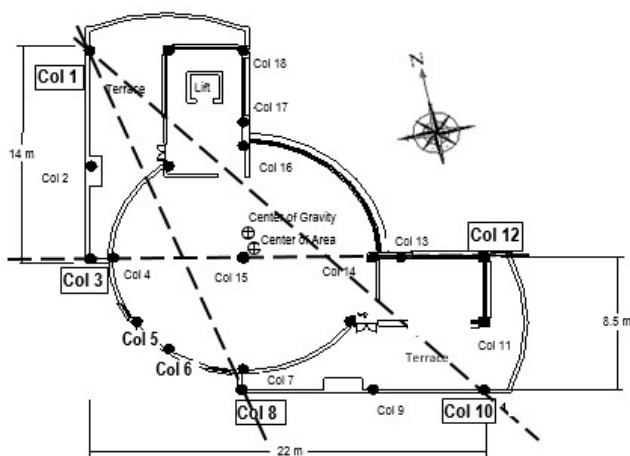


Fig. 7 Pairs of Columns Selected for the Observation of Tilt

From Fig. 8 it can be seen that the settlement of Column 1 (at the northeast boundary of building) was constantly higher than that of Column 10 (southeast boundary of the building), and that the difference in settlement between those columns grew with time. This observation leads to the conclusion that tilting with increasing magnitude towards Column 1. At the end of Day 441 the difference in settlement between the two columns was nearly 60 mm, already exceeded the 44 mm limit suggested by Skempton and MacDonald (1956) for raft foundation in clays. The angular

distortion between the two columns was 0.002, exactly on the maximum limit specified by IS 1904-1978.

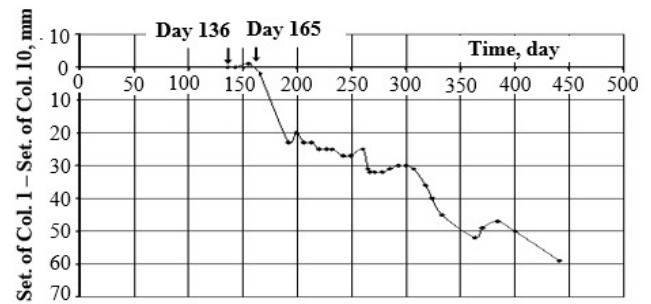


Fig. 8 Differential Settlement between Columns 1 and 10

The difference in settlement between Columns 3 (roughly west of the center of the building) and Column 12 (east-southeast of the center) in Fig. 9 showed an initial minor tilt in the direction of Column 12 followed by a reversal of tilt onto the direction of Column 3 at Day 265. The settlement difference between the two columns then continued to grow and was calculated to be 43 mm at the end of monitoring program.

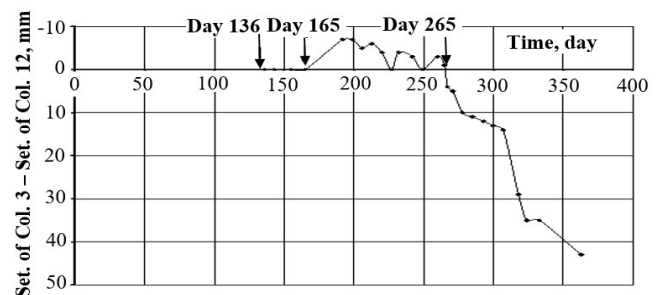


Fig. 9 Differential Settlement between Columns 3 and 12

The tilt along the straight line connecting Columns 1 and Column 8 in Fig. 10 showed a significant change in the direction of the tilt of the building. It can be seen in Fig. 10 that the building initially tilted in the direction of Column 1 with increasing magnitude, but then on Day 271 tilting gradually reversed towards Column 8. At Day 441 the building was slightly tilted in the direction of Columns 8. The reason for the tilt reversal during the relatively short time span was unclear, though it was speculated that the highly compressible nature of the soil has caused it to respond almost immediately to the change in the loading pattern of the building during construction.

Evaluation of the overall settlement patterns lead to the conclusion that at the end of the monitoring program the building was tilting in the direction of the area where Columns 1, 3, 5, 6 and 8 were located (roughly the western part of the building), with the deepest dip being at Column 3 and the shallowest part being in the eastern part where Columns 10 and 12 were located.

As the center of gravity of the building was located about 1 m north of the center of area of the building, it would be reasonable to suspect that the building would tilt slightly towards the north. There was therefore no particular reason why the building tilted to the west except for the possibility that soil in the western part of the building was slightly more compressible than that in the other parts of the building.

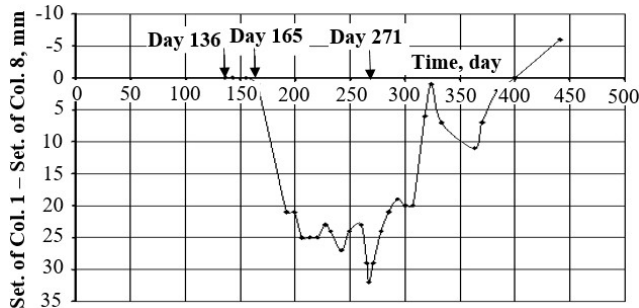


Fig. 10 Differential Settlement between Columns 1 and 8

7 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The settlement monitoring program clearly showed that the building in this study experienced large settlement, well beyond the 100 mm maximum limit of the IS:1904-1978. It was noticeable also that the building settled in a non-uniform pattern across the building area and that the direction of tilt changed during the relatively short span of the construction period.

Based on the findings of this study the following recommendations are proposed for the construction of buildings on deep deposit of Kalomato:

- The excessive settlement recorded in the building clearly showed that buildings on Kalomato should be planned to have lower mass. This could be achieved by curtailing the number of stories and the utilization of leaner and lighter building materials. The thick brick walls commonly used as partitions for the buildings in Kathmandu should be replaced by leaner walls with lighter material.
- A mat foundation with an underground basement placed at a deeper level in the ground would help reduce the settlement.
- Uniform load distribution across the building would help reduce potential differential settlement, with special care to be taken to maintain equal distribution of load during construction to reduce tilt during construction.
- An equally important observation is the fact that despite the alarming magnitudes of the absolute and the differential settlement, the building chosen for this study has been functioning well until recently with no noticeable damages associated with excessive settlement. In the authors' opinion,

provided that the building is rigid, the 100 mm permissible settlement for mat footings on Kalomato could be relaxed to allow higher flexibility and cost efficiency in the design of buildings. The suggestion of Sowers (1962) of a permissible settlement between 75 mm and 300 mm would be worth considering for mats on Kalomato.

ACKNOWLEDGEMENT

This work formed part of the thesis of the second author for the degree of Master of Engineering at the Master's Degree Program in Geotechnical Engineering, Institute of Engineering, Tribhuvan University, Nepal, under the supervision of the first author.

The authors want to thank Civil Homes Pvt. Ltd. for the gracious permission given to conduct settlement measurements on the Civil Saving and Credit Co-operative Limited Head Office Building for this research. Thanks is also due to Mr. H.B. Upadhyay and to Central Material Testing Laboratory, Institute of Engineering, for providing the soil investigation data.

REFERENCES

- American Standard for Testing Material (1996). *Annual book of ASTM standards*, Section 4, vol..04.08 Soil and Rock (I) - Standard test method for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils. D 2974-87 (Reapproved 1995), 280-281.
- Central Material Testing Laboratory (2005). "Final Report on Soil Investigation Work for Proposed Civil Saving and Credit Co-operative Limited Head Office, Kalimati, Kathmandu," Unpublished Report.
- Indian Standard Institution (1978) IS:1904-1978, Code of Practice for Structural Safety of Buildings: Shallow Foundations", Manak Bhawan, New Delhi.
- Maharjan, S., (2006). "Settlement Observation and Analysis of Six-Storeyed Office Building in Kalimati, Kathmandu," *M.Sc Thesis*, Institute of Engineering, Laitpur, Nepal.
- Skempton, A.W., and MacDonald, D.H. (1956). "The Allowable Settlement of Buildings", *Proceedings, ICE*, 5, Part 3, pp. 425-47.
- Sowers, G.F., (1962). "Shallow Foundations" in *Foundation Engineering*, edited by Leonards, G.A., McGraw-Hill, New York, pp. 525.
- Upadhyay, H.B. (2005). "Geotechnical Properties of Some Organic Deposits in Kathmandu Valley," *M.Sc Thesis*, Institute of Engineering, Laitpur, Nepal.

Perencanaan Kedalaman Pondasi Tiang Tanki TBBM Ampenan, Lombok Dengan Mempertimbangkan Bahaya Likuifaksi Tanah

Suwarno

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, INDONESIA
suwarno.surabaya@gmail.com

Luthfi Amri Wicaksono

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jember, Jember, INDONESIA
luthfiamri.teknik@unej.ac.id

INTISARI

Pondasi tanki timbun bahan bakar minyak (TBBM) berkapasitas 5.000 kL milik PT. Pertamina (Persero) di Ampenan, Lombok, Nusa Tenggara Barat, direncanakan dengan mempertimbangkan kemungkinan adanya bahaya likuifaksi tanah akibat gempa 7,5 SR. Hal ini dilakukan karena peristiwa gempa yang pernah terjadi di Lombok pada tahun 2018 sebesar 7,2 SR, serta kondisi lapisan tanah dasarnya didominasi oleh lapisan pasir halus dengan kepadatan medium (nilai N-SPT = 10 sampai dengan 30) ketebalan mencapai 12,00 meter. Untuk kondisi normal tanpa memperhitungkan bahaya likuifaksi, jumlah tiang pancang yang dibutuhkan untuk mendukung beban mati dan beban hidup tanki tersebut adalah sebanyak 110 buah (diameter tiang 50 cm dan kedalaman tiang 12,00 meter). Jika diperhitungkan adanya likuifaksi, jumlah tiang yang diperlukan adalah tetap 110 buah, namun kedalaman tiang menjadi lebih dalam yaitu 16,00 meter. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan potensi likuifaksi tanah untuk gempa berkekuatan 7,5 SR, lapisan tanah yang aman terhadap bahaya likuifaksi adalah pada kedalaman lebih besar dari 16,00 meter.

Kata kunci: gempa, likuifaksi, pondasi, tanki, TBBM

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perencanaan pondasi tanki harus memperhatikan masalah keamanannya yang meliputi kemampuan pondasi memikul beban vertikal, beban horizontal dan keamanan terhadap gempa. Kajian terhadap bahaya likuifaksi saat terjadi gempa perlu dilakukan pada lapisan tanah dibawah tanki, khususnya pasir halus jenuh air. Perlu diketahui, adanya likuifaksi akan menyebabkan kehilangan daya dukung tanah pada pondasi akibat adanya peningkatan tekanan air pori sehingga tegangan efektif tanah semakin mengecil mendekati nol.

Kondisi lapisan tanah permukaan, di bagian permukaan sampai dengan kedalaman -4,00 meter, berupa pasir halus lunak dengan nilai N-SPT = 4. Tanki TBBM milik PT. Pertamina (Persero) ini berkapasitas 5.000 kL yang mempergunakan pondasi tiang. Dengan adanya peristiwa gempa Lombok pada tahun 2018 yang berkekuatan 7,2 SR, maka perlu dilakukan analisa pengaruh gempa terhadap kemungkinan adanya bahaya likuifaksi pada pondasi tiang tersebut. Analisa likuifaksi yang dilakukan ada 2 (dua) macam yaitu dengan gempa kekuatan 7,2 SR dan kekuatan gempa 7,5 SR.

1.2 Permasalahan

- Bagaimanakah pengaruh gempa yang berkekuatan 7,2 SR dan 7,5 SR terhadap panjang (kedalaman) tiang pondasi tanki ?
- Berapakah kedalaman tiang yang diperlukan dalam kondisi normal tanpa adanya gempa ?
- Apakah kondisi lapisan tanah yang ada di dasar tanki berpotensi terjadi likuifaksi?
- Berapakah kedalaman tiang yang diperlukan agar pondasi tiang aman terhadap bahaya likuifaksi yang terjadi?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan yang ingin dicapai adalah :

- Mengetahui potensi terjadinya likuifaksi pada lapisan tanah pasir halus di bawah tangki TBBM,
- Mengetahui kedalaman tiang yang aman terhadap adanya bahaya likuifaksi tersebut pada kondisi gempa dengan kekuatan 7,2 SR dan 7,5 SR.

Dengan mengetahui kedalaman tiang yang aman diharapkan kekuatan tiang dalam mendukung beban tanki 5.000 kL menjadi stabil.

1.4 Index Potensi Likuifaksi.

Perhitungan indeks potensi likuifaksi berdasarkan Iwasaki dkk (1982) dengan persamaan :

$$I_L = \int_0^{20} F \cdot w(z) dz \quad (1)$$

dimana $F = 1 - F_s$ untuk $F_s < 1.0$ dan $F = 0$ untuk $F_s > 1.0$, dan $w(z) = 1 - 0.5 z$, dimana $w(z)$ adalah fungsi yang memperhatikan potensi likuifaksi terhadap kedalaman dan z adalah kedalaman (dalam satuan meter).

Batasan potensi likuifaksi adalah :

$0 < I_L < 5$ Potensi resiko likuifaksi rendah,
 $5 < I_L < 15$ Potensi resiko likuifaksi tinggi,
 $I_L > 15$ Potensi resiko likuifaksi sangat tinggi.

Perhitungan penurunan tanah akibat likuifaksi menurut Ishihara & Yoshimine (1990) adalah :

$$S_{total} = \sum_{dasar}^d S_{sat} \quad (2)$$

dimana $S_{sat} = (e_v/100) dz$
 e_v adalah regangan volumetrik dan z adalah ketebalan setiap lapisan.

1.5 Kerentanan Likuifaksi

Likuifaksi terjadi saat kekuatan geser (*shear strength*) berkurang mendekati nilai nol akibat adanya getaran (misalkan gempa) yang menyebabkan kenaikan air pori

tanah sehingga tegangan efektif tanah menjadi nol. Likuifaksi ini pada umumnya terjadi pada lapisan tanah pasir lepas (*loose sand*) yang jenuh air. Sebagai akibatnya, tanah tidak mampu memikul beban di atasnya.

Likuifaksi dapat terjadi pada jenis tanah yang mempunyai kriteria sebagai berikut:

- Derajat kejenuhan, $S_r = 95\% - 100\%$
- LL (*Liquid Limit*) $< 35\%$
- PL (*Plastic Limit*) > 1
- Kandungan Air (*water content*) $> 0,90 \times LL$
- Relative density, $D_r < 70\%$

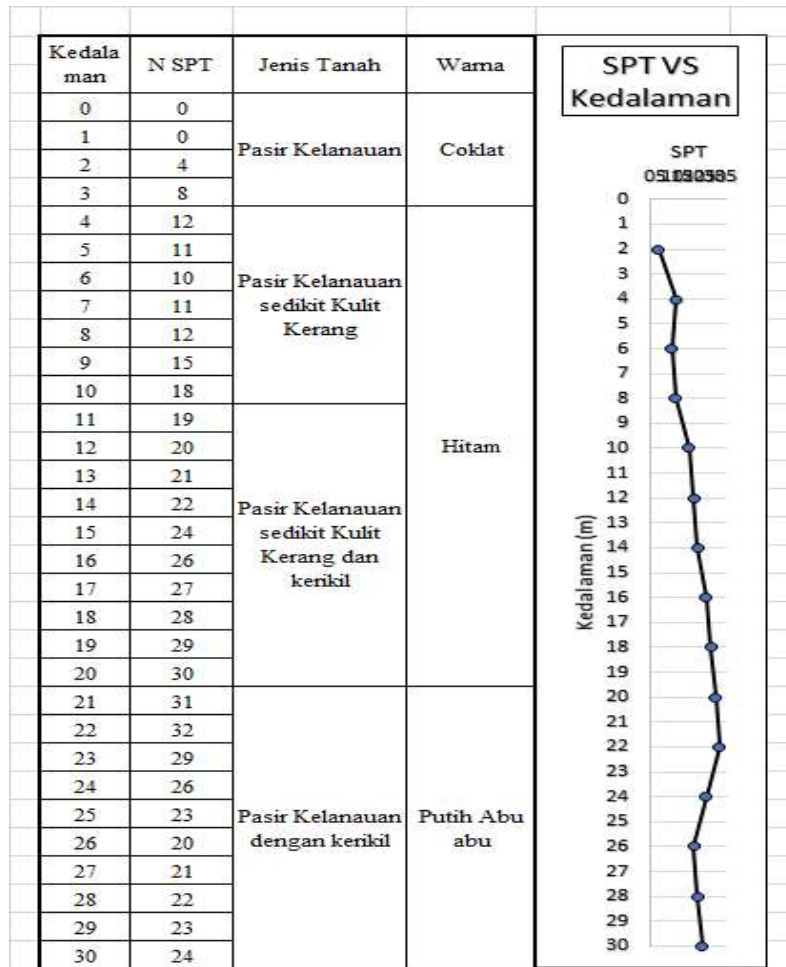
Berdasarkan nilai SPT, potensi yang terbesar terkena likuifaksi menurut Robertson dan Wride (1989) yaitu :

1. $N_{SPT} = 0 - 20$ (Peluang likuifaksi tinggi)
2. $N_{SPT} = 20 - 30$ (Peluang likuifaksi menengah)
3. $N_{SPT} > 30$ (Peluang likuifaksi sangat rendah)

2. DATA TANAH DAN TANKI TBBM

2.1 Data Tanah

Kondisi lapisan tanah yang ada dapat dilihat pada borlog yang diberikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Bor log

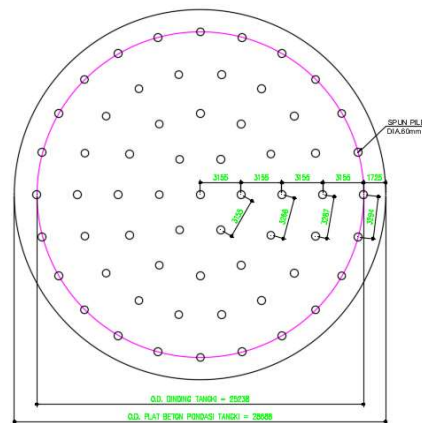
Dengan melihat data tanah yang ada, potensi terbesar adalah N-SPT pada kedalaman -12,00 meter (lapisan yang mempunyai N-SPT =4 sampai dengan 20).

2.2 Data Tanki TBBM

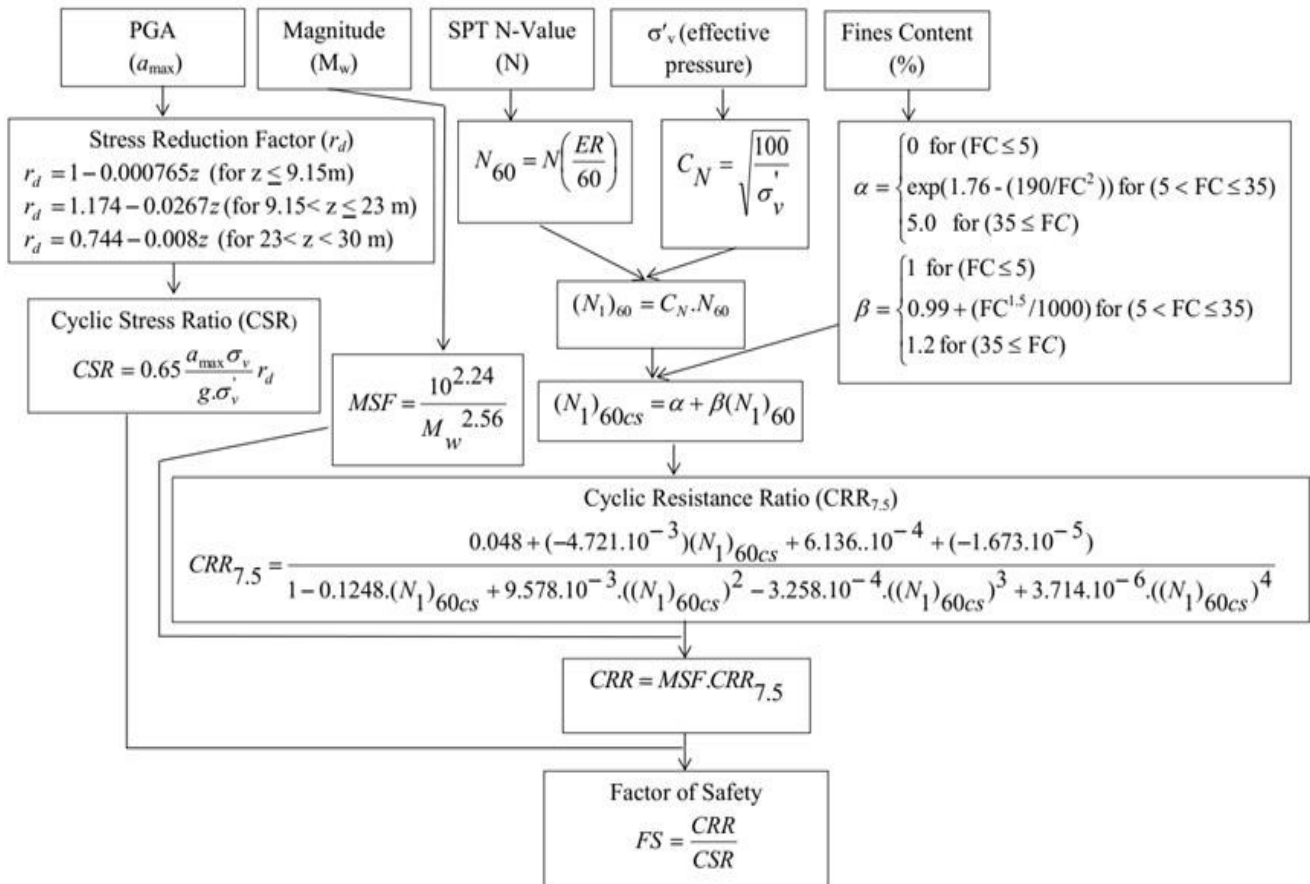
Tanki TBBM Ampenan Lombok berkapasitas 5.000 kL. Diameter dinding tanki = 25.238 meter. Berat tanki kosong + asesoris = 140 ton. Denah pondasi tanki 5.000 kL ditunjukkan dalam Gambar 2, yang menunjukkan konfigurasi tiang yang akan dipergunakan.

3. METODOLOGI

Metoda yang dipergunakan dalam analisa likuifasi ini adalah metoda Seed & Idris dengan bagan alir perhitungan seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 2. Denah pondasi tanki 5.000 kL.



Gambar 3. Bagan alir perhitungan safety factor terhadap potensi likuifaksi

3.1 Perencanaan Pondasi Tanki

Daya dukung tiang dihitung berdasarkan nilai N-SPT. Diameter tiang = 0,50 m. Angka keamanan yang dipergunakan dalam perhitungan daya dukung ijin adalah 3.

Hasil perhitungan daya dukung tiang berdiameter 0,5 m untuk variasi kedalaman mulai dari 0,00 meter sampai dengan kedalaman -30,00 meter ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Daya dukung tiang diameter 0,50 m.

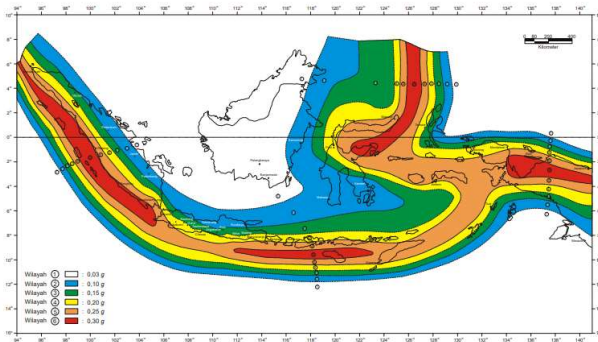
Diameter : 0.500 m		N	N'	Np'	K	Ap	Qp	Nst	Ns	qs	As	Qs	QL (ton)	Qall (ton)
2.00	-2.000	4	9.5	11.5	30	0.19625	67.7	4.0	4.0	2.3	3.14	7.3	75.0	25.0
4.00	-4.000	12	13.5	11.8	30	0.19625	69.7	12.0	8.0	3.7	6.28	23.0	92.7	30.9
6.00	-6.000	10	12.5	13.2	30	0.19625	77.5	10.0	8.7	3.9	9.42	36.7	114.2	38.1
8.00	-8.000	12	13.5	14.2	30	0.19625	83.4	12.0	9.5	4.2	12.57	52.4	135.8	45.3
10.00	-10.000	18	16.5	15.8	30	0.19625	93.2	18.0	11.2	4.7	15.71	74.4	167.6	55.9
12.00	-12.000	20	17.5	17.5	30	0.19625	103.0	20.0	12.7	5.2	18.85	98.4	201.5	67.2
14.00	-14.000	22	18.5	18.8	30	0.19625	110.9	22.0	14.0	5.7	21.99	124.6	235.5	78.5
16.00	-16.000	26	20.5	20.2	30	0.19625	118.7	26.0	15.5	6.2	25.13	155.0	273.7	91.2
18.00	-18.000	28	21.5	21.5	30	0.19625	126.6	28.0	16.9	6.6	28.27	187.4	314.0	104.7
20.00	-20.000	30	22.5	22.5	30	0.19625	132.5	30.0	18.2	7.1	31.42	222.0	354.5	118.2
22.00	-22.000	32	23.5	22.2	30	0.19625	130.5	32.0	19.5	7.5	34.56	258.7	389.2	129.7
24.00	-24.000	26	20.5	20.5	30	0.19625	120.7	26.0	20.0	7.7	37.70	289.0	409.7	136.6
26.00	-26.000	20	17.5	18.8	30	0.19625	110.9	20.0	20.0	7.7	40.84	313.1	424.0	141.3
28.00	-28.000	22	18.5	18.5	30	0.19625	108.9	22.0	20.1	7.7	43.98	339.3	448.2	149.4
30.00	-30.000	24	19.5	19.0	30	0.19625	111.9	24.0	20.4	7.8	47.12	367.6	479.4	159.8

Pondasi tanki direncanakan pada kedalaman -12,00 meter untuk beban tetap tanpa memperhitungkan bahaya likuifaksi.

3.2 Analisa Potensi Likuifaksi

Analisa kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk mencegah terjadi likuifaksi perlu dilakukan karena kondisi tanah pasir halus. Acuan harga peak ground

acceleration (a_{max}) berdasarkan Peta Gempa seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4 dan Tabel 2; serta faktor koreksi $(N1)_{60}$ ditunjukkan dalam Tabel 3.



Gambar 4. Peta gempa Indonesia.

Tabel 2. Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka Tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.

Wilayah Gempa	Percepatan Maksimum Batuan Dasar (g)	Percepatan Puncak Muka Tanah (g)			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan Evaluasi Khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,32	0,36	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Sumber : SNI 03-1726-2002

Percepatan puncak muka tanah (peak ground acceleration), $a_{max} = 0.35$ yang dipergunakan dalam analisa potensi likuifaksi ini.

Tabel 3. Faktor Koreksi untuk Nilai $(N1)_{60}$

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif		C_N	$2,2/(1,2+(\sigma'_{vo}/Pa))$
Tegangan vertikal efektif		C_N	$C_N \leq 1,7$
Rasio tenaga	Palu donat (Donut hammer)	C_E	0,5 s/d 1,7
Rasio tenaga	Palu pengaman (Safety hammer)	C_E	0,7 s/d 1,2
Rasio tenaga	Palu otomatis (Automatic-trip Donut-type hammer)	C_E	0,8 s/d 1,3
Diameter bor	65 s/d 115 mm	C_B	1,0
Diameter bor	150 mm	C_B	1,05
Diameter bor	200 mm	C_B	1,15
Panjang batang	< 3 m	C_R	0,75
Panjang batang	3 s/d 4 m	C_R	0,80
Panjang batang	4 s/d 6 m	C_R	0,85
Panjang batang	6 s/d 10 m	C_R	0,95

Panjang batang	10 s/d 30 m	C_R	1,0
Pengambilan contoh	Tabung standar	C_S	1,0
Pengambilan contoh	Tabung dengan pelapis (finer)	C_S	1,1 s/d 1,3

Menentukan nilai $(N1)_{60}$ menurut Youd dan Idriss (2001) dan Cetin (2004)

$$(N1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S \tag{3}$$

dimana :

N_m = nilai N-SPT lapangan

C_N = faktor normalisasi N_m terhadap tegangan overburden tanah.

$C_N = 2,2/(1,2+(\sigma'_{vo}/Pa))$, dimana Pa = tekanan atmosfer = $1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ ton/m}^2$

Nilai C_N tidak boleh melebihi 1,7

C_E = koreksi ratio energi hammer (ER) lihat Tabel 3.

C_B = faktor koreksi diameter lubang bor = 1.0 untuk lubang bor 3" (lihat Tabel)

C_R = faktor koreksi panjang batang.

Menghitung $(N1)_{60cs}$.

Untuk menghitung $(N1)_{60cs}$ dipergunakan perumusan :

$$(N1)_{60cs} = \alpha + \beta * (N1)_{60cs} \tag{4}$$

dimana nilai α dan $\beta = 1$ ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Nilai α dan β

$\alpha = 0$ dan $\beta = 1$	$FC \leq 5\%$
$\alpha = \exp[1,76 - 190/FC^2]$	$5\% < FC \leq 35\%$
$\beta = [0,99 - (FC^{1,5})/1000]$	$5\% < FC \leq 35\%$
$\alpha = 5$ dan $\beta = 1,2$	$FC \geq 35\%$

Catatan : $\exp = 2,7182818285$

3.3 Uji Pemancangan Tiang.

Uji coba pemancangan dilakukan untuk memastikan kondisi lapisan tanah di lapangan guna menentukan kedalaman tiang yang nantinya akan ditetapkan. Dalam uji pemancangan didapatkan hasil kedalaman tiang adalah -10,00 meter. Kedalaman tiang ini masih dipengaruhi oleh kemampuan mesin penekan karena tiang ini dimasukkan dengan cara injeksi.

3.4 Perhitungan Angka Keamanan (Safety Factor, SF) jika Gempa 7.5 SR.

Angka keamanan terhadap likuifaksi sangat tergantung pada besarnya gempa yang terjadi. Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan angka keamanan (SF) terhadap likuifaksi untuk gempa 7,5 SR.

Tabel 5. Hasil perhitungan angka keamanan (SF) untuk gempa 7,5 SR

Cyclic resistance ratio, CRR					JIKA GEMPA 7.5 SR				
CRR _{7,5}	Reduksi tegangan, r _d	Tegangan total, σ _{vo}	Tegangan Efektif, σ _{vo'}	a _{max}	Cyclic Stress Ratio	SF=CRR _{7,5} /CSR	KETERANGAN	DEPTH (M)	N-SPT
0.0925	0.9924	1.7615	0.7615	3.50	0.532	0.174	LIQUEFACTION	1.00	2
0.0913	0.9847	3.5231	1.5231	3.50	0.528	0.173	LIQUEFACTION	2.00	2
0.0915	0.9771	5.2846	2.2846	3.50	0.524	0.175	LIQUEFACTION	3.00	2
0.1683	0.9694	8.9465	3.5212	3.50	0.571	0.295	LIQUEFACTION	4.00	12
0.1443	0.9618	11.1831	4.7578	3.50	0.524	0.275	LIQUEFACTION	5.00	12
0.1182	0.9541	11.6317	5.6965	3.50	0.452	0.262	LIQUEFACTION	6.00	10
0.1240	0.9465	13.5703	6.6351	3.50	0.449	0.276	LIQUEFACTION	7.00	10
0.1390	0.9388	15.2716	7.5440	3.50	0.441	0.315	LIQUEFACTION	8.00	12
0.1336	0.9312	17.1805	8.4530	3.50	0.439	0.304	LIQUEFACTION	9.00	12
0.1858	0.9070	20.9942	9.5524	3.50	0.462	0.402	LIQUEFACTION	10.00	18
0.1861	0.8803	23.0936	10.6518	3.50	0.443	0.420	LIQUEFACTION	11.00	18
0.1977	0.8536	25.2777	11.7583	3.50	0.426	0.465	LIQUEFACTION	12.00	20
0.1903	0.8269	24.2859	12.6264	3.50	0.369	0.516	LIQUEFACTION	13.00	20
0.2188	0.8002	25.9497	13.4800	3.50	0.357	0.613	LIQUEFACTION	14.00	22
0.2100	0.7735	31.1217	14.5548	3.50	0.384	0.547	LIQUEFACTION	15.00	22
0.4579	0.7468	32.9632	15.6150	3.50	0.366	1.252	AMAN	16.00	26
0.4146	0.7201	31.9375	16.4936	3.50	0.323	1.282	AMAN	17.00	26
0.0491	0.6934	34.1943	17.3933	3.50	0.316	0.155	LIQUEFACTION	18.00	28
0.0491	0.6667	42.0154	18.6047	3.50	0.349	0.141	LIQUEFACTION	19.00	28
0.2249	0.6400	44.0868	19.8090	3.50	0.330	0.681	LIQUEFACTION	20.00	30
0.2205	0.6133	32.4117	20.3524	3.50	0.227	0.973	LIQUEFACTION	21.00	30
0.2539	0.5866	33.7259	20.8854	3.50	0.220	1.156	AMAN	22.00	32
0.2496	0.5599	34.2501	21.3745	3.50	0.208	1.200	AMAN	23.00	32
0.1774	0.5520	35.8644	21.8689	3.50	0.210	0.845	LIQUEFACTION	24.00	26
0.1747	0.5440	38.7138	22.4174	3.50	0.218	0.802	LIQUEFACTION	25.00	26
0.1521	0.5360	40.2122	22.9641	3.50	0.218	0.699	LIQUEFACTION	26.00	20
0.1505	0.5280	41.0238	23.4835	3.50	0.214	0.703	LIQUEFACTION	27.00	20
0.1456	0.5200	42.5689	24.0038	3.50	0.214	0.681	LIQUEFACTION	28.00	22
0.1438	0.5120	44.0892	24.5241	3.50	0.213	0.674	LIQUEFACTION	29.00	22
0.1757	0.5040	45.7885	25.0504	3.50	0.214	0.822	LIQUEFACTION	30.00	24

Koefisien reduksi tegangan (r_d) dapat ditentukan berdasarkan persamaan Liao dan Whitmann (1986) sebagai berikut :

$$rd = 1,00 - 0,00765z \text{ untuk } z \leq 9,15 \text{ meter.}$$

$$rd = 1,174 - 0,0267z \text{ untuk } 9,15 \leq z \leq 23 \text{ meter.}$$

$$rd = 0,744 - 0,008z \text{ untuk } 23 \leq z \leq 30 \text{ meter.}$$

$$rd = 0.5 z \text{ untuk } z \geq 30 \text{ meter.}$$

dimana z = kedalaman tanah (meter) yang ditinjau.

CRR (Cyclic Resistance Ratio)

Menentukan CRR (Cyclic Resistance Ratio) pada skala gempa (M_w)7,5 dan pasir murni untuk (N₁)_{60cs} < 37,5 (Youd, T dan Idriss, 2001) adalah

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 (N1)_{60cs}} + \frac{(N1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{[10.(N1)_{60cs}+45]^2} - \frac{1}{200} \tag{5}$$

Jika (N₁)_{60cs} > 37,5 maka tanah tersebut tidak perlu dievaluasi karena nilai yang rentan akan likuifaksi adalah ketika (N₁)_{60cs} < 37,5. Jika (N₁)_{60cs} > 37,5 maka tanah tersebut kuat menahan beban seismic dan nilai CRR_{7,5} = 2.

3.4.1 CSR (Cyclic Stress Ratio)

Cyclic Stress Ratio adalah nilai perbandingan antara tegangan vertikal efektif dan tegangan geser yang disebabkan oleh guncangan yang berulang-ulang seperti gempa bumi. Nilai CSR pada struktur tanah sangat dipengaruhi oleh nilai percepatan gempa bumi dan dapat dihitung dengan rumus :

$$CSR = 0,65 \left(\frac{amax}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) rd \tag{6}$$

Nilai MSF untuk magnitude lebih kecil dari 7,5 dan magnitude lebih besar dari 7,5 adalah :

$$\text{Untuk } M_w < 7,5 \text{ maka } MSF = 10^{2,24} / M_w^{2,56} \tag{7}$$

$$\text{Untuk } M_w > 7,5 \text{ maka } MSF = \left(\frac{M_w}{7,5} \right)^{-1,56} \tag{8}$$

Untuk gempa selain 7,5 ada faktor magnitude scale factor (MSF), sehingga

$$CRR_{MW} = CRR_{7,5} * MSF * K_{\sigma} * K_{\alpha} \tag{9}$$

Untuk variable K_σ dan K_α dalam perhitungan biasanya hanya dalam kasus khusus, sehingga dalam kasus ini K_σ dan K_α bernilai 1.

3.5 Perhitungan Angka Keamanan (Safety Factor) jika Gempa 7,2 SR.

$$MSF = 10^{2,24} / M_w^{2,56} \tag{10}$$

$$CRR_{MW} = CRR_{7,5} * MSF * K_{\sigma} * K_{\alpha} \tag{11}$$

Tabel 6 . Angka keamanan terhadap likuifaksi untuk gempa 7.2 SR

JIKA GEMPA 7.2 SR					
Magnification Factor $MSF_{6,5}$	$CRR_{6,5}$	$SF=CRR_{6,5}/CSR$	KETERANGAN	DEPTH (M)	N-SPT
1.110	0.10262	0.1928	LIQUEFACTION	1.00	2
1.110	0.10129	0.1918	LIQUEFACTION	2.00	2
1.110	0.10151	0.1937	LIQUEFACTION	3.00	2
1.110	0.18680	0.3270	LIQUEFACTION	4.00	12
1.110	0.16011	0.3054	LIQUEFACTION	5.00	12
1.110	0.13112	0.2902	LIQUEFACTION	6.00	10
1.110	0.13760	0.3065	LIQUEFACTION	7.00	10
1.110	0.15422	0.3499	LIQUEFACTION	8.00	12
1.110	0.14828	0.3378	LIQUEFACTION	9.00	12
1.110	0.20617	0.4460	LIQUEFACTION	10.00	18
1.110	0.20649	0.4665	LIQUEFACTION	11.00	18
1.110	0.21943	0.5156	LIQUEFACTION	12.00	20
1.110	0.21122	0.5727	LIQUEFACTION	13.00	20
1.110	0.24285	0.6798	LIQUEFACTION	14.00	22
1.110	0.23303	0.6075	LIQUEFACTION	15.00	22
1.110	0.50816	1.3899	AMAN	16.00	26
1.110	0.46007	1.4228	AMAN	17.00	26
1.110	0.05449	0.1724	LIQUEFACTION	18.00	28
1.110	0.05449	0.1561	LIQUEFACTION	19.00	28
1.110	0.24963	0.7557	LIQUEFACTION	20.00	30
1.110	0.24465	1.0801	AMAN	21.00	30
1.110	0.28180	1.2828	AMAN	22.00	32
1.110	0.27699	1.3313	AMAN	23.00	32
1.110	0.19689	0.9379	LIQUEFACTION	24.00	26
1.110	0.19384	0.8897	LIQUEFACTION	25.00	26
1.110	0.16884	0.7757	LIQUEFACTION	26.00	20
1.110	0.16698	0.7806	LIQUEFACTION	27.00	20
1.110	0.16157	0.7555	LIQUEFACTION	28.00	22
1.110	0.15961	0.7477	LIQUEFACTION	29.00	22
1.110	0.19500	0.9128	LIQUEFACTION	30.00	24

Catatan : Gempa 7.2 SR adalah gempa yang terjadi di Lombok pada tahun 2018.

KESIMPULAN

- Untuk gempa 7,5 SR, kedalaman tiang minimal adalah -21,00 meter dengan memperhatikan likuifaksi.
- Jika mempergunakan kekuatan gempa 7,2 SR (tahun 2018 terjadi di Lombok), kedalaman tiang -13.00 meter cukup aman terhadap likuifaksi.
- Kondisi tanah tidak dapat ditembus tiang pada kedalaman -10,00 meter karena alat "pile jacking" tidak mampu menekan lagi.
- Jumlah tiang yang dipakai seluruhnya = 102 buah tiang (minimal).
- Kapasitas alat hanya mampu menekan sebesar 249,9 ton (hasil trial); dan jika dipergunakan $SF=3$, maka daya dukung ijin tiang hanya sebesar $+ 249,9/3 = 83,8$ ton saja.

REFERENSI

- Ishihara, K., and M, Yoshimine. (1992). "Evaluation of Settlements in sand deposits following likuifaksi during earthquakes." *Soils and Foundations*,32(1), 173-188.
- Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K., and Yasuda, S. (1988). "A Practical Method for Assessing Soil

Likuifaksi Potential Based on Case Studies at Various Sites in Japan". *Proc.2nd Int Conf.Microzonation Safer Construct. Research Apply*, Vol. 2, 885-896.

Robertson, P.K., and Wride, B.H., (1989). "Cyclic Liquefaction and the Evaluation Based on the SPT and CPT", in Proceedings edited by Youd and Idriss, 1988, p.41 – 88.

Seed, H.B., and Idris, I.M., (1971) "Simplified Procedure for Evaluation Soil Likuifaksi Potential." *Journal of Soil Mechanics and Foundation*, Division, ASCE, Vol. 97. No. 9, pp.1249-1273.

Pengaruh Variasi Susunan Tiang Terhadap Perilaku Penurunan Pelat yang Diperkuat Tiang Mini di Atas Tanah Lunak Berlapis

J. Fathia

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
jeihanni.fathia@mail.ugm.ac.id

H.C. Hardiyatmo

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
hary.christady@ugm.ac.id

A.D. Adi

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
agusdadi1@ugm.ac.id

INTISARI

Keberadaan tanah lunak sering ditemukan di Indonesia, sekitar 10% dari daratan Indonesia terbentuk oleh tanah lunak. Tanah lunak seperti gambut dan lempung selalu menimbulkan permasalahan geoteknik, dalam keadaan alaminya tanah lunak kurang cocok untuk mendukung struktur karena sifat geotekniknya seperti kadar air tinggi, kuat geser rendah, kapasitas dukung rendah, dan kompresibilitas tinggi. Salah satu metode alternatif untuk mengatasi permasalahan tanah lunak adalah dengan menggunakan tiang-tiang sebagai perkuatan struktur, kelompok tiang umumnya didesain dengan panjang tiang seragam, namun pola deformasi yang terjadi pada kelompok tiang seragam di atas tanah lunak menyiratkan bahwa konfigurasi tiang ini bukanlah desain yang optimal. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi susunan tiang mini terhadap perilaku penurunan pelat beton yang diperkuat tiang mini pada kondisi sebagian besar beban konstruksi didukung oleh tahanan gesek (*frictional resistance*). Berdasarkan analisis numeris menggunakan PLAXIS, dengan beberapa kondisi yang diterapkan, penurunan konsolidasi dapat direduksi 0,5 – 21,7 % lebih baik pada optimasi susunan tiang mini dengan memperpanjang tiang pusat dan memperpendek tiang tepi. *Differential settlement* juga dapat direduksi sekitar 54 – 91 % lebih baik dengan menerapkan susunan tiang yang dioptimasi.

Kata kunci: Tanah lunak, penurunan, *differential settlement*, kelompok tiang.

1. PENDAHULUAN

Tanah lunak seperti gambut dan lempung adalah jenis tanah yang kurang cocok untuk mendukung fondasi pada kondisi alaminya, karena daya dukung yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi sehingga rentan terhadap penurunan berlebih dan tidak seragam dalam jangka panjang. Keberadaan tanah lunak berlapis tidak jarang ditemui di Indonesia, tanah lunak diperkirakan berada pada sekitar 20 juta hektar daratan Indonesia dan ditemukan terutama di daerah sekitar pantai (Panduan Geoteknik 1, 2001). Meningkatnya kebutuhan lahan dan berkembangnya pembangunan, mengakibatkan penggunaan lahan-lahan yang awalnya dianggap tidak layak untuk menopang konstruksi sebagai area pembangunan infrastruktur.

Ada banyak upaya penanganan tanah lunak yang dapat dilakukan, di antaranya penggunaan struktur tiang sebagai opsi metode alternatif guna meningkatkan daya dukung pada tanah lunak. Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji pengaruh penggunaan sistem pelat yang diperkuat tiang sebagai struktur bawah, seperti Hardiyatmo (2008), Leung, dkk. (2010),

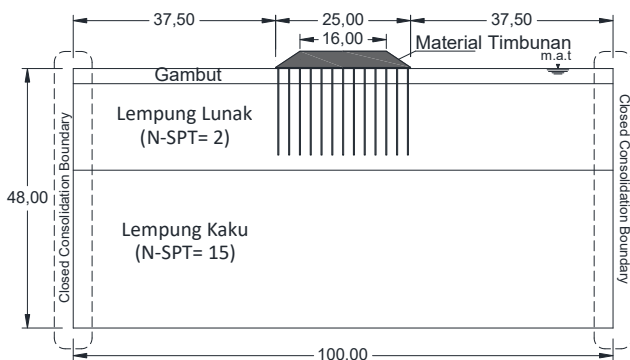
Sanjaya (2014) dan Waruwu (2018). Interaksi antara tiang dan fondasi yang didukung tiang, memberikan pengaruh yang signifikan pada perilaku daya dukung fondasi dan meningkatkan modulus reaksi tanah dasar ekuivalen (k'). Penggunaan pelat yang diperkuat tiang pada tanah gambut dapat mengurangi penurunan, juga memperkecil faktor pengaruh distribusi tekanan, dan koefisien konsolidasi. Kinerja konstruksi dengan perkuatan tiang-tiang juga dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti panjang tiang, jarak tiang dan tebal lapisan-lapisan tanah lunak.

Penggunaan kelompok tiang umumnya didesain dengan panjang seragam. Kelompok tiang dengan panjang seragam pada tanah lunak umumnya menghasilkan pola deformasi yang melengkung, sehingga perubahan susunan panjang tiang dimungkinkan untuk mendapatkan pola deformasi yang lebih seragam dan memperkecil *differential settlement*. Untuk mengetahui pengaruh susunan tiang pada penggunaan sistem pelat yang diperkuat tiang mini secara lebih lanjut, analisis numeris dengan Metode Elemen Hingga (MEH) dilakukan.

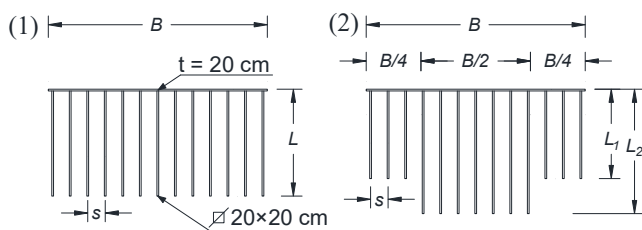
2. MODEL ELEMEN HINGGA

1. Instrumen, Dimensi dan Variabel

Analisis ini dilakukan dengan menggunakan program elemen hingga PLAXIS. Dimensi model numeris 2D dari pelat yang diperkuat tiang diperlihatkan pada Gambar 1. Ketebalan lapisan tanah dan panjang tiang divariasikan untuk mengamati pengaruhnya terhadap perilaku deformasi pelat yang diperkuat tiang. Model susunan tiang divariasikan menjadi 2 model seperti diperlihatkan dalam Gambar 2, panjang tiang disusun sedemikian rupa agar total panjang tiang pada Model 2 mendekati total panjang tiang pada Model 1.



Gambar 1. Geometri model numeris



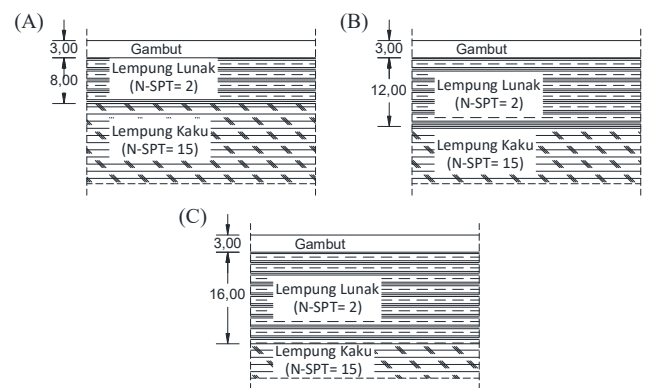
Gambar 2. Model sistem pelat yang diperkuat tiang mini dengan variasi susunan panjang tiang

Variasi panjang tiang pada model yang digunakan dalam analisa tertera pada Tabel 1. Jarak tiang (s) divariasikan menjadi 1,25 m, 1,50 m, dan 2,00 m. Pada

model analisis ada beberapa variabel terikat, antara lain: lebar pelat (B) yang digunakan adalah 25 m dengan ketebalan 20 cm, pembebanan berupa beban timbunan merata setinggi 3,00 m. Sementara untuk tiang-tiang mini, dimodelkan sebagai tiang persegi dengan ukuran (d) 20×20 cm. Kondisi lapisan tanah dibuat dalam 3 kondisi seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Variasi panjang tiang yang diterapkan

Model 1	Model 2	
L	L_1	L_2
(m)	(m)	(m)
8,00	6,00	10,00
12,00	10,00	14,00



Gambar 3. Kondisi-kondisi lapisan tanah dalam analisis numeris

2. Parameter Geoteknis Tanah dan Model Struktur

Parameter input material tiap lapisan tanah yang digunakan terlihat dalam Tabel 2. Nilai-nilai parameter tanah gambut diadopsi dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Waruwu (2018) terhadap tanah gambut Kabupaten Rokan Hilir. Nilai N-SPT digunakan untuk menentukan parameter lapisan lempung lunak dan lempung kaku berdasarkan literatur dan nilai tipikal.

Tabel 2. Parameter material tanah pada model PLAXIS

Parameter	Gambut	Lempung Lunak	Lempung Kaku	Material Timbunan	Satuan
Material model	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
Material behaviour	UnDrained	UnDrained	UnDrained	UnDrained	-
Soil unit weight (γ_{unsat})	6	14	17	18	kN/m ³
Soil unit weight (γ_{sat})	10,75	16	19	20	kN/m ³
Permeability (k_x)	0,879	1×10^{-7}	$7,5 \times 10^{-8}$	0,001	m/day
Permeability (k_y)	0,879	1×10^{-7}	$7,5 \times 10^{-8}$	0,001	m/day
Young's modulus (E_{ref})	100	2200	16500	40.000	kN/m ²
Poisson's ratio (ν)	0,30	0,35	0,33	0,30	
Cohesion (c)	2,8	10	90	10	kN/m ²
Friction angle (ϕ)	33,22	1	5	35	°
Interface (R_{inter})	0,85	1	0,70	-	
N-SPT		2	15		

Parameter material struktur pelat dan tiang disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Parameter material pelat dari sistem pelat yang diperkuat tiang

Parameter	Nilai	Satuan
Kekakuan normal (EA)	5.148.592	kN/m
Kekakuan lentur (EI)	17.162,83	kNm ² /m
Berat (w)	4,8	kN/m/m
Angka Poisson (ν)	0,15	-

Tabel 4. Parameter material tiang mini dari sistem pelat yang diperkuat tiang

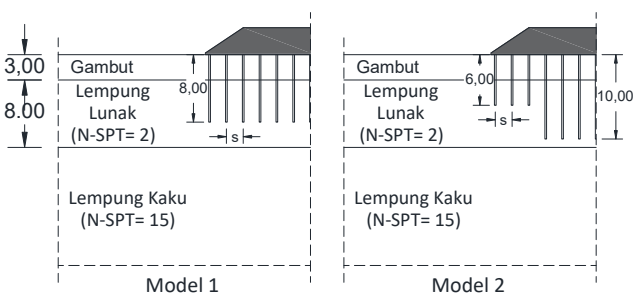
Parameter	Nilai		
	$s = 1,25$ m	$s = 1,50$ m	$s = 2,00$ m
Kekakuan normal, EA^* (kN/m)	823.774,72	686.478,93	514.858,20
Kekakuan lentur, EI^* (kNm ² /m)	2739,05	2.282,54	1.711,91
Berat, w^* (kN/m/m)	0,768	0,640	0,480
Angka Poisson, ν	0,15	0,15	0,15

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

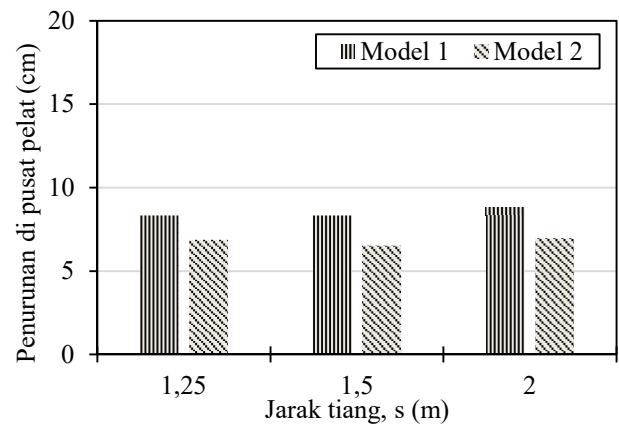
Untuk mereduksi penurunan konsolidasi dan *differential settlement*, desain optimasi disusun dengan variasi tiang lebih panjang pada bagian tengah, dan lebih pendek pada sisi tepi. Model diterapkan pada kondisi lapisan tanah yang berbeda untuk menganalisis efektivitas kedua tipe susunan tiang berdasarkan perilaku penurunannya pada lapisan tanah berbeda.

1. Kondisi A

Model 1 dan 2 pada Kondisi A (Gambar 4) menghasilkan nilai penurunan yang memenuhi batasan syarat penurunan maksimum yaitu < 10 cm (Gambar 5 dan Tabel 5), namun dengan mengaplikasikan susunan tiang Model 2 penurunan konsolidasi teratasi dengan lebih baik. Model 1 mengalami rata-rata penurunan konsolidasi sebesar 8,5 cm dan pada Model 2 rata-rata penurunan konsolidasi terjadi sebesar 6,8 cm.



Gambar 4 Model 1 dengan panjang tiang seragam (8,00 m) dan Model 2 dengan tiang bervariasi (6,00 m – 10,00 m) pada Kondisi A



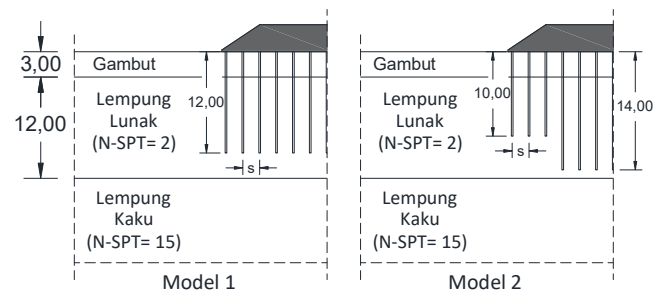
Gambar 5 Pengaruh perubahan susunan panjang tiang terhadap penurunan konsolidasi di pusat pelat ($L=8,00$ m; $L_1=6,00$ m, $L_2=10,00$ m); Kondisi A

Tabel 5. Hasil analisis penurunan konsolidasi pada pusat pelat (S_c) dan *differential settlement* (δ/L) ($L=8,00$ m; $L_1=6,00$ m, $L_2=10,00$ m); kondisi A

Model	L		s (m)	S_c (cm)	δ/L (%)
	L_1 (m)	L_2 (m)			
1	8,00		1,25	8,34	0,27
			1,5	8,33	0,29
			2	8,82	0,33
2	6,00	10,00	1,25	6,87	0,03
			1,5	6,52	0,02
			2	6,97	0,05

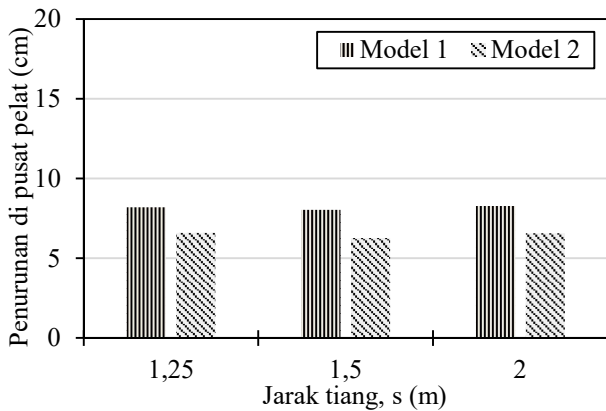
2. Kondisi B

Pengujian Model 1 dan Model 2 dengan dukungan *friction pile* diterapkan pada Kondisi B (Gambar 6). Baik permasalahan penurunan total maupun *differential settlement* dapat ditangani lebih baik dengan menerapkan susunan tiang Model 2 (Gambar 7 dan 8). Berdasarkan hasil analisis (Tabel 6), penurunan konsolidasi dapat direduksi 1,6 – 1,7 cm lebih baik pada Model 2. *Differential settlement* juga dapat tereduksi sekitar 0,20% lebih baik pada Model 2. Model 1 dengan jarak tiang 1,50 m mengalami δ/L sebesar 0,28 % dan Model 2 sebesar 0,07% sehingga menghasilkan permukaan pelat yang lebih rata.



Gambar 6. Model 1 dengan panjang tiang seragam (12,00 m) dan Model 2 dengan tiang bervariasi (10,00 m – 14,00 m) pada Kondisi B

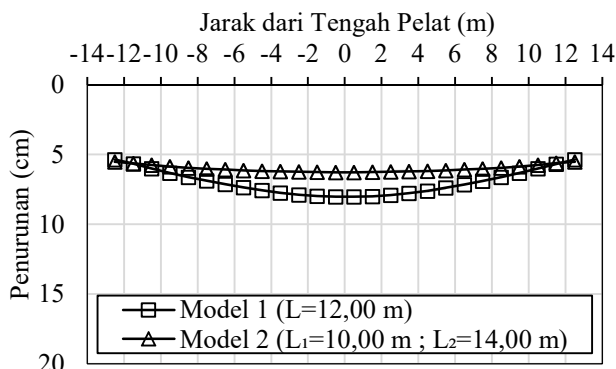
Tiang-tiang tengah yang lebih panjang, mereduksi penurunan pada pusat pelat, sehingga menghasilkan penurunan pelat yang lebih merata (Gambar 8).



Gambar 7. Pengaruh perubahan susunan panjang tiang terhadap penurunan konsolidasi pada pusat pelat ($L=12,00$ m; $L_1=10,00$ m, $L_2=14,00$ m); Kondisi B

Tabel 6. Hasil analisis penurunan konsolidasi pada pusat pelat (S_c) dan *differential settlement* (δ/L) pada kondisi B

Model	L		s	S_c	δ/L
	L_1 (m)	L_2 (m)			
1	12,00	14,00	1,25	8,205	0,27
			1,5	8,032	0,28
			2	8,284	0,32
2	10,00	14,00	1,25	6,583	0,07
			1,5	6,268	0,07
			2	6,577	0,11

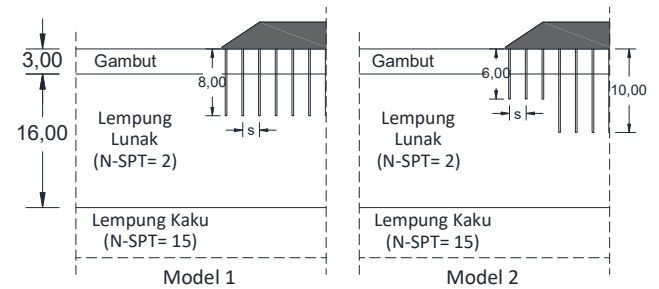


Gambar 8. Pengaruh perubahan susunan tiang terhadap penurunan pelat ($L=12,00$ m; $L_1=10,00$ m, $L_2=14,00$ m; $s=1,50$ m) pada Kondisi B

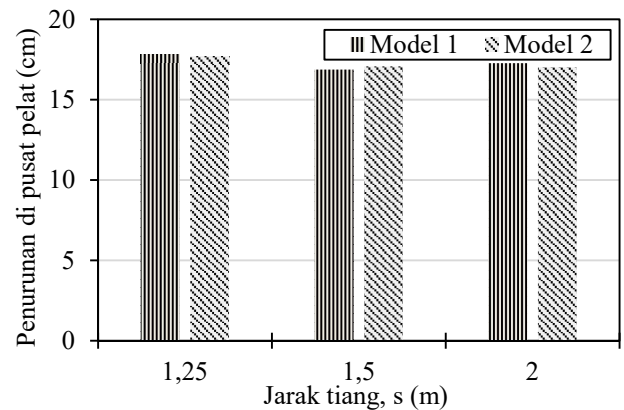
3. Kondisi C

Analisis numeris variasi susunan tiang dilakukan di atas lapisan tanah lunak yang cukup tebal (Gambar 9), berdasarkan hasil analisis numeris penerapan Model 2 di atas tanah lunak yang cukup tebal tidak terlalu mempengaruhi nilai penurunan. Penggunaan tiang dengan jarak yang lebih rapat menghasilkan

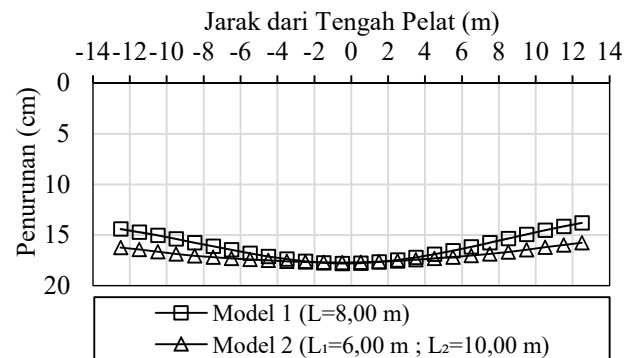
differential settlement yang lebih kecil (Tabel 5, 6 dan 7). Namun di atas lapisan tanah lunak yang cukup tebal (Kondisi C) tiang dengan jarak 1,25 m dapat menghasilkan penurunan konsolidasi yang besar hal ini diakibatkan penambahan jumlah tiang dapat meningkatkan berat sendiri struktur dan memperbesar nilai penurunan (Gambar 10). Meskipun nilai penurunan di pusat pelat pada Model 1 dan 2 dengan $s=1,25$ m tidak berbeda jauh, namun pola penurunan tepi pelat yang terjadi cukup berbeda (Gambar 11).



Gambar 9. Model 1 dengan panjang tiang seragam (8,00 m) dan Model 2 dengan tiang bervariasi (6,00 m – 10,00 m) pada Kondisi C



Gambar 10. Pengaruh perubahan susunan panjang tiang terhadap penurunan konsolidasi pada pusat pelat ($L=8,00$ m; $L_1=6,00$ m, $L_2=10,00$ m); Kondisi C

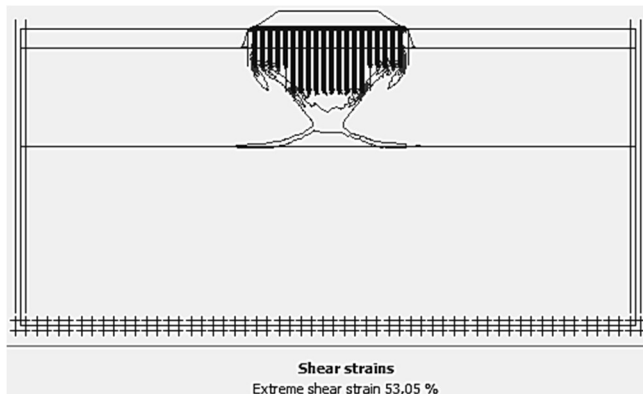


Gambar 11. Pengaruh perubahan susunan tiang terhadap penurunan pelat pada sistem pelat yang diperkuat tiang mini ($L=8,00$ m; $L_1=6,00$ m, $L_2=10,00$ m; $s=1,25$ m); pada Kondisi C

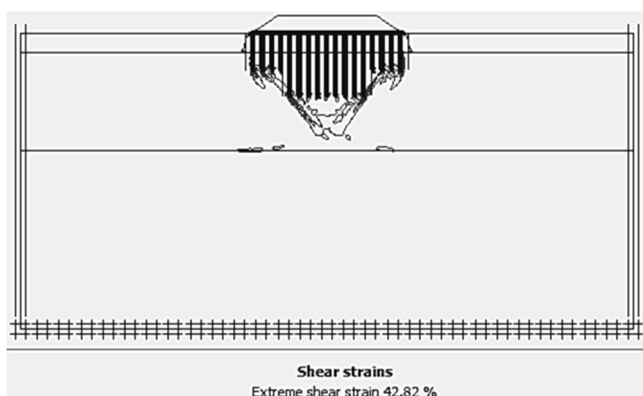
Perbandingan perilaku penurunan berdasarkan hasil analisa numeris pada Model 1 dan 2 pada Kondisi C dapat dilihat pada Tabel 7. Model 2 dengan tiang berjarak 1,25 m mengalami penurunan yang lebih besar jika dibandingkan dengan tiang berjarak 1,50 m. Pola regangan Model 2 dengan jarak tiang berbeda terlihat pada Gambar 12 dan 13.

Tabel 7. Hasil analisis penurunan konsolidasi pada pusat pelat (S_c) dan *differential settlement* (δ/L) pada kondisi C

Model	L		s (m)	S_c (cm)	δ/L (%)
	L_1 (m)	L_2 (m)			
1	8,00		1,25	17,795	0,33
			1,5	16,877	0,42
			2	17,278	0,54
2	6,00	10,00	1,25	17,703	0,15
			1,5	17,069	0,15
			2	17,017	0,50



Gambar 12. Pola regangan geser Model 2 pada $L_1=6,00$ m, $L_2=10,00$ m; $s=1,25$ m; Kondisi C



Gambar 13. Pola regangan geser Model 2 pada $L_1=6,00$ m, $L_2=10,00$ m; $s=1,50$ m; Kondisi C

Susunan dengan tiang pusat lebih panjang pada Model 2 justru menitikberatkan garis keruntuhan di bawah fondasi di tengah lapisan tanah lunak yang tebal dan membentuk garis keruntuhan yang lebih tajam, dalam kondisi seperti ini regangan geser dan deformasi yang

terjadi pada Model 2 dapat meningkat lebih cepat ketika konstruksi menerima beban tambahan terutama pada Model 2 dengan jarak tiang 1,25 m.

4. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan dari analisis numeris ini antara lain:

- Konstruksi terapan Model 2 bekerja lebih optimal dalam mengatasi penurunan dan δ/L dibandingkan dengan sistem pelat dengan panjang tiang seragam (Model 1). Berdasarkan kondisi yang diterapkan pada model numeris, penurunan konsolidasi dapat direduksi 1,6 – 1,85 cm lebih baik pada Model 2. *Differential settlement* juga dapat tereduksi sekitar 20 – 28 % lebih kecil dengan menerapkan Model 2.
- Peningkatan ketebalan lapisan tanah lunak dapat meningkatkan nilai penurunan dan δ/L pada sistem pelat yang diperkuat tiang. Konstruksi tiang yang berjarak cukup jauh dari lapisan tanah yang stabil di bawahnya memungkinkan terbentuknya bidang keruntuhan dan meningkatnya regangan geser.
- Differential settlement* (δ/L) pada pelat tereduksi dengan lebih baik pada jarak tiang yang lebih rapat. Berdasarkan analisis numeris, penggunaan jarak tiang 1,25 m bekerja paling efektif dalam mengatasi *differential settlement*, namun dengan meningkatnya ketebalan lapisan tanah lunak, sistem pelat dengan $s=1,25$ m cenderung memberikan nilai penurunan konsolidasi total yang lebih besar dibandingkan dengan variasi s lainnya. Hal ini terjadi akibat berat konstruksi, semakin banyak jumlah tiang, maka semakin meningkat juga berat sendiri struktur.

REFERENSI

Hardiyatmo, H. C. (2008). "Sistem Pelat Terpaku (*Nailed Slab*) untuk Perkuatan Pelat Beton pada Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)."
Prosiding Seminar Nasional Teknologi Tepat Guna Penanganan Sarana Prasarana, MPSP-FT-UG.

Leung, Y. F., Klar, A., & Soga, K. (2010). "Theoretical Study on Pile Length Optimization of Pile Groups and Piled Rafts." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Volume 136, Issue 2, 319–330.

Panduan Geoteknik-1 (2002). "Timbunan Jalan pada Tanah Lunak – Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak." *Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah*, Edisi Pertama, WSP International.

Sanjaya, H. (2014). “Kajian Tahanan Gesek Termobilisasi dan Modulus Reaksi Tanah Dasar Ekuivalen pada Perkerasan Sistem Pelat Terpaku di Tanah Pasir.” *Tesis*, Magister Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Waruwu, A. (2018). “Perilaku Pemampatan Tanah Gambut Akibat Beban Timbunan yang Didukung Sistem Pelat Terpaku.” *Disertasi*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

ANALISIS KEAMANAN LERENG GALIAN TANAH DI AREA PERTAMBANGAN BAUKSIT (Studi Kasus di Desa Pedalaman Kecamatan Tayan Hilir, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat)

D. Rojudin

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ibn Khaldun, Bogor, INDONESIA
Email : deden.rojudin@gmail.com

M. Lutfi

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ibn Khaldun, Bogor, INDONESIA
Email : lutfim97@gmail.com

F Muhammad. LT

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ibn Khaldun, Bogor, INDONESIA
Email : fadhila.muhammad@uika-bogor.ac.id

INTISARI

Pada rencana penggalian lereng untuk tambang terbuka diperlukan hasil uji laboratorium sifat fisik dan mekanik untuk mendesain lereng tambang yang optimal dengan kriteria faktor keamanan (FK) yang cukup, serta tingkat probabilitas keruntuhan (PK) dan biaya pemeliharaan yang rendah. Analisis desain lereng dilakukan dengan *Limit Equilibrium Method* dibantu aplikasi komputer *software Slide 6.0* dari *Rocscience* pada berbagai kondisi stratifikasi dan tinggi muka air. Analisis stabilitas lereng dilakukan pada *litologi overburden (ob)* dan *Ore*, dengan tinggi model 6-10 m, sudut kemiringan lereng 50°, 60°, 70° dan 90°. Pemodelan diaplikasikan dengan pendekatan *properties* hasil dari pengolahan data statistik pada tiap *litologi*. Dari analisis yang telah dilakukan, didapatkan desain lereng tunggal dengan properti material *ob* dan *ore* paling optimal masing-masing pada tinggi model 8-10 meter dengan sudut 60-70 derajat, sedangkan pada desain lereng keseluruhan dengan kombinasi lapisan material *ob* dan *ore* didapatkan hasil desain paling optimal pada model dengan tinggi lereng 5-11 meter, sudut lereng keseluruhan 56 derajat, dan lebar *berm* 1 meter menunjukkan nilai FK sebesar 2,0 dan PK sebesar 0%.

Kata kunci: Faktor keamanan (FK), Probabilitas keruntuhan (PK), Permodelan Lereng, *Limit Equilibrium Method*, *Slide 6.0*.

1. PENDAHULUAN

Proses penggalian dan penimbunan material dalam pertambangan akan menimbulkan implikasi pada terbentuknya lereng - lereng baru di kawasan pertambangan, baik lereng material asli berupa galian tanah maupun material lereng timbunan atau tanggul untuk dinding penahan tanah. Salah satu hal yang dapat membahayakan aktifitas penambangan dan keselamatan pemukiman sekitar adalah terjadinya keruntuhan tanah longsor di lokasi galian tambang.

Gaya-gaya yang mempengaruhi keruntuhan lereng yaitu gaya gravitasi bumi, gaya gaya gempa dan rembesan air. Faktor-faktor penyebab longsor dapat berupa faktor internal yang meliputi kekuatan massa batuan, geometri lereng, struktur geologi dan kondisi air tanah serta faktor eksternal yakni adanya getaran akibat gempa bumi, beban dinamik akibat alat-alat tambang, kohesi (c) atau gaya tarik menarik antara partikel dan sudut gerak dalam (λ) atau gesekan antara butir tanah merupakan dua parameter yang mempengaruhi kuat geser (Nugroho dkk, 2012).

Lokasi pertambangan berada berdekatan dengan pemukiman warga, untuk itu perlu dilakukan analisa kemandapan lereng galian dan lereng timbunan yang

digunakan untuk dijadikan input material *overburden* dan *Ore*. Rekomendasi lereng tunggal *ore* dan

overburden kan input parameter simulasi data yang sudah diolah secara statistik untuk memprediksi dan mengantisipasi kemungkinan terjadinya longsor, sekaligus memberikan informasi potensi resiko dan *mitigasi* bencana tanah longsor di sekitar pemukiman warga terhadap kegiatan pertambangan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Gambaran Umum

Metode penelitian ini menggunakan metode studi kasus. Metode studi kasus berupa kajian analisis kestabilan lereng galian dalam kegiatan pertambangan yang dibuat sesuai dengan rencana desain tambang menggunakan *software Slide 6.0* Evaluasi dilakukan mengacu pada kaidah SNI 03-1961-1990 tentang Tata cara penanggulangan longsor sebagai acuan dalam menganalisa kestabilan lereng akibat kegiatan penggalian pertambangan, yang bertujuan agar dapat melakukan pencegahan (mitigasi), penanganan darurat, serta penanggulangan permanen terhadap kejadian bencana keruntuhan lereng untuk mengurangi dampak kerugian sosial, ekonomi dan lingkungan.

Studi kasus dilakukan pada salah satu lokasi pertambangan Bauksit, secara umum kondisi lereng disana memiliki kedalaman kurang dari 10 meter, sehingga bukaan tambang tersebut umumnya hanya memiliki lereng tunggal atau maksimum 2 jenjang (*bench*). Lereng tersebut akan ditinjau dengan parameter faktor angka keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PK) yang dimodelkan dengan membuat analisis dengan material tanah penutup (*overburden*) dan galian tambang (*Ore*).

Metode penelitian yang digunakan memiliki tiga tahap penelitian. Pertama tahap penelitian adalah pengecekan lokasi dan pengambilan data sampel tanah asli, dan pemetaan yang menjelaskan tentang peta kontur dan situasi lokasi yang akan dilakukan analisa pengujian dan pengambilan sampel. Tahapan kedua adalah analisis antara lain pemodelan lereng dan penghitungan faktor keamanan *software Slide 6.0*, dengan melakukan analisa permodelan berdasarkan kondisi geologi, memasukan nilai parameter uji labolatorium (kadar air, berat isi, kohesi, sudut geser) dan gambar teknik penampang. Tahap ketiga yaitu tahap *output* nilai faktor keamanan sesuai Kepmen ESDM no.1827 tahun 2018.

2.2 Tempat dan Waktu

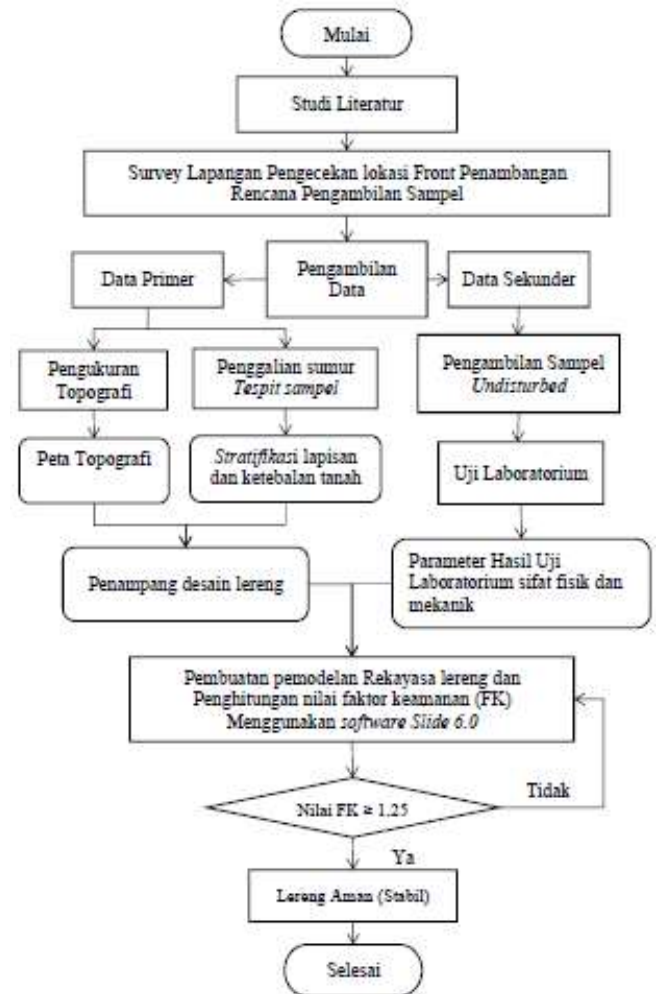
Secara administratif lokasi penelitian lereng galian tambang ini berada di Kecamatan Tayan Hilir, Sanggau Provinsi Kalimantan Barat, Dari Jakarta untuk menuju ke lokasi bisa menggunakan transportasi perjalanan udara Jakarta - Pontianak dari bandara Supadio Pontianak dilanjutkan dengan perjalanan darat sejauh +-135 Kilometer dengan waktu tempuh +- 3 jam melalui jalan Trans Kalimantan Barat - Kalimantan Tengah.

2.3 Alat dan Bahan yang digunakan

Alat yang digunakan adalah Tabung *shelby tube* untuk pengambilan sampel tanah, Laptop untuk pengolahan data yang dikumpulkan di lapangan, Alat tulis sebagai media untuk mencatat hasil perhitungan, *Software SLIDE 6.0 Rocscience* untuk proses pemodelan dan penghitungan faktor keamanan, Total Station dan GNSS RTK untuk melakukan pengambilan koordinat sampel dan peta topografi. Kamera Ponsel untuk mendokumentasikan hasil bservasi di lapangan, *Software SLIDE 6.0 Rocscience*.

Akuisisi data sampel geoteknik yang dilakukan di Desa Pedalaman dengan menggunakan *Shelby tube* untuk tiap-tiap (*OB, Ore* dan *Clay*). Hasil pengujian ini kemudian digunakan sebagai masukan dalam pemodelan numerik untuk simulasi kestabilan lereng tambang. Adapun pengambilan sampel dilakukan pada domain *front* penambangan silika rendah. Pengambilan domain *low silica* dilakukan di bukit 7 meliputi sampel *undisturbed*, sampel *OB*, sampel *ore*, dan sampel *clay*. Dimana diambil 1 sampel untuk *OB*, 1 sampel untuk *ore*, dan 1 sampel untuk *clay*.

2.4 Alur penelitian



Gambar 1. Bagan alir metode penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

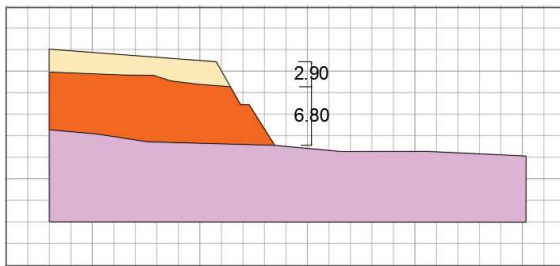
3.1 Geometri lereng, *Slope Stability*, Faktor Keamanan dan Probabilitas kelongsoran

Pengukuran topografi di bukit 7 dilakukan dengan menggunakan alat total station dan GNSS R10 dengan metode Poligon dan RTK (*Real Time Kinematis*), data *Tespit* Ekplorasi adalah metode pengambilan sampel yang dilakukan pada tahap eksplorasi untuk mengetahui ketebalan masing masing lapisan tanah. Lapisan tanah dan kedalaman masing-masing stratifikasi.

Tabel 1. Stratifikasi lapisan kedalaman tanah.

Prospek Daerah	TPID	Zona	X	Y	From (m)	To (m)	Tebal (m)
Bukit 7	TYN 319	OB	406668	9992949	0.00	0.90	0.90
Bukit 7	TYN 319	OB	406668	9992949	0.90	2.90	2.00
Bukit 7	TYN 319	BX	406668	9992949	2.90	4.90	2.00
Bukit 7	TYN 319	BX	406668	9992949	4.90	6.90	2.00
Bukit 7	TYN 319	BX	406668	9992949	6.90	9.10	2.20
Bukit 7	TYN 319	KG	406668	9992949	9.10	9.70	0.60

Ket Zona : OB = *Overburden*, BX= *Bauksit*, KG= *Clay*



Gambar 2. Penampang desain lereng

Pengujian sampel dilaboratorium dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter geoteknik yang selanjutnya dimasukkan dalam pemodelan. Parameter geoteknik tersebut berupa sifat fisik dan mekanik. Adapun sifat fisik yang di uji yaitu *true specific gravity*, *porositas*, kohesi, sudut geser dalam dan kuat tekan batuan. Data input yang dimasukkan untuk pemodelan berupa data sekunder yang didapat dari hasil uji laboratorium. Lereng yang di analisa secara *lithologi* geologi berada pada daerah *low silica* dengan lokasi pengambilan sampel untuk itu material properties secara khusus akan di simulasikan dengan hasil penelitian uji labolatorium daerah *low silica*. Data yang diperoleh dari penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium kemudian data-data tersebut diolah secara statistik untuk mendapatkan data properti sebagai parameter masukan (input data) dalam pemodelan geoteknik, kemudian nilai tersebut akan dimasukan ke dalam simulasi lereng tunggal ataupun lereng keseluruhan sesuai dengan posisi dimana simulasi dilakukan.

Rekapitulasi hasil perhitungan analisis nilai faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PK) dalam berbagai kondisi lapisan tanah. simulasi lereng tunggal lapisan *OB*.

3.2 Properties Material

Pengujian sampel di laboratorium dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter geoteknik yang selanjutnya dimasukkan dalam pemodelan. Parameter geoteknik tersebut berupa sifat fisik dan mekanik. Adapun sifat fisik yang diuji yaitu *true specific gravity*, *porositas*, kohesi, sudut geser dalam dan kuat tekan batuan. Data input yang dimasukkan untuk pemodelan berupa data sekunder yang didapat dari hasil uji laboratorium. Lereng yang di analisa secara *lithologi* geologi berada pada daerah *low silica* dengan lokasi pengambilan sampel bisa dilihat di Tabel 1 untuk itu material properties secara khusus akan di simulasikan dengan hasil penelitian uji labolatorium daerah *low silica*.

Data yang diperoleh dari penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium kemudian data-data tersebut diolah secara statistik untuk mendapatkan data properti sebagai parameter masukan (input data) dalam pemodelan geoteknik. Data properti parameter yang digunakan dalam permodelan kajian lereng ini dapat dilihat pada Tabel 2 s.d. Tabel 4

Tabel 2 Parameter Input material *Overburden*

Material	Properti	Distribusi	Mean	Standar Deviasi	Relatif Min	Relatif Max
OB	Kohesi (kPa)	Gamma	33.15	5.62	9.40	11.35
OB	Sudut Geser Dalam (°)	Normal	34.88	5.49	11.71	9.04
OB	Berat Jenis (kN/m ³)	Normal	13.18	1.22	2.232	1.76

Tabel 3 Parameter Input material *Ore*

Material	Properti	Distribusi	Mean	Standar Deviasi	Relatif Min	Relatif Max
Ore Low	Kohesi (kPa)	Normal	36.31	3.53	7.80	7.69
Ore Low	Sudut Geser Dalam (°)	Normal	43.78	5.94	11.08	10.51
Ore Low	Berat Jenis (kN/m ³)	Normal	13.80	1.66	2.26	2.56

Tabel 4 Parameter Input material *Clay*

Material	Properti	Distribusi	Mean	Standar Deviasi	Relatif Min	Relatif Max
Clay	Kohesi (kPa)	Gamma	29.17	5.80	9.17	8.96
Clay	Sudut Geser Dalam (°)	Normal	38.48	5.68	10.33	5.44
Clay	Berat Jenis (kN/m ³)	Normal	14.78	0.83	1.09	1.92

Dari tabel di atas material *OB*, *Ore* dan *Clay* diambil data domain (*low silica*), kemudian nilai tersebut akan dimasukan ke dalam simulasi lereng tunggal ataupun lereng keseluruhan sesuai dengan posisi dimana simulasi dilakukan. Jika simulasi dilakukan pada lereng tunggal di zona *ore low silica*, maka material properties yang digunakan yaitu material properties *ore low silica*. Hal ini sama dilakukan pada simulasi lereng keseluruhan, data input yang digunakan sesuai dengan lokasi dimana simulasi dilakukan.

3.3 Input Material Properties

Pemodelan rekayasa lereng dibuat untuk mengetahui keadaan kestabilan lereng dengan memasukan nilai-nilai parameter uji laboratorium dengan perbandingan sudut dan faktor keamanan dengan standar faktor keamanan $\geq 1,25$. Pemodelan rekayasa lereng dibuat dengan data matematis yang sesuai dan mewakili keadaan tanah *riil*, yang digunakan sebagai input data komputer, sehingga model akan merepresentasikan kondisi dan perilaku struktur lereng, ketika memasukan data untuk pemodelan diperlukan kehati hatian dan ketelitian agar keluaran yang dihasilkan benar.

Kesalahan pemasukan data bisa membuat pemodelan rekayasa lereng tidak menjadi seperti kondisi nyata lereng tersebut, pada penelitian ini, untuk melakukan pemodelan rekayasa lereng menggunakan *software Slide 6.0* sesuai dengan Metode Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*)

Tabel 5. Rekapitulasi hasil simulasi lereng tunggal lapisan OB.

Material	Tinggi lereng	Kondisi	Sudut (°)	Nilai FK	PK (%)		
Overburden/ Tanah penutup	5	Kering	50	4.30	0.00		
			60	3.80	0.00		
			70	3.30	0.00		
		Setengah jenuh	50	3.34	0.00		
			60	2.90	0.00		
			70	3.30	0.00		
	Jenuh	50	2.60	0.00			
		60	2.20	0.00			
		70	1.70	0.00			
		Kering	50	3.70	0.00		
			60	3.30	0.00		
			70	2.90	0.00		
Overburden/ Tanah penutup	6	Setengah jenuh	50	2.80	0.00		
			60	2.40	0.00		
			70	1.70	0.00		
		Jenuh	50	2.60	0.00		
			60	2.20	0.00		
			70	1.70	0.00		
	Kering	50	3.01	0.00			
		60	2.66	0.00			
		70	2.45	0.00			
		Overburden/ Tanah penutup	8	Setengah jenuh	50	2.39	0.00
					60	2.12	0.00
					70	1.49	0.00
Jenuh	50			1.72	0.00		
	60			1.85	0.00		
	70			1.24	9.60		
Kering	50		2.69	0.00			
	60		2.32	0.00			
	70		1.98	0.00			
	Overburden/ Tanah penutup		9	Setengah jenuh	90	1.54	0.00
					50	2.05	0.00
					60	1.68	0.00
Jenuh		70		1.41	0.20		
		90		0.85	75.60		
		50		1.42	0.20		
Kering		60	1.13	26.40			
		70	0.82	81.90			
		90	0.15	99.70			
		50	2.58	0.00			
		Kering	60	2.19	0.00		
			70	1.83	0.20		
90	1.43		2.70				
Overburden/ Tanah penutup	10	Setengah jenuh	50	1.94	0.00		
			60	1.60	0.00		
			70	0.73	92.00		
		Jenuh	90	0.71	88.30		
			50	1.35	2.70		
			60	1.06	39.60		
	Kering	70	0.18	100			
		90	0.09	100			

Tabel 6. Rekapitulasi hasil simulasi lereng tunggal lapisan ore.

Material	Tinggi lereng	Kondisi	Sudut derajat (°)	Nilai FK	PK (%)		
Ore/ Galian tambang	5	Kering	50	4.76	0.00		
			60	4.30	0.00		
			70	3.87	0.00		
		Setengah jenuh	50	3.56	0.00		
			60	3.25	0.00		
			70	2.83	0.00		
	Jenuh	50	3.49	0.00			
		60	3.14	0.00			
		70	2.70	0.00			
		Kering	50	4.19	0.00		
			60	3.80	0.00		
			70	3.23	0.00		
Ore/ Galian tambang	6	Setengah jenuh	50	4.19	0.00		
			60	2.72	0.00		
			70	2.37	0.00		
		Jenuh	50	2.99	0.00		
			60	1.49	0.00		
			70	2.37	0.00		
	Kering	50	3.71	0.00			
		60	3.29	0.00			
		70	2.98	0.00			
		Ore/ Galian tambang	8	Setengah jenuh	50	2.48	0.00
					60	2.11	0.00
					70	1.83	0.00
Jenuh	50			2.14	0.00		
	60			1.77	0.00		
	70			1.33	3.80		
Kering	50		3.30	0.00			
	60		2.83	0.00			
	70		2.40	0.00			
	Ore/ Galian tambang		9	Setengah jenuh	90	1.86	0.00
					50	2.23	0.00
					60	1.82	0.00
Jenuh		70		1.67	0.00		
		90		0.95	60.00		
		50		1.17	32.70		
Kering		60	0.90	67.30			
		70	0.92	64.90			
		90	0.13	99.40			
		50	3.15	0.00			
		Kering	60	2.68	0.00		
			70	2.24	0.00		
90	1.71		0.00				
Ore/ Galian tambang	10	Setengah jenuh	50	2.35	0.00		
			60	1.91	0.00		
			70	1.53	0.00		
		Jenuh	90	0.73	80.30		
			50	2.09	0.00		
			60	1.13	33.00		
	Kering	70	0.77	82.50			
		90	0.13	99.40			

Tabel 7. Rekapitulasi nilai (FK) dan (PK) lereng keseluruhan dalam berbagai jenis kondisi lapisan tanah.

Simulasi Keseluruhan Lereng						Analisis Probabilitas	
Tinggi lereng tunggal (m)	Sudut lereng Tunggal (°)	Lebar Berm (m)	Kondisi	Sudut (°)	Tinggi Keseluruhan (m)	Mean	POP (%)
5	50	1	Setengah	47	10	2.23	0
5	50	1	Jenuh	47	10	1.72	0
5	50	2	Setengah	44	10	2.42	0
5	50	2	Jenuh	44	10	1.77	0
5	60	1	Setengah	55	10	2.12	0
5	60	1	Jenuh	55	10	1.57	0
5	60	2	Setengah	52	10	2.36	0
5	60	2	Jenuh	52	10	1.61	0
5	70	1	Setengah	65	10	1.91	0
5	70	1	Jenuh	65	10	1.23	0
5	70	2	Setengah	61	10	2.02	0
5	70	2	Jenuh	61	10	1.41	0
6	50	1	Setengah	46	10	2.32	0
6	50	1	Jenuh	46	10	1.71	0
6	50	2	Setengah	44	10	2.12	0
6	50	2	Jenuh	44	10	1.78	0
6	60	1	Setengah	56	10	2.24	0
6	60	1	Jenuh	56	10	1.41	0
6	60	2	Setengah	52	10	2.35	0
6	60	2	Jenuh	52	10	1.46	0

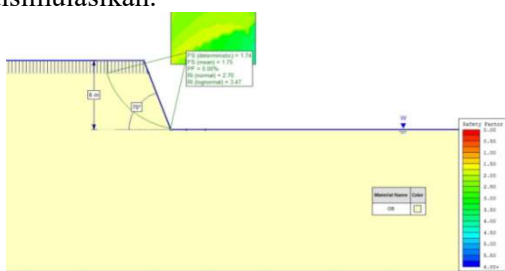
3.2 Rekomendasi Hasil Analisis Kemantapan Lereng

Analisis lereng penggalian dilakukan berdasarkan pendekatan model. Hal ini dilakukan dengan membuat simulasi lereng tunggal (*individual slope*) dan lereng keseluruhan (*overall slope*). Berdasarkan data material properti, dilakukan pembuatan desain lereng yang terdiri dari tiga material, yaitu tanah penutup insitu (*Overburden*), *ore*, dan *Clay*. Untuk memprediksi kemungkinan terjadinya longsor, dibuat analisis *probabilistic* menggunakan metode *Monte-carlo*. Parameter yang harus dimasukan untuk memperoleh nilai kemungkinan longsor dari suatu desain lereng yaitu: (a) nilai rata-rata (*mean*), (b) nilai standar deviasi, (c) nilai relatif minimum dan (d) Nilai relatif maksimum. Rekapitulasi data input untuk material *Overburden*, *Ore* dan timbunan.

3.4. Analisis Lereng Tunggal (*individual slope*)

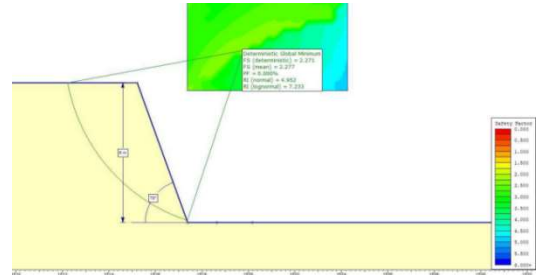
Analisis kemantapan untuk lereng tunggal dilakukan dengan pendekatan sebagai berikut:

- Lereng tunggal yang dikaji berupa lereng penggalian untuk tambang.
- Pemodelan lereng tunggal dilakukan pada *litologi OB* dan *Ore*, dengan simulasi tinggi 6 - 10 m, sudut kemiringan lereng 50°, 60°, 70° dan 90°.
- Pemodelan diaplikasikan dengan pendekatan *properties* hasil dari pengolahan data statistik pada tiap *litologi*.
- Kondisi air pada lereng dibuat kering, setengah jenuh dan jenuh.
- Material properti yang digunakan pada simulasi lereng tunggal sesuai dengan *litologi* yang akan disimulasikan.



Gambar 3. Simulasi Desain *Single Slope* Lereng *OB*

Dari hasil simulai beberapa model lereng dapat disimpulkan bahwa rekomendasi dimensi lereng tunggal maksimum yang dapat digunakan adalah ketinggian lereng 8-10 meter dengan sudut lereng 60°-70° dengan nilai kemungkinan longsor (PoF) dari lereng antara 0–5%. Jika realisasi ketinggian dan kemiringan lebih rendah dari dimensi yang direkomendasikan, maka lereng tersebut memiliki nilai faktor keamanan yang lebih tinggi. Gambar 4.6 salah satu contoh hasil simulasi lereng tunggal pada material lereng *OB*, dengan memasukan data input parameter dari material properti *OB*.



Gambar 4. Simulasi Desain *Single Slope* Lereng *Ore*

salah satu contoh hasil simulasi lereng tunggal pada material lereng *ore*, dengan memasukan data input parameter dari material properti *ore*.

Simulasi di atas dilakukan juga pada material *ore* dengan pendekatan yang dilakukan sama seperti simulasi pada material *ob* yaitu mengubah dimensi ketinggian lereng, sudut lereng dan kondisi air yang terdapat pada lereng. Material *ore* memiliki nilai faktor keamanan yang relatif sama dengan material *ob* dengan rekomendasi tinggi 8-10 meter dan sudut 60-70 derajat dengan nilai kemungkinan longsor antara 0-5% dan faktor keamanan disekitar 1.49-1.59. Sehingga simulasi dapat digunakan sebagai acuan dalam pembuatan lereng penambangan.

Rekomendasi lereng tunggal dimodelkan dengan membuat analisis dengan material *overburden* dan *Ore*, diambil dari hasil simulasi dengan nilai faktor keamanan pada kriteria aman, yaitu Faktor Keamanan (FK) $\geq 1,25$ dan Probabilitas Kelongsoran (PK) $\leq 25\%$. Rekomendasi geometri lereng tunggal adalah tinggi lereng 8-10 m dengan sudut 60°-70°. Hasil simulasi menunjukkan bahwa lereng tunggal dengan ketinggian 8 dan 10 meter masih dalam kondisi aman, sehingga apabila ditemukan ketinggian lereng dibawah nilai rekomendasi maka lereng masih dapat dikatakan aman.

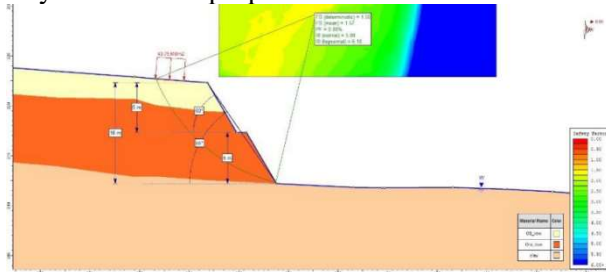
3.5. Analisis Lereng Keseluruhan (*Overall Slope*)

Pendekatan yang digunakan untuk melakukan analisis lereng keseluruhan adalah sebagai berikut:

- Simulasi dilakukan dengan menggunakan *section* data blok model dan rencana bukaan tambang. Posisi *clay* dijadikan sebagai *bottom pit* rencana bukaan tambang.
- Pemodelan diaplikasikan dengan pendekatan material *properties* hasil pengolahan data statistik pada tiap *litologi*.
- Kriteria yang dijadikan dasar bahwa lereng dalam keadaan aman adalah faktor keamanan (FK) $\geq 1,25$

nilai probabilitas kelongsoran (PK) $\leq 10\%$, dan kriteria keparahan akibat longsor menengah.

- d) Kondisi air tanah diasumsikan kering, setengah jenuh, dan jenuh.
- e) Material properti yang digunakan pada simulasi lereng tunggal sesuai dengan *litologi* yang akan disimulasikan. Jika simulasi dilakukan pada area *low silica* maka parameter input yang digunakan yaitu material properti *low silica*.



Gambar 5. Simulasi Desain Overall Slope berdasarkan section aktual

Simulasi lereng keseluruhan dilakukan pada domain *low silica*. Hasil faktor keamanan dari kedua domain sebagai berikut: (a) domain *low silica ore*: tinggi lereng keseluruhan < 10 meter dengan sudut lereng keseluruhan < 56 $^{\circ}$ menunjukkan kondisi lereng yang aman (FK > 2.09, PoF = 0%).

Dari hasil simulasi tersebut dapat disimpulkan bahwa zonasi *low* memiliki hasil yang konsisten dan kondisi aman. Dapat direkomendasikan untuk desain lereng tunggal dan keseluruhan dengan properti material *Ob, ore low silica* bahwa geometri yang dipilih memiliki nilai *safety factor* dan *probability of failure* yang masih aman dan lebih besar dari rekomendasi kepmen ESDM. Lereng tersebut juga tidak memerlukan perkuatan tambahan, seperti cerucuk, bronjong, maupun jenis perkuatan lain. Perhitungan faktor keamanan dinamis masih dalam keadaan aman secara keseluruhan dikarenakan Kalimantan yang bukan merupakan area pertemuan lempeng tektonik, sehingga kemungkinan untuk terjadinya gempa sangat kecil. Apabila pada saat pelaksanaan penambangan ditemukan tinggi lereng aktual lebih tinggi dari lereng yang direkomendasikan maka perlu dilakukan *resloping*.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dilapangan dan pembahasan masalah maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

4.1 Lereng tunggal

Rekomendasi lereng tunggal dimodelkan dengan membuat analisis dengan material *ob* dan *ore*. Rekomendasi lereng tunggal *ore* dan *ob* diambil dari hasil simulasi dengan nilai faktor keamanan pada kriteria aman, yaitu Faktor Keamanan (FK) $\geq 1,25$ dan Probabilitas Kelongsoran (PK) $\leq 25\%$. Rekomendasi geometri lereng tunggal adalah tinggi lereng 8-10 m dengan sudut 60 $^{\circ}$ -70 $^{\circ}$. Hasil simulasi menunjukkan bahwa lereng tunggal dengan ketinggian 8 dan 10 meter masih dalam kondisi aman.

4.2 Lereng Keseluruhan

Rekomendasi lereng keseluruhan untuk Desa Pedalaman yaitu dengan ketinggian maksimum disekitar 5 hingga 11 meter dengan lebar *berm* minimum 1 meter dan besar sudut lereng keseluruhan (*overall*) kurang di rentang 56 $^{\circ}$ -60 $^{\circ}$. Dimensi tersebut menghasilkan Faktor Keamanan (FK) ≥ 2.1 dan Probabilitas Kelongsoran (PK) $\leq 0\%$.

Hasil analisa percobaan direkomendasikan untuk desain lereng tunggal properti material *ob* yaitu tinggi 8-10 meter dengan sudut 60-70 derajat dengan hasil analisa FK sebesar 1,24 - 1,98 dengan PK 0 - 9,6 %, untuk desain lereng tunggal properti material *ore* yaitu tinggi 8-10 meter dengan sudut 60-70 derajat dengan hasil analisa FK sebesar 1,59 - 2,02 dengan PK 0 - 5,6 %, Sedangkan desain lereng keseluruhan material *ob, ore low silica* yaitu tinggi lereng tunggal 5-11 meter dengan sudut lereng keseluruhan 56 - 60 derajat lebar *berm* 1 meter tinggi keseluruhan 56 derajat dengan hasil analisa FK sebesar 2,1 dengan PK 0.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan artikel ini, sehingga artikel ini dapat terwujud.

REFERENSI

- Arifin, DS dan Hariati, F. (2012). "Analisis Stabilitas Lereng Bogor - Cilebut dengan Pendetailan di STA 0 + 040, *Journal Rakayasa Sipil ASTONJADRO*", Volume 1, Nomor 1, ISSN 2302- 4240.
- Badan Standarisasi Nasional. (1990). "SNI 03-1961-1990 tentang Tata Cara Penanggulangan longsor sebagai acuan dalam menganalisa kestabilan lereng."
- Cherianto, OPRTAE dan Monintja, S. (2014). "Analisa Kestabilan Lereng dengan metode Bishop (Studi Kasus : Kawasan Citraland sta.1000 m)." *Jurnal Sipil Statik* Vol.2 No.3, (139-147) ISSN: 2337-6732.
- Das, BM. (2010). "*Principles of Geotechnical Engineering*" Edisi ke-7. Stamford: USA.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987) "SKBI-2.3.26.1987 tentang Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya."
- Gouw, T.L dan Dave, J.G. (2012). "Analisa Stabilitas Lereng Limit Equilibrium Method dan Finite Element Method." *Proshiding HATTI-PIT-XVI 2012*, 4-5 2012, Jakarta.
- Hafidz, A, Fauzan, M Putra, H, Daniswara dan Anissa. (2019). "Analisis Perubahan Faktor Keamanan Lereng Akibat Hujan. *JSIL Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*." Volume 04 No.01.
- Ilyas, T. (2008) "Kegagalan lereng (slope failure) studi kasus : Jalan antara Samarinda -Tenggarong." Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta, dilihat 25 Desember 2019.

- <<https://adoc.tips/kegagalan.lereng.slope.failure.studi-kasus.jalan.antar.html>>.
- Kementerian ESDM (2018). “Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik.”
- Kementerian Perhubungan (2007) “Permenhub No.14 Tahun 2007 tentang Kendaraan Pengangkutan Peti Kemas di Jalan.”
- Muhammad LT, F. Kholik, M. dan Syaiful. (2017). “Perhitungan Faktor Keamanan dan Permodelan Lereng Sanitary Landfill dengan Faktor Keamanan Maksimum di Klapanunggal Bogor.” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA) 2017*, ISSN 2527-6042, eISSN 2527-6050.
- Nugroho, S.A., Putra, A.I., dan Ermin, R. (2012). “korelasi parameter kuat geser tanah hasil pengujian triaksial dan unconfined compression strength (UCS).” *Jurnal Sains dan Teknologi* 11 (1), pp. 1-10.
- Nurdian, S, Setyanto, L dan Afriani. (2015). “Korelasi parameter kekuatan tanah dengan menggunakan uji triaksial dan uji geser langsung pada tanah lempung substitusi pasir”. *Jurnal JRSDD* 3(1), pp.13-26.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). “*Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Bandung.
- Putranto, DI, Zakaria, Z, & Muslim, D (2019), “Penilaian Resiko Longsor untuk Stabilitas Lereng Berdasarkan Metode Probabilitas Monte Carlo (Studi Kasus Lingkar 3, Tambang Air Laya, Kecamatan Lawang Kidul, Muara Enim, Sumatra Selatan)”, *Padjadjaran Geoscience Journal*, Vol.3, No.2 i-ISSN: 2597-4033.
- Septian, R, Heryadi, B, dan Prabowo, H (2017), “Analisis Kesetabilan Lereng Jalan Tambang di PT Sumbang Calcium Pratama, Jorong Atas Halaban, Nagari Halaban, Kecamatan Lareh Sago Halaban, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatra Barat”, *Jurnal Jurusan Teknik Pertambangan*, Fakultas Teknik Universitas Padang, dilihat 24 Desember 2019. <<http://ejournal.unp.ac.id/index.php/mining/article/view/10113/7549>>.
- Stefanus. (2015). “*Pertambangan Bauksit*, Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Mineral dan Kelautan Institut Teknologi Adhitama Surabaya, dilihat 1 januari 2020.” <<https://www.slideshare.net/dholyncooy/pertambangan-bauksit>>
- Zavodni, Z.M. (2001), "Time dependant Movements of Open Pit Slopes", *Proceedings, Slope Stability in Surface Mining*, (Hustrelid, McCarthur and vanZyl eds.) SME. pp 81 - 87.

Pengaruh Panjang *Sheetpile* di Bawah Struktur Pintu Air Terhadap Angka Aman *Uplift*

(Studi Kasus Pintu Air Demangan, Surakarta)

Reki Arbianto

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta, INDONESIA
rekiarbianto@gmail.com

Erni Mulyandari

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta, INDONESIA
erni.mulyandari@gmail.com

INTISARI

Sheetpile (Turap) merupakan konstruksi dalam geoteknik yang sering digunakan untuk menahan tanah dan menahan air. Struktur *sheetpile* relatif tipis yang terbuat dari bahan kayu, beton maupun baja. Pembangunan Pintu Air Demangan di Kota Surakarta (Tahap I) di rencanakan di muara kali Pepe bagian hilir. Pintu air ini dimaksudkan untuk mengendalikan aliran sungai ke Bengawan Solo, sehingga dapat mencegah banjir. Pada struktur pintu air (bendung) akan terjadinya perbedaan tinggi elevasi muka air yang mengakibatkan terjadinya aliran bawah. Aliran bawah ini dapat menyebabkan gaya angkat (*uplift*). *Uplift* yang terlalu besar dapat membahayakan struktur bendung, mulai dari terangkatnya struktur tersebut sampai terjadinya keretakan dan runtuh. Salah satu upaya untuk mengurangi *uplift*, maka dipasang *sheetpile* beton bertulang yang berfungsi sebagai tirai untuk menghambat laju aliran ke dasar struktur bendung. Analisis aliran dilakukan dengan bantuan software *SEEP/W*. Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan dapat diketahui semakin panjang *sheetpile* yang tertanam maka semakin kecil *uplift* yang terjadi.

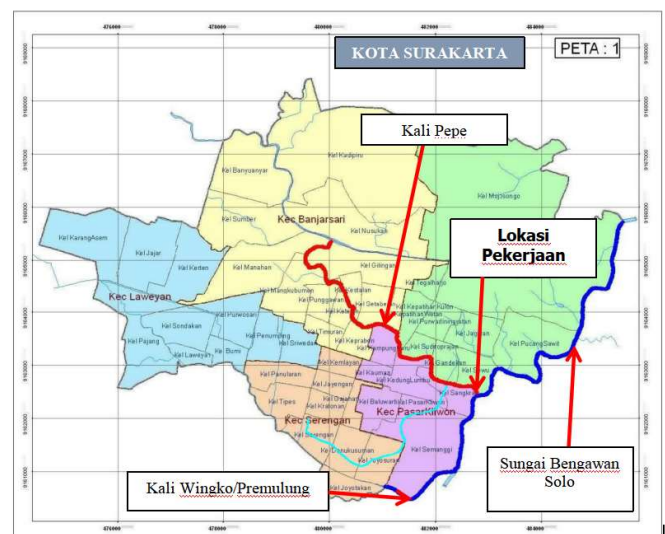
Kata kunci: *sheetpile*, *uplift*, pintu air, aliran bawah, *SEEP/W*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pintu air merupakan suatu bangunan yang berfungsi untuk mengendalikan aliran air sungai untuk keperluan irigasi maupun mencegah banjir. Pekerjaan pembangunan pintu air demangan di kota Surakarta (tahap I) di dekat muara kali Pepe hilir. Perbedaan tinggi muka air di sisi luar dan dalam pintu air akan terjadi aliran bawah yang menyebabkan gaya angkat (*uplift*). *Uplift* yang berlebihan akan membahayakan struktur bangunan. Bahaya yang ditimbulkan antara lain terangkatnya struktur pintu air dan apabila struktur tidak dapat menahan *uplift* maka akan retak dan runtuh.

Upaya untuk menurunkan gaya angkat *uplift* dipasang *sheetpile* beton bertulang pada bagian bawah struktur pintu air. *Sheetpile* (Turap) merupakan konstruksi dalam geoteknik yang berbentuk dinding vertikal tipis sering digunakan untuk menahan tanah dan menahan air. Selain itu turap sering dipakai pada bangunan-bangunan pelabuhan misalnya dermaga dan Dok Kapal. Struktur *sheetpile* relatif tipis yang terbuat dari bahan kayu, beton maupun baja, sehingga aplikasi yang mudah dan biaya yang relatif murah. Lokasi pekerjaan pembangunan pintu air tersebut berada di Kelurahan Sewu kecamatan Jebres Kota Surakarta. Peta lokasi pekerjaan tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi pekerjaan

1.2 Aliran Air

Beberapa konsep telah digunakan untuk menjelaskan aliran air melalui tanah jenuh sebagian. Sebagai contoh adalah gradien kadar air atau gradien *matric suction* atau tinggi gradien hidrolis, semuanya telah dianggap sebagai potensi yang berpengaruh pada tanah jenuh sebagian. Namun, penting sekali untuk menggunakan hukum aliran paling mendasar yang mengatur tentang aliran air. Aliran air pada tanah jenuh umumnya diuraikan dalam hukum Darcy. Darcy (1856) dalam Fredlund (1993) menyatakan bahwa kecepatan pada

massa tanah berbanding lurus terhadap gradien hidrolik seperti di tunjukkan pada Persamaan (1) sebagai berikut :

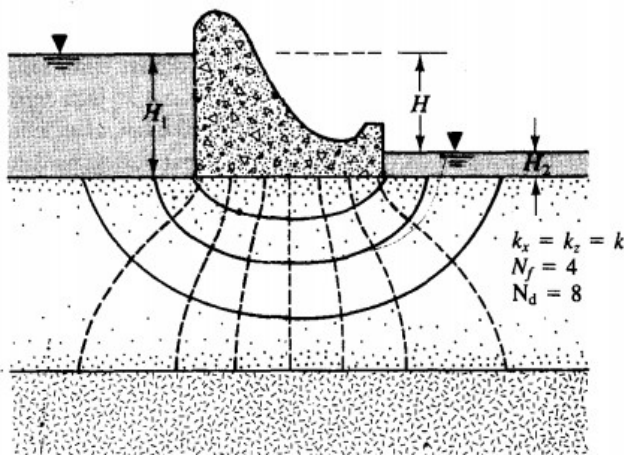
$$v_w = -k_w \frac{\partial h_w}{\partial y} \tag{1}$$

dengan :

- v_w : kecepatan air (cm/detik)
- k_w : koefisien permeabilitas (cm/detik)
- $\frac{\partial h_w}{\partial y}$: gradien hidrolik arah sumbu y

1.3 Jaring Aliran (Flow-net)

Sekelompok garis aliran dan garis ekipotensial disebut jaring arus (flow-net). Garis ekipotensial adalah garis-garis yang mempunyai tinggi energi potensial yang sama (h konstan).

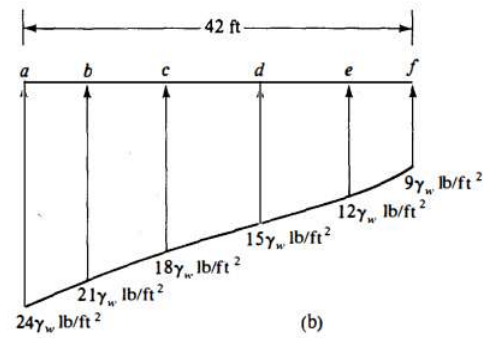
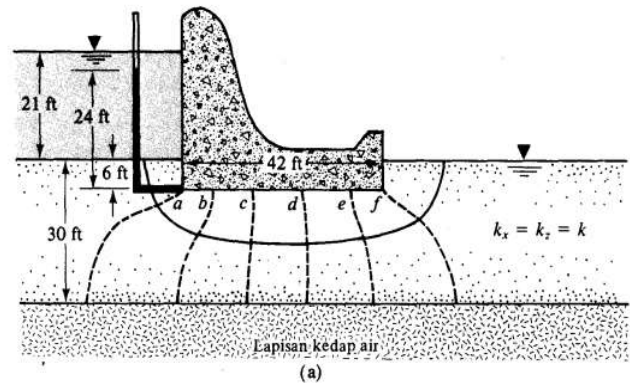


Gambar 2. Jaring aliran di bawah bendung (DAS, 1995)

dengan :

- k_x : koefisien permeabilitas Horizontal (cm/detik)
- k_z : koefisien permeabilitas Vertikal (cm/detik)
- k : koefisien permeabilitas (cm/detik)
- n_f : banyaknya aliran air
- n_d : banyaknya potensial drop
- H : kehilangan tinggi energi total

Jaring aliran dapat digunakan untuk menghitung besarnya tekanan keatas yang bekerja pada dasar bendung atau bangunan air. Selanjutnya gaya angkat keatas (uplift) per satuan panjang di sepanjang struktur bendung dapat dihitung dengan menghitung luas diagram tegangan yang ditunjukkan pada Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3. (a) Bendungan, (b) Diagram tekanan keatas yang bekerja pada dasar bendungan (DAS, 1995)

Terdapat 7 (tujuh) penurunan energi potensial (Nd) pada Gambar 3, dan perbedaan tinggi energi hulu dan hilir = 21 ft. Sehingga kehilangan energi yang terjadi untuk setiap penurunan energi potensial adalah :

$$H/N_d \tag{3}$$

dengan :

- n_d : banyaknya potensial drop
- H : kehilangan tinggi energi total

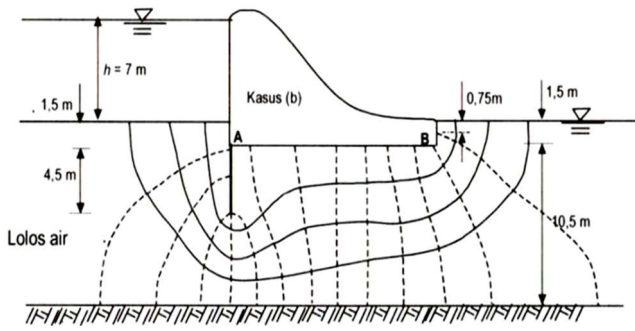
Gaya tekanan air ke atas per satuan panjang di sepanjang bendungnya dapat dinyatakan sebagai :

$$U = \gamma_w (\text{luas bidang tekan}) \times 1 \tag{4}$$

dengan :

- γ_w : kadar air
- U : uplift (t/m)

Apabila di bawah struktur bendungan terdapat sheetpile (turap) yang tidak dapat dilalui air maka bentuk dari jaring aliran (flow-net) akan berubah. Perubahan ini terlihat dari jumlah garis ekipotensial dan jumlah aliran yang terjadi seperti di tunjukkan pada Gambar 4. Secara teori dengan perubahan garis ekipotensial dan aliran maka jarak lintasan aliran air dari hulu ke hilir akan bertambah panjang sebagai akibat aliran air yang terhalang oleh turap.

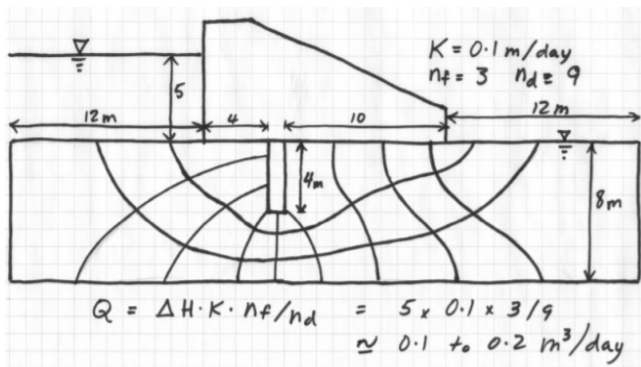


Gambar 4. Jaring aliran bendungan berturap (Hardiyatmo, 2012)

Dalam teori angka rembesan Lane, diandaikan bahwa bidang horisontal memiliki daya tahan terhadap aliran (rembesan) 3 kali lebih lemah dibandingkan dengan bidang vertikal. Apabila rembesan di bawah bangunan air tidak terkontrol maka akan terjadi *heave* pada tanah dasar.

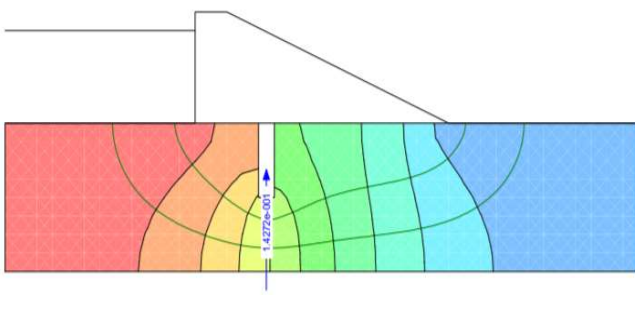
1.4 Analisis Numerik

Penggambaran jaring aliran (*flow-net*) secara manual akan memakan waktu yang lama. Oleh karena itu untuk memudahkan dalam analisis aliran air bawah menggunakan bantuan *software SEEP/W*.



Gambar 5. Sketsa tangan jaring aliran di bawah bendungan (Geoslope, 2012)

Gambar 5 dan 6 merupakan perbandingan *flow-net* dari gambar sketsa tangan dengan hasil dari program *Seep/W*, yang menunjukkan analisis yang sama. Hal tersebut terlihat dari jumlah penurunan energi eipotensial (n_d) dan jumlah aliran (n_f).



Gambar 6. Jaring aliran hasil SEEP/W (Geoslope, 2012)

2. PEMBAHASAN

2.1 Data Tanah

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah pada daerah tinjauan ditunjukkan pada Tabel sebagai berikut:

Tabel 1. Properties Lapisan Tanah

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	γ (t/m ³)	Permeabilitas (m/det)
00.00 - 25.00	Pasir	0,769	1,2.10 ⁻⁶
> 25.00	Bedrock	-	-

2.2 Data Struktur Pintu Air

Tabe 2. Data teknis

Dimensi pelat dasar	27,7 x 46 m
Berat keseluruhan	19.786, 92 ton
Muka air hulu	9,8 m
Muka air hilir	0 m

2.3 Simulasi Numerik

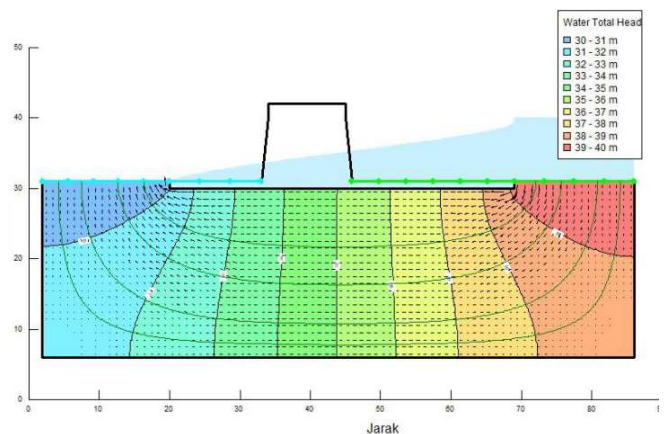
input simulasi *SEEP/W* adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Input Data

<i>Analysis</i>	<i>Steady-Stade Seepage</i>
<i>Unit Weight Water</i>	9,807 kN/m ³
<i>Content</i>	
<i>Bulk Modulus of Pore-Fluid</i>	2,083.10 ⁶ kPa
<i>Dimension</i>	2 D
<i>Material</i>	<i>Sandstone</i>
<i>Hydraulic</i>	<i>Saturated/Unsaturated</i>
<i>Boundary Condition</i>	<i>Upper and Lower Head</i>
<i>Hyd.K Function</i>	<i>Van Genuchten</i>
<i>Saturated k_x</i>	1.2e-06 m/sec

2.3.1 Model 1

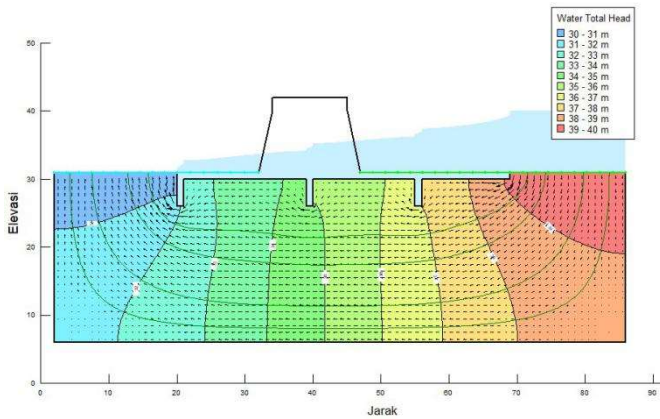
Gambar 7 merupakan simulasi dari model 1 dimana struktur pintu air tanpa turap, menghasilkan tekanan gaya angkat sebesar 7.067,1 ton. Sedangkan debit aliran (q) = 5,88.10⁻⁶ (m/det).



Gambar 7. Simulasi model 1

2.3.2 Model 2

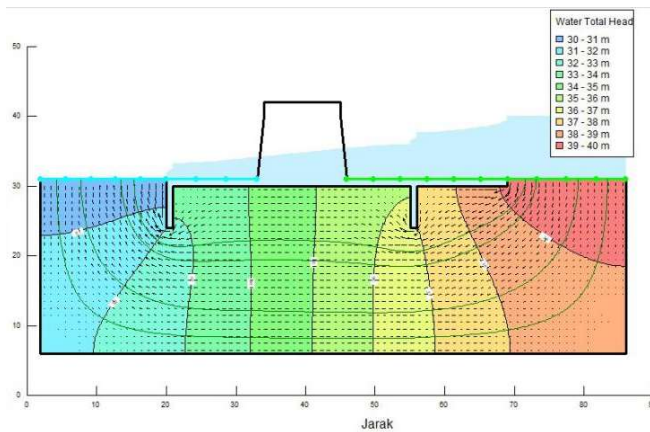
Gambar 8 merupakan simulasi dari model 2 adalah struktur pintu air dengan turap panjang 4m, turap dipasang ditiga (3) titik depan, tengah dan belakang menghasilkan tekanan gaya angkat sebesar 6.459,18 ton. Sedangkan debit aliran (q) = 5,88.10⁻⁶ (m/det).



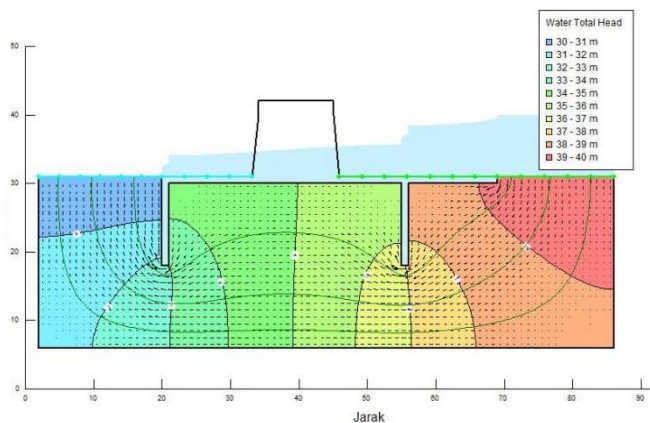
Gambar 8. Simulasi model 2

2.3.3 Model 3

Gambar 9 merupakan simulasi dari model 2 adalah struktur pintu air dengan turap panjang 6m, turap dipasang didua (2) titik yaitu didepan dan belakang menghasilkan tekanan gaya angkat sebesar 6.723,81 ton. Sedangkan debit aliran (q) = 5,88.10⁻⁶ m/det.



Gambar 9. Simulasi model 3



Gambar 10. Simulasi model 4

2.3.4 Model 4

Sebagaimana model-model sebelumnya turap dipasang di depan dan belakang struktur, namun kedalaman turap tertanam menjadi 12 m. Pada model ini menghasilkan tekanan atau gaya angkat sebesar 6.324,32 ton dan q= 4,704.10⁻⁶ m/det. Model 4 ditunjukkan pada Gambar 11.

Gaya *uplift* yang terjadi sudah dikalikan dengan lebar struktur bawah, sehingga sudah menjadi tekanan keseluruhan. Apabila dipakai angka keamanan 3 maka SF terhadap gaya angkat (*uplift*) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SF = \frac{W}{U} \tag{5}$$

dengan :

W : Berat struktur (ton)

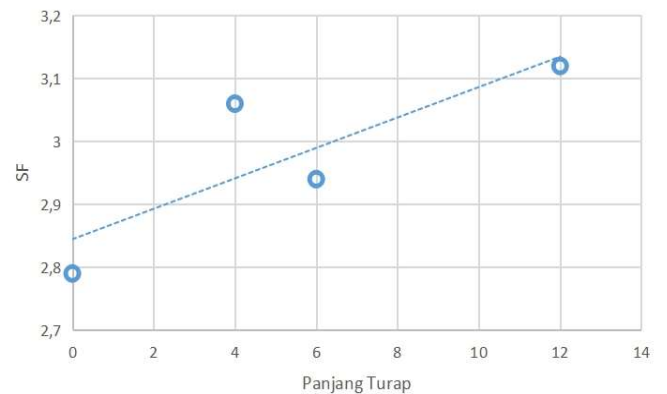
U : *uplift* (ton)

Rekapitulasi angka aman (SF) disajikan pada Tabel 4, sebagai berikut:

Tabel 4. Angka aman

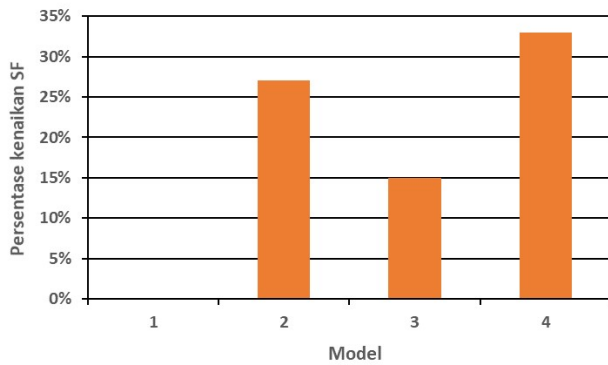
Model	W (ton)	U ton	SF	Keterangan
1	19.786,92	7.067,10	2,79	Tdk. aman
2	19.786,92	6.459,18	3,06	Aman
3	19.786,92	6.723,81	2,94	Tdk aman
4	19.786,92	6.324,32	3.12	Aman

Untuk memperjelas hubungan antara panjang tiang dengan angka aman disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 6. Panjang turap vs SF

Model 2 terjadi *trend* kenaikan yang kurang linier. Hal ini dimungkinkan karena pengaruh turap yang dipasang pada di 3 titik (depan, tengah, belakang). Kenaikan angka aman memang tidak terlalu signifikan antara 15% - 33%, dapat dilihat pada grafik sebagai berikut:



Gambar 11. Persentase kenaikan angka aman

3. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini bahwa panjang turap berpengaruh terhadap nilai angka aman terhadap *uplift*. Semakin panjang turap maka nilai angka aman (*safety factor*) akan semakin tinggi. Kenaikan nilai angka aman antara 15% - 33%. Pada model no.2 terjadi lonjakan kenaikan yang trend-nya berbeda dengan yang lain. Hal ini disebabkan pemasangan turap di 3 titik di bawah struktur pintu air. Perlu dilakukan simulasi terhadap pengaruh penempatan dan jumlah tiang yang dipasang di bawah struktur pintu air atau bendungan. Selain itu juga dapat digunakan variasi pada jenis tanah lempung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada PT. Brahma Seta Indonesia dan Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo atas informasi dan kerjasamftanya.

REFERENSI

- Ambramson, Lee W et al. (2004). “*Slope Stability and Stabilization Methods*”, John Wiley and Sons, Inc, New York.
- ASTM. (2013). “Annual Books of ASTM Standard“, ASTM, Easton. MD, USA.
- Bowles, Joseph E. (1989). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M. (2006). “*Principles of Geotechnical Engineering*”, Fifth Edition, Nelson, a division of Thomson Canada Limited.
- GeoStudio Manual Books (2018). “*Seepage Modeling With Seep/W*”, Geo-Slope International Ltd, Canada.
- Hardiyatmo, H.C. (2012). *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Mekanika Tanah II*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Justifikasi Teknik Review Desain Revetment Muara Kali Pepe (2019).

Rahardjo, H. (2016). *Application of Unsaturated Soil Mechanics to Open Pit Slope Stability*, Australian Center for Geomechanics. Vol.42.

Rifa’i, A. (2011). *Effect of Matric Suction Change on Unsaturated Soil Parameter in Slope Satability Analysis Due to Rainfall*, Seminar Nasional-I-BMTTSSI-konteks 5; G15-G23.

Wesley, L.D. (2012). “*Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan & Residu*, ANDI, Yogyakarta.

Pengaruh Metode Elektroosmosis Variasi Tegangan Listrik dan Jarak Elektroda pada Sifat Fisik Tanah Lempung Tanon

Niken Silmi Surjandari

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, INDONESIA
nikensilmisurjandari@gmail.com

Bambang Setiawan

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, INDONESIA
bbstw88@yahoo.co.id

Siva Pradipta Respati Saputra

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, INDONESIA
sivapradipta@gmail.com

INTISARI

Meningkatnya kebutuhan akan tanah dasar yang memiliki daya dukung yang memadai agar bangunan yang dibangun di atasnya dapat tetap aman. Salah satu jenis tanah yang butuh perbaikan adalah tanah lempung lunak. Tanah lempung memiliki waktu penurunan yang lama, kemungkinan terjadi kembang susut tanah, plastisitas tinggi, dan kuat geser yang rendah. Dibutuhkan perbaikan pada tanah lempung lunak agar dapat dijadikan sebagai tanah dasar. Penelitian ini menggunakan metode elektroosmosis untuk memperbaiki beberapa sifat fisik tanah lempung lunak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh metode elektroosmosis pada beberapa sifat fisik tanah yaitu pada kadar air tanah, berat volume basah tanah, dan batas-batas Atterberg. Menggunakan variasi jarak antar elektroda yaitu jarak 30 cm dan 45 cm antar elektroda, dan menggunakan variasi tegangan listrik yang dialirkan yaitu tegangan listrik 4.5, 9, dan 12 volt. Hasil dari metode elektroosmosis yang dilakukan menunjukkan perubahan pada beberapa sifat fisik tanah lempung lunak yang diuji. Pada kadar air mengalami penurunan paling besar hingga nilai kadar air menjadi 68,55%. Pada berat volume basah tanah didapati kenaikan terbesar hingga 1,46%. Indeks plastisitas tanah mengalami penurunan hingga paling rendah menjadi 36,95%. Perubahan beberapa sifat fisik tanah ini menunjukkan bahwa metode elektroosmosis dapat memperbaiki beberapa sifat fisik tanah lempung lunak.

Kata kunci : tanah lempung, elektroosmosis, sifat fisik tanah

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan akan infrastruktur dalam hal pemenuhan ataupun penunjang dalam mencapai kebutuhan pastinya tidak akan terlepas dari diperlukannya tanah dasar dengan karakteristik yang baik sehingga dapat menopang bangunan di atasnya agar tetap aman. Tanah dasar yang baik memiliki beberapa parameter sehingga tanah tersebut bisa dikatakan tanah yang memiliki daya dukung tanah yang tinggi. Salah satu jenis tanah yang butuh perbaikan adalah tanah lempung lunak. Tanah lempung memiliki waktu penurunan yang lama, kemungkinan terjadinya kembang susut tanah, permeabilitas rendah, plastisitas tinggi, dan kuat geser yang rendah. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah perbaikan tanah dengan menggunakan salah satu metode dari stabilisasi elektrokinetik, yaitu menggunakan metode elektroosmosis. Metode elektroosmosis menggunakan arus listrik satu arah atau *direct current* (DC) yang dialirkan melalui elektroda positif (anoda) dan elektroda negatif (katoda) yang ditanam pada tanah dengan jarak yang telah ditentukan. Pemberian arus listrik pada tanah ini menyebabkan air yang terkandung dalam tanah berpindah atau mengalir juga dari elektroda positif (anoda) menuju elektroda negatif (katoda), hal ini menyebabkan menurunnya kadar air yang terkandung dalam tanah sehingga diharapkan mempercepat proses

pemampatan tanah dan meningkatkan daya dukung tanah.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokopis sampai dengan sub mikrokopis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung memiliki ukuran butiran halus yang lebih kecil dari 0,002 mm. Tanah lempung memiliki permeabilitas yang sangat rendah, bersifat sangat kohesif, proses konsolidasi lambat dan memiliki kadar kembang susut yang tinggi (Terzaghi, 1996; Hardiyatmo, 2006) dalam Atmaja (2013).

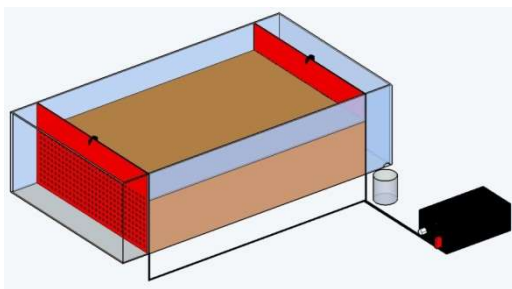
2.2 Elektroosmosis

Elektrokinetik menggunakan arus listrik searah (DC) atau listrik beda potensial rendah ke susunan elektroda yang ditempatkan di tanah, untuk menghilangkan partikel logam organik, anorganik dan berat dari tanah permeabel rendah, lumpur, sedimen dan air tanah (Mosavat, et al., 2012). Jika dua elektroda dipasang pada air jenuh dan dialirkan listrik, maka air yang terkandung di dalam tanah akan bergerak dari elektroda

positif menuju elektroda negatif. Fenomena inilah yang dapat menyebabkan air pada tanah mengalir sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengurangi kandungan air pada tanah lempung (Mitchell & Soga, 2005) dalam Kusuma (2017). Metode elektroosmosis adalah salah satu metode perbaikan tanah secara hidraulik yang mendrainase kandungan air dalam tanah dengan menggunakan aliran listrik satu arah yang dialirkan melalui elektroda positif dan elektroda negatif yang ditanamkan pada tanah. Arus listrik yang mengalir dari elektroda positif ke elektroda negatif akan mengikat air sehingga air dalam tanah ikut mengalir searah aliran arus listrik.

3. METODE

Penelitian dan pengujian metode elektroosmosis yang dilakukan dengan model fisik skala kecil bertujuan untuk memperbaiki beberapa sifat fisik tanah lempung lunak yaitu kadar air tanah, berat volume basah tanah, dan batas-batas Atterberg. Metode elektroosmosis dilakukan selama 3 hari dengan variasi tegangan listrik dan jarak antar elektroda, serta tanpa pemberian *preloading*. Desain kotak uji dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain kotak uji elektroosmosis.

3.1 Identifikasi Awal

Tanah akan diklasifikasikan berdasarkan ukuran partikel tanah dan nilai indeks plastisitasnya yang kemudian akan didapati hasil dan data mengenai sifat fisik tanah dan karakteristik tanah tersebut. Identifikasi awal untuk penelitian ini terdiri dari beberapa pengujian, yaitu analisis ukuran butiran (*grain size analysis*), pengujian kadar air, pengujian berat jenis tanah, pengujian berat isi tanah basah, dan pengujian batas atterberg.

3.2 Sifat Fisik Tanah

Pengujian utama metode elektroosmosis ini menggunakan dua variasi yaitu variasi jarak antar elektroda dan variasi tegangan listrik yang dialirkan. Variasi jarak antar elektroda yaitu jarak 30 cm (J30 cm) dan 45 cm (J45 cm) antar elektroda. Variasi tegangan listrik yang dialirkan menggunakan beda potensial 4.5 volt, 9 volt, dan 12 volt. Lama perlakuan metode elektroosmosis ini dilakukan selama 3 hari untuk semua tanah uji. Pengujian sifat fisik tanah terdiri dari pengujian kadar air (*water content*) menggunakan acuan ASTM D-4643-00, berat volume tanah basah (*bulk*

density) menggunakan acuan ASTM D-7263-09, dan batas-batas Atterberg (*Atterberg limit*) yang menggunakan acuan ASTM D-4318-05. Pengujian kadar air tanah dilakukan sebelum elektroosmosis, untuk pengujian berat volume basah tanah dan batas-batas Atterberg menggunakan tanah uji yang tidak dialiri arus listrik atau tertulis dengan tegangan listrik 0 volt adalah sebagai pembanding atau kontrol antara tanah uji tanpa proses elektroosmosis dan dengan proses elektroosmosis, sehingga dapat diketahui perubahan yang terjadi. Matriks percobaan yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks percobaan

Benda Uji	Jarak Antar Elektroda	Tegangan Listrik	Letak Sampel	Lama Pemberian Arus Listrik
A1	30 cm	0 V	-	3 Hari
A2	30 cm	4.5 V	Anoda	3 Hari
A3	30 cm	4.5 V	Tengah	3 Hari
A4	30 cm	4.5 V	Katoda	3 Hari
A5	30 cm	9 V	Anoda	3 Hari
A6	30 cm	9 V	Tengah	3 Hari
A7	30 cm	9 V	Katoda	3 Hari
A8	30 cm	12 V	Anoda	3 Hari
A9	30 cm	12 V	Tengah	3 Hari
A10	30 cm	12 V	Katoda	3 Hari
Benda Uji	Jarak Antar Elektroda	Tegangan Listrik	Letak Sampel	Lama Pemberian Arus Listrik
B1	45 cm	0 V	-	3 Hari
B2	45 cm	4.5 V	Anoda	3 Hari
B3	45 cm	4.5 V	Tengah	3 Hari
B4	45 cm	4.5 V	Katoda	3 Hari
B5	45 cm	9 V	Anoda	3 Hari
B6	45 cm	9 V	Tengah	3 Hari
B7	45 cm	9 V	Katoda	3 Hari
B8	45 cm	12 V	Anoda	3 Hari
B9	45 cm	12 V	Tengah	3 Hari
B10	45 cm	12 V	Katoda	3 Hari

Pada setiap variasi tegangan listrik akan dibagi menjadi 3 sampel uji berdasarkan area pengambilan sampel uji, yaitu pada area anoda (A), area tengah (T), dan area katoda (K).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

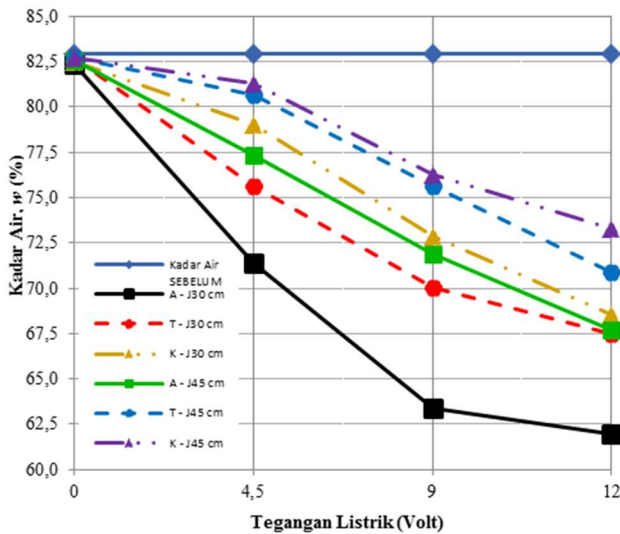
4.1 Hasil Pengujian Kadar Air

Hasil yang didapat dari pengujian kadar air ini adalah rasio massa air yang terkandung di dalam tanah. Pengujian kadar air ini dilakukan sebelum dan sesudah tanah dielektroosmosis sehingga dapat diketahui kadar air yang berkurang setelah elektroosmosis. Pada tegangan 12 volt di area anoda dengan jarak 30 cm mengalami penurunan persentase kadar air sebesar

20,95%, dari yang sebelumnya memiliki persentase persentase kadar air sebesar 82,91% dan setelah dilakukan metode elektroosmosis persentase kadar air menjadi 61,96%.

Pada variasi jarak antar elektroda 45 cm dengan beda potensial 12 volt mengalami penurunan persentase kadar air sebesar 15,22%, persentase kadar air sebelum elektroosmosis adalah 82,91% dan setelah metode elektroosmosis menjadi 67,69%.

Pada tanah uji yang dialiri tegangan listrik sebesar 4,5 volt pada area anoda dengan variasi jarak antar elektroda 30 cm didapat penurunan persentase kadar air sebesar 11,50% sedangkan pada variasi jarak 45 cm didapat penurunan persentase kadar air sebesar 5,55%. Besarnya beda potensial listrik yang dialirkan pada metode elektroosmosis ini memiliki pengaruh terhadap besarnya penurunan kadar air pada tanah. Semakin besar beda potensial listrik yang dialirkan, semakin besar pula penurunan kadar air tanah yang terjadi. Tanah di area sekitar anoda mengalami penurunan kadar air tanah yang lebih besar dibandingkan dengan tanah di area sekitar katoda, dikarenakan arus listrik searah mengalir dari anoda ke katoda tersebut mengikat air sehingga air ikut mengalir dari anoda menuju katoda. Grafik hasil pengujian kadar air dapat dilihat pada Gambar 2.



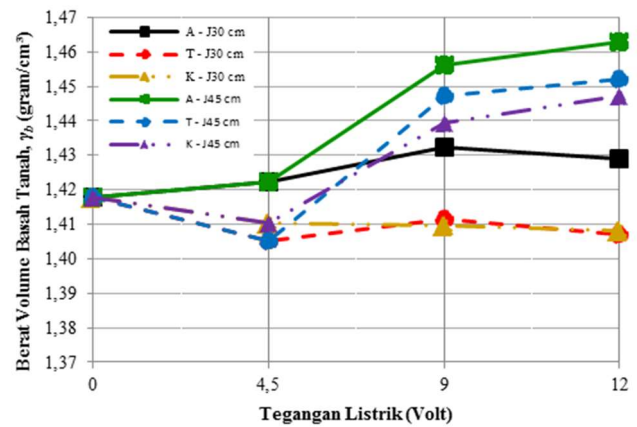
Gambar 2. Kadar air tanah uji.

4.2 Hasil Pengujian Berat Volume Basah Tanah (*Bulk Density*)

Pengujian berat volume basah tanah ini dilakukan dengan perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (*W*) dengan volume total tanah (*V*). Pengujian ini dilakukan setelah elektroosmosis. Data yang didapat menunjukkan variasi jarak 30 cm antar elektroda pada pengujian tanpa dialiri arus listrik atau tertulis pada tegangan 0 volt nilai berat volume basah tanah adalah sebesar 1,42 gram/cm³. Pada area anoda yang dialiri tegangan 4,5 volt, 9 volt, dan 12 volt didapat berat volume basah tanah sebesar 1,42 gram/cm³, 1,43 gram/cm³, dan 1,43 gram/cm³. Pada area

anoda setelah dialiri tegangan sebesar 9 dan 12 volt, berat volume basah tanah mengalami kenaikan sebesar 0,01 gram/cm³.

Pada variasi jarak 45 cm antar elektroda pada pengujian tanpa dialiri arus listrik atau tertulis pada tegangan 0 volt nilai berat volume basah tanah adalah sebesar 1,42 gram/cm³. Pada area anoda yang dialiri tegangan 4,5 volt, 9 volt, dan 12 volt didapat berat volume basah tanah secara berturut-turut sebesar 1,42 gram/cm³, 1,46 gram/cm³, dan 1,46 gram/cm³. Pada tegangan listrik 9 volt dan 12 volt area katoda volume basah tanah mengalami kenaikan sebesar 0,04 gram/cm³. Hampir semua nilai berat volume basah tanah pada area anoda mengalami kenaikan, hal ini merupakan indikator bahwa metode elektroosmosis berhasil mengalirkan air dalam tanah keluar dan mengurangi kandungan air dalam pori-pori tanah sehingga tanah semakin padat. Grafik hasil pengujian berat volume basah tanah dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Berat volume basah tanah uji.

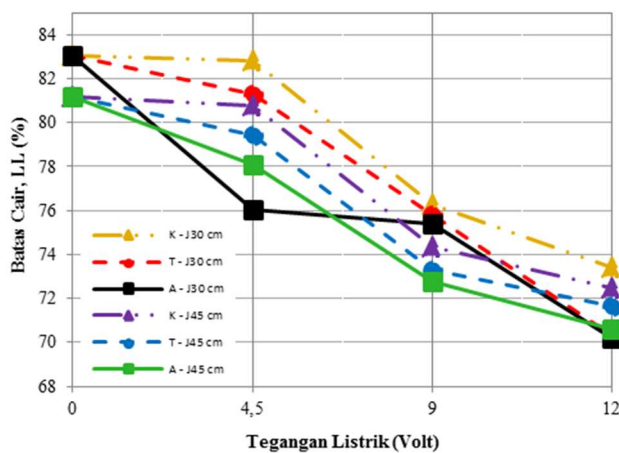
4.3 Hasil Batas Cair

Didapatkan perubahan nilai batas cair tanah uji setelah dilakukan metode elektroosmosis dengan variasi jarak antar elektroda 30 cm. Tanah yang tidak dialiri arus listrik atau tertulis uji dengan tegangan 0 volt menunjukkan nilai batas cair sebesar 83,07%. Pada tanah uji di area sekitar anoda dengan tegangan listrik 4,5 volt, 9 volt, dan 12 volt didapat nilai batas cair tanah uji berturut-turut adalah 76,03%, 75,42%, dan 70,19%.

Nilai batas cair tanah uji setelah dilakukan metode elektroosmosis dengan variasi jarak antar elektroda 45 cm juga mengalami perubahan. Tanah yang tidak dialiri arus listrik atau tertulis uji dengan tegangan 0 volt menunjukkan nilai batas cair sebesar 81,18%. Pada area di sekitar anoda dengan tegangan listrik 4,5 volt, 9 volt, dan 12 volt didapat nilai batas cair tanah uji secara berturut-turut menjadi 78,07%, 72,79%, dan 70,60%.

Perubahan nilai batas cair setelah tanah uji dilakukan metode elektroosmosis pada beberapa tegangan listrik menunjukkan perubahan dan penurunan nilai batas cair paling banyak terjadi pada tanah uji dengan variasi jarak 30 cm antar elektroda dan pada tegangan listrik 12 volt.

Pada tanah uji yang dialiri tegangan listrik 12 volt area anoda variasi jarak antar elektroda 30 cm terjadi penurunan nilai batas cair sebanyak 12,88% sedangkan pada variasi jarak antar elektroda 45 cm terjadi penurunan nilai batas cair sebanyak 10,58%. Hal tersebut menunjukkan bahwa penurunan nilai batas cair akan semakin besar apabila jarak antar elektroda lebih dekat dan jika nilai tegangan listrik semakin besar. Pada area anoda juga mengalami perubahan dan penurunan nilai batas cair lebih besar dibandingkan tanah uji pada area katoda, misalnya pada area anoda tegangan listrik 12 volt jarak 30 cm antar elektroda didapat perubahan sebanyak 12,88% sementara pada area katoda didapat perubahan sebanyak 9,68%. Grafik nilai batas cair tanah uji setelah metode elektroosmosis dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Batas cair tanah uji setelah metode elektroosmosis.

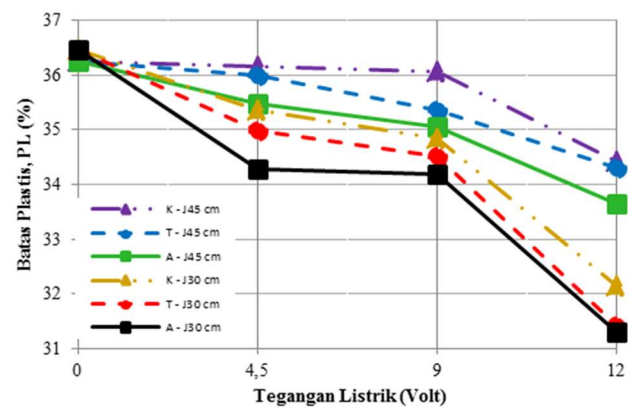
4.4 Hasil Batas Plastis

Didapatkan perubahan nilai batas plastis tanah uji setelah metode elektroosmosis pada variasi jarak antar elektroda 30 cm. Tanah yang tidak dialiri arus listrik atau tertulis uji dengan tegangan 0 volt menunjukkan nilai batas plastis sebesar 36,47%. Pada area di sekitar anoda dengan tegangan listrik 4,5 volt, 9 volt, dan 12 volt didapat nilai batas plastis tanah uji masing-masing menjadi 34,28%, 34,19%, dan 31,29%.

Data yang didapat menunjukkan terjadi perubahan juga pada nilai batas plastis tanah uji dengan variasi jarak 45 cm antar elektroda setelah metode elektroosmosis. Tanah yang tidak dialiri arus listrik atau tertulis uji dengan tegangan 0 volt menunjukkan nilai batas plastis sebesar 36,26%. Pada area di sekitar dekat anoda dengan tegangan listrik 4,5 volt, 9 volt, dan 12 volt didapat nilai batas plastis tanah uji setelah metode elektroosmosis adalah menjadi 35,47%, 35,05%, dan 33,65%.

Pada tanah uji yang dialiri tegangan listrik 12 volt area anoda variasi jarak antar elektroda 30 cm terjadi penurunan nilai batas plastis sebanyak 5,17% sedangkan pada variasi jarak antar elektroda 45 cm terjadi penurunan nilai batas plastis sebanyak 2,62%. Pada area anoda juga mengalami perubahan dan

penurunan nilai batas plastis lebih besar dibandingkan tanah uji pada area katoda, misalnya pada area anoda tegangan listrik 12 volt jarak 30 cm antar elektroda didapat perubahan sebanyak 5,17% sementara pada area katoda didapat perubahan sebanyak 4,32%. Grafik perubahan nilai batas plastis tanah uji setelah metode elektroosmosis dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Batas plastis tanah uji setelah metode elektroosmosis.

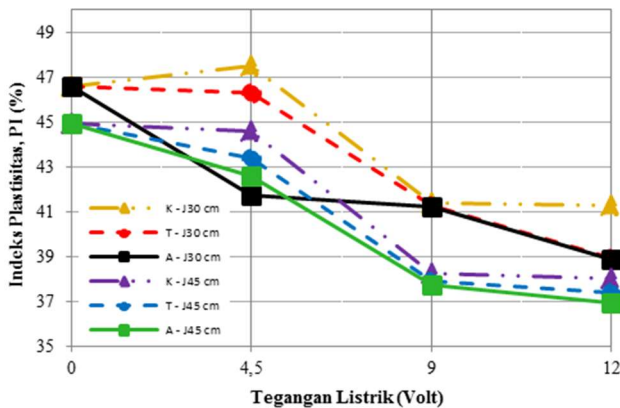
4.5 Hasil Nilai Indeks Plastisitas

Nilai indeks plastisitas didapat dari mengurangi nilai batas cair dengan nilai batas plastis. Data yang didapat menunjukkan adanya perubahan nilai indeks plastisitas pada variasi jarak 30 cm antar elektroda seiring bertambahnya tegangan listrik yang dialirkan selama metode elektroosmosis. Tanah yang tidak dialiri arus listrik atau tertulis uji dengan tegangan 0 volt menunjukkan nilai indeks plastisitas sebesar 46,61%. Tanah uji pada area anoda dengan tegangan listrik 4,5 volt, 9 volt, dan 12 volt didapat nilai indeks plastisitas tanah uji mengalami perubahan menjadi 41,75%, 41,23%, dan 38,90%.

Pada variasi jarak 45 cm antar elektroda juga menunjukkan adanya perubahan nilai indeks plastisitas seiring bertambahnya tegangan listrik yang dialirkan selama metode elektroosmosis. Tanah yang tidak dialiri arus listrik atau tertulis uji dengan tegangan 0 volt menunjukkan nilai indeks plastisitas sebesar 44,92%. Tanah uji pada area anoda dengan tegangan listrik 4,5 volt, 9 volt, dan 12 volt didapat nilai indeks plastisitas tanah uji mengalami perubahan menjadi 42,60%, 37,74%, dan 36,95%.

Semakin besar tegangan listrik yang dialirkan pada metode elektroosmosis, maka nilai batas cair, batas plastis, dan juga nilai indeks plastisitas pun semakin mengalami penurunan. Pada variasi jarak antar elektroda yang lebih dekat juga didapati perubahan nilai indeks plastisitas yang lebih banyak dibandingkan dengan variasi jarak antar elektroda yang lebih jauh. Pengaruh dari variasi jarak ini menunjukkan bahwa metode elektroosmosis akan lebih optimal pada jarak antar elektroda yang tidak terlalu jauh, karena metode elektroosmosis ini menggunakan arus listrik maka energi listrik pun lebih sedikit terbuang pada jarak antar

elektroda yang lebih dekat karena hambatan yang dilalui lebih sedikit. Pada area di sekitar anoda pun mengalami penurunan nilai indeks plastisitas yang lebih besar dibandingkan pada area di sekitar katoda. Hal tersebut dapat dikarenakan mengalirnya arus listrik searah dari anoda menuju katoda yang mengikat air ataupun faktor lain yang membuat perubahan nilai batas-batas Atterberg tanah uji pada area anoda lebih signifikan dibandingkan dengan tanah uji pada area katoda. Grafik perubahan nilai indeks plastisitas dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Indeks plastisitas tanah uji setelah metode elektroosmosis

5. KESIMPULAN

Nilai kadar air tanah dan nilai batas-batas Atterberg mengalami penurunan setelah metode elektroosmosis, penurunan semakin besar seiring dengan bertambahnya tegangan listrik yang dialirkan saat metode elektroosmosis. Nilai kadar air tanah paling rendah adalah 61,96%. Nilai indeks plastisitas paling rendah adalah 36,95%. Nilai batas susut tanah uji memiliki rata-rata 19,07% dan 20,23%. Nilai berat volume basah tanah mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya tegangan listrik yang dialirkan. Nilai berat volume basah tanah paling tinggi adalah 1,46 gram/cm³.

Semakin besar tegangan listrik yang dialirkan selama metode elektroosmosis maka semakin besar pula perubahan yang terjadi. Pada pengujian kadar air dan batas-batas atterberg penurunan nilai paling banyak dari kedua pengujian tersebut adalah pada tegangan 12 volt, yaitu untuk nilai kadar air mengalami penurunan banyak sebesar 21,4%, pada nilai indeksplastisitas tanah mengalami penurunan paling banyak sebesar 7,96%. Nilai berat volume basah tanah juga meningkat seiring bertambahnya tegangan listrik yang dialirkan. Peningkatan nilai berat volume basah tanah paling besar adalah pada tegangan 12 volt yang mana meningkat sebanyak 0,04 gram/cm³.

REFERENSI

Atmaja, Y.R. (2013). "Pengaruh Penggunaan Elektroosmosis Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah Lempung". *E-Journal Matriks Teknik Sipil, Vol I* 30-37

Anonim, (2005). ASTM. American Society for Testing and Materials

Estabragh, A.R. (2014). "Improvement of Clay Soil by Electro-osmosis Technique". *Applied Clay Science* 95 (2014) 32-36

Hardiyatmo, H.C. (2012). *Mekanika Tanah I*. edisi keenam. Yogyakarta: Gadjah Mada Univeristy Press

Kusuma, A. (2017). "Pengaruh Lama Pemberian Arus Terhadap Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif Metode Elektrokinetik". *Buletin Teknik Sipil (Bulletin of Civil Engineering) 1:1* (2017) 1-7

Liu, Y. (2018). "Electroosmotic Stabilization on Soft Soil: Experimental Studies and Analytical Models (A historical review)". *Int. J. Electrochem. Sci.*, 13 (2018) 9051 – 9068

Peng, J. (2015). "Soil improvement by electroosmotic grouting of saline solutions with vacuum drainage at the cathode". *Applied Clay Science* 114 (2015) 53–60

Prastiwi, H.A. (2016). *Pengaruh Elektroosmosis pada Tanah Lempung Ditinjau dari Parameter Konsolidasi Tanah*. Skripsi. Surakarta: Universitas Sebelas Maret

Suroso. (2008). "Alternatif Perkuatan Tanah Lempung Lunak (*Soft Clay*), Menggunakan Cerucuk dengan Variasi Panjang dan Diameter Cerucuk". *Jurnal Rekayasa Sipil / Volume 2, No. 1 – 2008 ISSN 1978 – 5658*

Tjandra, D. (2006). "Pengaruh Elektrokinetik Terhadap Daya Dukung Pondasi Tiang di Lempung Marina". *Civil Engineering Dimension Vol 8 No 1* 15-19

Utomo, A.T. (2013). "Penggunaan Metode Elektroosmosis pada Tanah Lempung yang Ditambah Abu Ampas Tebu Ditinjau dari Parameter Kuat Geser Tanah (Uji Model Fisik Skala Kecil di Laboraturium)". *E-Journal Matriks Teknik Sipil Vol I* 432-439

Analisis Pengaruh Sudut Geser Dan Kohesi Tanah Pada Perencanaan Perkerasan Jalan

A. Pratama

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang (UNNES) Kampus UNNES Gedung e4, Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229, Jawa Tengah, INDONESIA
suroji.ap@gmail.com

R. Kusumawardani

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang (UNNES) Kampus UNNES Gedung e4, Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229, Jawa Tengah, INDONESIA
rini.kusumawardani@mail.unnes.ac.id

INTISARI

Pengujian triaxial *unconsolidated undrained* dilaksanakan untuk mendapatkan sudut geser dan kohesi tanah, dengan pengujian sebanyak tiga kali dengan variasi tekanan *cell* yang berbeda yang mana masing-masing 50 kpa, 100 kpa dan 200 kpa. Dilakukan juga pengujian sifat fisik tanah yang mana dapat dari berat jenis dan data lainnya dapat dikatakan jenis tanah lanau kepasiran. Dari pengujian triaxial didapatkan hasil kohesi tanah (c) sebesar 50,80 kpa; 45,73 kpa; 9,16 kpa; 63,76 kpa dan 22,06 kpa dengan sudut geser (ϕ) didapatkan 2°, 5°, 5°, 14° dan 4°. Berdasarkan data yang didapatkan dari pengujian triaxial *unconsolidated undrained* semakin besar angka kepadatan tanah, nilai kohesi dan sudut geser yang dihasilkan semakin besar. Sebaliknya semakin kecil angka kepadatan tanah, nilai kohesi dan sudut geser semakin kecil.

Kata kunci: triaxial, kohesi, sudut geser

1 PENDAHULUAN

Perkerasan lentur (*Flexible Pavement*) adalah sistem perkerasan jalan dimana konstruksinya terdiri dari beberapa lapisan. Setiap lapisan perkerasan pada umumnya menggunakan bahan maupun persyaratan yang berbeda sesuai dengan fungsinya, yaitu untuk menyebarkan beban roda kendaraan sedemikian rupa sehingga dapat ditahan oleh tanah dasar dalam batas daya dukungnya (*Highway Research Board, 1945*).

Dalam penelitian “Hubungan kuat geser pada tanah dengan hasil percobaan dynamic cone penetrometer pada ruas jalan Wori-Likupang kabupaten Minahasa Utara” pada 5 titik pengujian di ruas jalan Wori-Likupang Kabupaten Minahasa Utara, hubungan antara kuat geser lapangan yang dihasilkan dari penggunaan alat DCP dengan kuat geser laboratorium dengan alat uji Triaksial menghasilkan 4 data dengan nilai yang hampir sama, sehingga penggunaan alat DCP untuk penentuan kuat geser lapangan dapat dipakai sebagai suatu data perencanaan konstruksi jalan (*Priska C. L. Lengkon, 2013*).

Pengujian *triaxial* dapat menghasilkan data sudut geser tanah dan juga kohesi tanah yang nantinya akan digunakan dalam perobaan perencanaan perkerasan jalan. Parameter yang digunakan dalam percobaan perencanaan perkerasan jalan adalah data yang didapatkan dari pengujian *triaxial unconsolidated undrained*, dengan *cell pressure* 50 kpa, 100 kpa dan 200 kpa sehingga dapat menganalisis lingkaran Mohr.

Menurut Manual Desain Perkerasan Jalan No.02/M/BM/2013 Bina Marga, jenis struktur

perkerasan yang diterapkan dalam desain struktur perkerasan baru terdiri atas :

1. Struktur perkerasan pada permukaan tanah asli
Pada struktur ini lapisan pondasinya diberi perbaikan tanah dasar atau lapis penopang.



Gambar 1 Struktur Perkerasan Lentur (Lalu Lintas Berat) pada Permukaan Tanah Asli

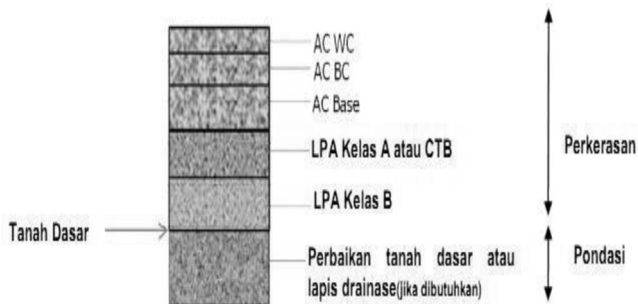
2. STRUKTUR PERKERASAN PADA TIMBUNAN
Pada struktur ini, timbunan pada lapisan pondasi dipadatkan pada CBR desain.



Gambar 2. Struktur Perkerasan Lentur (Lalu Lintas Berat) pada Tanah Timbunan

3. STRUKTUR PERKERASAN PADA GALIAN.

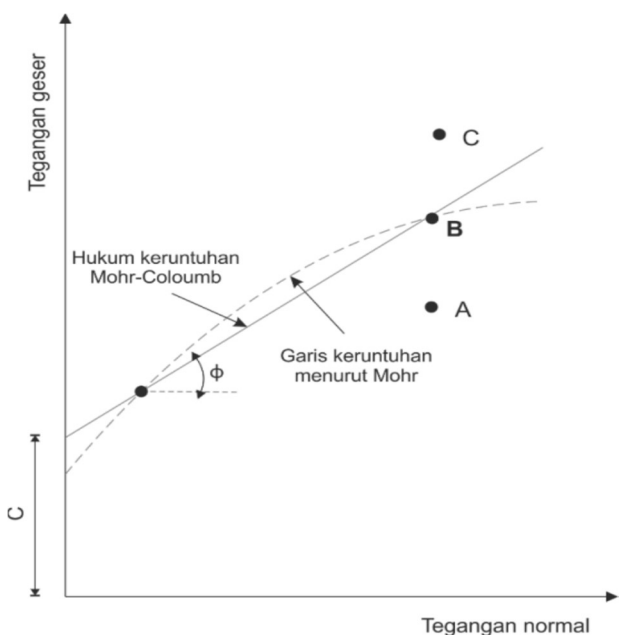
Pada struktur ini, lapisan pondasinya diberi perbaikan tanah dasar atau lapis drainase. lapis drainase.



Gambar 3. Struktur Perkerasan Lentur (Lalu Lintas Berat) pada Galian

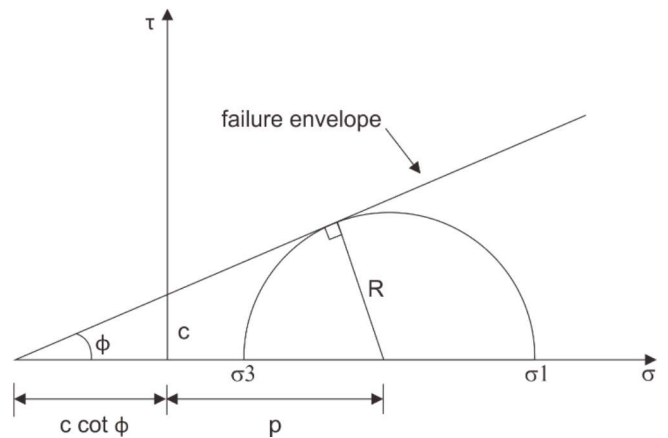
Berdasarkan ketiga gambar di atas, perbedaannya terletak pada perlakuan pada setiap lapisan pondasinya. Pada Gambar 1. Lapisan pondasinya membutuhkan perbaikan tanah dasar, pada Gambar 2. Lapisan pondasinya dipadatkan dengan CBR desain, sedangkan pada Gambar 3. Lapisan pondasinya butuh perbaikan tanah dasar atau diberi lapis drainase. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi sebagai penerima beban lalu lintas dan kemudian menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.

Kuat geser tanah merupakan gaya perlawanan tanah terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah (Das, 1995). Kuat geser tanah diukur dengan 2 parameter tanah yaitu kohesi (c) atau gaya tarik-menarik antar partikel dan sudut geser dalam (ϕ) atau gesekan antar butiran tanah.



Gambar 4. Hukum Keruntuhan Mohr-Coloumb

Pada titik A dalam gambar 4, tidak akan terjadi keruntuhan pada bidang tersebut. Pada titik B (tepat berada pada garis keruntuhan), maka keruntuhan geser akan terjadi pada bidang tersebut. Pada titik C tidak terjadi keruntuhan, karena keruntuhan terjadi sebelumnya.



Gambar 5. Kriteria Keruntuhan Mohr-Coloumb

Kriteria keruntuhan dari Mohr-Coulomb (Gambar 5), dapat ditulis sebagai persamaan untuk garis yang mewakili garis lurus (*failure anvelope*), dengan persamaan umum adalah :

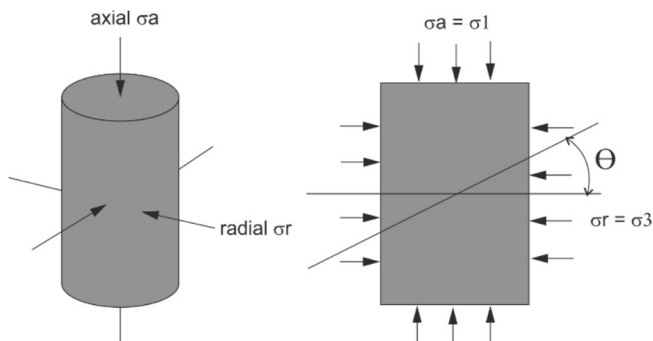
$$\tau_f = c + \sigma_f \cdot \tan \phi \tag{1}$$

dengan: τ_f = tegangan geser pada bidang kegagalan (kN/m^2), c = kohesi tanah (kN/m^2), σ_f = tegangan normal pada bidang kegagalan (kN/m^2), ϕ = sudut gesekan dalam tanah ($^\circ$).

Pengujian triaksial dilakukan terhadap sampel-sampel tanah berbentuk silinder yang dibungkus dengan membran yang fleksibel. Sebuah sampel dibuat terkekang oleh tekanan dengan menempatkannya dalam suatu ruangan tekanan. Kemudian diuji dengan menambah besarnya beban aksial sampai sampel tanah runtuh. Hasil pengujian diinterpretasikan pada penggambaran lingkaran Mohr pada saat keruntuhan. Parameter kekuatan geser tanah dalam lingkaran Mohr terdiri dari sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (c). Selain itu, besarnya tekanan air di dalam pori tanah selama proses pembebanan pada pengujian UU juga dapat ditentukan (Nurdian, et al., 2015).

Apabila tanah mengalami pembebanan, beban tersebut akan ditahan oleh: a) Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak bergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser. b) Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya. Untuk mengetahui nilai dari kedua parameter kuat geser tanah tersebut perlu

dilakukan pengujian terhadap tanahnya. Dalam pengujian tanah, digunakan sampel berbentuk silinder, dimana tegangan *radial* dan *aksial* bekerja pada bidang utama. Bidang vertikal merupakan bidang utama minor sedangkan bidang horizontal adalah bidang utama major. Tegangan radial (σ_r) adalah tegangan utama minor (σ_3), dan tegangan aksial (σ_a) adalah tegangan utama major (σ_1).



Gambar 6. Gaya-gaya yang bekerja pada sampel silinder untuk pengujian triaxial

Untuk memvisualisasikan tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada bidang runtuh di dalam sampel tanah, dibuat representasi grafis dari tegangan yang disebut “lingkaran Mohr”, diperoleh dengan merencanakan tegangan utama. Kaidah umum atau konvensi yang digunakan di dalam analisis tegangan, adalah bahwa untuk tegangan tekan dianggap sebagai “positif”, dan sudut yang diukur berlawanan arah jarum jam juga “positif”. Begitu juga sebaliknya, bahwa tegangan tarik adalah “negatif” dan sudut yang searah jarum jam adalah “negatif”.

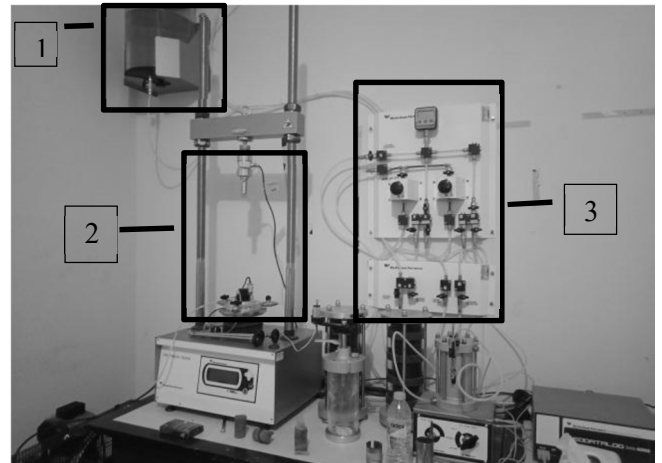
4. METODE

Pengambilan sampel diambil dari 5 titik untuk mewakili karakter tanah di lokasi tersebut, yang mana lokasi tersebut berada di Kawasan Industri Kendal. Pengambilan sampel tanah menggunakan *bore hole* maka tanah yang digunakan untuk pengujian adalah sampel tanah tak terganggu.

Pengujian tanah dilakukan di Laboratorium mekanika tanah Universitas Negeri Semarang. Dilakukan pengujian sifat fisik tanah 1. Pengujian kadar air 2.

Pengujian berat jenis 3. Pengujian berat volume 4. Pengujian *Atterberg Limit*

Pengujian triaxial *Unconsolidated Undrained* dilakukan masing-masing titik 3 pengujian dengan variasi tekanan cell yang berbeda, yaitu 50 kPa, 100 kPa dan 200 kPa.



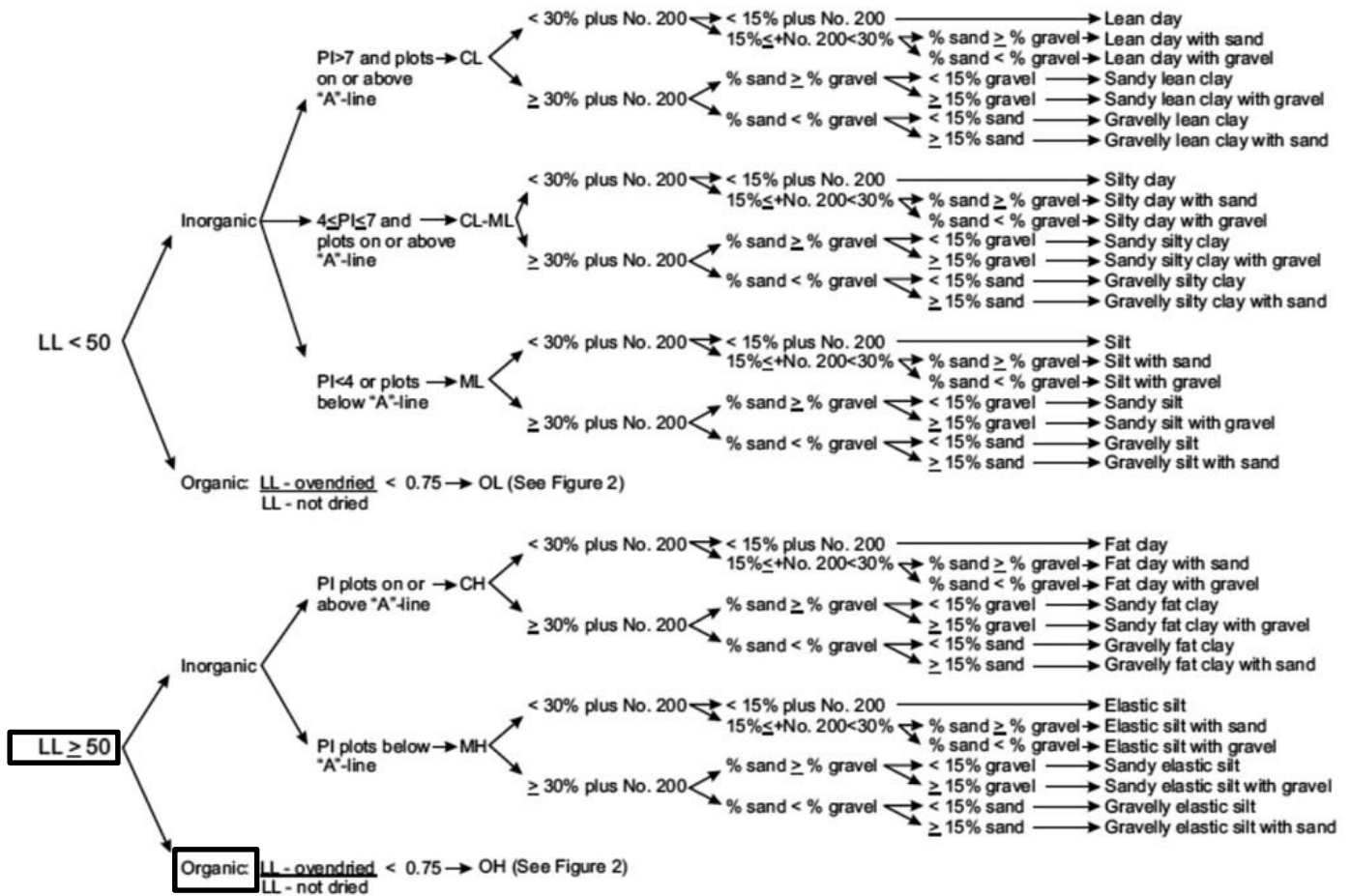
Gambar 7. Alat Uji Triaxial

Titik nomer 1 pada Gambar 7 adalah Tabung penyimpanan air. Nomer 2 adalah tempat sampel diletakkan dan diuji. Nomer 3 adalah kran pengatur tekanan dan air. Selain itu terdapat komponen lainnya yang digunakan dalam pengujian tersebut.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari Gambar 8, Gambar 9 dan Tabel 1. adalah hasil pengujian *soil properties* yang digunakan untuk klasifikasi tanah. Maka berdasarkan klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) didapatkan hasil jenis tanah lanau organik atau OH (*Organic silt Elastic*).

Pengujian triaxial UU dilakukan berdasarkan SNI 4813-1998. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui parameter kuat geser tanah, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Pada saat pengujian, benda uji tidak dilakukan proses konsolidasi (*unconsolidated*) dan tidak terdrainase (*undrained*), diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 8. Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 20

Hasil pengujian sifat fisik tanah didapatkan :

Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisik tanah

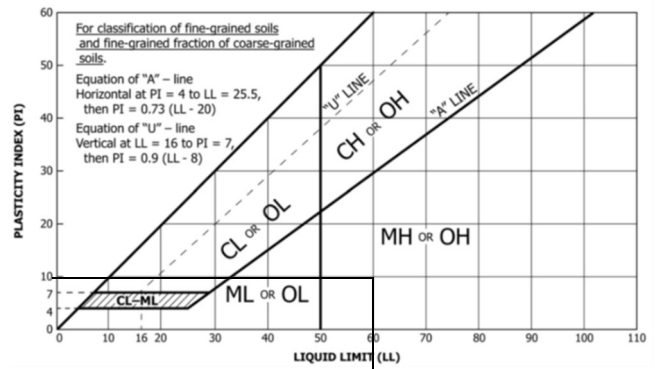
No	Pengujian	Hasil Uji	Satuan
1	Kadar air	51,71	%
		35,67	%
		75,21	%
		49,29	%
		44,88	%
2	Berat jenis	2,59	
		2,59	
		2,64	
		2,63	
		2,65	
3	Berat Volume	0,95	gr/cm ²
		1,19	gr/cm ²
		0,69	gr/cm ²
		1,02	gr/cm ²
		1,06	gr/cm ²
4	Atteberg limit Batas cair	64,86	%
		60,42	%
		61,49	%
		59,51	%

Lanjutan Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisik tanah

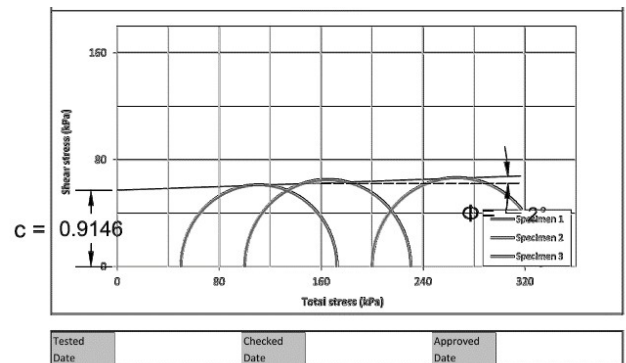
No	Pengujian	Hasil Uji	Satuan	
4	Batas Cair	59,09	%	
		50,26	%	
		39,06	%	
		43,10	%	
		38,94	%	
	Batas susut	45,56	%	
		47,62	%	
		34,70	%	
		38,84	%	
		33,82	%	
5	Analisis butiran	42,53	%	
		Lolos saringan no. 10	100	%
		Lolos saringan no. 40	96,58	%
		Lolos saringan no. 200	86,63	%
		Lolos saringan no. 10	100	%
		Lolos saringan no. 40	89,82	%
		Lolos saringan no. 200	73,48	%
		Lolos saringan no. 10	100	%
		Lolos saringan no. 40	99,17	%
Lolos saringan no. 200	91,82	%		

Lanjutan Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisik tanah

No	Pengujian	Hasil Uji	Satuan
5	Analisis Butiran	100	%
		98,44	%
		89,40	%
		100	%
		90,89	%
		74,26	%



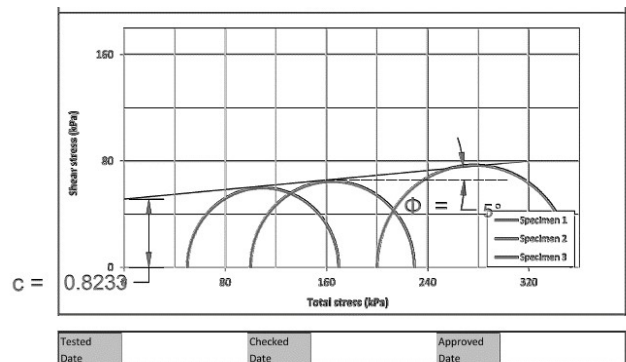
Gambar 9. Plastisitas Casagrande



Nilai Kohesi = 50.807

Sudut Geser = 2°

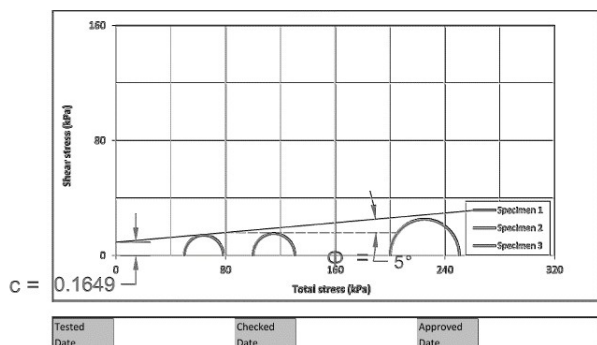
Gambar 10. Hasil pengujian untuk tanah ke-1



Nilai Kohesi = 45.73

Sudut Geser = 5°

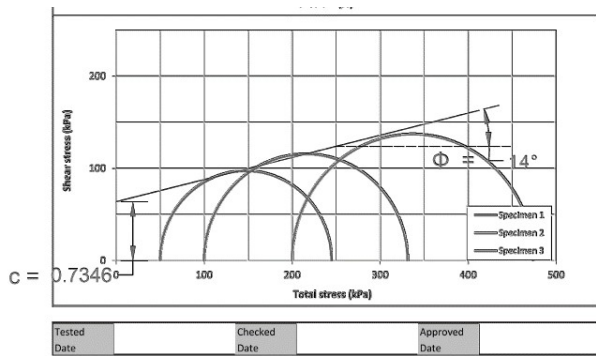
Gambar 11. Hasil pengujian untuk tanah ke-2



Nilai Kohesi = 9,16

Sudut Geser = 5°

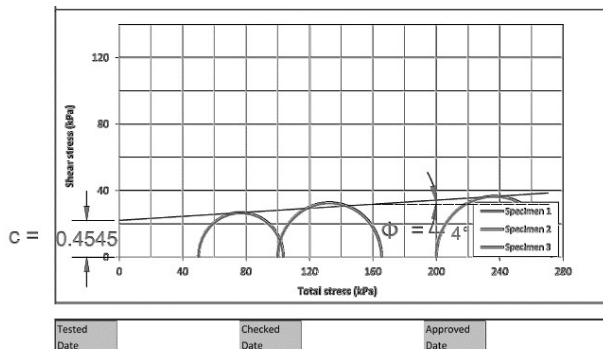
Gambar 12. Hasil pengujian untuk tanah ke-3



Nilai Kohesi = 63.76

Sudut Geser = 14°

Gambar 13. Hasil pengujian untuk tanah ke-4



Nilai Kohesi = 22.06

Sudut Geser = 4°

Gambar 14. Hasil pengujian untuk tanah ke-5

Dari pengujian triaxial didapatkan hasil kohesi tanah (c) sebesar 50,80 kpa; 45,73 kpa; 9,16 kpa; 63,76 kpa dan 22,06 kpa dengan sudut geser (ϕ) didapatkan 2°, 5°, 5°, 14° dan 4°. Nilai kohesi dan sudut geser yang paling kecil adalah Gambar 12 dan untuk yang terbesar adalah Gambar 13. Kohesi dan sudut geser mempengaruhi kuat geser, sehingga dalam perencanaan jalan semakin besar kohesi dan sudut geser tanah maka semakin besar kuat geser tanah.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang telah disajikan pada pembahasan di atas. Didapat kesimpulan sebagai berikut: Tanah 1 termasuk jenis tanah *organic silt elastic* (OH) dengan nilai $c = 50,80$ kpa dan $\phi = 2^\circ$. Tanah 2 termasuk jenis tanah *organic silt with sand and elastic* (OH) dengan nilai $c = 45,73$ kpa dan $\phi = 5^\circ$. Tanah 3 termasuk jenis tanah *organic silt elastic* (OH) dengan nilai $c = 9,16$ kpa dan $\phi = 5^\circ$. Tanah 4 termasuk jenis tanah *organic silt elastic* (OH) dengan nilai $c = 63,76$ kpa dan $\phi = 14^\circ$. Tanah 5 termasuk jenis tanah *organic silt with sand and elastic* (OH) dengan nilai $c = 22,06$ kpa dan $\phi = 4^\circ$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih sampaikan kepada Dr. Rini Kusumawardani, S.T, M.T, M.Sc, yang telah menyarankan dan membimbing dalam pengujian dan juga penulisan.

REFERENSI

ASTM International.(2000). *Standard Test Method For Classification Of Soils For Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (ASTM D 2487)*, United State : ASTM International

Bowles. 1999. *Analisa dan Desain Pondasi Jilid 2*. Erlangga. Jakarta

Darwis. 2018. *Dasar-Dasar Mekanika Tanah*. Pena Indis. Yogyakarta.

Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga. Jakarta.

Lengkong, P. C. L., Monintja, S., Sumampouw, J. E. R., & Sarajar, A. N. (2013). Hubungan Kuat Geser Pada Tanah Dengan Hasil Percobaan Dynamic Cone Penetrometer pada Ruas Jalan Wori-Likupang Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 1(5).

Nurdian, S., Setyanto, Afriani, L. 2015. *Korelasi Parameter Kekuatan Geser Tanah Dengan Menggunakan Uji Triaxial dan Uji Geser Langsung Pada Tanah Lempung Substitusi Pasir*. Semarang: Universitas Negeri Semarang

SNI 4813-1998. 2004. *Cara Uji Triaxial untuk Tanah Kohesif dalam Keadaan tidak Terkonsolidasi dan tidak Terdrainase (UU)*. Jakarta : Badan Standarisasi Indonesia

Penggunaan *Nanotube Carbon Multiwall* Guna Meningkatkan Daya Dukung Tanah

A. Seputra Sudianto

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang
aldianseputra@gmail.com

D. Hartanto

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang
daniel@unika.ac.id

INTISARI

Teknologi *nano* merupakan salah satu alternatif dalam metode perbaikan tanah. Ukuran partikel nano yang sangat kecil yaitu dari 1 sampai dengan 100 nm. *Multiwall Nanotube* merupakan salah satu bahan nano dalam meningkatkan daya dukung tanah. Kekuatan tanah *clayey Sand* meningkat 120% dengan menambahkan 3% *Multiwall Carbon Nanotube* berdasarkan penelitian Arabania,dkk (2012). Sedangkan menurut Taha (2012), penambahan *Multiwall Nanotube Carbon* yang disarankan adalah 0.1% sampai dengan 0.5%. Metode Uji *Unconfined Compression Test* dipakai untuk mengetahui kuat tekan bebas (q_u) dan kuat geser *undrained* (c_u). Tanah.

Kata kunci: *nano, multiwall nanotube, multiwall nanotube carbon, unconfined compression test, undraied*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perbaikan tanah umumnya menggunakan bahan yang dicampurkan dalam tanah, antara lain : semen dengan komposisi tertentu. Menurut Kitazume dan Terashi (2013) pada kondisi tertentu tanah memerlukan cukup banyak semen yang harus dicampurkan guna meningkatkan perilaku mekanisnya.

Perkembangan masa kini, perbaikan tanah berkelanjutan merupakan tantangan utama metode perbaikan tanah. Bahan – bahan yang biasa dipakai untuk perbaikan tanah seperti : kapur, silikat, akrilat dan epoksi memiliki keterbatasan perawatan. Selain bahan kimia, *geotextile* yang biasanya dipakai pada konstruksi jalan raya, memerlukan usaha pemadatan (*compaction*) dan memerlukan alat berat dalam melakukannya.

Menurut *National Nanotechnology Initiative of the United States* 92007), nano teknologi dapat didefinisikan sebagai manipulasi materi dengan satu dimensi berukuran dari 1 hingga 100 nm. Nanoteknologi juga mencakup ilmu pergerakan atom dan perubahan yang terjadi pada atom.

Nanoteknologi juga bisa diterapkan dalam bidang di bidang Teknik Sipil, antara lain : peningkatan sifat suatu bahan, mengurangi konsumsi energi suatu bahan. Contoh : menggunakan nanopartikel tembaga untuk meningkatkan kemampuan las pada permukaan baja tahan korosi (Hanus,Haris,2013).

Sedangkan *nanomaterial* yang dipergunakan dalam perbaikan tanah salah satunya adalah *multiwall carbon nanotube* (MWCNT) yang mempunyai sifat seperti

kekuatan leleh dan mempunyai modulus elastisitas sangat tinggi (Makar,2011)

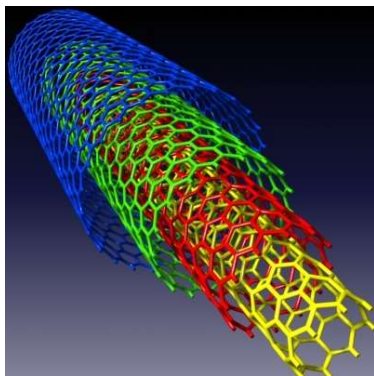
1.2 *Multiwall Carbon Nanotube* (MWCNT)

Menurut Chong (2003), *multiwall carbon nanotube* (MWCNT) terbuat dari *Graphene*. *Graphene* adalah lembaran super tipis atom karbon. MWCNT terbuat dari karbon murni sebesar 90% dengan beberapa oksida logam sebesar 10% (Nanocyl, 2019). Ukuran dari MWCNT sebagai berikut : diameter 10-15 nm, panjang 10-15 mikron dan kepadatan rata – rata 50-150 kg/m, dan juga permukaan spesifik sekitar 1.000 kali lebih tinggi dari partikel semen, luas permukaan spesifik itu adalah luas permukaan persatuan volume atau luas permukaan persatuan berat. Pada pembuatan MWCNT digulung menjadi tabung, *graphene* yang telah terbentuk menjadi MWCNT bisa menghasilkan kekuatan seratus kali lebih kuat dan enam kali lebih ringan dari baja. Karena elastistasnya sangat tinggi dan kekuatannya tinggi, maka MWCNT pernah dipergunakan sebagai pengisi dan penguat logam (Sathurusighe, 2012). Bila MWCNT dipakai sebagai bahan pengisi butiran semen, maka akan menjadi material komposite yang padat dan keras (Fakhim, 2013). *Multiwall carbon nanotube* dipilih karena harganya yang lebih rendah dari *single-wall carbon nanotubes*.

Arabania (2017), mencampur pasir lempung dengan mencampur pasir lempung dengan komposisi MWCNT 0,05–3% MWCNT berdasarkan berat tanah, dan menghasilkan daya dukung tanah yang maksimal pada pencampuran 3% MWCNT menghasilkan peningkatan kekuatan tanah lebih dari 120% dibandingkan tanah asli.

Adapun beberapa permasalahan muncul dengan penggunaan partikel nano untuk perbaikan tanah, antara lain : biaya dan dampak lingkungan. Untuk biaya bisa di kesampingkan dahulu karena dampak lingkungan kepada organisme dan binatang disekitarnya menjadi fokus utama, jumlah prosentase campuran MWCNT yang disarankan oleh Taha (2012) adalah 0.1 – 0.5% dari berat tanah agar lingkungan tidak rusak. Namun dampak lingkungan terhadap efek toksisitas dapat diminimalkan dengan dosis atau komposisi yang tepat. Banyak ahli setuju bahwa efek pada manusia sebagian besar masih dipertanyakan, namun untuk penggunaan dengan komposisi yang tepat dapat meminimalkan risiko terhadap manusia dan lingkungan hidup. Partikel nano sudah menjadi bahan campur dari dari banyak item yang sering digunakan. misalnya, *lotion* kulit, dan ini memberikan beberapa bukti mendukung penggunaan nanopartikel terhadap toksisitas terhadap penggunaannya, namun jika bahannya masih terkontrol dapat di minimalkan tingkat toksisitas terhadap manusia (Taha, 2012).

Pada Gambar 1 *Multiwall Carbon Nanotube*, dapat dilihat beberapa lapisan dan berbentuk tabung karena pada proses pembuatannya atom carbon digulung dan dibuat menjadi berbdng banyak atau berlapis – lapis.



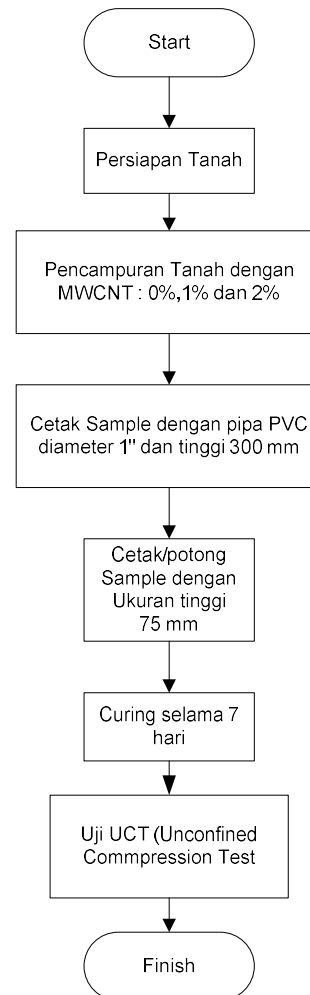
Gambar 1. *Multiwall Carbon Nanotube*
(sumber : <https://www.turbosquid.com/3d-models/multiwalled-carbon-nanotube-3ds/363229>)

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan semen, partikel MWCNT dan air dengan komposisi tertentu sehingga diharapkan akan menemukan bahan campuran untuk memperbaiki tanah yang daya dukungnya kurang.

2.1 Diagram Alir Penelitian

Pada gambar 2, merupakan diagram alir dari metode penelitian yang akan dilaksanakan.



Gambar 2 : Diagram Alir Penelitian

2.2 Persiapan Tanah

Tanah kering udara disaring dengan saringan no.4. Setelah disaring, tanah lolos saringan no.4 ditimbang seberat 5 kg. Siapkan 3 sample tanah masing – masing 5 kg. Masing – masing sample mendapat pelakuan berbeda pada saat pencampuran tanah.

2.3 Pencampuran Tanah dengan MWCNT

Semen portland sebanyak 40 gram dicampur dalam mangkuk pengaduk. Tambahkan 150 ml air dengan prosentase MWCNT sebanyak : 0% terhadap berat tanah. Semua bahan dicampurkan dengan bantuan mixer mekanik dengan kecepatan 136 Rpm selama 3 menit. Setelah selesai dicampur, ambil sedikit sample untuk dicari kadar airnya. Kemudian segera tanah dimasukkan dalam cetakan dengan waktu maksimum 30 menit setelah pencampuran.

Tanah yang sudah dicampur dengan MWCNT dimasukkan dalam cetakan PVC. Sebelumnya bagian dalam dinding PVC diberi pelumas vaseline sehingga nantinya dalam mengeluarkan sample tanah tidak mengalami kesulitan dan juga bagian dasar cetakan diberi alas sehingga tanah tidak keluar dari cetakan. Alas cetakan berupa filter geotekstile. Sampel tanah dimasukkan dalam cetakan dengan 6 lapisan dengan masing-masing lapisan diberi pemadatan dengan pelat bundar dan digetarkan dengan bantuan mesin bor

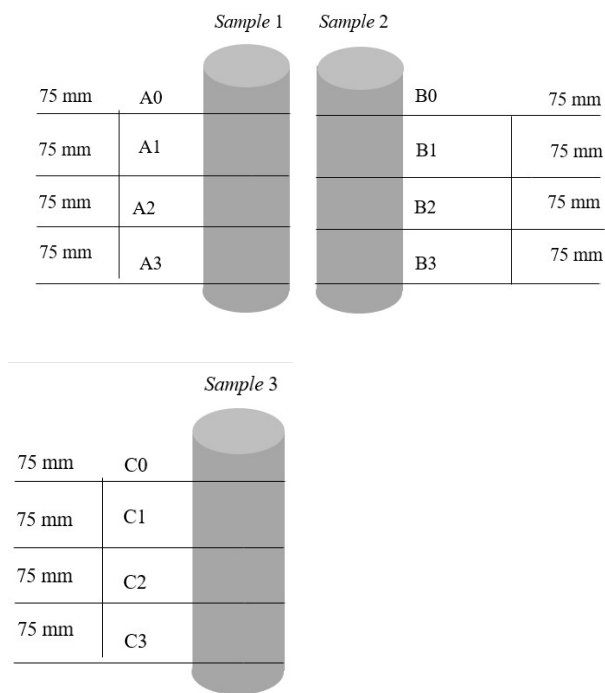
tangan. Tujuan mengetarkan cetakan adalah menghilangkan gelembung – gelembung udara dalam sample tanah. Ulangi langkah pencampuran tersebut untuk kadar MWCNT sebanyak 1% dan 2% .

2.4 Curing

Gunakan Setelah sample tanah dikeluarkan dari cetakan, dilakukan proses curing. Sample tanah dimasukan dalam bak air dengan suhu 20° dan diberi tekanan vertikal sebesar 24 kPa di bagian atas setiap sample tanah. Tujuan memberikan tekanan vertikal adalah untuk mensimulasikan tegangan vertikal efektif di lapangan pada kedalaman 5 m (Correia 2011). Waktu curing adalah 7 hari.

2.5 Pematongan Sample

Pematongan sample dibantu menggunakan alat ekstraktor hidrolis. Sample dipotong dengan ukuran 75 mm dan diberi identitas sample. Identitas sample dan cara pematongan dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3 : Pematongan Sample, dan Penamaan

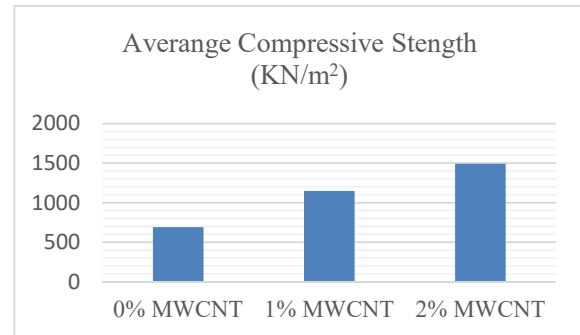
Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa dari 3 sample yang dimasukan kedalam tabung dibagi lagi menjadi 4 bagian dan diberi nama pada setiap bagian. Pada sample 1 merupakan penambahan MWCNT sebanyak 0%, pada sample 2 merupakan penambahan MWCNT 1%, dan pada sample ke 3 penambahan MWCNT sebanyak 2%. Pembuatan sample menjadi beberapa bagian dilakukan untuk mengurangi resiko jika terjadi kerusakan pada salah satu sample tertentu masih ada cadangan untuk menggantikannya. Namun jika tidak ada kerusakan pada sample maka sample di uji semua dan dipilih sample yang paling tinggi kuat tekannya.

2.6 Uji Unconfined Compression Test (UCT)

Sample tanah yang telah dipotong lalu dikelurkan dari cetakan dan diletakan dalam alat Uji UCT, beri kecepatan geser sebesar 1% per menit.

3. HASIL UJI

Berikut adalah hasil pengujian sample tanah dengan kadar MWCNT yang ditambahkan pada sample sebanyak 0%, 1% dan 2%.



Gambar 4 : Hasil Pengujian dengan 0%,1% dan 2%

Terlihat gambar 4, pada grafik pertama ketika sample dicampur oleh MWCNT sebanyak 0%, kuat tekannya sebesar 689 KN/m², lalu pada sample yang ditambahkan MWCNT sebanyak 1% kuat tekannya menjadi 1149 KN/m², dan untuk sample yang diberi MWCNT sebanyak 2% kuat tekannya menjadi 1493 KN/m².

4. KESIMPULAN

Penerapan teknologi nano khususnya pada penggunaan Multiwall Carbon Nanotube dapat dipergunakan sebagai bahan tambah untuk perbaikan tanah, seperti pada hasil uji yang dilakukan dapat di simpulkan bahwa MWCNT sebanyak 2% mampu menghasilkan kuat tekan yang maksimal. Hal ini bisa memanfaatkan untuk inovasi terbaru karena prosesnya cukup mudah dalam perbaikan tanah.

Namun masih ada keterbatasan dalam penelitian ini seperti :

- Pada penelitian ini hanya menguji hingga penambahan MWCNT 2%, dan pada penambahan itu daya dukung tanah bisa naik hingga lebih dari 2x lipat dari daya dukung awal yakni pada penambahan MWCNT 0%. Pada penelitian ini belum bisa dibuktikan untuk penambahan MWCNT lebih dari 2% apakah daya dukungnya bisa meningkat atau menurun.
- Pada penelitian ini tidak disertakan pengaruh penambahan MWCNT ini untuk perbaikan tanah kepada lingkungan, organisme dan juga binatang di sekitarnya

REFERENSI

Cao G.(2004),*Nanostructures and Nanomaterials-Synthesis, Properties and Applications*, Imerial College Press

Correia,A.A.S, 2015, *Applying Multiwall Carbon Nanotube for Soil Stabilization, New Paradigm of Particle Science and Technology Proceedings of The 7th World Congress on Particle Technology*,102,1766-1775

Correia,A.A.S, Rasteiro,M.G. (2016), *Procedia Engineering*,143,1252-1259

Huang,Y,Wang,L.(2016), *Experimental Studies on Nanomaterials for Soil Improvement*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg,1-6

Kitazume,M,Terashi.M (2018), *Recent Developments in Nanomaterials for Geotechnical and Geoenvironmental Engineering .Dept of Civil and Structural Engineering*, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bandar Baru Bangi, 1-3

Shahim.S.S., L.A.E.M,Ahmad,H (2015), *Review of Nano Additives in Stabilization of Soil.Faculty of Science*, Cairo University,1-6

Yakovlev,G.,Pervushin,G.,Maeva,I.,Kerlene,J.,Shaybaldullina,A.,Buryannov,A.,Korzhenko,L.,Alexander,und ov,I.,Senkov,S. (2013), *Modification of Construction Materials with Muti-walled Carbon Nanotubes,Proceda Engineering*,57,207-213

Pemetaan Daya Dukung Pondasi Tiang Dengan Menggunakan Data Sondir di Kota Semarang

I.Dwi

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang

D.Decky F

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang

D. Hartanto

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang
daniel@unika.ac.id

INTISARI

Data lapangan yang biasanya dipergunakan dalam menghitung daya dukung pondasi adalah dengan data sondir mekanis. Salah satu metode dalam menghitung daya dukung pondasi tiang adalah Metode Schmertmann – Nottingham. Perhitungan beban total (Q_t) berdasarkan gabungan dari perhitungan daya dukung pondasi tiang tahan ujung (*end bearing*) dan tahanan selimut (*skin friction*). Data sondir yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah data sondir yang mencapai tanah keras ($q_c \geq 100 \text{ kg/cm}^2$). Beban total yang dapat dipikul satu tiang pancang dengan diameter 20 cm di Area Wilayah Semarang Barat berkisar 1,57 - 14,87 ton, sedangkan Wilayah Semarang Selatan berkisar 3,39 - 12,88 ton, Wilayah Semarang Timur berkisar 2,07 - 11,33 ton sedangkan Wilayah Semarang Tengah berkisar 1,32 - 10,12 ton. Khusus Wilayah Semarang Utara tidak ada data sondir yang mencapai tanah keras karena di wilayah tersebut didominasi tanah lunak (*soft soil*) sampai dengan tanah sangat lunak (*very soft soil*)

Kata kunci: *end bearing, skin friction, soft soil, very soft soil, sondir*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pondasi tiang merupakan salah satu jenis pondasi yang banyak digunakan di Indonesia.

Perhitungan daya dukung aksial pondasi tiang berdasarkan data uji sondir sering disebut ekstrapolasi dengan atau tanpa koreksi. Hal ini adalah karena komponen – komponen yang terukur dari uji sondir (tahanan ujung dan gesekan selimut) merupakan representasi dari komponen – komponen daya dukung tiang. Perbedaan utama alat sondir dan pondasi tiang terletak pada ukurannya, bentuk ujung, sifat permukaan dan mekanisme keruntuhannya. Analisis yang dikemukakan ini berlaku untuk tiang pancang. Analisis yang dipakai untuk menghitung daya dukung tiang pancang menggunakan beberapa metoda yaitu metoda langsung (*direct cone method*), metoda Schmertmann & Nottingham (1975), metoda Lambda Cone (metoda Tumai & Fakhroo, 1981) dan metoda Cone M. Karena uji sondir merupakan simulasi dari pondasi tiang, maka sangat relevan bila hasil uji sondir tersebut digunakan untuk memperkirakan daya dukung suatu pondasi tiang. Berdasarkan mekanismenya

maka uji sondir lebih sesuai untuk memperkirakan daya dukung pondasi tiang pancang. Briaud (1986) melakukan evaluasi terhadap 98 buah uji pembebanan tiang dengan menggunakan beberapa cara daya dukung yang diturunkan dari data uji sondir, diantaranya menggunakan cara langsung (*direct cone method*) tanpa koreksi, metoda LPC dan metoda Schmertmann & Nottingham. Hasil penelitian Briaud ternyata memberikan kesimpulan bahwa metoda LPC cone yang dinyatakan baik, sedangkan metoda terbaik berikutnya yang masih dapat diandalkan adalah Schmertmann & Nottingham (1975). Tiga buah metoda lain De-Ruiter & Beringen (1979), Tumai & Fakhroo (1981) dan Penpile (1978) kurang baik. Kemudian yang paling buruk adalah metoda langsung (*direct cone method*). Studi oleh Rahardjo et al. (1993) menggunakan teori keandalan (*reability study*) pada 18 buah pondasi tiang di Indonesia memberikan kesimpulan yang serupa dengan penelitian diatas. Berbagai metoda yang diutarakan diatas telah terbukti dan dapat disimpulkan bahwa metoda Schmertmann & Nottingham (1975) baik untuk diterapkan dalam menganalisis daya dukung pondasi tiang.

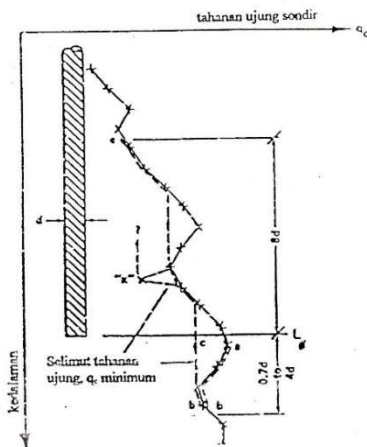
1.2 Interpretasi Daya Dukung Tanah Berdasarkan Uji Sondir

Schmertmann – Nottingham (1975) telah menganjurkan perhitungan daya dukung ujung pondasi tiang menurut cara Begemann, yaitu diambil dari nilai rata – rata perlawanan ujung sondir 8D diatas ujung tiang dan 0,7D – 4D dibawah ujung tiang. D adalah diameter tiang.

$$Q_p = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} \times A_p \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- Q_p : daya dukung ujung tiang
- q_{c1} : nilai q_c rata – rata 0,7D – 4D dibawah ujung tiang
- q_{c2} : nilai q_c rata – rata 8D diatas ujung tian
- A_p : luas proyeksi penampang tiang



Gambar 1. Perhitungan Daya Dukung Ujung Pondasi Tiang (sumber : Schertmann, 1978)

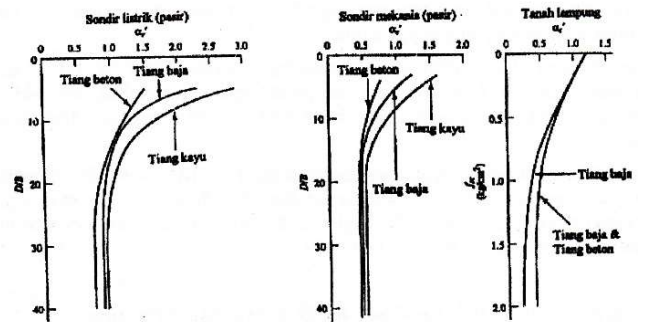
Bila zona tanah lembek dibawah tiang masih terjadi pada kedalaman 4D – 10D, maka perlu dilakukan reduksi terhadap nilai rata – rata tersebut. Pada umumnya nilai perlawanan ujung diambil tidak lebih dari 150 kg/cm² untuk tanah pasir dan tidak melebihi 100 kg/cm² untuk tanah pasir kelanauan. Untuk mendapatkan daya dukung selimut tiang maka digunakan formula:

$$Q_s = K_{s,c} \left[\sum_{z=0}^{8D} \frac{z}{8D} f_s A_s + \sum_{z=8D}^L f_s A_s \right] \dots\dots(2)$$

Dimana:

- Q_s : daya dukung selimut tiang
- $K_{s,c}$: Faktor koreksi gesekan selimut tiang
- f_s : nilai friksi
- A_s : luas selimut tiang

Nilai $K_{s,c}$ pada persamaan diatas dihitung berdasarkan total kedalaman tiang. Pembuatan tiang bor menyebabkan berkurangnya tegangan efektif pada sisi tiang sehingga mengurangi gesekan selimut tetapi hubungan antara beton dan tanah yang cukup besar cenderung untuk meningkatkan nilai friksi tersebut. Sebagai pendekatan, Schmertmann menganjurkan daya dukung selimut untuk tiang bor diambil sebesar 75% dari nilai friksi untuk tiang pancang. Nilai f_s dibatasi hingga 1,2 kg/cm² untuk tanah pasir dan 1,0 kg/cm² untuk pasir kelanauan.



Gambar 2. Faktor Koreksi Gesekan Pada Selimut Pondasi Tiang, Sumber : Nottingham, 1975

2. DAYA DUKUNG PONDASI TIANG

2.1 Perencanaan Pondasi Tiang

Merencanakan pondasi ada dua hal penting yang perlu selalu diingat, yaitu bahwa kekuatan pondasi didasarkan pada pondasinya sendiri dan kekuatan tanah dibawahnya. Bahan pondasi harus mempunyai kekuatan penuh dan tidak akan rusak oleh kekuatan beban bangunan, hal ini dapat dilakukan analisa hitungan berdasarkan tegangan izin bahan. Kekuatan tanah dibawah pondasi harus mampu mendukung beban pondasi dan beban bangunan diatasnya tanpa adanya penurunan, hal ini dapat direncanakan dengan membuat ukuran pondasi sedemikian besar berdasarkan rekomendasi penyelidikan tanah, sehingga tegangan izin tanah tidak dilampaui. Jadi seandainya bahan pondasi kuat, tetapi terjadi penurunan atau tidak ada penurunan, tapi pondasinya pecah maka bila salah satu hal tersebut terjadi, sudah dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur atasnya.

Pemilihan tipe pondasi ini didasarkan atas :

- Fungsi bangunan atas (upper structure) yang akan dipikul oleh pondasi tersebut,
- besarnya beban dan berat bangunan atas,
- keadaan tanah dimana bangunan tersebut didirikan
- biaya pondasi dibandingkan dengan bangunan ata

Daya dukung pondasi tiang, tiang pancang dibagi 2 yaitu :

- Daya dukung ujung tiang (End bearing pile)**
Tiang pancang yang dipancang masuk sampai lapisan tanah keras, sehingga daya dukung tanah untuk pondasi ini lebih ditekankan pada tahanan ujungnya. Untuk tiang pancang tipe ini harus diperhatikan bahwa ujung tiang pancang harus terletak pada lapisan tanah keras.
- Daya dukung selimut tiang (Friction pile)**
Tiang pancang yang tidak mencapai lapisan tanah keras, maka untuk menahan beban yang diterima tiang pancang, mobilisasi tahanan sebagian besar ditimbulkan oleh gesekan antara tiang pancang dengan tanah (*skin friction*).

2.2 Batasan Area Penelitian

Penelitian ini jumlah lokasi di wilayah Semarang yang diteliti ada 60 lokasi, dimana pembagian wilayah Semarang adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Lokasi Pembagian Wilayah Semarang

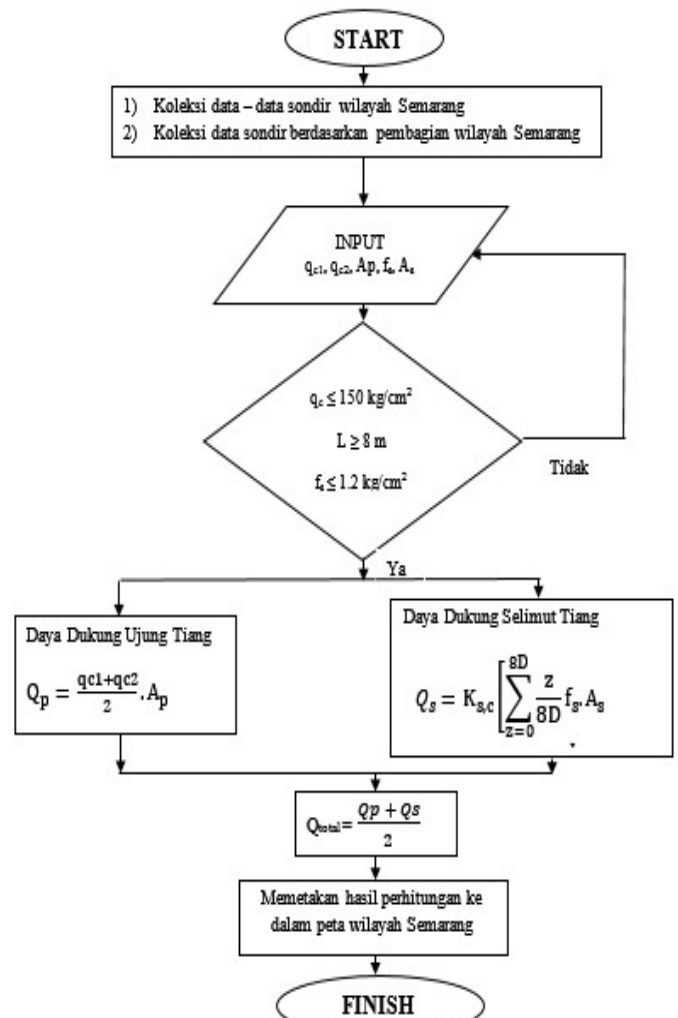
No.	Wilayah Semarang	Jumlah Lokasi
1	Semarang Selatan	11
2	Semarang Timur	14
3	Semarang Barat	10
4	Semarang Tengah	25
Total		60

Setiap pembagian lokasi wilayah Semarang berdasarkan tabel 1 di atas, dapat diperoleh beberapa jumlah titik dari pengujian sondir.

Diagram alir penelitian, dapat dilihat pada gambar 3

2.3 Interpretasi peta Daya Dukung Pondasi Tiang

Interprestasi hasil peritugan dibagi menjadi 3 (tiga) macam diameter yaitu 20 cm,30 cm dan 40 cm.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Tabel 2 Beban Total Pondasi Tiang

Wilayah Semarang	Qt min-max (ton)		
	20 cm	30 cm	40 cm
Semarang Barat	1,57 - 14,87	2,15 - 30,45	2,69 - 55,81
Semarang Selatan	3,39 - 12,88	6,47 - 32,18	9,84 - 56,12
Semarang Timur	2,07 - 11,33	3,69 - 22,79	5,03 - 37,75
Semarang Tengah	1,32 - 10,12	1,66 - 20,69	2,22 - 34,10

Hasil dari perhitungan daya dukung pondasi tiang diplotkan dalam peta seperti gambar 4 berikut ini

3. KESIMPULAN

Nilai Q_t yang terbesar terdapat di wilayah Semarang Selatan sebesar 56,12 Ton dengan diameter tiang 40 cm, sedangkan yang terendah terdapat di wilayah Semarang Tengah sebesar 1,32 Ton, dengan diameter 20 cm.

REFERENSI

- Anonim, 2006, *Laporan Penyelidikan Tanah Laboratorium Unika Semarang*, Penerbit Laboratorium Unika, Semarang
- Bowles, Joseph.E., 1993, *Analisis Dan Desain Pondasi Edisi Keempat Jilid 2*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Gunawan, Rudi.Ir., 1990, *Pengantar Teknik Pondasi*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta
- Peck, R.B., Hanson, dan Thornburn, 1996, *Teknik Pondasi edisi kedua*, Penerbit Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Rahardjo, Paulus.P.Ir., 1992, *Uji Sondir Interpretasi dan Aplikasinya Untuk Perancangan Pondasi*, Makalah Shortcourse In – Situ, Jakarta
- Sardjono, HS.Ir., 1996, *Pondasi Tiang Pancang 1*, Penerbit Sinar Wijaya, Surabaya

Pengaruh Pencampuran Semen Dan Pupuk Urea Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Penurunan Pengembangan Dan Kekerasan Tanahnya

Akhmad Marzuko

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
akhmadmarzuko@uii.ac.id

M. R. Abdurrozzak

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
rifqi_abdurrozzak@uii.ac.id

Y. Falal

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
yudilmt@yahoo.com

R. R. Mustaqim

Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
rochmadmush@yahoo.com

INTISARI

Tanah di Indonesia bermacam-macam jenisnya, sebagian adalah tanah lempung yang biasanya bermasalah bagi bidang Teknik Sipil, karena mempunyai sifat yang merugikan. Sifat itu adalah konsistensinya yang mudah berubah-ubah karena dipengaruhi faktor kandungan airnya dan tanah lempung ada yang bersifat ekspansif. Petani di Indonesia umumnya masih menggunakan pupuk kimia, salah satunya adalah pupuk urea. Pupuk urea ini disamping mudah mendapatkannya juga murah harganya. Hal ini menyebabkan petani menjadi mudah sekali menggunakan pupuk urea dan kadang menggunakannya dengan boros atau berlebihan. Dalam kondisi seperti itu, ternyata sebagian pupuk urea yang ditaburkan tidak sepenuhnya dapat diserap oleh tanaman. Pada saat kering, kemudian dialiri air, pupuk urea ini berubah menjadi seperti pasta atau lem yang lengket, setelah kering tanah berubah menjadi agak keras tidak gembur lagi yang menyebabkan petani kesulitan dalam pengolahan tanahnya. Penggunaan semen bertujuan untuk membuat tanah menjadi agak stabil, karena dalam proses reaksi kimianya semen banyak menarik air untuk proses hidrasi dan sementasi yang membuat tanah menjadi lebih keras. Proses ini juga dapat menyebabkan tanah menjadi berkurang sifat pengembangannya. Adapun penggunaan pupuk urea adalah untuk membuat tanah menjadi agak keras. Dari hasil pengujian tanah desa Karangwaru Sragen mempunyai sifat Aktifitas yang tinggi pengembangannya ($A > 1$, lempung 42,73 %) dan menurut metode USBR tanahnya mempunyai Derajat Pengembangan sangat tinggi ($IP = 43,01$ %). Pada pencampuran semen sebanyak 2 % dan pupuk urea sebanyak 15 % terjadi pengurangan pengembangan yang signifikan, (swelling pada pemeraman 28 hari, perendaman 4 hari = 8,571 %). Pada tanah asli (swelling dengan perendaman 4 hari = 19,25 %). Nilai pengurangan pengembangan sebesar 44,52 %. Peningkatan CBR pada pencampuran semen 2 % dengan pupuk urea 15 % sebesar 550,36 %

Kata kunci: lempung ekspansif, penurunan tanah, pengembangan tanah, semen, pupuk urea

1 PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Tanah di Indonesia ditinjau dari pembentukannya terdiri dari bermacam-macam jenisnya, salah satunya adalah tanah lempung atau tanah liat. Tanah lempung ini dapat dibedakan berdasarkan kandungan mineralnya untuk menentukan derajat pengembangannya. Seperti kita ketahui masalah yang ditimbulkan tanah lempung yang mempunyai sifat ekspansif dinegara kita cukup besar, begitu juga yang terjadi di mancanegara, bahkan berdasarkan data penelitian, kerugian yang ditimbulkan terbilang cukup besar yaitu sekitar 9 milyar dolar, (Jones and Holtz, 1973) mengacu pada 3rd International conference on Expansive Soils, Haifa Israel, 1973, proceedings published by Jerusalem Academic Press dalam Coduto D. P., 1975. Kerugian akibat tanah yang ekspansif ini melampaui kerugian yang diakibatkan oleh bencana alam seperti : gempa, banjir dan angin

topan Tornado. Tanah ekspansif sedikit berbeda dibandingkan bencana alam lainnya, yaitu terjadi secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama tidak secara mendadak dan jarang menimbulkan korban jiwa. Kerusakan akibat tanah ekspansif merupakan proses yang terjadi secara terus menerus.

Masalah tanah ekspansif timbul sebagai akibat kenaikan kadar air tanah di atas muka air tanah. Kadar air di kedalaman ini banyak dipengaruhi oleh faktor iklim. Daerah ini dapat berupa daerah *unsaturated* yang kemungkinannya merupakan daerah kapiler, daerah resapan, daerah *seepage* dsb. Daerah ini disebut juga zona fluktuasi musiman atau zona aktif (Katti A. R. And Katti R. K., 1994)

Pengertian plastisitas adalah sifat tanah dalam keadaan batas konsistensinya, yaitu cair, plastis, semi padat, atau padat tergantung pada kadar airnya. Kebanyakan dari tanah lempung atau tanah berbutir halus yang ada di alam dalam keadaan plastis. Secara umum semakin besar plastisitas tanah, yaitu semakin

besar rentang kadar air daerah plastis maka tanah tersebut akan semakin jelek dalam hal ini kekuatannya dan mempunyai kembang susut yang makin besar. (Terzaghi, Karl, Peck, 1987).

b. Pengertian Stabilitas Semen

Adalah usaha untuk memperbaiki atau meningkatkan kapasitas dukung tanah, mengurangi sifat kembang susut tanah, memudahkan dalam pelaksanaan pekerjaan dan menambah ketahanan terhadap pengaruh cuaca dengan cara tanah dicampur dengan semen.

Secara umum, tanah yang distabilisasi menggunakan semen adalah tanah berbutir kasar. Berbeda dengan kapur, dalam proses kimianya ada proses yang disebut hidrasi.

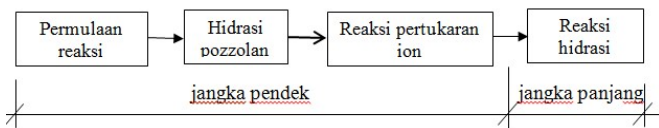
Reaksi-reaksi yang terjadi pada Stabilisasi Tanah dengan Semen :

1. Absorpsi air dan reaksi pertukaran ion
 Semen Portland yang ditambahkan dalam tanah, maka ion kalsium Ca^{+++} dilepaskan melalui hidrolisa dan pertukaran ion berlanjut pada permukaan partikel-partikel lempung. Proses ini sama dengan proses yang terjadi pada stabilisasi tanah – kapur. Dalam proses ini partikel-partikel lempung menggumpal yang mengakibatkan konsistensinya tanah menjadi lebih baik.

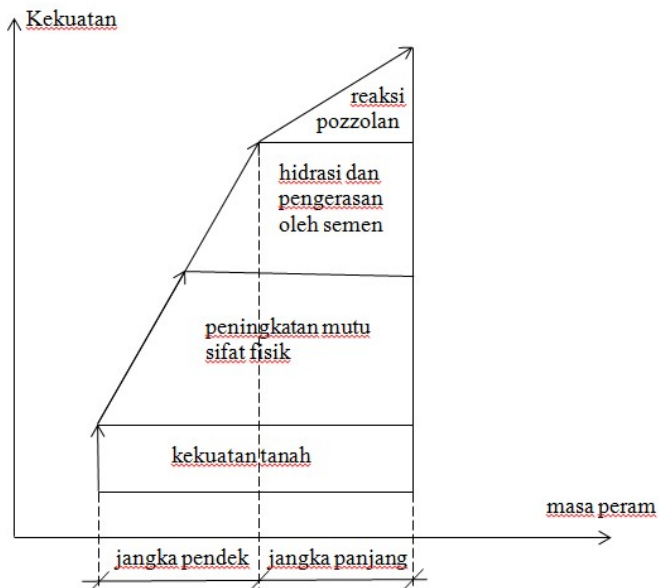
2. Reaksi pembentukan Kalsium Silikat
 Pada proses ini terjadinya reaksi kimia yang dinamakan hidrasi (pembentukan kalsium silikat) dan proses ini yang berkaitan dengan kekuatan adalah hidrasi dari A-lite ($3CaO.SiO_2$) dan B-lite ($2CaO.SiO_2$) yang terdiri dari kalsium silikat. Dari proses hidrasi tadi, hidrat-hidrat seperti kalsium silikat dan aluminat terbentuk yang menyebabkan kekuatan tanah meningkat
3. Dengan berlalunya waktu, maka Silika dan Alumina yang terkandung dalam tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif, maka akan bereaksi dengan kapur dan akan membentuk kalsium silikat hidrat seperti : Tobermorite, kalsium aluminat hidrat. Pembentukan senyawa-senyawa kimia ini terus menerus berlangsung untuk waktu yang lama dan menyebabkan tanah menjadi keras, awet karena ia berfungsi sebagai pengikat (binder). Berikut Gambar 1 Proses Kimiawi pada Tanah Lempung yang Distabilisasi Menggunakan Semen dan Gambar 2 Model Peningkatan Kekuatan Stabilisasi Semen.

c. Pupuk Urea

Berdasarkan persyaratan SNI 02-2801-1998, pupuk urea adalah pupuk kimia yang mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi. Unsur Nitrogen merupakan zat hara yang sangat diperlukan oleh tanaman. Pupuk urea berbentuk butir-butir kristal berwarna putih kemerah-merahan. Pupuk urea memiliki rumus kimia $NH_2 CONH_2$ merupakan pupuk yang mudah larut dalam air dan sifatnya yang sangat mudah menghisap air (higroskopis), oleh karena itu sebaiknya disimpan di tempat yang kering dan tertutup rapat. Pupuk urea mengandung unsur hara N sebesar 46% dengan maksud setiap 100 kg mengandung 46kg Nitrogen, Moisture 0,5%, Kadar Biuret 1%, ukuran 13,35 mm, dan 90% Min serta berbentuk prill. Sifat pupuk urea yang mudah larut dalam air serta mudah menghisap air tersebut menjadikan pupuk urea tersebut suatu bahan yang sangat baik untuk dijadikan campuran stabilisasi pada tanah yang erat hubungannya dengan konsistensi tanah, khususnya sifat kembang susut tanah. Stabilisasi menggunakan pupuk urea sudah banyak digunakan terutama pada tanah jenis berbutir halus, namun dari beberapa kasus stabilisasi menggunakan pupuk urea biasanya ditinjau dari segi kuat geser tanah ataupun daya dukung tanah tersebut, namun untuk penelitian kali ini akan ditinjau dari daya dukung tanah berdasar nilai CBR dan faktor pengembangan tanah (*swelling factor*) yang dibandingkan sebelum dan setelah dilakukan stabilisasi. Pupuk urea adalah pupuk padatan kristalin putih sangat larut dalam air dengan kandungan 46% Nitrogen. Urea menjadi sumber pupuk Nitrogen yang termuka di dunia pada pertengahan tahun 1970.



Gambar 1. Proses Kimiawi pada Tanah Lempung yang Distabilisasi Menggunakan Semen



Gambar 2. Model Peningkatan Kekuatan Stabilisasi Semen

Pupuk urea yaitu pupuk anorganik atau pupuk buatan sebagai sumber hara nitrogen yang dapat digolongkan berdasarkan jenis dan kandungan hara dalam bentuk tunggal dan pupuk urea agak masam. Pada umumnya dengan melakukan kegiatan pemupukan ini dimaksudkan agar dapat meningkatkan pasokan nutrisi penting yang meningkatkan pertumbuhan tanaman dan vegetasi dalam tanah. Meski demikian khususnya untuk pupuk urea dimana merupakan pupuk kimia ini akan menimbulkan dampak yang negatif jika dilakukan secara berlebihan, penggunaan pupuk kimia bisa menimbulkan dampak yang justru merusak kesuburan tanah itu sendiri dan bukan menjadikannya subur. Menurut para ahli riset, pupuk kimia tidak dapat diserap secara 100 % oleh tanaman, sehingga meninggalkan sisa – sisa pupuk kimia di dalam tanah, yang apabila terkena air akan mengikat tanah seperti lem/semen. Setelah kering, tanah akan lengket satu sama lain dan keras. Pupuk Urea memiliki rumus kimia NH₂CONH₂ termasuk pupuk yang mudah larut dalam air dan sifatnya sangat mudah menghisap air (higroskopis). Untuk mempertahankan kualitas dari pupuk urea sebaiknya disimpan pada tempat yang kering dan tertutup rapat. Selain itu pupuk urea juga mengandung unsur Moisture 0,5%, Kadar Biuret hanya 1%, ukuran 1-3,35 MM 90% Min, serta berbentuk Prill. Urea merupakan pupuk buatan hasil persenyawaan NH₄ (ammonia) dengan CO₂. Bahan dasarnya biasanya berupa gas alam dan merupakan ikatan hasil tambang minyak bumi. Kandungan N total berkisar antara 45-46 %. Dalam proses pembuatan Urea sering terbentuk senyawa biuret yang merupakan racun bagi tanaman kalau terdapat dalam jumlah yang banyak. Agar tidak mengganggu kadar biuret dalam Urea harus kurang 1,5-2,0 %. Kandungan N yang tinggi pada Urea sangat dibutuhkan pada pertumbuhan awal tanaman. (Ruskandi, 1996).

d. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Untuk membedakan tanah lempung ekspansif dengan beberapa cara yaitu,

a. Atterberg Limit Tes

Indeks Plastisitas dapat dipergunakan sebagai tes pendahuluan dalam menentukan potensi pengembangan tanah ekspansif. Hubungan keduanya tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hubungan Indeks Plastisitas dengan Potensi Pengembangan

Potensi Pengembangan	Indeks Plastisitas, %
Rendah	0 – 15
Sedang	10 – 35
Tinggi	20 – 55
Sangat tinggi	> 35

b. Linear Shrinkage

Metode ini menggunakan macam-macam harga batas susut dan susut linear untuk menentukan derajat pengembangannya. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini. (Altmeyer,1955) mengacu pada “Discussion of Engineering Properties of Expansive Clays”. Proceedings ASCE, vol. 81, separate no. 658, March, 1955.

Tabel 2. Hubungan Batas Susut, Susut Linear dengan Derajat Pengembangan

Batas Susut (%)	Susut Linear (%)	Derajat Pengembangan
< 10	> 8	Kritis
10 – 12	5 – 8	Sedang
> 12	0 – 5	Tidak Kritis

c. Free Swell

Metode ini menggunakan tanah lempung kering yang lolos saringan 40, sebesar 10 ml dimasukkan kedalam tabung gelas berukuran sebanyak 100ml. Setelah dikocok-kocok, hitung volume tanah yang berada di tabung gelas, catat dan masukkan dalam rumus di bawah ini. (Mengacu pada Holtz, W. G. And Gibbs, J. J. “Engineering Properties of Expansive Clays”, ASCE Transactions Paper No. 2814, vol 121, 1956) dalam Chen, F. H., 1975 Untuk mengetahui derajat pengembangannya dapat dihitung dari Pers. (1) dan dari Tabel 3 di bawah ini.

$$\% \text{ Pengembangan} = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100 \% \quad (1)$$

Keterangan : V₀ = volume awal = 10 ml
 V₁ = volume pengembangan

Tabel 3. Hubungan % Pengembangan dengan Derajat Pengembangan

% Pengembangan	Derajat Pengembangan
> 100 %	Kritis
50 – 100 %	Sedang
< 50 %	Tidak Kritis

d. Metode USBR

Holtz (1959) mengacu pada Holtz, W. G., “Expansive Clay Properties and Problem” Colorado School of Mines Quarterly, vol. 54, 1959, dalam Nelson, (1992) mengusulkan identifikasi tanah lempung ekspansif berdasarkan kandungan koloid, indeks plastisitas dan batas susut seperti Tabel 4.

Tabel 4. Hubungan Tes Indeks dengan Derajat Pengembangan

Data Tes Indeks			% Pengembangan	Derajat Pengembangan
% kandungan koloid	Indeks Plastisitas	Batas Susut		
> 28	> 35	< 11	> 30	Sangat Tinggi
20 – 31	25 – 41	7 – 12	20 – 30	Tinggi
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 30	Sedang
< 15	< 18	> 15	< 10	Rendah

e. Metode Activity

Skempton (1953) mengacu pada Skempton, A. W.,1953, “The Colloidal Activity of Clays” Proc. 3rd Int. Conf. Soil Mchanic Foundation Engineering, Switzerland. V. 1 : 57 – 61 mendefinisikan sebuah parameter yang disebut aktifitas dalam bentuk Pers. (2) berikut :

$$\text{Activity} = \frac{PI}{C} \tag{2}$$

Keterangan :

PI = Indeks Plastisitas

C = % lempung lolos saringan 0,002 mm

Hasil hitungan Aktifitas kemudian dimasukan dalam Tabel 5 berikut :

Tabel 5. Hubungan Aktifitas Tanah dengan Derajat Pengembangan

Activity	Nilai Pengembangan
$A \leq 0,75$	Tidak Aktif
$0,75 < A < 1,25$	Normal
$A \geq 1,25$	Aktif

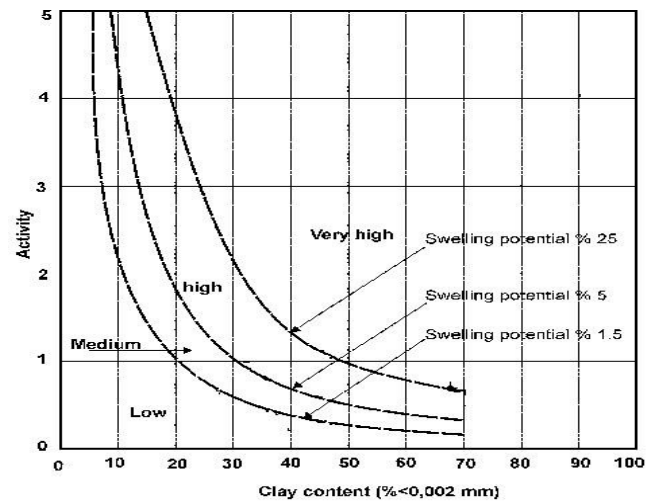
Seed at al.(1962) mengembangkan chart berdasarkan nilai aktifitas, A dengan prosentase tanah lempung seperti Gambar 3.

2. METODE PENELITIAN

e. Bahan dan Alat

Bahan penelitian adalah tanah lempung yang mempunyai sifat ekspansif atau mempunyai pengembangan yang besar. Pengambilan sampel dalam keadaan terganggu (*disturbed*). Semen yang digunakan adalah semen padam (2% dari berat tanah kering) yang dijual ditoko besi dan pupuk urea (5%, 10%, 15% dari berat tanah kering) yang dijual di toko pertanian. Alat penelitian yang dipergunakan sesuai dengan tes yang akan dilakukan, diantaranya alat uji batas batas konsistensi, seperangkat saringan untuk Analisa

distribusi butiran dan hidrometer, Alat Proktor Standar dan alat CBR.



Gambar 3. Hubungan Aktifitas dengan Prosentase Lempung

f. Pengujian Bahan

Pengujian tanah meliputi uji sifat fisik : propertis tanah, analisa distribusi butiran dan hidrometer, batas konsistensi tanah (batas susut, batas plastis, batas cair) . Uji sifat mekanik : proktor standar, *CBR soaked* dan *CBR unsoaked*.

g. Pemeraman

Pada sampel CBR pemeraman dilakukan dalam 1 hari , 7 hari dan 28 hari agar proses kimia dapat berlangsung dengan baik, seperti absorpsi air dan reaksi pertukaran ion, proses hidrasi dan proses pozzolan.

h. Perendaman

Perendaman pada sebagian sampel CBR selama 4 hari untuk mengetahui, bilamana penelitian ini di aplikasikan dilapangan dan kondisi lapangan mengalami hujan selama 4 hari berturut-turut. Untuk perendaman hanya menguji sampel yang diperam selama 28 hari.

3. HASIL PENELITIAN

i. Hasil Pengujian Gradasi Butiran Tanah

Hasil uji gradasi butiran tanah desa Gotakan Sragen dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan dan uji hidrometer didapatkan grafik *grain size analysis* pada Gambar 4 sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Grain Size Analysis*

Diameter Butiran Tanah (mm)	Persentase Lolos (%)
19	100,00%
4.75	100,00%
2	98,79%
0.85	98,10%
0.425	96,81%
0.25	95,83%
0.15	93,60%
0.106	91,47%
0.075	90,99%
0.0303	65,87%
0.0198	42,73%
0.0085	28,48%
0.0064	19,58%
0.0033	14,24%
0.0014	8,90%

Tabel 6. Batas-batas Konsistensi Tanah Asli

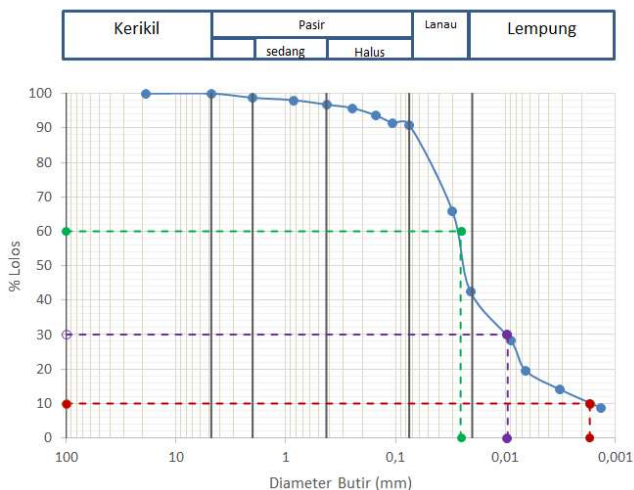
Batas-batas Konsistensi			
Batas Susut (SL) (%)	Batas Plastis (PL) (%)	Batas Cair (LL) (%)	Indeks Plastisitas (LL – PL) x 100 %
9,327	30,96	73,97	43,01

Tabel 7. Batas-batas Konsistensi Tanah Dicampur Semen 2 % dan Pupuk Urea

Pupuk Urea (%)	Pemeraman 1 Hari			
	SL	PL	LL	PI
0	12,07236	35,20629	66	30,79371
5	12,22121	38,13015	62,25	24,11985
10	16,34535	40,77517	58,25	17,47483
15	12,67223	42,78065	56,65	13,86935

Pupuk Urea (%)	Pemeraman 7 Hari			
	SL	PL	LL	PI
0	18,33266	35,87928	64,1	28,22072
5	14,16818	38,84478	60,9	22,05522
10	13,7086	42,82504	56,8	13,97496
15	8,98868	43,29889	55,05	11,75111

Pupuk Urea (%)	Pemeraman 28 Hari			
	SL	PL	LL	PI
0	21,79938	37,08056	62,95	25,86944
5	17,4145	41,84076	58,95	17,10924
10	22,76637	43,28689	55,2	11,91311
15	22,70273	44,00178	53,35	9,348217



Gambar 4. Grafik *Grain Size Analysis*

Berdasarkan dari grafik diatas didapat persentase ukuran butiran pada tanah asli dan menunjukan karakteristik dan jenis tanah. Tabel persentase ukuran butiran dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

j. Hasil Pengujian Batas-batas Konsistensi

Pengujian batas-batas konsistensi ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas susut, batas plastis dan batas cair. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7

Tabel 6. Prosentase Ukuran Butiran

lolos # 200	75.47 %	D10 (mm)	0.0017
Krikil	0.00 %	D30 (mm)	0.0095
Pasir	24.53 %	D60 (mm)	0.0255
Lanau	32.74 %	Cu	15.000
Lempung	42.73 %	Cc	2.082

k. Pengujian Free Swell

Free swell-test atau uji pengembangan bebas adalah salah satu cara mengidentifikasi pengembangan sederhana disarankan oleh USWPRS (Holts & Gibss, 1956) dalam Hardiyatmo, 2002. Pengujian dilakukan dengan cara menabur perlahan-lahan 10cm³ tanah kering dengan butiran lolos saringan no.40, kedalam silinder yang diisi air dengan volume 100cm³ dan diamati volume saat keseimbangan telah terjadi.

Sebagai Pembanding, betonite (sifat pengembangan tinggi, biasanya Na-montmorillonite) akan mengembang dengan nilai pengembangan bebas 120%. Tanah dengan nilai pengembangan bebas 100% dapat merusakkan bangunan ringan ketika tanah menjadi basah, dan tanah dengan nilai pengembangan bebas kurang dari 50% hanya menimbulkan sedikit perubahan volume (Holtz & Kovacs, 1981) dalam Hardiyatmo, 2002.

Hasil Pengujian Free-swell atau uji pengembangan bebas tanah asli undisturb dapat dilihat pada Tabel 8 sebagai berikut :

Tabel 8. Hasil Pengujian *Free-swell* Tanah Lempung (Undisturbed)

Keterangan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata - rata
Volume tanah awal, ml (1)	10	10	10	10
Volume tanah akhir, ml (2)	23	21	22	22
Besar Pengembangan ((2) - (1))/(1) 100%	130	110	120	120

l. Derajat Pengembangan

Derajat pengembangan tanah berdasarkan batas-batas konsistensi dapat dilihat di Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Derajat Pengembangan (SL = 9,327 % dan PI = 43,01 %)

Metode	Spesifikasi	Potensi Pengembangan
Atterber Limit Test	PI > 35 %	Sangat tinggi
Altmeyer, 1955	SL < 10 %	Kritis
Free Swell	% Swelling = 120 %	Kritis
Holtz, 1959 (USBR)	PI > 35 %	Sangat tinggi
Skempton, 1953 (Activity)	0,75 < A < 1,25	Normal
Seed a tal, 1962 (Activity)	A = 1,006 > 1	Tinggi

m. Pengembangan Tanah

Pengembangan tanah berdasarkan Uji CBR rendaman selama 4 hari dapat dilihat di Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Pengembangan Tanah pada Uji CBR Perendaman Selama 4 hari

Tanah	Pemeraman	Perendaman			
		1 hari	2 hari	3 hari	4 hari
Tanah Asli	-	6,75	11,66	16,083	19,25
Tanah + PC 2% + Urea 15%	1 hari	3,896	11,25	13,305	16,10
Tanah + PC 2% + Urea 15%	7 hari	3,289	7,993	9,284	10,61
Tanah + PC 2% + Urea 15%	28 hari	2,857	5,042	7,269	8,571

n. Nilai CBR

Untuk mengetahui pengaruh penambahan semen sebesar 2% dan dicampur pupuk urea dengan variabel campuran : 5%, 10%, 15% dan variabel pemeraman

selama : 1 hari, 7 hari dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Nilai CBR

No.	Tanah	Pemeraman	Nilai CBR, %
1	Tanah asli (unsoaked)	-	1,37
	Tanah asli (soaked)		1,13
2	Tanah + semen 2 %	1 hari	15,32
3	Tanah + PC 2% + urea 5%		10,03
4	Tanah + PC 2% + urea 10%		7,34
5	unsoaked (PC 2% + urea 15%)		6,05
	soaked (PC 2% + urea 15%)		5,17
1	Tanah asli (unsoaked)	-	1,37
	Tanah asli (soaked)		1,13
2	Tanah + semen 2 %	7 hari	15,44
3	Tanah + PC 2% + urea 5%		10,07
4	Tanah + PC 2% + urea 10%		8,45
5	unsoaked (PC 2% + urea 15%)		6,33
	soaked (PC 2% + urea 15%)		5,17
1	Tanah asli (unsoaked)	-	1,37
	Tanah asli (soaked)		1,13
2	Tanah + semen 2 %	28 hari	18,50
3	Tanah + PC 2% + urea 5%		12,09
4	Tanah + PC 2% + urea 10%		9,25
5	unsoaked (PC 2% + urea 15%)		7,54
	soaked (PC 2% + urea 15%)		5,32

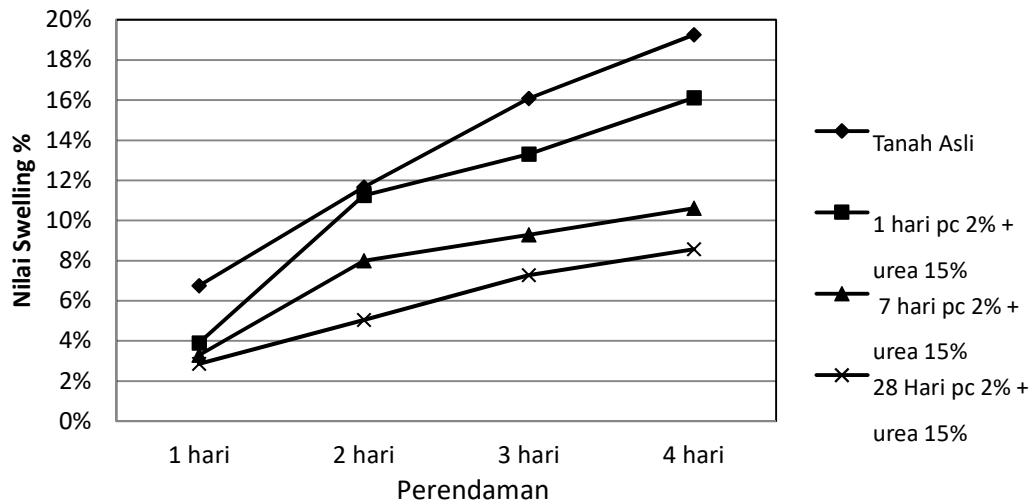
o. Pembahasan

Berdasarkan dari uji gradasi butiran tanah yang berasal dari daerah Sragen mempunyai kandungan lempung yang terbanyak, yaitu sebesar 42,73 %.

Dari uji batas-batas konsistensi, tanah ini mempunyai Indeks Plastisitas yang tinggi sebesar 43,01 % yang mengindikasikan sebagai tanah lempung yang ekspansif

Dari Hasil Pengujian Free-swell didapat nilai pengembangan bebas pada tanah lempung undistribusi yang berasal dari daerah Sragen, Jawa Tengah adalah sebesar 120% .Tanah dari Sragen, Jawa Tengah termasuk mempunyai potensi ekspansifnya tinggi.

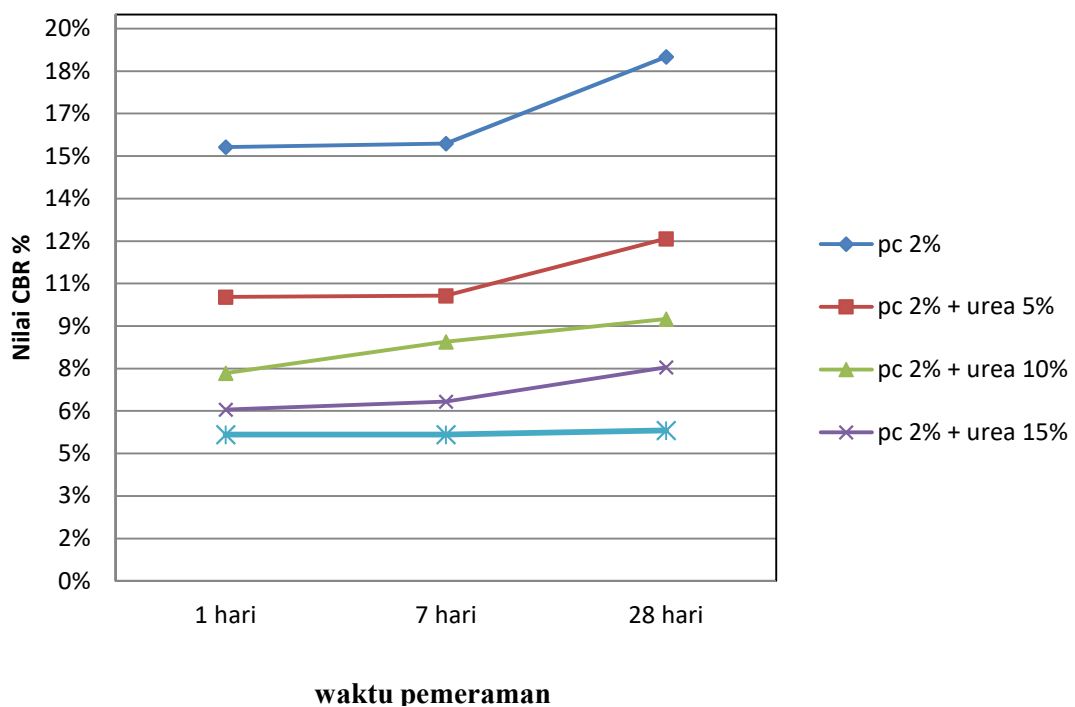
Dari uji pengembangan berdasarkan uji CBR rendaman (soaked) tanah yang distabilisasi menggunakan semen dan pupuk urea, terjadi pengurangan pengembangannya. Dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Hubungan Swelling dengan Lama Perendaman

Pada tanah asli, swelling yang terjadi sebesar 19,25 % pada uji CBR dengan rendaman selama 4 hari. Pada tanah asli yang dicampur dengan PC sebanyak 2% ditambah pupuk urea 15% dengan lama waktu pemeraman 1 hari, swelling nya terjadi penurunan,

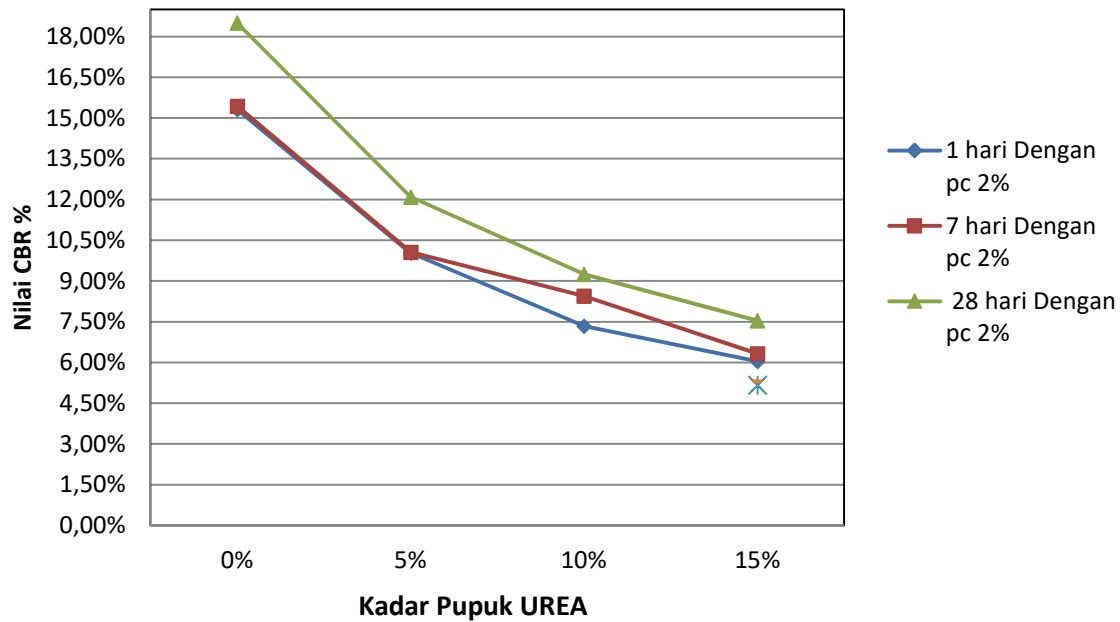
makin lama pemeramannya, makin besar pengurangan swelling nya. Makin lama pemeraman, proses kimia yang terjadi menyebabkan swelling nya bertambah kecil. Dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Grafik Hubungan Nilai CBR dengan Waktu Pemeraman

Dari uji kekerasan tanah berdasarkan uji CBR rendaman (soaked) maupun yang tidak direndam (unsoaked) tanah yang distabilisasi menggunakan semen dan pupuk urea, terjadi peningkatan nilai CBR nya dibanding nilai CBR tanah asli yang hanya sebesar 1,37 %. Dari uji CBR tanah asli yang dicampur dengan 2% PC, peningkatan nilai CBR nya relatif besar dibanding nilai CBR tanah asli yang dicampur 2% PC dan ditambah variabel pupuk urea. Makin lama

pemeramannya, maka makin bertambah kecil nilai CBR nya. Hal ini dapat disebabkan karena kandungan pupuk ureanya berubah menjadi cairan lengket yang masih basah. Untuk membuat tanah yang dicampur pupuk ureanya menjadi lebih keras, diperlukan waktu pemeraman yang lebih lama agar cairan yang lengket dari pupuk urea menjadi kering dulu. Dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Grafik Hubungan Nilai CBR dengan Kandungan Pupuk Urea

Pada penambahan pupuk urea yang semakin banyak, nilai CBR nya semakin bertambah kecil begitu juga makin lama pemeramannya nilai CBR nya juga semakin kecil. Hal tersebut dapat diakibatkan, karena semakin banyak pupuk ureanya, maka semakin banyak pula cairan lengket yang terjadi. Semakin lama pemeramannya, maka nilai CBR nya pun menjadi semakin kecil, karena reaksi pembentukan cairan lengketnya juga semakin banyak. Nilai CBR nya relatif akan besar, apabila penggunaan pupuk ureanya hanya sedikit sehingga cairan lengket yang terbentuk lebih sedikit sehingga menjadi lebih cepat pengeringannya.

4. KESIMPULAN

1. Tanah dari desa Karangwaru Sragen merupakan tanah lempung yang bersifat ekspansif. Tanah ini di klarifikasi menggunakan beberapa metode yang ada mempunyai sifat pengembangan yang besar dengan Indeks Plastisitas sebesar 43,01 %. Pada stabilisasi tanah yang dicampur 2% PC dan ditambah 15 % pupuk urea, pada uji CBR *soaked*, selama 4 hari menjadikan pengembangan tanah tersebut menjadi berkurang atau lebih kecil 44,52 %.
2. Pada pencampuran tanah asli + 2 % PC + variabel Pupuk Urea, nilai CBR nya meningkat besar sekali dibanding nilai CBR tanah asli yaitu meningkat sebesar 550 % (tanah asli : tanah asli + PC 2% + Urea 15%) pada pemeraman selama 28 hari. Penggunaan Pupuk Urea yang terlalu banyak menyebabkan penurunan tingkat kekerasannya, perbedaan penurunan nilai CBR pada pemeraman 1 hari pada pencampuran Urea 5% (nilai CBR 10,03%) dengan pencampuran Urea 15% (nilai CBR 5,17%) sebesar 51,54%

REFERENSI

1. Almayer, W. T, (1995), *Discussion of Engineering Properties of Expansive Clay*, Proc. AM. Soc. Civil Eng. 81 (Separate No. 658): pp 17-19
2. Budi, G., S., 2002, *Pengaruh Pencampuran Abu Sekam Padi dan Semen untuk Stabilisasi Tanah Ekspansif*, Journal of Civil Engineering science and application vol 4, no. 2 (2002) Universitas Kristen Petra Surabaya
3. Chen, F. H., (1975). *Foundation on Expansive Soils*, Elsevier Scientific Publication New York.
4. Coduto, D. P., (1975). *Foundation Design Principles and Practice*, Prentice Hall International, Inc.
5. Hardiyatmo, H.C., (2002). *Mekanika Tanah I*, GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS, Yogyakarta
6. Indo Clean Set Cement, PT., (1971). *Pedoman Teknis Clean Set*, from Technical Leaflet
7. Katti A. R. And Katti R. K., (1994). *Behaviour Of Saturated Expansive Soil And Control Methods*, A. A. BALKEMA, Rotterdam
8. Kezdi, A. (1979). *Stabilized Earth Roads*, Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam

9. Nelson, D., Miller, D. J., 1992 *Expansive Soils*. John Wiley & Sons, Inc.
10. Nurcholis, F., 2018, *Pengaruh Penambahan Pupuk Urea pada Tanah Lempung dari Desa Gupakwarak terhadap Parameter Kuat Geser Tanahnya*. Tugas Akhir (tidak diterbitkan) Universitas Islam Indonesia
11. Palar, H., Monintja, S., Turangan, A., E., Sarajar, A., N., 2013, *Pengaruh Pencampuran Tras dan Semen pada Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Daya Dukung*, Jurnal Sipil Statik vol 1, No. 6 (2013) Universitas Sriwijaya Palembang

Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Analisa Distribusi Butir

Edy Purwanto

Dosen Jurusan Teknik Sipil,
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
purwanto_edy57@yahoo.com

Hanindya K Artati

Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil,
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
hanindya@uii.ac.id

Srikit

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil,
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Abstract : *Liquefaction is a phenomenon of ground water discharge from a layer of soil which results in loss of strength / carrying capacity of the soil due to receiving cyclic loads, for example loads caused by earthquakes, resulting in the land deforming from solid to liquid. Liquefaction has the potential to occur in coarse graded soils or water-saturated sandy soils caused by an increase in pore water pressure and a reduction in the effective stress of the soil while also reducing the shear strength of the soil concerned. In this study, the location chosen as a research site in Kulon Progo Regency, Yogyakarta Special Region Province is in the New Yogyakarta International Airport (NYIA) Development Project. This study aims to determine the potential liquefaction that can occur based on laboratory testing (grain distribution) using the Tsuchida curve (1970). The study began with field observations, search of technical documents and field data collection in the field and laboratory data. The results showed that the land from the locations of Glagah Village and Palihan Village after being plotted / superpositioned to the graph using the Tsuchida curve (1970) was obtained that the land of Glagah Village and Palihan Village was vulnerable to liquefaction, the results which showed the results of the four points within the land boundary were experienced.*

Keywords: *Sand soil, Grain Distribution Analysis, Earthquake, Liquefaction*

1. PENDAHULUAN

Likuifaksi merupakan suatu proses dimana lapisan tanah pasir jenuh mengalami getaran, maka massa tanah tersebut akan cenderung memadat atau berkurangnya volume rongga. Volume pori mengecil sedangkan tanah dalam keadaan jenuh, maka air tidak dapat terdrainase dan dengan sendirinya tekanan air pori terus meningkat. Telah diketahui bahwa penyebab terjadinya likuifaksi adalah peningkatan tekanan air pori berlebih akibat getaran tanah akibat gempa. Tegangan bolak-balik ini terjadi karena perambatan gelombang geser keatas yang berasal dari pelepasan energi. Sehingga elemen tanah mengalami geser secara berurutan.

Proyek Pembangunan Yogyakarta International Airport (YIA) berpotensi terjadinya likuifaksi pada daerah tersebut, karena posisi landasan pacu yang berjarak 400 meter dari bibir pantai semakin memiliki potensi yang lebih besar untuk dapat terjadinya likuifaksi.

Gempa bumi menimbulkan beban siklik, potensi likuifaksi akan cenderung terjadi pada tanah jenuh air yang berbutir halus. Mengacu pada fenomena likuifaksi yang terjadi, maka penting untuk menganalisa potensi tersebut, dimana

letaknya yang berada di pinggir pantai. Hal ini juga yang melatar belakangi untuk menganalisis potensi likuifaksi pada Proyek Pembangunan Yogyakarta International Airport (YIA) berdasarkan Compositional Criteria menggunakan distribusi ukuran butiran tanah (Tsuchida, 1970), yang diperkuat dengan analisis Likuifaksi menurut Youd dan Gilstrap, 1999.

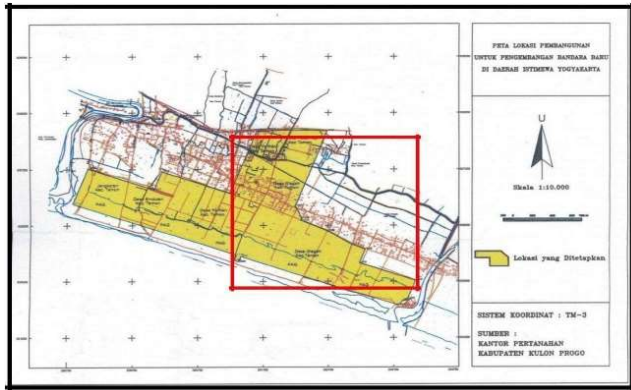
Permasalahan yang muncul adalah bagaimana potensi likuifaksi berdasarkan uji laboratorium (distribusi ukuran butir) berdasarkan metode Youd dan Gilstrap, (1999) dan Tsuchida (1970)?

Paper ini bertujuan untuk mempresentasikan hasil penelitian tentang potensi likuifaksi berdasarkan uji laboratorium (distribusi butiran berdasarkan metode Youd dan Gilstrap, (1999) dan Tsuchida (1970).

1.1 Tanah

Tanah mempunyai definisi yang berbeda untuk beberapa jenis cabang ilmu pengetahuan. Dalam Teknik Sipil 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 berpatikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1994).



Gambar 1 Peta Lokasi Pembangunan untuk Pengembangan Bandara Baru (Sumber : Kantor Pertanahan Kabupaten Kulon Progo)

Menurut Bowles (1986), tanah pasir merupakan tanah yang memiliki ukuran partikel batuan berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, untuk pasir kasar berkisar dari 5 mm sampai 3 mm, dan pasir halus memiliki ukuran dibawah 1 mm (<1 mm). Tanah pasir termasuk dalam tanah tidak kohesif, tanah tidak kohesif adalah apabila butir-butir tanah terpisah-pisah sesudah dikeringkan dan hanya bersatu apabila berada dalam keadaan basah karena gaya tarik permukaan di dalam air.

1.2 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi pada lapisan tanah bumi yang bersumber dari letusan gunung berapi yang disebut gempa bumi vulkanik dan bersumber dari patahan lempeng bumi yang disebut gempa bumi tektonik. Gempa bumi tektonik melepaskan energi yang dirambatkan oleh pusat gempa berupa gelombang primer (*P wave*) dan gelombang sekunder (*S wave*) yang merupakan gelombang badan (*body wave*). Akibat rambatan gelombang *S wave* terjadi gaya geser secara bolak balik yang mengakibatkan kerusakan dan juga dapat mengakibatkan terjadinya likuifaksi.

Menurut SNI 1726-2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur

bangunan gedung dan non gedung, percepatan tanah maksimum untuk evaluasi likuifaksi menggunakan percepatan puncak MCE_G yang telah disesuaikan terhadap pengaruh situs yaitu PGA_M . Persamaan untuk percepatan tanah puncak PGA_M dapat dilihat pada Persamaan.1. berikut.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \tag{1}$$

dengan:

PGA_M = MCE_G percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs

situs

F_{PGA} = koefisien situs

PGA = percepatan tanah puncak terpetakan

Koefisien situs sesuai dengan pembagian kelas situs dapat dilihat pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Koefisien Situs

Kelas situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA ≥ 0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,2	1,2	1,1	1	1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF					

*(Sumber: SNI 1726, 2012)

Kelas situs dibagi berdasarkan jenis-jenis tanah. SA adalah batuan keras, SB adalah batuan, SC adalah tanah keras, sangat padat dan batuan lunak dengan $N > 50$, SD adalah tanah sedang dengan N antara 15 sampai 50, SE adalah tanah lunak dengan $N < 15$, dan SF adalah tanah khusus yang membutuhkan investigasi spesifik.

1.3 Likuifaksi

Likuifaksi adalah hilangnya kekuatan tanah akibat kenaikan tegangan air pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah yang timbul akibat dari beban siklis dinamis. Likuifaksi dipengaruhi oleh parameter-parameter gempa yaitu magnitudo gempa, energi yang dilepas pada fokus gempa tektonik akibat deformasi lempeng, durasi/lama gempa, dan percepatan permukaan tanah.

Likuifaksi terjadi pada tanah yang berpasir lepas (tidak padat) dan jenuh air. Dimana seluruh

rongga-rongga dari tanah tersebut dipenuhi oleh air. Seiring naiknya tekanan air yang diakibatkan oleh guncangan gempa, maka tegangan efektif (σ') menjadi berkurang. Kondisi ini dapat dinyatakan pada Persamaan 2. sebagai berikut:

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2)$$

dengan:

σ' = tegangan efektif

σ = tegangan total (berat permukaan tanah)

u = tekanan air pori

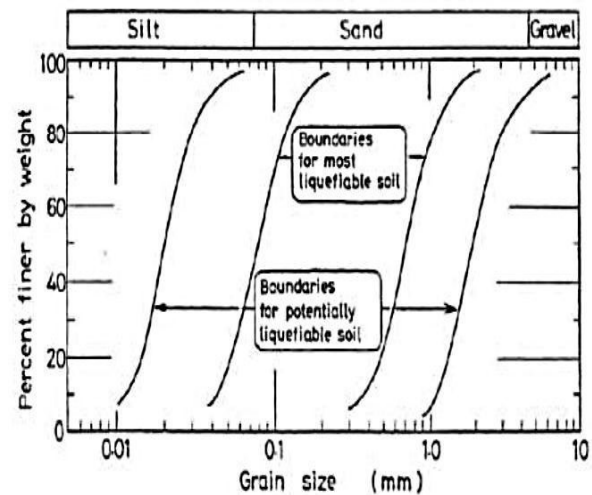
Likuifaksi akan lebih cenderung terjadi pada pasir jenuh air yang berdiameter halus, terutama tanah yang memiliki sistem drainasi tidak baik. Ada beberapa kriteria yang membuat jenis-jenis tanah tersebut mengalami likuifaksi (Youd dan Gilstrap, 1999 dalam Day 2002; Perlea dkk, 1999 dalam Prakash dan Puri, 2003), sebagai berikut.

1. Diameter tengah D₅₀ antara 0,02-1,00 mm
2. Kandungan *finer*, butir D < 0,005 mm tidak lebih dari 20%
3. Koefisien keseragaman D₆₀/D₁₀ < 10
4. Kepadatan Relatif Dr < 75%
5. Indeks plastisitas IP < 13%

1.4 Kurva Distribusi Butir Tanah

Tsuchida (1970) mengemukakan sebuah kurva distribusi butir tanah untuk memperkirakan kerentanan tanah terhadap likuifaksi. Berdasarkan distribusi butiran tanah, Tsuchida mengusulkan batas-batas distribusi butir tanah yang peka terhadap likuifaksi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Boundaries for most liquefiable soil merupakan batasan untuk tanah paling berpotensi likuifaksi dan *boundaries for potentially liquefiable soil* merupakan batasan untuk tanah berpotensi likuifaksi.



Gambar 2 Distribusi Butir Tanah yang berpotensi Likuifaksi (Tsuchida, 1970) (Sumber : Legrans, 2016)

2. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

2.1 Data Geoteknik

Objek penelitian berada di Proyek Pembangunan *Yogyakarta International Airport (YIA)* yang berada di daerah Kulon Progo. Penelitian ini berfokus pada pembangunan landasan pacu bandara. Adapun survei geoteknik dilakukan pada titik koordinasi Titik koordinat tanah pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 2 berikut dan Gambar 3.

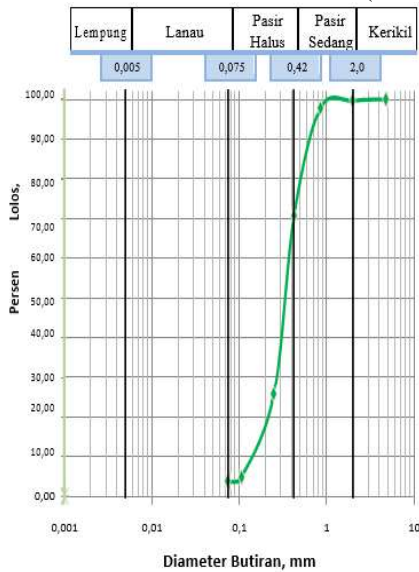
Tabel 2. Titik Koordinat Pengambilan Sampel Tanah

Titik	Lintang	Bujur
Glagah 1	7°53'33.28"S	110° 3'20.31"T
Glagah 2	7°53'35.89"S	110° 3'17.36"T
Palihan 1	7°53'38.52"S	110° 3'21.11"T
Palihan 2	7°53'42.13"S	110° 3'20.13"T

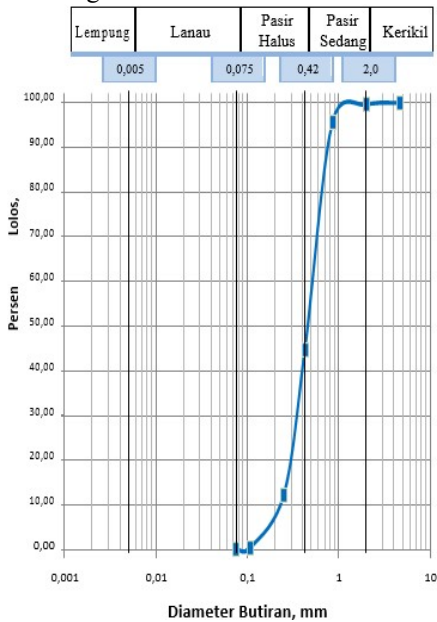
Hasil uji laboratorium di 4 titik lokasi dipresentasikan seperti pada Gambar 4, 5, 6 dan 7 seperti berikut.



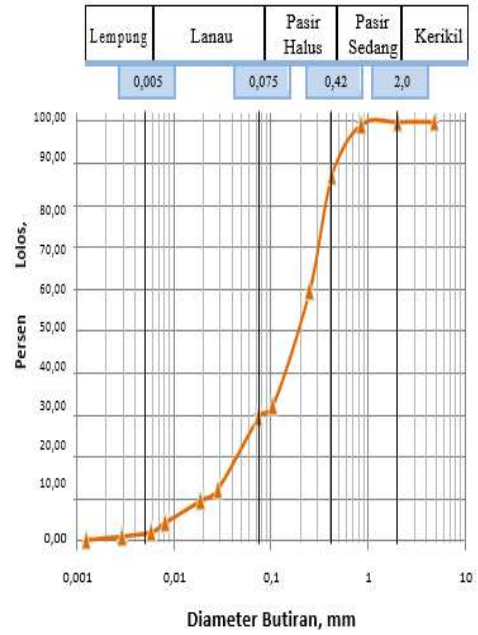
Gambar 3 Lokasi Survei Geoteknik (Sumber : PPBIY, 2017)



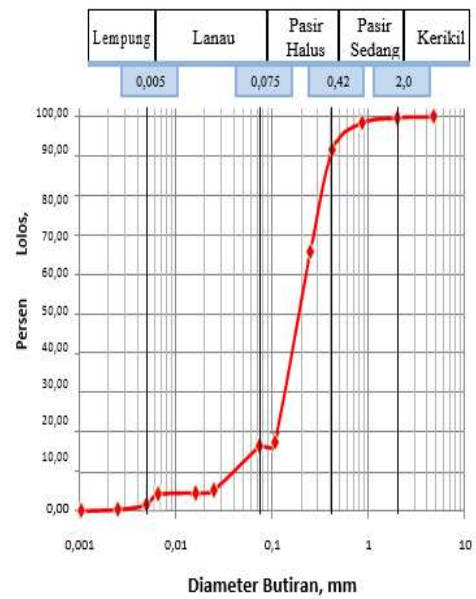
Gambar 4 Kurva Distribusi Butir Tanah Desa Glagah Titik 1



Gambar 5 Kurva Distribusi Butir Tanah Desa Glagah Titik 2



Gambar 6 Kurva Distribusi Butir Tanah Desa Palihan Titik 1



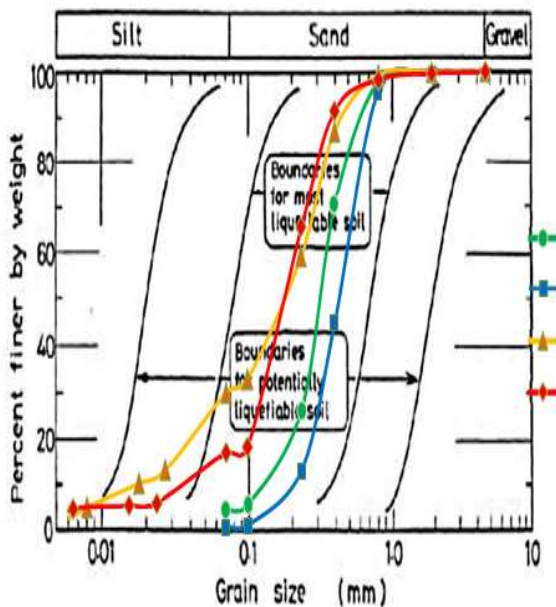
Gambar 7 Kurva Distribusi Butir Tanah Desa Palihan Titik 2

Hasil analisis likuifaksi Desa Glagah dan Desa Palihan menurut Youd dan Gilstrap, 1999 dalam Day 2002; Perle dkk, 1999 dalam Prakash dan Puri, 2003 dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Analisis Likuifaksi menurut Youd dan Gilstrap, 1999 dalam Day 2002; Perlea dkk, 1999 dalam Prakash dan Puri, 2003

Desa	D50 (mm)	$0,02 < D50 < 1$	$D < 0,005$ (%)	$D < 0,005$ tidak lebih dari 20%	Cu	$Cu < 10$
Glagah 1	0,33	likuifaksi	3,85%	likuifaksi	2,64	likuifaksi
Glagah 2	0,45	likuifaksi	0,14%	likuifaksi	2,12	likuifaksi
Palihan 1	0,19	likuifaksi	2,11%	likuifaksi	11,9	tidak likuifaksi
Palihan 2	0,19	likuifaksi	1,54%	likuifaksi	5,62	likuifaksi

Kurva distribusi butir tanah sampel Desa Glagah maupun Desa Palihan diplotkan ke dalam Kurva Gradasi Ukuran Butir yang berpotensi likuifaksi pada Gambar 19, sehingga dapat terlihat potensi likuifaksi pada Desa Glagah dan Desa Palihan berdasarkan distribusi butir tanah, seperti terlihat pada Gambar 8 berikut



Gambar 8 Kurva Potensi Likuifaksi Distribusi Butir Tanah

Likuifaksi dapat dilihat dari beberapa kriteria jenis-jenis tanah. Menurut Youd dan Gilstrap, 1999 dalam Day 2002; Perlea dkk, 1999 dalam Prakash dan Puri, 2003 likuifaksi dapat dilihat dari diameter butir tanah. Kurva penentuan D10, D30, D50 dan D60 masing- masing titik dapat dilihat pada Gambar 5.6 sampai Gambar 15 berikut.

Analisis potensi likuifaksi pada lapisan tanah titik 2 Desa Glagah pada kedalaman 2,00 meter didapat $D50 = 0,45$ maka $D50 > 0,02$ dan $D50 < 1,00$ termasuk dalam kriteria jenis tanah yang akan mengalami likuifaksi. Berdasarkan kandungan

finer, butir $D < 0,005$ mm tidak lebih dari 20% hal ini dapat dilihat dari persentase lanau dan lempung Desa Glagah titik 2 yaitu sebesar 0,14% maka tanah termasuk dalam kriteria jenis tanah yang akan mengalami likuifaksi. Berdasarkan koefisien keseragaman, Cu didapat $2,12 < 10$, maka tanah termasuk dalam kriteria jenis tanah yang akan mengalami likuifaksi.

Analisis potensi likuifaksi pada lapisan tanah titik 1 Desa Palihan pada kedalaman 2,00 meter didapat $D50 = 0,19$ maka $D50 > 0,02$ dan $D50 < 1,00$ termasuk dalam kriteria jenis tanah yang akan mengalami likuifaksi. Berdasarkan kandungan fines, butir $D < 0,005$ mm tidak lebih dari 20% hal ini dapat dilihat dari persentase lempung Desa Palihan titik 1 yaitu sebesar 2,11% maka tanah termasuk dalam kriteria jenis tanah yang akan mengalami likuifaksi. Berdasarkan koefisien keseragaman, Cu didapat $11,9 < 10$, maka tanah tidak termasuk dalam kriteria jenis tanah yang akan mengalami likuifaksi.

Analisis potensi likuifaksi pada lapisan tanah titik 2 Desa Palihan pada kedalaman 2,00 meter didapat $D50 = 0,19$ maka $D50 > 0,02$ dan $D50 < 1,00$ termasuk dalam kriteria jenis tanah yang akan mengalami likuifaksi. Berdasarkan kandungan fines, butir $D < 0,005$ mm tidak lebih dari 20% hal ini dapat dilihat dari persentase lempung Desa Palihan titik 2 yaitu sebesar 1,54% maka tanah termasuk dalam kriteria jenis tanah yang akan mengalami likuifaksi. Berdasarkan koefisien keseragaman, Cu didapat $5,625 < 10$, maka tanah tidak termasuk dalam kriteria jenis tanah yang akan mengalami likuifaksi.

Hasil dari Uji Distribusi butiran tanah dari lokasi Desa Glagah dan Desa Palihan setelah di plotkan / di superposisikan ke grafik menggunakan kurva Tsuchida (1970), dapat dilihat pada Gambar 19 Hasil uji grafik distribusi butir diperoleh bahwa

tanah Desa Glagah dan Desa Palihan rentan terhadap likuifaksi, hasil tersebut yang menunjukkan hasil keempat titik berada dalam batasan tanah mengalami likuifaksi. Artinya bahwa lokasi proyek rentan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi. Untuk itu disarankan perlu dilakukan perbaikan tanah. Tujuan perbaikan tanah adalah untuk memperbaiki sifat-sifat fisik tanah (tanah agar lebih padat) sehingga daya dukung tanah dan kuat geser tanah meningkat.

3. KESIMPULAN DAN SARAN

3.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis distribusi butiran tanah yang berasal dari lokasi landasan pacu Proyek Pembangunan *Yogyakarta International Airport (YIA)* dapat diambil kesimpulan berdasarkan metode Youd dan Gilstrap, (1999) cenderung berpotensi mengalami likuifaksi dan berdasarkan Tsuchida (1970) kurva distribusi butir tanah juga berpotensi likuifaksi pada sampel tanah di Desa Glagah dan Desa Palihan karena berada pada range batasan tanah yang paling berpotensi likuifaksi.

3.2. Saran

1. Untuk hasil yang lebih spesifik analisis dapat ditambah dengan metode lainnya seperti metode berdasarkan nilai uji SPT dan CPT dengan nilai uji penetrasi Becker (BPT) dan kecepatan gelombang geser pengukuran (Vs), dan
2. Terdapat beberapa usaha untuk penanggulangan likuifaksi sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik tanah. Sehingga dapat dikembangkan kembali bagaimana perhitungan ini dapat digunakan di metode perbaikan tanah lainnya.

REFERENSI

Boulanger, R.W dan Idriss (2014). *CPT and SPT Based Liquefaction Triggering Procedure*. California, USA.

Budi, G. S. (2011). *Pengujian Tanah di Laboraturium*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

Das, B.M. (1993). *Principles of Soil Dynamics*. PWS-KENT Publishing Company.

Boston, USA.

E.K. Kertapati, A. Soehaimi dan A.Djuhandi. (1998). Peta Seismotektonik Pulau Jawa. Pusat

Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Hasmar,H. A. H. 2013. *Dinamika Tanah dan Rekayasa Kegempaan*. UII Press.Yogyakarta.

Hardiyatmo, Hary Cristady. (1992). *Mekanika Tanah 1*. PT. Gramedia Pustaka Utama.Jakarta.

Hatmoko, J. T. (2016). *Dinamika Tanah dan Liquefaction Cetakan ke 01*. Cahaya Atma Pustaka. Yogyakarta.

Ikhsan, Rifa. (2011). Analisis Potensi Likuifaksi dari Data CPT dan SPT dengan Studi Kasus PLTU Ende Nusa Tenggara Timur. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Indonesia. Yogyakarta.

Ishihara, K. (1993). *Liquefaction and Flow Failures During Earthquakes*. *Geotechnique*.

Vol. 43, No. 3, pp. 351-415.

Legrans, R. R. I. (2016). Studi Potensi Likuifaksi Berdasarkan Uji Penetrasi Standar (SPT) di Pesisir Pantai Belang Minahasa Tenggara. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 14 No. 65 : 37-48. Manado.

Lestari, Rizka Amalia.(2018). Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Data SPT (Standar Penetration Test) dan CPT (Cone Penetration Test). Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Nur Straits Engineering (2017). *Laporan Penyelidikan Tanah dan Konsep Persiapan Tanah RTT Sisi Udara Bandara New York International Airport*. Angkasa Pura. Yogyakarta.

Nur Straits Engineering. (2017). *NSELab Soil Laboratory Precision for Perfection*. Angkasa Pura. Yogyakarta.

Nur Straits Engineering. (2017). *Sub Surface Exploration Log ASTM D1586-11, SNI 4153-2008*. Angkasa Pura. Yogyakarta.

Octavia, N. M. K. M. (2009). Analisa Potensi terjadinya Likuifaksi dengan menggunakan Lembar Kerja. *Penelitian Universitas Bina Nusantara*. Jakarta.

Seed, H.B. and Idriss. (1970). *Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential, Journal of soil mechanics, and foundation, Division, ASCE*, vol.97. No.9, pp. 1249 – 1273.

Seed, H.B. (1982). *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes*, Earthquake Engineering Research Institute. Pasadena California, USA.

Seed, H.B. (1982). *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes*, Earthquake Engineering Research Institute. Pasadena California, USA.

Seed, H.B. and Idriss. 1971. *Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential*, *Journal of soil mechanics, and foundation, Division*, ASCE, vol.97. No.9, pp. 1249 – 1273.

Srikit (2019). Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Distribusi Butir dan Data N-SPT. Program Study Teknik Sipil, FTSP-UII, Yogyakarta.

SNI 1726-2012. (2012). Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

Taufana, A. J. P. (2013). Pemetaan Kerentanan Daerah Potensi Likuifaksi, akibat Gempabumi Tektonik Studi Kasus Daerah Desa Panjangrejo dan sekitarnya, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Naskah Publikasi*. Universitas Diponegoro. Semarang.

Tohari, Adrin dan Tini, Mimin Iryanti, (2017), Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Metode SPT (Standar Penetration Test) Dan CPT (Cone Penetration Test) Di Kabupaten Bantul Yogyakarta. Thesis.(Tidak Diterbitkan). Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.

Tri Hatmoko, John. (2016). *Dinamika Tanah dan Liquefaction*. Cahaya Atma Pustaka. Yogyakarta.

Youd, T.L. Perkins DM. (1978). *Mapping Liquefaction Induced Ground Failure Potential*. ASCE 104. 4: 443 – 446.

Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dan Turap

M. R. Abdurrozak

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
rifqi_abdurrozak@uii.ac.id

N. I. Fitriadi

Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
14511284@students.uui.ac.id

INTISARI

Jalan raya Ponorogo-Trenggalek merupakan jalan Provinsi yang menghubungkan Kabupaten Ponorogo dan Kabupaten Trenggalek, Jalur ini menjadi jalur penting untuk untuk transportasi pada jalur Selatan di Provinsi Jawa Timur. Tahun 2017 Jalan pada stasiun 23 + 600 mengalami kelongsoran dengan retakan 50 m dan lebar 55 m, pada bagian selatan jalan yang menyebabkan lereng pada jalan Ponorogo-Trenggalek menjadi amblas. Tujuan penelitian ini adalah melihat faktor keamanan (*safety factor*) lereng dan faktor lain yang mempengaruhi stabilitas lereng tersebut.

Berdasarkan masalah tersebut, maka perlu dilakukan analisis potensi kelongsoran pada lereng Jalan raya Ponorogo-Trenggalek pada kondisi asli dan pada kondisi setelah diberikan alternative perkuatan. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Plaxis 8.6. Analisis dilakukan pada kondisi lereng asli, kondisi lereng setelah diberi geometri baru, kondisi lereng geometri baru perkuatan geotekstil, kondisi lereng perkuatan turap. Masing-masing tinjauan menggunakan variasi beban yaitu dengan beban gempa dan tanpa beban gempa. Seluruh tinjauan menggunakan beban kendaraan 15 kN/m².

Hasil analisis pada lereng asli dengan pemodelan lereng asli tanpa beban gempa didapatkan *safety factor* 1,1789, sedangkan pada lereng asli dengan beban gempa didapatkan *safety factor* 1,1436, kedua nilai tersebut <1,25, maka lereng dianggap labil dan mudah longsor. Pada lereng geometri baru dengan pemodelan tanpa beban gempa didapatkan *safety factor* 1,5709, sedangkan pada lereng geometri baru dengan beban gempa didapatkan *safety factor* 1,5156. Kedua nilai tersebut >1,25, maka lereng dianggap aman. pada lereng geometri baru dengan perkuatan geotekstil, dengan pemodelan lereng tanpa beban gempa didapatkan *safety factor* 2,3719, sedangkan pada lereng dengan beban gempa didapatkan *safety factor* 2,3467. Kedua nilai tersebut >1,25, maka lereng dianggap aman. pada lereng dengan perkuatan turap dengan pemodelan lereng tanpa beban gempa didapatkan *safety factor* 1,7831, sedangkan pada lereng dengan beban gempa didapatkan *safety factor* 1,7776. Kedua nilai tersebut >1,25, maka lereng dianggap aman.

Kata kunci: Stabilitas Lereng, Geotekstil, Turap, Plaxis 8.6.

1 PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Kegagalan yang terjadi pada lereng, baik itu longsor maupun penurunan tanah (ambblas) umumnya terjadi bila terdapat gangguan pada keseimbangan lereng tersebut. Secara umum, kurang baiknya parameter geser tanah pembentuknya serta geometri lereng menjadi salah satu faktor penting dalam stabilitas lereng.

Jalan raya Ponorogo Trenggalek merupakan jalan Provinsi yang menghubungkan Kabupaten Ponorogo dan Kabupaten Trenggalek, Jalur ini menjadi jalur penting untuk untuk transportasi pada jalur Selatan di Provinsi Jawa Timur yang menghubungkan Kabupaten Pacitan, Ponorogo, Trenggalek dan Tulungagung.

Untuk trase jalan Ponorogo-Trenggalek pada stasiun 23 + 600 merupakan jalan dengan struktur perkerasan lentur dengan tinggi lereng 15 m melewati daerah perbukitan dan daerah lembah. Tahun 2017 Jalan pada stasiun 23 + 600 mengalami kelongsoran dengan retakan 50 m dan lebar 55 m, pada bagian selatan jalan yang menyebabkan lereng pada jalan Ponorogo-

Trenggalek menjadi amblas. Sebelum kelongsoran terjadi perkuatan *sheet pile* dan dinding penahan tanah berupa bronjong batu telah diberikan, akan tetapi lereng tetap mengalami kelongsoran. Oleh karena itu perlu dilakukan penanganan terhadap lereng segera mungkin, agar kelongsoran tidak melebar hingga badan jalan yang dapat merusak struktur perkerasan jalan.

Salah satu alternatif yang dianggap dapat memecahkan masalah tersebut adalah dengan melakukan perbaikan tanah dengan menggunakan Teknologi Perkuatan Tanah. Metode ini untuk meningkatkan stabilitas lereng dengan memberikan tambahan gaya yang menahan pada sistem konstruksi lereng secara keseluruhan. Saat ini, karena perkembangan teknologi yang telah maju memungkinkan cara untuk menganalisis stabilitas lereng pada suatu daerah dengan menggunakan program komputer, salah satunya adalah program Plaxis. Dengan adanya program ini akan sangat membantu dalam menganalisa deformasi dan penurunan bidang geoteknik dengan menggunakan model dua dimensi maupun tiga dimensi. Dengan menggunakan teknik perkuatan tanah sebagai solusi pada berbagai persoalan dalam rekayasa geoteknik hal ini didasarkan pada pertimbangan konsep perkuatan

tanah, aplikasi dari perkuatan tanah dan manfaat dari perkuatan tanah itu sendiri. Dalam penelitian ini akan digunakan perkuatan lereng berupa perkuatan Geotekstil dan perkuatan Turap.

b. Kelongsoran

Berdasarkan Hardiyatmo (2014) kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut ini.

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenangi di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuhan-tumbuhan yang tertiuap angin dan lain-lain.
2. Penggalan atau pemotongan tanah pada kaki lereng.
3. Penggalan yang mempertajam kemiringan lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) (pada bendung, sungai dan lain-lain).
5. Kenaikan tekanan tanah lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral).
6. Gempa bumi.
7. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.

c. Stabilitas Lereng

Menurut Hardiyatmo (2014), pada permukaan tanah yang tidak horizontal atau miring, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering digunakan dalam perancangan - perancangan bangunan seperti jalan kereta api, bandara, bendungan, urugan tanah, saluran, dan lain-lain. Umumnya, analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengecek keamanan dari alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah.

Analisis stabilitas lereng tidak mudah, karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungan. Faktor-faktor tersebut, misalnya kondisi tanah yang berlapis-lapis, kondisi tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain – lainnya.

Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$SF = \tau / \tau_d \quad (1)$$

Dengan SF = faktor aman, τ = tahanan geser maksimum, τ_d = tahanan geser yang timbul akibat gaya berat tanah yang akan longsor.

d. Geotekstil

Menurut Hardiyatmo (2008), geotekstil adalah material lembaran yang dibuat dari bahan tekstil polymeric, bersifat lolos air, yang dapat berbentuk bahan nir-anyam (non woven), rajutan atau ayaman (woven) yang digunakan dalam kontak dengan tanah/batu dan/atau material geoteknik yang lain di dalam aplikasi teknik sipil.

Berdasarkan Hardiyatmo (2008) perbedaan hitungan perencanaan dinding tanah bertulang terletak pada hitungan stabilitas intern dinding, yaitu perancangan dilakukan dengan memperhitungkan kekuatan tulangn-tulangan dalam menahan gaya cabur dan gaya Tarik oleh akibat gaya-gaya yang bekerja.

Dalam perancangan stsbilitas ekstern atau stabilitas luar (*external stability*) dinding tanah bertulang mempunyai kriteria yang sama seperti pada struktur dinding penahan tanah konvensional. Yaitu, struktur yang dianggap sebagai blok padat harus stabil terhadap bahaya penggeseran, penggulingan, keruntuhan pondasi dan stabilitas lereng global.

1. Stabilitas Eksternal

Stabilitas terhadap geser, lebar dasar struktur dinding tanah bertulang harus sedemikian hingga struktur terhindar dari resiko penggeseran pada dasarnya. Umumnya factor aman diambil sama dengan 1.5.

Faktor aman terhadap penggeseran dinyatakan oleh persamaan :

$$SF = \frac{L \times H \times \gamma b \times \tan \delta b}{0.5 \times H^2 \times \gamma b \times Ka + q \times H \times Ka + 2 \times c \times H \times \sqrt{ka}} \quad (2)$$

dengan, L = lebar dasar dinding tanah atau panjang tulangan, Ka = koefisien tekanan tanah aktif, q = beban merata, H = tinggi dinding tanah, δb = sudut gesek antara tanah pondasi dan dasar struktur, γ = berat volume tanah, c = Kohesi

Stabilitas terhadap guling, Faktor aman terhadap penggulingan dinyatakan oleh persamaan :

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} = \frac{0.5 \times \gamma b \times H \times L^2}{0.5 \times P_q \times H + \left(\frac{1}{3}\right) \times P_s \times H - 0.5 \times P_c \times H} \quad (3)$$

dengan, ΣM_R = jumlah momen lawan, ΣM_D = jumlah momen penggulingan, W = berat struktur, L = lebar struktur, P_q = gaya horizontal total akibat beban terbagi rata, P_s = gaya horizontal akibat tekanan tanah di belakang struktur, P_c = gaya horizontal akibat kohesi pada tanah.

Untuk keamanan, dalam hitungan momen penggulingan, beban terbagi rata (q) tidak diperhitungkan menambah berat dari dinding tanah bertulang. Umumnya faktor aman terhadap penggulingan (SF) sama dengan 1.5-2.

Stabilitas terhadap eksentrisitas (e) diperoleh dengan mengambil jumlah momen terhadap pusat dasar dinding sama dengan nol

$$e = \frac{\Sigma MD}{R_v} = \frac{(P_q \times \frac{1}{2} H) + (P_s \times \frac{1}{3} H) - (P_c \times \frac{1}{2} H)}{(H \times \gamma b \times L) + (q \times L)} \quad (4)$$

dengan, R_v = beban vertical total termasuk beban terbagi rata ($W + qL$), W = berat struktur per meter (tegak lurus bidang gambar), $P_q = K_a \times q \times H$, $P_s = 0.5 \times K_a \times H^2 \times \gamma$, $P_c = 2 \times c \times \sqrt{k_a} \times H$.

Stabilitas terhadap daya dukung tanah harus cukup sehingga tidak akan terjadi keruntuhan akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah diambil minimum sama dengan 1.5.

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \times \gamma_b \text{ timb.} + q} \quad (5)$$

dengan, $q_{ult} = i_c \times c \times N_c + 0.5 \times L \times \gamma \times N_\gamma$, $ult = q_{ult} \times SF$.

2. Stabilitas Internal

Panjang overlap atau panjang lipatan (L_o) pada bagian penutup permukaan dinding yang diperkuat dengan geotekstil dihitung dengan persamaan :

$$L_o = \frac{\sigma_{hci} \times S_{vi} \times SF}{2 \times \gamma_b \times z_i \times t_g \phi} \geq 1 \quad (6)$$

dengan, z = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah, σ_{hc} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan, SF = factor aman, S_v = jarak tulangan arah vertical, γ = berat volume tanah.

Panjang efektif geotekstil

Rumus:

$$L_e = \frac{\sigma_{hci} \times S_{vi} \times SF}{2 \times \gamma_b \times z_i \times t_g \phi} \geq 1 \quad (7)$$

dengan, z = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah, σ_{hc} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan, SF = factor aman, S_v = jarak tulangan arah vertical, γ = berat volume tanah.

e. Turap

Dinding turap adalah dinding vertical yang berfungsi untuk menahan gaya horizontal yang bekerja dalam tanah. Turap dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu turap kantilever yang sering digunakan pada tanah dangkal. Namun bila tanah yang ditahan cukup dalam maka turap harus menggunakan angker. Turap sangat tidak cocok digunakan untuk menahan tanah yang sangat tinggi, dikarenakan memerlukan luas tampang yang cukup yang besar. Selain itu turap juga tidak cocok digunakan pada tanah berbatuan dikarenakan akan menyulitkan saat proses pemancangan.

Perkuatan dilakukan menggunakan turap yang pada umumnya berbentuk dinding. System pada perkuatan ini bekerja dengan cara menahan gaya-gaya lateral. Turap yang digunakan untuk perkuatan tanah terbuat dari beton. Analisis dilakukan guna mencari kedalaman pile yang dibutuhkan guna menahan gaya lateral pada pile.

1. Koefisien tekanan tanah lateral

Menurut Rankine (1897) dalam Hardiyatmo (2014) koefisien tanah aktif (*coefficient of active earth pressure*) atau K_a , dinyatakan dengan Persamaan 8.

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi^0}{2}) \quad (8)$$

Koefisien tanah pasif (*coefficient of passive earth pressure*) atau K_p , dinyatakan dengan Persamaan 9.

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\phi^0}{2}) \quad (9)$$

2. Tekanan tanah lateral akibat tanah

Tekanan tanah aktif total (P_a) untuk dinding penahan tanah setinggi H dinyatakan oleh Persamaan 10.

$$P_a = 0,5 \times K_a \times \gamma \times H^2 \quad (10)$$

3. Tekanan tanah lateral akibat tanah berlapis

Tekanan tanah aktif total (P_a) untuk tanah berlapis dinyatakan dengan Persamaan 11 Dan Persamaan 12.

$$P_{a1} = 0,5 \times K_{a1} \times \gamma_1 \times H_1 \times H_1 \quad (11)$$

$$Pa_2 = Ka_2 \times \gamma_1 \times H_1 \times H_2 \quad (12)$$

4. Tekanan tanah lateral akibat kohesi

Kohesi memberikan tekanan lateral, yang nilainya berlawanan. Tekanan tanah lateral akibat kohesi dinyatakan dengan Persamaan 13

$$Pa_1 = -2 \times c \times \sqrt{ka_2} \times H \quad (13)$$

5. Tekanan tanah lateral akibat beban terbagi rata
Beban terbagi merata memberikan tekanan tanah lateral yang dinyatakan dengan Persamaan 14

$$Pa_1 = q \times Ka_1 \times H \quad (14)$$

6. Tekanan tanah lateral akibat beban merata memanjang

Menurut Terzaghi (1943) dalam Hardiyatmo (2014) Beban terbagi rata memanjang (*q*) yang berupa jalan raya dan kendaraan yang sejajar dengan dinding penahan tanah dan tidak tepat di sebelah dinding penahan tanah, maka diberikan persamaan 15.

$$\Sigma h = \left(\frac{2q}{\pi}\right) (\beta - \sin \beta \cos 2\alpha) \quad (15)$$

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan untuk menganalisis stabilitas lereng, baik lereng asli, lereng dengan geometri baru, lereng dengan geometri baru dan diperkuat dengan geotekstil, lereng diperkuat dengan turap analisis dilakukan menggunakan program Plaxis 8.6. Program plaxis merupakan salah satu program aplikasi geoteknik yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng. Dari analisis tersebut, hasil yang di dapat nanti diharapkan dapat mengatasi permasalahan yang terjadi pada lereng.

Analisis dilakukan dengan melakukan 4 (empat) variasi pemodelan, yakni analisis pada lereng asli, lereng dengan geometri baru (tanpa perkuatan), lereng dengan perkuatan geotekstil, dan lereng dengan

perkuatan turap beton. Masing-masing variasi pemodelan dianalisis dalam 2 (dua) kondisi pembebanan, yakni pembebanan lalu-lintas dan pembebanan gempa. Variasi kondisi muka air tanah diaplikasikan pada model untuk mengetahui pengaruhnya terhadap stabilitas lereng.

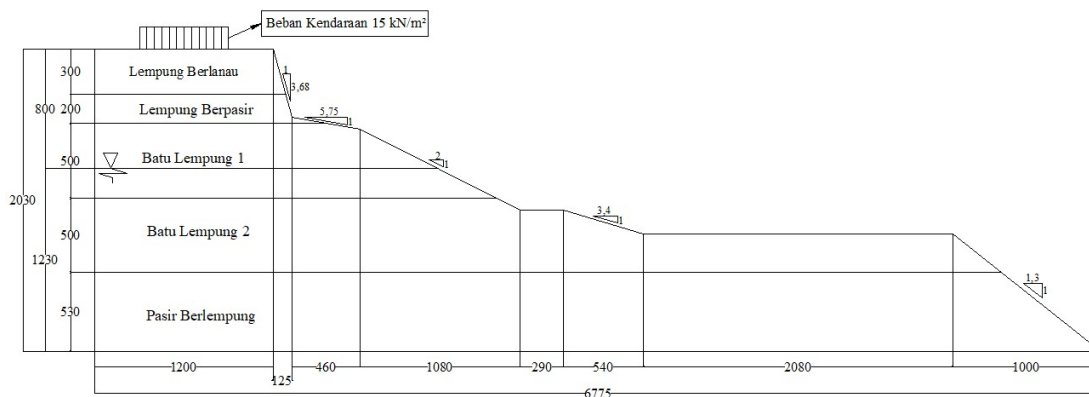
Data tanah yang digunakan untuk memodelkan stratifikasi tanah pada lereng, dimana geometri lereng didapatkan dari potongan melintang area lereng yang dimodelkan. Penampang lereng asli dapat dilihat pada Gambar 1, dan data tanah disajikan pada Tabel 1. Pembebanan lalu-lintas menggunakan beban merata sebesar 15 kN/m² untuk jalan primer pada sistem jaringan arteri (Panduan Geoteknik 4 No. Pt T-10-2002-B, 2002). Data beban gempa diambil dari data gempa yang mendekati percepatan gempa maksimum pada area ditinjau, yakni menggunakan data gempa dari kawasan American Canyon California pada tahun 2014 akhir yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,457 g (Gambar 2), dimana data ini dianggap mendekati potensi gempa wilayah Ponorogo yang memiliki percepatan puncak gempa (PGA) antara 0.4 - 0.5 g (puskim, 2014). Penggunaan data gempa tersebut dikarenakan tidak tersedianya data gempa lokal pada area tersebut.

Geotekstil yang digunakan dalam analisa stabilitas lereng ini adalah jenis geotekstil woven atau geotekstil teranyam, geotekstil yang digunakan berasal dari PT. Tekindo Geosistem Unggul. Nilai *input* parameter geotekstil dapat dilihat pada Tabel 1. Data parameter tanah disajikan pada Tabel 2. Sedangkan turap yang digunakan adalah jenis turap beton, yang berasal dari PT Adhi Persadha Beton. Adapun nilai input parameter turap dapat dilihat pada Tabel 3

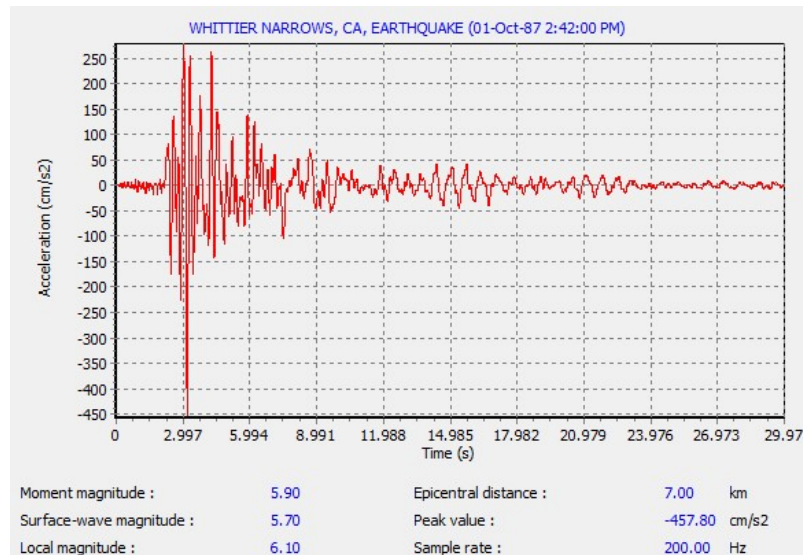
Tabel 1. Data Geotekstil Woven

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kekakuan Normal	EA	260	kN/m

Sumber: PT. Tekindo Geosistem Unggul (2018)



Gambar 1. Penampang Melintang Lereng Asli



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Percepatan dengan dan Waktu Gempa (Sumber: usgs.gov, 2018)

Tabel 2. Data Parameter Tanah

Parameter	Satuan	Lempung Berlanau	Lempung Berlanau 2	Batu Lempung 1	Batu Lempung 2	Pasir Berlempung
γ Unsaturated	kN/m ³	15,3	15,1	15,5	17,2	18,7
γ Saturated	kN/m ³	17,1	17,1	17,5	19,0	20,3
E_{ref}	kN/m ²	9958	8426	10724	35236	45960
V	-	0,4	0,35	0,35	0,3	0,2
Kohesi	kN/m ²	10	10	28	31	50
Sudut Geser Dalam	°	15	30	20	30	35
Permeabilitas Kx	m/hari	0,00004	0,00048	0,00004	0,00048	0,00043
Permeabilitas Ky	m/hari	0,00004	0,00048	0,00004	0,00048	0,00043

Sumber: Data Penyelidikan Tanah Jalan Jawa Timur (2017)

Tabel 3 Data Turap

No	Parameter Struktur	Simbol	Satuan	Sheet Pile
1	Modulus young	E	kN/m ²	35824977
2	Normal stiffness	EA	kN/m	11643118
3	Flexural rigidity	EI	kNm	102484
4	Berat struktur	w	kN	2,77
5	Angka poisson	v		0.15

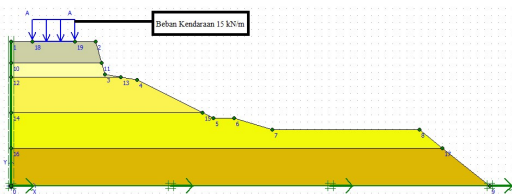
Sumber: PT. Adhi Persada Beton (2018)

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

a. Analisis Stabilitas Lereng Asli

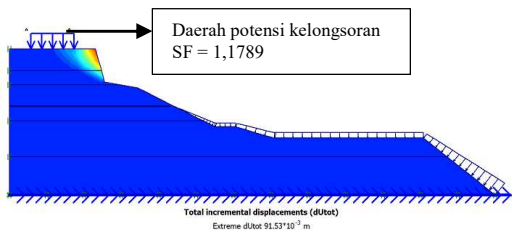
Dilakukan analisis pada lereng tanah asli untuk mengetahui safety factor apakah lereng sudah mampu menahan berat sendiri, beban kendaraan dan beban gempa. Adapun analisis dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menggunakan program Plaxis 8.6.

Pemodelan lereng asli menggunakan program Plaxis 8.6 dapat dilihat pada Gambar 3

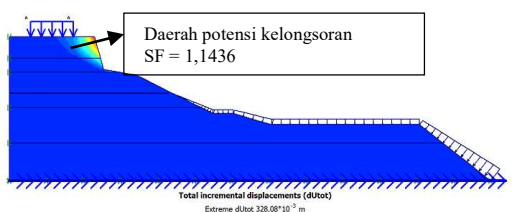


Gambar 3 Pemodelan Lereng Asli

Potensi keruntuhan lereng asli tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 berikut.



Gambar 4 Potensi Kelongsoran Lereng Asli Tanpa Beban Gempa



Gambar 5 Potensi Kelongsoran Lereng Asli Dengan Beban Gempa

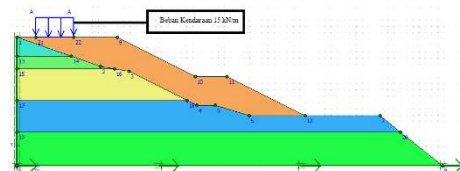
Potensi kelongsoran memperlihatkan daerah dimana kemungkinan lereng mengalami kelongsoran, berdasarkan hasil analisis plaxis potensi kelongsoran pada lereng asli tanpa beban gempa dan dengan beban gempa berbentuk *rotational slides*. Dari hasil tersebut juga dapat dilihat zona aktif dan zona pasif pada

lereng, warna merah menunjukkan zona aktif dan warna biru menunjukkan zona pasif.

b. Lereng Geometri Baru (Sudut 27 °)

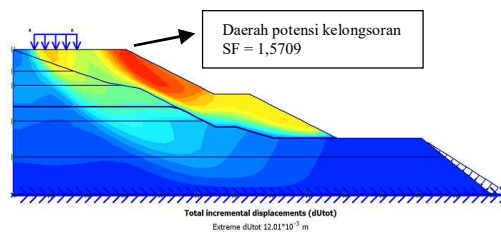
Pada penelitian ini untuk analisis stabilitas lereng dengan geometri baru tanpa Perkuatan geotekstil dihitung dengan menggunakan program Plaxis versi 8.6.

Pemodelan lereng geometri baru menggunakan program Plaxis 8.6 dapat dilihat pada Gambar 6.

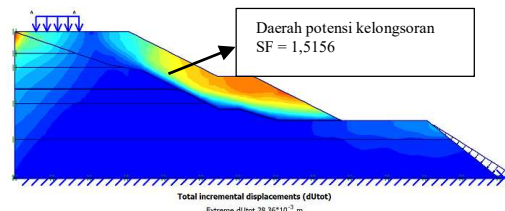


Gambar 6 Pemodelan Lereng Geometri Baru

Potensi keruntuhan lereng geometri baru tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7 Potensi Kelongsoran Lereng Geometri Baru Tanpa Beban Gempa

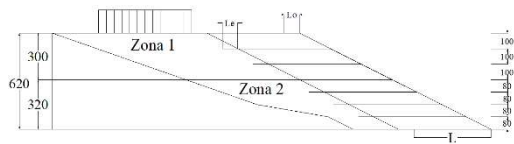


Gambar 8 Potensi Kelongsoran Lereng Geometri Baru Dengan Beban Gempa

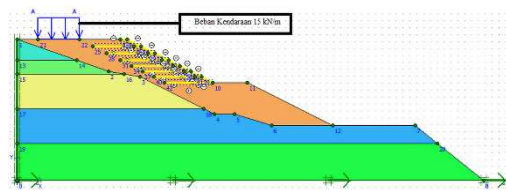
c. Lereng Geometri Baru Dengan Perkuatan Geotekstil

Pada penelitian ini untuk analisis stabilitas lereng dengan geometri baru tanpa Perkuatan geotekstil dihitung dengan menggunakan program Plaxis 8.6.

Panjang serta jumlah geotekstil dihitung berdasarkan stabilitas eksternal dan internal nya dan didapatkan susunan geotekstil sesuai Gambar 9 dan pemodelan pada program Plaxis 8.6 pada Gambar 10.

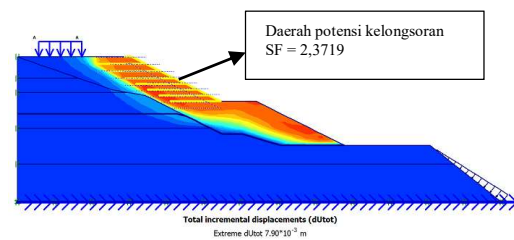


Gambar 9 Susunan Geotekstil

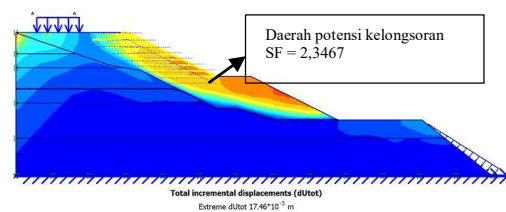


Gambar 10 Pemodelan Lereng Geometri Baru Dengan Perkuatan Geotekstil

Potensi keruntuhan lereng geometri baru perkuatan geotekstil tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11 Potensi Kelongsoran Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil Tanpa Beban Gempa

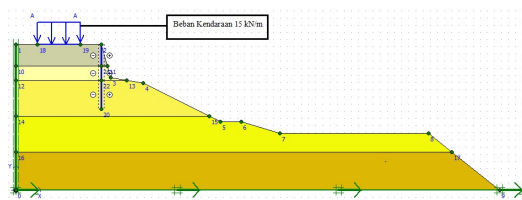


Gambar 12 Potensi Kelongsoran Lereng Geometri Baru Perkuatan Geotekstil Dengan Beban Gempa

d. Lereng Perkuatan Turap

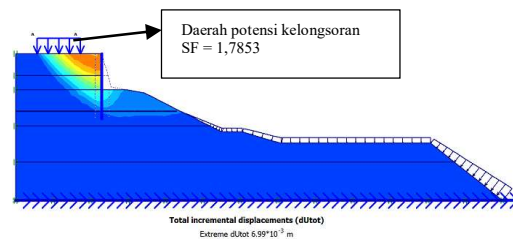
Pada penelitian ini untuk analisis stabilitas lereng dengan perkuatan turap dihitung dengan menggunakan program Plaxis 8.6.

Kedalaman turap dan tipe turap dihitung berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada turap. Adapun pemodelan pada program Plaxis 8.6 pada Gambar 13

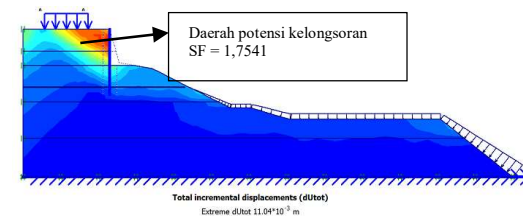


Gambar 13 Pemodelan Lereng Perkuatan Turap

Potensi keruntuhan lereng perkuatan turap tanpa dan dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15

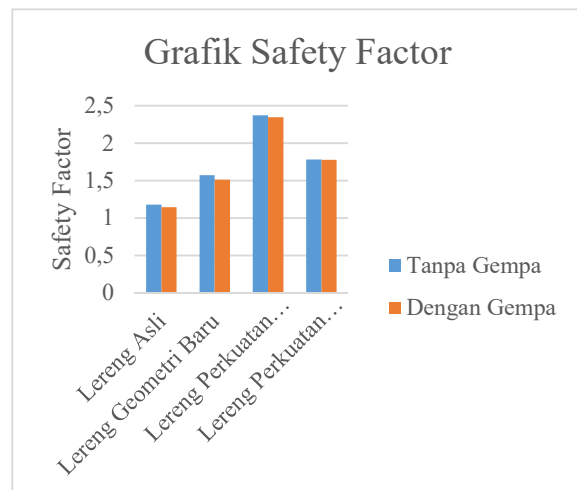


Gambar 14 Potensi Kelongsoran Lereng Perkuatan Turap Tanpa Beban Gempa



Gambar 15 Potensi Kelongsoran Lereng Perkuatan Turap Dengan Beban Gempa

Adapun gambar grafik *safety factor* dari masing masing perkuatan dapat dilihat pada Gambar 16



Gambar 16 Grafik *safety factor* dari masing masing perkuatan

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diatas, kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu.

1. Hasil analisis pada lereng asli Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta. 23 + 600 menggunakan program Plaxis 8.6, dengan pemodelan lereng asli tanpa beban gempa didapatkan *safety factor* 1,1789, sedangkan pada lereng asli dengan beban gempa didapatkan *safety factor* 1,1436, kedua nilai tersebut <1,25, maka lereng dianggap labil dan mudah longsor.
2. Hasil analisis pada lereng geometri baru pada Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta. 23 + 60 menggunakan program Plaxis 8.6, dengan pemodelan lereng geometri baru tanpa beban gempa didapatkan *safety*

factor 1,5709, sedangkan pada lereng geometri baru dengan beban gempa didapatkan *safety factor* 1,5156. Kedua nilai tersebut >1,25, maka lereng dianggap aman.

3. Hasil analisis pada lereng geometri baru dengan perkuatan geotekstil pada Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta. 23 + 60 menggunakan program Plaxis 8.6, dengan pemodelan lereng tanpa beban gempa didapatkan *safety factor* 1,7516, sedangkan pada lereng dengan beban gempa didapatkan *safety factor* 1,7475. Kedua nilai tersebut >1,25, maka lereng dianggap aman.

Hasil analisis pada lereng dengan perkuatan turap pada Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta. 23 + 60 menggunakan program Plaxis 8.6, dengan pemodelan lereng tanpa beban gempa didapatkan *safety factor* 1,7831, sedangkan pada lereng dengan beban gempa didapatkan *safety factor* 1,7776. Kedua nilai tersebut >1.25, maka lereng dianggap aman.

REFERENSI

- Azizah, F.N. 2014, “*Penggunaan Geotekstil Pada Lereng Sngai Putih Surakarta*”. Penelitian.Universitas Sebelas Maret.Surakarta.
- Bowles, J.E. 1989. “*Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah*”. Erlangga. Jakarta.
- Brinkgreve, R.B.J et al., 2007,*PLAXIS 2D-Versi 8*. Delft University of Technology and PLAXIS. Belanda.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2017, “Data Penyelidikan Tanah Jalan Jawa Timur”.
- Das.B.M, 2010. *Principles Of Geotechnical Enginesring*. 7nd ed, Cengage Learning. USA.
- Hardiyatmo, H.C. 2008. *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya*. Edisi Pertama, Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2014a. “*Teknik Fondasi I*”. Edisi Ketiga, Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C.. 2014b. “*Mekanika Tanah 2*”, 5th Ed. Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Pujianto, H. 2017.“*Pengaruh Beban Gempa Terhadap Stabilitas Lereng di Desa Sendangmulyo, Tirtomoyo,Wonogiri*”. Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Usgs.gov.,2018
- Wicaksono, E. N. 2016. “*Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Studi Kasus Jalan Pacitan-Ponorogo,Pada Lereng Sta. 228+450,Desa Gemaharjo*”.Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

TEMA E
MANAJEMEN KONSTRUKSI

Pengaruh Pengawasan Terhadap Efektivitas Dan Kinerja Tukang Pada Proyek Konstruksi Bangunan Di Surabaya

A.U.W. Ndakularak

Jurusan Teknik Sipil , Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Yogyakarta, INDONESIA
Wunu.ndakularak@gmail.com

Triwuryanto

Jurusan Teknik Sipil , Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Yogyakarta, INDONESIA
triwuryanto@itny.ac.id

S.N. Sari

Jurusan Teknik Sipil , Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Yogyakarta, INDONESIA
Sely.novita@itny.ac.id

INTISARI

Pembangunan infrastruktur menjadi salah satu faktor yang di butuhkan untuk menunjang perekonomian yang ada di Surabaya. Pelaksanaan suatu proyek konstruksi tentu tidak lepas dari adanya sumber daya manusia yang terlibat di dalamnya, maka perlu dilakukan pengawasan dan terhadap para pekerja yang sangat berpengaruh terhadap efektivitas dan kinerja pekerja pada progres proyek tersebut, sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pengawasan terhadap efektivitas tukang. Penelitian dilakukan dengan menyebarkan kuisioner kepada para pelaksana yang sedang mengerjakan proyek di Surabaya. Data yang terkumpul dianalisis dengan menggunakan metode mean, standar deviasi, uji regresi linier dengan bantuan program SPSS 22.0. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa faktor tindak pencegahan paling berpengaruh dalam pengawasan, faktor pelaksanaan kerja paling berpengaruh dalam efektivitas, dan faktor tanggung jawab yang paling berpengaruh dalam kinerja tukang. Dari hasil uji regresi linier faktor dari pengawasan yang paling dominan berpengaruh terhadap efektivitas adalah tindak pencegahan dengan pengaruh positif terhadap yaitu (+0,370) dengan presentase 35% semakin ditingkatkan tindak pencegahan maka efektivitas tukang dalam bekerja dilokasi proyek semakin baik. Sedangkan faktor dari pengawasan yang paling dominan berpengaruh terhadap kinerja tukang adalah faktor tindak pencegahan dengan pengaruh positif yaitu (+0,492) dengan presentase 38,4% ini menunjukkan semakin ditingkatkan tindak pencegahan maka kinerja tukang saat bekerja akan semakin baik.

Kata kunci: Proyek konstruksi, Pengawasan, Efektivitas tukang, Kinerja tukang

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai salah satu daerah dengan pertumbuhan ekonomi terbesar di Indonesia, dan sebagai pusat perdagangan, industri, bisnis dan pendidikan di wilayah Jawa Timur. Pembangunan infrastruktur menjadi salah satu faktor yang di butuhkan untuk menunjang perekonomian yang ada di Surabaya. Pelaksanaan suatu proyek konstruksi tentu tidak lepas dari adanya sumber daya manusia yang terlibat di dalamnya. Maka perlu dilakukan pengawasan dan dipantau terhadap sumber daya manusia yang terlibat di dalamnya demi menyukseskan suatu kegiatan proyek, pengawasan terhadap para pekerja pada suatu proyek sangat berpengaruh terhadap efektivitas dan kinerja pekerja pada progres proyek tersebut.

Efektivitas kerja para pekerja juga tidak terlepas dari pengawasan yang baik, efektifitas kerja sendiri adalah suatu pekerjaan yang menghasilkan sesuatu dan dapat diselesaikan sesuai yang direncanakan, kinerja merupakan hasil kerja yang dicapai oleh pekerja menurut ukuran yang berlaku untuk pekerjaan yang dikerjakan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, pada penelitian ini di fokuskan pada proses pengawasan dalam suatu proyek konstruksi terhadap efektivitas dan kinerja tukang dalam bekerja. Judul yang di angkat dalam penelitian ini adalah "PENGARUH PENGAWASAN TERHADAP EFEKTIVITAS DAN KINERJA TUKANG PADA PROYEK KONSTRUKSI BANGUNAN DI SURABAYA". Penelitian ini untuk mengidentifikasi faktor-faktor dalam proses pengawasan yang mempengaruhi efektivitas dan kinerja tukang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana faktor-faktor yang berpengaruh dalam pengawasan, kinerja dan efektivitas
2. Bagaimana pengaruh pengawasan terhadap kinerja tukang dalam proyek konstruksi.
3. Bagaimana pengaruh pengawasan terhadap efektivitas kerja tukang dalam proyek konstruksi.
4. Berapa presentase pengaruh pengawasan terhadap efektivitas dan kinerja tukang

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini diberikan beberapa batasan masalah agar penelitian ini dapat terfokus dan terarah, sehingga tujuan penelitian ini dapat tercapai dengan maksimal, adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

- a) Lokasi pengambilan data di Surabaya Timur dan Surabaya Selatan
- b) Responden dalam penelitian ini, yaitu para pelaksana, Site Manager, Site Engineer, Quantity Surveyor, Project Manager, Quality Control
- c) Metode pengumpulan data adalah dengan kusioner.
- d) Pengolahan data dengan metode mean, metode standar deviasi dan uji regresi linier.
- e) Kualifikasi kontraktor yang di pilih yaitu kualifikasi usaha besar

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat bagi penulis, pengawas, dan pekerja, adapun manfaat penelitian ini, yaitu:

- a) Bagi penulis: dengan penelitian ini penulis mendapatkan tambahan pengetahuan serta pembelajaran lebih mengenai hal – hal apa yang harus dilakukan saat mengawasi para pekerja agar para tukang lebih efektif dalam bekerja serta kinerjanya semakin baik.
- b) Bagi pengawas: penelitian ini bermanfaat sebagai masukan untuk para pengawas agar lebih memerhatikan kinerja para pekerja yang dapat dipantau dari sisi pengawasan dan efektivitas kerja.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengawasan

Pengawasan itu adalah proses melalui manajer berusaha memperoleh keyakinan bahwa apa yang

dilakukan sesuai dengan perencanaannya (Kertonegoro, 1998). pengawasan dilakukan bertujuan untuk mencegah terjadinya deviasi dalam operasional atau rencana, sehingga berbagai kegiatan operasional yang sedang berlangsung terlaksana dengan baik dalam arti bukan hanya sesuai rencana, akan tetapi juga tingkat efisiensi dan efektivitas yang setinggi mungkin. (Siagian, 2002).

Pengawasan adalah untuk meyakinkan pengawas bahwa apa yang dikerjakan adalah kegiatan operasional yang sedang berlangsung dengan usaha yang maksimal agar target dari perencanaan dapat tercapai, dengan terus melakukan pencegahan terhadap hambatan-hambatan yang akan terjadi, serta tindakan pemecahan masalah pada saat pekerjaan sedang berlangsung

2.2 Efektivitas Kerja

Efektivitas adalah pemanfaatan sumber daya, sarana dan prasarana dalam jumlah tertentu yang secara sadar ditetapkan sebelumnya untuk menghasilkan sejumlah barang atas jasa kegiatan yang dijalankannya. Efektivitas menunjukkan keberhasilan dari segi tercapai tidaknya sasaran yang telah ditetapkan. Jika hasil kegiatan semakin mendekati sasaran, berarti makin tinggi efektivitasnya". (Siagian 2001). Efektivitas yang berasal dari kata efektif, yaitu suatu pekerjaan dikatakan efektif jika suatu pekerjaan menghasilkan satu unit keluaran (output). (Richard, 1980).

2.3 Kinerja

Kinerja adalah tentang melakukan pekerjaan dan hasil yang dicapai dari pekerjaan tersebut. (Wibowo, 2010). bahwa kinerja merupakan terjemahan dari performance yang berarti hasil kerja seorang pekerja, sebuah proses manajemen atau suatu organisasi secara keseluruhan, dimana hasil kerja tersebut harus dapat ditunjukkan buktinya secara konkrit dan dapat diukur (dibandingkan dengan standar yang telah ditentukan). (Sedarmayanti, 2011)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data primer dan sekunder. Data primer yaitu data yang diperoleh/dikumpulkan langsung dari responden melalui kuesioner. Data sekunder yaitu data yang diperoleh dari tinjauan pustaka yang berhubungan dengan pengaruh pengawasan terhadap efektivitas dan kinerja tukang pada proyek konstruksi gedung.

3.2 Pengolahan Data Penelitian

3.2.1 Uji Validitas

Validitas adalah suatu ukuran yang menunjukkan bahwa variable yang diukur memang benar-benar variable yang hendak diteliti (Cooper dan Schinder, 2006). Uji validitas digunakan untuk mengukur sah atau valid tidaknya suatu kuesioner. Suatu kuesioner dikatakan valid jika pertanyaan pada kusioner mampu untuk mengungkapkan sesuatu yang akan diukur oleh kuesioner tersebut (ghozali, 2009). Uji validitas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$r_{XY} = \frac{N(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(N(\sum X^2) - (\sum X)^2)(N(\sum Y^2) - (\sum Y)^2)}} \quad (1)$$

dimana N adalah jumlah responden, Y adalah skor total, X adalah skor pertanyaan tiap nomor, r_{XY} adalah koefisien korelasi.

3.2.2 Metode Mean

Metode analisis ini berguna untuk menentukan dan memberikan prioritas terhadap variabel studi. Analisis mean merupakan teknik penjelasan kelompok yang didasarkan dari nilai rata-rata. Nilai rata-rata akan digunakan untuk menentukan faktor-faktor yang paling berpengaruh dari tiap variabel. Mean dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

dimana n adalah jumlah responden, X adalah nilai rata-rata(mean), X_i adalah jumlah nilai yang diberikan responden ke-i.

3.2.3 Metode Standar Deviasi

Standar deviasi merupakan salah satu teknik statistik yang digunakan untuk menjelaskan homogenitas kelompok ataupun sering diartikan variasi sebaran data. Semakin kecil nilai sebarannya berarti variasi nilai data semakin sama jika bernilai 0, maka nilai semua datanya adalah sama. Semakin besar nilai sebarannya maka data akan semakin bervariasi.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

dimana n adalah jumlah responden, X adalah nilai rata-rata(mean) dari masing-masing faktor, X_i adalah jumlah nilai faktor yang diberikan responden ke-i, S adalah standar deviasi.

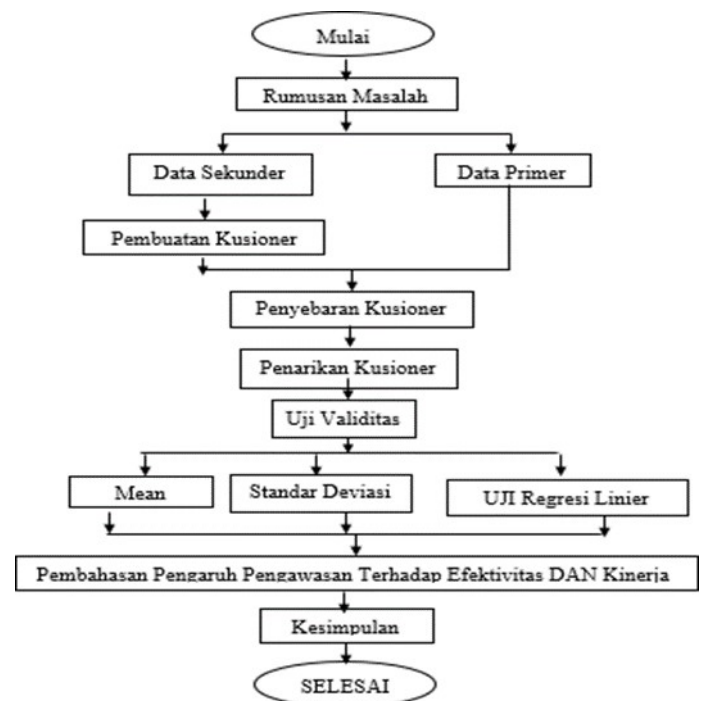
3.2.4 Uji Regresi Linier Berganda

Analisis regresi merupakan satu analisis yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain. Dalam penelitian ini variabel pengawasan (X) akan dicari pengaruhnya terhadap variabel efektivitas kerja dan variabel kinerja pekerja (Y). Rumus dari regresi linier adalah sebagai berikut:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 \quad (4)$$

dimana Y adalah variabel efektivitas kerja/kinerja tukang, X₁,X₂,X₃ adalah nilai rata-rata(mean) faktor-faktor yang mempengaruhi pengawasan, b₁,b₂,b₃,b₄ adalah variabel pengawasan, a adalah konstanta, pada uji regresi juga meliputi beberapa pengujian yaitu uji Normalitas utuk mengetahui faktor-foktor pada pengawasan apakah terdistribusi normal atau tidak terhadap efektivitas dan kinerja, korelasi untuk mengetahui faktor-faktor dari pengawasan yang memiliki pengaruh terbesar terhadap efektivitas dan kinerja faktor yang memiliki korelasi terbesar yang akan dimasukan kedalam persamaan, uji R² untuk mengetahui bereapa persen pengaruh faktor tersebut terhadap efektivitas dan kinerja, dan uji T untuk mengetahui apakah faktor tersebut apakah berpengaruh secara signifikan atau tidak.

3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Rekapitulasi Kesimpulan Hasil Penelitian

Rekapitulasi kesimpulan hasil penelitian yang berupa analisis pengujian kusioner dan *output* SPSS 22.0 sebagai berikut:

4.1.1 Hasil Rekapitulasi Analisis Variabel

4.1.1.1. Dari analisis data tiap variabel, didapat faktor yang paling mempengaruhi variabel pengawasan, efektivitas dan kinerja tukang dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Hasil analisis pada variabel pengawasan menunjukkan bahwa faktor tindak pencegahan merupakan faktor tertinggi yang berpengaruh terhadap pengawasan dengan nilai mean 4,257

- b) Hasil analisis pada variabel efektivitas tukang menunjukkan bahwa faktor pelaksanaan kerja merupakan faktor tertinggi yang berpengaruh terhadap efektivitas tukang dengan nilai mean 3,984
- c) Hasil analisis pada variabel kinerja tukang menunjukkan bahwa faktor tanggung jawab merupakan faktor tertinggi yang berpengaruh terhadap kinerja tukang dengan nilai mean 4,074

4.1.2 4.1.2. Hasil Rekapitulasi output SPSS 22.0 Analisis data menggunakan aplikasi SPSS 22.0 digunakan untuk melakukan uji validitas, uji korelasi, persamaan regresi, uji R dan uji T hasil dari analisis SPSS dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi output SPSS 22.0

PENGUJIAN	HASIL
UJI VALIDITAS	Dari 57 pertanyaan terdapat 53 item yang valid dan 4 item yang tidak valid atau gugur Item yang digunakan untuk pengujian selanjutnya hanya sebanyak 53 item yang valid saja (tidak perlu penyebaran ulang)
UJI NORMALITAS	Dari hasil uji normalitas pada variabel efektivitas tukang(Y1) terhadap faktor- faktor dalam pengawasan (X1,X2,X3,X4) di dapat nilai $0,127 > 0,05$ disimpulkan bahwa variabel X terhadap variabel Y1 terdistribusi normal Dari hasil uji normalitas pada variabel kinerja tukang(Y2) terhadap faktor-faktor dalam pengawasan (X1,X2,X3,X4) di dapat nilai $0,200 > 0,05$ disimpulkan bahwa variabel X terhadap variabel Y2 terdistribusi normal
UJI KORELASI	Faktor tindak pencegahan memiliki nilai korelasi yang tinggi terhadap variabel kinerja tukang yaitu sebesar 0,620 Faktor tindak pencegahan (X2) memiliki nilai korelasi yang tinggi terhadap variabel efektivitas tukang yaitu sebesar 0,591
Persamaan Regresi	Persamaan regresi untuk pengaruh pengawasan terhadap efektivitas tukang didapat yaitu: $Y = 2,358 + 0,370X_2$ Faktor tindak pencegahan (X2) berpengaruh secara positif terhadap efektivitas tukang (+0,370) Persamaan regresi untuk pengaruh pengawasan terhadap kinerja tukang didapat yaitu: $Y = 1,786 + 0,492X_2$
Uji Koefisien Determinasi (Uji R^2)	Faktor tindak pencegahan (X2) berpengaruh secara positif terhadap kinerja tukang (+0,492) Faktor tindak pencegahan dari variabel pengawasan berpengaruh sebesar 38,4% terhadap kinerja tukang dan 61,6% adalah faktor lain yang mempengaruhi kinerja tukang Faktor tindak pencegahan dari variabel pengawasan berpengaruh sebesar 35,4 % terhadap efektivitas tukang dan 64,6 % adalah faktor lain yang mempengaruhi efektivitas tukang
Uji Secara Parsial (Uji T)	Faktor tindak pencegahan dari variabel pengawasan menunjukkan bahwa $t_{hitung} > t_{tabel} = 4,672 > 2,030$ maka faktor tindak pencegahan (X2) berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja tukang(Y1) Faktor tindak pencegahan dari variabel pengawasan menunjukkan bahwa $t_{hitung} > t_{tabel} = 4,340 > 2,030$ maka faktor tindak pencegahan (X2) berpengaruh secara signifikan terhadap efektivitas tukang (Y2)

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data penelitian dari 37 responden yang berprofesi sebagai pelaksana diproyek konstruksi, kemudian diolah dan dianalisis menggunakan program Microsoft Excel dan SPSS 22.0, ada beberapa kesimpulan berdasarkan hasil analisis data, yaitu sebagai berikut:

- a. Dari hasil rekapitulasi mean terhadap pengawasan menunjukkan bahwa yang paling berpengaruh dari pengawasan adalah tindak pencegahan dengan nilai mean 4,257, sedangkan hasil rekapitulasi mean dari efektivitas tukang adalah pelaksanaan kerja dengan nilai mean 3,984 dan kinerja tukang adalah tanggung jawab dengan nilai mean 4,074
- b. Analisis menggunakan regresi linier berganda pada pengaruh pengawasan terhadap efektivitas dan kinerja tukang pada proyek konstruksi di Surabaya. Setelah melalui proses pengujian dengan metode *stipwise* disimpulkan bahwa:
 - a. Dalam mencari pengaruh pengawasan terhadap kinerja hanya tindakan pencegahan yang berpengaruh dominan terhadap kinerja, nilai *t* tindakan pencegahan (X_2) sebesar 4,673
 - c. *t* tabel 2,030, maka tindakan pencegahan memiliki pengaruh secara signifikan terhadap kinerja.
 - a. Persamaan regresi menunjukkan bahwa tindak pencegahan memiliki pengaruh positif terhadap kinerja yaitu (+0,492). Harga koefisien positif menunjukkan adanya hubungan yang searah antara variabel dependen dan variabel bebas, maka semakin diterapkan tindak pencegahan maka semakin baik kinerja tukang pada proyek konstruksi.
 - d. Analisis menggunakan regresi linier berganda pada pengaruh pengawasan terhadap efektivitas dan kinerja tukang pada proyek konstruksi di Surabaya. Setelah melalui proses pengujian dengan metode *stipwise* disimpulkan bahwa:
 - a. Dalam mencari pengaruh pengawasan terhadap efektivitas hanya tindakan pencegahan yang berpengaruh dominan terhadap efektivitas, nilai *t* tindakan pencegahan (X_2) sebesar 4,340 > *t* tabel 2,030, maka tindakan pencegahan memiliki pengaruh secara signifikan terhadap kinerja.
 - b. Persamaan regresi menunjukkan bahwa tindak pencegahan memiliki pengaruh positif terhadap efektivitas yaitu (+0,370). Harga koefisien positif menunjukkan adanya hubungan yang searah antara variabel dependen dan variabel bebas, maka semakin diterapkan tindak pencegahan maka semakin baik efektivitas tukang pada proyek konstruksi.
- b) Dari hasil uji *R2* diketahui bahwa faktor tindak pencegahan dari variabel pengawasan berpengaruh sebesar 38,4% terhadap kinerja tukang, dan berpengaruh sebesar 35,4 % terhadap efektivitas tukang

5.2 Saran

Setelah penulis melaksanakan penelitian tugas akhir tentang pengaruh pengawasan terhadap efektivitas dan kinerja tukang pada proyek konstruksi di Surabaya, ada beberapa hal yang dapat di jadikan saran peneliti untuk pembaca sekalian mungkin dapat di jadikan pertimbangan dan masukan di masa yang akan datang, yakni:

- a. penelitian ini hendaknya di kembangkan lagi baik tema maupun runag lingkup penelitiannya.
- b. ada baiknya untuk penelitian selanjutnya yang ingin mengembangkan topik ini dapat menambahkan beberapa pertanyaan tambahan yang lain untuk tingkat keakuratan hasil penelitian.
- c. Ada baiknya penelitian selanjutnya yang ingin mengembangkan topik ini dapat berpindah kota dengan kegiatan konstruksi yang banyak sehingga data-data yang didapat lebih akurat

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Tuhan Yang Maha Esa, ayah dan ibu serta keluarga besar yang selalu mendukung tiap proses yang dilalui, sehingga skripsi dan jurnal ini dapat terselesaikan, dan juga kepada Dosen pembimbing yang sudah bersedia membimbing dan mengarahkan sehingga skripsi dan jurnal ini dapat terselesaikan, kepada teman-teman dan berbagai pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu terimakasih sudah banyak membantu setiap proses yang dilewati. Semoga Tuhan selalu melindungi kita.

REFERENSI

- Cooper, Donald R, dan Pamela S. Schindler, 2006. Metode Riset Bisnis. Jakarta : PT Media Global Edukasi
- Ghozali, Iman. 2009. “ Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program SPSS” Semarang: UNDIP
- Sedarmayanti, 2011, Manajemen Sumber Daya Manusia, Reformasi Birokrasi dan Manajemen Pegawai Negeri Sipil (cetakan kelima). Bandung : PT Refika Aditama

Siagian, P. S., 2001, Manajemen Sumber Daya Manusia, Jakarta: Bumi Aksara.

Siagian, P. S., 2002, Kepemimpinan Organisasi & Perilaku Administrasi, Jakarta: Penerbit Gunung Agung.

Wibowo. (2010). Manajemen Kinerja. Jakarta: Rajawali Press.

.5

Pengaruh Kinerja Pelaksanaan Proyek Dengan Sistem Pembayaran Berdasarkan Termin Pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung di Provinsi DIY

Fajri Istiana

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Yogyakarta, INDONESIA
Fajriistiana5958@gmail.com

H. Triwuryanto

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Yogyakarta, INDONESIA
triwuryanto@itny.ac.id

Sely Novita Sari

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Yogyakarta, INDONESIA
sely.novita@itny.ac.id

INTISARI

Kinerja proyek konstruksi masih bertumpu pada sumber daya manusia, teknologi, biaya beserta sistem pembayarannya. Penelitian ini difokuskan pada pengaruh sistem pembayaran termin terhadap kinerja suatu proyek konstruksi. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja pelaksanaan proyek dengan sistem pembayaran berdasarkan termin terhadap kontraktor dan mengetahui besar persentase faktor yang mempengaruhi kinerja pelaksanaan proyek dengan sistem pembayaran berdasarkan termin terhadap kontraktor. Metode pengumpulan data pada penelitian ini adalah penelitian lapangan dan tinjauan pustaka. Peneliti mendapatkan informasi yang berhubungan dengan pengaruh kinerja pelaksanaan proyek dengan sistem pembayaran berdasarkan termin pada proyek konstruksi bangunan gedung di provinsi DIY. Data yang terkumpul diuji dengan metode uji validitas, mean, standar deviasi dan regresi linier. Berdasarkan analisa data yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pembayaran dilakukan dengan melihat prosentase kemajuan proyek memiliki nilai mean 2,562 dan standar deviasi 0,982 dan prosedur pembayaran yang lambat karena banyak tahapan proses memiliki nilai mean 2,34 dan standar deviasi 0,94 serta pelaksanaan pekerjaan proyek menjadi terlambat dari waktu yang telah ditentukan memiliki nilai mean 2,375 dan nilai standar deviasi 1,099. Berdasarkan analisis regresi, variabel yang mempengaruhi kinerja pelaksanaan proyek sebesar 15,9%, sisanya 84,1% di pengaruhi oleh variabel lainnya.

Kata kunci: Kinerja, Konstruksi, Kontraktor, Proyek, Tahap

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proyek konstruksi merupakan suatu rangkaian kerja yang hanya satu kali dilaksanakan dan umumnya berjangka waktu pendek, dengan sumber daya terbatas untuk melaksanakan suatu tugas yang telah ditentukan berupa pembangunan. Sumber daya pada proyek konstruksi diantaranya berupa tenaga kerja, peralatan, material, metode dan finansial. Finansial berperan penting dalam pengerjaan suatu proyek konstruksi karena dapat mempengaruhi berjalan atau tidaknya suatu proyek. Sebelum pelaksanaan konstruksi berjalan, biasanya dimulai dengan penyusunan rencana kerja waktu kegiatan yang disesuaikan dengan metode konstruksi yang akan digunakan agar tercapai kinerja yang maksimal.

Kinerja pada proyek konstruksi memiliki pengertian yang beranekaragam berkaitan dengan aspek ekonomi, kesejahteraan, teknologi, dan sumber daya. Kinerja menjadi salah satu faktor terpenting yang bisa saja menyebabkan kegagalan dalam proyek tersebut. Komponen-komponen kinerja untuk proyek konstruksi masih bertumpu pada aspek sumber daya yang meliputi sumber daya manusia (SDM), teknologi dan biaya beserta sistem pembayarannya.

Sistem pembayaran pada proyek konstruksi memiliki berbagai macam bentuk. Dalam perpres 54 tahun 2010 pasal 89 ayat 1 pembayaran prestasi pekerjaan dapat dilakukan dalam bentuk pembayaran bulanan, pembayaran berdasarkan tahapan penyelesaian pekerjaan (termin) dan pembayaran sekaligus setelah penyelesaian pekerjaan.

Sistem pembayaran termin yang sering digunakan dalam pasal perencanaan dan syarat- syarat pekerjaan konstruksi gedung memiliki 6 (enam) tahapan angsuran, angsuran ke pertama 20% dari harga borongan dibayar bila pondamen telah selesai, angsuran kedua 20% dari harga borongan dibayar bila pasangan batu bata rata dengan kuda-kuda, angsuran ketiga 20% dari harga borongan dibayar bila atap ditutup dengan genteng, angsuran keempat 20% dari harga borongan dibayar bila plesteran dan ubin telah dipasang, angsuran kelima 15% dari harga borongan, dibayar bila pekerjaan telah selesai seluruhnya dan diterima oleh direksi, dan angsuran keenam 5% dari biaya borongan dibayar setelah 6 (enam) bulan dan telah menyelesaikan pekerjaan pembetulan diterima direksi.

Kesuksesan sebuah proyek konstruksi tidak terlepas dari baik tidaknya tingkat kinerja pada pelaksanaan pekerjaan proyek konstruksi itu sendiri. Kinerja pada proyek konstruksi masih bertumpu pada aspek sumber daya yang meliputi sumber daya manusia (SDM) , teknologi dan biaya beserta sistem pembayarannya. Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini lebih difokuskan pada pengaruh sistem pembayaran termin terhadap kinerja suatu proyek konstruksi. Judul yang digunakan dalam penelitian ini adalah “ Pengaruh kinerja pelaksanaan proyek dengan sistem ppembayaran berdasarkan termin pada proyek konstruksi bangunan gedung di Provinsi DIY “.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

- b) Faktor-faktor apakah yang mempengaruhi kinerja pelaksanaan proyek dengan sistem pembayaran berdasarkan termin terhadap kontraktor
- c) Berapa persentase faktor yang mempengaruhi kinerja pelaksanaan proyek dengan sistem pembayaran berdasarkan termin terhadap kontraktor

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja pelaksanaan proyek dengan sistem pembayaran berdasarkan termin terhadap kontraktor
- b) Mengetahui besar persentase faktor yang mempengaruhi kinerja pelaksanaan proyek dengan sistem pembayaran berdasarkan termin terhadap kontraktor

1.4 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini terbagi menjadi dua manfaat :

- a) Manfaat secara teoritis
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tentang pengaruh kinerja pelaksanaan proyek dengan sistem pembayaran berdasarkan termin pada proyek konstruksi bangunan.
- b) Manfaat secara praktis
Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat melalui analisis yang dipaparkan sebagai evaluasi dan pembelajaran untuk memudahkan pelaksana proyek konstruksi bangunan gedung di Provinsi DIY dalam mempertimbangkan sistem pembayaran yang harus digunakan.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini ada beberapa batasan masalah yang ditentukan agar penelitian lebih terfokus sehingga tidak menyimpang dari rumusan masalah yang telah dituliskan diatas, yaitu sebagai berikut :

- a) Objek penelitian dilakukan pada proyek konstruksi bangunan gedung di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta
- b) Responden penelitian adalah *project manager*, *site manager* yang bekerja pada kontraktor dan pengawas lapangan yang bekerja pada manajemen konstruksi
- c) Metode pengumpulan data adalah dengan kuesioner dan dianalisis menggunakan SPSS dengan metode mean, standar deviasi,regresi linier dan validitas
- d) Dalam penelitian ini, peneliti membahas macam-macam kontrak dan cara pembayaran sistem termin

2. HASIL

a. Uji Validitas

Persamaan untuk mencari nilai validitas adalah: $r_{XY} =$

$$\frac{N(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(N(\sum X^2) - (\sum X)^2)(N(\sum Y^2) - (\sum Y)^2)}} \quad (1)$$

dimana r_{xy} adalah koefisiensi korelasi, X adalah skor pertanyaan tiap nomor, Y adalah skor total dan N adalah jumlah responden

Tabel 1 Hasil uji validitas Pembagian Tahapan Pembayaran

Pembagian Tahapan Pembayaran	Nilai R hitung	Nilai R table	Keputusan
Pembayaran dilakukan dengan melihat kemajuan fisik bulanan proyek	0,685	0,349	Valid
Pembayaran dilakukan dengan melihat prosentase kemajuan fisik proyek	0,491	0,349	Valid
Pembayaran dilakukan tiap tahapan konstruksi, misalnya : pondasi, struktur, finishing	0,518	0,349	Valid
Pembayaran dilakukan secara pendanaan penuh	0,627	0,349	Valid

*Olah Data 2019

Tabel 2 Hasil uji validitas Faktor-faktor penyebab tidak sesuainya pelaksanaan pembayaran

Faktor-faktor penyebab tidak sesuainya pelaksanaan pembayaran	Nilai R hitung	Nilai R table	Keputusan
Waktu pembayaran termin tidak sesuai dengan yang tercantum didalam kontrak	0,495	0,349	Valid
Prosedur pembayaran yang lambat karena banyak tahapan proses	0,517	0,349	Valid
<i>Owner</i> melakukan pembayaran yang besarnya tidak sesuai termin	0,491	0,349	Valid
<i>Owner</i> kurang paham tentang sistem pembayaran berdasarkan termin	0,751	0,349	Valid
Adanya konflik antara pemilik dengan kontraktor	0,629	0,349	Valid

*Olah Data 2019

Tabel 3 Hasil uji validitas dampak dari penyimpangan pelaksanaan jadwal pembayaran

Dampak dari penyimpangan pelaksanaan jadwal pembayaran	Nilai R hitung	Nilai R table	Keputusan
Terlambatnya pembayaran dari kontraktor kepada subkontraktor	0,388	0,349	Valid
Hubungan antara kontraktor dan <i>owner</i> menjadi buruk	0,779	0,349	Valid
Kontraktor mengakhiri kontrak dan menagih pembayaran kepada <i>owner</i> atas semua pekerjaan yang telah dilakukan dan kerugiannya.	0,739	0,349	Valid
Pelaksanaan pekerjaan proyek menjadi terlambat dari waktu yang telah ditentukan	0,570	0,349	Valid
Kontraktor menggunakan uang pribadi agar proyeknya tetap berjalan dan selesai tepat waktu	0,367	0,349	Valid

*Olah Data 2019

Tabel 4 Hasil uji validitas antisipasi terhadap keterlambatan pelaksanaan jadwal pembayaran

Antisipasi terhadap keterlambatan pelaksanaan jadwal pembayaran	Nilai R hitung	Nilai R table	Keputusan
Orang-orang dari pihak <i>owner</i> diberi informasi yang cukup atas hal-hal mengenai pembayaran, sehingga waktu untuk menyetujui permohonan pembayaran menjadi minimum	0,499	0,349	Valid
Kontraktor harus memahami detail sistem pembayaran <i>owner</i> termasuk juga mengenali pegawai yang terlibat	0,575	0,349	Valid
Kontraktor mengatur biaya/pengeluaran proyek melalui negoisasi dengan subkontraktor	0,373	0,349	Valid
Diberlakukannya sanksi dan denda	0,749	0,349	Valid
Kontraktor mendapatkan pinjaman dana dari bank dengan memberikan sertifikat pembayaran kemajuan dari <i>owner</i> yang berjanji akan membayar dalam tenggang waktu tertentu	0,685	0,349	Valid

*Olah Data 2019

3. METODOLOGI

Persamaan untuk mencari nilai mean adalah:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

dimana \bar{X} adalah nilai rata-rata (mean), n adalah jumlah responden dan x_i adalah jumlah nilai yang diberikan responden ke- i persamaan untuk mencari standar deviasi adalah

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

dimana S adalah standar deviasi, x_i adalah jumlah nilai faktor yang diberikan responden ke- i , \bar{x} adalah nilai rata-rata (mean) dari masing-masing faktor dan n adalah jumlah responden.

Tabel 5 Pembagian Tahapan Pembayaran (* Survei Lapangan 2019)

Pertanyaan	Mean	Standar Deviasi	Rangking
Pembayaran dilakukan dengan melihat kemajuan fisik bulanan proyek	1,969	1,204	3
Pembayaran dilakukan dengan melihat prosentase kemajuan fisik proyek	2,562	0,982	1
Pembayaran dilakukan tiap tahapan konstruksi, misalnya : pondasi, struktur, finishing	2,094	1,118	2
Pembayaran dilakukan secara pendanaan penuh	1,906	1,201	4

Tabel 6 Faktor-Faktor Penyebab Tidak Sesuai Pelaksanaan Pembayaran (*Survei Lapangan 2019)

Pertanyaan	Mean	Standar Deviasi	Rangking
Waktu pembayaran termin tidak sesuai dengan yang tercantum didalam kontrak	1,969	1,121	2
Prosedur pembayaran yang lambat karena banyak tahapan proses biaya kerusakan dan denda atas keterlambatan yang telah diantisipasi	2,34	0,94	1
Owner melakukan pembayaran yang besarnya tidak sesuai termin	1,84	1,08	4
Owner kurang paham tentang sistem pembayaran berdasarkan termin	1,91	1,12	3
Adanya konflik antara pemilik dengan kontraktor	1,84	1,17	5

Tabel 7 Dampak dari penyimpangan pelaksanaan jadwal pembayaran (*Survei Lapangan 2019)

Pertanyaan	Mean	Standar Deviasi	Rangking
Terlambatnya pembayaran dari kontraktor kepada subkontraktor	1,969	1,204	5
Hubungan antara kontraktor dan owner menjadi buruk	2	0,984	4
Kontraktor mengakhiri kontrak dan menagih pembayaran kepada owner atas semua pekerjaan yang telah dilakukan dan kerugiannya.	2,094	1,228	2
Pelaksanaan pekerjaan proyek menjadi terlambat dari waktu yang telah ditentukan	2,375	1,099	1
Kontraktor menggunakan uang pribadi agar proyeknya tetap berjalan dan selesai tepat waktu	2,031	1,092	3

Tabel 8 Antisipasi terhadap keterlambatan pelaksanaan jadwal pembayaran (*Survei Lapangan 2019)

Antisipasi terhadap keterlambatan pelaksanaan jadwal pembayaran	Mean	Standar Deviasi	Rangking
Orang-orang dari pihak owner diberi informasi yang cukup atas hal-hal mengenai pembayaran, sehingga waktu untuk menyetujui permohonan pembayaran menjadi minimum	2,187	1,061	5
Kontraktor harus memahami detail sistem pembayaran owner termasuk juga mengenali pegawai yang terlibat	2,75	0,803	3
Kontraktor mengatur biaya/pengeluaran proyek melalui negoisasi dengan subkontraktor	2,844	0,847	2
Diberlakukannya sanksi dan denda	2,875	0,833	1
Kontraktor mendapatkan pinjaman dana dari bank dengan memberikan sertifikat pembayaran kemajuan dari owner yang berjanji akan membayar dalam tenggang waktu tertentu	2,25	1,107	4

4. HASIL UJI REGRESI

Tabel 9 Tabel Rekapitulasi Output SPSS 22.0

Pengujian	Hasil
Uji Normalitas	Nilai (Sig.> 0,05) disimpulkan bahwa semua variable independents (X) terhadap variable dependent (Y) terdistribusi normal.
<i>Model Summary</i>	0,159 yang berarti hanya 15,9 % dari semua variabel yang diteliti dapat mempengaruhi kinerja pelaksanaan proyek
Uji Koefisien Regresi secara Parsial (Uji t)	Semua variabel menunjukkan bahwa $t_{hitung} < t_{tabel}$ 2,048 dan hasil nilai Sig. > 0,05 berarti semua faktor tidak berpengaruh signifikan terhadap kesuksesan proyek
Uji Koefisien Regresi Secara Simultan (Uji F)	Sig. 0,176 > 0,005 dan nilai F hitung 1,770 < 2,93 tidak berpengaruh secara simultan

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan, faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja pelaksanaan proyek dengan sistem pembayaran berdasarkan termin adalah pembayaran dilakukan dengan melihat bobot prestasi kemajuan proyek pada pembagian tahapan pembayaran menjadi faktor tertinggi dengan nilai mean 2,562 dan standar deviasi 0,982 dan prosedur pembayaran yang lambat karena banyak tahapan proses memiliki nilai mean 2,34 dan standar deviasi 0,94 serta pelaksanaan pekerjaan proyek menjadi terlambat dari waktu yang telah ditentukan memiliki nilai mean 2,375 dan nilai standar deviasi 1,099.

Berdasarkan analisis regresi, variabel pembagian tahapan pembayaran, faktor-faktor penyebab tidak sesuai pelaksanaan pembayaran dan dampak dari penyimpangan pelaksanaan jadwal pembayaran mempengaruhi kinerja pelaksanaan proyek sebesar 15,9%, sisanya 84,1% di pengaruhi oleh variabel lainnya.

REFERENSI

- Djojowiriono, S., 2001, "Manajemen Konstruksi". KMTS FT UGM, Yogyakarta
- Ervianto, W. I., 2005. "Manajemen proyek konstruksi". Andi, Yogyakarta
- Indrajad, Ratih Dwi, 2019 "Analisis Pengaruh Manajemen Konstruksi Terhadap Kesuksesan Operasional Proyek di Kabupaten Sleman dan Kota Madya Yogyakarta" Skripsi Teknik Sipil ITNY, Yogyakarta
- Soeharto, I., 1997. "Manajemen Proyek". Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Soeharto, I., 2001. "Manajemen Proyek Jilid 2(Dari Konseptual Sampai Operasional)". Erlangga, Jakarta.
- Suparto, 2014. "Pengolahan data dengan program SPSS"

Manajemen Risiko Berbasis Kinerja Biaya Pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi Pelabuhan Laut

C.P. Hudoyo

Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma, Purwokerto, INDONESIA
citrapradipta@unwiku.ac.id

N.A.S. Purwono

Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma, Purwokerto, INDONESIA
novi_andhisp@yahoo.com

I. Rustendi

Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma, Purwokerto, INDONESIA
iwanrustendi72@gmail.com

S.A. Pramono

Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma, Purwokerto, INDONESIA
susatyoadhip@gmail.com

INTISARI

Industri konstruksi yang semakin marak memerlukan perhatian khusus terhadap kemungkinan terjadinya risiko. Terjadinya risiko buruk akan berdampak terhadap pencapaian kinerja waktu, biaya maupun kualitas pada proyek konstruksi. Pelaksanaan manajemen risiko merupakan hal penting demi menjaga ketiga kinerja tersebut dengan cara mengidentifikasi, menganalisis, merespon risiko. Penelitian ini menggunakan berbagai literatur terbaru mengenai risiko yang dapat mempengaruhi kinerja biaya pada proyek konstruksi pelabuhan. Penelitian ini menggunakan metode survei kepada responden yang berpengalaman pada proyek konstruksi pelabuhan laut. Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai pedoman manajemen risiko pada proyek konstruksi pelabuhan laut, sehingga kontraktor dapat mengantisipasi risiko yang mempengaruhi kinerja biaya dan mengetahui respon risiko apa yang dapat dilakukan apabila risiko tersebut terjadi. Dari berbagai literatur berhasil didapatkan sebanyak 41 variabel risiko, kemudian dengan metode survei didapatkan 10 variabel risiko tertinggi. Untuk mendapatkan respon risiko dari 10 variabel risiko tertinggi dilakukan wawancara dan validasi oleh pakar konstruksi pelabuhan, sehingga penelitian ini mendapatkan 25 tindakan preventif dan 21 tindakan korektif.

Kata kunci: manajemen risiko, manajemen konstruksi, analisa risiko, respon risiko, pelabuhan laut

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sekitar 90% dari perdagangan dalam dan luar negeri bergantung kepada transportasi laut sebagai sarana pendistribusian, hal ini menyebabkan pengembangan pelabuhan sangat penting dilakukan untuk menurunkan biaya logistik. Pada saat ini terdapat sekitar 1.241 pelabuhan yang ada di Indonesia yang bersifat komersial maupun non komersial. Berdasarkan data jumlah pulau yang ada di Indonesia yaitu ada sebanyak 18.110 pulau, dapat dikatakan bahwa 1 pelabuhan melayani 14 pulau dengan rata-rata luas 1.548 km²/pelabuhan. Kondisi seperti ini tentu masih belum seimbang dibandingkan dengan negara lain di Asia, seperti Jepang dengan 3,6 pulau/pelabuhan dan 340 km²/pelabuhan serta Filipina dengan 10,1 pulau/pelabuhan dan 460 km²/pelabuhan (Kementerian PPN / Bappenas, 2015).

Penting akan adanya transportasi laut akan mendorong Indonesia untuk membangun infrastruktur transportasi laut berupa pelabuhan. Dalam perencanaan konstruksi pelabuhan diperlukan manajemen risiko agar tidak mengakibatkan adanya potensi kegagalan yang tinggi terkait kinerja biaya. Kurangnya identifikasi risiko pada proyek saat perencanaan dapat berakibat berkurangnya kinerja biaya dan waktu (Gitau, 2015).

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengidentifikasi risiko apa saja yang mungkin akan terjadi pada proyek konstruksi pelabuhan
2. Untuk mengetahui respon risiko apa saja yang dapat dilakukan untuk mengurangi frekuensi maupun dampak yang ditimbulkan variabel risiko.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Risiko

Manajemen risiko proyek mencakup proses pelaksanaan perencanaan manajemen risiko, identifikasi, analisis, perencanaan respons, implementasi respons, dan pemantauan risiko pada suatu proyek. Tujuan manajemen risiko proyek adalah untuk meningkatkan probabilitas dan / atau dampak risiko positif dan untuk mengurangi probabilitas dan / atau dampak risiko negatif, untuk mengoptimalkan peluang keberhasilan proyek (PMI, 2017).

Manajemen Risiko adalah proses formal dimana faktor risiko diidentifikasi, dianalisis, dan diatasi secara sistematis. Dalam menghadapi risiko, ada empat tahapan proses yang harus dilakukan (Kerzner H, 2005):

- Risk Identification*, adalah untuk mengamati kondisi, mengidentifikasi dan mengklarifikasi peristiwa risiko potensial
- Risk Analysis*, adalah untuk menentukan kemungkinan terjadinya risiko dan konsekuensinya
- Risk Response*, adalah tindakan yang merupakan strategi untuk mengatasi risiko yang mungkin timbul
- Lesson Learned*, adalah untuk merangkum setiap analisis, temuan dan pelajaran yang dipetik dalam mengelola risiko untuk masa mendatang

3. METODOLOGI

Dalam menentukan variabel risiko, penelitian ini menggunakan studi literatur dan risiko yang dicari adalah yang dapat mempengaruhi kinerja biaya proyek konstruksi pelabuhan laut. Kemudian dilakukan pendekatan kualitatif untuk mendapatkan peringkat risiko tertinggi dengan melakukan penyebaran kuesioner kepada para kontraktor yang memiliki pengalaman pada proyek konstruksi pelabuhan laut. Hasil peringkat risiko yang didapatkan dibawa ke para pakar yang memiliki pengalaman lebih dari 10 tahun di proyek konstruksi pelabuhan laut untuk divalidasi dan dilakukan wawancara untuk mendapatkan respon risiko terhadap variabel tersebut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Variabel Risiko

Variabel risiko didapat dari berbagai literatur yang membahas risiko pada pelaksanaan proyek konstruksi pelabuhan laut. Setelah itu variabel tersebut divalidasi oleh para pakar, apakah variabel tersebut benar dapat

mempengaruhi kinerja biaya atau tidak. Berikut adalah variabel risiko yang telah teridentifikasi.

Tabel 1. Variable Risiko yang Teridentifikasi.

Variabel Risiko Yang Mempengaruhi Kinerja Biaya Proyek	
Kategori : Paket Pekerjaan	
X1	Perubahan scope pekerjaan pada proyek
X2	Hasil pekerjaan tidak sesuai spesifikasi owner
X3	Kesalahan menghitung volume pekerjaan
X4	Perubahan desain
X5	Produktivitas subkontraktor tidak sesuai rencana
X6	Perencanaan pelabuhan yang kurang baik
Kategori : Alternatif Metode/Desain	
X7	Metode yang digunakan tidak berdasarkan kondisi lapangan
X8	Metode konstruksi yang diaplikasikan tidak sesuai perencanaan
Kategori : Aktivitas	
X9	Urutan pelaksanaan tidak sesuai prosedur
X10	Adanya aktivitas-aktivitas yang tidak dimasukkan ke anggaran biaya
Kategori : Sumber Daya Material	
X11	Harga material yang dibeli melebihi estimasi pada perencanaan
X12	Kebutuhan material saat pelaksanaan melebihi estimasi perencanaan
X13	Pemasangan material tidak terjadwal
X14	Material hilang akibat pencurian
X15	Pemakaian material melebihi volume yang seharusnya
Kategori : Sumber Daya Tenaga Kerja	
X16	Pengadaan tenaga kerja pada pelaksanaan tidak sesuai dengan kebutuhan
X17	Tenaga kerja tidak terjadwal
X18	Tenaga belum siap menggunakan metode baru
X19	Hilangnya jam kerja akibat kecelakaan kerja
X20	Penjadwalan waktu bekerja melebihi perencanaan
X21	Kualifikasi tenaga kerja tidak sesuai perencanaan
Kategori : Sumber Daya Peralatan	
X22	Pemakaian peralatan tidak terjadwal
X23	Peralatan yang digunakan tidak sesuai dengan perencanaan
X24	Produktivitas alat yang direncanakan tidak sesuai kebutuhan
X25	Spesifikasi peralatan tidak sesuai perencanaan
X26	Jumlah peralatan yang direncanakan tidak sesuai kebutuhan
X27	Harga beli/sewa alat lebih mahal dari estimasi perencanaan
Kategori : Faktor Lingkungan	
X28	Kesalahan prediksi kondisi lapangan, cuaca dan kejadian yang akan mungkin terjadi saat pelaksanaan proyek
X29	Terjadi hal di luar dugaan saat pelaksanaan konstruksi proyek seperti force majeure, bencana alam, politik dan lain-lain
X30	Kesalahan prediksi tinggi gelombang
X31	Kondisi bawah air berbeda dengan asumsi tender
X32	Gangguan dari masyarakat sekitar

Variabel Risiko Yang Mempengaruhi Kinerja Biaya Proyek	
X33	Kesalahan prediksi pasang surut air laut
X34	Status lahan tidak jelas / terjadi sengketa lahan
X35	Terjadi abrasi
X36	Belum tersedianya lahan akses masuk menuju proyek pelabuhan
X37	Terjadi pendangkalan alur pelayaran yang menyulitkan operasional kapal

b. Survei Responden

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dengan menyebarkan kuesioner yang telah divalidasi pada tahap awal dan telah dilakukan eksperimen melalui *pilot survey*. Populasi responden yang dibutuhkan dalam penelitian adalah praktisi yang memiliki pengalaman dalam proyek pelabuhan. Ada 19 kuesioner yang tersebar, kemudian ada sebanyak 15 kuesioner yang kembali dan semua kuesioner dapat digunakan. Berikut adalah profil responden penelitian ini :

Tabel 2. Profil Responden.

No	Deskripsi	Total
1	Posisi	
	o Project Manager	2
	o Chief Engineer	2
	o Engineer Sipil	5
	o Quality Control	2
	o Staff Adkon	1
2	Pengalaman Kerja	
	o <= 5 Tahun	6
	o 6 - 10 Tahun	5
	o 11 - 15 Tahun	3
	o > 16 tahun	1
3	Pendidikan	
	o D3	2
	o S1	12
	o S2	1

c. Tes Validitas dan Reliabilitas

Uji validitas merupakan uji ketepatan atau ketelitian suatu alat ukur yang memiliki tujuan menilai apakah alat ukur sudah tepat dalam mengukur hasil kuesiner yang telah disebar kepada responden. Pengujian validitas pada penelitian ini menggunakan bantuan aplikasi SPSS versi 25.

Pada penelitian ini, r tabel dilihat pada kepercayaan 95% atau signifikansi 5% untuk uji dua sisi dengan total responden berjumlah 15 orang, sehingga *degree of freedom* (df) = N - 2 = 13. Maka diperoleh r tabel = 0.514. Sedangkan untuk pengujian reliabilitas penelitian ini menggunakan metode *cronbach's alpha*. Persyaratan untuk uji reabilitas dengan metode *cronbach's alpha* yaitu :

- o Nilai Cronbach's Alpha ≤ 0.6 menunjukkan bahwa kuesioner penelitian tidak reliabel.
- o Nilai Cronbach's Alpha ≥ 0.6 menunjukkan bahwa kuesioner penelitian reliabel.

Berikut adalah hasil pengolahan data dari SPSS :

Tabel 3. Statistik Responden untuk Uji Reliabilitas

Case Processing Summary			
		N	%
Cases	Valid	15	100.0
	Excluded ^a	0	.0
	Total	15	100.0

Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa nilai N adalah sebesar 15, maka dapat disimpulkan bahwa hasil kuesioner responden yang dianalisa berjumlah 15 dan sudah valid 100%.

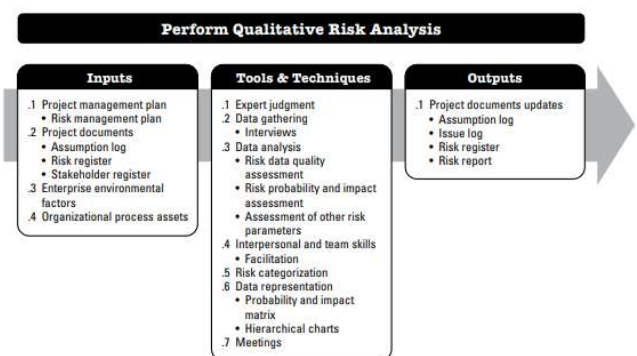
Tabel 4. Statistik Reliabilitas

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
0.726	37

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa nilai *cronbach's alpha* sebesar 0.726 dengan total jumlah variabel penelitian sebanyak 37 variabel. Dengan demikian dapat diketahui bahwa kuesioner yang telah dilakukan adalah reliabel karena nilai *cronbach's alpha* ≥ 0.6 yaitu sebesar 0.726.

d. Analisis Tingkat Risiko

Pada tahap ini dilakukan analisis tingkat risiko, data hasil pengisian kuesioner oleh responden terhadap rating frekuensi dan dampak pada masing-masing variabel risiko. Penelitian ini menggunakan proses *Perform Qualitative Risk Analysis* pada *PMBOK 6th Edition* sebagai panduan.



Gambar 1. Perform Qualitative Risk Analysis: Inputs, Tools & Techniques, and Outputs

Perform Qualitative Risk Analysis adalah proses memprioritaskan masing-masing risiko proyek untuk

analisis dan tindakan lebih lanjut dengan menilai probabilitas terjadi, dampak serta karakteristiknya. Manfaat utama dari proses ini adalah mengetahui tingkat risiko yang kemudian akan diidentifikasi oleh pemiliki risiko atau penanggung jawab risiko untuk merencanakan respon risiko yang sesuai dan memastikan respon tersebut diterapkan (PMI, 2017).

Berikut adalah nilai skala frekuensi dan dampak untuk variabel risiko :

Tabel 5. Nilai Skala Frekuensi.

Kriteria Frekuensi	SJ	J	KK	S	SS
Probabilitas	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9

*Elsye et al. (2018)

Berdasarkan tabel di atas, tingkat frekuensi menggunakan 5 kriteria dengan ketentuan SJ = sangat jarang, J = jarang, KK = kadang-kadang, S = sering, dan SS = sangat sering

Tabel 6. Nilai Skala Dampak.

Kriteria Dampak	SR	R	S	T	ST
Dampak	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80

*Elsye et al. (2018)

Berdasarkan tabel di atas, tingkat dampak menggunakan 5 kriteria dengan ketentuan SR = sangat rendah, R = rendah, S = sedang, T = tinggi, dan ST = sangat tinggi.

Selanjutnya dilakukan penentuan nilai FR (Faktor Risiko) dengan mengalikan nilai rata-rata frekuensi dengan nilai rata-rata dampak pada masing-masing variabel risiko. Dengan dilakukannya penilaian FR, maka akan didapat peringkat risiko pada proyek konstruksi pelabuhan yang berpengaruh pada kinerja biaya.

Tabel 7. *Probability and Impact Matrix*

<i>Probability</i>		<i>Treats</i>				
0.90	0.05	0.09	0.18	0.36	0.72	
0.70	0.04	0.07	0.14	0.28	0.56	
0.50	0.03	0.05	0.10	0.20	0.40	
0.30	0.02	0.03	0.06	0.12	0.24	
0.10	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08	
	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	
	<i>Very Low</i>	<i>Low</i>	<i>Moderate</i>	<i>High</i>	<i>Very high</i>	

*Elsye et al. (2018)

Berdasarkan tabel matrix di atas, didapat kisaran nilai untuk dapat menentukan peringkat risiko :

- a) Risiko rendah : 0.01 - 0.05
- b) Risiko sedang : 0.06 - 0.14
- c) Risiko tinggi : 0.18 - 0.72

Identifikasi risiko pada proyek konstruksi pelabuhan yang dapat memengaruhi kinerja biaya yang diperoleh dari studi literatur, kemudian klarifikasi dan validasi oleh para pakar. Setelah skala probabilitas dan dampak diperoleh, skor risiko dapat dihitung dengan:

$$R = P \times I \quad (1)$$

Dimana R adalah faktor risiko, P adalah probabilitas dari suatu risiko, I adalah *impact* atau dampak yang dihasilkan apabila risiko terjadi. Rumus tersebut digunakan untuk mengkalkulasi hasil survei dari total 37 responden, dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 8. Hasil Perhitungan Nilai Risiko.

Variabel	Nilai Risiko	Level Risiko	Peringkat Risiko
Kategori : Paket Pekerjaan			
X1	0.135	Sedang	20
X2	0.139	Sedang	11
X3	0.160	Tinggi	5
X4	0.098	Sedang	30
X5	0.102	Sedang	28
X6	0.137	Sedang	18
Kategori : Alternatif Metode/Desain			
X7	0.139	Sedang	14
X8	0.139	Sedang	15
Kategori : Aktivitas			
X9	0.033	Rendah	37
X10	0.052	Sedang	34
Kategori : Sumber Daya Material			
X11	0.148	Tinggi	8
X12	0.138	Sedang	16
X13	0.065	Sedang	32
X14	0.043	Rendah	36
X15	0.185	Tinggi	2
Kategori : Sumber Daya Tenaga Kerja			
X16	0.148	Tinggi	9
X17	0.063	Sedang	33
X18	0.050	Rendah	35
X19	0.106	Sedang	27
X20	0.121	Sedang	25
X21	0.169	Tinggi	3
X22	0.065	Sedang	31
X23	0.132	Sedang	22
X24	0.164	Tinggi	4
X25	0.137	Sedang	17
X26	0.139	Sedang	12
X27	0.122	Sedang	24
X28	0.149	Tinggi	7
X29	0.135	Sedang	19
X30	0.188	Tinggi	1
X31	0.151	Tinggi	6

Variabel	Nilai Risiko	Level Risiko	Peringkat Risiko
X32	0.139	Sedang	13
X33	0.146	Tinggi	10
X34	0.100	Sedang	29
X35	0.131	Sedang	23
X36	0.118	Sedang	26
X37	0.133	Sedang	21

e. Peringkat Risiko Tertinggi

Berdasarkan hasil tabel 5, dari hasil 37 kejadian risiko yang teridentifikasi, maka kami mendapatkan 10 risiko dengan peringkat tertinggi yang dapat memengaruhi kinerja biaya proyek pelabuhan, hasilnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 9. Hasil Peringkat Risiko Tertinggi.

Variabel Risiko Yang Mempengaruhi Kinerja Proyek	Skor	Rank
X30 Kesalahan prediksi gelombang Tinggi	0.188	1
X15 Pemakaian material melebihi volume yang seharusnya	0.185	2
X21 Kualifikasi tenaga kerja tidak sesuai perencanaan	0.169	3
X24 Kekeliruan estimasi produktivitas peralatan	0.164	4
X3 Kesalahan menghitung volume pekerjaan	0.160	5
X31 Kondisi bawah air berbeda dengan asumsi tender	0.151	6
X28 Kesalahan prediksi kondisi lapangan, cuaca dan kejadian yang akan mungkin terjadi saat pelaksanaan proyek	0.149	7
X11 Harga material yang dibeli melebihi estimasi pada perencanaan	0.148	8
X16 Pengadaan tenaga kerja pada pelaksanaan tidak sesuai dengan kebutuhan	0.148	9
X33 Kesalahan prediksi pasang surut air laut	0.146	10

f. Respon Risiko

Tahap ini dilakukan validasi mengenai variabel risiko tertinggi oleh para pakar yang telah memiliki pengalaman 10 tahun di proyek konstruksi pelabuhan laut. Dan dilakukan wawancara mengenai analisis dampak dan penyebab risiko, kemudian ditentukan tindakan preventif dan korektifnya.

Risiko tertinggi di peringkat pertama adalah variabel X30, yaitu kesalahan prediksi tinggi gelombang. Penyebabnya adalah angin kencang / badai dan tidak

dilakukannya prediksi tinggi gelombang air laut, tindakan preventif yang dapat dilakukan adalah melakukan prediksi gelombang air laut dan melakukan prediksi cuaca dengan mencari data klimatologi dari BMKG. Adapun dampak yang terjadi akibat risiko ini adalah pelaksanaan pekerjaan menjadi tertunda, kerusakan konstruksi dan kecelakaan tenaga kerja. Untuk mengurangi dampak tersebut, maka dilakukan tindakan korektif berupa menambah waktu lembur pengganti *idle* pekerjaan, melakukan perbaikan konstruksi dan melakukan pengobatan dan pemberian santunan kepada korban.

Peringkat risiko kedua adalah variabel X15, yaitu pemakaian material melebihi volume yang seharusnya. Risiko ini memiliki dampak terjadinya *cost overrun* dan terdapat waste material yang cukup banyak. Untuk mengatasi dampak tersebut dapat dilakukan tindakan korektif berupa melakukan pengawasan penggunaan material dan evaluasi maupun koreksi material *handling*. Beberapa penyebabnya yaitu, adanya kesalahan perhitungan estimasi, kurangnya pengawasan dan kesalahan *handling* material. Tindakan preventif untuk mengatasi penyebab tersebut adalah, melakukan re-check, melakukan perbaikan sistem pengawasan, mempekerjakan logistik yang kompeten dan membuat prosedur material *handling*.

Peringkat risiko ketiga adalah variabel X21, yaitu kualifikasi tenaga kerja tidak sesuai perencanaan. Penyebab risiko tersebut adalah adanya kesalahan rekrutmen tenaga kerja dan tenaga HRD yang kurang kompeten. Risiko ini dapat menyebabkan target produktivitas tidak tercapai, maka perlu dilakukan tindakan korektif berupa pelatihan tenaga kerja dan mengadakan / menambah jam kerja lembur. Untuk mencegahnya perlu dilakukan tindakan preventif seperti menggunakan HRP yang kompeten dan melakukan seleksi rekrutmen lebih ketat dan teliti.

Peringkat risiko keempat adalah variabel X24, yaitu kekeliruan estimasi produktivitas peralatan. Penyebab risiko tersebut adalah kesalahan perhitungan estimasi, adanya estimator yang kurang kompeten dan kesalahan metode kerja. Risiko ini dapat memberikan dampak target produktivitas tidak tercapai. Tindakan preventif yang dapat dilakukan adalah melakukan *recheck*, mempekerjakan tenaga estimator yang kompeten, dan *review* pelaksanaan metode kerja. Tindakan korektif yang dapat dilakukan adalah mengadakan / menambah jam lembur dan pengadaan tambahan / penggantian alat.

Peringkat risiko kelima adalah variabel X3, yaitu kesalahan menghitung volume pekerjaan. Penyebab risiko tersebut didapatkan adanya kesalahan perhitungan estimasi, kesalahan membaca gambar, dan

kesalahan metode perhitungan. Risiko ini dapat mengakibatkan kesalahan dalam pembelian volume material, cost overrun, dan kekurangan material. Tindakan preventif yang dapat dilakukan adalah melakukan *recheck*, membuat panduan perhitungan estimasi, mempekerjakan estimator yang kompeten. Tindakan korektif yang dapat dilakukan adalah retur material, transfer material ke proyek lain, melakukan review dan efisiensi sisa pekerjaan dan estimasi ulang.

Peringkat risiko keenam adalah X31, yaitu kesalahan prediksi kondisi lapangan, cuaca dan kejadian yang akan mungkin terjadi saat pelaksanaan proyek. Penyebab yang dapat mengakibatkan risiko ini adalah kondisi bawah air yang sulit diprediksi dan cepat berubah. Risiko ini dapat berdampak terjadinya *cost overrun* dan pelaksanaan pekerjaan yang tertunda. Tindakan preventif yang dapat dilakukan adalah melakukan pengecekan ulang sebelum dimulai pelaksanaan. Tindakan korektif yang dapat dilakukan adalah permintaan tambahan waktu ke pihak owner, mengadakan / menambah waktu lembur dan klaim ke pihak owner atas perbedaan kondisi proyek pada tender dengan lapangan.

Peringkat risiko ketujuh adalah X28, yaitu Kesalahan prediksi kondisi lapangan, cuaca dan kejadian yang akan mungkin terjadi saat pelaksanaan proyek. Penyebab risiko ini adalah tidak mempunyai data pasang surut air laut. Risiko tersebut dapat mengakibatkan pelaksanaan pekerjaan tertunda. Tindakan preventif yang dapat dilakukan adalah mencari data pasang surut air laut. Tindakan korektif yang dapat dilakukan yaitu mengadakan / menambah jam lembur.

Peringkat risiko kedelapan adalah X11, harga material yang dibeli melebihi estimasi pada perencanaan. Penyebab terjadinya risiko ini adalah tidak dilakukannya survei harga, kelangkaan material dan strategi penentuan supplier yang kurang baik. Risiko ini dapat berdampak terjadinya *cost overrun* pada proyek. Tindakan preventif yang dapat dilakukan yaitu, melakukan survei harga, merencanakan alternatif material dan melakukan pemilihan supplier lebih teliti. Tindakan korektif yang dapat dilakukan adalah melakukan *review* dan efisiensi sisa pekerjaan, mengganti material yang setara dan lebih murah dengan persetujuan owner, mengganti material yang setara, namun lebih murah dengan persetujuan owner dan melakukan inovasi.

Peringkat risiko kesembilan adalah X16, yaitu pengadaan tenaga kerja pada pelaksanaan tidak sesuai dengan kebutuhan. Penyebab risiko kesalahan estimasi produktivitas tenaga kerja, HRD yang tidak kompeten, ketersediaan tenaga terbatas dan kesehatan tenaga kerja

yang kurang baik. Risiko tersebut dapat mengakibatkan target produktivitas tidak tercapai dan pelaksanaan pekerjaan tertunda. Tindakan preventif yang dapat dilakukan adalah dilakukan pelatihan terhadap penguasaan spesifikasi, lokasi proyek, gambar dan schedule bagi estimator, menggunakan HRD yang kompeten, menggunakan subkontraktor dan pemeriksaan kesehatan rutin. Tindakan korektif yang dapat dilakukan adalah pelatihan tenaga kerja, mengadakan jam lembur dan menambah jumlah tenaga sesuai kebutuhan.

Peringkat risiko kesepuluh adalah X33, yaitu kesalahan prediksi pasang surut air laut. Penyebabnya adalah tidak mempunyai data pasang surut air laut. Risiko ini akan mengakibatkan pelaksanaan pekerjaan tertunda. Tindakan preventif yang dapat dilakukan adalah mencari data pasang surut air laut. Tindakan korektif yang dapat dilakukan yaitu mengadakan jam lembur, menambah pekerja dan peralatan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil survei dan validasi oleh pakar, maka di dapat 10 peringkat risiko tertinggi yang berdampak pada kinerja biaya proyek pelabuhan. Risiko-risiko tersebut adalah kesalahan prediksi gelombang tinggi, pemakaian material melebihi volume yang seharusnya, kualifikasi tenaga kerja tidak sesuai perencanaan, kekeliruan estimasi produktivitas peralatan, kesalahan menghitung volume pekerjaan, kondisi bawah air berbeda dengan asumsi tender, kesalahan prediksi kondisi lapangan, cuaca dan kejadian yang mungkin terjadi saat pelaksanaan proyek, harga material yang dibeli melebihi estimasi pada perencanaan, pengadaan tenaga kerja pada pelaksanaan tidak sesuai dengan kebutuhan, dan kesalahan prediksi pasang surut air laut.

Hasil tersebut digunakan untuk menemukan penyebab dan dampaknya. Dari data penyebab risiko kemudian ditentukan tindakan preventif untuk dapat mengurangi probabilitas kemungkinan risiko terjadi, sedangkan dari data dampak digunakan untuk mencari tindakan korektif untuk mengurangi dampak yang akan timbul apabila risiko terjadi. Hasil tindakan preventif dan korektif dapat dijadikan pedoman manajemen risiko untuk proyek konstruksi pelabuhan laut.

REFERENSI

Elsye, V., Latief, Y., & Sagita, L. (2018). Development of Work Breakdown Structure (WBS) Standard for Producing the Risk Based Structural Work Safety Plan Of Building. MATEC Web of Conferences, 147, 06003.

Gitau, L.M. (2015). *The Effects Of Risk Management At Project Planning Phase Onperformance Of Construction Projects In Rwanda*, Juja.

Hudoyo, C.P., Latief, Y., & Sagita, L. (2019). *Development of WBS (Work Breakdown Structure) Risk Based Standard for Planning Cost Estimation at Port Project*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 258. 012051. 10.1088/1755-1315/258/1/012051.

Kementerian PPN / Bappenas. (2015). *Laporan Implementasi Konsep Tol Laut 2015 Direktorat Transportasi*, Jakarta: Direktorat Transportasi Bappenas.

Kerzner, H. (2005). *A System Approach to Planning, Scheduling and Controlling*, 9th edition, John Wiley & Sons, New York.

Sagita, L., Latief, Y., Budi S., and Rajasa., M (2017). *Development of Risk-Based Standarized WBS (Work Breakdown Structure) For Cost Estimation of Apartment's Project*, Depok, 822-833.

PMI (2017). *PMBOK Guide - 6th Edition*, Pennsylvania.

Tam, V. W. Y., & Shen, L. Y. (2012). *Risk Management for Contractors in Marine Projects. Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal*, 4(1), 403–410. <https://doi.org/10.5592/otmcj.2012.1.5>

Identifikasi Konsep Model Indikator Kinerja Proaktif Dan Reaktif Untuk Peningkatan Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (SMK3) (Studi Kasus: Proyek Konstruksi Gedung Bertingkat Tinggi di Kota Makassar)

Henrianto Masiku

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jl. Poros Malino km.6, Kampus Teknik Gowa, Sulawesi Selatan, email:
henrimasiku@yahoo.co.id

Herman Parung

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jl. Poros Malino km.6, Kampus Teknik Gowa, Sulawesi Selatan, email:
parungherman@yahoo.co.id

H. Rusdi Usman Latif

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jl. Poros Malino km.6, Kampus Teknik Gowa, Sulawesi Selatan, email:
rusdiul@gmail.com

Rosmariani Arifuddin

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jl. Poros Malino km.6, Kampus Teknik Gowa, Sulawesi Selatan, email:
rosmariani_ar@yahoo.com

ABSTRAK

Program keselamatan dan kesehatan kerja (K3) adalah sebuah program yang dicanangkan oleh pemerintah dan wajib dijalankan oleh semua kontraktor dalam rangka melindungi karyawan/pekerja saat bekerja di konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan konsep permodelan indikator kinerja proaktif dan reaktif untuk peningkatan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) konstruksi bangunan bertingkat tinggi. Penelitian ini menggunakan penyebaran kuisioner dengan hasil yang diolah menggunakan metode *structural equation model* (SEM) dengan bantuan *software* SmartPLS 3.2.8. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini diperolehnya konsep peningkatan kinerja kesehatan dan keselamatan kerja dengan memperhatikan kinerja proaktif dan reaktif serta semua indikator untuk menunjang kinerja sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja pada proyek konstruksi bangunan bertingkat tinggi.

Kata Kunci: Kinerja Proaktif, Kinerja Reaktif, Kinerja SMK3.

1. PENDAHULUAN

Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (MK3) adalah bagian keseluruhan dari sebuah sistem manajemen secara utuh yang meliputi struktur organisasi dan sumber daya, dibutuhkan guna terciptanya tempat kerja yang aman, efisien dan produktif dalam rangka pengendalian risiko-risiko yang berkaitan dengan K3 dalam setiap aktivitas kegiatan pekerjaan (Djoko, 2007).

Proyek konstruksi merupakan pekerjaan yang mempunyai risiko kecelakaan kerja tinggi dengan kemungkinan akibat kecelakaan kerja yang serius. Risiko kecelakaan kerja ini semakin tinggi pada negara-negara berkembang dimana tenaga kerja yang digunakan berlatar belakang pendidikan relatif rendah. Terkait dengan kondisi ini, King dan Hudson (1985) dalam penelitian Apriyan, Setiawan dan Ervianto

(2017) menyatakan bahwa tingkat kematian pada proyek konstruksi di negara-negara berkembang tiga kali lebih tinggi dibandingkan dengan kejadian di negara-negara maju.

Risiko kecelakaan kerja pada proyek konstruksi tinggi, namun program keselamatan kerja masih kurang mendapat perhatian. Singh et al. (1999) menemui beberapa hal yang menghalangi keberhasilan program keselamatan kerja antara lain: perencanaan pekerjaan yang kurang baik, pelatihan keselamatan kerja yang tidak dijalankan dengan baik, anggaran untuk keselamatan kerja yang tidak memadai, investigasi dan evaluasi kecelakaan kerja yang terjadi tidak dijalankan sesuai prosedur yang seharusnya.

Setiap perusahaan konstruksi (kontraktor) diwajibkan untuk mendukung program K3 dengan kinerja K3 yang baik pada setiap proyek yang ditanganinya, karena hal

tersebut merupakan salah satu kriteria pemilihan kontraktor yang dapat menjamin setiap kontraktor untuk bersaing dalam tender proyek. Kinerja K3 dikatakan baik apabila catatan kecelakaan menunjukkan jumlah minimum, karena adanya usaha pencegahan kecelakaan yang maksimum dalam implementasi program K3. Merujuk data BPJS Ketenagakerjaan, kasus kecelakaan kerja yang terjadi pada tahun 2016 (hingga bulan November) tercatat 101.367 kejadian dengan korban meninggal dunia 2.382 orang, sedangkan pada tahun 2015 tercatat 110.285 dengan korban meninggal dunia 2.375 orang. Adapun pada tahun 2018 mencapai angka 173.105 sesuai informasi yang diperoleh dari <http://isafetymagz.com>.

Dari pra penelitian, penulis melihat kondisi proyek konstruksi sangat rentan terhadap kecelakaan konstruksi karena karakteristik proyek yang bersifat unik, lingkungan kerja yang berbeda-beda, bersifat terbuka dan sangat dipengaruhi oleh cuaca, waktu pelaksanaan yang terbatas dan sangat dinamis, melibatkan banyak tenaga kerja yang tidak terlatih/terampil, jenis pekerjaan beragam dan membutuhkan ketahanan fisik, metode pelaksanaan yang berisiko tinggi, dengan lokasi kerja di ketinggian dan menggunakan banyak peralatan kerja yang bersifat *heavy equipment* dengan teknologi yang cukup tinggi.

Dibutuhkan cara yang lebih baik agar dapat membantu dengan mudah mengukur indikator kinerja penyediaan tempat kerja yang aman. Oleh karena itu penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul “identifikasi konsep model indikator kinerja proaktif dan reaktif untuk peningkatan kinerja sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (SMK3)”.

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi indikator kinerja proaktif,
2. Mengidentifikasi indikator kinerja reaktif,
3. Mengembangkan model kinerja proaktif dan reaktif yang berpengaruh terhadap peningkatan kinerja sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (SMK3) Pada Proyek Konstruksi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada kenyataannya, proyek konstruksi tidak dapat disamakan dengan manufaktur mengingat keunikan yang dimilikinya. Bila ditinjau dari terminologinya, urutan proses dalam manufaktur, misalnya pabrik akan memproduksi sebuah benda misalnya saja pensil kayu. Perencanaan untuk memproduksi dilakukan terlebih dahulu secara matang, misalnya mesin yang digunakan; material atau bahan baku yang dibutuhkan;

kemasan; distribusi; promosi dan lain sebagainya (Ervianto, 2009). Biasanya kontraktor menempatkan manajer proyek berdasarkan ketersediaan dan curriculum vitae/pengalaman yang diajukan ke pihak *owner* tanpa memberikan gambaran yang nyata mengenai kinerja dan kajian penting kondisi/keadaan manajer proyek tersebut (Simanjuntak, Manlian Ronald. A.Simandjorang, Gordo Hasiholan, 2019).

Komitmen perusahaan untuk melaksanakan sistem manajemen K3 dengan baik akan meningkatkan kinerja K3 perusahaan (Hinze, 1997). Kegiatan pencegahan terhadap kecelakaan (proaktif) terus dilakukan dengan berdasar pada identifikasi resiko yang mungkin timbul dari sebuah aktivitas. Proses pengawasan ini meliputi proses penilaian dan pengukuran terhadap semua tindakan pencegahan (proaktif) yang telah dilakukan. Indikator PKP diperoleh dari hasil studi literature menurut bandan K3 dunia yang dijelaskan sebelumnya yakni pada standart HSE UK, OHS AUS dan OSHA US, indikator yang ada dirangkum menjadi indikator Kinerja Proaktif, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Indikator

Indikator
Petunjuk manual
Dinding, lantai dan tanah
Pagar dan jaring pengaman
Scaffolding dan bekisting
Tangga dan pijakan
Kelistrikan Proyek
Alat angkat
Alat berat dan perlengkapan
Alat Hois
Lalu Lintas Proyek
Penggalian
Alat Pemadam Api
Alat Listrik
Peringatan Bahaya
Perlindungan Publik
Fasilitas pendukung pekerjaan

Kebisingan tempat kerja
Alat pelindung pribadi
Perlindungan terhadap bahan kimia berbahaya
Jalanan dan ramp
Penanganan material
Perawatan fasilitas kerja
Alat gergaji
Perkakas tangan
Kesiapan prolongan pertama
Keamanan Lokasi Proyek
Gangguan penyakit
kesiapsiagaan kecelakaan

Sumber: Pengembangan Indikator Proaktif HSE UK, OHS AUS dan OSHA US (2020)

Indikator PKP hasil rangkuman adalah indikator-indikator umum yang sering digunakan untuk pengukuran kondisi tempat kerja di proyek konstruksi. Empat kelompok indikator tersebut antara lain adalah (1) Lingkungan kerja, (2) Perlengkapan K3, (3) Alat pendukung pekerjaan, (4) Struktur pendukung.

Keempat indikator ini menunjukkan jenis tindakan proaktif untuk pengukuran kondisi tempat kerja. Di dalam empat kelompok indikator terdapat indikator-indikator pengukuran dengan kriteria-kriteria pengukuran yang digunakan untuk pengukuran secara lebih detail terhadap kondisi tempat kerja.

Empat faktor utama yang menjadi fokus perhatian dalam upaya pencegahan kecelakaan di tempat kerja adalah faktor manusia (*people*), prosedur (*procedures*), peralatan dan perlengkapan (*plant/equipment*), tempat (*premises/places*).

Pengukuran kinerja reaktif meliputi pengukuran *outcome*. Pengukuran *outcomes* berfungsi untuk mengetahui hasil sistem manajemen K3 seperti jumlah kecelakaan yang terjadi, jenis kecelakaan yang terjadi, jam kerja yang hilang, tren kecelakaan dan sakit, dan sebagainya. Yang termasuk dalam pengukuran kinerja reaktif adalah sebagai berikut:

1. Pemantauan kejadian kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK)
2. Tingkat keserangan kejadian kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK)

3. Tingkat hilangnya jam kerja akibat kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK)
4. Tuntutan tindakan pemenuhan dari pemerintah
5. Tuntutan tindakan pemenuhandari pihak ketiga yang berhubungan dengan perusahaan/kontraktor

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dan ditunjang oleh analisis kuantitatif dengan menggunakan kuisioner kepada pelaksana proyek konstruksi bangunan bertingkat di Kota Makassar dalam memperoleh data kemudian melakukan permodelan menggunakan metode SEM-PLS.

3.2 Metode Analisis Data

Model dianalisis dengan pemodelan persamaan struktural (*Structural Equation Modelling*). Terdapat dua macam model persamaan struktural, yakni SEM berbasis kovarian (*covariance based*) dan SEM berbasis komponen atau varian (*component based*) yang populer dengan *Partial Least Square* (PLS) (Ghozali 2008).

Dalam model persamaan struktural (SEM) terdapat empat proses tahapan, dimana setiap tahapan akan berpengaruh terhadap tahapan selanjutnya, yaitu:

1. Spesifikasi Model

Dalam proses pemodelan menggunakan SEM, pembentukan dan pengembangan spesifikasi model merupakan langkah awal untuk menentukan desain dan menjawab tujuan penelitian. Spesifikasi model yang dibangun dengan tepat menjadi dasar kerangka berpikir dalam pengembangan model struktural, Latan (2013,73).

2. Identifikasi Model

Didalam model persamaan struktural (SEM), persoalan identifikasi model menjadi penting untuk diketahui apakah model yang dibangun dengan data empiris yang dikumpulkan itu memiliki nilai yang unik atau tidak sehingga model tersebut dapat diestimasi.

3. Estimasi Model

Model penelitian yang telah melewati tahapan spesifikasi dan identifikasi model selanjutnya dapat dilakukan estimasi model. Namun sebelum melakukan estimasi model, terlebih dahulu harus ditentukan metode estimasi apa yang akan digunakan.

4. Evaluasi Model

Evaluasi model bertujuan untuk mengevaluasi model secara keseluruhan melalui analisis faktor konfirmatori

atau Confirmatory Factor Analysis (CFA) dengan menguji validitas dan reliabilitas konstruk laten.

4. HASIL KAJIAN LITERATUR

4.1 Studi Penelitian-Penelitian Terdahulu

Dari beberapa sumber literatur jurnal diperoleh rekap penelitian terdahulu yang terkait dengan variabel dalam penelitian ini dengan uraian sebagai berikut:

Marisca Imaculata Firani Mentang, J. Tjakra, J. E. Ch. Langi, dan D. R. O. Walangitan(2013), dipaparkan bahwa penelitian dilakukan bertujuan untuk memahami dan mengevaluasi penerapan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja PT.Cakra Buana Megah pada peningkatan fasilitas PT. Trakindo Utama Balikpapan. Hasil penelitian menyatakan bahwa perusahaan telah membangun komitmen dan kebijakan K3 berdasarkan pada identifikasi bahaya penilaian resiko, telah melakukan perencanaan SMK3, pengukuran, evaluasi dan tinjauan ulang serta melakukan penerapan SMK3 dengan baik.

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Aryati Indah (2017) bertujuan untuk mengevaluasi penerapan dan kendala penerapan K3 pada proyek bangunan gedung di Kabupaten Cirebon, dan mengetahui perbedaan penerapan K3 berdasarkan skala proyek. Metode penelitian menggunakan pendekatan survei terhadap 10 kontraktor pada 10 proyek bangunan gedung 2 lantai atau lebih di Kabupaten Cirebon. Komponen evaluasi K3 dikembangkan berdasarkan Pedoman Praktis Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Bidang Konstruksi (ILO,2005). Hasil penelitian menemukan bahwa tingkat penerapan K3 pada aspek, penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) (60%), Pengelolaan Kondisi Darurat(75%),Pekerjaan Struktur, Perancah dan Tangga (66,7%), Penggunaan Bahan Beracun dan Berbahaya(62,9%), Kesehatan dan Kebersihan Lingkungan Kerja(89,2%). Kendala penerapan K3 pada umumnya adalah anggaran, budaya pekerja yang belum terbiasa dengan penerapan K3 serta dampak penerapan terhadap biaya dan harga jual konstruksi properti. Rata-rata penerapan K3 lebih besar pada proyek skala besar dibandingkan proyek skala sedang dan kecil.

Hasil penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Prasad dan Reghunath (2011), tentang langkah-langkah proaktif untuk mengurangi tindakan/kondisi tidak aman yang berkontribusi terhadap kecelakaan dan cedera dengan melakukan survei dari pekerja konstruksi pada proyek yang dijadikan bahan sampling secara keseluruhan, kemudian dievaluasi dengan cara mencocokkan hasil pengamatan *auditor* terhadap keselamatan internal dan eksternal India.

4.2 Variabel Konsep Model Penelitian

Konsep model penelitian ini terdiri dari variabel-variabel dengan indikator menggunakan literatur review dan studi perbandingan standar.

Agar variabel yang tercakup dalam penelitian ini dapat memberikan arti yang sama dan dapat diukur, maka diuraikan menjadi variabel Faktor Kinerja Proaktif (X1), Faktor Kinerja Reaktif (X2), dan Peningkatan Kinerja (Y) dengan indikator yang diuraikan sebagai berikut:

Indikator Pengukuran Kinerja Proaktif (PKP) untuk penyediaan tempat kerja yang aman oleh berdasarkan indikator PKP dari tiga badan K3 dunia(HSE UK, OSHA AUS, OSHA USA). Indikator proaktif yang akan digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Petunjuk manual
2. Dinding, lantai dan tanah
3. Pagar dan jaring pengaman
4. Scaffolding dan bekisting
5. Tangga dan pijakan
6. Kelistrikan Proyek
7. Alat angkat
8. Alat berat dan perlengkapan
9. Alat Hois
10. Lalu Lintas Proyek
11. Penggalian
12. Alat Pemadam Api
13. Alat Listrik
14. Peringatan Bahaya
15. Perlindungan Publik
16. Fasilitas pendukung pekerjaan
17. Kebisingan tempat kerja
18. Alat pelindung pribadi
19. Perlindungan terhadap bahan kimia berbahaya
20. Jalanan dan ramp
21. Penanganan material
22. Perawatan fasilitas kerja
23. Alat gergaji
24. Perkakas tangan
25. Kesiapan prtolongan pertama
26. Keamanan Lokasi Proyek
27. Gangguang penyakit
28. kesiapsiagaan kecelakaan

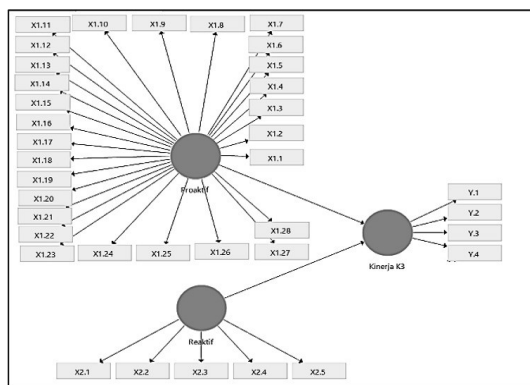
Indikator Pengukuran Kinerja Reaktif (PKR) adalah indikator yang digunakan sebagai tolak ukur keberhasilan tindakan reaktif yang telah dilakukan. Pengukuran kinerja reaktif untuk penyediaan tempat

kerja yang aman adalah pengukuran setelah terjadi kecelakaan di tempat kerja. Pengukuran kinerja reaktif meliputi pengukuran *outcome*. Pengukuran *outcomes* berfungsi untuk mengetahui hasil sistem manajemen K3 seperti jumlah kecelakaan yang terjadi, jenis kecelakaan yang terjadi, jam kerja yang hilang, tren kecelakaan dan sakit, dan sebagainya. Yang termasuk dalam pengukuran kinerja reaktif adalah sebagai berikut:

1. Pemantauan kejadian kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK)
2. Tingkat keseringan kejadian kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK)
3. Tingkat hilangnya jam kerja akibat kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK)
4. Tuntutan tindakan pemenuhan dari pemerintah
5. Tuntutan tindakan pemenuhan dari pihak ketiga yang berhubungan dengan perusahaan/kontraktor.

Pengukuran sistem keselamatan dan kesehatan kerja memerlukan perencanaan yang baik berdasarkan standar kinerja yang diharapkan untuk memperoleh sebuah sistem pengukuran yang efektif. Pengembangan sistem pengukuran yang efektif dapat dilakukan dengan cara:

1. Pengurangan absentisme
2. Pengurangan biaya klaim kesehatan.
3. Pengurangan turnover pekerja.
4. Peningkatan produktivitas



Gambar 1. Permodelan Indikator

Berdasarkan uraian indikator di atas maka permodelan indikator yang dapat digunakan untuk pengukuran kinerja proaktif, reaktif, dan sistem manajemen kesehatan dan keselamatan kerja dapat dilihat pada Gambar 1.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa model indikator kinerja proaktif dan reaktif untuk peningkatan kinerja sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (SMK3) dalam penelitian ini terdiri dari variabel-variabel ukur yang dikembangkan berdasarkan indikator kinerja proaktif 3 badan K3 dunia (HSE UK, OSHA AUS, OSHA USA). Kemudian pengukuran kinerja reaktif digunakan 5 indikator penilaian yang terdiri dari pemantauan kejadian kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK), tingkat keseringan kejadian kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK), tingkat hilangnya jam kerja akibat kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK), tuntutan tindakan pemenuhan dari pemerintah, dan tuntutan tindakan pemenuhan dari pihak ketiga yang berhubungan dengan perusahaan/kontraktor. Adapun pengukuran kinerja sistem keselamatan dan kesehatan kerja memerlukan perencanaan yang baik berdasarkan standar kinerja yang diharapkan untuk memperoleh sebuah sistem pengukuran yang efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyan, J., Setiawan, H., & Ervianto, W. I. (2017). Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Proyek Bangunan Gedung dengan Metode FMEA. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, 1(1), 115-123.
- Aryati Indah (2017). Evaluasi Penerapan Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3). Pada Proyek Bangunan Gedung Di Kabupaten Cirebon. *Jurnal UNNES*.
- Close, A. G., & Kukar-Kinney, M. (2010). Beyond buying: Motivations behind consumers' online shopping cart use. *Journal of Business Research*, 986-992.
- Djoko.S. 2007. Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja Proyek (Project Safety & Health Management). Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Ervianto, W. I. (2009). Studi Pemeliharaan Bangunan Gedung (Studi Kasus Gedung Kampus). *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 7(3), 212-223.
- King, R.W., Hudson, R., 1985. *Construction Hazard and Safety Handbook: safety Butterworths, England*

- Kuncoro, T. (2017). Bagaimana Mengukur Kinerja Industri Jasa Konstruksi. *BANGUNAN: Teori, Praktek, Penelitian, dan Pengajaran Teknik Bangunan*, 22(2).
- Latan. 2015. Partial Least Squares Konsep, Teknik dan Aplikasi Menggunakan Program SmartPLS 3.0 untuk Penelitian Empiris. Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang.
- Mentang, M. I. F., Tjakra, J., Langi, J. E. C., & Walangitan, D. R. O. (2013). Evaluasi Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Peningkatan Fasilitas PT. Trakindo Utama Balikpapan. *Jurnal Sipil Statik*, 1(5).
- Raja Prasad, S. V. S., & Reghunath, K. P. (2011). Evaluation of safety performance in a construction organization in India: a study. *ISRN Civil Engineering*, 2011.
- Simanjuntak, Manlian Ronald. A.Simandjorang, Gordo Hasiholan. (2019). Kajian Faktor-Faktor Penting Manajer Proyek dalam Proses Konstruksi Bangunan Gedung Tinggi di Jakarta Pusat
- Singh, A., Hinze, J., dan Coble, R.J., 1999, Implementation of Safety and Health on Construction Sites, Proceeding of the Second International Conference of CIB Working Commission W99, Honolulu, Hawaii. 24-27 March 1999

Analisis Biaya Hunian Sementara Dengan Menggunakan Desain Rumah Sistem Knockdown “Tahan Tsunami” Memakai Material Baja Canai Dingin. (Studi kasus: Penanganan Rehabilitasi dan Rekonstruksi Hunian di Wilayah Terdampak Gempa di Mataram, Nusa Tenggara Barat)

Nugraheni. F

Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
Fitri.nugraheni@uii.ac.id

Hardawati. A

Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
165111301@uii.ac.id

Agung. W

Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
Wahidagung6@gmail.com

Intisari, wilayah Nusa Tenggara Barat merupakan provinsi yang dikelilingi oleh lautan serta pergerakan lempeng tektonik yang berpotensi terjadinya gempa besar dan dikhawatirkan dapat terjadi bencana tsunami yang diakibatkan Patahan Florest (Florest *Thrust*). Kebutuhan hunian sementara dibutuhkan dikarenakan dampak dari bencana gempa yang terjadi pada juli 2018 tersebut mengakibatkan kehancuran rumah/hunian masyarakat. tujuan penelitian ini ialah merencanakan hunian sementara yang nyaman dan aman dari aspek bencana khususnya gempa dan terjangan tsunami untuk wilayah Mataram (Nusa Tenggara Barat) dengan penggunaan baja canai dingin sebagai bahan struktur bangunan serta biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan 1 unit hunian.

Dalam perencanaan hunian sementara “Tahan Tsunami” ini direncanakan menggunakan sistem PEB (*Pra Engineering Building*) serta dilakukan sebuah analisis antara lain (beban gempa, beban angin, beban bangunan hidup/mati serta penambahan beban terhadap gelombang terjangan tsunami) menggunakan aplikasi SAP2000 V.14 dalam bentuk analisis 3 dimensi yang telah dilakukan pada seminar nasional mewujudkan masyarakat madani dan lestari Seri 9, dalam hasil menganalisa biaya per- 1 unit yang didapatkan sebesar Rp. 128.893.000,00

Kata kunci: Hunian Sementara, Tahan Tsunami, Baja Canai Dingin, PEB (*Pra Engginering Building*)

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan hunian sementara sangat diperlukan terhadap keperluan proses pasca bencana dikarenakan kebutuhan *primer* manusia terhadap tempat tinggal, kecepatan dan ketepatan terhadap keamanan sangat diperlukan terhadap hunian sementara, Kejadian gempa yang terjadi pada provinsi Nusa Tenggara Barat yang terjadi pada bulan juli 2018 yang mengakibatkan kehancuran terhadap hunian penduduk, hal ini memerlukan langkah cepat agar masyarakat dapat segera mungkin memiliki hunian sementara yang tentunya aman dan layak.

Gempa bumi berkekuatan 7 Skala *Richter* yang merupakan gempa bumi utama dari rangkaian gempa bumi yang terjadi sebelumnya, di Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat pada 5 Agustus 2018 menimbulkan potensi tsunami meski letak episenter berada di darat. Dari bencana tersebut dalam *history* nya wilayah Lombok yang dikelilingi banyak lautan juga menjadi sebuah ancaman tsunami, Menurut (Hidayati, dkk

2018) Sesar (Florest *Thurst*) menjadi populer ketika pada tanggal 12 Desember 1992 terjadi gempa Flores yang diikuti dengan gelombang pasang tsunami yang menewaskan 2.100 orang, serta terjadinya tsunami pada tahun 1977 di wilayah Lundyuk (Teluk Lampau), Sumbawa, Nusa Tenggara Barat.

Dalam pembuatan hunian sementara (Huntara) ini diperlukan sebuah inovasi agar dapat seefisien mungkin dalam pembuatannya, agar dapat segera dilaksanakan dan dapat dikerjakan dengan secepat mungkin dengan pengerjaan yang mudah. aspek perencanaan haruslah di perhitungkan dengan matang bagaimana kelayakan secara ekonomi dan kelayakan secara segi teknis dapat terlaksana dengan sebaik-baiknya, rumah sistem *knockdown* mempunyai kelebihan yaitu dapat dipindahkan atau bersifat *portable*, dan mudah dalam bongkar-pasan

1.2 Tujuan Penelitian

Berapa biaya yang dibutuhkan untuk membangun satu unit hunian knockdown “Tahan Tsunami”?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengetahui biaya yang dibutuhkan untuk membangun 1 (satu) unit hunian sementara knockdown “Tahan Tsunami”.

1.4 Manfaat Penelitian

Harapan dalam penelitian ini agar mendapatkan solusi dari penanganan rehabilitasi dan rekonstruksi pasca bencana. Supaya sesegera mungkin mendapatkan hunian sementara yang layak dan aman terhadap gempa dan tsunami serta dalam segi sektor ekonomi dalam hal biaya dapat memenuhi syarat sehingga tidak merugikan dari segala hal, dan dalam hal ini pembangunan hunian (hunian sementara) dapat mempunyai manfaat yang dapat memberikan solusi terhadap masyarakat yang terdampak dari musibah bencana gempa tersebut.

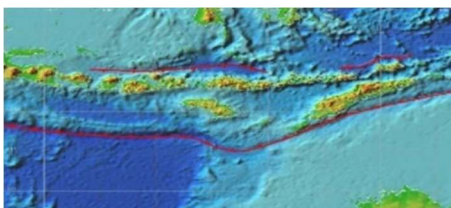
1.5 Batasan Penelitian

Perencanaan dari bangunan hanya memperhitungkan biaya yang didapatkan dari analisis struktur tidak termasuk dengan pondasi yang telah dilakukan sebelumnya yang telah dipresentasikan pada “Seminar Nasional DPPM UII Series 9 dengan judul Desain Hunian Sementara Dengan Rumah Sistem *Knockdown* “Tahan Tsunami” Menggunakan Material Baja Canai Dingin Untuk Rekonstruksi Bencana Gempa Mataram (Nusa Tenggara Barat)” pada penelitian tersebut didapat berupa jumlah profil baja, baut dan sambungan serta penambahan komponen unit hunian sementara.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Bencana gempa bumi di Nusa Tenggara Barat yang terjadi telah menyebabkan puluhan orang meninggal dunia, ratusan luka-luka dan ribuan orang mengungsi. Menurut Hidayati, dkk (2018) Sesar (Florest *Thurst*) menjadi populer ketika tanggal 12 Desember 1992 menyebabkan gempa Flores yang diikuti gelombang pasang tsunami yang menewaskan 2.100 orang. Sesar tersebut diduga sebagai sebab terjadinya gempa besar di Bali yang menewaskan 1.500 orang pada tanggal 21 Januari 1917. Sesar Flores terletak di wilayah timur laut Bali sampai dengan utara Flores.



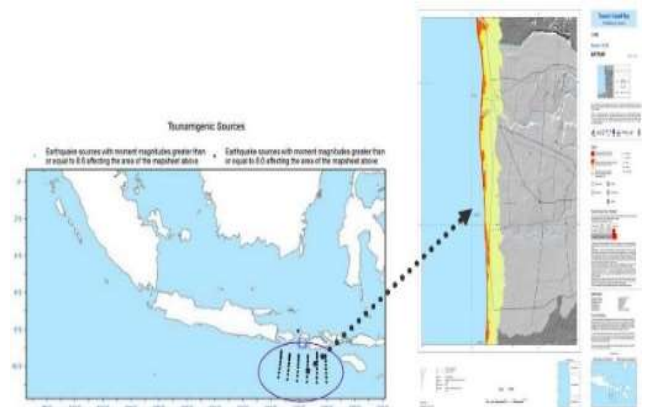
Gambar 1. Lokasi Pergeseran Lempeng (Flores *Thurst*)

2.2 Pemetaan Daerah Rawan Tsunami di Wilayah Nusa Tenggara Barat

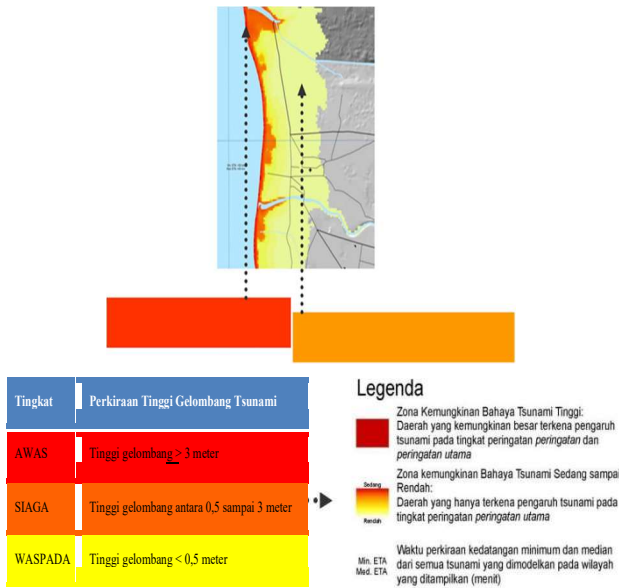
Menurut Mawardin, dkk (2013) Pesisir Lunyuk termasuk dalam wilayah kabupaten Sumbawa Provinsi Nusa Tenggara Barat merupakan wilayah yang memiliki sejarah gempa bumi yang mengakibatkan bencana tsunami. Secara historis, tsunami pernah terjadi di Lunyuk pada tanggal 19 Agustus 1977. Telah mengakibatkan kerugian materi serta korban jiwa. Gempa yang terjadi di Samudera Hindia sebelah barat pulau Sumba (NTT) berkekuatan 8,3 skala richter.

Menurut Diposptono dan Budiman (2006) yang dikutip oleh Mawardin dkk (2013) mengidentifikasi daerah yang mempunyai potensi mengalami bencana tsunami dilakukan dengan beberapa cara yaitu mengidentifikasi jalur pertemuan lempeng (*tectonic setting plate*) yang berpotensi menyebabkan gempa dan tsunami baik *near field* tsunami, analisis aspek *historis* kejadian tsunami dan pemodelan terutama pemodelan run up tsunami.

Dalam penelitian yang ditulis oleh Mueck (2013) yang membahas tentang Peta-Peta Bahaya Tsunami untuk Mataram dan dalam penggambaran daerah yang zona terdampak tsunami dengan menggunakan perkiraan ketinggian maksimum gelombang tsunami dipantai. Informasi topografi dan geomorfologi dan, jika tersedia, pengamatan peristiwa sejarah tsunami yang terjadi di daerah masing-masing. Karena dampak dari tsunami sangat dipengaruhi oleh bentuk garis pantai, ketinggian permukaan tanah dan topografi dasar laut. Dalam penelitian tersebut dibantu dengan peta / produk referensi dari DISTAMBEN (Dinas Pertambangan dan Energi) dalam peta tersebut ditandai dengan kompilasi data yang tersedia secara bebas tentang topografi dasar mengenai infrastruktur, pemukiman serta fasilitas umum penunjang lainnya. Berikut merupakan pemetaan wilayah terdampak Tsunami beserta dengan prakiraan ketinggian gelombang.



Gambar 2. Pendekatan *Multi-Skenario*.
(Sumber: Mueck, 2013)



Gambar 3. Tingkatan Peringatan Dalam Indonesia Tsunami Early Warning System. (Sumber: Mueck, 2013)

2.3 Desain Bangunan Non Permanen di Restricted Area Berpotensi Tsunami

Biaya kerusakan yang timbul akibat tsunami khususnya di Indonesia dapat diminimalisir dengan mengganti bangunan permanen menjadi bangunan semi permanen. Menurut (Hanafi, 2017) pesisir merupakan salah satu daerah yang menjadi pilihan masyarakat Indonesia menjadi sebuah tempat tinggal, oleh karena itu penggunaan bangunan semi permanen merupakan salah satu alternatif serta menjadi sebuah alternatif dalam system pembangunan yang cepat dan efisien.

2.4 Analisis Biaya

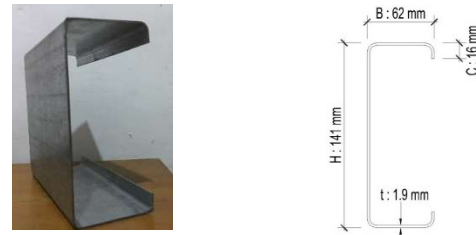
Menurut (Musyafa, 2016) Rencana anggaran biaya (RAB) adalah suatu perencanaan biaya yang dibuat berdasarkan volume pekerjaan dan harga satuan pekerjaan. Rumah tinggal adalah salah satu jenis bangunan hunian yang paling banyak dijumpai. Sehingga RAB rumah tinggal ini sering dibuat atau digunakan. RAB tersebut mempunyai peran penting dalam manajemen pembangunan rumah, apalagi banyak rumah di Indonesia dibangun secara swakelola oleh pemilik.

Penggunaan RAB sendiri mempunyai tujuan untuk mendapatkan informasi secara detail tentang biaya yang harus disediakan untuk merealisasikan pekerjaan/proyek tersebut. Estimasi harga yang tepat dan benar dapat memudahkan pemilik untuk mengendalikan proyeknya.

a. Baja Canai Dingin (Cold Formed Steel)

Menurut Hanafi (2017) Profil baja Canai dingin (*cold formed steel*) ialah jenis profil baja yang memiliki

dimensi ketebalan relatif tipis dengan rasio dimensi lebar setiap elemen profil terhadap tebalnya sangat besar. Karena dimensi ketebalan profil relatif tipis maka pembentukan profil dapat dilaksanakan menggunakan proses pembentukan dingin (*cold forming processes*). Ketebalan plat baja yang umumnya digunakan sebagai sebagai bahan dasar pembentuk profil biasanya sekitar 0,3 mm hingga 6 mm (Yu, 2010 dalam Wiguna, 2006) serta Nilai E pada baja canai dingin mencapai 200 Gpa serta kuat leleh tekan berkisar antara 200 hingga 550 Mpa

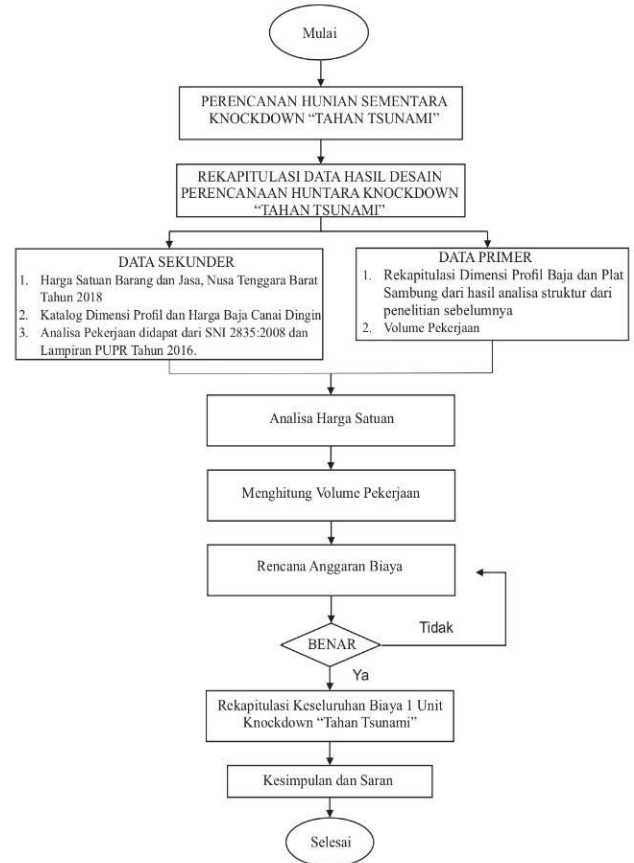


Gambar 4. Profil Baja Canai Dingin

3. METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Dalam proses penelitian yang dilakukan dilakukan beberapa proses tahapan yang dilakukan yang dapat dilihat pada bagan alir sebagai berikut.

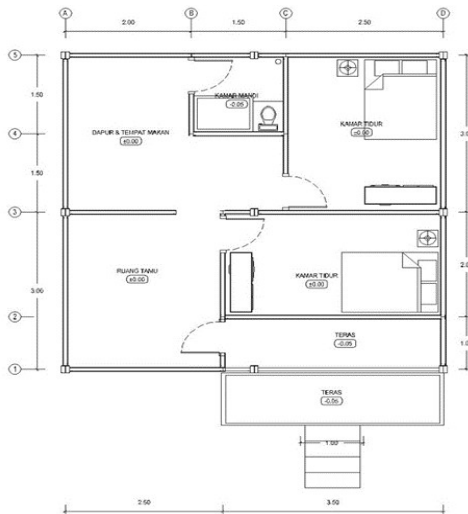


Gambar 5. Bagan Alir Penelitian

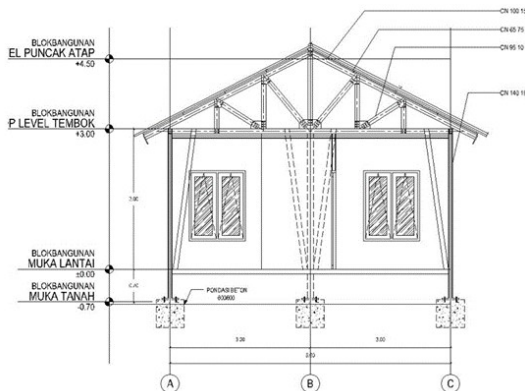
4. ANALISIS

4.1 Desain Bangunan

Dalam perencanaan yang telah dilakukan penggunaan model rumah menggunakan ukuran dimensi dengan ukuran/ type rumah 36 meter dan menggunakan luasan tanah seluas 42 meter dalam perencanaan ini dilakukan sebuah desain dengan mengangkat system pembangunan secara PEB (*Pra Engineering Building*) dengan proses pembuatan struktur utama berada dalam pabrik sehingga dalam pelaksanaan dilapangan hanya melakukan proses perkaitan hal ini mempermudah dalam hal pelaksanaan serta mempercepat waktu pekerjaan, maka didapat desain sebagai berikut.



Gambar 6. Denah Bangunan



Gambar 7. Potongan Bangunan

Dari rencana desain yang telah dilakukan didapatkan desain sebagai berikut dengan luas bangunan sebesar 36 m² serta luas tanah 42 m² dan dengan ketentuan tinggi bangunan dari elevasi tanah sebesar +0,75 meter hal ini direncanakan dikarenakan perencanaan tinggi gelombang direncanakan masuk kewilayah Mataram dengan Intensitas tinggi gelombang setinggi 0,5 meter. Dengan penggunaan material bangunan sesuai perencanaan menggunakan profil serta bahan yang sudah di hitung dan di analisis menggunakan SAP2000 V.14 menggunakan pembabanan yang

disyaratkan SNI sebagai panduan pembebanan serta proses sambungan dan FEMA P-646 sebagai panduan dari beban tsunami.

Tabel 1. Profil Hasil Desain Menggunakan SAP2000

Tipe	H (mm)	B (mm)	C (mm)	T (mm)	Profil Baja
Kolom (dual chanel)	141	124	16	1.9	2 CN 140 19
Balok	141	62	16	1.9	CN 140 19
Breicing	101	62	16	1.9	CN 100 19
Kuda-Kuda	101	51	12	1,5	CN 100 15
Breicing Kuda-Kuda	95	51	9	1	CN 95 10
Gording	65	39	9	0.75	CN 65 75

Tabel 2. Hasil Perhitungan Sambungan

Komponen	Tebal (mm)	Mutu Baut digunakan
Baseplat	17	A325 Ø 16 mm
Sambunnga Kolom	8	A307 Ø 20 mm
Sambungan Balok	8	A307 Ø 20 mm
Sambungan Breising	8	A307 Ø 20 mm
Sambungan Rangka Atap	6,5	A307 Ø 16 mm

4.2 Analisa Harga Satuan

Proses analisis biaya didasarkan pada harga di wilayah bangunan yang akan direncanakan oleh karena itu proses dari perencanaan Rencana Anggaran Biaya, pelaksanaan pembangunan hunian sementara direncanakan diwilayah Nusa Tenggara Barat khususnya diwilayah kota Mataram, oleh karena itu dalam perhitungan ini didasarkan pada Standar Satuan Harga Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Barat Tahun Anggaran 2019.

4.3 Volume Bangunan

Dari proses desain didapatkan semua komponen yang ada maka dari proses dalam analisa biaya ialah proses perhitungan volume yang dijabarkan dalam bagian pekerjaan rencana anggaran biaya, volume dari suatu bahan bangunan tergantung sesuai dengan perhitungan benda yang akan dihitung dengan contoh perhitungan struktur kolom menggunakan baja canai dingin dengan system ‘back to back’ dual chanel bangunan knockdown “Tahan Tsunami” sebagai berikut.
 Luas Penampang Baja per 1 m = 0,0005 m²
 Berat Baja = 7.850 kg/m³

Berat Penampang per-m = $0,0005 \times 7850 = 3,925 \text{ kg}$

Setelah diketahui volume luasan penampang maka dapat selanjutnya mencari tahu nilai kebutuhan volume baja sesuai dengan kegunaannya.

Kolom = ((Panjang Baja 1 bentang untuk kolom x Berat Baja per meter) x 2 'back to back') x jumlah kolom

Kolom = $((3,7 \times 3,925) \times 2) \times 9$

Kolom = 261.405 kg

4.4 Analisa Pekerjaan

Proses pekerjaan dilakukan dengan menganalisa pekerjaan yang akan dilakukan, analisa pekerjaan didapatkan dengan pengalihan nilai koefisien didapatkan dari (SNI 2835:2008) serta lampiran PUPR no 28 Tahun 2016. Maka didapat sebuah Analisa untuk memperhitungkan setiap pekerjaan sesuai dengan pekerjaan yang dilakukan, sebagaimana contoh dalam sebuah pekerjaan pembersihan lahan sebagai berikut.

Tabel 3. Analisa Pembersihan Lahan

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Tenaga	OH	0,100	72.600,00	7.260,00
1	Pekerja	OH	0,100	72.600,00	7.260,00
2	Mandor	OH	0,050	105.100,00	5.255,00
Jumlah Tenaga Kerja					12.515,00
B	Jumlah (A)				12.515,00
C	Overhead + Profit		10% x B		1.251,50
D	Harga Satuan Pekerjaan				13.766,50

Dari pekerjaan Analisa didapatkan biaya dari satu pekerjaan dalam satuan pekerjaan yang dilakukan dengan mengalihkan koefisien dengan harga satuan serta mengalihkan *overhead* serta *profit* sebesar 10% sebagai nilai keuntungan dan biaya *overhead*.

4.5 Rencana Anggaran Biaya

Setelah perhitungan volume dan Analisa pekerjaan selesai proses selanjutnya ialah merekap keseluruhan dan mengalihkan antara volume per-setiap pekerjaan dengan harga satuan per masing-masing pekerjaan, dan dalam perhitungan rencana hunian *knockdown* "Tahan Tsunami" terbagi menjadi 4 pekerjaan antara lain pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur, pekerjaan arsitektural dan pekerjaan sanitasi. Maka didapat rencana anggaran biaya sebagai berikut.

Tabel 4. Rencana Anggaran Persiapan

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
A	Pekerjaan Persiapan				
1	Pem.bersihan Lahan	42,00	m ²	13,766.50	578,193.00
2	Bowplank dan Uitzet	36,00	m'	92,197.05	3,319,093.80
Jumlah Total Pekerjaan Persiapan					3,897,286

Tabel 5. Rencana Anggaran Struktur

B Pekerjaan Struktur					
I Pekerjaan Struktur Baja Canai Dingin					
1 Kolom Double Chanel Profil CN 140 19					
-	Baja CN 140 19	261.405	kg	55.413,99	14.485.492,75
-	Plat Sambung Kolom 8 mm	59.291	kg	33.748,33	2.000.997,23
-	Plat Dudukan Balok 8 mm	24.155	kg	33.748,33	815.221,10
-	Plat Dudukan Breising 8 mm	6.587	kg	33.748,33	222.333,03
-	Baut Plat Ø 20 mm A307	302	bh	19.000,00	5.738.000,00
-	Baut Angkur Ø 16 mm 600 mm	54	bh	29.560,00	1.596.240,00
-	Baseplat tp= 16 mm	75.065	kg	33.748,33	2.533.339,48
2 Breising Kolom Profil CN 100 19					
-	Baja CN 100 19	91.2798	kg	58.209,64	5.313.363,84
-	Baut Plat Ø 20 mm A307	48	bh	19.000,00	3.800.000,00
-	Plat Sambung Breising 8 mm	13.175	kg	33.748,33	444.666,05
3 Balok Singgle Chanel Profil CN 140 19					
-	Baja CN 100 15	282.6	kg	55.413,99	15.659.992,16
-	Baut Plat Ø 20 mm A307	200	bh	19.000,00	3.800.000,00
-	Plat Sambung 8 mm	24,155	kg	33.748,33	815.221,10
Jumlah Total Pekerjaan Struktur					54.336.866,74
II Pekerjaan Rangka Atap					
1 Kuda-kuda Profil CN 100 15					
-	Baja CN 100 15	282,6	kg	55.413,99	5.309.769,27
-	Plat Sambung 6 mm	4,747	kg	33.748,33	160.226,27
-	Plat Dudukan 6 mm Jenis 1	19,004	kg	18.441,83	350.484,21
-	Plat Dudukan 6 mm Jenis 2	24,275	kg	18.441,83	447.681,69
-	Plat Dudukan 6 mm Jenis 3	28,062	kg	18.441,83	517.517,95
-	Baut A307 Ø 16 mm	288	bh	7.000,00	2.016.000,00
-	Breising Kuda-kuda CN 95 10	52,11	kg	56.811,81	2.960.520,23
2	Gording	55,548	kg	58.209,64	3.233.446,27
3	Sagord 10 mm	48	m	15.174,00	728.352,00
-	Baut Sagord	60	bh	15.000,00	900.000,00
Jumlah Total Pekerjaan Atap					16.623.997,90

Tabel 6. Rencana Anggaran Arsitektural

C Pekerjaan Arsitektural					
I Pekerjaan Partisi Dinding					
-	Pemasangan Dinding Rangkap	76,55	m ²	210.991,88	16.151.428,41
II Pekerjaan Pintu dan Jendela					
-	Pintu Multiplek	4	Unit	989.068,00	450.000,00
III Pengecatan					
1	Pengecatan Eksterior	43,4	m ²	44.220,55	1.919.171,87
2	Pengecatan Interior	76,55	m ²	21.907,05	1.676.984,68
IV Pekerjaan Penutup Atap					
-	Penutup Atap Galvalum	50,88	m	96.891,96	4.929.862,92
V Pekerjaan Plafond					
-	Pasang Rangka dan Plafond	36	m	195.679,00	7.044.444,00
Jumlah Total Pekerjaan Arsitektural					36.952.815,00

Tabel 7. Rencana Anggaran Sanitasi Air

D	Pekerjaan Sanitasi Air				
1	Pemasangan Kloset Jongkok	1	Unit	384.683,20	384.683,20
2	Pemasangan Kran air	2	Unit	71.266,25	142.532,50
3	Floor Drain	1	Unit	11.661,65	11.661,65
Jumlah Total Pekerjaan Sanitasi					538.877,35

4.6 Rekapitulasi Biaya

Dalam analisis biaya telah dilakukan keseluruhan maka proses selanjutnya ialah merekap keseluruhan biaya yang didapatkan dengan cara menjumlahkan seluruh biaya pekerjaan yang telah dianalisis, maka didapat biaya pembangunan untuk 1-unit hunian *knockdown* "Tahan Tsunami" sebagai berikut.

Tabel 8. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

No	Jenis Pekerjaan	Jumlah Harga (Rp)
1	Pekerjaan Persiapan	Rp. 3.897.286,00
2	Pekerjaan Struktur	Rp. 54.336.866,74
3	Pekerjaan Rangka Atap	Rp. 16.623.997,90
4	Pekerjaan Lantai	Rp. 16.543.248,48
5	Pekerjaan Dinding	Rp. 16.151.428,41
6	Pekerjaan Pintu dan Jendela	Rp. 5.230.923,19
7	Pekerjaan Pengecatan	Rp. 3.596.156,55
8	Pekerjaan Penutup Atap	Rp. 4.929.862,92
9	Pekerjaan Plafond	Rp. 7.044.444,00
10	Pekerjaan Sanitasi	Rp. 538.877,35
Total		Rp. 128.893.092,00
Jumlah Nominal		Rp. 128.893.092,00
Dibulatkan		Rp. 128.893.000,00
Terbilang: Seratus Dua Puluh Delapan Juta Delapan Ratus Sembilan Puluh Tiga Ribu Rupiah		

5. KESIMPULAN

Dalam pekerjaan hunian sementara *knockdown* tahan tsunami didapatkan seluruh kebutuhan dari desain hingga biaya dalam perencanaan desain dengan ketentuan profil struktur serta komponen yang diambil maka didapatkan biaya sebesar Rp. 128.893.000,00 serta dengan luas bangunan sebesar 36 meter².

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih terhadap Program Studi Teknik Sipil UII yang telah membantu dalam pengerjaan penelitian ini.

REFERENSI

Agung, W dan Nugraheni, F 2019. *Desain Hunian Sementara Dengan Rumah Sistem Knockdown "Tahan Tsunami" Menggunakan Material Baja Canai Dingin Untuk Rekonstruksi Bencana Gempa Mataram (Nusa Tenggara Barat)*. Prosiding Seminar Nasional Mewujudkan Masyarakat Madani dan Lestari Seri 9

"Pemukiman Cerdas dan Tanggap Bencana", Yogyakarta.

FEMA P646, 2008, *Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis, Applied Technology Council*.

Hanafi, F. 2017. *Desain Bangunan Non Permanen Di RESTRICTED Area (Gumuk Yogyakarta) yang berpotensi Tsunami*. Tesis. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Hidayati dkk, 2018. *Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempa Lombok Timur*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

Keputusan Gubernur Nusa Tenggara Barat, 2019. *Standar Satuan Harga Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Barat Tahun Anggaran 2019*. Nomor 027 – 596.

Mawardin, A., Suroso, A dan Pradjoko, E 2016. *Pemetaan Daerah Rawan Tsunami Di Pesisir LUNYUK SUMBAWA NUSA TENGGARA BARAT, Nusa Tenggara Barat*. Jurnal. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram.

Mueck, M. 2013. *Peta-Peta Bahaya Tsunami Untuk Lombok*. Jurnal Dokumentasi Teknis Peta-Peta bahaya Tsunami Multi-skenario untuk Lombok dan Kota Mataram serta Pulau Gili, Lombok (Nusa Tenggara Barat).

Musyafa, A. 2016. *Pengembangan Model untuk Memprediksi Biaya Pembangunan Rumah Layak Huni Berdasarkan Harga Bahan*. Jurnal Teknisia Volume XXI No. 2, Yogyakarta.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2016. *Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*, Nomor: 28/PRT/M/2016.

SNI 2835:2008, *Tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan tanah untuk kontruksi bangunan Gedung dan perumahan* (Badan Standarisasi Nasional) BSN

Wiguna, A dan Wlujudjati, 2015. *Analisis Kekuatan Baja Canai Dingin (Cold Formed Steel) Sebagai Alternatif Untuk Elemen Struktur Balok Rumah Sederhana Yang Merespon Gempa*. ISSN : 2302-7312 Vol, 13 No. 1 2015, Jurnal Kalibrasi Sekolah Tinggi Teknologi Garut.

Analisis Dan Evaluasi Waste Material Menggunakan BIM (Building Information Modeling) Pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus Pada Proyek Rumah Sakit X di Semarang)

Nazar Saras Okiwijaya

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, INDONESIA

Robby Arsyadani

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, INDONESIA
robbyarsyadani26@gmail.com

Hermawan

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, INDONESIA
hermawan.mrk@unika.ac.id

Budi Setiyadi

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, INDONESIA

INTISARI

Waste material konstruksi pada pelaksanaan proyek konstruksi tidak dapat dihindari. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan material konstruksi mempunyai kontribusi sekitar 40-60% dari biaya proyek. Oleh karena itu, pengendalian terhadap terhadap waste material konstruksi menjadi penting. Salah satu upaya untuk mengendalikan waste material konstruksi adalah pemanfaatan teknologi yang biasa disebut dengan Building Information Modeling (BIM). BIM digunakan dengan tujuan untuk memodelkan secara virtual terhadap desain konstruksi. Salah satu software yang digunakan untuk memodelkan adalah Tekla Structures. Salah satu manfaat dari penggunaan BIM adalah untuk membantu para pelaku konstruksi guna mereduksi resiko akibat biaya yang tidak terduga dan efisiensi waktu pada tahap pelaksanaan konstruksi. Software ini mempunyai kemampuan untuk menggabungkan data perencanaan sehingga mempermudah dalam pengambilan keputusan. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi waste material dengan menggunakan BIM. Ruang lingkup penelitian ini dilakukan pada proyek konstruksi khususnya gedung di tahap pelaksanaan struktur atas. Penggunaan software Tekla Structures ditujukan untuk pemodelan Gedung Rumah Sakit X. Hal pertama yang dilakukan adalah membuat grid sesuai titik as struktur kemudian dilanjutkan dengan membuat pemodelan 3D. Pemodelan pertama yaitu pemodelan dan penulangan kolom, selanjutnya adalah pemodelan dan penulangan balok, dan yang terakhir pemodelan dan penulangan pelat lantai. Tekla Structures memberikan informasi berupa visualisasi tampak bangunan dalam bentuk 3D. Dari Tekla Structures didapat output berupa volume total material kemudian dapat diketahui volume waste material menggunakan metode optimasi cut bar dengan Solver Add ins pada software Microsoft Excel. Waste yang timbul dari perhitungan metode optimasi cut bar berkisar antara 0,3% sampai 10,9%.

Kata kunci: waste, BIM, Tekla structures, proyek konstruksi

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sisa material konstruksi atau waste material pada pelaksanaan sebuah proyek konstruksi bangunan tidak dapat dihindari. Waste material konstruksi didefinisikan sebagai sesuatu yang sifatnya berlebih dari yang disyaratkan yaitu berupa hasil pekerjaan maupun material konstruksi yang tersisa atau rusak sehingga tidak dapat digunakan kembali berdasarkan fungsinya (Illingworth, 1998). Beberapa faktor yang menjadi penyebab terjadinya waste material antara lain desain, pengadaan material, penanganan material, pelaksanaan dan residual. (Gavilan dan Bemold, 1994). Menurut Craven dkk., (1994) menyatakan bahwa

penyebab utama waste material, antara lain meliputi kesalahan dalam dokumen kontrak, perubahan desain, miss order, kecelakaan kerja, kurangnya pengelolaan waste material, dan kesalahan dalam pemotongan pada bahan-bahan material. Keberadaan waste material di Indonesia dinyatakan dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah. Hal ini waste material diklasifikasikan sebagai sampah spesifik berupa puing bongkaran bangunan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui nilai total volume material menggunakan aplikasi Tekla

Structures melalui pemodelan gedung proyek konstruksi dan menghitung volume waste material menggunakan software Microsoft Excel dengan metode solver add ins.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proyek Konstruksi

Proyek konstruksi merupakan suatu kegiatan yang umumnya termasuk dalam bidang teknik sipil atau arsitektur dengan tujuan pembangunan suatu bangunan tinggal, tempat kerja, atau infrastruktur dengan batasan tertentu (Ervianto, 2005).

Struktur atas atau upper structure merupakan seluruh bagian struktur gedung yang berada diatas muka tanah yang berfungsi menerima kombinasi pembebanan seperti beban mati, beban hidup dan berat sendiri. Struktur atas harus mampu menjamin keamanan agar terwujud kenyamanan. Pada umumnya struktur atas terdiri dari:

a. Kolom

Batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok.

b. Balok

Elemen struktural yang menyalurkan beban-beban dari pelat lantai ke kolom sebagai penyangga vertikal.

c. Pelat lantai

Elemen horizontal utama yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke kerangka pendukung vertikal dari suatu sistem struktur.

2.2 Waste material

Waste material merupakan masalah yang penting pada proyek konstruksi, waste material didefinisikan sebagai kehilangan akibat dari berbagai sumber seperti material, waktu (tenaga kerja dan peralatan), dan produktifitas yang menghasilkan biaya direct dan indirect tetapi tidak menambahkan nilai yang menjadi sudut pandang konsumen (Formoso dkk., 2002). Menurut Tang dkk., (2003) waste material umumnya adalah bagian limbah yang dihasilkan dari konstruksi, renovasi, pembongkaran, pengembangan perumahan, pembangunan infrastruktur, pekerjaan tanah dan pembersihan lahan. Penyebab timbulnya waste material yang berlebihan merupakan faktor utama yang berkaitan dengan peningkatan biaya. Penyebab waste material terjadi karena beberapa hal yaitu karena kesalahan desain, sistem operasi lapangan, rute pengadaan dan penanganan material (Walmikey dan Kulkarni, 2016).

2.3 Building Information Modelling (BIM)

Building Information Modelling (BIM) berfungsi sebagai alat koordinasi untuk mendukung individu melakukan pemodelan desain konstruksi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Biaya bahan material meningkat secara signifikan disebabkan oleh waste material yang besar sehingga mempengaruhi pendapatan pelaksana proyek. Penggunaan BIM selama tahap desain dan konstruksi dapat membantu mengevaluasi kemungkinan jumlah waste material.

2.4 Tekla Structures

Tekla Structures merupakan aplikasi berbasis ensiklopedia proyek, yaitu rangkuman data atau informasi pada bidang konstruksi sehingga dapat mengelola data secara rinci dan membuat model 3D secara kompleks yang mencakup seluruh proses konstruksi bangunan. Software ini menggabungkan data perencanaan sehingga mempermudah pengambil keputusan pada setiap pelaksanaan, desain, dan manajemen proyek bangunan (Saputri, 2012).

Menurut Firoz dan Rao, (2012) Software Tekla Structures memiliki manfaat antara lain presisi dan detail yang jelas, output yang otomatis, serta efisien dan penghematan upaya manajemen yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

a. Presisi dan detail yang jelas

Tekla menawarkan perincian dalam suatu visualisasi model 3D pada tahap konstruksi dengan tingkat akurasi mencapai 100%. BIM dapat mengoptimalkan hasil dengan mencari alternatif desain yang lebih mudah dan biaya yang efektif selama konseptual desain. Model 3D Tekla Structures menampilkan keadaan struktur yang sedang dibangun dalam kondisi apapun. Berdasarkan visualisasi model 3D maka apabila terjadi perubahan dapat dipantau oleh semua perencana yang terlibat, sehingga meningkatkan proses desain secara akurat.

b. Mendapatkan output secara otomatis

Perencana dapat membuat gambar kerja dan melaporkan dengan model 3D secara rinci dan tepat. Karena gambar berkorelasi dengan visualisasi model 3D maka perubahan apapun secara otomatis ditampilkan dalam output. Melalui online hard drive seluruh informasi mengenai desain, analisis, dan dokumentasi proyek dapat dibagikan dan diakses oleh seluruh anggota tim dengan mudah.

c. Efisien dan penghematan upaya manajemen

Tekla Structures dapat membuat penyesuaian yang dibuat untuk struktur secara baik. Melalui Tekla

Structures, desain yang memiliki kesalahan dapat terdeteksi. Komponen yang ditampilkan juga otomatis sudah mengalami perubahan. Perubahan yang secara langsung ditampilkan dalam model 3D dapat meniadakan penundaan dan biaya perbaikan. Oleh karena itu secara langsung software Tekla Structures berperan penting dalam manajemen biaya dan waktu.

3. METODE PENELITIAN

Data diperoleh dengan dua cara yaitu secara kualitatif dengan cara melakukan wawancara dengan pelaksana proyek yang terlibat untuk mengetahui waste material pada proyek terkait dan tindak lanjut dalam menangani waste material tersebut. Pengumpulan data secara kuantitatif berupa gambar for construction, shop drawing dan data laporan bulanan proyek yang diterbitkan oleh proyek terkait. Gambar for construction dan shop drawing digunakan untuk menginput pada program BIM yaitu Tekla Structures guna mengetahui volume material pada proyek tersebut.

4. DATA PENELITIAN

Penjabaran mengenai data gambar for construction dan daftar harga satuan bahan dapat dijabarkan sebagai berikut:

a. Kolom

Pada proyek pembangunan Gedung RS X, mutu beton yang digunakan pada struktur kolom adalah K-300. Mutu bahan yang digunakan untuk baja tulangan polos memiliki nilai f_y 240 MPa. Detail dan dimensi penulangan struktur kolom pada masing-masing tipe kolom dapat diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Detail dan dimensi penulangan struktur kolom

Tipe kolom	Ukuran kolom	Tulangan pokok	
		Tp	Lp
K.1a	400 x 600	16D22	16D22
K.1b	400 x 600	14D22	14D22
K.2a	400 x 400	12D22	12D22
K.2b	400 x 400	8D22	8D22
K.3	300 x 500	12D22	12D22
K.4	250 x 250	8D16	8D16
Senggang	Tp = 2D10-100	Lp = 2D10-150	

b. Balok

Pada proyek pembangunan Gedung RS X, mutu beton yang digunakan pada struktur balok adalah K-300. Mutu bahan yang digunakan untuk baja tulangan polos memiliki nilai f_y 240 MPa. Detail dan dimensi penulangan struktur balok pada masing-masing tipe balok dapat diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Detail dan dimensi penulangan struktur balok

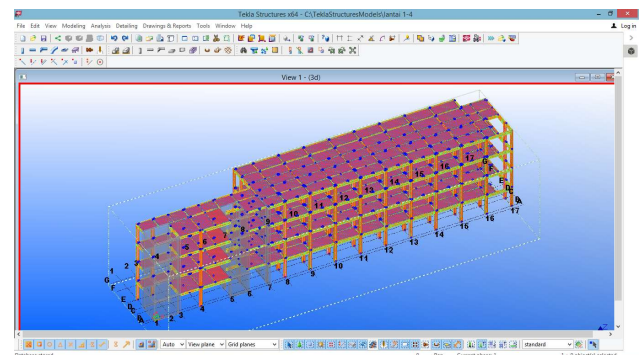
Tipe balok	Ukuran balok	Tulangan atas		Tulangan bawah	
		Tp	Lp	Tp	Lp
G.1a	300x700	9D22	3D22	3D22	7D22
G.1b	300x700	7D22	3D22	3D22	6D22
G.2	300x500	5D22	2D22	3D22	4D22
G.3	300x400	5D22	2D22	3D22	4D22
G.4	250x300	3D22	2D22	2D22	3D22
B.1	250x500	5D19	2D19	3D19	4D19
B.2	200x400	2D16	5D16	4D16	2D16
B.3	200x300	3D16	2D16	2D16	5D16
B.4	150x300	2D13	2D13	2D13	2D13
Senggang		Tp = D10-100		Lp = D10-150	

c. Pelat lantai

Pada proyek pembangunan Gedung RS X, mutu beton yang digunakan pada struktur pelat lantai adalah K-300 sedangkan mutu bahan yang digunakan untuk baja tulangan polos memiliki nilai f_y 240 MPa dan mutu bahan yang digunakan untuk baja tulangan ulir memiliki nilai f_y 400 MPa. Pada proyek pembangunan Gedung RS X struktur pelat lantai yang digunakan mempunyai beberapa tipe seperti S-1, S-2 dan S-3.

5. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Tahap pemodelan struktur Gedung RS X menggunakan software Tekla Structures 21 dengan menginput gambar for construction dan shop drawing yang telah diperoleh dari proyek terkait, dalam bentuk file *softcopy* atau *hardcopy*.



Gambar 1. Hasil keseluruhan pemodelan Lantai 1-4

5.1 Model Organizer

Model organizer dapat mengklasifikasikan informasi yang sesuai dengan kebutuhan. Keunggulan dari model organizer adalah dapat membagi model besar menjadi bagian-bagian kecil yang dikategorikan berdasarkan jenis objek. Pada penelitian ini penggunaan model organizer difokuskan untuk mengetahui jenis objek struktur beserta volume beton dan baja tulangan. Tabel

3 menunjukkan hasil rekapitulasi volume material lantai 1 sampai dengan lantai 4.

Tabel 3. Rekapitulasi volume material Lantai 1-4

No	Jenis material	Waste material	Satuan	Harga (Rp.)
1	Baja tulangan			
	a. D 10	66,80	kg	628.002
	b. D 22	1.136,54	kg	10.683.531
	c. D 19	237,73	kg	514.740
	d. D 16	38,81	kg	364.896
	e. D 13	-	kg	-
2	Beton			
	a. K-300	2,6	m ³	2.150.200

5.2 Perhitungan Waste material

5.2.1 Perhitungan waste material baja tulangan

Perhitungan waste material untuk baja tulangan pada penelitian ini menggunakan metode optimasi *cut bar* dengan Solver Add ins pada software Microsoft Excel. Optimasi pemotongan tulangan dilakukan untuk menekan jumlah waste pada material baja tulangan seminimal mungkin sehingga dapat mengurangi biaya pada waste material. Dari rekapitulasi optimasi potongan baja tulangan memperlihatkan stock length yaitu panjang baja tulangan tiap 1 los. Stock required yaitu tulangan yang dibutuhkan (panjang potongan dikali banyaknya count baja tulangan). Stock used yaitu tulangan yang digunakan (panjang total tulangan). Efisiensi yaitu pemanfaatan dan pemaksimalan pemotongan dari baja tulangan. Hasil rekapitulasi optimasi pemotongan baja tulangan tiap jenis baja tulangan berdasarkan jenis diameter dapat dijabarkan sebagai berikut:

a. Baja Tulangan D10

Tabel 4. Rekapitulasi optimasi potongan baja tulangan D10

Nama	Nilai	Satuan
<i>Stock Length</i>	12	m
<i>Stock required</i>	1.937,93	m
<i>Stock Used</i>	1.956	m
<i>Efficiency</i>	99,08	%

b. Baja Tulangan D16

Tabel 5. Rekapitulasi optimasi potongan baja tulangan D16 *toolbar*

Nama	Nilai	Satuan
<i>Stock Length</i>	12	m
<i>Stock required</i>	221,85	m
<i>Stock Used</i>	228	m
<i>Efficiency</i>	97,30	%

c. Tulangan D19

Tabel 6. Rekapitulasi optimasi potongan baja tulangan D19

Nama	Nilai	Satuan
<i>Stock Length</i>	12	m
<i>Stock required</i>	777,3	m
<i>Stock Used</i>	804	m
<i>Efficiency</i>	96,68	%

d. Tulangan D22

Tabel 7. Rekapitulasi optimasi total baja tulangan D22

Nama	Nilai	Satuan
<i>Stock Length</i>	12	m
<i>Stock required</i>	5.988,78	m
<i>Stock Used</i>	6.084	m
<i>Efficiency</i>	98,43	%

5.2.2 Perhitungan waste beton ready mix

Pada perhitungan waste material beton ready mix dilakukan dengan mengurangi volume pembelian material dengan volume material yang diperoleh melalui aplikasi Tekla Structures. Pembelian material beton ready mix berdasarkan volume truck ready mix dikali banyaknya jumlah truck ready mix dengan mendekati hasil volume material yang dibutuhkan. Volume material tiap truck ready mix adalah 6 m³. Perhitungan waste material beton ready mix dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\text{Volume pembelian material} : 85 \times 6 \text{ m}^3 = 510 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume material beton ready mix} = 507,4 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume waste material beton ready mix} = \text{volume pembelian} - \text{volume material} = 510 - 507,4 = 2,6 \text{ m}^3$$

Berdasarkan uraian diatas melalui perhitungan waste material untuk baja tulangan dan beton ready mix, berikut rekapitulasi volume waste material pada Lantai 1-4:

Tabel 8. waste material pada Lantai 1-4

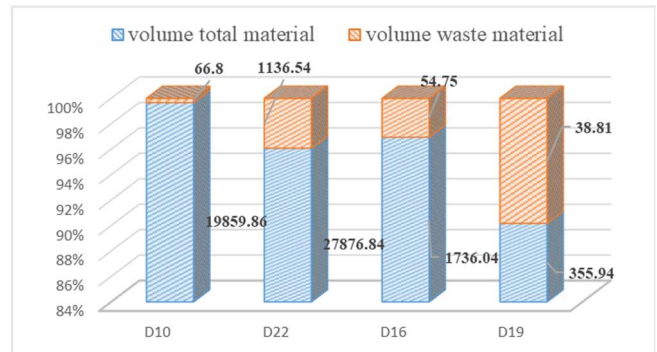
No	Jenis material	Waste material	Satuan
1	Baja tulangan		
	a. D 10	108,28	m
	b. D 22	380,88	m
	c. D 19	54,75	m
	d. D 16	38,81	m
	e. D 13	-	m
2	Beton		
	f. K-300	2,6	m ³

Guna mengetahui biaya yang dikeluarkan untuk waste material baja tulangan, diperlukan konversi baja tulangan dari satuan meter kedalam satuan kilogram. Perhitungan konversi baja tulangan dilakukan dengan menyesuaikan dengan jenis diameter. Ukuran waste material baja tulangan dalam satuan meter kemudian dikali dengan berat nominal per meter baja tulangan. Perhitungan biaya waste material dilakukan dengan cara mengalikan volume waste material dengan harga satuan bahan. Sebagai acuan untuk menentukan biaya yang dikeluarkan untuk volume waste material adalah harga satuan bahan. Harga satuan bahan dapat dilihat pada Tabel 4.3. Rekapitulasi waste material dan harga pada Lantai 1-4 dapat diperlihatkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi waste material dan harga pada Lantai 1-4

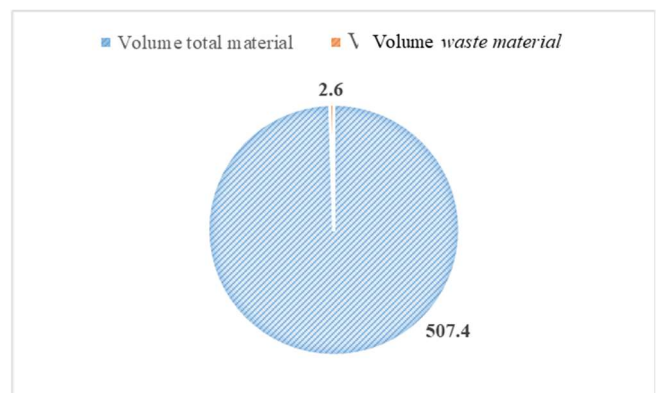
No	Jenis material	Waste material	Satuan	Harga (Rp.)
1	Baja tulangan			
	a. D 10	66,80	kg	628.002
	b. D 22	1136,54	kg	10.683.531
	c. D 19	237,73	kg	514.740
	d. D 16	38,81	kg	364.896
	e. D 13	-	kg	-
2	Beton			
	f. K-300	2,6	m ³	2.150.200

Waste material baja tulangan terhadap banyaknya volume material dapat diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Nilai Waste Material Baja Tulangan Terhadap Volume Total Material

Waste material beton ready mix terhadap volume total material dapat diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Nilai Waste Material Beton Ready Mix Terhadap Volume Total Material

6. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data, kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Software Tekla Structures dapat memodelkan struktur beton konstruksi. Studi kasus yang menjadi objek untuk pemodelan 3D dalam hal ini adalah Gedung RS X. Struktur konstruksi yang dimodelkan mencakup struktur kolom, balok dan pelat lantai.
2. Persentase waste material pada penelitian ini untuk material baja tulangan yang dihasilkan dari perhitungan metode optimasi cut bar adalah 0,3% sampai dengan 10,9 %.
3. Persentase waste material pada penelitian ini untuk material beton ready mix yang dihasilkan adalah 0.52%.
4. Nilai waste material pada pada penelitian ini untuk material baja tulangan memiliki nilai sebesar 1.479,88 kg dari keseluruhan 49.828,68 kg dengan biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 11.727.903.

5. Nilai waste material pada penelitian ini untuk material beton ready mix memiliki nilai sebesar 2,6 m³ dari keseluruhan 507,4 m³ dengan biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 2.150.200.

6. Nilai waste material pada penelitian ini untuk material baja tulangan D10 adalah 66,8 kg dari keseluruhan 19.859,86 kg, nilai waste material baja tulangan D22 adalah 1.126,54 kg dari keseluruhan 27.876,84 kg, nilai waste material baja tulangan D16 adalah 54,75 kg dari keseluruhan 1.736,04 kg dan nilai waste material baja tulangan D19 adalah 38,81 kg dari keseluruhan 355,94 kg.

REFERENSI

Craven, D. J., Okraglik, H. M., dan Eilenberg, M. (1994): *Construction waste and a new design methodology Sustainable construction*, Tampa, Florida, USA, Proc. 1st Conf. Of CIBTG, 16, 89-98.

Ervianto, W. I. (2005): *Manajemen Proyek Konstruksi* (Edisi Revisi). Yogyakarta: C.V Andi Offset.

Firoz, S., dan Rao, S. (2012): Modelling Concept of Sustainable Steel Building by Tekla Software. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1(5), 18-24.

Formoso, C.T., Soibelman, L.M., Cesare, C.D. dan Isatto, E.L. (2002): Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128, 316-325

Gavilan, R. M. dan Bernold, L. E. (1994): Source of Evaluation of Solid Waste in Building Construction. *Journal Construction Engineering Management*, 120, 536-552.

Illingworth, J.R. 1998. Waste in the construction process.

Penttilä, H. (2006): Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. *Special Issue The Effects of CAD on Building Form and Design Quality, ITCO*, 11, 395-408.

Saputri, F. (2012): *Penerapan Building Information Modeling (BIM) pada Pembangunan Struktur Gedung Perpustakaan IPB Menggunakan Software Tekla Structures 17*. Institut Pertanian Bogor.

Tang, H. H., Soon, H. Y., dan Larsen, I. B. (2003): Solid Waste Management in Kuching, Sarawak. *DANIDA / Sarawak Government UEMS Project*,

Natural Resources and Environmental Board (NREB), Sarawak & Danish International Development Agency (DANIDA).

Tolman, F. P. (1999): Product modeling standards for the building and construction industry: past, present and future. *Autom Constr*, 8, 227-235.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang pengelolaan Sampah

Walmikey, P dan Kulkarni, P. (2016): Construction waste management through the applications of BIM. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, 5, 193-200.

TEMA F
MATERIAL

Perilaku Slag Nikel Sebagai Agregat Halus Dengan Menggunakan *Self Compacting Concrete*

Nini H Aswad

Departemen Teknik Sipil, Universitas Halu Oleo, Kendari, INDONESIA
niniaswad@gmail.com

Akbar Haryadi

Mahasiswa S1 Teknik Sipil, Universitas Halu Oleo, Kendari, INDONESIA
akbarscholarship2020@gmail.com

Tachrir

Departemen Teknik Elektro, Universitas Halu Oleo, Kendari, INDONESIA
tachrir@gmail.com

Mufti amir sultan

Departemen Teknik Sipil, Universitas Khairun, Ternate, INDONESIA
muftiasltn@unhair.ac.id,

INTISARI

Tes eksperimental yang dilakukan dengan menggunakan slag nikel sebagai pengganti agregat halus terhadap *Self Compacting Concrete* untuk pembuatan beton alir atau pematatan sendiri, untuk mendapatkan komposisi optimum penggunaan slag nikel sebagai pengganti agregat halus yang dapat mendukung konsep *Self Compacting Concrete*. Hasil menunjukkan nilai *slump flow* dengan variasi penggunaan slag nikel 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% berturut-turut sebesar 730 mm, 670 mm, 665 mm, 660 mm, dan 640 mm. Nilai *slump flow* terbesar terdapat pada penggunaan slag nikel dengan variasi 0%. Untuk *slump flow time* T_{500} mm, diperoleh hasil pengujian masing-masing variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut sebesar 3,37 detik, 3,76 detik, 3,92 detik, 4,53 detik, dan 4,96 detik. Waktu tercepat dalam mencapai diameter 500 mm terdapat pada penggunaan slag nikel dengan variasi 0%, sedangkan waktu terlama terdapat pada penggunaan slag nikel sebesar 100%.

Kata kunci: *SCC, slag nikel, slump flow, flow time*.

1. PENDAHULUAN

Self Compacting Concrete adalah metode pembuatan beton untuk memudahkan pengerjaan, di mana beton dapat memadat sendiri tanpa bantuan alat vibrator, penggunaan SCC adalah pada beton mutu tinggi dengan nilai *slump* kecil yang menyebabkan kesulitan saat pembuatannya. Namun metode ini dapat meningkatkan sifat mekanik dari beton yakni sifat kemudahan pengerjaannya, dan dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Beton mutu tinggi mempunyai nilai kekentalan factor air semen yang besar memungkinkan sangat rumit untuk melaksanakan pengecoran dalam hal ini pematatan, sehingga dibutuhkan cara untuk mempermudah dengan menggunakan SCC (*Self Compacting Concrete*) yang dapat memadat sendiri dan memiliki *workability* tinggi. Safarizki, 2017, mengatakan bahwa beton SCC memiliki *workability* dan kuat tekan yang tinggi. Mutu kuat tekan yang direncanakan tidak boleh mengalami penurunan kekuatan akibat adanya SCC tersebut sebagai bahan

tambah. Selain itu, Dehn et al, 2000 mengatakan dalam produksi beton SCC, komposisi agregat kasar dan agregat halus harus diperhatikan. Karena semakin besar proporsi agregat halus akan meningkatkan daya alir beton segar, tetapi jika agregat halus yang digunakan terlalu banyak maka akan menurunkan nilai kuat tekan yang dihasilkan. Sebaliknya jika terlalu banyak agregat kasar dapat memperbesar resiko segregasi beton. Penggunaan *superplasticizer* dapat meningkatkan mutu beton, Kusnadi, 2011. Penelitian ini menggunakan bahan tambah berupa *Superplasticizer* jenis *MasterGlenium Sky 8851* sebesar 1% dari berat semen. Metode mix design beton SCC yang digunakan adalah sistem *Department of Environment (DOE)* yang umum dipakai Indonesia untuk perancangan campuran beton normal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori SCC

Berdasarkan spesifikasi SCC dari EFNARC, workabilitas dan kelecakan campuran beton segar dapat dikatakan sebagai beton SCC apabila memenuhi kriteria sebagai berikut : **Passing Ability** adalah dapat mengalir dan memadat ke setiap sudut dan celah celah struktur bangunan yang sulit dijangkau oleh pekerja dan mengisi tinggi permukaan yang diinginkan dengan rata (*self leveling*) tanpa mengalami *bleeding*. **Segregation Resistance** adalah kemampuan beton segar untuk mampu bertahan dari pemisahan antar material sehingga memiliki workability yang tinggi. Serta **filling ability** menunjukkan kemampuan beton segar untuk mengisi setiap ruang dalam bekisting tanpa terdapat rongga udara.

2.2 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam pembuatan beton SCC yaitu batu pecah moramo dengan ukuran maksimum agregat 20 mm dengan hasil uji karakteristik sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Analisa Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pengujian
1	Analisa Saringan	Memenuhi
2	Kadar air (%)	0,10
3	Berat jenis	
	- Bulk (gr/cm ³)	2,65
	- SSD (gr/cm ³)	2,67
	- Semu (gr/cm ³)	2,71
4	Berat isi (gr/cm ³)	1,55
5	Absorpsi (%)	0,89

Sumber : Hasil Pengujian, 2019

Berdasarkan Tabel 1, hasil analisa pengujian agregat kasar (batu moramo) dengan batas maksimum butir 20 mm memenuhi standar presentasi lolos saringan agregat kasar. Untuk berat jenis batu moramo yang meliputi berat jenis bulk, SSD, dan semu masing-masing memiliki nilai 2,65 gr/cm³, 2,67 gr/cm³, dan 2,71 gr/cm³ dengan nilai absorpsi sebesar 0,89%. Sedangkan berat isi batu moramo memiliki nilai sebesar 1,55 gr/cm³. Semua hasil analisa pengujian batu moramo memenuhi standar dan dapat digunakan sebagai agregat kasar pada campuran beton.

2.3 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam pembuatan beton SCC yaitu pasir Pohara Sulawesi Tenggara dengan

hasil analisa laboratorim ditunjukkan pada Tabel 2. Sebagai berikut

Tabel 2 Hasil Analisa Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pengujian
1	Analisa Saringan	Zona III
2	Kadar air (%)	0,80
3	Berat jenis	
	- Bulk (gr/cm ³)	2,55
	- SSD (gr/cm ³)	2,56
	- Semu (gr/cm ³)	2,57
4	Berat isi padat (gr/cm ³)	1,59
5	Absorpsi (%)	0,28

Sumber : Hasil Pengujian, 2019

Berdasarkan Tabel 2, hasil analisa pengujian agregat halus semuanya memenuhi Standar Nasional Indonesia. Pasir pohara setelah dilakukan uji analisa saringan masuk kedalam kategori zona 3, dimana zona tersebut masuk dalam kategori pasir agak halus. Selain itu, berat jenis yang dihasilkan mulai dari berat jenis bulk, SSD, dan semu semuanya memenuhi standar dengan batas minimum 2,5. Sedangkan untuk absorpsi atau penyerapan, pasir pohara memiliki nilai 0,8% dan memenuhi standar dari batas maksimal yaitu 3%. Sehingga pasir pohara dapat digunakan sebagai agregat halus dalam campuran beton.

2.4 Slag Nikel

Slag nikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai pengganti agregat halus dalam pembuatan beton SCC. Parameter agregat halus yang diuji meliputi analisa saringan, kadar air, berat jenis, dan absorpsi.

Tabel 3. Hasil Analisa Pengujian Slag Nikel

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pengujian
1	Analisa Saringan	Zona II
2	Kadar air (%)	1,32
3	Berat jenis	
	- Bulk (gr/cm ³)	2,85
	- SSD (gr/cm ³)	2,87
	- Semu (gr/cm ³)	2,89
4	Berat isi padat (gr/cm ³)	1,45
5	Absorpsi (%)	0,38

Sumber : Hasil Pengujian, 2019

Terlihat pada Tabel 3, hasil analisa pengujian slag nikel memenuhi standar yang telah ditetapkan. Pada analisa saringan, slag nikel masuk kategori zona II. Dimana slag nikel memiliki gradasi yang agak kasar. Untuk berat jenis bulk, SSD, dan semu memiliki nilai berturut-turut 2,85, 2,87, dan 2,89. Selain itu, absorpsi

pada slag nikel memiliki nilai 0,38 lebih besar dibandingkan pada absorpsi pasir sebesar 0,28. Sedangkan untuk berat isi padat memiliki nilai 1,45 gr/cm³ dan juga lebih kecil daripada berat isi pasir pohara. Hasil analisa pengujian slag nikel memenuhi standar untuk digunakan sebagai agregat halus pada campuran beton.

2.5 Slump Flow

Pengukuran *Slump Flow* dilakukan untuk mengetahui kelecakan (*workability*) adukan beton SCC. Kelecakan adukan beton SCC merupakan ukuran dari tingkat kemudahan campuran untuk diaduk, diangkat, dituang dan dipadatkan tanpa menimbulkan pemisahan bahan penyusun beton (*segregation*). Tingkat kelecakan ini dipengaruhi oleh komposisi campuran, kondisi fisik dan jenis bahan pencampurnya. Berikut ini adalah hasil pengujian *slump flow* beton SCC beberapa variasi penggunaan slag nikel sebagai pengganti agregat halus. Menurut Nini, 2008 menyatakan bahwa nilai *slump flow* beton SCC dengan konsentrasi *superplasticiser* 1,5 % dari berat semen sebesar 715 mm dengan nilai flow timenya 4 detik dan tidak terjadi segregasi.

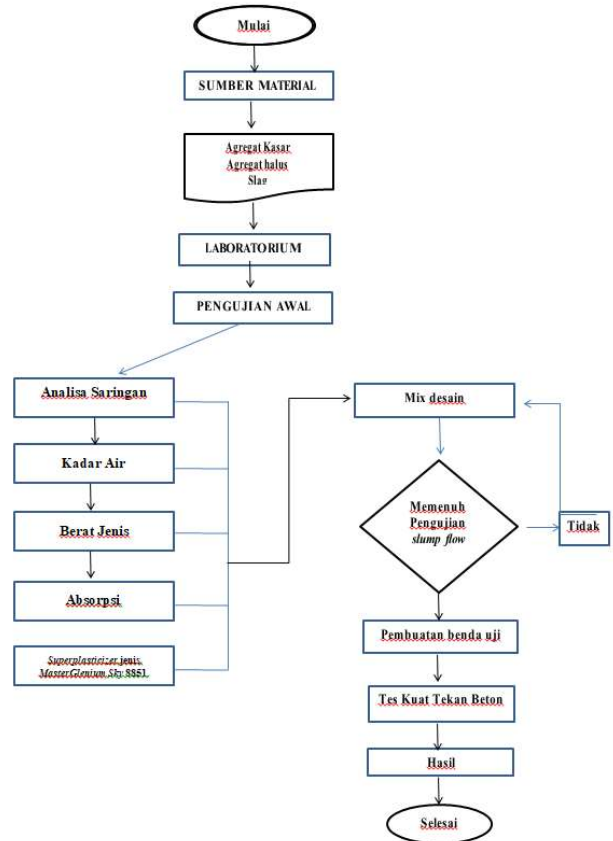
Kuat tekan beton adalah beban tekan maksimum yang dapat dipikul oleh beton persatuan luas sampai beton itu hancur. Test ini dilakukan untuk mengetahui mutu beton dari hasil rancangan, apakah memenuhi persyaratan atau tidak. Selain itu kekuatan tekan beton digunakan untuk menilai dan mengendalikan mutu pekerjaan pembetonan dilapangan dalam memenuhi persyaratan spesifikasi. Cara yang digunakan untuk pemeriksaan kekuatan tekan beton adalah dengan menggunakan mesin tekan. Prinsip pengujian kuat tekan beton dengan alat mesin tekan adalah mengukur besarnya beban yang dapat dipikul oleh satu satuan luas beton (benda uji) sampai benda uji itu hancur / rusak.

Setelah melewati masa perawatan atau perendaman, benda uji perlu dikeluarkan untuk dipersiapkan guna uji kuat tekan silinder sesuai umur harinya (3, 7, 14, dan 28 hari). Rumus untuk menentukan nilai kuat tekan benda uji:

$$f'c = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \tag{1}$$

Di mana P adalah beban maksimum (N/mm²) dan A luas penampang (mm)

3. METODOLOGI PENELITIAN



Mix Design Self Compacting Concrete

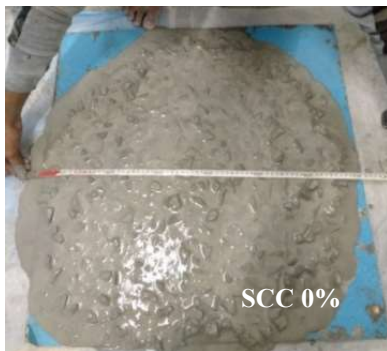
Perencanaan campuran beton SCC mengacu pada standar DOE (*Department Of Environment*). Komposisi agregat kasar dan agregat halus yang digunakan adalah 55% : 45% sesuai dengan batas maksimum yang direkomendasikan oleh EFNARC. Faktor air semen yang digunakan seragam yaitu 0,3. Kuat tekan direncanakankan sebesar 45 MPa pada umur 28 hari dengan penggunaan *Superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen jenis *Masterglenium sky 8851*

Tabel 4. Hasil Analisa Pengujian Slag Nikel

No.	Kode Sampel	Material					
		Semen (Kg)	Air (Ltr)	Batu Pecah (Kg)	Pasir (Kg)	Slag (Kg)	SP (ml)
1	SCC0	750	225	743,6	608,4	-	7,5
2	SCC25	750	225	743,6	456,3	152,1	7,5
3	SCC50	750	225	743,6	304,2	304,2	7,5
4	SCC75	750	225	743,6	152,1	456,3	7,5
5	SCC100	750	225	804,4	-	658,1	7,5

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

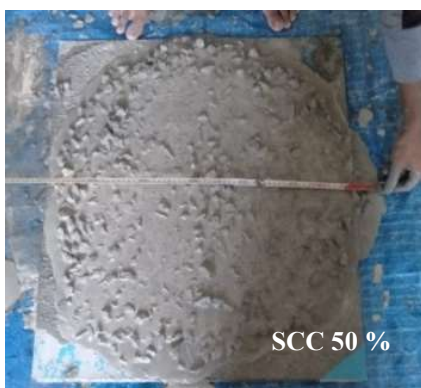
Pengukuran *Slump Flow* dilakukan untuk mengetahui kelecakan (*workability*) adukan beton SCC. Penambahan aditif *Superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen jenis *Masterglenium sky 8851* dalam beton SCC untuk kemudahan adukan campuran, diangkut, dituang dan dipadatkan tanpa menimbulkan pemisahan bahan agregat kasar dari penyusun beton (*segregation*). Berikut ini adalah hasil pengujian *slump flow* beton SCC dengan menggunakan variasi penggunaan slag nikel sebagai pengganti agregat halus memperlihatkan gambar dibawah ini dari masing masing variasi adalah sebagai berikut :



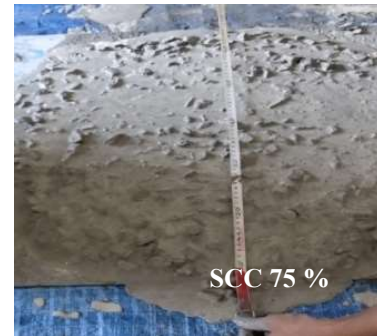
Gambar 2. gambar menunjukkan hasil *slump flow* pada beton tanpa penambahan slag nikel



Gambar 3. gambar menunjukkan hasil *slump flow* pada variasi 25 % penambahan slag nikel



Gambar 4. gambar menunjukkan hasil *slump flow* pada masing masing variasi penambahan slag nikel



Gambar 5. gambar menunjukkan hasil *slump flow* pada masing masing variasi penambahan slag nikel



Gambar 6. gambar menunjukkan hasil *slump flow* pada masing masing variasi penambahan slag nikel

Pada Gambar diatas masing masing: tanpa slag nikel, dan variasi penggunaan slag nikel 25%, 50%, 75%, 100% menunjukkan bahwa *slump flow* pada umumnya memenuhi perilaku dari beton alir membentuk lingkaran dengan tidak terjadi segregasi maupun bleeding.

Selanjutnya hasil nilai *Slump Flow* dari masing masing variasi slag adalah sebagai berikut tersaji pada tabel dibawah ini

Tabel 4. Hasil Pengujian *Slump Flow*

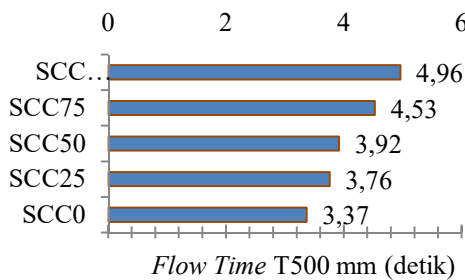
N o.	Kode Sampel	Slump Flow			Syarat EFNARC (mm)	
		d1 (mm)	d2 (mm)	dr (mm)	Mi n.	Ma ks.
		1	SCC ₀	710	750	730
2	SCC ₂₅	600	740	670	550	850
3	SCC ₅₀	660	670	665		
4	SCC ₇₅	750	570	660		
5	SCC ₁₀₀	680	600	640		

Pengujian *Slump Flow* menunjukkan bahwa hasil pengujian untuk semua variasi memenuhi standar yang ditetapkan oleh EFNARC. Hasil uji *slump flow* tertinggi terdapat pada variasi penggunaan pasir secara keseluruhan (100%) adalah 730 mm, sedangkan hasil uji *slump flow* terendah terdapat variasi penggunaan slag nikel secara keseluruhan (100%) dengan nilai 640 mm. Hasil tersebut berupa garis linear menurun, dimana semakin banyak penggunaan slag nikel pada

campuran beton, maka semakin kecil hasil uji *slump flow* dan begitupun sebaliknya, terlihat pada Tabel 4. Menurut standar EFNARC (2005) pada Tabel 4, untuk syarat hasil pengujian *slump flow* terdapat beberapa kelas untuk pemakaian pada konstruksi bangunan. Hasil pengujian *slump flow* yang masuk ke dalam kelas SF1 (Untuk beton bertulang seperti bangunan perumahan, pengecoran dengan sistem injeksi misalnya dinding dan pengecoran bagian sempit untuk mencegah aliran horizontal misalnya pondasi dalam), terdapat pada variasi penggunaan slag nikel sebesar 100%. Sedangkan variasi penggunaan slag nikel mulai dari 0% sampai 75% masuk ke dalam kategori kelas SF2 (untuk kondisi normal, seperti untuk pengecoran dinding, kolom dan lainnya). Sehingga, dalam penelitian ini luaran yang dihasilkan dapat diterapkan pada struktur dalam kondisi normal.

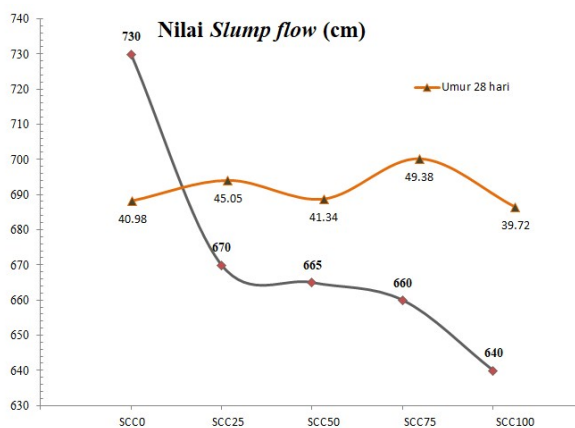
Flow Time T₅₀₀ mm

Slump flow time T₅₀₀ mm merupakan pengujian beton segar untuk mengetahui seberapa lama campuran beton mengalir melalui alat *slump cone* yang diangkat untuk mencapai diameter 500 mm.

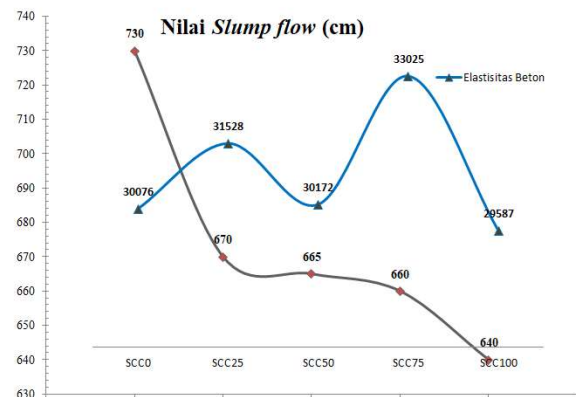


Gambar 7. Grafik waktu yang ditempuh pada T 500 mm terhadap variasi penambahan slag.

Grafik menunjukkan bahwa semakin besar variasi pembahan slag pada maka semakin besar waktu yang tempuh dalam T500 mm. terlihat bahwa waktu ikat semen lebih cepat mengikat pada SCC 0% 3,37 detik, dibanding dengan penambahan slag nikel berurutan 3,76 detik, 3,92 detik.



Gambar 8. Hubungan nilai slump flow dan Kuat Tekan Rata-Rata Beton Umur 28 Hari.



Gambar 9. Hubungan nilai slump flow dan nilai modulus elastisitas Beton Umur 28 Hari.

Berdasarkan Gambar 9, hasil analisa modulus elastisitas beton pada umur 28 hari menunjukkan bahwa modulus elastisitas beton menunjukkan bahwa elastisitas beton memunyai nilai yang sama dengan kuat tekan yang sama. Hal tersebut terlihat jelas pada nilai modulus elastisitas dikarenakan hubungan antara kuat tekan beton dan modulus elastisitas adalah berbanding lurus. Pada usia 28 hari beton mengalami kekuatan maksimum baik elastisitas ataupun nilai kekuatannya yakni pada variasi 75 % dengan nilai 49,38 MPa kekuatan 20 % lebih besar dari beton tanpa variasi slag. Menunjukkan bahwa substitusi slag 75% dan 25 % agregat pasir pada beton dengan penggunaan zat aditif *Superplasticizer* jenis *Master Glenium Sky 8851* dengan memberikan hasil maksimal, yang disebabkan oleh perbandingan komposisi dari analisa saringan terhadap agregat halus yakni pada pada Tabel 2 komposisi zona III 25%, agregat pasir pohara dan pada Tabel 3. Zona II 75% agregat pasir slag dengan nilai kemampuan penyerapan air memenuhi standar dan menghasilkan kuat tekan beton paling maksimum.

5. KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh tentang nilai *slump flow* yang terjadi dari 5 variasi campuran memenuhi standar penggunaan slag nikel dari 0% sampai 100%, visualisasi hasil uji *slump flow* menunjukkan kondisi sangat baik. Menurut standar ASTM 1611, hasil uji *slump flow* diatas masuk dalam tingkat visualisasi indeks di angka 0 (sangat stabil), dimana kinerja pada beton tersebut menunjukkan tidak adanya kondisi segregasi maupun *bledding*. Namun, untuk campuran penggunaan slag nikel sebesar 100% menggambarkan terjadi pemisahan air semen dan agregat dan terjadi *bledding*, hal ini menyebabkan nilai kuat tekan beton menurun 3% dari beton tanpa campuran slag (SCC 0%) dan waktu alir T500mm adalah 4,96 detik campuran slag nikel 100% tersebut mengalami pengerasan lebih

lambat jika dibandingkan dengan tanpa slag namun kuat tekan yang dihasilkan tertinggi pada komposisi campuran slag 75% (benda uji SCC75) lebih tinggi 18% terhadap SCC0 beton tanpa menggunakan slag. Kuat optimum SCC beton pada komposisi substitusi 75% slag nikel sebagai agregat halus.

Self Compacting Concrete. Dimensi Teknik Sipil, Vol. 3, No.1, 30-35

Aswad, N.H. 2008. Sultan, M.A., *Pengaruh Penambahan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Beton SCC*. Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik UHO Metro pilar Volume 6, 3 juli 2008, Hal 148 – 152.

REFERENSI

Achmadi, A. 2009. *Kajian Beton Mutu Tinggi Menggunakan Slag Sebagai Agregat Halus Dan Agregat Kasar Dengan Aplikasi Superplasticizer Dan Silicafume*. Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro

ASTM International. 2017. *Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete*. United State : ASTM International

Badan Standarisasi Nasional. 2002. *SNI 03-2847-2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung : Badan Standarisasi Nasional

Badan Standarisasi Nasional. 2004, *Semen Portland*. Bandung : Badan Standarisasi Nasional

Citrakusuma, J, L. 2012. *Kuat Tekan Self Compacting Concrete Dengan Kadar Superplasticizer Yang Bervariasi*. Jember: Skripsi, Universitas Diponegoro

Dehn, F., Holschemacher, K., & Weibe, D. 2000. *Self Compacting Concrete (SCC) Time Development of The Material Properties and the bond Behaviour*, 155-124

EFNARC. 2005. *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete : Spesification, Production and Use*

Jalali, N.A., & Salim, A. 2018. *Agregat Halus Slag Nikel Sebagai Pengganti Sebagian Pasir Pada Pembuatan Beton*. Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M), pp.142-147

Kusnadi,dewi 2011. *Pengaruh penambahan Superplasticizer terhadap campuran beton ringan yang menggunakan sstrofoam*. Inersia vol VII No 2, Hal.124-140

Saptahari Sugiri. 2005. *Penggunaan Terak Nikel sebagai Agregat dan Campuran Semen untuk Beton Mutu Tinggi*. Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan, Edisi Volume I No. 1

Sugiharto, H., Kusuma, G.H., Himawan, A., & Darma, D.S. 2001. *Penggunaan Fly Ash dan Viscocrete Pada*

Analisis Kuat Tekan, Penyerapan Air dan Ketahanan Aus pada *Paving Block* terhadap Penggunaan *Feldspar* dan Abu Batu sebagai Agregat Halus

I. Rustendi

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma, Purwokerto, INDONESIA
iwanrustendi72@gmail.com

L. Tiyani

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma, Purwokerto, INDONESIA
lilistiyani95@gmail.com lilistiyani@unwiku.ac.id

N.A.S Purwono

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma, Purwokerto, INDONESIA
novi_andhisp@yahoo.com

F.E. Poerwodihardjo

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma, Purwokerto, INDONESIA
ferdinandeseddy@gmail.com

B.S. Wicaksana

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma, Purwokerto, INDONESIA
bayuseptiaji.wicaksana@gmail.com

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *feldspar* dan abu batu sebagai agregat halus pada kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan aus *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996. Benda uji *paving block* menggunakan komposisi campuran tipe I = 1 Pc : 5 abu batu, tipe II = 1 Pc : 2,5 abu batu : 2,5 *feldspar*, tipe III = 1 Pc : 5 *feldspar*. Dari hasil pengujian di dapat kuat tekan rata-rata *paving block* pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari menggunakan campuran *feldspar* lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan campuran abu batu atau dengan menggunakan campuran abu batu + *feldspar*. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata *paving block* menggunakan campuran *feldspar* pada umur 7 hari adalah 60 kg/cm², pada umur 14 hari adalah 80 kg/cm² dan pada umur 28 hari adalah 110 kg/cm². Hasil penyerapan air rata-rata *paving block* dengan menggunakan campuran *feldspar* lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan campuran abu batu atau dengan menggunakan campuran abu batu + *feldspar* yaitu sebesar 8,4 %. Ketahanan aus rata-rata *paving block* pada umur 28 hari dengan menggunakan campuran *feldspar* lebih sedikit mengalami keausan yaitu sebesar 0,22 mm/menit, ini dikarenakan *feldspar* mempunyai ketahanan aus lebih baik dari pada abu batu maupun abu batu + *feldspar*.

Kata kunci: *feldspar*, *paving block*, kuat tekan, penyerapan air, ketahanan aus

1. PENDAHULUAN

Penggunaan *paving block* sebagai *alternative* perkerasan jalan lingkungan akhir-akhir ini mulai marak digunakan. Meningkatnya kebutuhan akan perkerasan jalan lingkungan menimbulkan banyak penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menghasilkan kualitas mutu *paving block* yang lebih baik. *Paving block* yang memiliki mutu kualitas yang baik adalah *paving block* yang memiliki nilai kuat tekan yang tinggi untuk menahan beban yang berada di atasnya. *Paving block* adalah suatu komposisi bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis lainnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak

mengurangi mutu beton tersebut (SNI 03-0691-1996). *Paving Block* adalah solusi terbaik untuk lahan resapan saat hujan dan banjir. Pemasangannya tidak susah dan perawatannya pun mudah. Pemasangan dengan motif yang baik akan menambah keindahan bangunan sekitarnya. *Paving block* diproduksi dengan warna natural, reguler (merah, hitam) dan warna khusus (hijau, kuning, biru). Tersedia berbagai model, warna dan ukuran *Paving Block* Dengan pola dan pemasangan yang baik, *Paving Block* berkualitas akan lebih tambah menarik dan rapi.

Indonesia adalah negara yang kaya akan sumber daya alam, salah satunya kaya akan *feldspar*. Menurut Nuryanto dan Frank (2012), *Feldspar* merupakan mineral senyawa alumina-silikat sebagai salah satu komponen/mineral pembentuk batuan beku (granit

pegmatite, granodiorit, dan gabro) yang kaya akan unsur alkali (K_2O , Na_2O dan CaO). Data dari Direktorat Inventarisasi Sumberdaya Mineral pada tahun 2016 menunjukkan jumlah sumber daya *feldspar* sebesar 10.391,94 juta ton *feldspar*. Jumlah *feldspar* yang melimpah tersebut tanpa didukung pengembangan penelitian sehingga harga jual *feldspar* masih tergolong murah. Diharapkan nilai jual *feldspar* itu sendiri meningkat setelah mengalami beberapa pengolahan diantaranya menjadikan *feldspar* sebagai bahan pengganti agregat pada pembuatan *paving block*.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah Sebagai bahan informasi bagi mereka yang bergerak di bidang kontruksi bahwa *feldspar* dan abu batu dapat dipakai sebagai agregat halus pada *paving block*.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan persiapan terhadap bahan dan peralatan yang akan digunakan, antara lain (1) pemeriksaan peralatan yang akan digunakan (2) pemeriksaan agregat halus yang akan digunakan (3) pemeriksaan secara visual terhadap semen yang akan digunakan (4) pemeriksaan kondisi air yang ada di Laboratorium.

2.2 Tahap Pemeriksaan Bahan

- Pemeriksaan Semen
- Pemeriksaan Abu Batu
- Pemeriksaan *Feldspar*
- Pemeriksaan Air

2.3 Tahap Pengujian Benda Uji

Pengujian bata beton dilakukan sesuai dengan SNI 03-0691-1996. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan yang dilakukan pada bata beton setelah umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari, daya serap air dan ketahanan aus yang dilakukan setelah bata beton berumur 28 hari. Pemeriksaan yang dilakukan sebelum pengujian adalah dengan memeriksa ukuran dan penimbangan berat.

2.4 Tahap Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan membuat benda uji menggunakan alat cetak *paving block* hidrolik (*Pressing*) yang ada di pabrik *paving block* Sumbang. Bentuk *paving block* yang dibuat yaitu bentuk standar dengan dimensi 21 cm x 10,5 cm x 6 cm yang kemudian *paving block* dipotong kubus dengan ukuran 6 cm x 6 cm x 6 cm menggunakan alat potong gurinda listrik. Dengan ukuran perbandingan bahan yang sudah ditentukan, siapkan ember untuk menentukan takaran tiap material. Takaran yang

dipakai yaitu 1 ember semen banding 5 ember abu batu, 1 ember semen dan 5 ember *feldspar*, dan 1 ember semen banding 2,5 ember abu batu dan 2,5 ember *feldspar*.

2.2 Tahap Analisis Data dan Pembahasan

- Melakukan input data. Mencatat semua hasil pengujian baik pengujian fisik, mekanik.
- Menganalisis dan mengolah data. Data hasil pengujian diolah, dianalisa dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.
- Penentuan benda uji sesuai persyaratan. Menentukan benda uji yang paling optimal dan memenuhi persyaratan, berdasarkan hasil pengujian yang telah dilaksanakan.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

Pengujian kuat tekan pada penelitian ini menggunakan standar SNI – 03-0691-1996, benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 6 cm x 6 cm x 6 cm sebanyak 5 buah benda uji dan pengujian dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan rerata *paving block* umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 1, 2 dan 3.

Tabel 1. Kuat tekan *paving block* umur 7 hari

Variasi Campuran <i>Paving Block</i>	Kuat Tekan (kg/cm ²)
<i>Paving Block</i> dengan <i>Feldspar</i>	60,0
<i>Paving Block</i> dengan Abu Batu	47,8
<i>Paving Block</i> dengan Abu Batu dan <i>Feldspar</i>	53,3

Tabel 2. Kuat tekan *paving block* umur 14 hari

Variasi Campuran <i>Paving Block</i>	Kuat Tekan (kg/cm ²)
<i>Paving Block</i> dengan <i>Feldspar</i>	80,0
<i>Paving Block</i> dengan Abu Batu	58,9
<i>Paving Block</i> dengan Abu Batu dan <i>Feldspar</i>	68,9

Tabel 3. Kuat tekan *paving block* umur 28 hari

Variasi Campuran <i>Paving Block</i>	Kuat Tekan
--------------------------------------	------------

	(kg/cm ²)
<i>Paving Block</i> dengan <i>Feldspar</i>	110,0
<i>Paving Block</i> dengan Abu Batu	85,6
<i>Paving Block</i> dengan Abu Batu dan <i>Feldspar</i>	91,1

Dari Tabel 1, 2 dan 3 dapat dilihat bahwa kuat tekan *paving block* yang menggunakan campuran *feldspar* lebih tinggi daripada campuran lainnya. Kenaikan pada masing-masing campuran stabil dan tidak ada penurunan pada 28 hari. Sehingga dapat disimpulkan kuat tekan *paving block* yang menggunakan *feldspar* lebih unggul daripada *paving block* campuran abu batu maupun campuran *feldspar* dan abu batu (*Fds+Ab*).

3.2 Pengujian Penyerapan Air *Paving Block*

Pengujian penyerapan air *paving block* dapat dilakukan pada umur 28 hari. Pengujian penyerapan air *paving block* dilakukan pada umur 28 hari dengan tujuan untuk mengetahui penyerapan air *paving block* pada umur kenaikan kuat tekan maksimalnya. Hasil pengujian penyerapan air rerata *paving block* umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Penyerapan air *paving block* umur 28 hari

Variasi Campuran <i>Paving Block</i>	Penyerapan Air (%)
<i>Paving Block</i> dengan <i>Feldspar</i>	8,4
<i>Paving Block</i> dengan Abu Batu	12,1
<i>Paving Block</i> dengan Abu Batu dan <i>Feldspar</i>	9,8

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa *paving block* yang menggunakan *feldspar* lebih rendah daripada *paving block* campuran abu batu dan *Fds+Ab*, memiliki daya serap lebih rendah juga memungkinkan *paving block* menjadi lebih keras dalam hal kuat desak, karena memiliki pori lebih kecil.

3.3 Pengujian Ketahanan Aus *Paving Block*

Ketahanan aus adalah kemampuan suatu benda (*paving block*) menerima gaya gesek yang menyebabkan permukaan benda tersebut semakin menipis. Pengujian ketahanan aus *paving block* dilakukan pada umur 28 hari dengan tujuan untuk mengetahui ketahanan aus *paving block* pada umur kenaikan kuat tekan maksimalnya. Pengujian ketahanan aus dilakukan seperti pada pengujian ketahanan aus untuk ubin

semen, yaitu dengan cara menggosok permukaan *paving block* dengan kecepatan tertentu secara terus-menerus selama lima menit. Hasil pengujian ketahanan aus rerata *paving block* umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Ketahanan aus *paving block* umur 28 hari

Variasi Campuran <i>Paving Block</i>	Ketahanan Aus (mm/menit)
<i>Paving Block</i> dengan <i>Feldspar</i>	0,24
<i>Paving Block</i> dengan Abu Batu	0,24
<i>Paving Block</i> dengan Abu Batu dan <i>Feldspar</i>	0,23

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa ketahanan aus rata-rata *paving block* yang menggunakan campuran *feldspar* lebih sedikit mengalami keausan, karena *feldspar* mempunyai ketahanan aus lebih baik daripada abu batu maupun *Fds+Ab*.

4 KESIMPULAN

Pada pengujian ini dapat diambil kesimpulan bahwasannya *Paving block* yang menggunakan campuran *feldspar* memiliki kuat tekan dan ketahanan aus yang lebih tinggi dibandingkan *paving block* yang menggunakan campuran abu batu. Pada penyerapan air *paving block* yang menggunakan campuran *feldspar* lebih rendah dibandingkan *paving block* yang menggunakan campuran abu batu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penyusun sampaikan kepada seluruh anggota yang sudah terlibat dalam terselesaikannya penyusunan penelitian ini.

REFERENSI

- Agus. (2013). *Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Sebagai Pengganti Semen terhadap Nilai Kuat Tekan dan Kemampuan Resapan Air Struktur Paving*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
- Chandra, A. (2012). *Pengaruh Penggunaan Limbah Pasir Onyx Sebagai Substitusi Pasir Terhadap Kuat Tekan, Penyerapan Air Dan Ketahanan Aus Paving Block*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang.

Chkheiw, A.H. (2017). *Improvement of Concrete Paving Blocks Properties by Mineral Additions*. Civil Engineering Department, Engineering College, Basrah University.

Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*, Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta.

Navya, G. (2014). *Experimental Investigation on Properties Concrete Paver Block with the Inclusion of Natural Fibers*. Department of civil engineering, G.M.R.I.T, India

Nuryanto dan Frank. (2012). "Optimasi Pemanfaatan Potensi Feldspar Banjarnegara Jawa Tengah Untuk Industri Keramik". *Jurnal Riset Industri*, Vol. VI No. 1.

SNI 03-1974-1990. (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

SNI 03-0691-1996. (1996). *Bata Beton (Paving Block)*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Kuat Tekan Design Batu Bata Berbahan Tambah Blotong (Peningkatan Kinerja *Seismic*)

Marwahyudi

Gfy Research Group Universitas Sahid Surakarta, INDONESIA
yudhie_dsg@yahoo.co.id

Hendramawat A. Safarizki

Prodi Teknik Sipil, Universitas Bangun Nusantara, Sukoharjo, INDONESIA
hendra.mawat@gmail.com

INTISARI

Desain batu bata dipasaran saat ini sangatlah sederhana sehingga perlu modifikasi agar lebih meningkatkan fungsinya terutama dalam menahan beban *seismic*. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan desain batu bata yang lebih ringan dan mempunyai kuat geser tinggi. Metode penelitian berupa pengamatan visual dan menguji kekuatan batu bata. Kekuatan batu bata diuji dalam beberapa kelompok sampel bata dengan arah uji tekan yang berbeda beda. Selain itu di uji pula batu bata dengan bahan tambah blotong. Blotong mengandung ampas menjadikan batu bata berserat. Berat bata dalam pengujian juga dihitung. Semakin ringan batu bata tersebut maka akan semakin ringan beban yang diterima oleh struktur. Beberapa hal yang harus diingat bahwa jika blotong masih mengandung kapur aktif maka hasil batu bata akan mengembang dan menghasilkan batu bata yang berongga. Warna yang dihasilkan dari batu bata blotong adalah lebih gelap dibandingkan dengan batu bata tanah sawah murni. Sepintas jika dilihat orang awam maka hasil batu batanya sama warnanya, mengingat perbedaannya sedikit sekali. Desain batu bata Z kait lebih mampu menahan geser dibanding jenis lain. Desain batu bata usulan mampu meningkatkan kekuatan tekan lentur dan geser sehingga dapat meningkatkan kinerja *seismic*.

Kata kunci: bahan tambah, bata, design, kuat geser

1. PENDAHULUAN

Keretakan dinding pada bangunan di Indonesia merupakan masalah yang harus segera dicarikan jalan keluarnya. Karena keretakan dinding pada bangunan gedung di Indonesia terdapat pada semua tipe bangunan. Pada bangunan fasilitas umum, perkantoran pemerintah maupun swasta, rumah tinggal sederhana sampai ke mewah terdapat keretakan.

(Francisco J. Crisafulli, 1997; Nazir and Dhanasekar, 2013; Arya, 2018; Marwahyudi, 2019) Keretakan bisa ditimbulkan dari faktor sebagai berikut:

Cuaca yang tidak menentu waktunya:

1. Durasi musim kemarau yang berbeda pada setiap tahunnya,
2. Durasi musim penghujan yang berbeda pada setiap tahunnya,
3. Waktu pergantian musim yang tidak sama pada setiap tahunnya.

Gaya luar yang mendorong dan atau menarik bangunan:

1. Akibat angin yang mempunyai kekuatan tekan dan hisap,
2. Akibat air yang menekan dinding,
3. Memikul beban dari luar,

4. Tanah longsor yang mengakibatkan pondasi tidak stabil
5. Gempa yang datangnya mendadak.

Proses pengerjaannya

1. Cara memplester dinding kurang tepat,
2. Cara pembuatan mortar kurang tepat,
3. Tergesa-gesa dalam mengerjakan.

Beberapa kerusakan perlu segera diselesaikan menggunakan metode yang sudah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan tambahan analisis juga pengembangan agar kedepan tidak semakin parah kerusakannya. Beberapa peneliti mengemukakan bahwa kerusakan dinding terjadi pada, sudut, siar mendatar pada dinding dan kerusakan arah diagonal (Francisco J. Crisafulli, 1997; El-Dakhkhni, Elgaaly and Hamid, 2003; Miha Tomazevic, 2006).

Selain itu ada juga yang mengatakan bahwa kekuatan dinding tergantung dari kualitas bahan batu bata dan kualitas mortar sebagai perekat (Paulay and Priestly, 1992; Ajith, Dhanasekar and Yan, 2010; Nazir and Dhanasekar, 2013). Ilmuan lainnya juga mengusulkan tentang batu bata berlubang sebagai penahan gaya lateral (Nguyen and Meftah, 2012; Marwahyudi, 2014)

1.1. Limbah Tebu

Pabrik gula menghasilkan gula dan hasil buang lainnya (Misran, 2005). Hasil buang pabrik gula adalah: ampas, abu, arang, blotong dan tetes. Ampas digunakan sebagai bahan bakar ketel (boiler). Pabrik gula yang efisien dapat menghemat uap bekas 34,6 % dan memperoleh kelebihan ampas sebanyak 39 %.

1.2. Batu Bata

Bangunan di Indonesia kebanyakan dinding terbuat dari batu bata. Batu bata berfungsi sebagai penyekat bukan sebagai dinding struktur. Pada rumah sederhana dinding batu bata sering berfungsi sebagai penahan gaya. Oleh sebab itu pada rumah sederhana dinding batu bata berfungsi sebagai struktur.

Dinding batu bata pada bangunan dapat meningkatkan kekuatan, kekakuan dan keuletan. Semua peneliti sepakat pendapat diatas. Pada analisis ini model panel dinding batu bata digantikan sebagai strut (Francisco J. Crisafulli, 1997; El-Dakhkhni, Elgaaly and Hamid, 2003; Bakhteri, Makhtar and Sambasivam, 2004; Enshassi *et al.*, 2007)

Kuat tekan batu bata berbahan lumpur lapindo Sidoarjo kuat lentur rata-rata campuran 80% lumpur, 15% ladu pasir dan kulit padi 5% (L80-S15-D5) sebesar 1,240 MPa lebih besar dari bata normal yaitu 1,002 MPa (Rochman and Hudi, 2011). Kuat tekan rata-rata bata merah campuran 100% lumpur (L100), yaitu sebesar 6,956 MPa, kuat tekan bata merah di pasaran 6,900 Mpa. Kuat geser rata-rata bata merah campuran 70% lumpur dan 30 % padi sebesar 0,030 MPa, lebih besar dari kuat geser bata merah yang ada di pasaran, sebesar 0,0164 MPa.

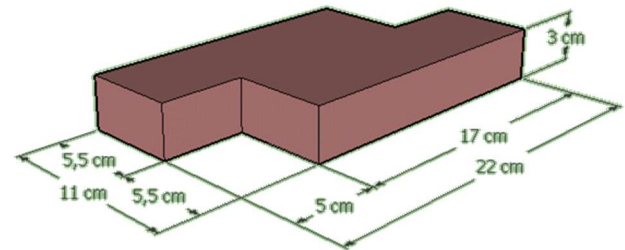
(Hakam, Nur and Rido, 2011) melakukan penelitian dengan menggunakan 4 benda uji, yaitu benda uji tanpa plester, benda uji tanpa plester dengan perkuatan, benda uji plester, benda uji plester dengan perkuatan. Keempat benda uji mempunyai pola retak arah vertikal.

Retakan dinding adalah kelemahan yang harus segera dicarikan penyelesaiannya (Almherigh, 2014). Sebagian besar bangunan dinding batu bata mengalami kejadian ini. Retakan dapat disebabkan berbagai efek mulai dari properti batu bata, iklim batas, konstruksi yang buruk dan desain yang buruk. Kondisi ini secara kolektif mengarah pada retak yang lama kelamaan menjadi besar dan pada akhirnya mengakibatkan kegagalan dinding atau mengalami keruntuhan.

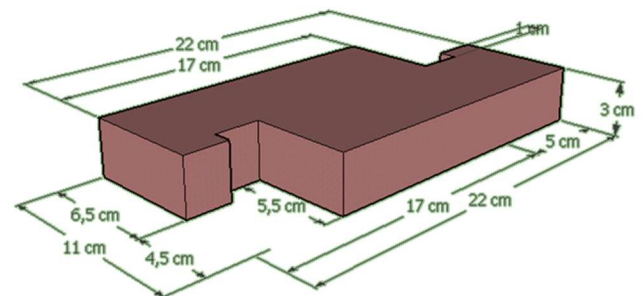
(Thorat *et al.*, 2015) memperkirakan kedepan Hollow Concrete Blocks (HCB) akan berkembang pesat. (HCB) bisa digunakan pada balok, dinding dan kolom

dan mempunyai kekuatan yang sebanding dengan bahan konvensional.

Berdasarkan latar belakang di atas maka dalam penelitian ini dibuat suatu uji batu bata dengan bahan tambah blotong. Bentuk benda uji yang digunakan adalah batu bata z dan batu bata z kait seperti tampak pada gambar 1 dan gambar 2. Diharapkan dapat ditemukannya desain batu bata yang lebih ringan dan mempunyai kuat geser tinggi



Gambar 1. Desain batu bata z



Gambar 2. Desain batu bata z kait

2. METODE

2. 1. Pengamatan Visual

Pengamatan secara visual meliputi: 1) kerusakan yang dihasilkan, 2) arah retakan 3) kondisi retakan. Data yang diperoleh dari pengamatan visual kemudian dianalisis dan hasilnya dibandingkan satu dengan yang lainnya.

2. 2. Uji Kuat Tekan, Lateral, Melintang dan Geser

Pada penelitian tahap ini peneliti membuat beberapa kelompok benda uji panel bata bata dengan ukuran 30 x 30 cm dengan pemasangan siar silang. Setiap kelompok diberlakukan empat kondisi uji. Benda uji yang dibuat mempunyai tiga desain batu bata juga ada kelompok batu bata dengan bahan tambah blotong. Pengujian dilakukan dengan alat uji *compression test* seperti tampak pada Gambar 3, dengan pengaturan posisi pengujian sesuai variasi arah beban uji.



Gambar 3. Alat uji *compression test*

Setelah itu benda uji juga perlu ditimbang untuk mendapatkan berat batu batanya. Berat batu bata akan berpengaruh pada beban yang akan dipikul oleh konstruksi. Semakin ringan batu bata tersebut maka akan semakin ringan beban yang diterima oleh struktur.

Kemudian hasil dari pengujian tersebut dianalisis dan dibandingkan satu persatu. Model retakan juga dianalisis sehingga hasilnya akan lebih mendalam dan terperinci.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3. 1. Pengamatan Visual

Pengamatan visual yang peneliti lakukan adalah menekankan pada Retak, Arah Retak, Kerusakan dari berbagai macam tipe desain batu bata. Dari hasil pengamatan visual didapatkan sebagai berikut:

1. Sudut uji tekan 0° sebagaimana pada gambar 4 dan 5, bahwa model retaknya mempunyai pola vertikal dan melewati sambungan mortar, beberapa pola retakan sampai membelah panel batu bata.
2. Sudut uji tekan 90° sebagaimana pada gambar 6 dan 7, model retaknya mempunyai pola vertikal dan langsung membelah melewati sambungan antara mortar dengan batu bata.
3. Sudut uji tekan 45° sebagaimana pada gambar 8, bahwa model retaknya mempunyai pola diagonal melewati sambungan mortar dan memotong batu bata.

4. Pada uji tekan di semua sudut menunjukkan bahwa model retakan yang terjadi berpola vertikal dan dimulai dari titik datangnya gaya.
5. Arah aliran retakan dimulai dari daerah yang tidak mampu memikul gaya, menuju daerah sambungan mortar dan batu bata, kemudian diteruskan ke daerah yang paling lemah.



Gambar 4. Retakan batu bata uji 0°



Gambar 5. Retakan batu bata uji 0°



Gambar 6. Retakan batu bata uji 90°



Gambar 7. Arah retakan membelah batu bata pada uji 90°



Gambar 8. Retakan batu bata uji diagonal

3. 2. Berat Batu Bata

Setelah ditimbang didapatkan data berat batu bata seperti tampak pada tabel 1 dan 2. Terlihat bahwa berat batu bata blotong lebih ringan dari pada batu bata biasa tanpa blotong

Tabel 1. Berat rata rata panel batu bata

Data	Batu bata biasa	Batu bata blotong
1	25,23	16,20
2	24,97	16,67

Tabel 2. Berat rata-rata dalam gr

No	Rata-rata berat batu bata biasa	Rata-rata berat batu bata blotong	Selisih
1	1677,6	1499,16	178,44

Hasil dari pengujian dengan alat *compression test* diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Uji *compression test* dalam kN

No	Nama Sampel	Rata-rata Gaya kN	Sudut Uji
1	Z kait (7 hr)	32,333	0°
2	Z biasa (7 hr)	42	0°
3	Z kait blotong (7 hr)	24	0°
4	Z biasa blotong(7 hr)	13,33	0°
5	Z biasa (14 hr)	13,3	0°
6	Z biasa (14 hr)	15	90°
7	Z biasa (14 hr)	6,67	45°
8	Z biasa (14 hr)	3	OP
9	Z biasa (14 hr)	3	OP
10	Z kait (21 hr)	7	OP
11	Z biasa (21 hr)	4	OP
12	Bata Biasa	13,5	lentur
13	Z biasa	22,3	lentur
14	Z kait	17	lentur

4. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh dalam penelitian ini adalah:

1. Secara visual blotong mempunyai kandungan ampas tebu
2. Semakin banyak bahan tambah blotong akan menghasilkan warna gelap, akan mengurangi kekuatan dan melengkung dan perlu perbandingan yang tepat yaitu.
3. Perbandingan yang baik adalah 1blotong dengan 2 tanah
4. Blotong mengandung ampas menjadikan batu bata berserat.
5. Batu bata dengan bahan tambah blotong lebih ringan dibandingkan batu bata biasa.
6. Desain batu bata Z kait lebih mampu menahan geser dibanding jenis lain. Sehingga akan meningkatkan kinerja seismic

7. Desain batu bata usulan mampu meningkatkan kekuatan tekan lentur dan geser.
8. Perlu inovasi desain batu bata yang lebih efektif lagi dengan analisis struts geser.

5. SARAN

Pengembangan metode analisis terkait **design batu bata dalam kinerja seismic**

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana atas kerjasama juga bantuan berbagai pihak berikut ini:

1. Kemendiknas Republik Indonesia, dalam membiayai riset,
2. Laboratorium Universitas Veteran Bangun Nusantara,
3. Universitas Sahid Surakarta

REFERENSI

Ajith, J., Dhanasekar, M. and Yan, C. (2010) 'Thin Bed Masonry System: Review and Future Prospects', in *International Conference on Structural Engineering Construction and Management - 2011*. Sri Lanka, pp. 2–8. Available at: http://www2.civil.mrt.ac.lk/conference/ICSECM_2011/SEC-11-30.pdf.

Almherigh, M. A. (2014) 'Common Causes of Cracking in Masonry Walls Diagnosis and Remedy', *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 14(1), pp. 25–33. Available at: <http://gssrr.org/index.php?journal=JournalOfBasicAndApplied>.

Arya, A. S. (2018) 'Earthquake resistant design of masonry buildings', in *Advances in Indian Earthquake Engineering and Seismology: Contributions in Honour of Jai Krishna*. Cham: Springer International Publishing, pp. 259–271. doi: 10.1007/978-3-319-76855-7_12.

Bakhteri, J., Makhtar, A. M. and Sambasivam, S. (2004) 'Finite Element Modelling of Structural Clay Brick Masonry Subjected to Axial Compression', *Jurnal Teknologi*, 41(1), pp. 1–42. doi: 10.11113/jt.v41.698.

El-Dakhkhni, W. W., Elgaaly, M. and Hamid, A. A. (2003) 'Three-Strut Model for Concrete Masonry-Infilled Steel Frames', *Journal of Structural Engineering*, 129(2), pp. 177–185. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:2(177).

Enshassi, A. *et al.* (2007) 'Benchmarking masonry labor productivity', *International Journal of Productivity and Performance Management*. Emerald Group Publishing Limited, 56(4), pp. 358–368. doi: 10.1108/17410400710745342.

Francisco J. Crisafulli (1997) *Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills*, *Civil Engineering*.

Hakam, A., Nur, O. F. and Rido, R. (2011) 'Kajian Eksperimental Pada Dinding Bata Di Laboratorium Dengan Menggunakan Metode Displacement Control', *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 7(2), p. 15. doi: 10.25077/jrs.7.2.15-28.2011.

Marwahyudi (2014) 'The Tensile Strength of Hooked Brick', *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 18(7), pp. 323–327. doi: 10.14445/22315381/ijett-v18p266.

Marwahyudi (2019) 'Typologi kerusakan masonry infilled frame', *Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (MoDuluS)*, 1(1), pp. 11–15. Available at: <http://journal.univetbantara.ac.id/index.php/modulus/article/view/376>.

Miha Tomazevic (2006) *Earthquake Resistant Design of Masonry Building*. Imperial College.

Misran, E. (2005) 'Industri Tebu Menuju Zero Waste Industry', *Jurnal Teknologi Proses*.

Nazir, S. and Dhanasekar, M. (2013) 'Modelling the failure of thin layered mortar joints in masonry', *Engineering Structures*, 49, pp. 615–627. doi: 10.1016/j.engstruct.2012.12.017.

Nguyen, T. D. and Meftah, F. (2012) 'Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire. Part 1: Experimental analysis', *Fire Safety Journal*, 52, pp. 55–64. doi: 10.1016/j.firesaf.2012.06.001.

Paulay, T. and Priestly, M. J. N. (1992) *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. doi: 10.1002/9780470172841.

Rochman, A. and Hudi, S. (2011) 'Tinjauan Kekuatan Dan Karakteristik Bata Merah Yang Terbuat Dari Limbah Lumpur Lapindo Sidoarjo', *Dinamika Teknik Sipil*, 12(2), pp. 121–125. Available at: <http://hdl.handle.net/11617/2012>.

Thorat, V. M. *et al.* (2015) 'Hollow Concrete Blocks-A New Trend', *Www.Ijmer.Com*, 5(May), pp. 19–26.

Pengaruh Penambahan Sekam Padi sebagai Agregat Halus terhadap Karakteristik Batako

W. Ari Pramono

Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
19934001@students.uii.ac.id

S. Winarno

Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
winarno@uii.ac.id

M. Teguh

Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
m.teguh@uii.ac.id

INTISARI

Sekam padi merupakan limbah hasil pertanian yang jumlahnya cukup melimpah di Indonesia dan masih sangat sedikit dimanfaatkan untuk campuran bahan bangunan, seperti batako. Komposisi batako umumnya terdiri dari campuran Semen Portland (PC), agregat halus, bahan pengisi, serta air. Penelitian ini menguji pemanfaatan sekam padi sebagai agregat halus pengganti pasir dalam bahan-susun batako dikombinasi dengan material pengisi dari limbah penggergajian batu atau abu batu. Faktor air semen yang digunakan dalam campuran ini bersifat konstan sebesar 0,4. Penentuan 2 kelompok komposisi bahan-susun batako digunakan dengan perbandingan volume. Kelompok 1 dan 2 berturut-turut terdiri dari 1,25 semen : 2,75 pengisi, dan 1,5 semen : 2,5 pengisi. Kedua kelompok tersebut masih ditambahkan dengan sekam padi yang bervariasi dari 8,5 s.d. 10 dengan interval 0,5. Hasil pengujian batako variasi I-A, II-A dan II-B menghasilkan kuat tekan rerata masing-masing sebesar 26,27; 32,21; dan 25,97 kg/cm². Ketiga variasi tersebut memenuhi standar kuat tekan minimal 25 kg/cm² menurut SNI 03 - 0349 - 1989. Nilai serapan air semua variasi memenuhi standar SNI yaitu lebih kecil dari 35%, sedangkan penyerapan air terkecil dihasilkan dari Variasi II-A sebesar 5,83%. Dengan demikian variasi terbaik terhadap kuat tekan dan serapan air diperoleh dari Variasi II-A.

Kata kunci: sekam padi, abu batu, batako ringan, komposisi, uji tekan, penyerapan air.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan yang sangat cepat dalam bidang konstruksi dan infrastruktur di Indonesia, menyebabkan permintaan bahan konstruksi seperti kayu, beton, batu bata, batako, dan baja semakin meningkat (Febriyanto *et.al.*, 2014). Meningkatnya permintaan bahan baku konstruksi dan produksi mengakibatkan harga material berkualitas semakin tinggi. Mengingat Indonesia merupakan wilayah yang rentan terhadap bencana gempa bumi, maka bangunan dan infrastruktur yang dibangun membutuhkan material dengan kualitas yang baik agar tahan terhadap kerentanan dari ragam bencana, terutama gempa bumi.

Di Indonesia, batako banyak digunakan dan dimanfaatkan sebagai material pembentuk dinding karena bahan penyusun batako mudah diperoleh. Husen (2001) telah melakukan penelitian berkaitan dengan pengembangan bahan berkelanjutan yang ramah lingkungan dan menggunakan sumber daya terbarukan dan asli. Dalam penelitian tersebut telah ditunjukkan pemanfaatan bahan limbah, terutama limbah pertanian, untuk batako. Contoh bahan penyusun batako yang telah dikembangkan dalam

penelitian ini adalah jerami dan serat ampas tebu, kedua bahan tersebut berfungsi sebagai salah satu bahan tambah untuk penyusun batako. Sangat penting untuk memilih bahan baku yang dirancang secara berkelanjutan, untuk memanfaatkan limbah pertanian guna memenuhi kebutuhan material pada industri konstruksi. Batako yang dibuat dari limbah pertanian dapat menghasilkan bahan ringan yang sangat baik karena sifat porositas material ini.

Batako adalah salah satu komponen konstruksi pasangan dinding yang tahan lama. Batako ditumpuk satu per satu dan disatukan dengan mortar segar untuk membentuk panjang dan tinggi dinding yang diinginkan. Batako terdiri dari bahan massa tinggi dengan kekuatan tekan yang baik dan dibentuk menjadi unit yang dapat diangkat dan ditangani oleh seorang pekerja tunggal. Untuk keperluan struktur gempa, dapat difokuskan pada material yang lebih ringan, sehingga dapat mengurangi beban gempa secara signifikan. Batako yang dibuat oleh campuran Portland Cement (PC), limbah pertanian, air dengan komposisi tertentu akan memberikan batako yang lebih ringan karena ada banyak porositas di dalam limbah pertanian

yang berkontribusi signifikan terhadap bobotnya. Tampak jelas bahwa sifat mekanik dari batako berbasis limbah pertanian ini dapat dianggap sebagai titik kelemahan utama. Selain itu, akan lebih berpori daripada batako konvensional dan harus dijaga untuk mencegah penyerapan air yang berlebihan.

Salah satu limbah pertanian yang melimpah dan kurang dalam pemanfaatannya adalah sekam padi. Sekam padi adalah kulit luar dari butiran padi yang dihasilkan dari proses pengilangan padi. Sekam padi dapat dianggap sebagai produk sampingan agroindustri yang berasal dari penggilingan padi. Karena bahan gizi dari sekam padi yang rendah nutrisi, tidak tepat untuk digunakan sebagai pakan bagi hewan. Oleh karena itu, pengaturan pembuangan alternatif yang memadai harus dipertimbangkan untuk menghindari dampak lingkungan. Sekam padi yang dihasilkan dari limbah pertanian di Indonesia merupakan 20% dari 500 juta ton padi yang diproduksi di dunia. Terdapat 81,38 juta ton produksi padi pada tahun 2017 di Indonesia. Karenanya, pertanian padi di Indonesia menghasilkan hampir 16 juta ton sekam padi. Jelas bahwa penggunaan sekam padi mengurangi permintaan agregat dalam industri konstruksi, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Jumlah sekam padi yang besar di Indonesia ini sangat potensial untuk menggantikan bahan penyusun batako. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh sekam padi sebagai agregat pada material batako berdasarkan SNI 03 - 0349 - 1989 terhadap kuat desak dan kadar penyerapan air.



Gambar 1. Sekam Padi

Sejalan dengan isu keberlanjutan saat ini, tingginya permintaan bahan penyusun batako di industri konstruksi dan bangunan, penggunaan agregat konvensional telah meningkat secara drastis. Atas dasar kondisi tersebut di atas, upaya untuk menghasilkan material alternatif dari pemanfaatan limbah sebagai inovasi material untuk mengurangi pencemaran lingkungan sangat dibutuhkan. Inovasi material tersebut dimaksudkan untuk memenuhi

permintaan bahan konstruksi yang berkualitas dan terjangkau harganya. Salah satu contoh limbah abu batu di manfaatkan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan batako. Selain itu limbah sekam padi digunakan sebagai pengganti agregat halus pada pembuatan batako ringan. Penggunaan kedua material tersebut merupakan bentuk inovasi dalam penelitian ini pada pembuatan batako ringan untuk menghasilkan kuat tekan tinggi dan tingkat penyerapan air rendah.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sekam Padi

Sekam padi telah lama dianggap sebagai limbah pertanian dari proses penggilingan padi. Ini adalah lapisan pada benih atau butiran beras (Gambar 1). Sebagian besar penduduk di wilayah Kabupaten Sleman adalah petani padi, sehingga sekam padi dapat dengan mudah dikumpulkan dan murah. Sekam padi itu sering dibuang dan/atau dibakar oleh petani. Setiap kg beras putih giling menghasilkan sekitar 0,20 kg sekam padi sebagai produk sampingan dari produksi beras selama penggilingan. Pada tahun 2017, produksi sekam padi adalah sekitar 81,38 juta ton. Oleh karena itu, pertanian padi menghasilkan hampir 16 juta ton sekam padi (Anonim, 2018).

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis yang terdiri dari dua belahan yang disebut lemma dan palea yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar.

Cara memanfaatkan sekam padi sebagai agregat digunakan dalam kondisi kering permukaan (SSD) dijelaskan sebagai berikut. SSD didefinisikan sebagai kondisi sekam padi dengan permukaan partikel "kering" (penyerapan air di permukaan tidak lagi terjadi), tetapi celah antar-partikel jenuh dengan air. Dalam kondisi ini sekam padi tidak akan mempengaruhi kadar air bebas dari campuran beton. Batako yang dibuat dengan campuran sekam padi memberikan batako ringan karena jaringan porositas yang saling berhubungan yang menjadi ciri material ini. Struktur dengan material ringan sangat cocok untuk konstruksi di daerah rawan gempa. Selain itu, bangunan ringan direkomendasikan untuk dibangun dalam kondisi tanah yang buruk, sehingga menghemat biaya pada fondasi struktural. Secara karakteristik, sekam padi lebih ringan dari pasir. Berat jenis sekam padi diperkirakan 690 kg/m^3 , sementara berat pasir bisa mencapai sekitar 1.800 kg/m^3 . Distribusi ukuran

partikel diteliti pada agregat sekam padi. Lebar sekam padi berkisar 2 hingga 4 mm dan panjang maksimal sekitar 10 mm. hal ini relatif homogen dalam distribusi ukuran partikel.

Sekam padi dapat menghasilkan distribusi rongga udara yang merata di seluruh campuran batako, sehingga satu unit batako sekam padi dapat memiliki berat 7-8 kg (sekitar 42% lebih ringan). Memiliki kepadatan lebih rendah dibandingkan dengan batako normal. Batako ringan sekam padi adalah teknologi baru yang dibuat untuk memfasilitasi berbagai konstruksi dan menghemat waktu bagi kontraktor. Bahan serbaguna ini adalah bahan konstruksi non-struktural revolusioner yang sangat dibutuhkan untuk perumahan berkualitas, bangunan modern bertingkat tinggi dengan struktur berbingkai dan lain-lain.

2.2 Abu Batu (AB) sebagai *Filler*

Dalam penelitian ini, bahan susun batako adalah semen, sekam padi, dan pengisi atau *filler*. Pengisi ini merupakan pasir yang sangat halus yang ditambahkan ke campuran bahan susun batako, sehingga pengisi, semen, dan air membentuk pasta semen. Adanya pengisi ini dapat mengurangi penggunaan semen pada mutu batako yang sama, yang pada akhirnya menghemat biaya produksi.

Malinda (2019) telah meneliti penggunaan pengisi untuk bahan susun batako dengan komposisi yang ideal untuk pasta semen dalam pembuatan batako adalah dengan perbandingan semen 1 bagian dan pengisi 3 bagian. Namun demikian perbandingan 1 semen dan 3 pengisi akan menghasilkan batako yang memenuhi standar SNI 03 - 0349 - 1989 yaitu kekuatan desak 25 kg/cm² dengan 6 bagian sekam padi. Batako ini masih memiliki berat volume cukup besar yaitu 1.806 kg/m³. Berat volume ini masih di rasa terlalu besar sehingga berat volume harus diturunkan dengan menambah proporsi sekam padinya, pada saat yang sama komposisi semennya harus ditambah dan komposisi batu abunya dikurangi. Komposisi semen dan abu batu harus berjumlah 4 bagian sehingga apabila semennya diubah menjadi 1,5 bagian komposisi abu batu menjadi 2,5 bagian.

Abu batu adalah limbah partikel batu yang dihasilkan dari pemotongan batu Gunung Merapi menjadi lempengan menggunakan mesin pemotong batu. Pemotong batu menghasilkan bahan limbah (partikel batu) yang dapat merusak sistem saluran pembuangan saniter atau mencemari sungai setempat. Pelaksanaan yang buruk dalam industri pemotong batu dapat mencemari ekosistem alami sungai yang diakibatkan oleh partikel batu, dan sistem pembuangan limbah lokal yang dapat membahayakan masyarakat dan

lingkungan. Oleh karena itu menjadi penting untuk mengurangi dampak buruk industri bagi lahan pertanian hilir dan dampak negatif bagi akuifer air minum. Tabel 1 memberikan sifat fisik AB.

Tabel 1. Sifat fisik abu batu (Winarno, 2019)

Uji fisik	Nilai-nilai
Berat jenis	2,41
Modulus kehalusan	2,09
Diameter (mm)	0,10-0,04
Berat Volume (kg/m ³)	1094

3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, bahan batako berupa PC, *filler*, dan Sekam Padi (SP). Jumlah rasio total PC ke *filler* dari semua batako dipertahankan sekitar 4 di seluruh pekerjaan eksperimental. Campuran keseluruhan menggunakan rasio faktor air semen 0,4 agar dihasilkan campuran batako yang memiliki nilai kuat tekan dan modulus elastisitas yang tinggi.

Kelompok 1 dan 2 berturut-turut terdiri dari 1,25 semen : 2,75 pengisi, dan 1,5 semen : 2,5 pengisi. Kedua kelompok tersebut masih ditambahkan dengan sekam padi yang bervariasi dari 8,5 s.d. 10 dengan interval 0,5. Gambar 2 menggambarkan unit dan tekstur permukaan batako sekam padi



Gambar 2 Batako Sekam Padi

Sekam padi dalam batako ini adalah sebagai pengganti pasir. Campuran batako menggunakan perbandingan volume. Rasio volume ini bertujuan untuk menyederhanakan dan memudahkan pengukuran proporsi di antara bahan-bahan beton selama uji pencampuran laboratorium. Kondisi SP dan pengisi didasarkan pada permukaan jenuh kering (SSD). Ini dicapai dalam kondisi laboratorium ketika semua pori-pori terisi penuh dengan air, tetapi tidak ada air bebas yang tersisa di permukaan bahan. Bahan pengisi dalam kondisi ini tidak akan menyerap air dari campuran. Tabel 2 menggambarkan proporsi campuran batako.

Pengujian untuk mengetahui karakteristik batako dilakukan berdasarkan SNI 03 - 0349 - 1989 dengan mencari nilai kuat tekan dan serapan air terhadap batako yang sudah diproduksi.

Tabel 2. Proporsi campuran batako

Kelompok	Variasi	Proporsi berdasarkan volume		
		Semen	Pengisi	Sekam Padi
I	I-A	1,25	2,75	8,5
	I-B	1,25	2,75	9
	I-C	1,25	2,75	9,5
	I-D	1,25	2,75	10
II	II-A	1,50	2,50	8,5
	II-B	1,50	2,50	9
	II-C	1,50	2,50	9,5
	II-D	1,50	2,50	10

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kekuatan Batako

Uji kuat tekan batako memberikan gambaran apakah batako telah dibuat dengan benar atau tidak. Sample ini diuji dengan mesin uji kompresi setelah pengawetan 28 hari. Beban harus diberikan secara bertahap dengan percepatan 140 kg/cm² per menit sampai menyebabkan keruntuhan pada sample. Beban pada saat keruntuhan dibagi dengan luas sampel merupakan kuat tekan batako. Kekuatan ini tergantung pada banyak faktor seperti rasio air-semen, kualitas dan proporsi bahan beton, dan metode produksi. Menurut Standar Indonesia SNI 03-0349-1989 (batako untuk struktur dinding), kuat tekan minimum untuk batako pejal adalah 25 kg/cm².

Tabel 3. Kuat tekan, dan berat volume Kelompok I

Variasi	Sampel	Tegangan Desak (kg/cm ²)		Berat Volume kg/m ³
		Hasil	Standar SNI	
I-A	1	26,39	25	1538,75
	2	26,28		1550,57
	3	26,19		1490,91
	4	26,23		1532,84
	5	26,29		1529,20
	Rata-rata	26,27		1528,45
I-B	1	19,21	25	1448,41
	2	20,01		1448,75
	3	18,57		1400,11
	4	18,68		1426,25
	5	19,10		1426,93
	Rata-rata	19,11		1430,09
I-C	1	15,80	25	1358,86
	2	15,85		1346,59
	3	15,75		1347,84
	4	15,72		1323,86
	5	15,78		1326,14
	Rata-rata	15,78		1340,66
I-D	1	10,49	25	1210,34
	2	10,60		1200,15
	3	10,50		1205,67
	4	10,48		1198,36
	5	10,50		1179,47
	Rata-rata	10,51		1198,80

Penelitian ini menyelidiki dua variasi campuran batako berdasarkan perbedaan perbandingan semen dan *filler*, dengan variasi penambahan sekam padi sebagai pengganti pasir. Setiap variasi campuran terdiri dari lima spesimen. Hasil dari pengujian kuat desak dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4 di bawah ini.

Tabel 4. Kuat tekan, dan berat volume Kelompok II

Variasi	Sampel	Tegangan Desak (kg/cm ²)		Berat Volume kg/m ³
		Hasil	Standar SNI	
II-A	1	32,19	25	1616,02
	2	32,30		1605,57
	3	32,25		1641,02
	4	32,20		1555,00
	5	32,14		1594,03
	Rata-rata	32,21		1602,41
II-B	1	25,94	25	1539,09
	2	26,06		1516,93
	3	25,97		1539,89
	4	25,95		1465,11
	5	25,92		1517,50
	Rata-rata	25,97		1515,70
II-C	1	18,48	25	1450,34
	2	18,05		1428,30
	3	17,24		1439,09
	4	17,98		1390,23
	5	18,24		1438,86
	Rata-rata	18,00		1429,36
II-D	1	10,37	25	1361,02
	2	9,28		1338,86
	3	10,92		1338,52
	4	10,21		1287,05
	5	10,23		1360,57
	Rata-rata	10,20		1337,20

4.2 Serapan Air Batako

Pengujian lainnya dalam SNI 03-0349-1989 adalah penyerapan air. Batako direndam dalam air selama 8 jam, dan persentase kenaikan berat batako adalah nilai penyerapan air. Maksimum penyerapan air adalah 35%. Hasil dari pengujian penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6 di bawah ini.

Tabel 5. Penyerapan air kelompok I

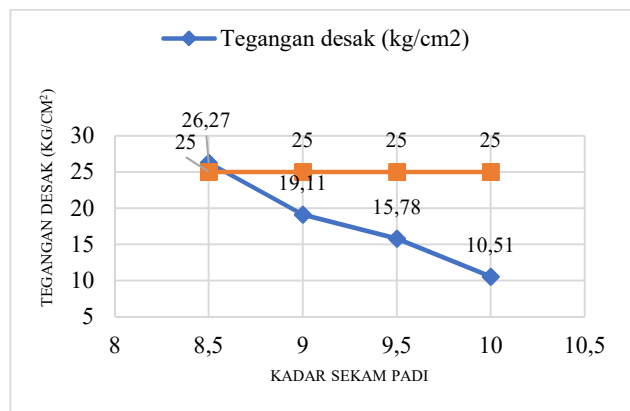
Variasi	Sampel	Penyerapan air (%)	
		Hasil	Standar SNI
I-A	1	7,95%	35%
	2	8,89%	
	3	7,64%	
	4	6,97%	
	5	7,81%	
	Rata-rata	7,85%	
I-B	1	14,23%	35%
	2	13,29%	
	3	13,78%	
	4	14,76%	
	5	15,06%	
	Rata-rata	14,22%	
I-C	1	18,21%	

1,25 : 2,75 : 9,5	2	18,78%
	3	18,13%
	4	17,89%
	5	19,08%
	Rata-rata	18,42%
I-D	1	23,67%
	2	24,53%
1,25 : 2,75 : 10	3	23,51%
	4	22,91%
	5	24,22%
	Rata-rata	23,77%

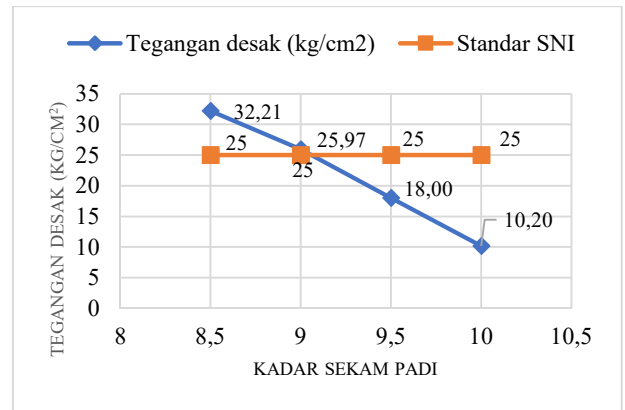
Tabel 6. Penyerapan air kelompok II

Variasi	Sampel	Penyerapan air (%)	
		Hasil	Standar SNI
II-A	1	5,79%	35%
	2	6,21%	
	3	5,53%	
	4	5,99%	
	5	5,61%	
	Rata-rata	5,83%	
IU-B	1	11,39%	
	2	13,02%	
	3	10,29%	
	4	11,02%	
	5	12,34%	
	Rata-rata	11,61%	
II-C	1	15,23%	
	2	16,78%	
	3	17,02%	
	4	14,98%	
	5	15,45%	
	Rata-rata	15,89%	
II-D	1	20,97%	
	2	21,96%	
	3	19,78%	
	4	19,97%	
	5	22,25%	
	Rata-rata	20,99%	

Gambar di bawah ini juga menunjukkan garis tren kekuatan pada 4 proporsi sekam padi yang berbeda



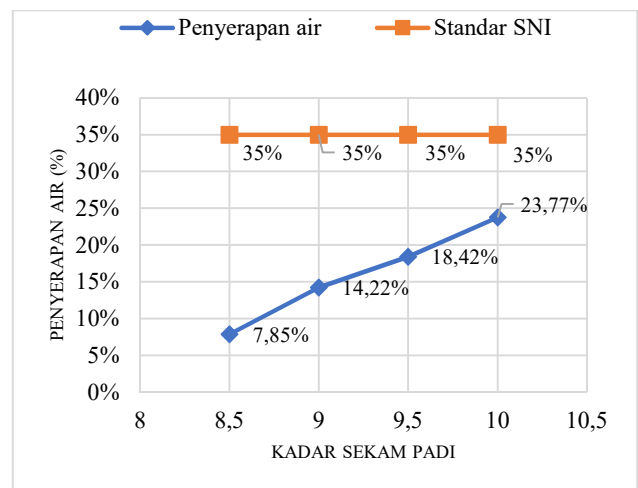
Gambar 3. Kekuatan tekan pada berbagai persentase sekam padi untuk kelompok I



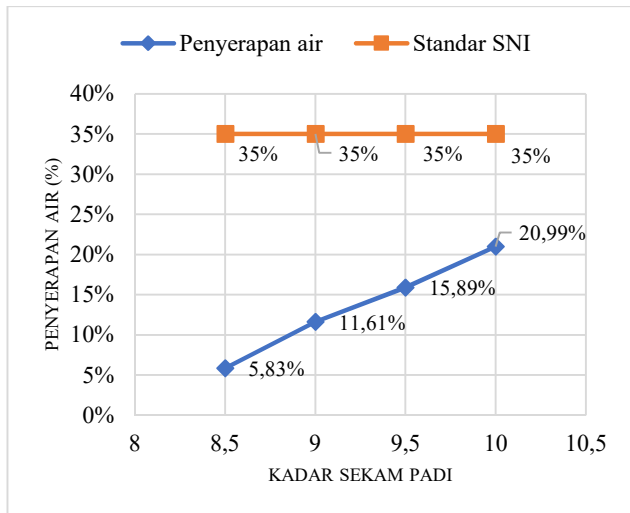
Gambar 4. Kekuatan tekan pada berbagai persentase sekam padi untuk kelompok II

Berdasarkan Gambar 3 dan 4 di atas, Variasi I-A memiliki kekuatan tekan 26,27 kg/cm² pada komposisi 1,25 Semen : 2,75 Pengisi : 8,5 Sekam Padi serta Variasi II-A dan II-B memiliki kekuatan tekan 32,21 kg/cm² dan 25,97 kg/cm² masing-masing pada komposisi 1,5 Semen : 2,5 Pengisi : 8,5 Sekam Padi dan 1,5 Semen : 2,5 Pengisi : 9 Sekam Padi. Semua variasi tersebut memenuhi kuat tekan minimal yang disyaratkan SNI yaitu sebesar 25 kg/cm². Secara umum, nilai kuat desak akan menurun dengan bertambahnya proporsi sekam padi.

Hasil yang tampak lainnya adalah bahwa semua sampel memenuhi SNI sebesar 35% pada aspek penyerapan air, seperti disajikan dalam Gambar 5 dan 6.

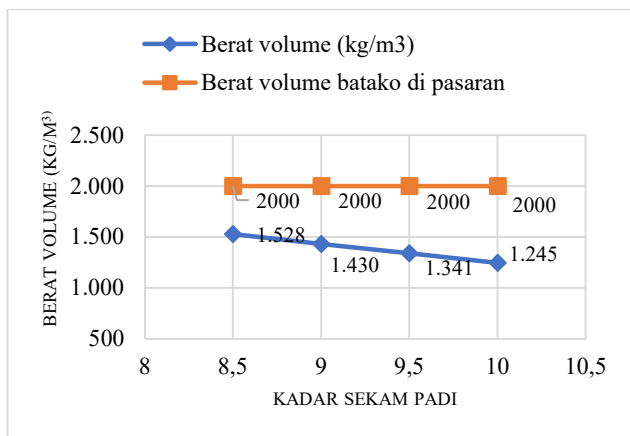


Gambar 5. Penyerapan air pada proporsi sekam padi yang berbeda untuk kelompok I

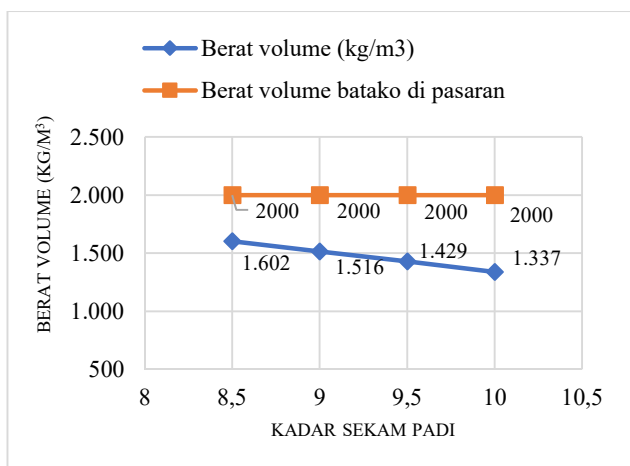


Gambar 6. Penyerapan air pada proporsi sekam padi yang berbeda untuk kelompok II

Hasil lain yang dapat diperoleh dari pengujian ini adalah berat volume. Gambar 7 dan 8 menguraikan bahwa berat volume normal batako di pasaran adalah 2000 kg/cm³, sedangkan semua sampel di pengujian ini lebih ringan dari batako yang ada di pasaran.



Gambar 7. Berat volume batako untuk pada proporsi sekam padi untuk kelompok I



Gambar 8. Berat volume batako untuk pada proporsi SP untuk Kelompok II.

5. KESIMPULAN

Sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai bahan susun batako yang memenuhi SNI. Batako yang memenuhi kuat tekan 25 kg/cm² sesuai dengan standar SNI adalah Variasi I-A dengan kekuatan tekan 26,27 kg/cm² pada komposisi 1,25 Semen : 2,75 Pengisi : 8,5 Sekam Padi serta Variasi II-A dan II-B dengan kekuatan tekan 32,21 kg/cm² dan 25,97 kg/cm² masing-masing pada komposisi 1,5 Semen : 2,5 Pengisi : 8,5 Sekam Padi dan 1,5 Semen : 2,5 Pengisi : 9 Sekam Padi. Sedangkan nilai serapan air semua variasi memenuhi syarat SNI sebesar 35%. Penyerapan air terkecil terdapat pada Variasi II-A dengan 5,83%. Pada intinya penelitian ini menyatakan bahwa kadar sekam padi dan tegangan desak berbanding terbalik, semakin banyak kadar sekam padi maka akan dihasilkan batako yg ringan dan semakin porus, akan tetapi tegangan desak akan semakin turun.

REFERENSI

Anonim. Berapa produksi dan luas lahan panen padi, <https://databoks.katadata.co.id> diakses pada 30 Juli 2018

Badan Standar Nasional. (1989). SNI 03 - 0349 – 1989 tentang Bata Beton Untuk Pasangan Dinding.

Badan Standar Nasional. (2002). SNI 03 – 3449 – 2002 tentang Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan.

Budirahardjo, S., Kristiawan, A., Wardani, A. (2014). Pemanfaatan Sekam Padi pada Batako. Prosiding SNST ke-5 Tahun 2014. Fakultas Teknik. Universitas Wahid Hasyim. Semarang.

Febriyanto, et.al., (2014). Pembuatan Batako dengan Bahan Tambah Serat Kelapa sebagai Alternatif.

K. Bilba , MA Arsene. (2008). Silane treatment of bagasse fiber for reinforcement of cementitious composites, *Compos A Appl Sci Manuf*, 39, 95

L. Arnaud , E. Gourlay. (2012). Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concretes, *Constr Build Mater*, 28, 50

M. Le Troëdec , C. Peyratout , A. Smith , T. Chotard. (2009). Influence of various chemical treatments on the interactions between hemp fibres and a lime matrix, *J Eur Ceram Soc*, 29, 1861

N. Bhanumathidas , PK Mehta. (2004). *Concrete mixtures made with ternary blended cements containing fly ash and rice husk ash*. In V. M. Malhotra (Ed.), *International conference proceeding seventh CANMET Chennai, India*, 1, 199

R. Zerbino, G. Giaccio , GC Isaia. (2011). Concrete incorporating rice-husk ash without processing. *Construction and Building Materials*, 25, 371

Ratnaningsih, dkk, (2013). Pemanfaatan Limbah kulit Kopi sebagai Bahan Campuran Beton Ringan Material Wall/Flooring. Lembaga Penelitian Jember.

Sumaryanto, D. Satyarno, I. Tjokrodimulyo, K. (2009). Batako Sekam Padi Komposit Mortar Semen. *Forum Teknik Sipil* No. XIX/1-januari-2009

TT Nguyen , V. Picandet , S. Amziane , C. Baley . (2009). Influence of compactness and hemp hurd characteristics on the mechanical properties of lime and hemp concrete, *Euro J Environ Civ Eng*, 13, 1039

TT Nguyen ,V. Picandet , P. Carre , T. Lecompte ,S. Amziane, C. Baley. (2010). Effect of compaction on mechanical and thermal properties of hemp concrete, *Euro J Environ Civ Eng*, 14, 545

Wijanarko, W. (2008). Metode Penelitian Jerami Padi sebagai Pengisi Batako. Skripsi. Univeritas Sebelas Maret. Surakarta

Karakteristik *Conblock* Berpori dengan Bahan Susun: Semen, Partikel Halus, Kerikil, dan Sekam Padi

S. Winarno

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
winarno@uii.ac.id

N. Rahmayanti

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
novi.rahmayanti@uii.ac.id

F.J. Nahdi

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
15511174@students.uui.ac.id

INTISARI

Untuk mengurangi genangan air hujan di atas perkerasan, penggunaan *conblock* berpori adalah salah satu penyelesaian yang baik. Sehubungan dengan bentuk sekam padi yang cekung dan berongga, artikel ini bertujuan untuk meneliti karakteristik *conblock* berpori dengan tambahan sekam padi. Pengujian berat volume dan perhitungan kebutuhan campuran tiap variasi dilakukan pertama kali, yang kemudian dilanjutkan dengan penentuan komposisi bahan susun *conblock*, yaitu semen, partikel halus, kerikil, sekam padi, serta air. Perbandingan semen, partikel halus, dan kerikil sebesar 1:2:3 dan 1:2:4, sedangkan komposisi sekam padi bervariasi dari 2, 3, 4, 5, dan 6. Semua komposisi diukur dalam perbandingan volume (kemudian dikonversikan ke perbandingan berat). Bahan susun *conblock* dicampur dengan mesin pengaduk dan dicetak secara manual. Setelah *conblock* berumur 28 hari, sampel diuji terhadap kuat desak, keausan, dan penyerapan air (sesuai Standar SNI-03-0961-1996 tentang *conblock*), dan uji permeabilitasnya (sesuai Standar ACI 522R-06 tentang *pervious concrete*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan sekam padi dalam adukan beton untuk *conblock* berpori akan menurunkan kinerjanya. Hanya aspek kuat desak saja yang dapat dipenuhi oleh *conblock* bersekam padi, yaitu memenuhi standar *conblock* untuk trotoar (Mutu C) sebesar 15,26 MPa. Aspek ketahanan aus, penyerapan air, dan permeabilitas air tidak dapat dipenuhi oleh *conblock* berpori dengan tambahan sekam padi ini.

Kata kunci: *conblock*, sekam padi, kuat desak, keausan, serapan air, permeabilitas

1. PENDAHULUAN

Banyak permukaan tanah di area trotoar, taman, area bermain, dan *jogging track* memerlukan perkerasan yang mengharuskan tidak ada genangan air setelah adanya hujan. Untuk menghilangkan genangan air, permukaan perkerasan harus memiliki kemiringan yang memadai, agar air hujan dapat segera meninggalkan permukaan perkerasan. Pada kenyataannya, area-area tersebut di atas memiliki luasan yang cukup besar dan permukaannya dibuat rata dan tanpa kemiringan. Pada akhirnya, terdapat genangan air hujan di beberapa titik karena ada permukaan yang tidak sempurna kerataannya atau kemiringannya atau ada beberapa cekungan-cekungan akibat ada lapisan tanah yang kurang dipadatkan. Dalam upaya untuk menghilangkan genangan air hujan pada permukaan yang rata, pemakaian material perkerasan yang berpori adalah salah satu penyelesaiannya, misalnya *conblock* (*concrete block*) berpori.

Conblock adalah salah satu material perkerasan yang terbuat dari campuran semen, air, dan agregat (pasir

dan kerikil) dengan atau tanpa bahan tambah lainnya. *Conblock* dibuat dan dicetak dengan mesin (atau dengan tangan secara manual) di pabrik dalam ukuran-ukuran tertentu. *Conblock* yang berbentuk kotak (tipe *Holland*) memiliki ukuran tebal 6-8 cm, panjang 20 cm dan lebar 10 cm. Setelah *conblock* selesai dicetak dan memiliki kekerasan yang disyaratkan, sejumlah *conblock* dapat disusun dengan dihamparkan pada suatu permukaan tanah (atau pondasi jalan) yang sudah dipadatkan. Perkerasan dengan *conblock* berpori akan mampu mengalirkan air genangan melewati pori-pori di dalam *conblock* sehingga genangan air yang ada di atas hamparan *conblock* dapat segera meresap. *Conblock* berpori memiliki nilai permeabilitas air yang cukup besar. Saat ini, belum ada standar mutu dan pengujian khusus untuk *conblock* berpori di Indonesia sehingga persyaratan *conblock* berpori dalam artikel ini masih merujuk pada SNI-03-0691-1996 (BSN, 1996) tentang *paving block* atau *conblock*, sedangkan karakteristik permeabilitasnya mengikuti ACI 522R-06 (ACI, 2008) tentang *pervious concrete*.

Pada awalnya, penelitian yang telah banyak diteliti adalah beton berpori. Beton berpori yang telah diteliti oleh Ajamu et.al (2012) memiliki nilai permeabilitas sebesar 0,00389 cm/detik dan hasil nilai kuat desak terbesar 7,185 MPa pada campuran 1 semen dan 10 agregat (tanpa pasir). Beton berpori tanpa pasir dengan bahan kimia tambahan telah diteliti oleh Hanta dan Makmur (2015) yang menghasilkan nilai kuat desak terbesar 5,631 MPa dan tingkat permeabilitasnya sebesar 0,80 cm/detik pada campuran 1 semen : 4,14 kerikil, fas 0,32; serta 11 liter bahan kimia tambahan per 1 m³ campuran beton segar. Nilai permeabilitas beton yang lebih tinggi dicapai oleh Prabowo dkk (2013) yang meneliti beton berpori dengan campuran 1 semen, 1,29 pasir, 2,49 kerikil, dan fas 0,3. Hasil koefisien permeabilitasnya adalah sebesar 3,132 cm/detik dengan kuat desak terbesar 4,529 MPa.

Setelah penelitian tentang beton berpori, terdapat penelitian *conblock* (*concrete block*) berpori oleh Silarukmi (2015). Penelitian ini menggunakan agregat kerikil diameter 10-20 cm, perbandingan semen:agregat 1:5 (tanpa pasir), dan nilai fas 0,4, serta ada tambahan abu vulkanik Merapi sebagai pengganti semen. Nilai optimum dicapai pada penggantian 30% semen dengan abu vulkanik dengan kuat desak sebesar 6,05 MPa dan koefisien permeabilitas sebesar 1,93 cm/detik. Hasil penelitian Nursaid (2019), kuat desak *conblock* berpori sebesar 17,21 MPa yang dicapai dengan komposisi perbandingan 1 semen:2 partikel halus: 5 kerikil (diameter 4 cm) yang memenuhi syarat Standar SNI 03-0691-1996 tentang Paving Block Mutu C untuk trotoar pejalan kaki. Namun demikian, koefisien permeabilitasnya masih relative kecil, yaitu 0,118 cm/detik. Partikel halus dalam penelitian ini menggunakan partikel sisa penggergajian batu andesit yang banyak terdapat di Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman, Yogyakarta.

Dalam beberapa tahun terakhir ini, banyak peneliti yang telah mencoba untuk mengganti sebagian material pasir pada adukan beton dengan material-material sisa yang terbuang atau limbah, terutama sisa hasil pertanian. Beberapa contoh beton ramah lingkungan dengan menggunakan batang padi telah diteliti oleh Walker et.al (2014), sementara Chabannes et.al (2017) meneliti tentang beton dengan tambahan batang padi dan sekam padi. Salah satu limbah sisa hasil pertanian adalah sekam padi. Berdasarkan Subdirektorat Statistik Tanaman Pangan (Anonim, 2018), di Indonesia, terdapat 56,54 juta ton hasil padi kering di tahun 2018 dan akan menghasilkan sekitar 24,12 juta ton sekam padi (atau sekitar 42,6% dari padi kering). Jumlah sekam padi yang melimpah di Indonesia menunjukkan fakta bahwa sekam padi ini merupakan tantangan baru bagi pelaku konstruksi untuk dapat memanfaatkannya

sebagai campuran adukan beton untuk dipakai dalam produksi yang berskala besar.

Sekam padi berbentuk cekung dan berongga sehingga apabila sekam padi dijadikan bahan susun *conblock*, campuran beton *conblock* akan membentuk rongga-rongga udara yang dapat meloloskan air limpasan yang lebih banyak (memiliki sifat permeabilitas yang tinggi) dari pada *conblock* berpori konvensional. Artikel ini menguraikan karakteristik *conblock* berpori dengan tambahan sekam padi terutama yang ditujukan untuk perkerasan trotoar, dimana kuat desak rata rata minimum adalah 15 MPa, ketahanan aus 0,16 mm/menit, dan penyerapan air 8% (SNI 03-0691-1996). Komposisi material mengikuti penelitian Nursaid (2019) dan Nahdi (2019), yaitu semen, partikel halus, kerikil, dan sekam padi.

2. METODOLOGI

Pertama, dilakukan aktivitas pengujian bahan-bahan susunnya, antara lain berat volume dan perhitungan kebutuhan campuran tiap variasi. Komposisi bahan susun *conblock* adalah semen, partikel halus, kerikil, sekam padi, serta air. Perbandingan semen dan partikel halus dibuat tetap atau konstan sebesar 1:2. Sedangkan komposisi kerikilnya bervariasi sejumlah 3 dan 4 dan komposisi sekam padi bervariasi dari 2, 3, 4, 5, dan 6. Semua komposisi diukur dalam perbandingan volume yang kemudian dikonversikan dalam perbandingan berat. Komposisi ini adalah memodifikasi dari penelitian Nursaid (2019) dan Nahdi (2019), dengan diameter kerikilnya adalah 4 cm, karena akan menghasilkan nilai permeabilitas yang lebih besar.

Air ditambahkan ke dalam adukan secara bertahap dan sedikit demi sedikit. Jumlah air dianggap mencukupi jika terdapat lapisan air yang tipis di telapak tangan apabila telapak tangan tersebut menggenggam segumpal adukan beton segar. Berat air yang dimasukkan dalam adukan dibagi dengan berat semennya disebut sebagai factor air semen (FAS). Dengan demikian nilai FAS untuk setiap variasi nilainya berbeda-beda.

Bahan susun *conblock* dicampur dengan mesin pengaduk (mixer) dan dicetak secara manual. Setelah *conblock* berumur 28 hari, terdapat 4 pengujian utama, yaitu uji kuat desak, uji keausan, dan uji penyerapan air sesuai SNI-03-0961-1996 tentang *conblock* dan ACI 522R-06 untuk uji permeabilitasnya.

3. PARTIKEL HALUS DAN SEKAM PADI

Partikel halus yang dipakai dalam bahan susun *conblock* ini berasal dari limbah dari industri pemotongan batu andesit yang berada di Kecamatan

Cangkringan; Kab. Sleman, Yogyakarta. Dengan menggunakan mesin potong atau gergaji, batu-batu besar yang berasal dari Gunung Merapi dipotong menjadi ornament potongan batu alam persegi, yang sering digunakan untuk hiasan dinding dalam pembangunan rumah tinggal ataupun bangunan seni lainnya.

Limbah hasil pemotongan atau penggergajian batu-batu andesit berupa partikel halus atau abu batu. Partikel halus ini telah dipakai oleh Nursaid (2019) sebagai campuran dalam adukan beton paving block. Partikel halus ini bentuknya mirip pasir halus, namun yang membedakan partikel ini dengan pasir adalah tekstur, kadar air, dan warnanya. Partikel ini bersifat kering dan teksturnya sangat halus, serta warnanya lebih terang dibandingkan dengan pasir Merapi. Partikel ini dapat difungsikan sebagai filler dalam adukan beton sehingga dapat menghemat penggunaan pasir tanpa mengurangi kekuatannya (Winarno, 2018).

Sekam padi adalah kulit butiran beras sebagai hasil dari penggilingan padi, dan sering dianggap sebagai material sisa. Bulir padi jika melalui proses pengilingan, 78% dari beratnya akan menjadi beras dan sekitar 22% beratnya menjadi kulit sekam. Sekam padi ini bersifat keras dan sulit membusuk jika disimpan lama. Sekam padi diambil dari area persawahan di Kecamatan Ngemplak, Kab. Sleman, Yogyakarta. Bentuk sekam padi adalah cekung dan berongga, sehingga berpotensi untuk menjadi rongga udara apabila dipakai sebagai bahan susun *conblock* berpori.

4. VARIASI SAMPEL UJI

Bahan susun terdiri dari semen (S), partikel halus (PH), kerikil diameter 4 cm (K) dan sekam padi (SP). Terdapat 9 variasi campuran, dengan Variasi 1-5 menggunakan kerikil dengan proporsi 3, dan Variasi 6-9 memakai kerikil dengan proporsi 4. Proporsi S dan PH dibuat konstan sebesar 1:2. Perbandingan-perbandingan tersebut menggunakan perbandingan volume, seperti disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Variasi sampel uji dalam perbandingan volume

Variasi	S	PH	K	SP
1	1	2	3	2
2	1	2	3	3
3	1	2	3	4
4	1	2	3	5
5	1	2	3	6
6	1	2	4	2
7	1	2	4	3
8	1	2	4	5
9	1	2	4	6

Apabila dijadikan menjadi perbandingan berat, hasilnya seperti diuraikan di Tabel 2. Dalam metode pencampuran, peneliti menggunakan metode perbandingan volume untuk keperluan praktis semata.

Tabel 2. Variasi sampel uji dalam perbandingan berat

Variasi	S	PH	K	SP
1	1	1,981	3,467	0,282
2	1	1,980	3,466	0,423
3	1	1,982	3,469	0,564
4	1	1,982	3,467	0,705
5	1	1,982	3,468	0,846
6	1	1,980	4,622	0,282
7	1	1,982	4,624	0,423
8	1	1,982	4,624	0,705
9	1	1,981	4,621	0,846

Sampel uji berbentuk *conblock* persegi dengan ukuran tebal 6 cm, panjang 20 cm, dan lebar 10 cm. Sampel dibuat di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII, pengujian dilakukan di Laboratorium bahan Konstruksi Teknik UII, khusus untuk pengujian keausan dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

5. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Setiap pengujian, terdapat 3 sampel, dan nilainya adalah rata-rata dari 3 sampel tersebut. Tabel 3 menyajikan hasil pengujian berat volume bahan susun *conblock* berpori. Tabel 4 menjelaskan hasil pengujian kuat desaknya

Tabel 3. Berat volume (BV) bahan susun

Sampel	BV (gr/cm ³)			
	S	PH	K	SP
a	1,067	1,024	1,275	0,156
b	1,060	1,052	1,220	0,150
c	1,058	1,078	1,185	0,143
Rata - rata	1,062	1,051	1,227	0,150

Kekuatan desak minimum (sesuai SNI) sebesar 15 MPa dicapai oleh Variasi 3 dengan komposisi 1 S: 2 PH: 3 K: 4 SP, dengan nilai kuat desak sebesar 15,12 MPa. Namun demikian, semua sampel uji tidak memenuhi standar ketahanan aus maksimum sebesar 0,16 mm/menit, seperti disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 4. Kuat desak pada berbagai variasi

Variasi	Sampel	Beban Maks. (N)	Luas penampang (mm ²)	Kuat desak (MPa)	Kuat desak rata-rata (MPa)
1	a	450.000	21.188	21,24	19,95
	b	400.000	21.041	19,01	
	c	420.000	21.433	19,60	
2	a	352.000	21.341	16,49	16,77
	b	310.000	21.053	14,72	
	c	405.000	21.221	19,08	
3	a	270.000	21.265	12,70	15,12
	b	268.000	22.116	12,12	
	c	460.000	22.387	20,55	
4	a	229.000	20.981	10,91	12,35
	b	300.000	21.343	14,06	
	c	250.000	20.712	12,07	
5	a	225.000	20.685	10,88	10,28
	b	200.000	20.753	9,64	
	c	215.000	20.841	10,32	
6	a	368.000	20.712	17,77	16,08
	b	330.000	20.651	15,98	
	c	305.000	21.032	14,50	
7	a	375.000	20.690	18,12	17,92
	b	345.000	21.029	16,41	
	c	400.000	20.811	19,22	
8	a	260.000	20.920	12,43	11,35
	b	237.000	20.726	11,43	
	c	213.000	20.892	10,20	
9	a	312.000	20.489	15,23	14,22
	b	250.000	20.190	12,38	
	c	310.000	20.604	15,05	

Hasil pengujian penyerapan air di Tabel 6 menunjukkan bahwa distribusinya adalah acak atau random, tetapi secara umum, semakin banyak kerikilnya maka penyerapan air juga semakin besar. Standar SNI untuk penyerapan air maksimum adalah 8% untuk *conblock* trotoar. Variasi 1, 2, 6, dan 7 memenuhi Standar SNI.

Tabel 5. Pengujian keausan

Variasi	Sampel	Ketahanan Aus (mm/menit)	Rata-Rata Ketahanan Aus (mm/menit)
1	a	0,2766	0,226
	b	0,2262	
	c	0,1758	
2	a	0,3774	0,260
	b	0,1758	
	c	0,2262	
3	a	0,453	0,310
	b	0,2262	
	c	0,2514	
4	a	0,5034	0,545
	b	0,579	
	c	0,5538	
5	a	0,3018	0,453
	b	0,453	
	c	0,6042	
6	a	0,327	0,344
	b	0,2766	
	c	0,4278	
7	a	0,2766	0,251
	b	0,2766	
	c	0,201	
8	a	0,4782	0,327
	b	0,2262	
	c	0,2766	
9	a	0,2766	0,310
	b	0,4026	
	c	0,2514	

Tabel 6. Pengujian penyerapan air

Variasi	Sampel	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Persentase Penyerapan Air (%)	Persentase Penyerapan Air Rata-rata (%)
1	a	2652	2528	4,905	5,086
	b	2673	2588	3,284	
	c	2666	2490	7,068	
2	a	2565	2463	4,141	7,015
	b	2516	2288	9,965	
	c	2543	2378	6,939	
3	a	2545	2351	8,252	10,355
	b	2492	2266	9,974	
	c	2487	2204	12,840	
4	a	2408	2241	7,452	10,208
	b	2373	2104	12,785	
	c	2349	2128	10,385	

Tabel 6. Lanjutan

5	a	2274	2089	8,856	9,008
	b	2263	2068	9,429	
	c	2302	2117	8,739	
6	a	2540	2437	4,227	5,599
	b	2439	2329	4,723	
	c	2391	2217	7,848	
7	a	2493	2346	6,266	6,486
	b	2399	2238	7,194	
	c	2456	2317	5,999	
8	a	2269	2075	9,349	8,708
	b	2328	2149	8,329	
	c	2183	2013	8,445	
9	a	2420	2193	10,351	9,354
	b	2483	2284	8,713	
	c	2459	2256	8,998	

Tabel 7. Hasil Uji Permeabilitas

Variasi	Sampel	Koefisien Permeabilitas (cm/detik)	Koefisien Permeabilitas Rata-rata (cm/detik)
1	a	0,00129	0,001193
	b	0,00123	
	c	0,00106	
2	a	0,00146	0,001397
	b	0,00141	
	c	0,00132	
3	a	0,00266	0,002330
	b	0,00215	
	c	0,00219	
4	a	0,00280	0,002959
	b	0,00312	
	c	0,00296	
5	a	0,00348	0,003285
	b	0,00333	
	c	0,00305	
6	a	0,00165	0,001759
	b	0,00190	
	c	0,00172	
7	a	0,00202	0,001862
	b	0,00166	
	c	0,00190	

Tabel 7. lanjutan

8	a	0,00576	0,005591
	b	0,00572	
	c	0,00529	
9	a	0,00639	0,006450
	b	0,00668	
	c	0,00629	

Nilai permeabilitas beton berpori sesuai standar ACI adalah berkisar antara 0,135 - 1,217 cm/detik. Namun demikian, semua hasil uji tidak memenuhi standar ACI tersebut.

Berdasarkan hasil dari 4 pengujian (kuat desak, ketahanan aus, penyerapan air, dan koefisien permeabilitas), *conblock* berpori dari penelitian Nursaid (Nursaid, 2019) pada komposisi bahan susun 1 S: 2 PH; 5 K memenuhi standar SNI (kuat desak sebesar 17,21 MPa, ketahanan aus sebesar 0,1674 mm/menit, penyerapan air 7,063%), tetapi tidak memenuhi Standar ACI pada aspek efisien permeabilitas sebesar 0,118 cm/detik. Namun demikian, hasil penelitian *conblock* berpori dengan tambahan sekam padi ini menunjukkan hasil yang lebih buruk. Pada komposisi komposisi 1 S: 2 PH: 3 K: 4 SP hanya memenuhi Standar SNI pada aspek kuat desak. Demikian juga, Standar ACI untuk koefisien permeabilitas juga tidak terpenuhi. Pada akhirnya dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan sekam padi tidak dapat meningkatkan kinerja kuat desak dan permeabilitas pada *conblock* berpori. Bentuk sekam padi yang cekung dan berongga tidak menambah sifat porositasnya. Ketahanan aus dan penyerapan air juga menurun karena adanya tambahan sekam padi ini.

6. KESIMPULAN

Conblock berpori dengan tambahan sekam padi telah diteliti dengan 4 aspek, yaitu kuat desak, ketahanan aus, penyerapan air, dan permeabilitas air. Penambahan sekam padi dalam adukan beton untuk *conblock* berpori akan menurunkan kinerjanya. Hanya aspek kuat desak saja yang dapat dipenuhi oleh *conblock* bersekam padi, yaitu memenuhi standar *conblock* untuk trotoar (Mutu C). Aspek ketahanan aus, penyerapan air, dan permeabilitas air tidak dapat dipenuhi oleh *conblock* berpori dengan tambahan sekam padi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana atas dukungan dana dari Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ketua Jurusan Teknik Sipil UII, teknisi-laboran di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII, Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII, dan Laboratorium Bahan Bangunan UGM.

REFERENSI

ACI. (2008). *ACI 522.1-08 Pervious Concrete*. American Concrete Institute.

Ajama, S. O., Jimoh, A. A., & Oluremi, J. R. (2012). Evaluation of Structural Performance of

Pervious Concrete in Construction. *International Journal of Engineering and Technology*, II(5), 829-836.

Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat and Universitas Islam Indonesia.

Anonim. (2018). *Luas Panen dan Produksi Beras 2018*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.

BSN. (1996). *SNI 03-0691-1996 tentang Bata Beton (Paving Block)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Chabannes, M., Becquart, F., Garcia-Diaz, E., Abriak, N., & Clerc, L. (2017). Experimental Investigation of the Shear Behaviour of Hemp and Rice Husk-based Concretes using Traixial Compression. *Construction and Building Materials*, 143, 621-632.

Hanta, L., & Makmur, A. (2015). Studi Ekeperimental Pengaruh Bentuk Agregat Terhadap Nilai Porositas dalam Campuran Beton Berpori pada Aplikasi Jalur Pejalan Kaki. *The 18th FSTPT International Symposium* (pp. 37-46). Bandar Lampung: UNILA.

Nahdi, F. J. (2019). *Paving Block Porous dengan Tambahan Sekam Padi*. Yogyakarta: Tugas Akhir S1, Un-published, Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

Nursaid, A. (2019). *Paving Block Porous Menggunakan Material Merapi yang Dicetak Secara Manual*. Yogyakarta: Tugas Akhir S1 Un-published, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

Prabowo, D. A., Setyawan, A., & Sambowo, K. A. (2013). Desain Beton Berpori untuk Perkerasan Jalan yang Ramah Lingkungan. *Matriks Teknik Sipil*, II(9), 97-102.

Silarukmi, A. (2015). *Pemanfaatan bantak dan Abu Vulkanik Merapi untuk Porous Paving Block dalam Penanganan Drainase Halaman Candi Prambanan*. Yogyakarta: Tesis S2 Un-published, Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada.

Walker, R., Pavia, S., & Mitchell, R. (2014). Mechanical Properties and Durability of Hemp-lime Concretes. *Construction and Building Materials*, 61, 340-348.

Winarno, S. (2018). Comparative Strength and Cost of Rice Husk Concrete Block. *5th International Conference on Sustainable Built Environment, Management of Changes for Livable Environment* (pp. 21-26).

PENGARUH ABU LIMBAH KEDELAI SEBAGAI BAHAN TAMBAH TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Anik Kustirini

Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Semarang, Indonesia
anik_krini@yahoo.co.id

Bambang Purnijanto

Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Semarang, Indonesia
aabamb@gmail.com

Yuda Amanuyasa

Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Semarang, Indonesia
Yazha13@gmail.com

Bayu Aji Juniarto

Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Semarang, Indonesia
bayuwengergunners@gmail.com

INTISARI

Beton merupakan unsur yang sangat di butuhkan dalam berbagai macam konstruksi bangunan teknik sipil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu limbah kedelai terhadap kuat tekan beton. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Kadar abu kedelai yang digunakan dalam pembuatan sampel beton yaitu 0%, 3%, 6%, dan 9%. Kuat tekan yang direncanakan adalah 20 MPa. Dalam penelitian ini masing masing prosentase benda uji di buat sebanyak 9 sampel dengan ukuran cetakan silinder benda uji 15cm x 30cm. Pengujian kuat tekan dilakukan saat beton berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Dari hasil penelitian ini didapat kesimpulan bahwa beton dengan bahan tambah abu limbah kedelai mengalami peningkatan dalam setiap umur pengujian. Kuat tekan beton maksimum terjadi pada umur beton 28 hari dengan kadar abu limbah kedelai 6%, dengan kuat tekan beton 27,30 MPa..

Kata kunci: abu limbah kedelai; beton; kuat tekan.

1 PENDAHULUAN

Beton merupakan unsur yang sangat di butuhkan dalam berbagai macam konstruksi bangunan teknik sipil. Dunia teknik sipil dalam bidang konstruksi gedung, beton di gunakan untuk berbagai struktur, baik pondasi, kolom, balok, maupun plat. Beton juga di gunakan dalam bangunan air, seperti bendung, bendungan, embung, sungai, irigasi pekotaan. Kemudian dalam sektor transportasi beton di gunakan untuk membuat jalan baik jalan tol, jalan perkotaan, maupun jalan desa, baik sebagai lapis perkerasan, gorong-gorong, pembatas jalan, median jalan dan lainnya. Artinya beton adalah unsur yang di gunakan di seluruh bidang teknik sipil.

Kualitas beton adalah hal mendasar yang sangat berpengaruh dalam keberhasilan sebuah konstruksi, sehingga kemudian komposisi dan mutu beton di tetapkan sebagai standar dalam perencanaan konstruksi bangunan. Dari segi pengerjaan beton sangat menguntungkan karena beton mudah untuk di bentuk sesuai yang di kehendaki, kemudian beton juga tahan terhadap panas api. Tetapi beton juga memiliki

kekurangan yaitu perubahan bentuk atau deformasi yang terjadi akibat perubahan musim sehingga beton mengalami kembang susut. Selain itu perubahan bentuk beton juga terjadi karena pembebanan yang mengakibatkan rangkai, sehingga dalam perencanaan harus benar benar di lakukan dengan baik, agar konstruksi bangunan dapat sesuai dengan rencana.

Sifat dari unsur bahan penyusun beton adalah hal yang harus di kenali, agar hasil yang di capai memuaskan sesuai apa yang ingin di kehendaki. Ada dua hal yang sangat di perhatikan dalam merencanakan bangunan menggunakan konstruksi beton, yaitu: kekuatan tekan dan kemudahan pengerjaan. Faktor air semen adalah hal yang menentukan kekuatan beton, faktor air terhadap semen yang kecil membuat mutu beton semakin baik. Namun, hal tersebut berbanding terbalik dalam sisi pengerjaan, semakin kecil faktor air semen, justru semakin mempersulit dalam proses pengerjaan. Dari permasalahan yang ada, maka disitulah ada peranan ilmu pengetahuan dan teknologi, dengan berbagai inovasi yang ada, maka masalah yang terjadi dapat teratasi.

Maka dalam penelitian ini, peneliti bermaksud untuk melakukan inovasi yaitu dengan membuat beton menggunakan bahan tambah yang berasal dari limbah abu sisa pembakaran tanaman kedelai dan mempelajari pengaruh penambahan limbah tersebut terhadap kuat tekan beton. Limbah abu tanaman kedelai sisa panen adalah potensi yang selama ini masih sia-sia dan belum di manfaatkan dengan baik. Setelah kedelai di panen, kemudian petani menumpuk tanaman dan kulit sisa panen kemudian di bakar dan di biarkan begitu saja tanpa di manfaatkan. limbah abu kedelai merupakan limbah dari sektor pertanian yang selama ini hanya di biarkan begitu saja sehingga perlu adanya sebuah inovasi agar limbah kedelai bisa dimanfaatkan dan bisa menjadi sesuatu yang bernilai ekonomi.

2 TUJUAN

Tujuan penelitian sebagai berikut :

- Mengetahui kuat tekan beton menggunakan bahan tambah abu limbah kedelai.
- Mengetahui cara mix desain beton menggunakan bahan tambah abu limbah kedelai.
- Mengetahui hasil perbandingan beton normal dengan beton yang menggunakan bahan tambah abu limbah kedelai.

3 TINJAUAN TERHADAP PENELITIAN SEBELUMNYA

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Surya Sebayang (2010) tentang pengaruh penambahan abu terbang sebagai bahan pengganti sejumlah semen. Penelitian di lakukan dengan komposisi kadar abu terbang yaitu sebesar, 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 15%. Umur pengujian kuat tekan mulai dari 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari. Peningkatan kuat tekan terjadi setelah 28 hari, kuat tekan optimum terjadi pada umur 56 hari sebesar 48,607 MPa dengan kadar abu terbang 9 %.

Marbawi (2015) mengenai pemanfaatan serat dari resam sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton. Penelitian dengan menambahkan resam dengan persentase resam 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%. Hasil yang di dapat adalah kuat tekan maksimum ada pada umur 28 hari dengan penambahan kadar resam 1% sebesar 21,87 MPa atau lebih baik dari beton normal dengan kuat tekan sebesar 21,40 MPa.

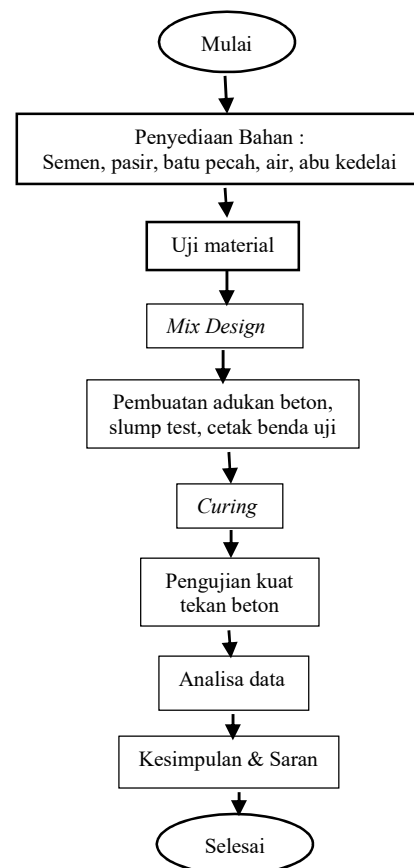
Kemudian penelitian yang di lakukan oleh M. N. Ikhsan (2016) tentang pengaruh penambahan pecahan kaca sebagai bahan pengganti agregat halus. Penelitian di lakukan dengan menambahkan pecahan atau serbuk kaca sejumlah 15%, 20%, dan 25%. Dari hasil uji tekan di ketahui bahwa serbuk kaca dapat meningkatkan kuat tekan beton, dengan penambahan kaca 15%, 20%, dan 25% di dapat hasil kuat tekan sebesar 24,94 MPa, 25,48 MPa dan 25,77 MPa.

Penelitian penulis adalah mengenai pengaruh penambahan abu limbah kedelai sebagai bahan pengganti sejumlah semen dengan prosentase variasi bahan tambah 0%, 3%, 6% dan 9%

4 LANDASAN TEORI

Beton merupakan bahan komposit (campuran) dan beberapa material yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka daktilitas beton sangat tergantung dari kualitas masing – masing pembentuk. (Kardiyono Tjokrodinuljo : 2007).

Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji silinder adalah tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39 – 86. Kuat tekan masing – masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f'_c) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. (Dipohusodo : 1996)



Gambar 1. Bagan alir tahapan penelitian

Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut :

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

dimana :

- f'_c = kuat tekan beton (MPa)
- P = Beban Tekan (N)
- A = Luas Penampang Benda Uji (mm²)

5 METODE PENELITIAN

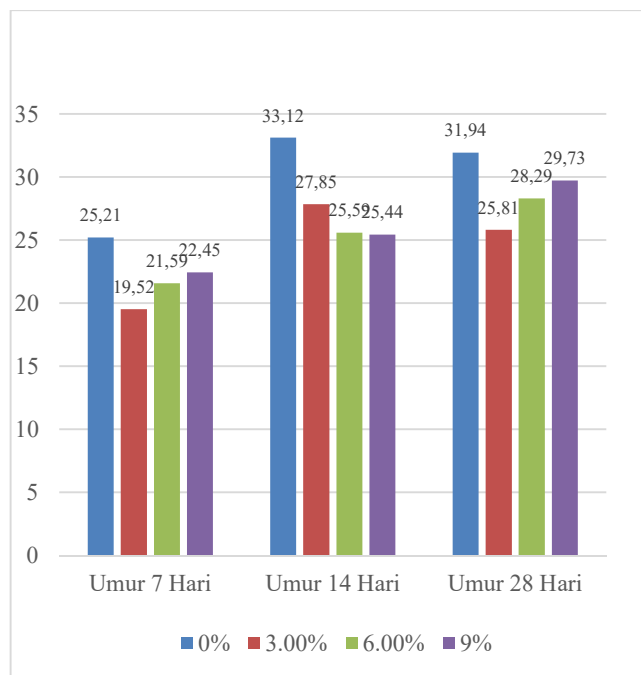
Berikut merupakan tahapan penelitian yang disajikan dalam bentuk bagan alir seperti yang disajikan pada gambar 1. Metode penelitian yang dipakai adalah metode eksperimental, dengan 36 benda uji silinder ukuran 15 x 30 cm, dengan perincian normal 9 benda uji, penambahan abu kedelai 3% 9 benda uji, penambahan abu kedelai 6% 9 benda uji, penambahan abu kedelai 9% 9 benda uji. Tes kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

6 HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel Pengujian Kuat Tekan Beton

N O.	PEKERJAAN	Kuat Tekan (MPa)	RATA-RATA 7 hari (MPa)	Kuat Tekan (MPa)	RATA-RATA 14 hari (MPa)	Kuat Tekan (MPa)	RATA-RATA 28 hari (MPa)
		7 hari	7 hari	14 hari	14 hari	28 hari	28 hari
1	NORMAL	22,86	25,21	33,62	33,12	32,89	31,94
2	NORMAL	26,56		32,39		30,65	
3	NORMAL	26,22		33,34		32,27	
4	3%	20,17	19,52	27,85	27,85	22,75	25,81
5	3%	18,10		27,96		25,55	
6	3%	20,28		27,73		29,14	
7	6%	20,79	21,59	25,72	25,59	28,35	28,29
8	6%	22,97		25,27		28,86	
9	6%	21,01		25,77		27,68	
10	9%	23,42	22,45	24,15	25,44	26,28	29,73
11	9%	21,74		25,83		30,65	
12	9%	22,19		26,33		32,27	

(Sumber :Hasil Pengujian 2019)



Gambar 2. Grafik rekap hasil pengujian (Sumber :Hasil Pengujian 2019)

Dari hasil penelitian ini, beton normal pada umur beton 7 hari memberikan kuat tekan rata-rata maksimum sebesar 25,21 MPa, penambahan abu kedelai sebesar 3% memberikan kuat tekan rata-rata maksimum sebesar 19,52 MPa. Dan pada penambahan abu kedelai sebesar 6 % memberikan kuat tekan rata-rata maksimum sebesar 21,59 MPa dan penambahan abu kedelai sebesar 9% memiliki kuat tekan maksimum 22,45 MPa.

Beton normal pada umur beton 14 hari memberikan kuat tekan rata-rata maksimum sebesar 33,12 MPa, penambahan abu kedelai sebesar 3%,6% dan 9% memiliki kuat tekan 27,85 MPa, 25,59 MPa dan 25,44 MPa.

Kuat tekan beton normal pada umur beton 28 hari memiliki kuat tekan maksimum sebesar 31,94 MPa, penambahan abu kedelai sebesar 3%,6% dan 9% memiliki kuat tekan maksimum sebesar 25,81 MPa, 28,29 MPa dan 29,73 MPa.

Dari data hasil uji kuat tekan terlihat bahwa hasil untuk beton normal dan beton dengan bahan tambah abu limbah kedelai mulai dari umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari terjadi peningkatan kuat tekan beton.

7 KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan abu limbah kedelai sebanyak 3%, 6% dan 9% pada umur beton 7 hari yang memberikan kuat tekan rata-rata maksimum sebesar 19,52 MPa, 21,59 MPa dan 22,45 MPa.
2. Penambahan abu limbah kedelai sebanyak 3%, 6% dan 9% pada umur 14 hari memberikan kuat tekan rata-rata maksimum sebesar 27,85MPa, 25,59 MPa dan 25,44 MPa.
3. Penambahan abu limbah kedelai sebanyak 3%, 6% dan 9% pada umur beton 28 hari yang memberikan kuat tekan rata-rata maksimum sebesar 25,81 MPa, 28,29 MPa dan 29,73 MP

REFERENSI

Annual Book of ASTM Standards. 1976. ASTM C33-74a Standard Specification for Concrete Agregate. Philadelphia, USA. ASTM International.

Annual Book of ASTM Standards. 2002. ASTM C39-86 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. West Conshohocken. ASTM International.

Antono, A. 1995. Teknik Beton. Yogyakarta : Fakultas Teknik UGM

Departemen Pekerjaan Umum. 1971. Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PBI). Bandung. Departemen Pekerjaan Umum.

Departemen Pekerjaan Umum. 1982. Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia . Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum.

Departemen Pekerjaan Umum. 1989. Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam), SK. SNI S-04-1989-F. Bandung. Yayasan LPMB.

Dipohusodo, Istimawan. 1996. Manajemen Proyek dan Kontruksi. Yogyakarta. Kanisius

Marbawi. 2015. Pemanfaatan Serat Dari Resam Sebagai Bahan Tambah Dalam Pembuatan Beton. Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Makasar.

Mc Cormac, Jack C. 2004. Desain Beton Bertulang-Edisi Kelima-Jilid 2. Jakarta. Erlangga.

M. N. Ikhsan, dkk. 2016. Pengaruh Penambahan Pecahan Kaca Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus dan Penambahan Fiber Optik Terhadap Kuat Tekan Beton Serat. Yogyakarta. Fakultas Teknik UMY.

Mulyono, Tri. 2004. Teknologi Beton. Yogyakarta : ANDI

SNI 11298-1971-2011 Tentang Uji kadar Air Agregat.

SNI 1970-2008 Tentang Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.

SNI 03-4142 Tentang Uji Bahan Lolos Saringan 200.

SNI 03-1968-2011 Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar.

SNI 2493-2011 Tentang Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium.

SNI 1972-2008 Tentang Cara Uji Slump Beton.

SNI 03-1974-1990 Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.

Surya Sebayang 2010. Pengaruh Kadar Abu Terbang Sebagai Bahan Pengganti Sejumlah Semen Pada Beton Alir Mutu Tinggi. Lampung: Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung

Tjokrodinuljo, Kardiyono 2007. Teknologi Beton. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM : Yogyakarta

TEMA G

STRUKTUR

Evaluasi Pemenuhan Keandalan Bangunan Gedung Sekolah Dasar

(Studi Kasus: Sekolah Dasar Islam Terpadu Aliya Bogor)

Muhamad Lutfi

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ibn Khaldun, Bogor, INDONESIA
lutfim97@gmail.com

Purwanto

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ibn Khaldun, Bogor, INDONESIA
puspajayateknik@gmail.com

INTISARI

Bangunan gedung Sekolah Dasar Islam Terpadu Aliya Bogor (SDIT) adalah bangunan gedung yang memiliki nilai strategis sebagai tempat berlangsungnya proses penyelenggaraan belajar yang diatur dan dikelola agar fungsional dan diselenggarakan secara tertib. Hasil penelitian ini menunjukkan gambaran kondisi gedung dan keandalan SDIT Aliya Bogor yang memberikan aspek keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan. SDIT Aliya Bogor merupakan salah satu bangunan Sekolah Islam di kota Bogor, yang digunakan sebagai kegiatan belajar mengajar layanan publik. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dan metode pengumpulan data yang digunakan adalah daftar simak pemeriksaan keandalan bangunan. Sedangkan analisis data dalam penelitian ini menggunakan analisis deskriptif, analisis keandalan bangunan gedung sesuai dengan panduan teknis tata cara pemeriksaan keandalan bangunan gedung yang berlaku. Berdasarkan hasil penelitian terlihat bahwa: nilai keandalan bangunan gedung Abu Bakar Siddiq dan Umar Bin Khattab termasuk dalam kategori “**Kurang Andal**”, akibat kurangnya pemenuhan persyaratan komponen utilitas dan proteksi kebakaran, sehingga berpengaruh pada penilaian akhir keandalan bangunan tersebut; dengan persentase nilai total keandalan gedung Abu Bakar Siddiq = 79,08% dan gedung Umar Bin Khattab = 78,90%

Kata kunci: keselamatan, keandalan, bangunan, gedung, sekolah dasar

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Setiap bangunan gedung sudah selayaknya dilakukan suatu evaluasi menyangkut strukturnya, sehingga tingkat keamanan pemakainya dapat terjamin. Berdasarkan UU No. 28 tahun 2002 tentang bangunan gedung dalam pasal 3 menyatakan bahwa untuk mewujudkan bangunan gedung yang fungsional dan sesuai dengan tata bangunan gedung yang serasi dan selaras dengan lingkungannya, harus menjamin keandalan bangunan gedung dari segi keselamatan, kesehatan, kenyamanan dan kemudahan. (M. Lutfi, Subtoni, 2017). Sebagian besar bangunan gedung sekolah dasar di wilayah Kota Bogor yang ada sekarang ini, masih banyak bangunan gedung yang belum memenuhi standarisasi yang sesuai dengan kaidah persyaratan keselamatan dan keandalan gedung. Memperhatikan hal tersebut di atas serta yang di syartkan dalam UU No. 28 Tahun 2002 dan PP No. 36 tahun 2005 perlu di lakukan tindak lanjut dari kondisi tersebut dalam bentuk pemeriksaan keandalan

bangunan gedung untuk mengetahui tingkat keandalan sebagai dasar awal pertimbangan lebih lanjut dalam menerbitkan Sertifikat Laik Fungsi Bangunan Gedung oleh Pemerintah Daerah. Departemen Pekerjaan Umum (2009) mendefinisikan bangunan gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan / atau di dalam tanah dan / atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus. Kriteria keandalan fisik bangunan gedung meliputi aspek keselamatan, kesehatan, kenyamanan dan keserasian dengan lingkungan. Aspek pengamatan fisik di lapangan dilakukan pada segi arsitektur, struktur, utilitas, aksesibilitas, serta tata bangunan dan lingkungan

1.2 Bangunan Gedung

Berdasarkan Permen PU No. 25/PRT/M/2007, Bangunan Gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan

konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial budaya, maupun kegiatan khusus. Bangunan gedung umum adalah bangunan gedung yang fungsinya untuk kepentingan publik, baik berupa fungsi keagamaan, fungsi usaha, maupun sosial dan budaya.

1.3 Sekolah Dasar

Permendiknas 24/2007 menegaskan bahwa untuk menjamin terwujudnya pelaksanaan pembelajaran dalam pendidikan nasional yang berpusat pada siswa diperlukan adanya sarana dan prasarana yang memadai. Sarana dan prasarana yang memadai tersebut harus memenuhi ketentuan minimum yang ditetapkan dalam standard sarana dan prasarana. Ketentuan minimum sarana meliputi : perabot, peralatan pendidikan, media pendidikan, buku dan sumber belajar lainnya, teknologi informasi dan komunikasi, serta perlengkapan lain yang wajib dimiliki oleh setiap sekolah/madrasah. Sedangkan ketentuan minimum prasarana meliputi : lahan, bangunan, ruang-ruang, dan instalasi daya dan jasa yang wajib dimiliki oleh setiap sekolah/madrasah. Kapasitas lahan dan bangunan yang memadai di perlukan untuk memberikan ruang yang cukup bagi pelaksanaan pembelajaran siswa SD/MI.



Gambar 1. Peta Lokasi SDIT Aliya Bogor

2 METODE PENELITIAN

Pengolahan data yang digunakan untuk penelitian ini berupa data primer dan data sekunder yang diperoleh dari sumber data dan survei yang dilakukan pada 2

(dua) bangunan gedung Sekolah Dasar Islam Terpadu Aliya Bogor, yaitu gedung Abu Bakar Siddiq dan gedung Umar Bin Khattab yang beralamat di Jalan di Jl. Gardu Raya, RT.03/RW.11, Bubulak, Kec. Bogor Barat Kota Bogor, Jawa Barat 16115. Lokasi dari obyek penelitian ditunjukkan dalam gambar 1.

3 ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Aspek Administrasi

Hasil pengolahan data aspek administrasi selengkapnya disajikan pada Tabel 1. Persyaratan administrasi bangunan gedung bertujuan secara khusus sebagai langkah awal dalam pemeriksaan keandalan bangunan gedung, dan bertujuan secara umum agar tertib administrasi dalam peraturan pemanfaatan ruang dan tertib pembangunan dapat berjalan dengan baik demi kepentingan bersama dalam suatu wilayah pembangunan. Setiap bangunan gedung harus memenuhi persyaratan administrasi yang meliputi:

1. Status hak atas tanah.
2. Status kepemilikan bangunan gedung.
3. Ijin Mendirikan Bangunan gedung (IMB).

Berdasarkan hasil analisis aspek administratif, kedua bangunan gedung lengkap secara administrasi.

Tabel 1. Persyaratan administrasi bangunan

No	Kondisi kefungsiian komponen	Gd. Abu Bakar	Gd. Umar
1	IMB	ada	ada
2	PBB	ada	ada
3	Gambar bangunan	ada	ada
4	Surat kepemilikan	ada	ada
5	Tahun pembangunan	2005	2006

Sumber : Hasil penelitian 2019

Tabel 2. Persyaratan aspek arsitektur SDIT Aliya

Komponen	Kondisi kefungsiian komponen	Gd. Abu Bakar	Gd. Umar
Ruang Dalam	Kesesuaian penggunaan fungsi	15	15
	Pelapis muka lantai	10	10
	Plesteran lantai	10	10
	Pelapis muka dinding	9,97	9,94
	Plesteran dinding	9,98	9,95
	Kusen pintu & jendela	14,85	15
Ruang Luar	Lapisan muka langit	9,97	9,98
	Penutup atap	10	10
	Pelapisan muka dinding luar	1,93	1,99
	Plesteran dinding luar	0,49	0,5
	Pelapisan muka lantai luar	2,5	2,5
Plesteran lantai luar	2,5	2,5	
Pelapis muka langit	2	2	
Total nilai keandalan arsitektur		99,19	99,36

Sumber : Hasil penelitian 2019

B. Aspek Teknis Bangunan

1. Aspek Arsitektur

Hasil perhitungan data aspek arsitektur selengkapnya disajikan pada Tabel 2

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah PU No. 29/PRT/M/2006 tentang pedoman persyaratan teknis bangunan gedung, keandalan arsitektur berperan di dalam menjamin terwujudnya bangunan gedung yang didirikan berdasarkan karakteristik lingkungan, ketentuan wujud bangunan, dan budaya daerah sehingga seimbang, serasi dan selaras dengan lingkungannya serta gedung yang dibangun dapat dimanfaatkan dengan tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Selanjutnya guna dapat menjamin karakteristik gedung agar dapat dimanfaatkan oleh pengguna bangunan tanpa menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, dan gedung dapat memiliki karakteristik wujud, yang seimbang, serasi dan selaras dengan lingkungannya, di dalam analisis kajian arsitektur ini lebih ditekankan pada aspek fungsi, kondisi interior dan eksteriornya yang mendukung peningkatan nilai arsitektural. Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa dua gedung yang diteliti semuanya memperoleh skor nilai keandalan arsitektur lebih besar dari 95%, sehingga dapat disimpulkan kedua bangunan gedung tersebut masuk kategori “Andal” untuk aspek arsitektur.

2. Aspek Struktur

Hasil perhitungan data aspek struktur selengkapnya disajikan pada Tabel 3

Tabel 3. Persyaratan aspek struktur gedung SDIT Aliya

No	Kondisi kefungsiian komponen	Ged. Abu Bakar	Ged. Umar
A	STRUKTUR UTAMA		
1	Pondasi	25	25
2	Kolom Struktur	20	20
3	Balok Struktur	15	15
4	Joint kolom-balok	15	15
5	Plat lantai	4,5	4,5
6	Atap	0,5	0,5
7	Penggantung langit-langit	5	5
B	STRUKTUR PELENGKAP		
8	Plat / balok tangga	6	6
9	Balok anak	5	5
10	Lain-lain	2	2
Total nilai keandalan struktur		98,00	98,00

Sumber: Hasil penelitian 2019

Persyaratan keandalan struktur bangunan gedung diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum. No.29/PRT/M/2006 tentang pedoman persyaratan teknis bangunan gedung. Penentuan mengenai detail konstruksi, jenis, intensitas dan cara bekerjanya beban, antara lain harus mengikuti SNI 03-2847-1992 (Tata

cara penghitungan struktur beton untuk bangunan gedung), SNI 03-1726-2001 (Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung, atau edisi terbaru), SNI 03-1727-1989 (Tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung, atau edisi terbaru) dan SK SNI lain yang mengatur teknis pelaksanaannya. Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa gedung Abu Bakar Siddiq dan gedung Umar Bin Khattab, kedua gedung yang diteliti semuanya memperoleh skor nilai keandalan struktur lebih besar dari 95%, sehingga dapat disimpulkan kedua bangunan gedung tersebut masuk kategori “Andal” untuk aspek struktur

3. Aspek Utilitas dan Proteksi Kebakaran

Hasil perhitungan data aspek utilitas dan proteksi kebakaran selengkapnya disajikan pada Tabel 4

Tabel 4. Persyaratan aspek utilitas dan proteksi kebakaran SDIT Aliya

No	Kondisi kefungsiian komponen	Ged Abu Bakar Siddiq	Ged Umar Bin
A	Sistem Pencegahan Kebakaran	0	0
1	Sistem alarm kebakaran	0	0
2	Sprinkler	0	0
3	Gas Pemadam	0	0
4	Hidran	0	0
5	Tabung APAR	2	2
B	Transformasi Vertikal		
1	Tangga	10	10
C	Plumbing		
1	Air Bersih	5	5
2	Air Kotor	5	5
D	Instalasi Listrik		
1	Sumber Daya PLN	5	5
2	Sumber Daya Generator	5	5
E	Instalasi Tata Udara		
1	Sistem Pendingin Langsung	5	5
2	Sistem Pendingin tak Langsung	5	5
F	Penangkal Petir		
1	Sistem Utama Proteksi Petir	5	5
2	Instalasi Proteksi Petir	5	5
G	Instalasi Komunikasi		
1	Instalasi Telepon	5	5
2	Instalasi Tata Suara	5	5
Total nilai keandalan utilitas		62,00	61,50

Sumber : Hasil penelitian 2019

Berdasarkan Tabel 4 Hasil perhitungan gedung Abu Bakar Siddiq dan gedung Umar Bin Khattab masuk kategori “Kurang Andalus”, karena kedua bangunan gedung mempunyai nilai dibawah 95%. Kurangnya nilai aspek utilitas pada kedua gedung tersebut karena

kurangnya nilai pada komponen sistem pencegahan kebakaran, khususnya sistem alarm kebakaran, sprinkler, gas pemadam dan hidran.

4. Aspek Aksesibilitas

Hasil perhitungan data aspek aksesibilitas kedua gedung SDIT Aliya selengkapnya disajikan pada Tabel 5

Tabel 5. Persyaratan aspek aksesibilitas SDIT Aliya

No	Kondisi kefungsi-an komponen	Ged. Abu Bakar Siddiq	Ged. Umar Bin Khattab
1	Ukuran dasar ruang	20	20
2	Jalur Pedestrian dan ram	0,00	0,00
3	Area Parkir	17,50	18,45
4	Perlengkapan dan peralatan	4,75	4,6
5	Toilet	18,3	19
6	Pintu	14,62	14,24
Total nilai keandalan aksesibilitas		75,17	76,29

Sumber : Hasil penelitian 2019

Persyaratan keandalan aksesibilitas bangunan gedung diatur dalam Peraturan Menteri PU No. 30/PRT/M/2006 tentang pedoman teknis fasilitas dan aksesibilitas pada bangunan gedung dan lingkungan. Berdasarkan Tabel 5, dapat dilihat bahwa kedua gedung yang diteliti masuk kategori "Kurang Andal", karena kedua bangunan gedung mempunyai nilai di bawah 95%. Hal ini disebabkan karena jalur pedestrian dan ram gedung tidak ada dan pada perlengkapan dan peralatan kontrol tidak ada.

5. Aspek Tata Bangunan dan Lingkungan

Hasil perhitungan data aspek tata bangunan dan lingkungan selengkapnya disajikan pada Tabel 6

Tabel 6. Persyaratan aspek tata bangunan dan lingkungan SDIT Aliya

No	Item Yang Dinilai	Ged. Abu Bakar Siddiq	Ged. Umar Bin Khattab
1	Kesesuaian dengan Koefisien Dasar Bangunan (KDB)	100 %	100 %
2	Kesesuaian dengan Koefisien Lantai Bangunan (KLB)	100 %	100 %
3	Kesesuaian dengan Garis Sepadan Bangunan (GSB)	100 %	100 %
Rata-rata nilai keandalan tata bangunan dan lingkungan		100,00	100,00

Sumber: Hasil Penelitian 2019

Persyaratan tata bangunan bertujuan untuk mengatur dan mengendalikan penataan bangunan dalam suatu kawasan terbangun agar bangunan gedung yang direncanakan sesuai dalam rencana tata bangunan dan lingkungan yang ditetapkan oleh peraturan pemerintah pusat dan daerah. Adapun aspek-aspek yang dinilai yaitu: koefisien dasar bangunan, koefisien lantai bangunan, dan ketinggian bangunan sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan untuk lokasi yang bersangkutan. Bangunan gedung tidak boleh melebihi ketentuan maksimum kepadatan dan ketinggian yang ditetapkan pada lokasi yang bersangkutan. Ketentuan mengenai tata cara perhitungan dan penetapan kepadatan dan ketinggian, diatur lebih lanjut dengan peraturan pemerintah. Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa kedua gedung yang diteliti masuk kategori " Andal" , karena semua bangunan gedung mempunyai nilai di atas 95%.

C. Nilai Total Keandalan Bangunan Gedung

Dari hasil pengolahan data nilai Total keandalan bangunan gedung Abu Bakar Siddiq dan Umar Bin Khattab ditampilkan pada Tabel 7 dan Tabel 8. Interpretasi :

a) Nilai suatu bangunan "Andal" jika nilai keandalan suatu komponen bangunan (arsitektur/struktur/utilitas) atau nilai keandalan suatu segi dalam bangunan (arsitektur = NKA, struktur =NKS, dan utilitas=NKU) tidak kurang dari nilai batas terendah kategori andal sebagaimana tersebut dibawah

b) Nilai suatu bangunan "Kurang andal" jika nilai keandalan suatu komponen bangunan (arsitektur/struktur/utilitas) atau nilai keandalan suatu segi dalam bangunan (arsitektur = NKA, struktur =NKS, dan utilitas =NKU) tidak kurang dari nilai batas terendah kategori krang andal sebagaimana tersebut dibawah Nilai suatu bangunan "Kurang andal" jika nilai keandalan suatu komponen bangunan (arsitektur/struktur/utilitas) atau nilai keandalan suatu segi dalam bangunan (arsitektur =NKA, struktur =NKS, dan utilitas =NKU) tidak kurang dari nilai batas terendah kategori krang andal sebagaimana tersebut dibawah

1. Tingkat Keandalan Struktur dianggap

- Andal, bila NKA tidak kurang dari 95% atau ($95\% \leq NKA \leq 100\%$)
- Kurang andal, bila NKA bernilai: $85\% \leq NKA \leq 95\%$
- Tidak andal, bila NKA bernilai dibawah 85%

2. Tingkat Keandalan Arsitektur dianggap

- Andal, bila NKA tidak kurang dari 90% atau ($90\% \leq NKA \leq 100\%$)

- b) Kurang andal, bila NKA bernilai : $75\% \leq NKA \leq 90\%$ b) Kurang andal, bila NKA bernilai : $95\% \leq NKA \leq 99\%$
 c) Tidak andal, bila NKA bernilai dibawah 75% c) Tidak andal, bila NKA bernilai dibawah 95 %

3. Tingkat Keandalan Utilitas dianggap

- a) Andal, bila NKA tidak kurang dari 99% atau $(99\% \leq NKA \leq 100\%)$

Untuk menjamin keselamatan dan kenyamanan gedung secara keseluruhan, NKA, NKS, dan NKU tidak boleh kurang dari 95 %

Tabel 7. Nilai Total Keandalan Bangunan Gedung Abu Bakar Siddiq

NILAI KEANDALAN BANGUNAN : GEDUNG ABU BAKAR SIDDIQ SDIT ALIYA BOGOR

Nama Bangunan	Gedung Abu Bakar Siddiq
Lokasi/alamat	Jl. Gardu Raya, Bubulak – Bogor Barat
Fungsi	Sekolah Dasar Islam Terpadu
Luas	1079,55 m ²
Jumlah lantai	3 lantai
Pemilik	Yayasan Himma

No	Aspek Yang Dinilai	Kategori Penilaian						Bobot Penilaian (%)	Nilai Keandalan (%)
		Andal	NK (%)	Kurang Andal	NK (%)	Tidak Andal	NK (%)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	Arsitektur	95% - 100%	99,19	75% - 95%		< 75%		10	9,92
2	Struktur Rangka Beton dan Dinding Pasangan	95% - 100%	98,00	85% - 95%		< 85%		30	29,40
3	Utilitas & Proteksi kebakaran	100%		95% - 100%		< 95%	62,00	50	31,00
4	Aksesibilitas	95% - 100%		75% - 95%	75,17	< 75 %		5	3,76
5	Tata Bangunan & Lingkungan	95% - 100%	100	75% - 95%		< 75 %		5	5,00
Jumlah Total								100	79,08

Sumber: (Data berdasarkan pemeriksaan lapangan bulan Desember, tahun 2019)

Tabel 8. Nilai Total Keandalan Bangunan Gedung Umar Bin Khattab

NILAI KEANDALAN BANGUNAN : GEDUNG ABU BAKAR SIDDIQ SDIT ALIYA BOGOR

Nama Bangunan	Gedung Umar Bin Khattab
Lokasi/alamat	Jl. Gardu Raya, Bubulak – Bogor Barat
Fungsi	Sekolah Dasar Islam Terpadu
Luas	1250,76 m ²
Jumlah lantai	3 lantai
Pemilik	Yayasan Himma

No	Aspek Yang Dinilai	Kategori Penilaian						Bobot Penilaian (%)	Nilai Keandalan (%)
		Andal	NK (%)	Kurang Andal	NK (%)	Tidak Andal	NK (%)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	Arsitektur	95% - 100%	99,36	75% - 95%		< 75%		10	9,94
2	Struktur Rangka Beton dan Dinding Pasangan	95% - 100%	98,00	85% - 95%		< 85%		30	29,40
3	Utilitas & Proteksi Kebakaran	100%		95% - 100%		< 95%	61,50	50	30,75
4	Aksesibilitas	95% - 100%		75% - 95%	76,29	< 75 %		5	3,81
5	Tata Bangunan & Lingkungan	95% - 100%	100	75% - 95%		< 75 %		5	5,00
Jumlah Total								100	78,90

Sumber: (Data berdasarkan pemeriksaan lapangan bulan Desember, tahun 2019)

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembobotan komponen yang telah dinilai, maka nilai keandalan bangunan gedung Abu Bakar Siddiq dan Umar Bin Khattab termasuk dalam kategori **Kurang Andal**, akibat kurangnya pemenuhan persyaratan komponen utilitas dan proteksi kebakaran, sehingga berpengaruh pada penilaian akhir keandalan bangunan tersebut; dengan persentase nilai total keandalan gedung Abu Bakar Siddiq = 79,08% dan gedung Umar Bin Khattab = 78,90%

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan artikel ini, sehingga artikel ini dapat terwujud.

REFERENSI

Lutfi, Muhamad & Subtoni, (2017). ‘Kajian Struktur Bangunan Akibat Penurunan Mutu Beton Pada Kolom Terpasang’, *Astonjardo: Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 6, no 2, hh. 115-129.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 27/PRT/M/2018 tentang Sertifikat Laik Fungsi Bangunan Gedung

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.24/PRT/M/2008 Tentang Pedoman Pemeliharaan Dan Perawatan Bangunan Gedung. Kementerian Pekerjaan Umum, 2008, Direktorat Penataan Bangunan dan Lingkungan Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.26/PRT/M/2008 Tentang Persyaratan Teknis Sistem Proteksi Kebakaran Pada Bangunan Gedung Dan Lingkungan . Kementerian Pekerjaan Umum. 2008, Direktorat Penataan Bangunan dan Lingkungan Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.29/PRT/2006 Tentang Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung 2006, Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Penataan Bangunan dan Lingkungan Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum.

Peraturan Daerah Kota Bogor. 2015. No.6 Tahun 2015 Tentang Bangunan Gedung. (PERDA) Kota Bogor

Badan Penelitian dan Pembangunan . (2002). Metode, Spesifikasi dan Tata Cara Keselamatan Bangunan,

Bagian - 9. Jakarta : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah

Penilaian Keandalan Bangunan Gedung. Sosialisasi Peraturan Bangunan Gedung . Puslitbang Permukiman.

Rambe, Yogi Fian Zahri. (2017). “Analisa Keandalan Fisik Bangunan Gedung” (Studi Kasus : Gedung Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatra Utara), hh. 40-86.

LAMPIRAN

Foto Dokumentasi Bangunan Gedung SDIT Aliya



Gambar 2. Tampak Depan gedung Abu Bakar Siddiq



Gambar 3. Tampak Depan gedung Umar Bin Khattab

Pengaruh Jarak Hiposentral Gempa Bumi Terhadap Respon Dinamik Frame Baja

Mahmud Kori Effendi

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
kori.effendi@uii.ac.id

Malik Mushthofa

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
malik.mushthofa@uii.ac.id

INTISARI

Aktivitas seismik yang terjadi pada Sesar Opak adalah penyebab gempa bumi tanggal 27 Mei 2006 di Bantul. Gempa bumi tersebut berpusat pada kedalaman sekitar 35 km dibawah permukaan tanah. Pergerakan yang terjadi pada Sesar Opak tersebut adalah sesar mendatar (*strike slip movement*). Bangunan yang berada di daerah Bantul harus direncanakan untuk dapat memikul gaya percepatan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi, kaitannya dengan aktifitas pada Sesar Opak. Material baja merupakan alternatif material untuk bangunan tahan gempa yang sangat baik karena memiliki daktilitas cukup baik yang dapat dimanfaatkan pada saat struktur memikul beban akibat gempa. Simulasi dilakukan dengan analisis dinamik riwayat waktu dan respon spektrum menggunakan bantuan software SAP2000. Simulasi pembebanan dilakukan pada bangunan portal baja dengan beban gempa didapatkan dari data rekaman asli stasiun gempa yang terangkum dalam <https://strongmotioncenter.org>. Metode yang digunakan adalah dengan membandingkan rekaman gempa *strike slip fault* dan *oblique reverse fault*. Hasil analisis menunjukkan bahwa gempa dengan jarak hiposenter dekat menghasilkan defleksi, gaya aksial dan momen yang lebih besar dibandingkan dengan gempa dengan jarak hiposenter jauh.

Kata kunci: riwayat waktu, respon spektrum, kedalaman fokus, episentral, SAP2000

1. PENDAHULUAN

Gempa Bumi dengan kekuatan sebesar 6,2 SR pernah menguncang Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan sekitarnya pada 27 Mei 2006. Gempa ini mengakibatkan kerusakan parah terutama di Kabupaten Bantul, Yogyakarta (Marcel, 2013).

Daerah Bantul diketahui memiliki sesar gempa yang dikenal dengan nama Sesar Opak. Aktivitas Sesar Opak tersebut merupakan penyebab gempa bumi yang terjadi pada tanggal 27 Mei 2006. Gempa bumi tersebut berpusat di kedalaman sekitar 35 km dibawah permukaan tanah, dengan durasi kejadian berkisar selama 57 detik (Sulaeman, 2006).

Struktur bangunan yang berada di daerah Kabupaten Bantul (kaitannya dengan keberadaan Sesar Opak) harus direncanakan untuk dapat memikul gaya akibat percepatan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi. Baja sebagai salah satu material struktur bangunan merupakan alternatif material untuk bangunan tahan gempa yang sangat baik. Jika dibandingkan dengan material struktur beton, baja dinilai memiliki sifat daktilitas yang dapat dimanfaatkan pada saat struktur memikul beban akibat gempa.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh jarak hiposentral gempa bumi terhadap respon dinamik struktur portal/frame yang terbuat dari material baja.

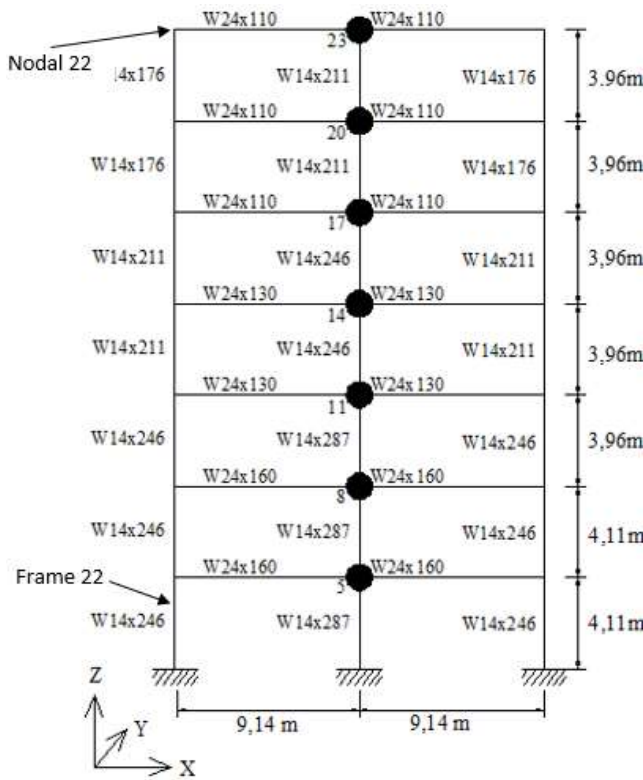
2. METODE PENELITIAN

2.1 Frame Studi

Bangunan portal baja yang dianalisis mengacu pada *frame example 1-022* (Gambar 1), mengingat hasil dari analisis *example 1-022* ini sudah divalidasi oleh *Engineering/Analysis Corporation and Computers/Structures International* (SAP2000, 2014). Profil baja yang digunakan adalah W24x160 (balok lantai 1-2), W24x130 (balok lantai 3-4) dan W24x110 (balok lantai 5-7). Sedangkan untuk kolom, digunakan profil baja W14x246 (kolom eksterior lantai 1-3), W14x287 (kolom interior lantai 1-3), W14x211 (kolom eksterior lantai 1-3), W14x246 (kolom interior lantai 4-5), W14x176 (kolom eksterior lantai 6-7) dan W14x211 (kolom interior lantai 6-7).

Profil baja yang digunakan mempunyai luas, A dan momen inersia, I adalah sebesar W14x176 ($A=33354,77 \text{ mm}^2$, $I=894897565,9 \text{ mm}^4$), W14x211 ($A=40064,44 \text{ mm}^2$, $I=1111337907,4 \text{ mm}^4$), W14x246

($A=46645,07 \text{ mm}^2$, $I=3230 \text{ mm}^4$), W14x287 ($A=54451,5 \text{ mm}^2$, $I=1344427505,98 \text{ mm}^4$), W24x110 ($A=16451,58 \text{ mm}^2$, $I=1386050648,58 \text{ mm}^4$), W24x130 ($A=25032,21 \text{ mm}^2$, $I=1673250332,52 \text{ mm}^4$), dan W24x160 ($A=30387,04 \text{ mm}^2$, $I=2131104901,12 \text{ mm}^4$). Seluruh baja menggunakan modulus elastis, E , 203395,33 MPa. Massa terpusat di nodal tengah bentang yaitu nodal nomer 5,8, 11, 14, 17, 20 dan 23 sebesar 85812,16 N-sec²/m pada arah X saja. Deformasi arah lateral, arah X, kolom pada setiap lantai dikekang bersamaan memakai diafragma yang terpisah pada setiap lantai. Kekangan diafragma ini menghilangkan semua deformasi aksial pada balok.



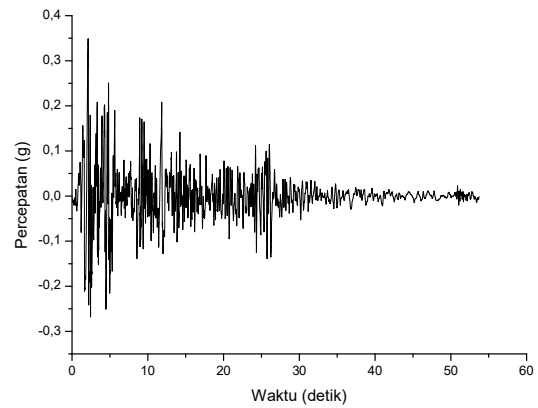
Gambar 1. Frame studi.

2.2 Beban

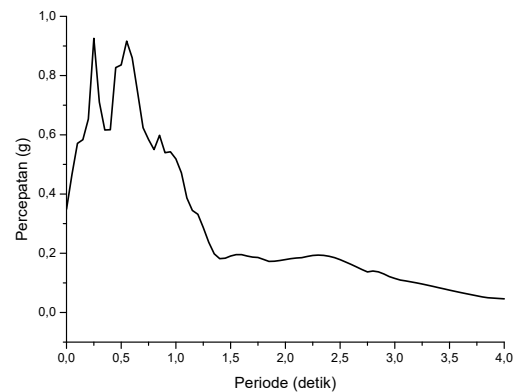
Rekaman gempa riwayat waktu di Bantul sulit didapatkan, sehingga analisis bangunan portal baja dengan beban gempa bumi yang mengacu pada gempa Bantul tersebut menjadi sulit dilakukan. Oleh karena itu analisis ini dilakukan dengan mengacu pada rekaman gempa bumi dari lokasi lain. Data rekaman gempa tersebut didapatkan dari *The Consortium of Organizations for Strong-Motion Observation Systems (COSMOS)* (Archuleta, 2006). Rekaman yang dipilih adalah rekaman gempa dengan waktu kurang lebih 1 menit dengan kedalaman fokus gempa sekitar 35 km.

Beban yang bekerja pada frame Example 1-022 adalah beban gempa tanpa beban gravitasi. Frame tersebut

dimodelkan dibebani oleh Gempa El Centro 1940 komponen Utara-Selatan. Beban gempa yang bekerja pada frame Example 1-022 adalah beban gempa El Centro baik dalam bentuk riwayat waktu (Gambar 2) dan dalam bentuk respon spektrum (Gambar 3). Beban gempa El Centro ini mempunyai jarak hiposenter 12,2 km dan berasal dari rekaman *USGS station 0117* (Asquith, 1984).



Gambar 2. Riwayat waktu gempa El Centro.



Gambar 3. Respon spektrum gempa El Centro.

2.3 Analisis Riwayat Waktu dan Respon Spektrum

Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Menurut Anggen, (2014), analisis dinamik terbagi menjadi 2 yaitu :

- 1) Analisis ragam respon spektrum dimana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar. Pada analisis digunakan kombinasi modal CQC (SPECCQC) dan SRSS (SPECSRSS) dengan maksimal 7 modal yang diperhitungkan.
- 2) Analisis respon riwayat waktu adalah suatu cara analisa dinamik struktur, dimana suatu model numerik

dari struktur dikenakan riwayat waktu dari gempa-gempa hasil pencatatan atau gempa-gempa tiruan terhadap riwayat waktu dari respons struktur ditentukan. Analisis respon riwayat waktu diselesaikan dengan memakai metode modal (MHIST2) dan integrasi-langsung (DHIST2).

Penyelesaian riwayat waktu menggunakan modal analisis menggunakan redaman 5% untuk semua ragam (*mode*). Untuk integrasi-langsung menggunakan metode Hilber-Hughes-Taylor alpha untuk integrasi waktu dengan faktor alpha sama dengan nol.

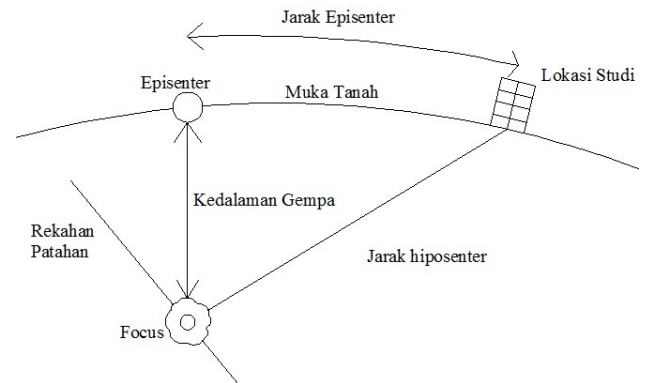
3. BEBAN GEMPA BUMI

3.1 Parameter Gempa Bumi

Parameter gempa bumi diantaranya adalah lokasi koordinat terjadinya gempa, besar *magnitude* gempa, kedalaman fokus gempa bumi (Gambar 4), sangat menentukan kerusakan yang ditimbulkannya. Sesar atau patahan adalah fraktur planar dalam volume batuan, di mana telah ada perpindahan signifikan sebagai akibat dari gerakan massa batuan. Sesar-Sesar berukuran besar di kerak bumi merupakan hasil dari aksi gaya lempeng tektonik, dengan yang terbesar membentuk batas-batas antara lempeng, seperti zona subduksi atau sesar transform. Energi yang dilepaskan menyebabkan gerakan yang cepat pada sesar aktif yang merupakan penyebab utama gempa bumi. Pergerakan sesar Opak adalah sesar mendarat (*strike slip movement*) (Siregar, 2009). Kejadian lain, mekanisme fokus gempa di Halmahera 7 Juni 2016, $M_w=6.3$ yaitu jenis sesar pada gempa berupa *oblique reverse fault* (Pratikno, 2019).

3.2 Gempa Bumi

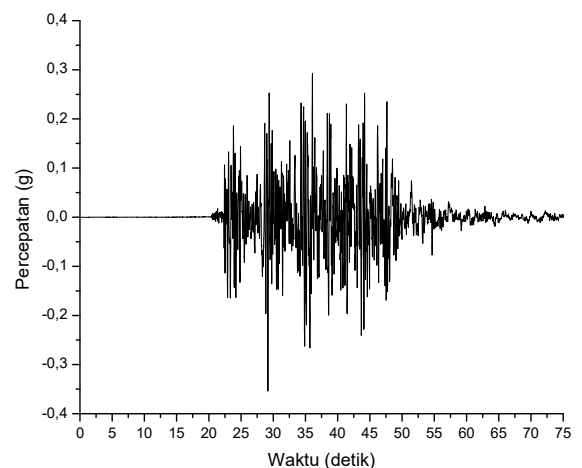
Virtual Data Center (VDC) adalah mesin pencari publik berbasis web untuk mengakses data pergerakan tanah yang kuat di seluruh dunia. VDC dikembangkan di *University of California Santa Barbara* dengan dana dari *National Science Foundation*, dengan dukungan awal yang diberikan oleh *Southern California Earthquake Center*. Dukungan selanjutnya telah diberikan oleh *US Geological Survey* dan *California Geological Survey* (Archuleta, 2005)



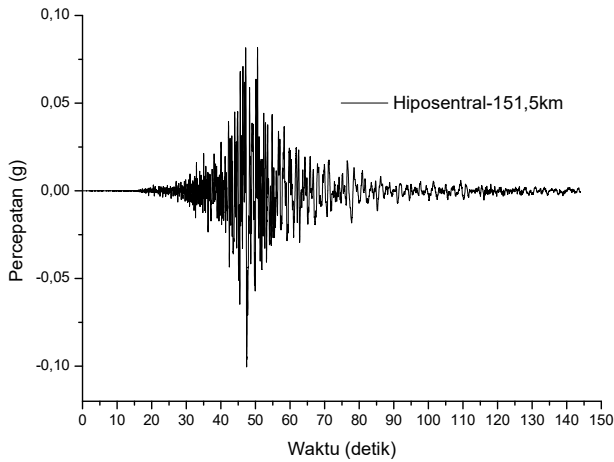
Gambar 4. Parameter gempa bumi.

The Consortium of Organizations for Strong-Motion Observation Systems (COSMOS) berfungsi sebagai penghubung dalam memfasilitasi akses data dari jaringan pergerakan tanah gempa bumi internasional (<https://strongmotioncenter.org/>). Data gempa riwayat waktu yang pernah terjadi didapatkan dari website tersebut.

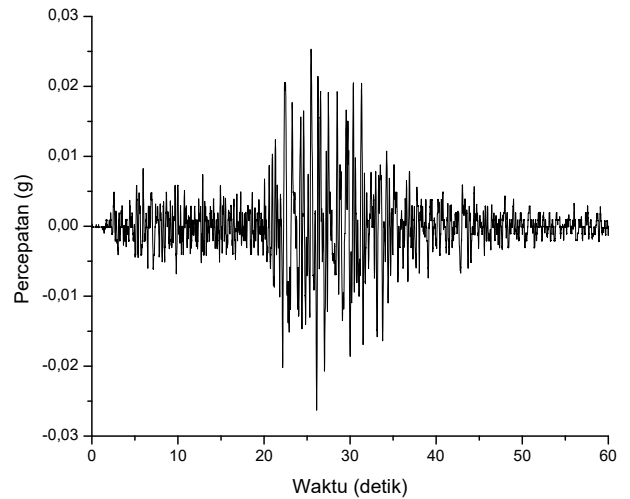
Rekaman gempa riwayat waktu yang digunakan berasal dari mekanisme sesar oblique naik (*Oblique Reverse Fault*) adalah gempa bumi Chi chi 20 September 1999, Taiwan dengan kekuatan 7,6 M_w . Rekaman ini berasal dari stasiun *Central Weather Bureau (CWB)*, Taiwan No: TCU089. Jarak hiposenter 12,8 km. Gempa riwayat waktunya terlihat pada Gambar 5. Gempa riwayat waktu selanjutnya berasal dari CWB stasiun TAP021 dengan jarak hiposenter 151,5 km. Jarak ini hampir sama dengan jarak antara Yogyakarta dan Semarang. Gambar gempa riwayat waktu dapat dilihat pada Gambar 6. Kedua gempa bumi tersebut dapat disajikan dalam bentuk respon spektrum dan dapat dilihat pada Gambar 7.



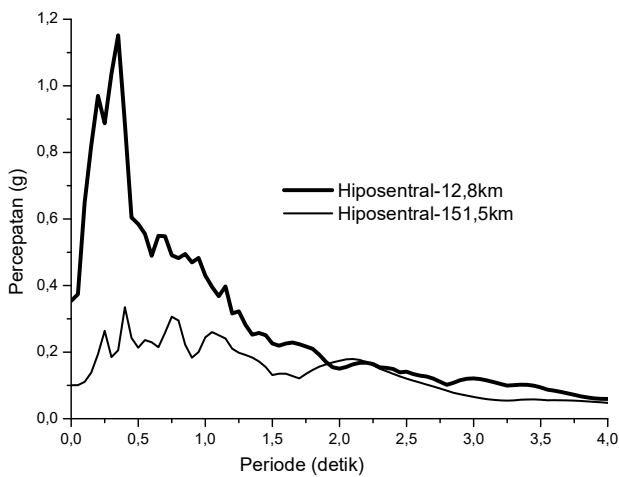
Gambar 5. Gempa Chi Chi Hiposenter 12,8 km.



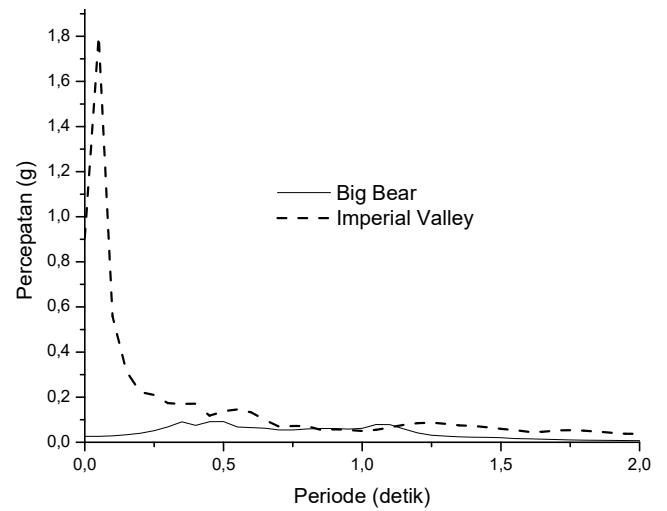
Gambar 6. Gempa Chi Chi Hiposenter 151,5 km.



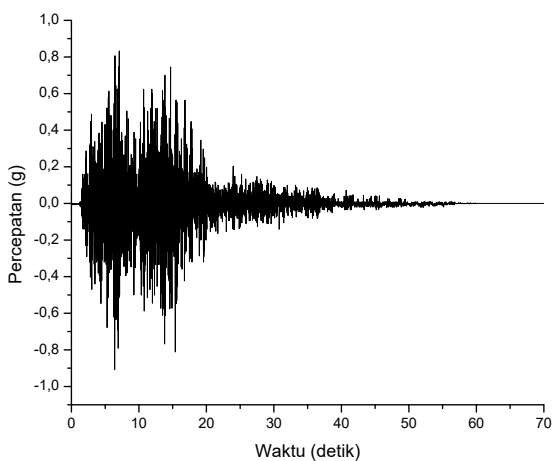
Gambar 9. Gempa Big Bear, Hiposenter 152,2 km.



Gambar 7. RS Gempa Chi Chi Hiposenter 12,8 km & 151,5 km



Gambar 10. RS Hiposenter 12,2 km dan 152,2 km



Gambar 8. Gempa Imperial Valley, Hiposenter 12,3 km.

Rekaman gempa riwayat waktu yang digunakan berasal dari mekanisme *Strike Slip Fault* adalah gempa bumi Imperial Valley 15 Oktober 1979, California dengan jarak hiposenter 12,3 km. Kedalaman fokus gempa 9,5 km dibawah tanah. Rekaman gempa didapatkan dari *USGS station 5055* (Gambar 8). Sedangkan untuk jarak hiposenter 152,2 km menggunakan gempa bumi Big Bear 28 Juni 1992, California. Kedalaman fokus 13,0 km dibawah tanah. Gempa didapatkan dari rekaman yang berasal dari *CSMIP station 24575* (Gambar 9). Respon spectra kedua gempa tersebut dapat dilihat pada Gambar 10.

Tabel 1. lendutan, gaya aksial dan momen hasil analisis

Mekanisme Sesar	Gempa Bumi dan Jarak Hiposenter	Analisis	U_x pada nodal no. 22 (mm)	Gaya Aksial pada Frame no 1 (N) (10^6)	Momen pada Frame No. 1 (Nmm) (10^6)
<i>Right lateral strike-slip</i>	El Centro 12,2 km	SPECSRSS	138,1	1,17	1114,47
		SPECCQC	137,95	1,16	1120,32
		MHIST2	139,89	1,17	999,05
		DHIST2	139,89	1,17	998,99
<i>Oblique reverse</i>	Chi Chi 12,8km	SPECSRSS	161,2	1,36	1238,35
		SPECCQC	161,1	1,36	1243,69
		MHIST2	159,7	1,35	1303
		DHIST2	159,7	1,35	1303
<i>Oblique reverse</i>	Chi Chi 151,5km	SPECSRSS	103,2	0,87	764,92
		SPECCQC	103,19	0,87	766,31
		MHIST2	102,06	0,86	830,68
		DHIST2	102,06	0,86	830,66
<i>Strike slip fault</i>	Imperial Valley 12,3km	SPECSRSS	44,82	0,37	337,77
		SPECCQC	44,79	0,37	339,54
		MHIST2	44,03	0,37	315,35
		DHIST2	44,03	0,37	369,39
<i>Strike slip fault</i>	Big Bear 152,2km	SPECSRSS	15,69	0,13	0,041
		SPECCQC	15,67	0,13	0,041
		MHIST2	13,99	0,11	0,037
		DHIST2	13,99	0,11	0,037

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Riwayat Waktu dan Respon Spektrum

Hasil analisis respon spektrum linier dengan kombinasi modal SRSS dan CQC menghasilkan lendutan, gaya aksial dan momen yang hampir sama seperti terlihat pada Tabel. 1. Begitu juga hasil analisis riwayat waktu linier dengan analisis modal dan integrasi langsung menghasilkan hasil yang relatif sama. Untuk analisis riwayat waktu perihal yang harus diperhatikan adalah *time step* harus sekecil mungkin, tetapi dampaknya waktu analisis menjadi lama dikarenakan *time step* yang semakin kecil.

4.2 Lendutan (U_x)

Lendutan yang diamati lendutan pada nodal nomer 22 pada arah X. Lendutan nodal nomer 22 frame baja akibat mekanisme sesar *right lateral strike-slip*, *Oblique reverse* dan *strike slip fault* pada jarak hiposenter dekat lebih besar daripada lendutan pada jarak hiposenter jauh seperti terlihat pada Tabel.1. Untuk gempa mekanisme *oblique reverse* perbedaan lendutan tidak terlalu besar, sedangkan untuk mekanisme *strike slip fault* perbedaan lendutan jarak hiposenter dekat lebih dari 2 kali lendutan jarak hiposenter jauh.

4.3 Gaya Aksial

Gaya aksial didapatkan dari output pada frame no. 1. Frame terletak di lantai dasar. Fenomena hasil gaya aksial sama dengan fenomena lendutan. Gaya aksial akibat gaya gempa bumi dengan jarak hiposenter dekat menghasilkan nilai yang lebih besar dari pada akibat gaya gempa jarak hiposenter jauh seperti terlihat pada Tabel.1. Fenomena ini berlaku untuk semua mekanisme sesar, baik itu *oblique reverse* dan *strike slip fault*.

4.4 Momen lentur

Momen lentur didapatkan dari frame no.1 di lantai dasar. Fenomena hasil momen lentur sama dengan fenomena lendutan dan gaya aksial. Jarak hiposenter dekat dengan lokasi bangunan mengakibatkan momen lentur yang dihasilkan menjadi lebih besar seperti terlihat pada Tabel.1. Fenomena ini berlaku untuk frame baja yang dibebani gempa bumi akibat *oblique reverse* dan *strike slip fault*.

5. KESIMPULAN

Hasil analisis respon spektrum linier dan analisis riwayat waktu linier menghasilkan hasil lendutan, gaya aksial dan momen yang relatif sama. Analisis riwayat waktu harus menggunakan *time step* sekecil mungkin. Respon spektrum dan riwayat waktu gempa dapat diperoleh dari www.strongmotioncenter.org. Beban

gempa ini asli dari stasiun gempa. Beban gempa ini digunakan untuk analisis frame baja akibat mekanisme sesar *strike slip fault* dan *oblique reverse fault* dari peristiwa gempa di Indonesia. Hasil lendutan, gaya aksial dan momen akibat gaya gempa jarak hiposenter dekat menghasilkan nilai lebih besar daripada gaya gempa jarak hiposenter jauh.

Samas, Yogyakarta". *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 19(2), pp.117-126.

REFERENSI

Sulaeman, C., Dewi, L.C. and Triyoso, W., (2008). "Karakterisasi sumber gempa Yogyakarta 2006 berdasarkan data GPS". *Indonesian Journal on Geoscience*, 3(1), pp.49-56.

Anggen, W., Budi, A.S. and Gunawan, P., (2014). "Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Time History Menggunakan Etabs (Studi Kasus: Hotel Di Daerah Karanganyar)". *Matriks Teknik Sipil*, 2(3).

Archuleta, R., Steidl, J. and Squibb, M., (2005). "The cosmos virtual data center". In *Directions in Strong Motion Instrumentation Springer, Dordrecht* pp. 209-222.

Archuleta, R.J., Steidl, J. and Squibb, M., (2006). "The COSMOS Virtual Data Center: A web portal for strong motion data dissemination". *Seismological Research Letters*, 77(6), pp.651-658.

Asquith, W.H., (1984). "US Geological Survey Professional Paper (No. 1725)". *US Government Printing Office*.

https://strongmotioncenter.org/vdc/scripts/search_db.pl

Marsell, R., (2013). "Zonasi Daerah Rawan Gempa Bumi di Kecamatan Pundong, Bantul Berdasarkan Pendekatan Geomorfolog". *Majalah Geografi Indonesia*, 27(1), pp.11-25.

Pratikno, F.A., Rachman, G. and Santosa, B.J., (2019). "Coulomb Stress Analysis of Halmahera Earthquake on June 7th 2016, Mw= 6.3 and Its Correlation with Aftershocks". *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 30(2), pp.41-44.

SAP2000, C.S.I., (2014). "Integrated software for structural analysis & design". *Computer and Structures. Inc. Berkeley*.

SAP2000, C.S.I., (2014). "SAP2000: Analysis reference manual".

Siregar, D.A. and Soehaimi, A., (2009). Penarikan Radiokarbon dalam Penentuan Aktivitas Tektonik Kuartar di Sepanjang Aliran Sungai Opak dan Pantai

Karakteristik Beton Umur 28 Hari dengan Varian *Portland Pozzolan Cement* dan *Portland Composite Cement*

Hariadi Yulianto

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
hariadi.yulianto@uii.ac.id

Malik Mustofa

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
18511302@uii.ac.id

Zainul Anwar Yahya

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, INDONESIA
14511384@students.uui.ac.id

INTISARI

Jenis semen yang ada di wilayah Yogyakarta diantaranya adalah *portland pozzolan cement* (PPC) Semen Gresik dan *portland composite cement* (PCC) Semen Holcim. Tahun 2019 terdapat varian PCC baru yaitu Holcim Power Max yang diklaim memiliki kuat tekan lebih tinggi dan lebih cepat mengeras daripada semen Holcim Serba Guna (PT Holcim, 2019). Dengan adanya 3 varian semen tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh karakteristik beton umur 28 hari pada nilai: modulus elastisitas (E_c), kuat tekan (f_c'), dan regangan ultimit (ϵ_u) yang menggunakan 3 jenis varian semen tersebut. Penelitian ini menggunakan campuran beton yang sama untuk setiap varian semen dengan perbandingan berat: 1 semen: 1,62 pasir: 2,33 kerikil: 0,48 air. Beton dicetak dalam silinder standar (150×300mm) untuk dilakukan pengujian modulus elastisitas dan mendapatkan nilai f_c' , E_c dan ϵ_u . Hasilnya beton dengan semen PCC memiliki nilai f_c' lebih tinggi namun dilain sisi nilai yang lebih besar tersebut diikuti dengan standar deviasi yang tinggi pula. Beton dengan semen PPC menghasilkan kuat tekan yang tidak lebih tinggi dari semen PCC tetapi nilai hasil ujinya mempunyai pola standar deviasi yang rendah. Beton dengan semen PCC Power Max memiliki kuat tekan dan modulus elastisitas paling tinggi berdasarkan nilai rata-rata f_c' dan E_c , namun paling getas karena nilai rata-rata ϵ_u paling rendah dibandingkan beton PPC Gresik dan PCC Holcim Serba Guna.

Kata kunci: kuat tekan (f_c'), modulus elastisitas (E_c), regangan ultimit (ϵ_u), *portland pozzolan cement* (PPC), *portland composite cement* (PCC)

1. PENDAHULUAN

Jenis semen yang ada di wilayah Yogyakarta diantaranya adalah *portland pozzolan cement* (PPC) Semen Gresik dan *portland composite cement* (PCC) Semen Holcim. Tahun 2019 terdapat varian PCC baru yaitu Holcim Power Max yang diklaim memiliki kuat tekan lebih tinggi dan lebih cepat mengeras daripada semen Holcim Serba Guna (PT Holcim, 2019). Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pengaruh 3 varian semen tersebut terhadap karakteristik beton umur 28 harinya pada nilai: modulus elastisitas (E_c), kuat tekan (f_c'), dan regangan ultimitnya (ϵ_u). Parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai daktilitas balok beton bertulang yang merupakan dasar dari perencanaan bangunan tahan gempa saat ini (perancangan rangka momen daktilitas tinggi).

Daktilitas elemen balok secara umum terbagi menjadi daktilitas simpangan (*displacement ductility*) dan daktilitas lengkungan (*curvature ductility*). Daktilitas lengkungan elemen balok adalah rasio antara kelengkungan ultimit (*ultimate curvature*) dan kelengkungan leleh pertama (*yield curvature*).

Yield Curvature adalah rasio antara regangan beton (ϵ_c) saat baja tarik leleh pertama ($\epsilon_s = f_y/E_s$) dengan jaraknya dari garis netral, sedangkan *ultimate curvature* adalah rasio antara regangan ultimit beton (ϵ_c) dengan jaraknya dari garis netral (c).

Salah satu faktor yang sangat mempengaruhi nilai daktilitas lengkung adalah kuat tekan beton (f_c') yang memiliki pengaruh linier terhadap daktilitas lengkung (Pawirodikromo, 2012). Nilai juga f_c' akan berpengaruh pada sifat mekaniknya seperti: nilai regangan ultimit beton (ϵ_c) dan modulus elastisitas (E_c).

Pengaruh penggunaan jenis semen yang berbeda terhadap nilai kuat tekan (f_c') diteliti Adistiani (2017), Intara (2017), Maulidi (2017), dan Tomy Pradana (2016). Penelitian Aditiani (2017) menunjukkan bahwa semen Tiga Roda (PCC) memiliki kuat tekan rata-rata paling tinggi yaitu 29,5 MPa dibandingkan Semen Gresik (PPC) dan Semen Holcim (PCC). Penelitian Maulidi (2017) menunjukkan rata-rata kuat tekan (f_c') beton dengan nilai FAS 0,4 dengan semen tipe PCC pada umur 28 hari lebih rendah daripada

beton yang menggunakan tipe OPC, namun semen PCC mampu mengembangkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan PPC setelah umur 28 hari. Sejalan dengan hasil penelitian tersebut, semen PCC juga mampu meningkatkan kuat tekan sekaligus mereduksi porositas beton yang terendam di lingkungan gambut (Maulidi, 2017). Adapun jika semen PCC disubstitusikan ke dalam partikel nano sebesar 60% maka akan meningkatkan f_c' sebesar 37% (Tomy Pradana, 2016).

2. METODE PENELITIAN

Secara umum terdapat 2 pengujian yang dilakukan yaitu pengujian bahan susun beton (agregat kasar dan halus) dan pengujian modulus elastisitas silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Setiap silinder direncanakan dengan mutu beton 20 MPa dengan variasi 2 jenis semen PCC (Semen Holcim Serbaguna dan Holcim Power Max) serta 1 jenis semen PPC (Semen Gresik). Masing masing varian akan diwakili dengan 3 buah silinder beton dengan kodefikasi sebagai berikut

Tabel 1 Kodefikasi sampel silinder

Merk Semen	Nama silinder	Kode
Holcim	4A28	H1
Serbaguna (PCC)	5A28	H2
	6A28	H3
Holcim Power Max (PCC)	1B28	P1
	2B28	P2
	3B28	P3
Gresik (PPC)	1C28	G1
	2C28	G2
	3C28	G3

2.1 Alur Penelitian

Adapun alur tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Pengujian Agregat kasar dan halus yang terdiri dari: Pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisa saringan, pengujian berat volume serta pengujian kadar lumpur. Hasil dari pengujian ini digunakan sebagai dasar untuk pembuatan *job mix design*.
- Job mix design* berdasarkan SNI 2834-2000 dengan kuat tekan rencana (f_c') 20 MPa dan margin 12 MPa sehingga kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}') = 32 MPa (BSN, 2000)
- Pembuatan benda uji silinder beton diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Uji slump dilakukan pada setiap pembuatan *mix* beton.
- Perawatan benda uji dengan cara direndam dalam air tawar selama 28 hari.

- Pengujian modulus elastisitas silinder beton berdasarkan SNI 03-4169-1996.
- Analisis data hasil pengujian agregat berupa berat jenis agregat, analisa saringan serta modulus halus butirnya. Adapun pengujian modulus elastisitas, data nilai beban-perpendekan dianalisis menjadi nilai tegangan-regangan untuk dihitung nilai kuat tekan (f_c'), regangan ultimit (ϵ_u) serta modulus elastisitasnya (E_c). Tegangan dan regangan hasil pengujian dihitung menggunakan Per. (1) dan Per. (2) sebagai berikut:

$$S = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan S adalah tegangan (MPa), P adalah beban (N), dan A adalah luas area yang terkena beban (mm^2).

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

dengan ϵ adalah regangan, ΔL adalah perubahan panjang (mm), dan L_0 adalah panjang awal = 200 mm.

Adapun nilai modulus elastisitas beton (E_c) dihitung berdasarkan rumus Per. (3) berikut ini (BSN, 1996):

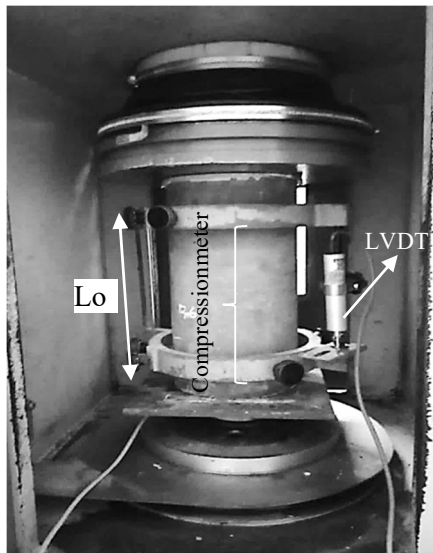
$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \quad (2)$$

dengan S_2 adalah tegangan pada saat 40% dari beban maksimum (MPa), S_1 adalah tegangan pada saat regangan mencapai $\epsilon_1 = 0,00005$, dan ϵ_2 adalah regangan yang dihasilkan pada saat S_2 .

- Pembahasan dan kesimpulan pengaruh variasi jenis semen PCC dan PPC terhadap nilai kuat tekan, modulus elastisitas dan regangan ultimit beton.

2.2 Setup Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton menggunakan alat uji tekan beton kapasitas 2000 kN dengan terpasang alat *compressionmeter* dengan jarak L_0 sebesar 200 mm. Pembacaan gaya tekan dilakukan melalui perekaman video pada dial penunjuk beban alat uji desak beton, sedangkan perpendekan beton diukur dengan memasang 1 LVDT kapasitas 30 mm dengan ketelitian $2,87 \mu\text{m}$ yang dibaca menggunakan *digital data logger*. Adapun *setup* pengujian ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1 *Setup* pengujian modulus elastisitas beton

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Agregat

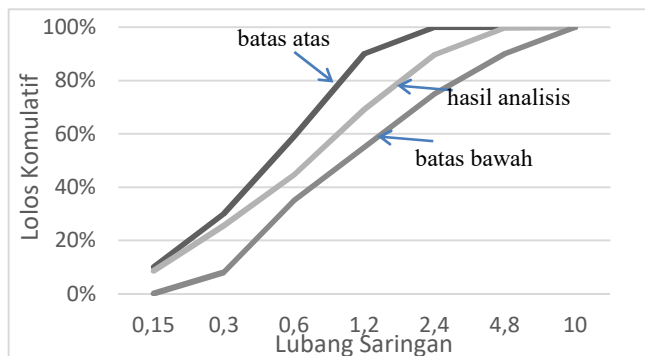
Hasil pengujian berat jenis, berat volume, modulus halus butir serta kadar lumpur ditampilkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2 Hasil pengujian agregat

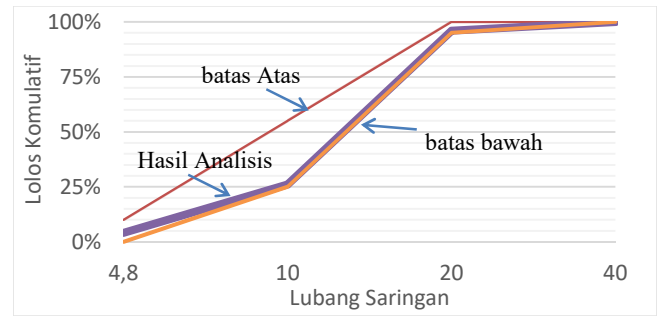
Uraian	Agregat	
	Halus	Kasar
Berat jenis jenuh kering muka	2,51	2,63
Berat volume gembur (gr/cm ³)	1,24	1,29
Berat volume padat (gr/cm ³)	1,42	1,40
Modulus halus butir	2,626	6,519
Kadar lumpur (%)	2,6	

Berdasarkan hasil tersebut, maka agregat halus harus dibersihkan terlebih dahulu dari lumpur yang menempel sebelum digunakan untuk campuran beton.

Hasil analisa saringan agregat halus dan kasar ditampilkan pada Gambar 2 dan Gambar3 sebagai berikut:



Gambar 2 Gradasi agregat halus



Gambar 3 Gradasi agregat kasar

Berdasarkan hasil pengujian maka agregat halus termasuk gradasi daerah II (pasir kasar) dan Agregat kasar termasuk gradasi dengan ukuran maksimum agregat 20 mm. Berdasarkan Gambar terlihat juga bahwa gradasi agregat kasar termasuk gradasi menerus.

3.2 *Mix Design* beton

Berdasarkan nilai modulus halus butir, berat jenis, berat volume agregat, serta gradasi agregat, dengan menggunakan perencanaan campuran beton normal SNI 2834-2000 untuk kuat tekan rencana (f_c') 20 MPa maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}) = 32 MPa adalah sebagai berikut:

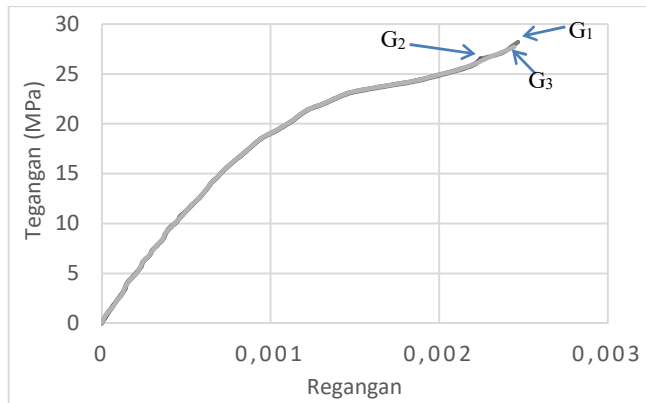
Tabel 3 Hasil *mix design* beton normal

Uraian	Nilai
FAS digunakan	0,48
<i>Slump</i> rencana (mm)	140
Kadar semen digunakan (kg)	427,08
Persen Agregat Halus (%)	41
Persen Agregat Kasar (%)	59
Kadar agregat halus (kg)	692,05
Kadar agregat kasar (kg)	995,87
Kadar semen dengan angka penyusutan (kg)	491,15
Kadar agregat halus dengan angka penyusutan (kg)	795,85
Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan (kg)	1145,25
Kadar air dengan angka penyusutan (kg)	235,75

Sebagaimana diuraikan dalam Tabel 3 maka perbandingan berat semen: pasir: kerikil: air yang digunakan pada campuran beton dalam penelitian ini adalah 1: 1,62: 2,33: 0,48.

3.3 Karakteristik Beton Umur 28 Hari

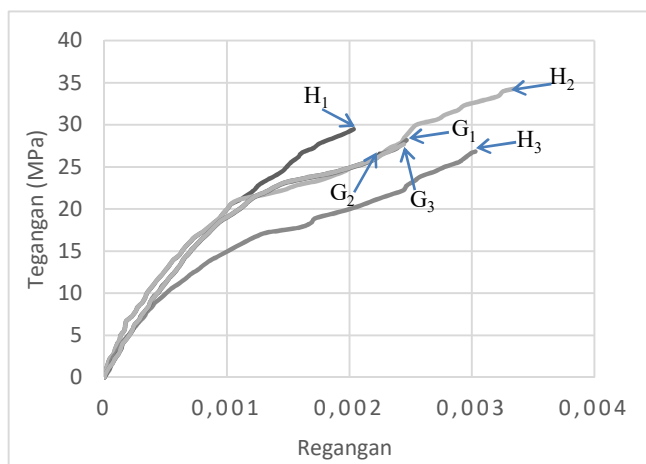
Hasil regangan tegangan silinder beton dengan menggunakan semen semen gersik (PPC) ditampilkan dalam Gambar4 berikut ini:



Gambar 4 Kurva tegangan-regangan beton Semen Gresik

Dari gambar tersebut diketahui bahwa karakteristik tegangan-regangan silinder beton semen gresik sangat homogen karena grafiknya yang saling berhimpitan sempurna antara sampel G1, G2, dan G3. Perbedaan antara sampel adalah nilai regangan ultimitnya.

Jika dibandingkan antara silinder beton Semen Gresik (PPC) dan silinder beton Semen Holcim Serba Guna (PCC) maka didapat hasil pada Gambar 5 berikut ini:

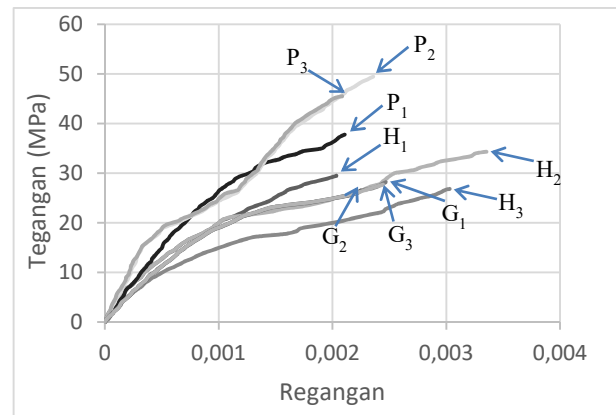


Gambar 5 Kurva tegangan-regangan beton Semen Gresik vs Holcim Serba Guna

Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa beton yang menggunakan semen Holcim Serbaguna (PCC) memiliki grafik yang lebih menyebar jika dibandingkan dengan grafik beton yang menggunakan Semen Gresik (PPC). Hal ini berarti beton yang menggunakan semen tipe PCC memiliki karakter beton yang kurang homogen.

Dari Gambar tersebut juga dapat dilihat kemiringan grafik H1 dan H2 cukup dekat dengan grafik beton semen gresik, artinya nilai modulus elastisitas antara H1 dan H2 dengan G1, G2, dan G3 cukup dekat. Namun dengan adanya hasil H3 yang jauh lebih landai menyebabkan hasil rerata modulus elastisitas beton dengan semen PCC lebih rendah dari semen PPC.

Jika dibandingkan hasil kurva tegangan-regangan beton dengan 3 variasi jenis semen: Holcim Serbaguna (PCC), Holcim Power Max (PCC), dan Semen Gresik (PPC) maka diperoleh hasil pada Gambar 6 berikut ini



Gambar 6 Kurva tegangan-regangan beton semen Gresik-Holcim Serbaguna-Holcim Power Max

Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa seluruh grafik beton semen Holcim Power Max (P1, P2, dan P3) lebih tegak dari grafik Holcim Serba Guna dan Gresik (H1, H2, H3, G1, G2, dan G3) artinya beton yang menggunakan semen Holcim Power memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi dari 2 varian semen sebelumnya. Gambar tersebut juga menunjukkan karakteristik beton Power Max yang tidak homogen yang ditunjukkan pada sampel (P1) yang karakter tegangan-regangan yang menyimpang dari 2 sampel lainnya (P2 dan P3). Dari grafik-grafik ini dapat disimpulkan campuran beton yang menggunakan semen tipe PCC akan menghasilkan beton dengan karakteristik yang tidak homogen dibanding jika menggunakan semen jenis PPC.

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai modulus elastisitas beton dari pembacaan grafik regangan-tegangan dan menggunakan Per. (1) dan Per. (2), kemudian dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas beton normal sesuai SNI 2847-2013 dengan persamaan sebagai berikut (BSN, 2013):

$$E_c = 4500 \times \sqrt{f_c'} \tag{3}$$

Dengan E_c adalah modulus elastisitas beton (MPa), dan f_c' adalah kuat tekan beton (MPa). Gambar Hasil perhitungan modulus elastisitas ditunjukkan pada Tabel 4:

Tabel 4 Hasil modulus elastisitas

No	Kode	f_c' (MPa)	E_c pengujian (MPa)	E_c teori (MPa)
1	H1	29,5	24015	25518
2	H2	34,3	22800	27529

No	Kode	f_c' (MPa)	E_c pengujian (MPa)	E_c teori (MPa)
3	H3	26,8	18110	24344

(lanjutan Tabel 4)

No	Kode	f_c' (MPa)	E_c pengujian (MPa)	E_c teori (MPa)
4	P1	37,8	29783	28885
5	P2	49,4	34354	33046
6	P3	45,5	37183	31700
7	G1	28,2	21901	24950
8	G2	26,6	22584	24222
9	G3	27,7	22045	24732

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas (E_c) beton Power Max lebih tinggi dari pada nilai E_c teori menurut SNI 2847-2013. Hal ini mengindikasikan beton yang menggunakan semen Holcim Power Max memiliki kekakuan yang lebih tinggi dari beton normal biasa. Tabel 4 juga mengonfirmasi grafik pada Gambar yaitu nilai E_c beton Power Max lebih tinggi daripada beton Holcim Serba Guna dan Gresik.

Guna menarik kesimpulan pengaruh varian jenis semen antara PCC dan PPC terhadap karakteristik beton, dilakukan perhitungan rata-rata dan standar deviasi (S) dari nilai kuat tekan (f_c'), modulus elastisitas (E_c), serta regangan ultimit (ϵ_u) yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut ini:

Tabel 5 Rerata dan standar deviasi mutu beton benda uji

Jenis Semen	Rerata	Nilai S	Rerata	Nilai S
	f_c' (MPa)	f_c' (MPa)	E_c (MPa)	E_c (MPa)
Holcim	30,21	3,096	21642	2546
Holcim Power Max	43,86	4,460	33774	3049
Gresik	27,48	0,678	22177	294

Tabel 6 Rata-rata dan standar deviasi ϵ_u

Kode	Nilai ϵ_u	Rata-rata	Nilai S
		ϵ_u	ϵ_u
1	H1	0,002035	0,00281
2	H2	0,0033525	0,0006
3	H3	0,00303	
4	P1	0,0021075	0,00218
5	P2	0,0023575	0,0001
6	P3	0,002085	
7	G1	0,0024675	0,0001
8	G2	0,0022475	0,00239
9	G3	0,002445	

Berdasarkan Tabel 5 dapat disimpulkan beton dengan semen semua varian PCC (Holcim Serba Guna dan Power Max) memberikan nilai kuat tekan rata-rata yang lebih tinggi dari pada semen PPC (gresik). Adapun nilai modulus elastisitas, beton Power Max memiliki nilai rata-rata paling tinggi dibandingkan 2 varian lainnya, sedangkan beton Holcim Serba Guna dan Gresik memiliki nilainya yang relatif dekat. Tabel 5 juga menunjukkan bahwa beton dari semen PPC memiliki karakter yang lebih homogen dibandingkan beton dari semen PCC terlihat dari nilai standar deviasi (S) beton PPC jauh lebih kecil dari beton PCC baik kuat tekan (f_c') maupun modulus elastisitasnya (E_c)

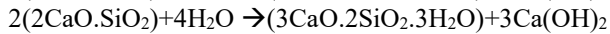
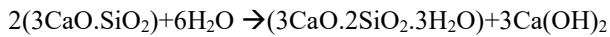
Berdasarkan Tabel 6, nilai rata-rata regangan ultimit semen PCC Power Max paling rendah dibandingkan semen PPC dan semen PCC Holcim Serba Guna. Hal menunjukkan bahwa beton Power Max merupakan beton yang paling getas jika dibandingkan 2 varian lainnya, sedangkan beton yang paling daktail adalah beton dengan semen Holcim Serba Guna dengan nilai regangan ultimit yang paling mendekati SNI 2847-2013 yaitu $\epsilon_u = 0,003$. Tabel 6 menunjukkan bahwa pada beton dengan semen Holcim Serba Guna memiliki regangan ultimit yang tidak homogen dibanding beton dengan 2 varian lainnya.

Semen PCC adalah semen hidrolis yang merupakan hasil pecampuran hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain seperti terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat dan batu kapur (BSN, 2004). Sedangkan semen PPC adalah semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen semen portland dengan bubuk pozzolan. Bubuk pozzolan adalah bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen (BSN, 2004). Sumber bahan Pozollan yang dapat digunakan pada Semen PPC adalah abu terbang (*fly ash*) (Tjokrodimulyo, 2007).

Berdasarkan definisi-definisi tersebut, secara umum perbedaan antara semen PCC dan PPC adalah semen PCC merupakan campuran bubuk semen portland dengan terak tanur tinggi, sedangkan semen PPC campuran antara semen portland dengan abu terbang.

Perbedaan antar terak tanur tinggi dan abu terbang adalah pada kandungan kalsium oksida (CaO). Terak tanur tinggi mempunyai unsur dominan berupa oksida silika (SiO_2) (37-45%) dan kalsium oksida (CaO) (24-38%), serta sedikit aluminat (Al_2O_3) (4,5-5,5%) (Syarif, 2010), sedangkan abu terbang unsur yang dominan adalah (SiO_2) dan (Al_2O_3) saja (Tjokrodimulyo, 2007).

Adanya kandungan CaO ini menjelaskan mengapa kuat tekan beton semen PCC lebih tinggi daripada semen PPC karena unsur yang sangat dominan dalam pembentukan kekuatan beton memiliki reaksi kimia sebagai berikut (Tjokrodimulyo, 2007):



Unsur $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ dan $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ inilah yang dominan membentuk kekuatan beton, sehingga beton dengan semen PCC yang memiliki bahan tambah CaO dan SiO_2 dari terak tanur tinggi otomatis akan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada beton semen PPC.

Unsur $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ pada semen akan menghasilkan pengerasan beton yang cepat, kuat tekan dan panas hidrasi yang tinggi. Sebaliknya unsur $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ menghasilkan pengerasan beton yang lebih lambat, kuat tekan dan panas hidrasi yang lebih rendah (Tjokrodimulyo, 2007). Berdasarkan hal ini dapat disimpulkan bahwa semen PCC Power Max memiliki kandungan $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ yang lebih dominan daripada $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ karena nilai kuat tekan tinggi dan panas hidrasi yang tinggi. Ini dibuktikan saat pelaksanaan penelitian ini, air yang digunakan dalam campuran beton Power Max lebih cepat menguap. Sebaliknya pada semen Holcim Serbaguna dan Gresik, kandungan $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ lebih dominan daripada $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$.

Beton dengan semen PCC memiliki karakter yang tidak homogen daripada beton PPC karena terdapat residu sisa hidrasi semen yaitu $3\text{Ca}(\text{OH})_2$. Unsur $3\text{Ca}(\text{OH})_2$ inilah menjadi *filler* yang menyelimuti agregat yang dapat menghalangi ikatan semen. Sifat tidak homogen ini akan berpengaruh pada perencanaan struktur beton bertulang yaitu pada nilai factor reduksi kekuatan (ϕ) yang dapat diteliti kemudian.

Adapun beton PPC, unsur $3\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan bereaksi dengan Podzollan membentuk *tobermorite* yang memiliki daya ikat seperti semen (Tjokrodimulyo, 2007) jadi tidak terdapat residu yang menghalangi ikatan semen sehingga beton yang dihasilkan lebih homogen.

4. KESIMPULAN

Beton dengan semen PCC memiliki nilai f_c' lebih tinggi namun mempunyai standar deviasi yang tinggi. Beton dengan semen PPC menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah tetapi nilai hasil ujinya mempunyai standar deviasi yang rendah. Beton dengan semen PCC Power Max memiliki kuat tekan dan modulus elastisitas paling tinggi berdasarkan nilai rata-rata f_c' dan E_c , namun paling getas karena nilai rata-rata ϵ_u paling rendah dibandingkan beton PPC Gresik dan PCC Holcim Serba Guna.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII atas dukungan penuh pendanaan penelitian ini melalui program hibah penelitian jurusan 2019.

REFERENSI

Adistiani, P., 2017. *Pengaruh Merk Semen Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Perendaman Air Tawar*, Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

BSN, 1996. *Metode Modulus elastisitas Statis dan Rasio Poison Beton dengan Kompresometer SNI 03-4169-1996*. Jakarta: Badan Standar Nasional Indonesia.

BSN, 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal SNI 2834-2000*. Jakarta: BSN.

BSN, 2004. *Semen Portland Komposit SNI 7064-2004*. Jakarta: BSN.

BSN, 2004. *Semen Portland Pozolan SNI 0302-2004*. Jakarta: BSN.

BSN, 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013*. Jakarta: BSN.

Intara, I. W., 2017. Perbedaan Umur Pencapaian Kuat Tekan Beton Dari Perekat Semen OPC, PPC dan PCC. *Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, 14(2), p. 82.

Maulidi, R., 2017. *Pengaruh Penggunaan Semen PCC dan PPC Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Fas 0,4*, Banda Aceh: Universitas Syah Kuala.

Pawirodikromo, W., 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

PT Holcim, 2019. *Solusi untuk Struktur Bangunan yang Kuat dan Tahan Lama*. [Online] Available at: <http://solusiholcim.com/produk/holcim-powermax-solusi-untuk-struktur-bangunan-yang-kuat-dan-tahan-lama> [Accessed 15 June 2019].

Syarif, N., 2010. Karakterisasi Sifat Kimia Fisika Terak Pengolahan Bijih Besi Sebagai Pencampur Mortar/ Bahan Keramik. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah (Journal of Waste Management Technology)*, 13(2), pp. 39-44.

Tjokrodimulyo, K., 2007. *Teknologi Beton*. 1 ed. Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil.

Tomy Pradana, M. O. I. R. S., 2016. Kuat Tekan dan Porositas Beton Semen OPC, PCC, dan OPC POFA di Lingkungan Gambut.. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 3(2), pp. 1-10.

Pengaruh Penggunaan Base Isolation Terhadap Kinerja Gedung Dengan Analisis Pushover (Studi Kasus Hotel Grand Keisha Yogyakarta)

Margeritha Agustina Morib

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Immanuel, Jl. Solo Km. 11, PO. BOX IV YKAP, Yogyakarta

Denot Bless Lively Hulu

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Immanuel, Jl. Solo Km. 11, PO. BOX IV YKAP, Yogyakarta

INTISARI

Base isolation berfungsi menyerap energi gempa yang dipikul oleh elemen-elemen struktur dan memisahkan struktur atas dan bawah. Efektivitas *base isolation* terhadap periode, frekuensi, *displacement*, *story drift* serta level kinerja menggunakan analisa *pushover* diteliti. Sistem struktur menggunakan SRPMK beton bertulang kombinasi *shear wall* studi kasus pada Hotel Grand Keisha Yogyakarta. Pemodelan struktur menggunakan SAP 2000 dengan analisis statik ekuivalen serta respon spektrum pada jenis tanah sedang. Tipe *base isolation* yang digunakan adalah *natural rubber bearing* (NRB) dan *lead plug rubber bearing* (LPRB). Penambahan *base isolation* mampu meningkatkan periode, mereduksi frekuensi, *displacement*, *story drift*, simpangan antar lantai dan meningkatkan level kinerja. SRPMK kombinasi *shear wall* dengan NRB merupakan kombinasi struktur yang paling efektif meningkatkan periode yaitu sebesar 3,985 detik dan menurunkan frekuensi menjadi 0,25094 Hz. *Displacement*, *story drift*, simpangan antar lantai tereduksi masing-masing sebesar 75,74%, 75,74%, dan 80,13%. Penambahan NRB meningkatkan level kinerja struktur dari level IO ke C menjadi level B pada arah X dan dari level IO ke LS menjadi level B pada arah Y.

Kata kunci: Base isolation, frekuensi, story drift, displacement, pushover

1. PENDAHULUAN

Struktur Bangunan Hotel Grand Keisha Yogyakarta Dibangun Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Srpmk) Beton Bertulang Dan Dikombinasi Dengan Dinding Geser Pada Arah Sumbu Lemahnya. Penelitian Ini Bermaksud Untuk Menghitung Kapasitas Dari Struktur Eksisting Hotel Grand Keisha Yogyakarta Menggunakan Analisis *Pushover* Kemudian Hasil Tersebut Dibandingkan Dengan Kapasitas Gedung Apabila Ditambahkan *Base Isolation* Pada Dasar Bangunan Sehingga Diperoleh Kontribusi *Base Isolation* Terhadap Peningkatan Kapasitas Struktur. *Base Isolation* Berfungsi Untuk Menyerap Energi Gempa Yang Dipikul Oleh Elemen-Elemen Struktur Dengan Memisahkan Antara Struktur Atas Dan Struktur Bawah Sehingga Bangunan Menjadi Lebih Elastis. *Base Isolation* Diteliti Pengaruhnya Terhadap Periode, Frekuensi, *Displacement*, Simpangan Antar Lantai Dan *Story Drift* Serta Level Kinerja Bangunan Gedung Dengan Analisis *Pushover*.

2. PENGARUH GEMPA PADA STRUKTUR

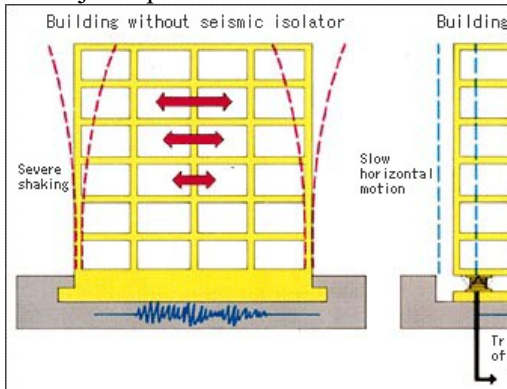
Akibat gempa bumi, tanah dasar yang merupakan pijakan pondasi struktur akan bergetar dalam arah tiga dimensi, yang dapat diwakili oleh komponen arah utara-selatan (*north-south*), arah timur-barat (*east-west*), dan komponen arah vertikal secara tidak beraturan dalam waktu 20-60 detik. Percepatan getaran

tanah akibat gempa ini disebut sebagai *ground acceleration*. Getaran pondasi akan menjalar ke struktur di atasnya dan seolah-olah menimbulkan beban dinamik arah horisontal dan vertikal yang terkonsentrasi pada setiap lantai struktur bangunan (dan juga pada atap), karena memang pada level tersebut merupakan pusat-pusat massa baik akibat berat sendiri elemen struktur (sistem balok dan pelat lantai) maupun akibat beban mati dan beban hidup yang berada di atasnya (Suhendro, 2000).

Analisis beban statik ekuivalen adalah suatu cara analisa struktur dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban statik horisontal yang diperoleh dengan hanya memperhitungkan respon ragam getar pertama, dan biasanya distribusi gaya ini disederhanakan sebagai segitiga terbalik. Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik dibagi menjadi analisis ragam respon spektrum dimana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar dan analisis riwayat waktu (*time history analysis*) dimana pada model struktur diberikan suatu catatan rekaman gempa dan respon struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu (Purnomo, 2014).

3. BASE ISOLATION

Base Isolation (BI) berfungsi untuk menyerap energi gempa yang dipikul oleh elemen-elemen struktur sehingga bangunan menjadi lebih elastis dan terhindar dari kerusakan gempa yang parah dengan mengizinkan struktur mengalami pergerakan searah horizontal. Ilustrasi dari prinsip kerja *base isolation* terhadap struktur disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip kerja *base isolation* pada struktur
 Sumber: <https://sanggapramana.files.wordpress.com/>

Natural Rubber Bearing (NRB) yaitu tipe BI dengan sistem *block* atau pemisah yang terbuat dari karet alami atau *neo prene* tanpa adanya lempengan baja pada bagian dalam karet. Kekakuan vertikal dari karet ini hanya beberapa kali dari kekakuan horizontalnya. Sistem ini juga dilengkapi dengan balok *foam glass* yang mengelilingi *rubber bearing* yang bertujuan untuk mencegah pergerakan gedung akibat pengaruh angin, kegiatan di dalam gedung maupun akibat gempa bumi skala kecil. Cara kerjanya adalah dengan memisahkan struktur dari komponen horizontal pergerakan tanah akibat terjadinya gempa bumi dengan meletakkan beberapa lapis karet alami diantara pondasi dan struktur atas sehingga akibat perletakan lapisan karet alami pada struktur mengakibatkan waktu getar alami struktur lebih lama dibandingkan dengan perletakan jepit. *Lead Plug Rubber Bearing (LPRB)* adalah tipe BI yang prinsip kerjanya hampir sama dengan NRB namun pada bagian dalam karet telah ditambahkan lempengan baja untuk menambahkan kekakuan horizontal dari karet pada BI. Bentuk NRB dan LPRB disajikan pada Gambar 2



Gambar 2. NRB dan LPRB

Properties *base isolation* tipe NRB (NSO50N3) dan LPRB (LL065G4-G) produksi EWBJ/Toshio Okoshio, Takayuki Teramoto yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

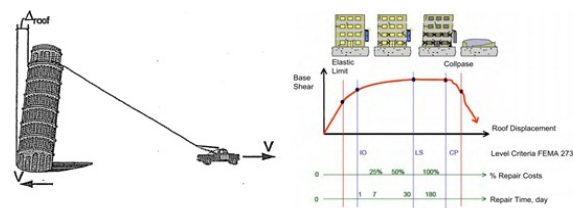
Tabel 1. Properties *base isolation*

Product code		NRB NSO50N3	LPRB LL065G4-G
Nominal Stress (Vertical)	N/m ²	10	10,5
Shear stiffness (horizontal)	KN/m x 10 ³	0,57	0,804
Nominal Shear Strain	%	100	100
Ultimate Shear Strain	%	400	348
Ultimate Shear displacement	mm	400	567
Ultimate Compressive Stress	N/m ²	19	4,8
Ultimate tensile Stress	N/m ²	1	1
Compressive Stiffness	KN/m x 10 ³	1720	2400

Sumber : EWBJ/Toshio Okoshio, Takayuki Teramoto

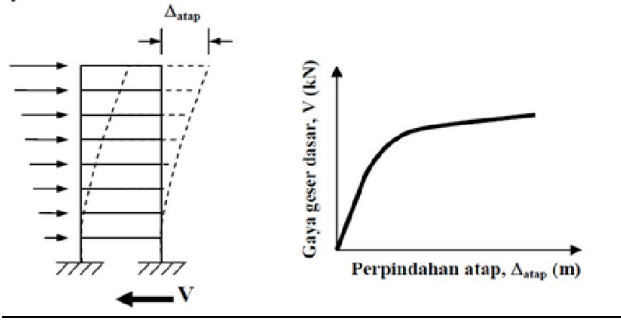
4. ANALISA PUSHOVER

Analisa *pushover* adalah suatu cara untuk menganalisis struktur dengan beban statik tertentu dalam arah lateral yang diaplikasikan sepanjang ketinggian struktur dan ditingkatkan sampai struktur mencapai simpangan target. Hasil dari analisa *pushover* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara *base shear* dengan simpangan lantai atap maksimum (*Top Floor Displacement*) seperti disajikan pada Gambar 3. Hubungan tersebut kemudian dipetakan menjadi suatu kurva yang dinamakan sebagai kurva kapasitas struktur (Andrian, dkk, 2017).



Gambar 3 Konsep analisa *pushover*

Kurva kapasitas merupakan hasil analisis *pushover* yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dengan displacement atap (*roof displacement*) seperti yang disajikan pada Gambar 4 (Andrian, dkk, 2017).



Gambar 4 Kurva kapasitas

Performa point diperoleh melalui perpotongan kurva kapasitas dan kurva respon spektrum pada satu titik. Pada performa point dapat diperoleh informasi mengenai periode bangunan, dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadinya sendi plastis, dari hasil tersebut dapat diketahui respon-respon struktur lainnya seperti simpangan tingkat dan posisi sendi plastis dapat diketahui. Performa point menentukan level kinerja dari struktur. Berdasarkan ATC-40 level kinerja struktur terbagi menjadi *operational (B)*, *immediate occupancy (IO)*, *life safety (LS)* dan *collapse prevention (CP)*.

5. BEBAN GEMPA

Parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \tag{1}$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \tag{2}$$

Nilai S_s dan S_1 dapat diperoleh dari peta gempa Indonesia yang terdapat dalam SNI 1726-2012. Parameter yang harus dihitung kemudian adalah

parameter respon spektrum percepatan desain, yaitu S_{DS} dan S_{D1} yang dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \tag{3}$$

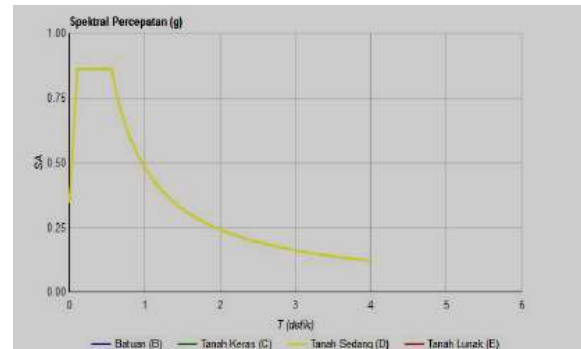
$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \tag{4}$$

Dari data di atas dapat digambar kurva respon spektrum yang menghubungkan percepatan maksimum (*spectral acceleration, SA*) dengan periode getar struktur (T) dalam detik. Gambar 5 menunjukkan kurva respon spektrum untuk jenis tanah sedang yang diambil dari

aplikasi desain spektra Indonesia (www.puskim.go.id) sesuai dengan lokasi bangunan yang direncanakan.

Analisis gaya lateral ekuivalen dihitung menggunakan respon ragam pertama. Gaya geser dasar (*base shear*) dihitung sebagai berikut :

$$V = C_s \cdot W \tag{5}$$



Gambar 5 Kurva respon spektrum

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I} \right)} \tag{6}$$

atau

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I} \right)} \tag{7}$$

Dengan :

- C_s = koefisien respon seismik
- W = berat seismik efektif
- T = waktu getar alami struktur
- R = koefisien modifikasi respon
- I = faktor keutamaan struktur

Gaya gempa lateral (F_x) (KN) yang terjadi di setiap tingkat harus dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$F_x = C_{vX} \cdot V \tag{8}$$

$$C_{vX} = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} \tag{9}$$

Dengan :

- F_x = gaya gempa lateral yang timbul (KN)
- C_{vX} = faktor distribusi vertikal
- w_i & w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x
- h_i & h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
- k = eksponen yang terkait periode struktur

Periode adalah waktu yang diperlukan oleh suatu sistem tanpa peredam untuk menyelesaikan satu siklus

getaran bebas dinyatakan dalam detik, sedangkan frekuensi merupakan banyaknya getaran dalam satu detik dinyatakan dengan satuan Hz. Untuk struktur beton bertulang dan lainnya, periode struktur dibatasi sebagai berikut :

a. Jika T yang lebih akurat tidak dimiliki (dari analisa komputer) digunakan $T = T_n$

b. Jika T yang lebih akurat dari analisis komputer (T_c) dimiliki, maka :

Jika $T_c < C_u \cdot T_a$ digunakan $T = C_u \cdot T_a$

Jika $T_a < T_c < C_u \cdot T_a$ digunakan $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$ digunakan $T = T_a$

dengan T_a = periode fundamental pendekatan

C_u = batas atas periode

T_c = Periode komputer

Simpangan lantai (*story drift*) merupakan simpangan lantai yang diperbesar dihitung dengan rumus :

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (10)$$

Simpangan antar lantai dihitung dengan rumus :

$$\Delta_x = \frac{C_d \cdot (\delta_{xe2} - \delta_{xe1})}{I_e} \quad (11)$$

Dengan :

δ_x = perpindahan yang diperbesar

C_d = faktor pembesaran defleksi

δ_{xe} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

Δ_x = simpangan antar lantai

I_e = faktor keutamaan struktur

h_i = tinggi lantai yang ditinjau

6. DISKRIPSI GEDUNG

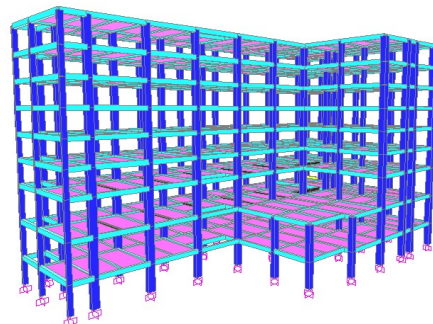
Gedung yang digunakan dalam penelitian ini adalah Hotel Grand Keisha Yogyakarta dengan data-data sebagai berikut:

- Sistem struktur : SRPMK dan dinding geser
- Material yang digunakan : Beton Bertulang
- Jumlah tingkat : 8 tingkat
- Tinggi bangunan : 35 m
- Jarak antar lantai : 3,75 dan 3,5 m
- Dimensi struktur sesuai dengan struktur eksisting.
- Jenis *seismic isolator* : *NRB* dan *LPRB*
- Tebal *shear wall* : 0,35 m untuk lantai 1-5 dan 0,3 m untuk lantai 6-atap
- Zona gempa yang direncanakan berada di DIY dengan kondisi tanah sedang
- Kuat tekan beton (f'_c) untuk kolom, balok, *shear wall* adalah 30 MPa dan tegangan leleh baja tulangan beton yang digunakan BJTD 40, $f_y = 400$ MPa, $f_u = 570$ MPa

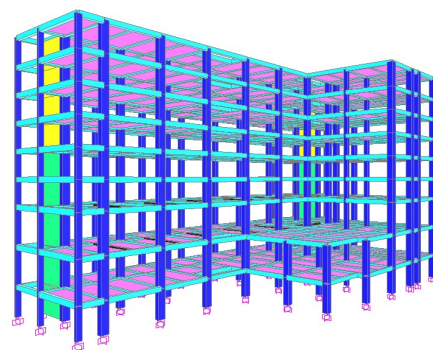
7. PERMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR

Permodelan struktur dengan menggunakan software SAP 2000 v 11 meliputi, pendefinisian material, pendefinisian balok, kolom, plat lantai dan *shear wall* serta sendi plastis. Data *base isolation* yang diinputkan adalah kekakuan horizontal dan vertikal. Permodelan struktur 3D hotel Grand Keisha untuk struktur tanpa *shear wall* maupun dengan *shear wall* disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Analisa struktur dilakukan untuk menghitung periode, frekuensi alami struktur, *displacement*, simpangan antar lantai dan *story drift*. Hasil tersebut dianalisa untuk mengetahui pengaruh *base isolation* terhadap frekuensi alami struktur, simpangan antar lantai dan *story drift* yang sangat mempengaruhi kenyamanan penghuni gedung. Analisis *Pushover* dilakukan untuk mengetahui performa point dan level kinerja dari struktur dengan tumpuan pondasi jepit (*fixed based*) dan pengaruh penambahan *base isolation* terhadap performa point dan level kinerja struktur.



Gambar 6 Permodelan struktur tanpa *shear wall*



Gambar 7 Permodelan struktur dengan *shear wall*

8. HASIL DAN PEMBAHASAN

8.1. Periode dan Frekuensi

Periode terpanjang terjadi pada struktur SRPMK+SW +*NRB* yaitu 3,984969 detik dengan frekuensi 0,25094 Hz. Perbandingan periode dan frekuensi pada tiap struktur pada ragam getar pertama (mode 1) disajikan pada Tabel 2.

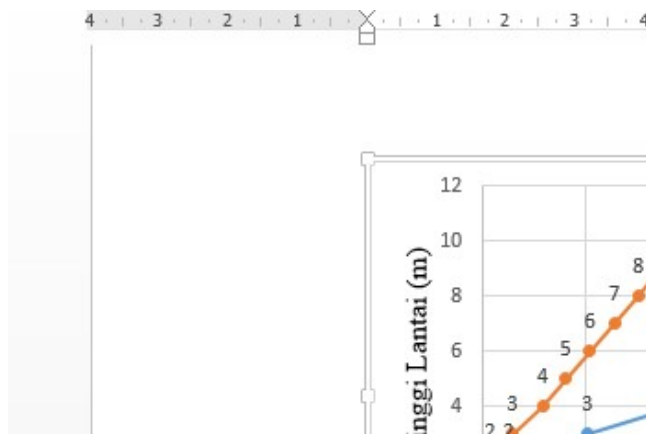
Tabel 2 Periode dan frekuensi setiap jenis struktur

Tipe Struktur	Periode	Frekuensi
	detik	Hz
SRPMK	1,32444	0,75504
SRPMK +SW	1,18415	0,84449
SRPMK+NRB	3,9664	0,25212
SRPMK+LRB	3,443219	0,29043
SRPMK+SW+NRB	3,984969	0,25094
SRPMK+SW+LRB	3,443219	0,29043

Dari data di atas diketahui bahwa periode struktur meningkat akibat penambahan *base isolation* hal ini membuat waktu yang dibutuhkan oleh getaran gempa dari dasar bangunan untuk mencapai lantai paling atas membutuhkan waktu relatif lebih lama dibanding dengan struktur tanpa *base isolation*. Kekakuan struktur terbesar ditandai dengan nilai frekuensi tertinggi yaitu pada SRPMK+SW yaitu 0,84449 Hz, sedangkan struktur yang paling fleksibel ditandai dengan frekuensi terendah yaitu SRPMK+SW+NRB yaitu 0,25094 Hz.

8.2. Displacement

Displacement merupakan simpangan horizontal yang terjadi antara titik buhul relatif terhadap lantai dibawahnya. Hasil *displacement* didapat dari analisa struktur dengan SAP 2000 menunjukkan hasil yang paling efektif mengurangi *displacement* adalah struktur SRPMK+SW+NRB dengan reduksi sebesar 75,74% dan disusul oleh struktur SRPMK+SW+LPRB sebesar 74,41% pada beban gempa respon spektrum arah y. Perbandingan *displacement* tiap struktur disajikan pada Gambar 8.

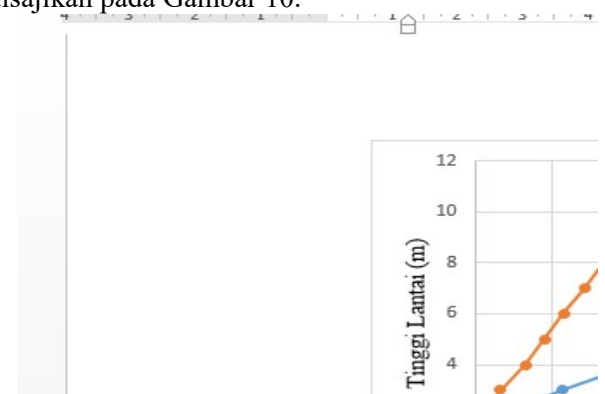


Gambar 8. Grafik perbandingan *displacement* akibat beban gempa dinamik arah y

8.3. Story Drift dan Simpangan antar lantai

Story drift adalah perpindahan suatu lantai pada ketinggian tertentu diukur terhadap lantai dasar dikalikan dengan faktor Cd dan dibagi I. Dari hasil analisis, reduksi *story drift* terjadi pada struktur SRPMK+SW+NRB sebesar 75,73% dan disusul oleh struktur SRPMK+SW+LPRB sebesar 74,40% pada beban gempa respon spektrum arah y. Perbandingan *story drift* pada tiap struktur disajikan pada Gambar 9.

Simpangan antar lantai adalah simpangan suatu lantai diukur terhadap dasar lantai dibawahnya. Dari hasil analisis reduksi simpangan antar lantai terjadi pada struktur SRPMK+SW+NRB sebesar 80,13% dan disusul oleh struktur SRPMK+SW+LPRB sebesar 79,46% pada beban gempa respon spektrum arah y. Perbandingan simpangan antar lantai tiap struktur disajikan pada Gambar 10.



Gambar 9. Grafik perbandingan *story drift* akibat beban gempa dinamik arah y



Gambar 10. Grafik perbandingan simpangan antar lantai akibat beban gempa dinamik arah y

8.4. Analisa Pushover

Analisis *pushover* dilakukan pada struktur SRPMK dan SRPMK+NRB menggunakan beban gempa statik ekuivalen arah x dan y. Dari hasil analisis terhadap beban gempa arah x didapat bahwa struktur dengan

penambahan *NRB* mengalami peningkatan level kinerja dari level IO ke CP menjadi operasional (B). Untuk beban gempa arah y mengalami peningkatan level kinerja dari IO ke LS menjadi operasional (B). Terjadinya peningkatan kinerja struktur disebabkan oleh reduksi yang sangat besar terhadap gaya geser dan *displacement*. Perbandingan *performa point* pada struktur SRPMK dan SRPMK+NRB berdasarkan ATC-40 dan FEMA 356 disajikan pada pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Nilai *performa point* untuk beban gempa arah x

EQX	V (Kg)	D (m)	LEVEL
	SRPMK		
ATC-40	1419361,7	0,166	IO ke C
FEMA 356	1357144,3	0,153	IO ke C
EQX	V (Kg)	D (m)	LEVEL
	SRPMK + NRB		
ATC-40	252452,44	0,094	B
FEMA 356	189628,71	0,066	B

Tabel 4 Nilai *Performa Point* untuk beban lateral arah y

EQY	V (Kg)	D (m)	LEVEL
	SRPMK		
ATC-40	2441967,3	0,116	IO Ke LS
FEMA 356	1916987	0,089	IO Ke LS
EQY	V (Kg)	D (m)	LEVEL
	SRPMK + NRB		
ATC-40	48194,574	0,042	B
FEMA 356	50803,182	0,049	B

Reduksi gaya geser dasar (*base share*) akibat penambahan *base isolation* sangat signifikan, dan hal itu mengakibatkan berkurangnya simpangan maksimum atap (*top floor displacement*). Level kinerja bangunan meningkat akibat reduksi gaya geser dan *displacement* yang terjadi pada struktur dengan *base isolation*. Pada arah x *base share* tereduksi sebesar 82,23% dan *displacement* tereduksi sebesar 43,37% sedangkan pada arah y *base share* tereduksi sebesar 98,02% dan *displacement* tereduksi sebesar 63,79%.

9. KESIMPULAN

Dari hasil pemodelan dan analisis dapat disimpulkan bahwa:

- Perbandingan *displacement* pada setiap struktur didapat hasil bahwa analisis struktur gedung menggunakan metode beban gempa statik ekuivalen memberikan selisih yang cukup signifikan dibanding dengan metode respon spektrum. Penambahan *base isolation* memperbesar selisih hasil analisis statik ekuivalen dan respon spektrum.

Untuk perencanaan bangunan dengan *base isolation*, lebih tepat apabila struktur dihitung terhadap beban gempa dinamis menggunakan respon spektrum.

- Penambahan *base isolation* pada struktur gedung mampu mereduksi *displacement* pada struktur SRPMK dengan dan tanpa *Shear Wall*. Reduksi terbesar terjadi akibat beban gempa arah Y pada SRPMK+SW+NRB yaitu 75,74% sedangkan SRPMK+SW+LPRB sebesar 74,41%.
- Penambahan *base isolation* mampu mereduksi *story drift* dan simpangan antar lantai pada struktur gedung. SRPMK+NRB mereduksi sebesar 57,61 % dan 70,59% sedangkan SRPMK+LPRB sebesar 51,10% dan 67,88%. Untuk struktur SRPMK+SW+NRB mereduksi sebesar 54,09 % dan 80,35% sedangkan SRPMK+SW+LPRB mereduksi sebesar 51,66 % dan 79,46%.
- Base isolation* mampu meningkatkan level kinerja struktur. Analisis pada struktur SRPMK tanpa *base isolation* diperoleh level kinerja struktur berada diantara level IO dan C artinya terjadi kerusakan yang cukup parah pada struktur paska terjadinya gempa meningkat menjadi level B yang berarti struktur tetap dapat beroperasi paska terjadinya gempa.

REFERENSI

Andrian, Wiki dkk. (2017), “*Evaluasi Kinerja Gedung Menggunakan Base Isolation Tipe High Dumping Rubber Bearing (HDRB) Pada Modifikasi Gedung J-Tos Yogyakarta Dengan Perencanaan Analisis Pushover*”, Surabaya, Institute Teknologi Sepuluh November.

Badan Standarisasi Nasional, (2012), *SNI 1726-2012 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk struktur Gedung dan Non Gedung”*, Bandung.

Purnomo, Edi, (2014), “*Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus Bangunan Hotel di Semarang)*”, e-Jurnal Matriks Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Desember 2014, 569-576.

Suhendro, Bambang, (2000), “*Analisis Dinamik Struktur*”, Yogyakarta.

<https://sanggapramana.files.wordpress.com/>

www.puskim.go.id

TEMA H

LINGKUNGAN

Chloting-Trash Board Upaya Pendayagunaan Limbah Pakaian Sebagai Bahan Baku Pembuatan Papan Partisi Bernilai Ekonomis

Lala Anggraini¹, Aimmatul Husna², Aji Muhammad Sholeh³, Anik Kustirini⁴

^{1,2,3} Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Semarang, anggrainilala28@gmail.com

⁴ Dosen Teknik Sipil Universitas Semarang, anik_krini@yahoo.co.id

INTISARI

Limbah pakaian sulit terurai secara alami dan memerlukan waktu yang cukup panjang, sehingga diperlukan pemanfaatan secara tepat. Sifat dasar kain yaitu lentur dan memiliki kuat tarik serta ringan, dapat digunakan sebagai alternatif bahan utama penyusun papan partisi. Ketersediaan limbah pakaian yang melimpah menjadi salah satu alternatif untuk menciptakan inovasi bahan material penyusun papan partisi. Variabel bebas yaitu menggunakan semua jenis kain yang dicacah dan variabel terikat berupa penggunaan lem sebagai perekat. Formulasi yang tepat akan menciptakan papan partisi sesuai dengan mutu yang memenuhi standar, melalui beberapa uji yaitu uji kerapatan dan kadar air, uji kuat lentur, dan uji keteguhan tarik papan partisi yang sesuai dengan metode pengujian SNI 03-2105-2006. Papan partisi yang dihasilkan lebih ekonomis dan ringan, serta menjadi upaya pengoptimalan pemanfaatan limbah pakaian secara tepat guna.

Kata Kunci : Papan partisi, limbah pakaian, ekonomis

1. PENDAHULUAN

Sektor tekstil sangat tergantung dengan perkembangan mode dimana akan menghasilkan limbah pada saat pra dan pasca konsumsi (Rubino et.al, 2018). Hal tersebut memiliki korelasi dengan hasil survei yang menunjukkan 88,1% responden mempunyai pakaian yang sudah tidak digunakan, dengan hasil rata-rata setiap responden memiliki lebih dari 6 potong pakaian tidak terpakai. Hal ini berkenaan dengan munculnya limbah pakaian bekas yang sulit diurai dan menambah volume sampah. Serat kain pada tekstil sangat sulit terurai secara alami, sehingga ketika dibuang kain hanya menumpuk dan melepaskan metana dan karbon dioksida ke tanah dan air yang berada di wilayah pembuangannya (Christianti, 2016). Beberapa penelitian telah menyelidiki pemanfaatan limbah untuk menghasilkan bahan bangunan dalam rangka meningkatkan perlindungan lingkungan dan pembangunan berkelanjutan. Daur ulang tekstil dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori: daur ulang dalam proses produksi dan daur ulang keluar dari proses produksi. Kategori pertama berkaitan dengan penggunaan kembali limbah tekstil sebagai bahan baku dengan produksi proses dianalogikan dengan tekstil, yaitu perabotan rumah (Rubino et.al, 2018).

Pakaian terbuat dari serat kain dengan berbagai campuran serta perlakuan, hingga dapat dikenakan secara nyaman dan terlihat estetik. Kain memiliki kuat tarik yang cukup tinggi. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Islam, et.al, 2017, yaitu kuat tarik melalui uji pita trias diperoleh hasil kuat tarik terbesar 199,1 N dengan kemampuan terbaik $\pm 4,3$ N dalam

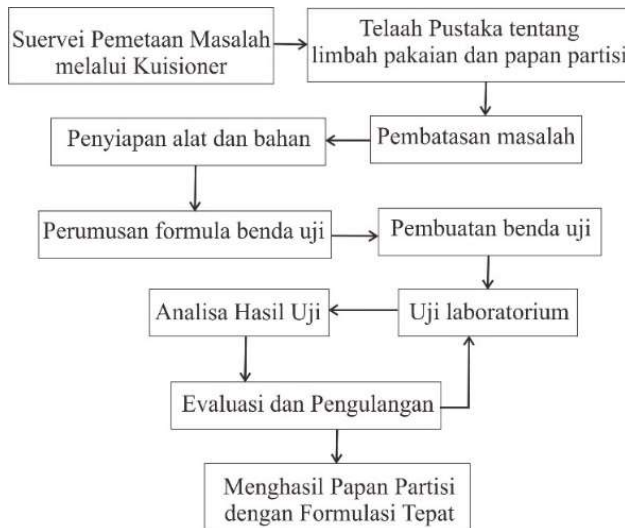
kondisi optimum. Kelebihan dari kain adalah ringan dan mudah didapat bahkan 35,5% dari responden berkenan memberikan pakaian bekas secara cuma-cuma. Hal ini dapat menjadi inovasi pemanfaatan limbah kain sebagai alternatif bahan pembuatan papan partisi yang banyak dibutuhkan masyarakat.

Beberapa inovasi yang pernah ada pada bahan penyusun papan partisi diantaranya oleh Hambali, et.al, 2016 papan wangi anti nyamuk namun bahan baku terbatas karena bahan baku hanya tersedia di daerah tertentu. Khrisna, et.al, 2017 papan partisi dari kertas, kelemahan dari papan partisi ini adalah berat dan mudah pecah. Papan partisi lainnya yaitu papan partisi yang terbuat dari serat pohon galem di teliti oleh Purwanto, 2015, terbukti kuat dan ekonomis, namun ketersediaan bahan baku juga terbatas karena pohon galem dijumpai dalam jumlah banyak di Sumatra, papan partisi terbuat dari serat abaca dan sabut kelapa juga telah diteliti oleh Suantara, et.al, 2015, akan tetapi daya serap terlalu tinggi dan kerapatan pada papan dengan ukuran tebal tertentu kecil kerapatannya. Hampir setiap orang memiliki pakaian yang sudah tidak difungsikan dan menambah jumlah sampah yang berdampak negatif untuk lingkungan, berdasarkan kondisi yang ada permasalahan yang perlu diselesaikan diantaranya bahaya limbah pakaian bekas yang secara tidak langsung berdampak pada lingkungan; bahan utama dan bahan alternatif pembuatan papan partisi yang terbatas; formulasi yang tepat dalam pemanfaatan pakaian bekas sebagai bahan alternatif pembuatan papan partisi yang bernilai ekonomis.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Berikut merupakan tahapan penelitian yang disajikan dalam bentuk bagan alir seperti yang terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir tahapan penelitian
Sumber : Tim Peneliti, 2019

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Perumusan Formula

Variabel terikat dari percobaan adalah jenis kain, yaitu semua jenis kain yang sudah berupa gilingan (mirip seperti kapas) sedangkan variabel bebasnya adalah lem yang digunakan, yaitu menggunakan 2 (dua) macam lem, seperti pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Formulasi Benda Uji Perekat 1

BENDA UJI	CACAHAN KAIN (gr)	PEREKAT (ml)	
		LEM KAYU	PARAFIN
1	200	600	80
2	200	600	100
3	200	500	80
4	200	500	100

Masing-masing formula dibuat dengan jumlah 30 benda uji, dengan tujuan dilakukan beberapa pengujian sesuai dengan SNI 03-2105-2006.

2.2.2 Pembuatan dan Pengujian Papan

Pembuatan dan pengujian papan dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

a) Pencacahan Pakaian Bekas

Pakaian bekas dicacah dengan metode mesin pencacah ataupun manual, dengan tujuan lebih mudah dibentuk dan saling mengikat dengan perekat.

b) Pencampuran perekat dan kain cacahan sesuai formula

Tabel 2. Formulasi Benda Uji Perekat 2

BENDA UJI	CACAHAN KAIN (gr)	PEREKAT (ml)
		LEM BETON
5	200	250
6	200	300

Perekat dan kain cacahan ditimbang sesuai dengan formula, lalu dicampur hingga merata dan saling berkaitan.

c) Proses pencetakan atau pengepresan dan pengeringan

Proses pencetakan dilakukan dalam pembuatan benda uji baik dalam bentuk silinder maupun batang, dipastikan pencetakan padat dan mampat. Sedangkan, proses pengepresan sederhana dilakukan untuk pembuatan papan dari hasil formula optimal. Setelahnya dilakukan penjemuran untuk memaksimalkan berkurangnya kadar air.

d) Proses pengujian

Sesuai dengan SNI 03-2105-2006 diperlukan beberapa uji diantaranya:

1) Uji kadar air

- Benda uji ditimbang untuk mengetahui berat awal dengan ketelitian hingga 0,1 gram.
- Benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Benda uji dimasukkan ke dalam desikator, kemudian ditimbang.
- Kegiatan ini diulang dengan selang 6 jam sampai beratnya tetap (berat kering mutlak), yaitu bila perbedaan beratnya maksimum 0,1%.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{Ba - Bk}{Bk} \times 100 \quad (1)$$

dimana Ba adalah berat awal papan partisi, Bk adalah berat kering (mutlak).

2) Uji keteguhan lentur

- Benda uji diukur panjang, lebar dan tebalnya.
- Benda diletakkan secara mendatar pada penyangga.
- Beban diberikan pada bagian pusat Benda uji dengan kecepatan sekitar 10 mm/menit.
- Kemudian dicatat defleksi dan beban sampai beban maksimum.

$$\sigma_{lt} = \frac{3BS}{2LT^2} \quad (2)$$

dimana σ_{lt} adalah Keteguhan lentur papan partisi, B adalah beban maksimum, S adalah jarak sangga, L adalah lebar, T adalah tebal papan partisi yang diuji.

- 3) Uji keteguhan tarik
Keteguhan tarik tegak lurus permukaan
(kgf/cm²)

$$\frac{B}{P \times L} \quad (4)$$

Dimana B adalah beban maksimum (kgf), P adalah panjang (cm), L adalah lebar (cm).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa hasil menunjukkan formulasi yang memenuhi standar adalah benda uji 3 dengan formulasi perbandingan antara kain cacahan, perekat berupa lem kayu dan paraffin sebesar 2 : 5 : 0,8 dimana dari hasil mengindikasikan jika penggunaan lem kayu dan paraffin berbanding lurus pengaruhnya terhadap keteguhan tarik, keteguhan lentur dan uji kadar air. Sedangkan untuk perekat 2 yaitu berupa lem beton menunjukkan angka yang cukup baik, akan tetapi mengingat segi ekonomis yaitu berkaitan dengan harga dari lem beton yang dihitung mahal. Sehingga formulasi yang paling efektif adalah formulasi benda uji 3 dengan prekat 1, dengan hasil pengujian sebagai berikut seperti yang tertera pada table 3.

Tabel 3. Hasil Uji Benda Uji 3

Hasil Uji Kadar Air	Standar Kadar Air
7,83%	≤ 14 %
Keterangan	Memenuhi
Hasil Uji Keteguhan Lentur	Standar Keteguhan Lentur
89,06 kg/cm ²	84 kg/cm ²
Keterangan	Memenuhi
Hasil Uji Keteguhan Tarik	Standar Keteguhan Tarik
1,71 kg/cm ²	1,5 kg/cm ²
Keterangan	Memenuhi

Pembuatan papan sebagai percobaan kali ini masih menggunakan pres secara manual dan sederhana sehingga hasil dari pembuatan papan kurang maksimal, akan tetapi cukup menjadi proyeksi papan yang terbuat dari cacahan pakaian bekas. Selanjutnya sampel papan berukuran 10×20 cm yang benar-benar kering dilakukan *loading test* sedemikian dan dengan alat seadanya menghasilkan dengan formulasi seperti tersebut diatas papan dapat menahan beban terpusat sebesar 4,5 kg pada posisi penampang terluas dan dengan beban sebesar itu belum terjadi patahan bahkan

cenderung melengkung atau memiliki kuat lentur yang baik sedangkan berat dari papan berukuran 10×20 cm itu sendiri adalah 20 gr. Kemudian hasil pengukuran disubstitusikan ke persamaan (1), (2), dan (3).



Gambar 2. Benda Uji
Sumber : Tim Peneliti, 2019

4. KESIMPULAN

Pada dasarnya kain memiliki kuat tarik dan lentur yang tinggi serta ringan, untuk itu tepat jika dijadikan bahan baku pembuatan partisi, mengingat partisi tidak menopang beban berat dan dianjurkan menggunakan bahan seringan mungkin. Sedangkan kain yang digunakan merupakan hasil dari limbah pakaian bekas yang sudah tidak difungsikan serta menyebabkan terurainya karbon dioksida yang dapat mencemari lingkungan.

Adanya pemanfaatan limbah sebagai papan partisi yang ramah lingkungan serta ekonomis dengan formulasi perbandingan antara cacahan kain dan perekat 1 (lem kayu dan paraffin) sebesar 2 : 5 : 0,8 menghasilkan papan yang ringan dan memiliki kuat tarik dan lentur tinggi dengan hasil *loading test* 4,5 kg untuk papan berukuran 10×20 cm. Berdasarkan formulasi yang sudah diuji coba mengindikasikan bahwasanya limbah kain dapat dijadikan bahan baku pembuatan partisi yang ramah lingkungan dan ekonomis.

REFERENSI

- Christianti, C., D.D Hartanto, dan M. Sylvia. 2016. *Perancangan Kampanye Sosial Pengolahan Limbah Tekstil Rumah Tangga yang Efisien dan Bertanggung Jawab*. Vol. 1, No. 14.
- Cobbing, M. dan Vicaire, Y. 2016. *Timeout for fast fashion*. Hamburg: Greenpeace.
- Fisher, E. 2015. *Recycled & reclaimed fibers: less waste, less energy*. Retrieved March 3, 2019, from: <https://www.eileenfisher.com/responsible-fibers/recycled-fibers-less-waste-less-energy>.

- Hambali, E dan P. Sugito (Tim Direktorat Riset dan Inovasi IPB). 2017. *323 INOVASI IPB dalam 828 INOVASI IPB 323 IPB's Innovations in 828 Indonesia's Innovations*. Edisi ke-7. IPB. Bogor
- Haryanto, T., dan Dwi, S. 2008. *Analisa Pengaruh Soda Abu terhadap Perolodan Lilin Batik dan Kekuatan Tarik Kain Batik Sutera*. Vol 25, Hal 17-26.
- Islam, S. dan A.W. Sana. 2017. Evaluasi Ketidakpastian Pengukuran Uji Kekuatan Tarik Kain Cara Pita Tiras. *Arena Tekstil* .31(2):8-10
- Khrisna, V dan Andreas, P. 2017. *Papan Partisi dari Limbah Kertas*. Vol. 5, No. 2, 802-810.
- Mayasari, A. 2018. *40% sumbangan baju untuk korban bencana alam tak dipakai dan terbuang*. Retrieved October 29, 2019, dari: <https://wolipop.detik.com/home/d-4240332/40-sumbangan-baju-untuk-korban-bencana-alam-tak-dipakai-dan-terbuang>.
- Purwanto, D. 2015. Sifat Papan Partikel Dari Kulit Pohon Galam (Melaleuca Leucadendra) Dengan Perekat Urea Formaldehida (The Properties of Particleboard Made of Galam (Melaleuca Leucadendra L.) Tree Bark Bonded With Urea Formaldehyde). *Hasil Hutan*. 33 (2):140-143
- Rubino, C. 2018. *Textile wastes in building sector*. Vol. 8, No. 3.
- SNI 03-2105-2006. 2006. *Papan Partisi*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Suantara, D. dan O. Endah. 2015. Pemanfaatan Serat Kelapa Dan Serat Abaka Sebagai Bahan Baku Papan Partikel. *Arena Tekstil*. 30 (1): 4

Efektifitas *Flushing* Terhadap Reduksi Peningkatan Sedimentasi Di Waduk Pangsar Soedirman

Teguh Marhendi

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Purwokerto
tmarhendi@gmail.com

Moech Agus Salim A

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Purwokerto
agussalim@ump.ac.id

Satrio Triana Putra

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Purwokerto
assalimaku@gmail.com

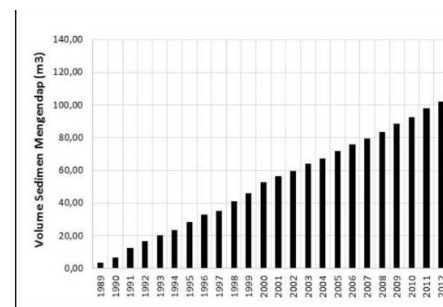
INTISARI

Perkembangan peningkatan sedimentasi yang masuk Waduk Pangsar Soedirman sejak tahun 1989 hingga tahun 2018 sudah mencapai 77% atau sekitar 114 juta m³. Beberapa pemicu peningkatan sedimentasi di Waduk Pangsar Soedirman antara lain perubahan penggunaan lahan di Daerah Aliran Sungai bagian hulu dan faktor kelerengan lahan. Peningkatan sedimentasi ini mendorong pihak pengelola Waduk Pangsar Soedirman untuk melakukan upaya mengurangi peningkatan sedimentasi yang masuk ke waduk. Kegiatan Flushing menjadi salah satu upaya yang rutin dilakukan sepanjang tahun dengan jumlah yang bervariasi antara 2 hingga 30 kali dalam setahun. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektifitas flushing dalam upaya reduksi sedimentasi terhadap volume air waduk yang terbuang saat pelaksanaan. Data penelitian berupa data Sedimen dan data Flushing Waduk Mrica periode tahun 1992-2018. Hasil analisis menunjukkan bahwa jumlah total sedimentasi yang terbuang selama aktivitas flushing dari tahun 1992-2018 sebesar 13.058.611,99 m³ atau 3,327 % dari total air dan sedimen yang terbuang saat flushing. Sedangkan volume air yang terbuang sebesar 379.389.296,00 m³ atau 96,673 % atau efektifitas penggunaan model flushing terhadap reduksi peningkatan sedimen sebesar 3,44 %.

Kata Kunci : Efektifitas Flushing, Reduksi Peningkatan Sedimentasi, Waduk Pangsar

1. Pendahuluan

Peningkatan laju erosi dan sedimentasi daerah tangkapan air waduk masih menjadi permasalahan utama dalam pengelolaan waduk di Indonesia. Wadukwaduk besar di Indonesia hampir mengalami permasalahan tersebut, termasuk Waduk Pangsar Soedirman. Sedimen yang mengendap di atas tampungan mati akan mengurangi volume efektif waduk. Beberapa permasalahan lain yang timbul akibat sedimentasi ini adalah berkurangnya kapasitas tampungan waduk yang mengakibatkan berkurangnya kapasitas pengendalian banjir, produksi listrik dan pangan (Marhendi, 2014, 2018 dan Anonim, 2018). Waduk Panglima Soedirman atau juga dikenal dengan nama Waduk Mrica, mengalami peningkatan sedimentasi yang cukup tinggi. Sampai dengan tahun 2017 perkembangan kumulatif sedimen di Waduk Pangsar Soedirman mencapai 114 juta m³ sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1 (Marhendi, 2018; PT. Uni Indonesia Power UBP Waduk Pangsar Soedirman, 2018). Dengan perkembangan sedimentasi yang terus meningkat, maka dapat diperkirakan, kondisi saat ini kapasitas waduk terus mengalami pengurangan.



Gambar 1 Perkembangan Kumulatif Sedimen di Waduk Pangsar Soedirman 1989-2017 (Diolah dari PT. Uni Indonesia Power UBP Pangsar Soedirman, 2018)

Evaluasi perkembangan sedimen di Waduk Pangsar Soedirman, terus dilakukan oleh pihak PT. Uni Indonesia Power UBP Waduk Pangsar Soedirman. Salah satu bentuk evaluasi adalah dilakukan secara rutin pengukuran kedalaman waduk dengan metode Echosounding. Gambar 4 di atas, menunjukkan sebagian hasil evaluasi melalui Echosounding. Beberapa evaluasi lain juga pernah dilakukan oleh pihak ketiga, misalnya penelitian dari SMEC laju erosi

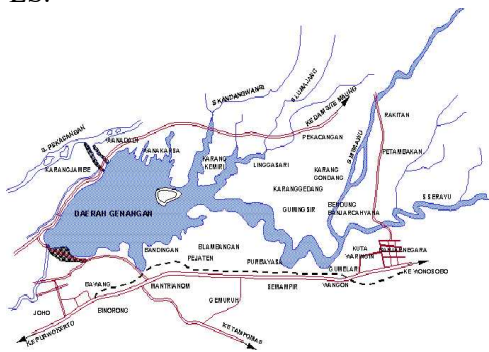
di DTA tahun 1975-1978 rata-rata adalah 3,6 mm/tahun, WIDHA tahun 1988 mengadakan penelitian dan hasilnya menunjukkan bahwa laju erosi rata-rata 2,46 mm/tahun (Marhendi, 2014, 2018 dan Suwarno, 1995). Berdasarkan penelitian dari Pusat Penyelidikan Masalah Kelistrikan PT. PLN dengan Universitas Gajah Mada tahun 1995 dengan menggunakan formula USLE didapat laju erosi pada DAS Merawu 4,7 mm/tahun, pada DAS Serayu 3,1 mm/tahun, dan di luar DAS Merawu dan Serayu 2,7 mm/tahun (Wulandari, 2007 , Marhendi, 2010, 2014, 2017 dan Munandar, 2014).

Evaluasi peningkatan tidak hanya dilakukan melalui pengukuran kedalaman dasar waduk tetapi juga dilakukan upaya teknis pengurangan sedimen melalui kegiatan flushing. Flushing dilakukan dengan membuka pintu drawdown culvert pada waduk untuk membuang sedimen. PT. Uni Indonesia Power UBP Waduk Pangsar Soedirman sepanjang tahun 1996-2018 rutin melakukan kegiatan flusing. Rata-rata dalam satu tahun dilakukan sebanyak 2-30 kali tiap periode pelaksanaan. Upaya yang dilakukan tersebut, belum menjadikan pengurangan sedimen yang masuk waduk berkurang secara signifikan.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Gambaran Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada Waduk Pangsar Soedirman, Bawang, Banjarnegara pada koordinat 109°06'00" - 110°07'49" BT dan 7°17'04" - 7°47'07" LS.



Gambar 2. Lokasi Penelitian (Marhendi. 2010)

2.2 Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini meliputi:

1. Data pengukuran/pencatatan sedimentasi di Waduk Pangsar Soedirman 1992-2018
2. Data pengukuran/ pencatatan debit air dan Sedimen melalui flushing 1992-2018.
3. Peta Daerah Tangkapan Air Waduk Pangsar Soedirman

Data-data tersebut berasal dari dinas/ instansi terkait pengelolaan Waduk Pangsar Soedirman dalam hal ini

dari PT. Uni Indonesia Power UBP Waduk Pangsar Soedirman.

2.3 Langkah-Langkah penelitian

2.3.1 Analisis Kumulatif Volume Sedimen

Analisis kumulatif volume sedimen dilakukan untuk memperoleh gambaran inflow sedimen dan kumulatif sedimen mengendap di waduk. Dari analisis ini akan diperoleh gambaran peningkatan/perubahan volume kumulatif sedimen inflow dan yang mengendap di waduk pertahun sehingga dapat diketahui perubahan perkembangan inflow sedimen yang masuk ke waduk. Kumulatif volume sedimen dianalisis dalam bentuk grafik perkembangan sedimen waduk.

2.3.2 Analisis Pengurangan Sedimen Menggunakan Model Flushing

Salah satu bentuk upaya pengurangan sedimen yang dilakukan di Waduk Pangsar Soedirman adalah menggunakan model flushing. Flushing dilakukan dengan cara membuang air beserta sedimen yang mengendap di waduk melalui pintu drawdown culvert. Analisis dilakukan dengan menentukan besaran debit air yang terbuang dan debit sedimen yang dapat dikeluarkan selama proses flushing dilakukan sepanjang tahun 2002-2018.



Gambar 3 Posisi Drawdown Culvert pada Proses Flushing (PT. Uni Indonesia Power UBP Waduk



Gambar 4. Pintu Intake pada sistem drawdown Culvert untuk Flushing (PT. Uni Indonesia Power UBP Waduk Mrica, 2018)

2.3.3 Analisis Efektivitas Flushing terhadap reduksi sedimen

Analisis efektivitas flushing dimaksudkan untuk menentukan besaran prosentase debit sedimen dan

debit air yang harus dibuang selama proses berlangsung, sehingga dapat diketahui apakah model flushing ini dapat dikembangkan untuk mereduksi peningkatan sedimen selama umur waduk berlangsung menggunakan model statistika.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

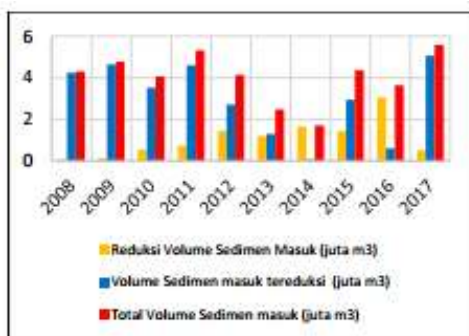
3.1 Analisis Reduksi volume Sedimentasi melalui Aktivitas Flushing

Analisis reduksi volume sedimen melalui aktivitas flushing, dimaksudkan untuk mengetahui perubahan/reduksi volume sedimen yang terjadi setelah dilakukan kegiatan flushing. Data yang digunakan adalah data volume flushing sedimen tahun 2008 sampai dengan tahun 2017 yang diperoleh dari PT. Indonesia Power, seperti terdapat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1 Volume dan Reduksi Sedimen Masuk dengan Aktivitas Flushing

Tahun	Volume Sedimen Masuk (juta m ³)	Reduksi Volume Sedimen masuk (juta m ³)	Total Volume Sedimen Masuk (Juta m ³)	Prosentase Volume Sedimen Reduksi (%)
2008	4,241	0,058	4,299	1,349
2009	4,634	0,129	4,763	2,708
2010	3,518	0,536	4,054	13,222
2011	4,599	0,719	5,318	13,520
2012	2,706	1,435	4,141	34,653
2013	1,290	1,190	2,480	47,984
2014	0,056	1,651	1,707	96,719
2015	2,934	1,421	4,355	32,629
2016	0,597	3,041	3,638	83,590
2017	5,059	0,510	5,569	9,158

Sumber : Analisis 2019, PT. Indonesia Power, 2018



Gambar 5 Volume dan Reduksi Sedimen masuk dengan Aktivitas Flushing di Waduk Pangsar Soedirman

Sumber : Analisis 2019, PT. Indonesia Power, 2018

3.2 Analisis Prediksi volume Sedimen 10 tahun Mendatang dengan aktivitas Flushing

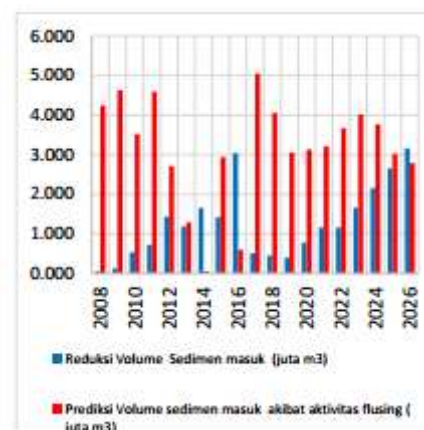
Analisis prediksi volume sedimen melalui aktivitas flushing, dimaksudkan untuk mengetahui prediksi perubahan peningkatan volume sedimen yang terjadi jika dilakukan kegiatan flushing. Analisis dilakukan menggunakan metode statistika. Hasil analisis dapat

dilihat pada 2 dan Gambar 6 dibawah ini.

Tabel 2 Prediksi Volume dan Reduksi Sedimen Masuk 2008-2026 Melalui Aktivitas Flushing di Waduk Pangsar Soedirman (juta m³)

Tahun	Prediksi Volume Sedimen Masuk (Juta m ³)	Reduksi Volume Sedimen (Juta m ³)	Total Volume Sedimen Masuk (Juta m ³)	Prosentase Volume Sedimen Reduksi (%)
2008	4,241	0,058	4,299	1,349
2009	4,634	0,129	4,763	2,708
2010	3,518	0,536	4,054	13,222
2011	4,599	0,719	5,318	13,520
2012	2,706	1,435	4,141	34,653
2013	1,290	1,190	2,480	47,984
2014	0,056	1,421	1,707	32,629
2015	2,934	3,041	4,355	83,590
2016	0,597	3,041	3,638	83,590
2017	5,055	0,510	5,569	9,158
2018	4,057	0,453	4,510	4,510
2019	3,054	0,396	3,450	3,450
2020	3,132	0,780	3,912	3,912
2021	3,211	0,780	4,374	4,374
2022	3,673	1,163	4,836	4,836
2023	4,014	1,163	5,676	5,676
2024	3,771	1,662	5,932	5,932
2025	3,028	2,161	5,688	5,688
2026	2,785	2,660	5,944	5,944

Sumber : Analisis, 2019



Gambar 6 Prediksi Volume Dan Reduksi Sedimen Masuk 2008-2026 Melalui Aktivitas Flushing Di Waduk Pangsar Soedirman

Sumber : Analisis 2019, Pt. Indonesia Power, 2018

3.3 Analisis Prediksi Volume Sedimen 10 tahun Mendatang tanpa Flushing

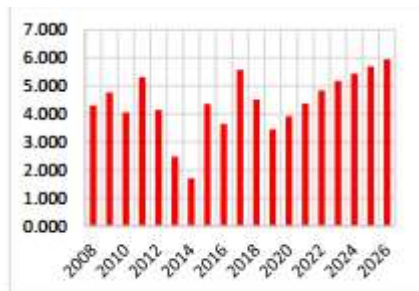
Analisis prediksi volume sedimen tanpa melalui aktivitas flushing, dimaksudkan untuk mengetahui

prediksi perubahan peningkatan volume sedimen yang terjadi jika tanpa dilakukan kegiatan flushing. Analisis dilakukan menggunakan metode statistika Log Pearson Tipe III. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 4 dibawah ini.

Tabel 3 Prediksi Volume Sedimen 2008-2026 tanpa

Tahun	Prediksi Volume Sedimen Masuk tanpa Aktivitas Flusing (juta m ³)
2008	4,299
2009	4,763
2010	4,054
2011	5,318
2012	4,141
2013	2,480
2014	1,707
2015	4,355
2016	3,638
2017	5,569
2018	4,510
2019	3,450
2020	3,912
2021	4,374
2022	4,836
2023	5,177
2024	5,433
2025	5,688
2026	5,944

Sumber : Analisis, 2019



Gambar 7 Prediksi volume Sedimen Masuk 2008-2026 tanpa aktivitas Flushing di Waduk Pangsar Soedirman

Sumber : Analisis 2019, PT. Indonesia Power, 2018

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Prediksi total volume sedimen masuk Waduk Pangsar Soedirman tahun 2018-2026 tanpa aktivitas flushing mencapai 84,464 juta m³ .
2. Prediksi total volume sedimen yang tersimpan di Waduk Pangsar Soedirman tahun 2018-2026 dengan aktivitas flushing mencapai 43,321 juta m³

3. Pengaruh aktivitas flushing selama kurun waktu 2008-2026 mencapai 51,289 %..

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Panitia Seminar Nasional tahun 2020 atas pemberian ijin untuk berpartisipasi mengirimkan makalah ini. ucapan terimakasih yang tak terhingga disampaikan pula kepada PT Indonesia Power UBP Mrica yang telah meminjamkan data penelitian.

REFERENSI

- Ari Wulandari, Dyah, "Penanganan Sedimentasi Waduk Mrica", Jurnal berkala ilmiah teknik keairan vol.13, No.4, 2007
- Marhendi, Teguh, 2018, "Prediksi Peningkatan Sedimentasi dengan metode Angkutan Sedimen (Studi Kasus Sedimentasi di Waduk Mrica)", Jurnal Techno, Vol. 19 No. 2, Oktober 2018, Hal. 87-94, 2018
- Marhendi, Teguh, 2010, "Analisis Umur Fungsi Waduk Mica", Jurnal Techno ,vol 10, no. 2, 2010.
- Marhendi, Teguh, 2014, "Penentuan Erosi Lahan Menggunakan Formula Usle Dengan Dasar Karakteristik Tanah", Jurnal Techno ,vol 15,no. 2, pp 9-14, 2014.
- Marhendi, Teguh, 2013, "Strategi Pengelolaan Sedimentasi Waduk (*Management Strategy to Reservoir Sedimentation*)", Jurnal Techno, vol 14, no. 2 : pp 29-41, 2013.
- Marhendi, Teguh, "Pengaruh Faktor Panjang Kelerengan terhadap Penentuan Awal Erosi Lahan", Jurnal Riset dan Teknologi, LPPM UMP, 2017
- Marhendi, Teguh, 2018, "Analisa Perubahan Volume Sedimentasi Waduk Pangsar Soedirman Menggunakan Karakteristik Curah Hujan Berbasis Universal Soil Loss Equation (USLE)", E-journal Undip, Oktober 2018.
- Munandar, Aris, dkk, 2014, "Analisis Laju Angkutan Sedimen Bagi Perhitungan Kantong Lumpur pada D.I Perkotaan Kabupaten Batubara". Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Vol 3 No. 4, 2014.
- Soewarno, 1992, "Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data", Nova, Bandung, 1995.

Civil Engineering, Environmental and Disaster Risk Management Symposium 2020

Diterbitkan Oleh:



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

e-ISBN 978-602-450-519-6



Didukung oleh:

