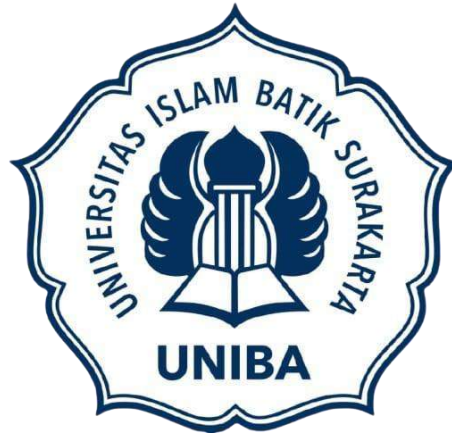


**ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN
METODE ELEMEN HINGGA
(Studi Kasus: Longsor Badan Jalan Desa Kedungboto
Kendal)**



TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Islam Batik Surakarta**

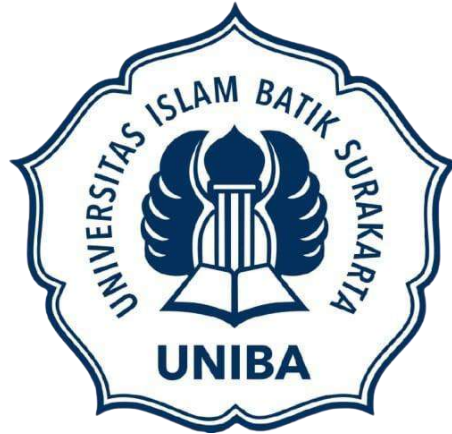
Oleh:

ADHA AKMAUL ALVIANSYAH

NIM: 2022090006

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM BATIK SURAKARTA
2026**

**ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN
METODE ELEMEN HINGGA
(Studi Kasus: Badan Jalan Desa Kedungboto Kabupaten
Kendal)**



TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Islam Batik Surakarta**

Oleh:

ADHA AKMAUL ALVIANSYAH

NIM: 2022090006

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM BATIK SURAKARTA
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

Yang bertanda tangan di bawah ini setelah membaca tugas akhir dengan judul:

ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

(Studi Kasus: Badan Jalan Desa Kedungboto Kabupaten Kendal)

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

ADHA AKMAUL ALVIANSYAH

NIM: 2022090006

Telah disahkan dan disetujui di oleh Tim Pembimbing

Pada Tanggal 27 Juli 2026

Dan dinyatakan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan

Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Surakarta, 27 Juli 2026

Pembimbing Utama

Dekan Fakultas Teknik Universitas

Islam Batik Surakarta

Ir. Bagas Wahyu Adhi, S.T., M.T.

NIDN: 0624079301



Ir. Bagas Wahyu Adhi, S.T., M.T.

NIDN: 0624079301

Pembimbing Pendamping

Ahmad Hidayawan, S.T., M.T.

NIDN: 0621299301

HALAMAN PENGESAHAN

Yang bertanda tangan di bawah ini setelah membaca tugas akhir dengan judul:

ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

(Studi Kasus: Badan Jalan Desa Kedungboto Kabupaten Kendal)

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

ADHAAKMAUL ALVIANSYAH

NIM: 2022090006

Telah disahkan dan disetujui di oleh Tim Pembimbing

Pada Tanggal 27 Juli 2026

Dan dinyatakan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan

Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Surakarta, 27 Juli 2026

Ketua Penguji



Ir. Bagas Wahyu Adhi, S.T, M.T.

NIDN: 0624079301

Dekan Fakultas Teknik Universitas

Islam Batik Surakarta



Ir. Bagas Wahyu Adhi, S.T, M.T.

NIDN: 0624079301

Dosen Penguji



Arum Dwicahyani, S.T, M.Eng.

NUPTK: 1342767668230543

Anggota



Ahmad Hidayawan, S.T. , M.T.

NIDN: 0621299301

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adha Akmaul Alviansyah
NIM : 2022090006
Judul Tugas Akhir : Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode
Elemen Hingga (Studi Kasus: Longsor Badan
Jalan Desa Kedungboto Kabupaten Kendal)

Dengan ini menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan penulis karya atau pendapat yang pernah ditulis diterbitkan orang lain, kecuali sebagai acuan atau kutipan penulisan karya ilmiah yang lazim.

Surakarta, 27 Juli 2026



Adha Akmaul Alviansyah

MOTTO

“ Dialah yang menciptakan kamu dari keadaan lemah, kemudian Dia menjadikan (kamu) setelah keadaan lemah itu menjadi kuat, kemudian Dia menjadikan (kamu) setelah kuat itu lemah (kembali) dan beruban. Dia menciptakan apa yang Dia kehendaki. Dan Dialah Yang Maha Mengetahui, Maha Kuasa ”

(Q.S Ar-Rum : 54)

"Sesungguhnya Allah dan malaikat-Nya Bershalawat kamu untuk Nabi dan ucapkanlah salam dengan penuh penghormatan kepadanya "

(QS. Al-Ahzab : 56)

“Semakin diteguk semakin haus, kukira air, ternyata dunia”

(QS. Al-Hadid : 20)

“Berdoa, berusaha keras, berbaik sangka, dan hal-hal menakjubkan akan terjadi”

(Adha Akmaul Alviansyah)

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada penulis. Tak lupa shalawat dan salam penulis persembahkan kepada nabi besar kita nabi Muhammad SAW, Sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus: Longsoran Badan Jalan Desa Kedungboto Kabupaten Kendal)”. Penelitian ini dilakukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil di Fakultas Teknik Universitas Islam Batik Surakarta.

Penulisan dan penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan, bimbingan dan doa dari berbagai pihak yang turut terlibat di dalamnya. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak:

1. Bapak Ipmawan Muhammad Iqbal, S.Ag., M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Batik Surakarta.
2. Bapak Ir. Bagus Wahyu Adhi, S.T. , M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Batik Surakarta sekaligus menjadi pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ahmad Hidayawan, S.T. , M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Batik Surakarta dan dosen pembimbing akademik serta selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan motivasi untuk penulis selama masa perkuliahan.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Universitas Islam Batik Surakarta yang telah memberikan ilmu serta bimbingan kepada penulis.
5. Bapak Ibu staff dan karyawan Universitas Islam Batik Surakarta yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
6. Kedua orang tua, adik, serta keluarga besar yang selalu mendoakan dan memberikan semangat.
7. Semua pihak yang membantu yang tidak bisa disebutkan satu per satu oleh penulis.

Atas segala bantuan yang diberikan semoga menjadi amalan dunia akhirat. Penulis menyadari atas ketidaksempurnaan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang sifatnya membangun sangat diharapkan oleh penulis. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan memberikan dampak positif bagi semua pihak. *Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Surakarta, 27 Juli 2026

Adha Akmaul Alviansyah

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II STUDI PUSTAKA	7
2.1 Tanah	7
2.2 Parameter Tanah	7
2.2.1 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir <i>Cone Penetration Test</i> (CPT)	8
2.2.2 Korelasi Berat Jenis Tanah	9
2.2.3 Modulus Elastisitas (E)	10
2.2.4 Angka <i>Poisson Ratio</i>	12
2.2.5 Kohesi	13
2.2.6 Kuat Geser Tanah	13
2.3 Tekanan Tanah	14
2.3.1 Tekanan Tanah Aktif	14
2.3.2 Tekanan Tanah Pasif	16
2.4 Lereng	17
2.5 Faktor Yang Mempengaruhi Ketidakstabilan Tanah	18
2.6 Faktor Keamanan Lereng	19
2.7 Analisis Stabilitas Lereng	20
2.8 Faktor – Faktor Penyebab Kelongsoran	22
2.9 Tipe Keruntuhan Lereng	24
2.10 Sifat Fisik Dan Mekanik Tanah	25
2.11 Metode Perbaikan Lereng	25
2.12 Dinding Penahan Tanah	26
2.13 <i>Borepile</i>	30
2.14 Metode Elemen Hingga	31
BAB III METODE PENELITIAN	34
3.1 Pendahuluan	34

3.2 Pengumpulan Data	34
3.3 Metode Analisis	35
3.3.1 Pembebanan Pada Lereng	35
3.3.2 Beban Merata	35
3.3.3 Perencanaan Permodelan Lereng	35
3.4 Analisis Dengan Metode Elemen Hingga program <i>Plaxis</i>	36
3.5 Prosedur Menggunakan Program <i>Plaxis</i> V 8.6	36
3.5.1 Program <i>Input</i>	36
3.5.2 Program <i>Calculation</i>	45
3.5.3 Program <i>Output</i>	48
3.5.4 Program <i>Curve</i>	49
3.6 Analisis Hasil	49
3.7 Bagan Alir Penelitian	50
3.8 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan	53
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	74
4.1 Pengumpulan Data	74
4.2 Pengolahan Data	77
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	79
5.1 Parameter Tanah Dan Pembebanan	79
5.1.1 Parameter Tanah Dasar	79
5.1.2 Tanah Timbunan	81
5.1.3 Data Beban	82
5.2 Bentuk Geometri Lereng	83
5.3 Data Dinding Penahan Tanah (<i>Retaining Wall</i>)	84
5.4 Data <i>Retaining Wall</i> Dengan Daya Dukung Pondasi <i>Borepile</i>	85
5.5 Analisis Stabilitas Kondisi Awal Lereng Dengan Program <i>Plaxis</i>	86
5.5.1 Permodelan Awal Lereng	86
5.5.2 Tahap Perhitungan	86
5.5.3 Hasil Analisis Dengan <i>Mohr-Coulomb</i>	87
5.5.4 Hasil Analisis Dengan <i>Hardening soil</i>	90
5.6 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Dengan Program <i>Plaxis</i>	93
5.6.1 Permodelan Dan Material Dinding Penahan Tanah	93

5.6.2 Tahapan Pelaksanaan	94
5.6.3 Hasil Analisis Dengan <i>Mohr-Coulomb</i>	95
5.6.4 Hasil Analisis Dengan <i>Hardening soil</i>	108
5.7 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Dan Daya Dukung Pondasi <i>Borepile</i> Dengan Program <i>Plaxis</i>	118
5.7.1 Permodelan Material Dinding Penahan Tanah Dan <i>Borepile</i>	119
5.7.2 Tahapan Pelaksanaan	120
5.7.3 Hasil Analisis Dengan <i>Mohr-Coulomb</i>	121
5.7.4 Hasil Analisis Dengan <i>Hardening soil</i>	134
5.8 Rekapitulasi Perbandingan Nilai Keamanan (SF)	144
5.9 Rekapitulasi Perbandingan Nilai Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>)	147
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	150
6.1 Kesimpulan	150
6.2 Saran	151

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fase Tanah.....	8
Gambar 2.2 Diagram Tekanan Tanah Aktif	15
Gambar 2.3 Diagram Tekanan Tanah Lateral Pasif	16
Gambar 2.4 Tipe – tipe keruntuhan lereng.	24
Gambar 2.5 Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi.....	27
Gambar 2.6 Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever	28
Gambar 2.7 Dinding Penahan Tanah Tipe Kontrafort	29
Gambar 2.8 Dinding Penahan Tanah Tipe Buttress	30
Gambar 2.9 Jenis-jenis <i>Borepile</i>	31
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.....	34
Gambar 3.2 <i>Cross section</i> Lereng.....	38
Gambar 3.3 Create atau Open Project.....	39
Gambar 3.5 Lembar <i>Tab Dimensions</i> dari jendela <i>General Settings</i>	41
Gambar 3.6 Penggambaran model menggunakan <i>Geometry line</i>	41
Gambar 3.7 <i>Material Sets</i>	43
Gambar 3.8 Lembar <i>Tab General</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	44
Gambar 3.10 Lembar <i>Tab Interface</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	44
Gambar 3.11 Lembar <i>Tab Generate Mesh</i>	45
Gambar 3.12 <i>Initial Conditions</i>	46
Gambar 3.13 Active Pore Pressures.....	47
Gambar 3.14 <i>K0-procedure</i>	47
Gambar 3.15 <i>Effective Stresses</i>	47
Gambar 3.16 Tahapan Kalkulasi.....	50
Gambar 3.17 Menentukan Titik Monitoring.....	50
Gambar 3.18 Hasil Kalkulasi.....	50
Gambar 3.19 Hasil Kalkulasi.....	51
Gambar 3.7 Bagan Alur Penelitian	53
Gambar 5.1 Grafik Hasil Pengujian <i>Cone Penetration Test</i>	79
Gambar 5.1 Permodelan Lereng pada <i>Autocad</i>	86
Gambar 5.2 Detail Dinding Penahan Tanah.....	86
Gambar 5.3 Detail Dinding Penahan Tanah Dan <i>Borepile</i>	87

Gambar 5.4 Permodelan Lereng Asli.....	88
Gambar 5.5 Tahapan Kalkulasi Nilai Faktor Keamanan Lereng	89
Gambar 5.6 Permodelan Perkuatan <i>Retaining Wall input Plaxis</i>	89
Gambar 5.7 Total <i>Displacement</i> Kondisi Lereng Tanpa Perkuatan.....	89
Gambar 5.8 Arah Pergerakan Tanah <i>output Plaxis calculation</i>	90
Gambar 5.9 <i>Safety Factor</i> Akibat Beban Perkerasan sebesar 1.4273.	90
Gambar 5.10 <i>Safety Factor Plaxis calculation</i>	91
Gambar 5.11 Kurva <i>Settlement</i> Awal Lereng Tanpa Perkuatan.	91
Gambar 5.12 Permodelan Perkuatan <i>Retaining Wall input Plaxis</i>	92
Gambar 5.13 Total <i>Displacement</i> Tanpa Perkuatan.....	92
Gambar 5.14 Arah Pergerakan Tanah <i>output Plaxis calculation</i>	93
Gambar 5.15 <i>Safety Factor</i> Akibat Beban Perkerasan sebesar 1.4273.	93
Gambar 5.16 Permodelan Perkuatan <i>Retaining Wall input Plaxis</i>	93
Gambar 5.17 Kurva <i>Settlement</i> Awal Lereng Tanpa Perkuatan.....	94
Gambar 5.19 Detail Dinding Penahan Tanah.....	95
Gambar 5.20 Permodelan <i>Retaining Wall input Plaxis</i>	96
Gambar 5.21 <i>Deformed Mesh</i>	98
Gambar 5.22 Total <i>Displacement</i>	99
Gambar 5.23 Total <i>Displacement</i>	99
Gambar 5.24 Arah Pergerakan Tanah	100
Gambar 5.25 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar -207.84 kN/m ²	100
Gambar 5.26 <i>Safety Factor</i> Akibat Beban Perkerasan.....	100
Gambar 5.27 <i>Safety Factor</i> Perkerasan Dan Beban Lalu lintas sebesar.	100
Gambar 5.28 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	101
Gambar 5.29 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar -20\84 kN/m ²	101
Gambar 5.30 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 1 Tahun Sebesar 1.6022.....	101
Gambar 5.31 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	102
Gambar 5.32 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar -46.29*10 ⁻³ kN/m ²	102
Gambar 5.33 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 3 Tahun Sebesar 1.6188.....	102
Gambar 5.34 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	103
Gambar 5.35 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar -153.02*10 ⁻⁶ kN/m ²	103
Gambar 5.36 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 5 Tahun Sebesar 1.6002.....	103

Gambar 5.37 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	104
Gambar 5.38 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar $-43.00 \cdot 10^{-9} \text{ kN/m}^2$	104
Gambar 5.39 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 10 Tahun Sebesar 1.6002.....	104
Gambar 5.40. Grafik Time Vs Safety Factor,	105
Gambar 5.41 lokasi Titik Tinjau Perhitungan Penurunan Tanah.	106
Gambar 5.42 Penentuan Nodal Titik Monitoring <i>Settlement Analysis</i>	106
Gambar 5.43 Kurva <i>Settlement vs Time</i> Pelaksanaan Point A.	107
Gambar 5.44 Kurva <i>Settlement vs Time</i> Pelaksanaan Point B.	108
Gambar 5.45 Parameter Tambahan <i>Hardening soil Plaxis</i>	108
Gambar 5.46 <i>Deformed Mesh Hardening soil</i> sebesar $124.76 \cdot 10^{-3}$	109
Gambar 5.47 <i>Total Displacement</i>	110
Gambar 5.48 Arah Pergerakan Tanah	110
Gambar 5.49 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar -176.26 kN/m^2	110
Gambar 5.50 <i>Safety Factor</i> Akibat Beban Perkerasan.....	111
Gambar 5.51 <i>Safety Factor</i> Perkerasan Dan Beban Lalu lintas.....	111
Gambar 5.52 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	111
Gambar 5.53 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar $-162.68 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$	112
Gambar 5.54 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 1 Tahun Sebesar 1.7001	112
Gambar 5.55 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	113
Gambar 5.56 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar $-4.23 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$	113
Gambar 5.57 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 3 Tahun Sebesar 1.7029.....	113
Gambar 5.58 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	114
Gambar 5.59 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar $24.65 \cdot 10^{-4} \text{ kN/m}^2$	114
Gambar 5.60 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 5 Tahun Sebesar 1.7049.....	114
Gambar 5.61 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	115
Gambar 5.62 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar $24.65 \cdot 10^{-4} \text{ kN/m}^2$	115
Gambar 5.63 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 10 Tahun Sebesar 1.7026.....	115
Gambar 5.64 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 10 Tahun Sebesar 1.7026.....	116
Gambar 5.65 lokasi Titik Tinjau Perhitungan Penurunan Tanah.	117
Gambar 5.66 Penentuan Nodal Titik Monitoring <i>Settlement Analysis</i>	117
Gambar 5.67 Kurva <i>Settlement vs Time</i> Pelaksanaan Point A Dan B.....	118
Gambar 5.68 Detail Dinding Penahan Tanah Dan <i>Borepile</i>	119

Gambar 5.69 Permodelan <i>Retaining Wall</i> Dan Pondasi <i>Borepile</i>	120
Gambar 5.70 <i>Deformed Mesh</i> Perkuatan Dinding Penahanan Tanah	121
Gambar 5.71 <i>Total Displacement</i>	122
Gambar 5.72 <i>Total Displacement</i>	123
Gambar 5.73 Arah Pergerakan Tanah	123
Gambar 5.74 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar -207.84 kN/m ²	123
Gambar 5.75 <i>Safety Factor</i> Akibat Beban Perkerasan.....	124
Gambar 5.76 <i>Safety Factor</i> Beban Perkerasan Dan Beban Lalu lintas	124
Gambar 5.77 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	124
Gambar 5.78 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar -4.32 kN/m ²	125
Gambar 5.79 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 1 Tahun Sebesar 2.4876.....	125
Gambar 5.80 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	126
Gambar 5.81 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar -176.02*10 ⁻³ kN/m ²	126
Gambar 5.82 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 3 Tahun Sebesar 2.5004.....	126
Gambar 5.83 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	127
Gambar 5.84 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar -688.51*10 ⁻⁶ kN/m ²	127
Gambar 5.85 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 5 Tahun Sebesar 2.5144.....	128
Gambar 5.86 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	128
Gambar 5.87 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar 658.72*10 ⁻⁹ kN/m ²	128
Gambar 5.88 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 10 Tahun Sebesar 2.5144.....	129
Gambar 5.89 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 10 Tahun Sebesar 1.6002.....	129
Gambar 5.90 lokasi Titik Tinjau Perhitungan Penurunan Tanah.	130
Gambar 5.91 Penentuan Nodal Titik Monitoring <i>Settlement Analysis</i>	131
Gambar 5.92 Kurva <i>Settlement vs Time</i> Pelaksanaan Point A.	131
Gambar 5.93 Kurva <i>Settlement vs Time</i> Pelaksanaan Point B.	132
Gambar 5.94 Parameter Tambahan <i>Hardening soil Plaxis</i>	133
Gambar 5.95 <i>Deformed Mesh</i> Kondisi Tanah Dengan <i>Hardening soil</i>	133
Gambar 5.96 <i>Total Displacement</i> Perkuatan Dinding Penahanan Tanah.	134
Gambar 5.97 Arah Pergerakan Tanah.	134
Gambar 5.98 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar -184.50 kN/m ²	134
Gambar 5.99 <i>Safety Factor</i> Beban Perkerasan sebesar 2.5174.	135
Gambar 5.100 <i>Safety Factor</i> Perkerasan Dan Beban Lalu lintas.....	135

Gambar 5.101 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	135
Gambar 5.102 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar $-162.68 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$	136
Gambar 5.103 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 1 Tahun Sebesar 2.5333.....	136
Gambar 5.104 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	136
Gambar 5.105 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar $-4.23 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$	137
Gambar 5.106 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 3 Tahun Sebesar 2.5360.....	137
Gambar 5.107 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	137
Gambar 5.108 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar $24.65 \cdot 10^{-4} \text{ kN/m}^2$	138
Gambar 5.109 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 5 Tahun Sebesar 2.5360.....	138
Gambar 5.110 Penurunan Konsolidasi Tanah	138
Gambar 5.111 <i>Excess Pore Pressure</i> sebesar $24.65 \cdot 10^{-4} \text{ kN/m}^2$	139
Gambar 5.112 <i>Safety Factor</i> Konsolidasi 10 Tahun Sebesar 2.5360.....	139
Gambar 5.113 Tahapan Pelaksanaan Dan Nilai <i>Safety Factor</i>	139
Gambar 5.114 lokasi Titik Tinjau Perhitungan Penurunan Tanah.	141
Gambar 5.115 Penentuan Nodal Titik Monitoring <i>Settlement Analysis</i>	141
Gambar 5.116 Kurva <i>Settlement vs Time</i> Pelaksanaan Point A Dan B.	141
Gambar 5.117 <i>Bar Chart</i> perbandingan <i>Safety Factor</i>	144
Gambar 5.118 <i>Bar Chart</i> perbandingan nilai <i>settlement</i>	146

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir	8
Tabel 2.2 Korelasi Berat Jenis Tanah (γ) Untuk Non Kohesif dan Kohesif....	9
Tabel 2.3 Korelasi Berat Jenis Tanah (γ) Untuk Non Kohesif	10
Tabel 2.4 Nilai Tipikal Berat Volume Tanah	10
Tabel 2.5 Perkiraan Modulus Elastis	11
Tabel 2.7 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah.....	14
Tabel 2.8 Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng	19
Tabel 2.9 Nilai Faktor Keamanan Perencanaan Lereng	20
Tabel 3.3 Data <i>Cone Penetration Test</i> (CPT) Daerah STA 3 + 036.	35
Tabel 3.4 Legenda Lapisan Tanah	37
Tabel 3.4 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas.....	38
Tabel 3.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang.	55
Tabel 5.1 Data <i>Cone Penetration Test</i> (CPT) STA 3 + 036.....	76
Tabel 5.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai qc.	80
Tabel 5.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai qc.	80
Tabel 5.1 Sifat-Sifat Material Untuk Lapisan Tanah Dasar 1.....	81
Tabel 5.2 Sifat-Sifat Material Untuk Lapisan Tanah Dasar 2.....	81
Tabel 5.3 Sifat-Sifat Material Untuk Lapisan Tanah Dasar 3.....	82
Tabel 5.4 Sifat-Sifat Material Untuk Lapisan Tanah Dasar 4.....	82
Tabel 5.5 Sifat-Sifat Material Untuk Lapisan Tanah Dasar 5.....	83
Tabel 5.6 Sifat-Sifat Material Untuk Timbunan Baru.	84
Tabel 5.7 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas.....	84
Tabel 5.8 Hasil <i>Safety Factor</i> Dan <i>Settlement Point A</i>	91
Tabel 5.9 Hasil <i>Safety Factor</i> Dan <i>Settlement Point A</i>	94
Tabel 5.10 Tahapan Pelaksanaan	96
Tabel 5.11 Nilai Keamanan Dari Tahapan Pelaksanaan	105
Tabel 5.12 Tahapan Pelaksanaan Dan Hasil <i>Settlement Point A</i>	107
Tabel 5.13 Tahapan Pelaksanaan Dan Hasil <i>Settlement Point B</i>	108
Tabel 5.13 Nilai Keamanan Dari Tahapan Pelaksanaan.....	116
Tabel 5.14 Waktu Pelaksanaan Dan Hasil <i>Settlement Poin A</i> dan B.	118
Tabel 5.15 Tahapan Pelaksanaan	120

Tabel 5.14 Nilai Keamanan Dari Tahapan Pelaksanaan.....	129
Tabel 5.16 Tahapan Pelaksanaan Dan Hasil <i>Settlement</i> Point A.	131
Tabel 5.17 Tahapan Pelaksanaan Dan Hasil <i>Settlement</i> Point B.	132
Tabel 5.16 Nilai Keamanan Dari Tahapan Pelaksanaan.....	140
Tabel 5.17 Waktu Pelaksanaan Dan Hasil <i>Settlement</i> Poin A dan B.	142
Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Program <i>Plaxis</i>	142
Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Angka Penurunan Tanah Program <i>Plaxis</i>	145
Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil Angka Penurunan Tanah Program <i>Plaxis</i>	145

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Bimbingan.....	157
Lampiran 2 Lokasi Penelitian.....	161
Lampiran 3 Dokumentasi Kondisi Lereng.....	161
Lampiran 4 Data Penyelidikan Tanah <i>Cone Penetration Test</i> (CPT).....	162
Lampiran 5 Data Perencanaan Rehabilitasi Jalan Longsor.....	164

DAFTAR NOTASI

B	= Lebar pondasi dinding penahan tanah (m)
B'	= Lebar efektif dinding penahan tanah (m)
c	= Kohesi tanah (kN/m^2)
ca	= $a_d \times c$ = adhesi antara tanah dan dasar dinding (kN/m^2)
dc, dq, d γ	= Faktor kedalaman
Df	= Kedalaman fondasi (m)
E	= Modulus Young (kN/m^2)
e	= Angka pori
Es	= Modulus Elastisitas (MPa)
F	= Faktor aman
H	= Tinggi dinding penahan tanah (m)
Ic, iq, i γ	= Faktor kemiringan beban
Ka	= Koefisien tanah aktif
N	= Porositas (%)
Pa	= Tekanan tanah aktif
Q	= Beban terbagi rata (kN/m^2)
qc	= Tahanan konus (kg/cm^2)
qu	= Daya dukung tanah (kN/m^2)
T	= Gaya angku (kN)
Vs	= Volume buiran padat (m^3)
Vw	= Volume air (m^3)
Va	= Volume udara (m^3)
Vv	= Volume rongga (m^3)
Vs	= Angka poisson tanah
W	= Berat struktur dinding penahan tanah (kN/m)
Ws	= Berat butiran padat (kN/m^3)
Ww	= Berat air (kN/m^3)
T	= Kuat geser tanah (kN/m^2)
Φ	= Sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)
σ	= Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)
γ	= Berat volume tanah (kN/m^3)

γ_b = Berat volume tanah basah (kN/m³)

γ_{sat} = Berat volume tanah jenuh (kN/m³)

ABSTRAK

Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus: Longsor Badan Jalan Desa Kedungboto Kabupaten Kendal)

Adha Akmaul Alviansyah

2022090006

Pentingnya jalan sebagai sarana pelayanan transportasi mengakibatkan penanganan terhadap badan jalan yang rusak akibat bencana alam pada umumnya ditangani secara komprehensif, cepat, dan berbasis teknis geoteknik untuk menjamin stabilitas lereng dan keamanan pengguna jalan. Penyelidikan, analisis dan perencanaan teknis yang matang dan tepat guna menghasilkan metode penanganan longsor yang optimal, efisien dan berwawasan lingkungan. Dengan Metode Elemen Hingga program *Plaxis* merupakan suatu rangkuman program elemen hingga yang telah dikembangkan untuk menganalisis deformasi dan stabilisasi geoteknik dalam perencanaan stabilitas lereng. Hasil analisis angka keamanan menggunakan program bantu *Plaxis* menunjukkan bahwa SF hasil perhitungan dengan permodelan *Mohr-Coulomb* untuk perkuatan dinding penahan tanah hanya sebesar 1,4927, sedangkan dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan pondasi *borepile* meningkat menjadi 2,3761. Hal serupa juga terlihat dengan permodelan *Hardening soil* untuk perkuatan dinding penahan tanah nilai SF sebesar 1,5506, sedangkan dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan pondasi *borepile* meningkat menjadi 2,4152. Hasil perhitungan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan pondasi *borepile* dengan dua permodelan analisis program *Plaxis* yaitu *Mohr-Coulomb* dan *hardening soil* nilai angka aman yang diperoleh melebihi 1,5 dari yang disyaratkan pada SNI maka dianggap aman terhadap keruntuhan.

Kata Kunci: *borepile*, dinding penahan tanah, faktor keamanan, konsolidasi tanah, longsor, stabilitas lereng, *Plaxis v8.6*.

ABSTRACT

Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus: Longsoran Badan Jalan Desa Kedungboto Kabupaten Kendal)

Adha Akmaul Alviansyah

2022090006

Given the vital role of roads in providing transportation services, the remediation of road sections damaged by natural disasters is generally approached in a comprehensive, rapid, and geotechnically grounded manner to ensure slope stability and road user safety. Thorough and precise investigation, analysis, and technical planning yield landslide remediation methods that are optimal, efficient, and environmentally conscious. Based on the Finite Element Method (FEM), Plaxis is a finite element software package developed to analyze geotechnical deformation and stability in the context of slope stability design. Safety factor analysis using the Plaxis software indicates that the calculated Safety Factor (SF) for a retaining wall alone is 1.4927 under the Mohr-Coulomb model, whereas reinforcing the retaining wall with a borepile foundation increases the value to 2.3761. A similar trend is observed with the Hardening soil model: the SF is 1.5506 for the retaining wall alone, rising to 2.4152 when reinforced with a borepile foundation. Since the safety factors obtained for the slope reinforced with a retaining wall and borepile foundation—using both the Mohr-Coulomb and Hardening soil analysis models—exceed the 1.5 threshold required by the Indonesian National Standard (SNI), the structure is considered safe against failure.

Keywords: *borepile, consolidation, factor of safety, landslide, Plaxis v8.6, retaining wall, , soil, slope stability.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Longsoran merupakan salah satu jenis gerakan massa tanah dan batuan atau pencampuran keduanya, menuruni atau keluar lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut. Faktor pemicu terjadinya longsor seperti peningkatan kandungan air tanah akibat tingginya intensitas hujan, dimana air meresap masuk ke dalam tanah sehingga tanah tidak memiliki kekuatan dan sangat mudah terbawah oleh aliran air dan menyebabkan terjadinya longsor (Budiarti et al., 2020).

Longsoran terjadi dikarenakan adanya gerakan tanah, Gerakan tanah ialah perpindahan massa tanah atau batuan dengan arah vertikal, horizontal atau diagonal terhadap kedudukan awal dikarenakan pengaruh air tanah, gravitasi, dan beban yang bekerja diatas tanah tersebut, serta pengaruh lingkungan sekitar (Adhi et al., 2025). Faktor bencana alam bisa mempengaruhi kondisi sarana prasarana jalan bahkan dapat mengakibatkan terputusnya badan jalan secara tiba-tiba sehingga menghambat mobilisasi operasional dan pelayanan transportasi menjadi lumpuh.

Pentingnya jalan sebagai sarana pelayanan transportasi mengakibatkan penanganan terhadap badan jalan yang rusak akibat bencana alam pada umumnya ditangani secara komprehensif, cepat, dan berbasis teknis geoteknik untuk menjamin stabilitas lereng dan keamanan pengguna jalan. Hal ini dilakukan agar operasional jalan dapat segera kembali berfungsi, sehingga pelayanan transportasi tidak lumpuh dalam jangka waktu yang lama. Penyelidikan, analisis dan perencanaan teknis yang matang dan tepat guna menghasilkan metode penanganan longsoran yang optimal, efisien dan berwawasan lingkungan sehingga dapat diaplikasikan sebagai penanggulangan longsoran yang bersifat permanen di lapangan (Irawan & Panjapitan, 2024).

Jalan Kedungboto – Jengkol Desa Kedungboto, Kecamatan Limbangan, Kabupaten Kendal terletak di daerah pegunungan merupakan salah satu diantara beberapa badan jalan yang sangat rawan terhadap

longsor. Beberapa badan jalan di Kedungboto, Limbangan yang menghubungkan Desa Kedungboto dan daerah sekitarnya berada di pegunungan, sehingga bila terjadi hujan dengan intensitas tinggi kemungkinan longsor pada lereng sangat besar. Pada tahun 2025 terjadi longsor pada badan jalan Kedungboto – Jengkol, sehingga sangat mengganggu kelancaran arus lalu lintas yang merupakan jalan utama yang menghubungkan Desa Kedungboto dengan daerah di sekitarnya. Daya dukung tanah pada daerah longsor tersebut perlu diketahui sehingga kita dapat mengetahui penyebab utama dari kelongsoran tanah. Sangat perlu dilakukan peninjauan tanah agar dapat meminimalisir kerusakan yang terjadi dan memberikan solusi bagi penanganan longsor yang terjadi.

Kegiatan konstruksi pada pembangunan infrastruktur jalan tidak pernah lepas dari pekerjaan tanah yang sering menjadi kendala karena perbedaan kontur tanah karena adanya pekerjaan galian dan timbunan yang sangat erat kaitannya dengan geoteknik. Timbunan dan galian merupakan hal yang sangat menarik untuk di kaji karena berkaitan erat dengan factor keamanan lereng dan perlu penanganan khusus (Adhi et al., 2023).

Perkuatan yang dapat dilakukan untuk penanganan longsor tanah dalam pekerjaan konstruksi sipil adalah dinding penahan tanah (*retaining wall*) struktur yang direncanakan dan dibangun sedemikian rupa sehingga mampu menahan tekanan lateral tanah dan menciptakan area rata pada lahan yang miring. Dinding penahan tanah diharapkan dapat mengurangi terjadinya bahaya seperti keruntuhan atau tanah longsor pada galian atau timbunan. Dinding penahan tanah akan sangat efektif di daerah miring karena dirancang untuk mencerminkan bentuk dinding dan terdiri dari balok yang didukung oleh tiang penahan yang tertanam pada tanah di sebelah dinding. Kelebihan dalam menggunakan dinding penahan tanah beton memiliki tingkat ketahanan yang baik terhadap korosi, dan dapat bertahan dalam usia penggunaan yang cukup panjang.

Oleh karena itu pencegahan longsor berupa identifikasi daerah rawan longsor yaitu analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng dapat digunakan untuk menilai atau memberikan penilaian tingkat tanah longsor

untuk memberikan peringatan bahaya tanah longsor. Salah satunya adalah dengan menggunakan alat bantu program.

Program *Plaxis* adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang rekayasa geoteknik. Prosedur pembuatan model secara grafis yang memungkinkan pembuatan suatu model dengan metode elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat, dan mampu menghasilkan nilai faktor keamanan dengan akurasi yang memadai (Shafna & Anjana, 2021).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian mengenai analisis stabilitas lereng pada tanah di badan Jalan Kedungboto – Jengkol STA 3 + 036. Maka, permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa nilai keamanan lereng pada kondisi awal lereng dengan metode elemen hingga?
2. Berapa nilai keamanan lereng setelah diberi perkuatan dinding penahan tanah tanpa pondasi *borepile* menggunakan metode elemen hingga?
3. Berapa nilai keamanan lereng setelah diberi perkuatan dinding penahan tanah dengan daya dukung pondasi *borepile* menggunakan metode elemen hingga?
4. Berapa besar penurunan (*settlement*) yang terjadi pada lereng setelah masa konstruksi selesai?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang diajukan dalam penelitian, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung nilai keamanan lereng pada kondisi awal lereng dengan metode elemen hingga.
2. Menghitung nilai keamanan lereng setelah diberi perkuatan dinding penahan tanah tanpa pondasi *borepile* menggunakan metode elemen hingga.

3. Menghitung nilai keamanan lereng setelah diberi perkuatan dinding penahan tanah dengan daya dukung pondasi *borepile* menggunakan metode elemen hingga.
4. Menghitung besar penurunan tanah (*settlement*) yang terjadi pada lereng setelah masa konstruksi selesai menggunakan metode elemen hingga.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan tidak melebar, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada pekerjaan penaganan longsor badan jalan Desa Kedungboto, Kecamatan Limbangan, Kabupaten Kendal sebagai objek studi kasus.
2. Analisis stabilitas hanya ditinjau berdasarkan faktor keamanan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan pondasi *borepile* tanpa membahas stabilitas struktur bangunan pelengkap.
3. Parameter tanah yang digunakan berasal dari data hasil penyelidikan tanah *cone penetration test* (CPT).
4. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *Plaxis V 8.6* dengan permodelan material *mohr coulomb* dan *Hardening soil*.
5. Kondisi tahapan analisis menggunakan pengaruh elevasi muka air tanah yang didapatkan dari *Cross section*.
6. Evaluasi stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan pondasi *borepile* didasarkan pada nilai faktor keamanan lereng sesuai dengan kriteria standar yang berlaku.
7. Pengaruh beban gempa dan kondisi ekstrem lainnya tidak dianalisis dalam penelitian ini.

1.5 Manfaat

Berdasarkan tujuan penelitian yang hendak dicapai, maka manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Diharapkan penelitian ini dapat digunakan untuk perkembangan ilmu Teknik Sipil, khususnya dalam analisis kestabilan lereng menggunakan *software Plaxis*.
2. Memberikan pemahaman tentang perilaku bidang longsor lereng.

3. Menambah pengetahuan tentang faktor – faktor yang dapat mendukung dan mengurangi stabilitas suatu lereng.
4. Sebagai tambahan informasi bagi praktisi maupun akademi dalam mempelajari kestabilan lereng.
5. Dasar untuk memberikan masukan kepada masyarakat atau pengambil kebijakan mengenai strategi apa yang harus diambil sehingga tidak terjadinya ke longSORan lereng lanjutan pada badan jalan Kedungboto – Jengkol , STA 3 + 036.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Laporan Tugas Akhir ini dibagi menjadi beberapa bagian, yang diuraikan dalam lima Bab, dengan perincian sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Dalam bab ini dijelaskan mengenai berisi tentang Latar Belakang Masalah, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Batasan Masalah, Manfaat Penelitian, dan Sistematika Penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Dalam bab ini berisi tentang Teori Pendukung yang terkait pada judul Penelitian yang berisikan definisi tanah, Teori tentang parameter tanah, teori kestabilan lereng, juga metode Analisis kestabilan lereng.

BAB III Metode Penelitian

Dalam bab ini berisi tentang uraian mengenai Data yang akan digunakan serta menjelaskan juga metode dan program yang akan digunakan untuk menganalisis Stabilitas Lereng.

BAB IV Pengumpulan Dan Pengolahan Data

Dalam bab ini berisi tentang uraian mengenai sumber data yang akan digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng menggunakan program *Plaxis*. Selanjutnya bab ini juga menjelaskan mengenai pengolahan data yaitu hasil pengolahan data penyelidikan tanah *cone penetration test*.

BAB V Hasil dan Pembahasan

Membahas tentang analisis faktor keamanan dan besaran penurunan setelah diberi penanganan longSORan menggunakan metode elemen hingga dengan program *Plaxis* V8.6.

BAB VI Penutup

Dalam bab ini menjelaskan tentang analisis dan pembahasan yang di rangkum dan disajikan dalam Kesimpulan dan Saran akhir dari Penelitian dalam tugas akhir ini.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Tanah

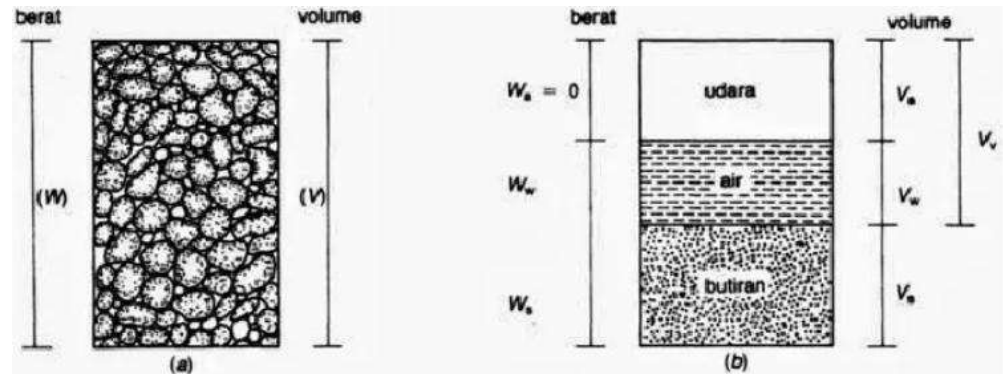
Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas yang terletak diatas batuan dasar. Ikatan antara butiran yang relative lemah dapat disebabkan oleh karbonat,zat organik atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang antara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya yang terletak diatas batuan dasar (*bed rock*) (Hardiyatmo, 2002). Istilah pasir, lempung, lanau ataupun lumpur dimanfaatkan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Istilah tersebut juga dimanfaatkan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. sebagaimana tanah lempung yang memiliki sifat kohesif dan plastis, dan pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

Proses pembentukan fisik tanah dimana batuan menjadi partikel yang lebih kecil karena pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah karena perubahan suhu atau cuaca. Partikel bisa bulat, bergerigi, atau bentuk apa pun di antaranya. Secara umum, di bawah pengaruh oksigen, karbon dioksida, air (terutama air asam atau basa) dan proses kimia lainnya, pelapukan dapat terjadi melalui proses kimia. Misalnya, jika hasil pelapukan masih ada, tanah semacam ini disebut tanah sisa, jika tanah berubah posisinya disebut tanah terangkat (Dewi & Adriansyah, 2023).

2.2 Parameter Tanah

Parameter tanah yang dimaksudkan disini meliputi berat volume basah, berat volume jenuh air, *modulus young*, *poisson ratio*, sudut geser dalam, dan kohesi. Menurut (H. C. Hardiyatmo 2014) segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, maka tanah hanya terdiri dari dua bagian,yaitu butiran-buturan tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Bagian-

bagian tanah dapat digambar dalam bentuk diagram fase ditunjukkan dalam Gambar 2.1 Memperllihatkan elemen tanah yang mempunyai volume v dan berat total W .



Gambar 2.1 Diagram Fase Tanah.

(Sumber: Hardiyantmo, 2014)

Dari memperhatikan gambar tersebut dapat dibentuk persamaan:

$$W = W_s + W_w \dots \dots \dots (2.1)$$

Dan

$$V = V_s + V_w + V_u \dots \dots \dots (2.2)$$

$$V_v = V_w + V_u \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan,

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_u = volume udara

2.2.1 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir Cone Penetration Test (CPT)

Nilai tekanan konus (q_c) dan tahanan (f_s) yang diperoleh dari data *Cone Penetration Test* dapat digunakan untuk menentukan jenis tanah jika Tabel 2.1 digunakan sebagai panduan.

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir.

Hasil Sondir		Klasifikasi
q_c	F_s	
6,0	0,15 - 0,40	Humus, lempung sangat lunak
	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas

Hasil Sondir		Klasifikasi
6,0 - 10,0	0,20 - 0,60	Lempung lembek, lempung kalanaun lembek
10,0 - 30,0	0,10	Kerikil lepas
	0,10 - 0,40	Pasir lepas
	0,40 - 0,80	Lempung atau lempung kelanaun
	0,80 - 2,00	Lempung agak kenyal
30 - 60	1,50	Pasir kelanaun, pasir agak padat
	1,0 - 3,0	Lempung atau lempung kelanaun kenyal
60 - 150	1,0	Kerikil kepasiran lepas
	1,0 - 3,0	Pasir padat, pasir kelanaun atau lempung padat dan lempung kelanaun
	3,0	Lempung kekerikilan kenyal
150 - 300	1,0 - 2,0	Pasir padat, pasir kekerikilan, pasir kasar, pasir kelanaun sangat padat

Sumber: Das, 1995

2.2.2 Korelasi Berat Jenis Tanah

Keterkaitan antara kerapatan tanah (γ) dan kerapatan tanah jenuh (γ) disajikan pada Tabel 2.2, 2.3, dan 2.4. Hubungan ini ditunjukkan untuk tanah kohesif dan non kohesif.

Tabel 2.2 Korelasi Berat Jenis Tanah (γ) Untuk Non Kohesif dan Kohesif.

	Cohesionless Soil				
N	0 - 10	11-30	31-50	>50	
Unit Weight , γ kN/m3	12-16	14-18	16-20	18-23	
Angle of Friction ϕ	25-32	28-36	30-40	>35	
State	Loose	Medium	Dense	Very	
				Dense	
	Cohesive				
N	<4	4-6	6-15	16-25	>25

	Cohesionless Soil				
Unit Weight , kN/m ³	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
qu,kPa	<25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Sumber: T, Whilliam. Dkk, 1962

Tabel 2.3 Korelasi Berat Jenis Tanah (γ) Untuk Non Kohesif.

Description	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
NSPT					
Fine	1-2	3-6	7-15	16-30	
Medium	2-3	4-7	8-20	21-40	>40
Coarse	3-6	5-9	10-25	26-45	>45
Fine	26-28	28-30	30-34	33-38	
Medium	27-28	30-32	32-36	36-42	<50
Coarse	28-30	30-34	33-34	40-50	
γ wet (kN/m ³)	11-36	14-18	17-20	17-22	20-23

Sumber: T, Whilliam. Dkk, 1962

Tabel 2.4 Nilai Tipikal Berat Volume Tanah.

Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)
Kerikil	20-22	15-17
Pasir	18-20	13-16
lanau	18-20	14-18
Lempung	16-22	14-21

Sumber: Wiley, John & Sons, 2000

2.2.3 Modulus Elastisitas (E)

Nilai modulus young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *traxial test*. Umumnya modulus elastisitas (E) ditentukan dari uji triaksial kondisi undrained, dan nilai E ditentukan dari pendekatan kemiringan kurva tegangan-

regangan yang diambil pada setengah dari beban ultimit aksial. Angka poisson (ν) dapat dihitung dari pengukuran regangan kompresi aksial dan regangan lateral selama uji triaksial. Nilai Modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 2.5. Untuk tanah granuler seperti pasir, modulus elastisitas dapat ditentukan dari uji triaksial. Nilai modulus elastisitas (E) telah diketahui proposional dengan $(\sigma_o)^n$, dan σ_o dengan adalah tekanan kekang hidrostatik dan nilai n mendekati 0,5. Nilai modulus elastisitas (E) dan angka poisson (ν) perkiraan untuk berbagai macam tanah.

Tabel 2.5 Perkiraan Modulus Elastis.

Macam Tanah	E (Kn./m ²)
LEMPUNG	
Sangat Lunak	300-3000
Lunak	2000-4000
Sedang	4500-5000
Keras	7000-20000
Berpasir	30000-42500
PASIR	
Berlanau	5000-20000
Tidak Padat	10000-25000
Padat	50000-100000
PASIR DAN KERIKIL	
Padat	80000-200000
Tidak Padat	50000-140000
Lanau	2000-200000
Loess	15000-60000
Cadas	140000-1400000

Sumber: Bowles (1977)

Nilai-nilai E yang dipergunakan dalam Persamaan (2.10), terdapat beberapa usulan nilai E yang diberikan oleh peneliti yang lain. Hasil-hasil uji kerucut statis (sondir) yang dilakukan oleh De Beer (1965)

memberikan korelasi antara tahanan kerucut q_c dan E , seperti dalam persamaan (2.10) sebagai berikut:

$$E = 2 q_c \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan q_c dalam kg/cm^2 . Bowles (1977) mengusulkan persamaan yang dihasilkan dari pengumpulan data uji kerucut statis (sondir) seperti dalam persamaan (2.11) dan (2.12), sebagai berikut:

$$E = 3 q_c \text{ kg/cm}^2 \text{ (untuk pasir)} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$E = 2 q_c \text{ sampai } 8 q_c \text{ kg/cm}^2 \text{ (untuk lempung)} \dots \dots \dots (2.12)$$

Nilai perkiraan modulus elastis dapat pula diperoleh dari uji SPT. Mitchell dan Gardner (1975) mengusulkan nilai modulus elastis yang dihubungkan dengan nilai SPT seperti dalam persamaan (2.13) dan (2.14), sebagai:

$$E = 6 (N+5) \text{ k/ft}^2 \text{ (untuk pasir berlempung)} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$E = 10 (N+15) \text{ k/ft}^2 \text{ (untuk pasir)} \dots \dots \dots (2.14)$$

Didasarkan pada nilai pendekatan hubungan antara nilai N dari pengujian SPT dan tahanan konus (Meyerhof, 1956) nilai q_c dapat menggunakan rumus seperti dalam Persamaan (2.15), sebagai berikut:

$$Q_c = 4N \dots \dots \dots (2.15)$$

2.2.4 Angka *Poisson Ratio*

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Nilai *poisson ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Perkiraan Rasio Poisson untuk berbagai macam tanah.

Macam Tanah	ν
Lempung jenuh	0,40 - 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 - 0,50
Lempung berpasir	0,20 - 0,30
Lanau	0,30 - 0,35
Pasir padat	0,20 - 0,40
Pasir kasar ($e = 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasir halus ($e = 0,4 - 0,7$)	0,25

Macam Tanah	v
Batu	0,10 - 0,40
Loesss	0,10 - 0,30
Beton	0,10 - 0,30

Sumber: Bowles (1977)

2.2.5 Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah.

2.2.6 Kuat Geser Tanah

Menurut (H. C. Hardiyatmo 2014) parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis kapasitas dukungan tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Menurut teori Moch (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan oleh persamaan (2.16):

$$\tau = f(\sigma) \dots \dots \dots (2.16)$$

Dengan τ adalah tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan (*failure*), dan σ adalah tegangan normal pada saat kondisi tersebut. Garis kegagalan yang didefinisikan dalam persamaan (2.17), Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

- kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang terjadi pada bidang geser, dan
- gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Columb (1776) mendefinisikan τ sebagai:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \dots \dots \dots (2.17)$$

dengan,

τ = Kuat geser tanah (kN/m²)

c = Kohesi tanah (kN/m²)

φ = Sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek internal (derajat)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

Kekuatan geser dalam memiliki variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.7 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah.

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil kepasiran	35 - 40
Kerikil kerakal	35 - 40
Pasir padat	35 - 40
Pasir lepas	30
Lempung	25 - 30
Lempung	20 - 25

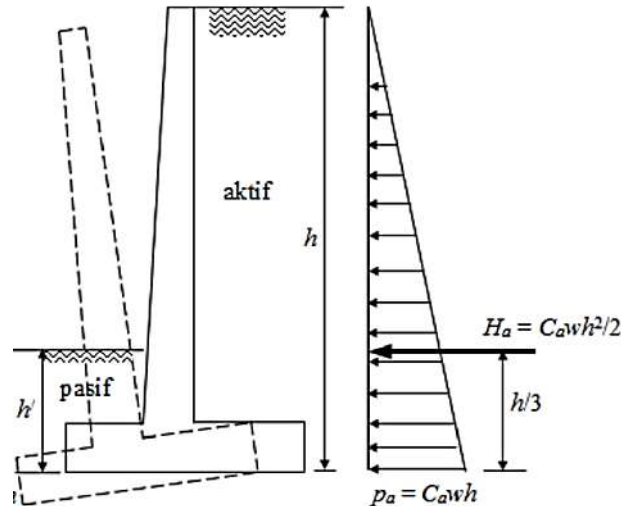
Sumber: DAS(1944)

2.3 Tekanan Tanah

2.3.1 Tekanan Tanah Aktif

(H.C.Hardiyatmo 2002) Mengatakan bahwa tekanan tanah aktif adalah tekanan yang terjadi pada dinding penahan yang mengalami keluluhan atau bergerak ke arah luar dari tanah urugan di belakangnya, sehingga menyebabkan tanah urug akan bergerak longsor ke bawah dan menekan dinding penahannya, sedangkan nilai banding Gambar 2.3 Diagram Tekanan Tanah Aktif tekanan horisontal dan tekanan vertikal yang terjadi didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah aktif atau K_a . Nilai tekanan aktif lebih kecil dari nilai tekanan saat diam. Gerakan dinding tanah menjauhi tanah urugan

menghilangkan pertahanan dibelakang dinding. Jadi tekanan tanah aktif adalah gaya yang cenderung mengurangi keseimbangan dinding penahan tanahnya seperti gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Diagram Tekanan Tanah Aktif.

(Sumber: Hardiyatmo 2003)

Nilai tekanan tanah aktif untuk tanah lateral dihitung dengan menggunakan teori Rankine yang dibagi menjadi nilai tekanan tanah aktif untuk tanah datar dan nilai tekanan tanah aktif untuk tanah miring. Untuk menghitung nilai koefisien tanah datar dan tanah miring pada tanah aktif digunakan rumus seperti dibawah ini. Nilai K_a untuk tanah datar dinyatakan dalam Persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$K_a \frac{1+\sin \varphi}{1-\sin \varphi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

φ = Sudut geser tanah ($^\circ$)

K_A = Koefisien tanah aktif

Perhitungan untuk tekanan tanah pasif dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

1. Menghitung tekanan tanah pasif untuk tanah non kohesif Nilai P_p untuk tanah non kohesif dinyatakan dalam persamaan berikut ini:

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_a \dots \dots \dots (2.2)$$

2. Menghitung tekanan tanah pasif untuk tanah kohesif Nilai Pa untuk tanah kohesif dalam persamaan berikut ini:

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_a - 2c \sqrt{K_a} \dots \dots \dots (2.3)$$

P_a = Tekanan tanah aktif (KN/m)

γ = Berat isi tanah (KN/m³)

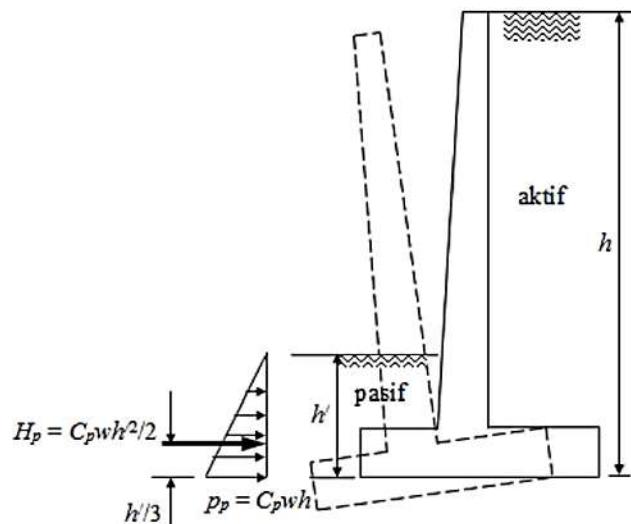
H = Tinggi dinding (m)

c = Kohesi (KN/m²)

K_a = Koefisien tanah aktif.

2.3.2 Tekanan Tanah Pasif

(H. C. Hardiyatmo 2002) mengatakan bahwa tekanan tanah pasif adalah tekanan tanah yang terjadi saat gaya mendorong dinding penahan tanah kearah tanah urugannya, sedangkan nilai banding tekan horisontal dan vertikal yang terjadi didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah pasif atau k_p . nilai tekanan pasif lebih besar dari nilai tekanan tanah saat diam dan nilai tekanan aktif. Tekanan tanah pasif menunjukkan nilai maksimum dari gaya yang dapat dikembangkan oleh tanah pada gerakan struktur penahan terhadap tanah urugannya, yaitu tanah harus menahan gerakan dinding penahan tanah sebelum mengalami keruntuhan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.3 Diagram Tekanan Tanah Lateral Pasif.

(Sumber: Hardiyatmo 2003)

Untuk nilai tekanan tanah pasif untuk tanah lateral dihitung dengan cara yang sama pada tekanan tanah aktif menggunakan teori Rankine yang dibagi menjadi nilai tekanan tanah pasif untuk tanah datar dan nilai tekanan tanah pasif untuk tanah miring. Prosedur perhitungannya digunakan metode Rankine seperti rumus 4 dibawah ini. Nilai K_p untuk tanah datar dinyatakan dalam Persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$K_p = \frac{1+\sin \varphi}{1-\sin \varphi} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

φ = Sudut geser tanah ($^\circ$)

K_p = Koefisien tanah pasif

Perhitungan untuk tekanan tanah pasif dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

3. Menghitung tekanan tanah pasif untuk tanah non kohesif Nilai P_p untuk tanah non kohesif dinyatakan dalam persamaan berikut ini:

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 K_p \dots \dots \dots (2.5)$$

4. Menghitung tekanan tanah pasif untuk tanah kohesif Nilai P_a untuk tanah kohesif dalam persamaan berikut ini:

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_a - 2c \sqrt{K_p} \dots \dots \dots (2.6)$$

P_p = Tekanan tanah aktif (KN/m)

γ = Berat isi tanah (KN/m³)

H = Tinggi dinding (m)

c = Kohesi (KN/m²)

K_p = Koefisien tanah aktif.

2.4 Lereng

Lereng adalah suatu bidang di permukaan tanah yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah (WIDIANSYAH & ILYAS, 2024). Lereng dapat terjadi secara alami maupun sengaja dibuat oleh manusia dengan tujuan tertentu. Analisis stabilitas lereng mempunyai peran yang sangat penting

pada perencanaan konstruksi-konstruksi sipil. Kondisi tanah asli yang tidak selalu sesuai dengan perencanaan yang diinginkan misalnya lereng yang terlalu curam sehingga dilakukan pekerjaan pemotongan bukit atau kondisi lain yang membutuhkan timbunan dan lain sebagainya, sehingga diperlukan analisis yang lebih akurat agar diperoleh konstruksi lereng yang mantap (sesuai dengan syarat keamanan) (Pushpa K et al., 2016). Lereng Perlu mendapatkan suatu nilai faktor keamanan minimum dari suatu analisis stabilitas lereng memerlukan suatu proses trial and error. Pada proses iterasi yang dilakukan secara manual akan memakan waktu yang cukup lama dan diperlukan ketelitian. Proses analisis yang cukup lama dan kurang akurat dapat diminimalisir dengan menggunakan suatu program (*software*) yang dapat digunakan untuk menganalisis permasalahan stabilitas lereng badan jalan khususnya di ruas jalan yang mempunyai daya dukung tanah yang kurang bagus sehingga perlu diadakan penelitian yang serius.

Tanah adalah gabungan dari partikel partikel padat, air, dan udara. Ketika tanah berada di bawah muka air tanah (tidak ada udara), maka tanah tersebut dalam keadaan saturated. Ukuran partikel pada tanah bervariasi, dan dengan adanya variasi itu tanah dapat dikategorikan dalam beberapa bagian. Tanah dengan partikel besar (pasir dan kerikil) dikategorikan dalam tanah tidak kohesif. Dengan kata lain, air tidak hanya mengisi ruang pori antar partikel tanah, tetapi dapat mengalir melalui partikel tanah juga. Fakta bahwa air mengalir menurun tempat yang lebih rendah berdasarkan gaya gravitasi juga terjadi di rongga tanah. *Property* pada tanah berkaitan dengan kemampuan air untuk mengalir melalui ruang pori atau yang biasa disebut *permeability*. Semakin kecil ukuran partikel, semakin rendah permeabilitas pada tanah. Dalam kasus tanah tidak kohesif, ukuran partikel yang relatif besar memungkinkan air cepat keluar dari bawah beban, dan penurunan biasa terjadi sangat cepat. Tetapi jika tanah kohesif dengan partikel yang kecil, gerakan air bisa sangat lambat.

2.5 Faktor Yang Mempengaruhi Ketidakstabilan Tanah

Faktor-faktor penyebab lereng rawan longsor meliputi faktor internal (dari tubuh lereng sendiri) maupun faktor eksternal (dari luar lereng), antara

lain: kegempaan, iklim (curah hujan), vegetasi, morfologi, batuan/tanah maupun situasi setempat, tingkat kelembaban tanah (*moisture*), adanya rembesan, dan aktifitas geologi seperti patahan (terutama yang masih aktif), rekahan dan liniasi (Budiarti et al., 2020).

Proses eksternal penyebab longsor yang diantaranya adalah:

1. Pelapukan (fisika, kimia dan biologi),
2. Erosi,
3. Penurunan tanah (*ground subsidence*),
4. Deposisi (fluvial, glasial dan gerakan tanah),
5. Getaran dan aktivitas seismik,
6. Jatuhan tepra.
7. Perubahan rejim air.

Pelapukan dan erosi sangat dipengaruhi oleh iklim yang diwakili oleh kehadiran hujan di daerah setempat, curah hujan kadar air dan kejenuhan air. Pada beberapa kasus longsor, hujan sering sebagai pemicu karena hujan meningkatkan kadar air tanah yang menyebabkan kondisi fisik/mekanik material tubuh lereng berubah.

2.6 Faktor Keamanan Lereng

Secara umum faktor keamanan suatu lereng merupakan perbandingan nilai rata-rata kuat geser tanah/batuan di sepanjang bidang keruntuhan kritisnya terhadap beban yang diterima lereng di sepanjang bidang keruntuhannya atau nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan. Faktor keamanan suatu lereng dapat dilihat di Tabel 2.8 dan Tabel 2.9 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng.

Tabel 2.8 Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng.

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah	Tinggi
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah	Tinggi
a. Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.		
b. Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.		

Sumber: SNI 8460 Tahun 2017 Persyaratan Perencanaan Geoteknik.

Tabel 2.9 Nilai Faktor Keamanan Perencanaan Lereng.

Faktor Keamanan (FS)	Keadaan Lereng
$FS < 1,00$	Lereng dalam kondisi tidak mantap (lerenglabil)
$1,00 < FS < 1,20$	Lereng dalam kondisi kemantapan diragukan
$1,30 < FS < 1,40$	Lereng dalam kondisi memuaskan
$1,50 < FS < 1,70$	Lereng dalam kondisi mantap (lerengstabil)

Sumber: Nilai Faktor Keamananan Perencanaan Lereng Sosrodarsono, 2003.

2.7 Analisis Stabilitas Lereng

Hardiyatmo (2006) menyatakan bahwa analisis stabilitas lereng umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas. Maksud dari analisis stabilitas adalah untuk mendukung perancangan yang ekonomis dan aman dari lereng. Analisis stabilitas lereng mempertimbangkan banyak faktor, diantaranya adalah topografi, geologi, dan sifat – sifat material.

Analisis stabilitas lereng perlu mempertimbangkan beban hidup (*live load*), beban mati (*dead load*), dan beban gempa sesuai dengan fungsi lereng, baik pada galian maupun timbunan. Beban tambahan (*surcharge load*) harus diterapkan untuk memperhitungkan beban di atas permukaan lereng, kecuali ada ketentuan lain sesuai peruntukannya (Kurniawan et al., 2025).

Sebuah lereng dikatakan stabil apabila lereng tersebut tidak mengalami kelongsoran. Keruntuhan pada lereng alami atau buatan disebabkan karena adanya perubahan antara lain topografi, seismik, aliran air tanah, kehilangan kekuatan, perubahan tegangan, dan

musim/iklim/cuaca. Akibat adanya gaya-gaya luar yang bekerja pada material pembentuk lereng menyebabkan material pembentuk lereng mempunyai kecenderungan untuk menggelincir. Kecenderungan menggelincir ini ditahan oleh kekuatan geser material sendiri. Meskipun suatu lereng telah stabil dalam jangka waktu yang lama, lereng tersebut dapat menjadi tidak stabil karena beberapa faktor seperti:

1. Jenis dan keadaan lapisan tanah/batuan pembentuk lereng.
2. Bentuk geometris penampang lereng (misalnya tinggi dan kemiringan lereng).
3. Penambahan kadar air pada tanah (misalnya terdapat rembesan air atau infiltrasi hujan).
4. Berat dan distribusi beban.
5. Getaran atau gempa.

Pada prinsipnya, ada beberapa cara untuk menstabilkan lereng yang berpotensi terjadi kelongsoran. Ada dua cara yang dapat digunakan untuk menstabilkan suatu lereng, yaitu:

1. Memperkecil gaya penggerak atau momen penyebab longsor. Gaya atau momen penyebab longsor dapat diperkecil dengan cara merubah bentuk lereng, yaitu dengan cara:
 - a. Merubah lereng lebih datar atau memperkecil sudut kemiringan.
 - b. Memperkecil ketinggian lereng.
 - c. Merubah lereng menjadi lereng bertingkat (*multi slope*).
2. Memperbesar gaya lawan atau momen penahan longsor. Gaya lawan atau momen penahan longosor dapat diperbesar dengan beberapa cara yaitu:
 - a. Menggunakan *counter weight* yaitu tanah timbunan pada kaki lereng. Cara ini mudah dilaksanakan asalkan terdapat tempat di kaki lereng untuk tanah timbunan tersebut.
 - b. Dengan mengurangi air pori di dalam lereng.
 - c. Dengan cara mekanis yaitu dengan memasang tiang pancang atau tembok penahan tanah.

2.8 Faktor – Faktor Penyebab Kelongsoran

Faktor-faktor penyebab kelongsoran secara garis besar dibagi menjadi dua, yaitu akibat pengaruh luar (*external effect*) dan akibat pengaruh dalam (*internal effect*). Penjelasan mengenai dua hal tersebut dipaparkan sebagai berikut:

a. Gangguan luar, yang meliputi:

1. Getaran yang ditimbulkan gempa bumi, peledakan, kereta api, dan lain-lain.
2. Pembebanan tambahan, terutama disebabkan aktifitas manusia misalnya adanya bangunan atau timbunan di atas tebing.
3. Hilangnya penahan lateral, yang dapat disebabkan oleh pengikisan (erosi sungai, pantai) atau penggalian.
4. Hilangnya tumbuhan penutup yang dapat menimbulkan alur pada beberapa daerah tertentu yang akan mengakibatkan erosi dan akhirnya akan terjadi longsoran.
5. Iklim, beberapa jenis tanah mengembang pada saat musim hujan dan menyusut pada musim kemarau. Pada musim hujan, kuat geser tanah ini menjadi sangat rendah dibandingkan dengan pada saat musim kemarau. Oleh karena itu kuat geser yang dipakai dalam analisis stabilitas lereng harus didasarkan pada kuat geser tanah dimusim hujan atau kuat geser tanah pada saat tanah jenuh.
6. Penataan lahan yang kurang tepat seperti pembukaan areal pemukiman tanpa memperhitungkan kondisi struktur tanah dan kurang memperhatikan lingkungan. Hal ini berlangsung dalam kurun waktu yang lama dapat menyebabkan terjadinya gerakan tanah terutama pada daerah yang mempunyai kemiringan tinggi.

b. Gangguan dalam, yang meliputi:

1. Naiknya berat massa tanah batuan, masuknya air ke dalam tanah menyebabkan terisinya rongga antar butir sehingga massa tanah bertambah.
2. Larutnya bahan pengikat butir yang membentuk batuan oleh air, misalnya perekat dalam batu pasir yang dilarutkan air sehingga ikatannya hilang.
3. Naiknya muka air tanah, muka air dapat naik karena rembesan yang masuk pada pori antar butir tanah yang menyebabkan tekanan air pori naik sehingga kekuatan gesernya turun.
4. Pengembangan tanah, rembesan air dapat menyebabkan tanah mengembang terutama untuk tanah lempung.
5. Pengaruh Geologi

Proses geologi dalam pembentukan lapisan-lapisan kulit bumi dengan cara pengendapan sedimen ternyata memungkinkan terbentuknya suatu lapisan yang potensial mengalami kelongsoran.

6. Pengaruh Morfologi

Variasi bentuk permukaan bumi yang meliputi daerah pegunungan dan lembah dengan sudut kemiringan permukaannya yang cenderung besar, maupun daerah dataran rendah yang permukaannya cenderung datar, ternyata memiliki peranan penting dalam menentukan kestabilan daerah tersebut sehubungan dengan kasus kelongsoran. Secara logis daerah dengan kemiringan besar lebih potensial mengalami kelongsoran dibanding daerah datar, sehingga kasus kelongsoran seringkali ditemui di daerah gunung atau perbukitan, dan pada pekerjaan galian atau timbunan yang memiliki sudut kemiringan besar. Kestabilan lereng terganggu akibat lereng yang terlalu terjal, perlemahan pada kaki lereng

dan tekanan beban yang berlebihan di kepala lereng. Hal tersebut bisa terjadi karena erosi pada kaki lereng dan kegiatan penimbunan atau pemotongan lereng yang dilakukan manusia.

7. Pengaruh Proses Fisika

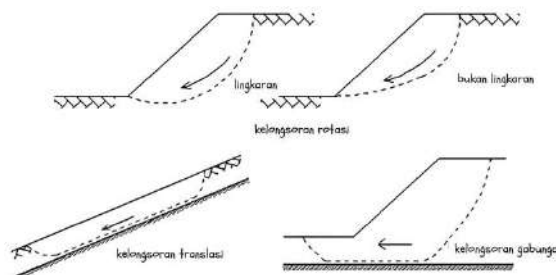
Perubahan temperatur, fluktuasi muka air tanah musiman, gaya gravitasi dan relaksasi tegangan sejajar permukaan, ditambah dengan proses oksidasi dan dekomposisi akan mengakibatkan suatu lapisan tanah kohesif lambat laun tereduksi kekuatan gesernya terutama nilai kohesi(c) dan sudut geser dalamnya(ϕ).

8. Pengaruh Air Dalam Tanah

Keberadaan air dapat dikaitkan sebagai faktor dominan penyebab terjadinya kelongsoran, karena hampir sebagian besar kasus kelongsoran melibatkan air di dalamnya.

2.9 Tipe Keruntuhan Lereng

Dalam kelongsoran rotasi (*rotational slip*) bentuk permukaan runtuh pada potongannya dapat berupa busur lingkaran atau kurva bukan lingkaran. Pada umumnya, kelongsoran lingkaran berhubungan dengan kondisi tanah yang homogen dan longsor bukan lingkaran berhubungan dengan kondisi tidak homogen. Kelongsoran translasi (*translational slip*) dan kelongsoran gabungan (*compound slip*) terjadi bila bentuk permukaan runtuh dipengaruhi oleh adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan. (R.F.Craig, Mekanika Tanah).



Gambar 2.4 Tipe – tipe keruntuhan lereng.

(Sumber: R.F.Craig 1989)

2.10 Sifat Fisik Dan Mekanik Tanah

Dalam merencanakan suatu konstruksi bangunan perlu diperhatikan sifat-sifat fisik dan mekanik tanah. Adapun sifat-sifat fisik dan mekanik tanah yang berkaitan dengan konstruksi adalah sebagai berikut:

1. Kestabilan volume (*volume stability*)

Kestabilan volume tanah berkaitan dengan kembang susut tanah, jika terjadi kembang susut akan terjadi *volume instability* yang berakibat pada:

a. Deformasi

Deformasi pada tanah akan mempengaruhi struktur yang berada di atasnya.

b. Retak (*crack*)

Retak (*crack*) disebabkan oleh beban yang melebihi kapasitas struktur.

2. Tegangan (*strength*)

Tegangan yang dimiliki tanah dipengaruhi oleh kekuatan geser sebagai akibat dari adanya kohesi antar partikel-partikel tanah. Dengan adanya kekuatan geser maka tanah dapat menahan gaya yang arahnya berlawanan dengan kekuatan gesernya. Namun apabila gaya yang bekerja melebihi kekuatan gesernya maka terjadilah keruntuhan lereng.

3. Permeabilitas (*permeability*)

Permeabilitas merupakan kemampuan tanah untuk meloloskan air. Apabila permeabilitas semakin besar maka akan berakibat pada piping *failure*. Dimana butiran-butiran tanah akan ikut terbawa air.

4. Durabilitas (*durability*)

Merupakan ketahanan tanah terhadap proses pelapukan sebagai akibat adanya pergantian iklim, erosi, kelelahan akibat pembebanan berulang-ulang.

2.11 Metode Perbaikan Lereng

Dalam Hardiyatmo (2006) menyatakan bahwa perbaikan stabilitas lereng umumnya dilakukan untuk mereduksi gaya – gaya yang

menggerakkan, menambah tahanan geser tanah atau keduanya. Gaya – gaya yang menggerakkan dapat direduksi dengan cara:

1. Menggali material yang berada pada zona tidak stabil.
2. Mengurangi tekanan air pori dengan mengalirkan air pada zona tidak stabil.
3. Macam – macam metode perbaikan lereng adalah sebagai berikut:
4. Merubah geometri lereng.
5. Mengontrol drainase dan rembesan.
6. Pembuatan struktur untuk stabilisasi.
7. Perlindungan permukaan lereng.

Maksud pembuatan bangunan untuk stabilisasi adalah untuk menambah gaya – gaya yang menahan kelongsoran. Hal ini biasanya dilakukan dengan cara meletakkan masa tanah/ batuan atau dinding penahan di kaki lereng. Pembuatan struktur untuk stabilisasi meliputi pembuatan struktur berm, parit geser, dinding penahan, dan tiang – tiang.

Tipe – tipe struktur dinding penahan yang dapat digunakan untuk memperbaiki stabilisasi lereng meliputi struktur penyangga dari tanah atau batuan, dinding bronjong, dinding tanah bertulang, dinding kantilever, dinding tiang baja, dan dinding diangker (*tie-back*).

2.12 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah merupakan jenis struktur yang dirancang khusus untuk menahan tekanan lateral aktif dari tanah maupun air. Oleh karena itu, struktur ini harus dirancang dengan memperhatikan keamanan agar mampu menahan energi yang dapat menyebabkan kegagalan struktur. Ketika kondisi tanah terganggu, misalnya akibat longsor atau faktor lain, sifat fisik dan mekanik tanah bisa menurun (Maitimu et al., 2025).

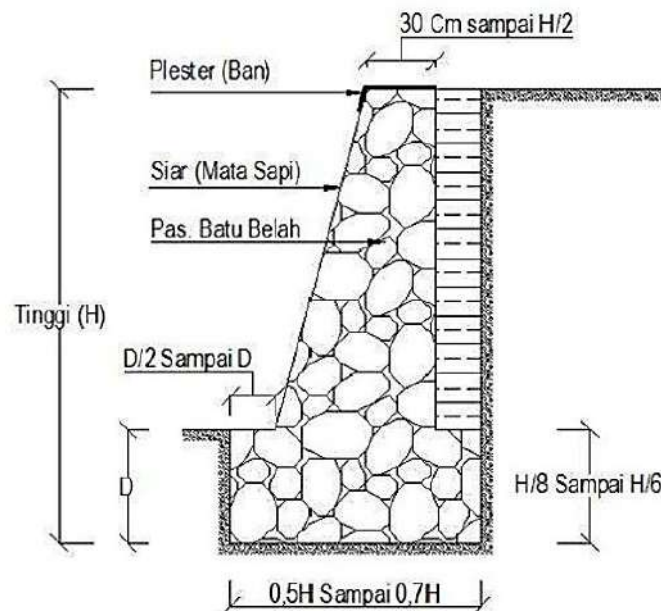
Bangunan dinding penahan tanah (*Retaining Wall*) biasanya di gunakan untuk menahan tekanan lateral yang di timbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang tidak stabil (Septiani et al., 2024). Menurut Ehok (2021) dan Diantoro (2023), kestabilan dinding penahan tanah diperoleh terutama dari berat struktur itu sendiri dan berat tanah yang berada di atas pelat pondasi. Ketika pondasi tanah terganggu akibat beberapa hal tertentu,

seperti beban gempa, mesin yang menghasilkan getaran, peledakan, air tanah atau longsor yang dapat menurunkan sifat fisik dan sifat mekanik dari parameter tanah, akan terjadi kerusakan struktur dan membahayakan jiwa manusia (Dermawan et al., 2022).

Berdasarkan untuk mencapai stabilitasnya, maka dinding penahan tanah dapat digolongkan dalam beberapa jenis, yaitu:

1. Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi (*Gravity Retaining Wall*)

Dinding ini dibuat dari beton tidak bertulang atau pasangan batu, terkadang pada dinding jenis ini dipasang tulangan pada permukaan dinding untuk mencegah retakan permukaan akibat temperature (Hardiyatmo, 2011).



Gambar 2.5 Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi

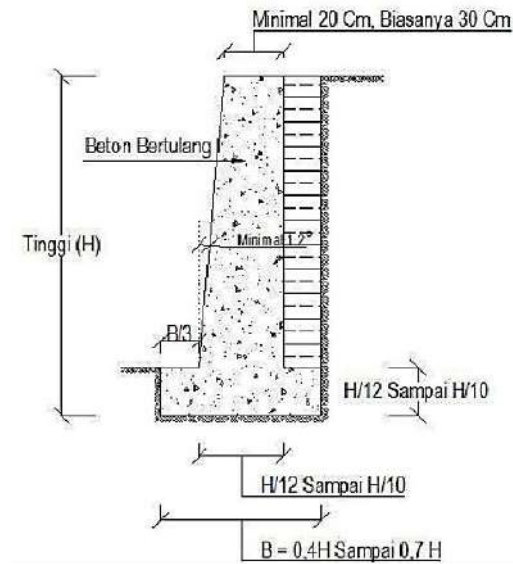
(*Gravity Retaining Wall*).

(Sumber: Huntington, 1961)

2. Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever (*Cantilever Retaining Wall*)

Dinding ini terdiri dari kombinasi dinding dengan beton bertulang yang berbentuk huruf T. Ketebalan dari kedua bagian relatif tipis dan secara penuh diberi tulangan untuk menahan momen dan gaya lintang yang bekerja pada dinding tersebut. Stabilitas konstruksinya diperoleh dari berat sendiri dinding penahan dan tanah diatas tumit tapak (hell). Terdapat 3 bagian struktur yang berfungsi sebagai kantilever, yaitu

bagian dinding vertikal (steem), tumit tapak dan ujung kaki tapak (toe). Biasanya ketinggian dinding ini tidak lebih dari 6-7 meter (Hardiyatmo,2011).



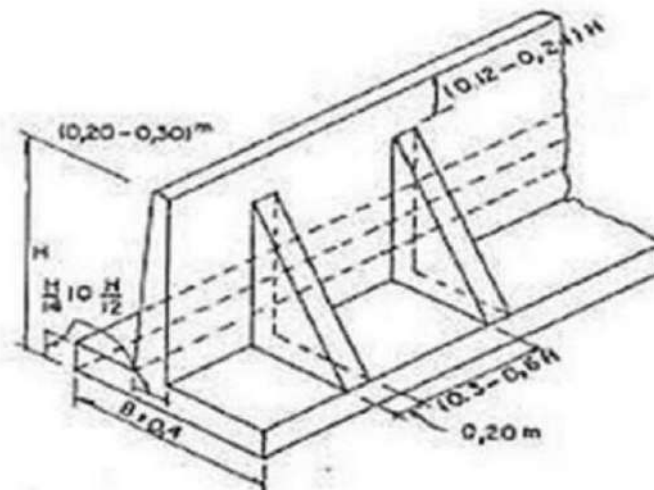
Gambar 2.6 Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever

(*Cantilever Retaining Wall*).

(Sumber: Huntington,1961)

3. Dinding Penahan Tanah Tipe Counterfort (*Counterfort Wall*)

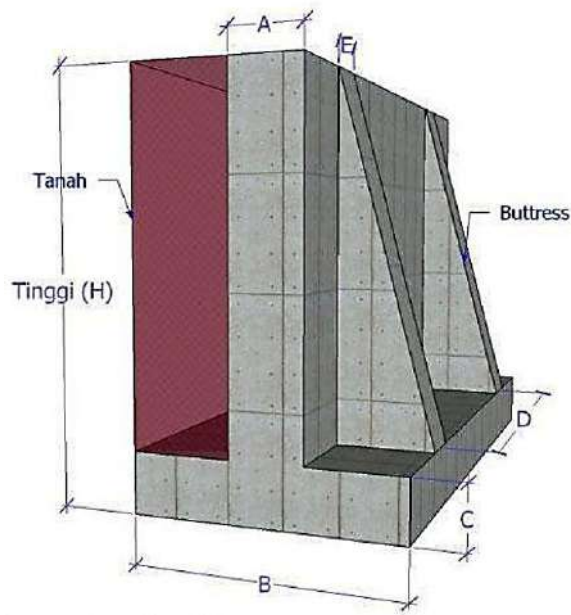
Dinding ini terdiri dari dinding beton bertulang tipis yang di bagian dalam dinding pada jarak tertentu didukung oleh pelat/dinding vertikal yang disebut counterfort (dinding penguat). Ruang di atas pelat pondasi diisi dengan tanah urug. Apabila tekanan tanah aktif pada dinding vertikal cukup besar, maka bagian dinding vertikal dan tumit perlu disatukan (kontrafort). Kontrafort berfungsi sebagai pengikat tarik dinding vertikal dan ditempatkan pada bagian timbunan dengan interval jarak tertentu. Dinding kontrafort akan lebih ekonomis digunakan bila ketinggian dinding lebih dari 7 meter (Hardiyatmo, 2011).



Gambar 2.7 Dinding Penahan Tanah Tipe Kontrafort
(*Counterfort Retaining Wall*).

(Sumber: Huntington, 1961)

4. Dinding Penahan Tanah Tipe Buttress (*Buttress Retaining Wall*)
Dinding Butters hampir sama dengan dinding kontrafort, hanya bedanya bagian kontrafort diletakkan di depan dinding. Dalam hal ini, struktur kontrafort berfungsi memikul tegangan tekan. Pada dinding ini, bagian tumit lebih pendek dari pada bagian kaki. Stabilitas konstruksinya diperoleh dari berat sendiri dinding penahan dan berat tanah diatas tumit tapak. Dinding ini dibangun pada sisi dinding di bawah tertekan untuk memperkecil gaya irisan yang bekerja pada dinding memanjang dan pelat lantai. Dinding ini lebih ekonomis untuk ketinggian lebih dari 7 meter. Kelemahan dari dinding ini adalah penahannya yang lebih sulit daripada jenis lainnya dan pemadatan dengan cara rolling pada tanah di bagian belakang adalah jauh lebih sulit (Hardiyatmo, 2011).



Gambar 2.8 Dinding Penahan Tanah Tipe Buttress
(*Buttress Retaining Wall*).
(Sumber: Huntington, 1961)

2.13 Borepile

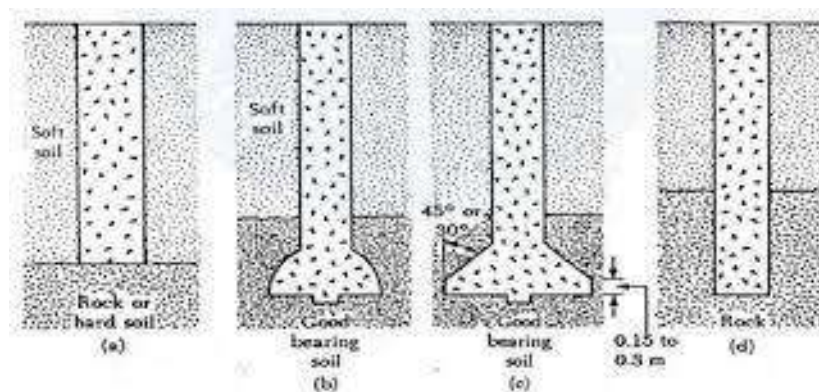
Borepile dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi tulangan dan dicor beton. Tiang ini biasanya, dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik ke atas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan dukung ujung tiang (Gambar 2.2).

Daya dukung *borepile* diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung geser atau selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya adhesi antara *borepile* dan tanah disekelilingnya. *Borepile* berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu *panelizing* tanah yang akurat juga. Ada dua metode yang biasa digunakan dalam

penentuan kapasitas daya dukung *borepile* yaitu dengan menggunakan metode statis dan metode dinamis.

Ada berbagai jenis pondasi *borepile* yaitu:

1. *Borepile* lurus untuk tanah keras;
2. *Borepile* yang ujungnya diperbesar berbentuk bel;
3. *Borepile* yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium;
4. *Borepile* lurus untuk tanah berbatu-batuan.



Gambar 2.9 Jenis-jenis *Borepile*.

(Sumber: *Joseph E. Bowles*)

2.14 Metode Elemen Hingga

Elemen adalah susunan materi yang mempunyai bentuk relatif teratur, dan mempunyai sifat-sifat tertentu yang tergantung pada bentuk fisik, dan materi penyusunnya serta menggambarkan totalitas dari elemen tersebut (Bangun, M., 2011)(Agustinus & Lesmana, 2019). Metode elemen hingga adalah suatu metode pemaparan bagaimana perjalanan aksi hingga timbul reaksi dalam materi, atau metode untuk memperkirakan besar reaksi dan reaksi yang timbul dari materi tersebut. Kontinum dibagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, maka elemen kecil ini disebut elemen hingga.

Menurut SNI 8460-2017, metode elemen hingga digunakan untuk masalah stabilitas lereng yang lebih kompleks, yaitu dengan memodelkan kondisi statik, pseudostatik dan dinamik pada sistem pembebanan total. Dalam Analisis FEM interaksi antar elemen dinyatakan dalam perubahan regangan dan tegangan (*stress* dan *strain*) yang terjadi pada masing-masing elemen akibat beban luar, hal ini yang menjadikan regangan dan tegangan

adalah faktor utama dalam Analisis FEM. Hasil analisis dengan cara elemen hingga, dapat berupa perubahan tegangan dan regangan untuk berbagai sifat elastisitas material, heterogenitas massa tanah dan bentuk geometri. Soil modulus atau modulus tanah, E adalah modulus atau angka yang menghubungkan antara regangan dan tegangan dalam elemen-elemen tanah tersebut (Robbert. D. Cook. 1961). Tergantung dari cara pembebanan seperti loading, un-loading, drained, un-drained, stress level dan statik atau dinamik yang menentukan soil modulus yang tepat untuk dipergunakan dalam Analisis, sehingga pemilihan dan penentuan nilai soil modulus adalah suatu hal yang sangat penting dalam Analisis FEM. Material model yang digunakan yaitu model mohr coloumb, kriteria *failure* mohr coloumb adalah suatu rangkaian persamaan linear dalam pada tegangan utama yang menggambarkan kondisi-kondisi di mana material isotropik akan *failure*, dengan mengabaikan efek dari tegangan menengah (σ_2). Mohr coloumb dapat ditulis sebagai fungsi dari tegangan utama (σ_1) dan tegangan minor (σ_3) dan atau tegangan normal (σ) dan tegangan geser (τ) pada bidang *failure* (Jaeger and Cook 1979). Pada analisis dengan metode pseudostatik, pengaruh gempa digambarkan dengan percepatan horizontal dan atau vertikal. Analisis ini menunjukkan pengaruh seismik dengan percepatan pseudostatik yang menghasilkan gaya inersia, F_h dan F_v yang bekerja pada pusat massa keruntuhan (Brinkgreve et al., 2007). Konsep dasar metode elemen hingga yaitu suatu sistem mendapat gaya luar, kemudian diserap oleh sistem tersebut sehingga menimbulkan gaya dalam dan perpindahan. Mengetahui besarnya gaya dalam dan perpindahan akibat gaya luar, perlu dibentuk suatu persamaan yang mewakili sistem tersebut. Dalam metode elemen hingga keseluruhan sistem dibagi ke dalam elemen elemen dengan jumlah tertentu, yang selanjutnya dibentuk persamaan seperti pada Persamaan 2.4.

$$[K] \{D\} = \{R\} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$[K]$ = matriks kekakuan global

$\{D\}$ = matriks perpindahan global

$\{R\}$ = matriks gaya global

Proses pembentukan Persamaan 2.4 harus memenuhi kondisi berikut:

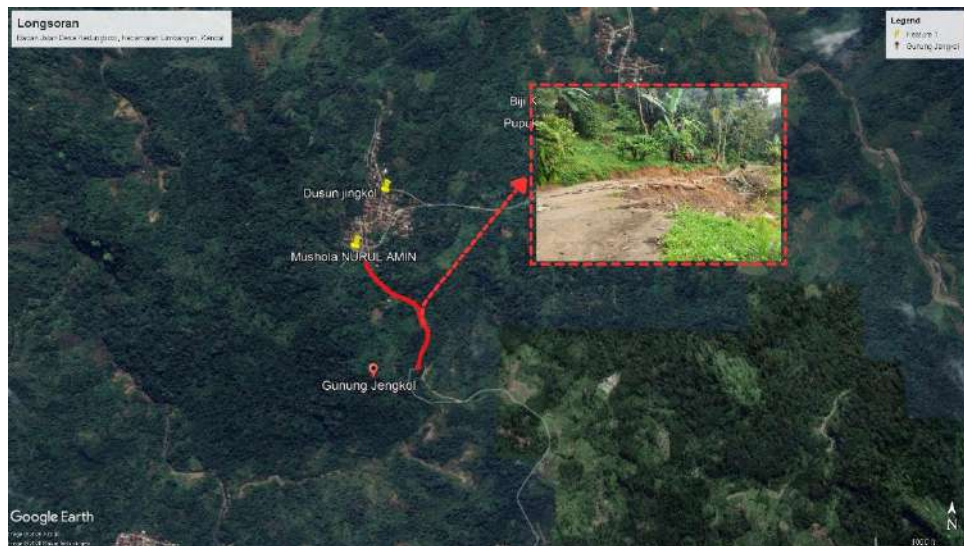
1. Keseimbangan, yaitu keseimbangan gaya gaya yang bekerja pada setiap elemen dan keseluruhan material;
2. Berkaitan dengan geometri dari material yaitu hubungan perpindahan dengan dan regangan;
3. Persamaan konstitutif dari material, mengenai hubungan tegangan regangan yang merupakan karakteristik dari material. (Brinkgreve et al., 2007)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Penelitian yang dilakukan pada lereng di ruas badan jalan Desa Kedungboto, Kecamatan Limbangan, Kabupaten Kendal adalah menganalisis stabilitas lereng menggunakan aplikasi *Plaxis* serta mencari angka aman lereng sebelum dan sesudah diberi perkuatan lereng. Dengan tujuan agar mengetahui kemampuan perkuatan lereng menggunakan dinding penahan tanah dalam menghalangi tekanan lateral dan beban yang disebabkan oleh lalu lintas.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.

(Sumber: *Google Earth*)

3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data sekunder yang di peroleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Kendal, yang berupa data hasil pengujian *Cone Penetration Test* (CPT) . Dari data CPT digunakan sebagai acuan penentuan konsistensi tanah berdasarkan nilai q_c yang telah diolah sesuai dengan kebutuhan penelitian dan data potongan melintang. Pada data parameter tanah, berbagai jenis tanah pada setiap lapisan dapat diketahui dengan pembagian klasifikasi tanah yang mengacu kepada *system* klasifikasi tanah *unifed*. Data pengujian

tanah dan data klasifikasi tanah yang telah diperoleh dapat dilihat pada tabel 5.1 halaman 74.

3.3 Metode Analisis

3.3.1 Pembebanan Pada Lereng

Dalam menganalisis stabilitas lereng sangat diperlukan suatu data beban yang bekerja di atas lereng tersebut. Dalam kasus ini, beban yang akan bekerja di atas lereng adalah beban konstruksi jalan, karena beban tersebut akan sangat berpengaruh terhadap kestabilan suatu lereng.

3.3.2 Beban Merata

Beban lalu lintas ditambahkan pada seluruh lebar permukaan dan besarnya ditentukan berdasarkan kelas jalan yang diberikan pada tabel 3.3. Beban lalu lintas untuk analisis stabilitas dan beban di luar jalan.

Tabel 3.3 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

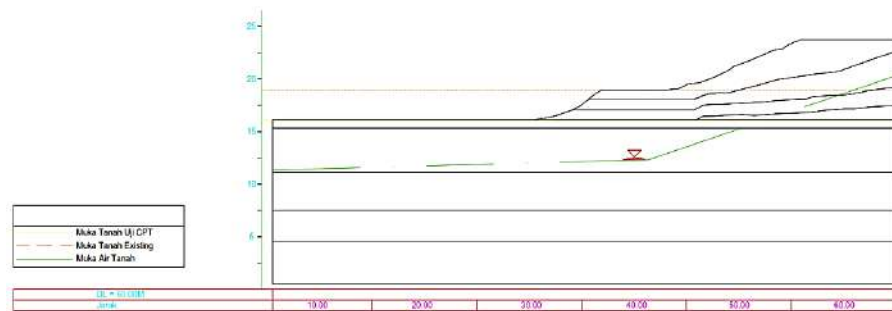
Kelas Jalan	Beban lalu lintas (kPa)	Beban di luar jalan (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

Sumber: SNI 8460 – 2017

3.3.3 Perencanaan Permodelan Lereng

Kondisi asli dalam permodelan awal pada lereng sebelum terjadi longsoran dan diberi muka air. Dalam perencanaan permodelan lereng ini dibuat dari data sket lapangan kondisi lereng asli adapun data yang didapatkan antara lain:

Lebar badan jalan : 6 m
Tinggi lereng : 3.5 m
Panjang lereng : 47 m
Sudut kemiringan lereng : 18°



Gambar 3.2 *Cross section Lereng.*

(Sumber: Data *Surveyor* Penyedia Jasa)

3.4 Analisis Dengan Metode Elemen Hingga program *Plaxis*

Plaxis (Finite Elemen Code for Soil and Rock Analyses) merupakan suatu rangkuman program elemen hingga yang telah dikembangkan untuk menganalisis deformasi dan stabilisasi geoteknik dalam perencanaan-perencanaan sipil (Wulandari, 2021). Grafik prosedur-prosedur input data (*soil properties*) yang sederhana mampu menciptakan model-model elemen hingga yang kompleks dan menyediakan output tampilan secara detail berupa hasil-hasil perhitungan. Perhitungan program ini seluruhnya secara otomatis dan berdasarkan pada prosedur-prosedur penulisan angka yang tepat. Konsep ini dapat dikuasai oleh pengguna baru dalam waktu yang relative singkat setelah melakukan beberapa latihan (*Plaxis*, 2012) Dalam metode ini, parameter kekuatan geser tanah yang tersedia berturut turut direduksi secara otomatis hingga kelongsoran terjadi. Sehingga faktor aman (SF) stabilitas lereng menjadi:

$$\sum_{sf} \tan \varphi_{input} / \tan \varphi_{reduksi} = C_{input} / C_{reduksi}$$

Dengan:

C_{input} = kohesi tanah (kN/m²)

φ_{input} = sudut geser dalam tanah (°)

C_{input} = kohesi tanah tereduksi (kN/m²)

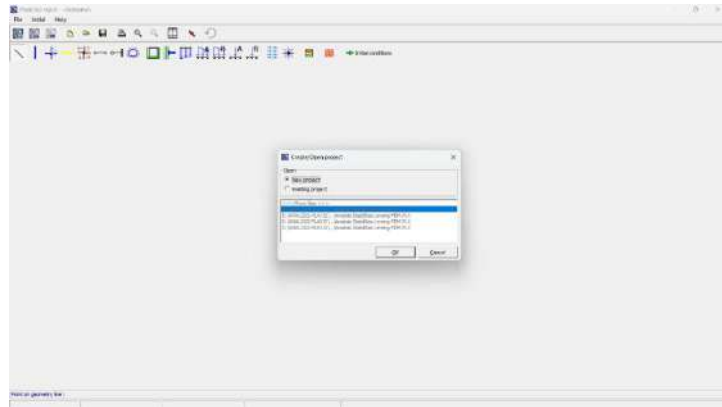
φ_{input} = sudut geser dalam tereuksi (°)

3.5 Prosedur Menggunakan Program *Plaxis* V 8.6

3.5.1 Program *Input*

Dijalankan dengan klik ganda pada ikon *Plaxis Input* kelompok program *PLAXIS Version 8.6*. Akan muncul *Create/Open project*, pilih

New project pada *box Open* dan klik <OK>, jendela *General Setting* akan muncul yang terdiri dari dua lembar tab (*tab sheet Project* dan *Dimensions*).

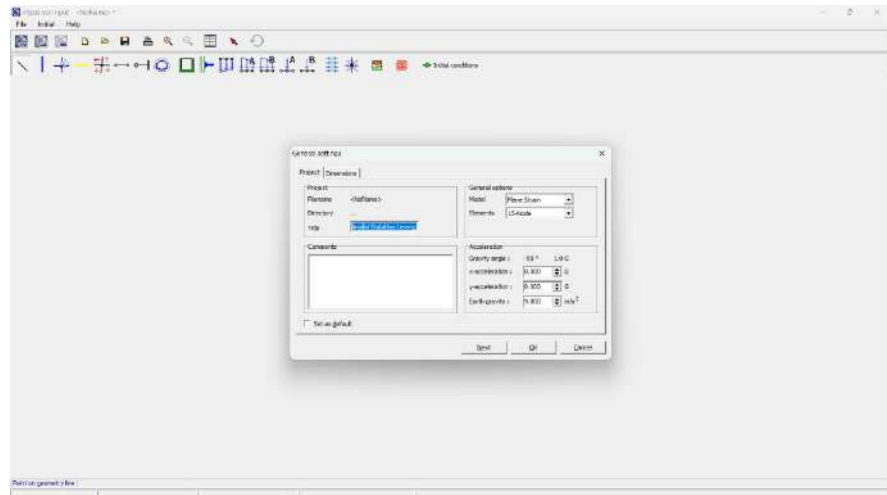


Gambar 3.3 *Create atau Open Project.*

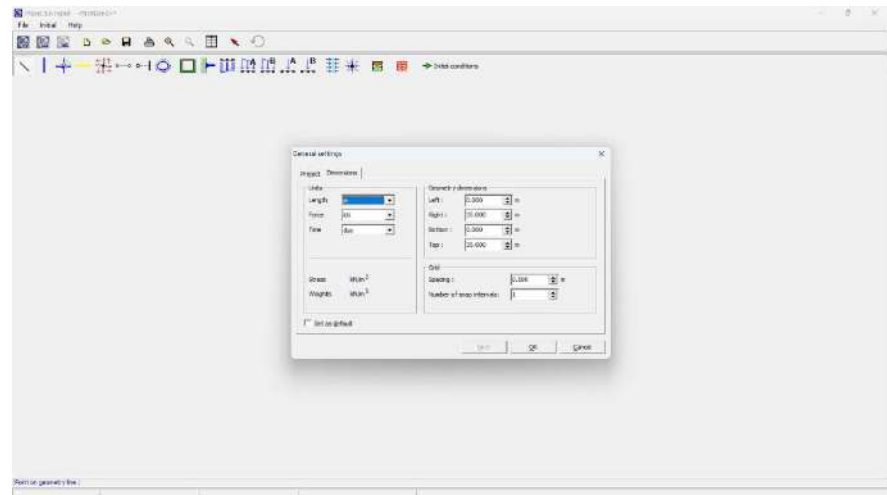
General Settings

Langkah paling awal dari setiap analisis adalah membuat parameter dasar dari metode elemen hingga. Tahap ini dilakukan pada jendela *General Setting* yang mencantumkan tipe analisis, tipe elemen, *basic unit*, dan ukuran bidang gambar. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Memberikan judul proyek pada *boxTitle* dan keterangan pada *boxComments*.
2. Spesifikasikan pada *boxGeneral* tipe analisis dan tipe elemen. Untuk kasus ini dipilih model *Plane strain* dan tipe elemen memakai 15 nodal (*15 node*).
3. Nilai-nilai pada *tab sheet dimension* sesuai dengan *default* di *boxUnits* (*Length* = m, *Force* = kN, *Time* = day).
4. Memasukan nilai-nilai yang diperlukan pada *boxGeometry dimensions*.
5. Memasukkan nilai-nilai *Grip* untuk *Spacing* (besar kecilnya spacing bergantung pada nilai ketelitian berapa angka dibelakang koma yang diinginkan dan 1 untuk *Number of intervals*).
6. Menekan <OK> untuk konfirmasi penyetingan.



Gambar 3.4 Lembar *Tab Project* dari jendela *General Settings*.



Gambar 3.5 Lembar *Tab Dimensions* dari jendela *General Settings*.

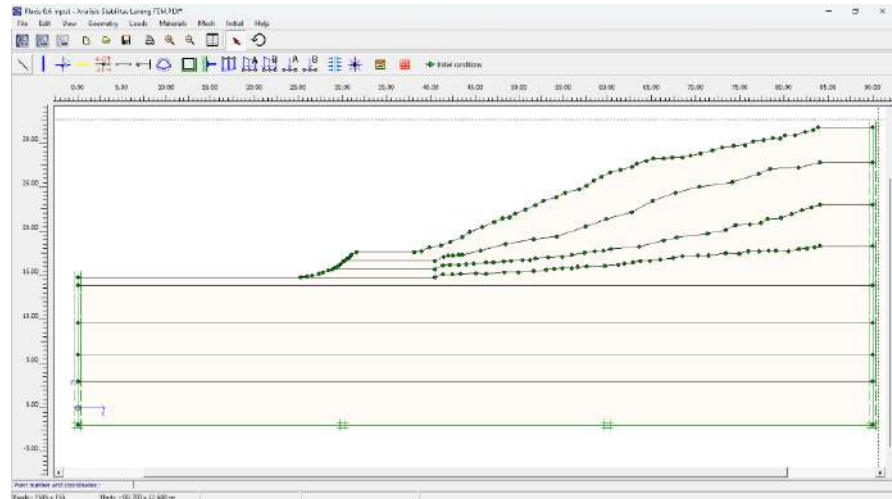
Geometry Contour

Apabila tahap pengisian *General settings* telah selesai maka bidang gambar akan muncul dengan sumbu x dan y. Sumbu x menuju arah kanan (horisontal) dan sumbu y ke arah atas (vertikal). Untuk membuat objek gambar dapat dipilih dari tombol ikon pada *toolbar* atau dari menu *Geometry*.

Langkah-langkah pembuatan sebagai berikut:

1.  Pilih *Geometry line*.
2. Klik tombol *mouse* sebelah kiri pada titik-titik geometri sampai terbentuk sebuah *cluster* dengan kembali pada titik asal.

3. Untuk membuat *cluster* baru, ulangi langkah yang sama agar terbentuk *cluster-cluster* yang diinginkan.
4. Klik tombol kanan pada *mouse* untuk berhenti menggambar.



Gambar 3.6 Penggambaran model menggunakan *Geometry line*.

Boundary Conditions

Ikon *Boundary Condition* bisa dicari di bagian tengah *toolbar* atau di menu *Loads*. Prinsipnya, semua batas harus mempunyai satu kondisi batas (*boundary conditions*) pada tiap arah. Jika suatu model tidak diberi *boundary conditions* maka kondisi alamiah akan terjadi di mana gaya yang ditentukan sama dengan nol dan terjadi *free displacement*.

Tahapan pembuatannya dilakukan sebagai berikut:

1.  Tekan ikon *Standard Fixities* pada *toolbar* atau pilih *Standard Fixities* dari menu *Loads* untuk memilih *standard boundary conditions*.
2. Program *PLAXIS Version 8.6* akan membentuk jepit pada dasar geometri dan kondisi nol pada dasar geometri ($U_x = 0$, $U_y = \text{free}$).

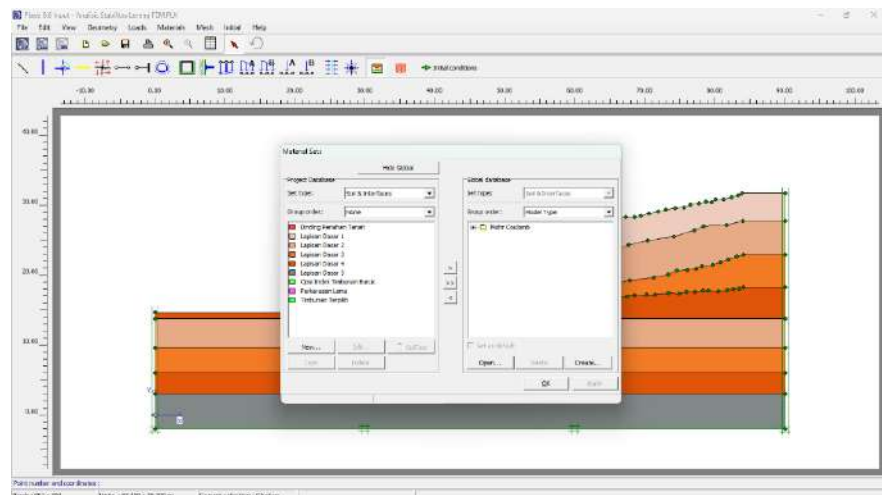
Material Data Set

Simulasi sifat tanah pada geometri perlu dilakukan agar dapat dilakukan analisis elemen hingga. Program *PLAXIS Version 8.2* dilengkapi dengan Project Database mengenai material tanah dan

struktur (*Soil & Interfaces, Plates, Geogrids, dan Anchors*). Namun pengguna program ini dapat juga memasukkan database sesuai kebutuhan. Tahapan pendefinisian material tanah dilakukan setelah tahap pemberian *boundary conditions*. Sebelum dilakukan meshing pada geometri, *cluster-cluster* pada geometri sudah didefinisikan jenis materialnya.

Tahapan untuk memasukkan data tanah sebagai berikut:

1.  Pilih ikon *Material Sets* pada *toolbar*.
2. Klik tombol <New> di bagian bawah *window* dari *Material Sets*. *Dialog box* yang baru akan muncul dengan tiga buah *tab sheet* (*General, Parameters, dan Interface*).
3. Ketikkan nama *material boxIdentification*.
4. Pilih model material pada box *Material model* dan tipe material pada box *Material type*.



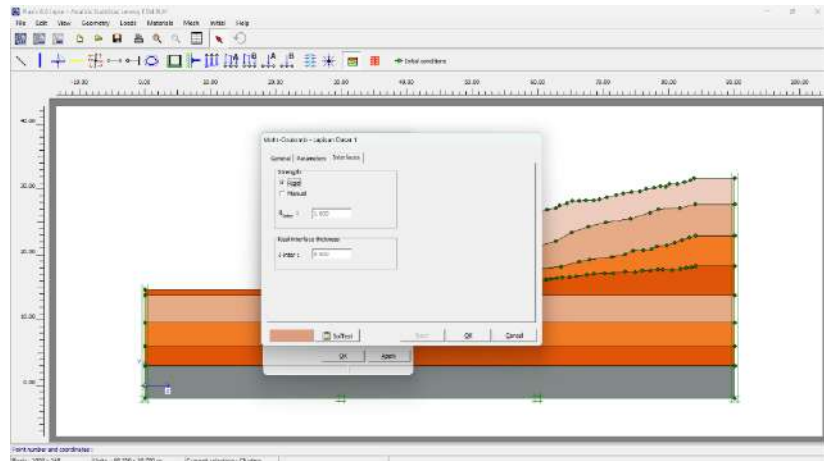
Gambar 3.7 *Material Sets*

Perilaku tanah di bawah beban umumnya bersifat *non-linier*. Perilaku ini dapat dimodelkan dengan berbagai persamaan, diantaranya *model Linear Elastic, MohrCoulomb, Soft soil model, Hardening soil model, Soft soil creep model, Jointed Rockmodel, dan User-definedmodel*. Pada analisis ini digunakan model *Mohr-Coulomb* yang memerlukan lima buah parameter yaitu modulus elastisitas (E_{ref}), *Poisson's Ratio* (ν), kohesi (c_{ref}), sudut geser tanah

Cara memasukkan nilai-nilai yang sesuai dari data yang didapatkan:

-

Gambar 3.9 Lembar *Tab Parameters* dari Jendela *Material Sets*.



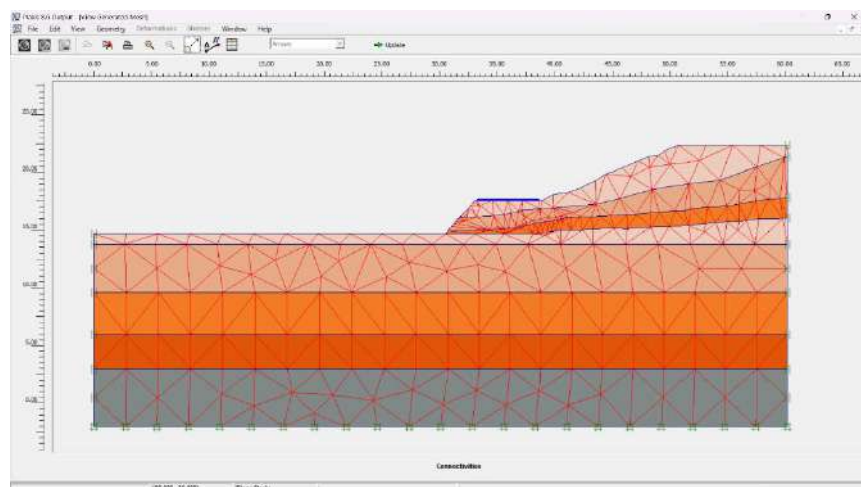
Gambar 3.10 Lembar *Tab Interface* dari Jendela *Material Sets*.

Generate Mesh

Program *PLAXIS* Version 8.6 dapat membangun jaringan (*mesh*) secara otomatis, di mana jaringan-jaringan tersebut membagi geometri menjadi beberapa elemen. Pembuatan jaringan elemen berdasarkan prinsip triangulasi yang akan membentuk jaringan yang kokoh dan jaringan tersebut bentuknya tidak teratur (*unstructured mesh*).

Untuk melakukan mesh dilakukan tahap:

1.  Tekan tombol ikon *Generatemesh* pada *toolbar* atau pilih lewat opsi *Generate* dari menu *Mesh*. Sebuah window baru akan muncul dan memperlihatkan bentuk *mesh* dari model.
2. Tekan tombol <Update> untuk kembali ke model *Geometry input*.

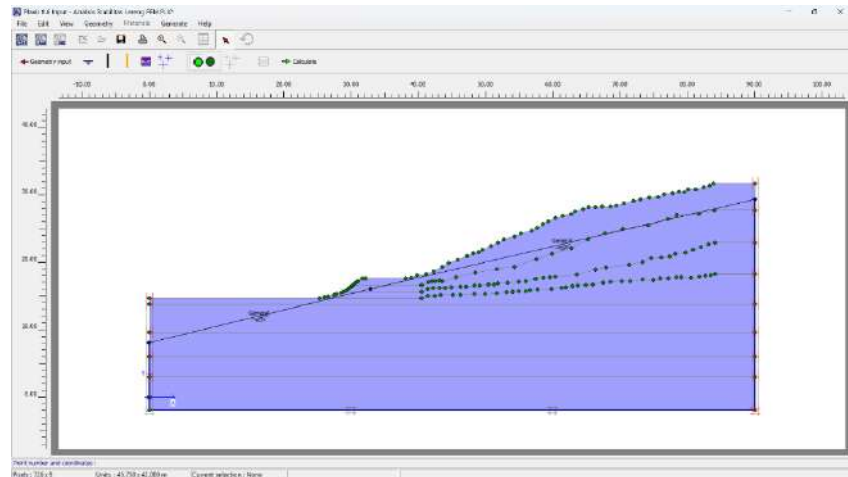


Gambar 3.11 Lembar *Tab Generate Mesh*.

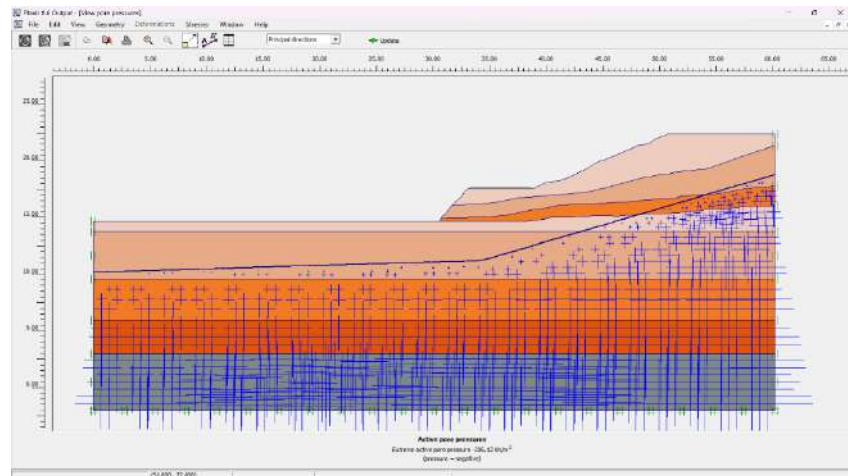
Initial Condition (Kondisi Awal)

Initial condition berfungsi untuk mendefinisikan keadaan awal geometri sebelum dilakukan tahap perhitungan. Keadaan awal meliputi kondisi air tanah awal (*Initial ground water condition*), konfigurasi awal dari geometri, dan keadaan awal tegangan efektif. Pengaktifan tegangan awal dengan cara *Gravity loading* tidak dapat dilakukan melalui menu *Initial conditions*. Pengaktifan dilakukan di tahap perhitungan. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

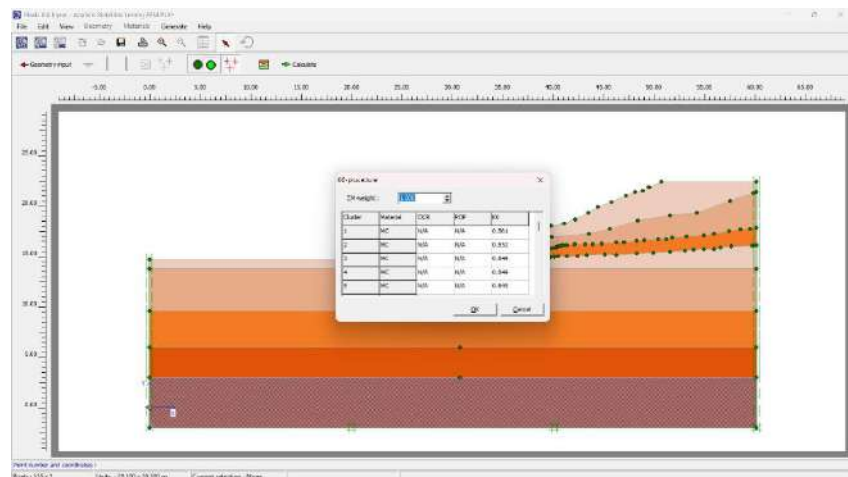
1.  Tekan tombol *Initial conditions* pada *toolbar* atau pilih opsi *Initial conditions* dari menu *Initial*.
2. Akan muncul *window* yang menunjukkan nilai *default* untuk berat jenis air 10 kN/m tekan <OK> untuk menerima nilai *default* tersebut, setelah itu muncul *mode Ground water conditions*.
3.  Kliklah tombol *Generate water pressures* pada *toolbar* sehingga *window Water pressure generation* terlihat. Pilih *Phreatic line* pada kotak *Generate by* lalu klik <OK>.
4. Hasilnya ditampilkan dalam *output window*. Klik <Update> untuk kembali ke *model groundwater conditions*.
5.  Tekan tombol *switch* untuk menuju model *Geometry configuration*.
6.  Tekan tombol *Generate initial stresses* untuk mengaktifkan *K0-Procedure*.



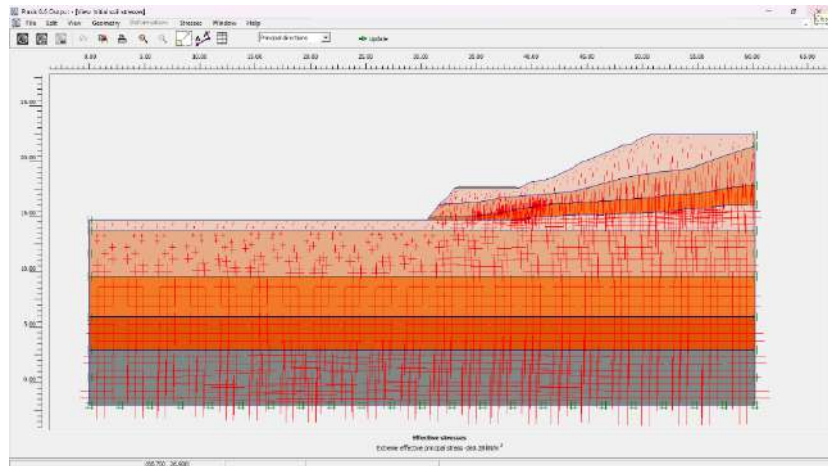
Gambar 3.12 *Initial Conditions.*



Gambar 3.13 *Active Pore Pressures.*



Gambar 3.14 *K0-procedure.*



Gambar 3.15 *Effective Stresses.*

3.5.2 Program Calculation

Tahapan perhitungan dimulai setelah menekan tombol <Calculate> dan menyimpan data *input* pada tahap pemasukkan data. Program penghitungan digunakan untuk mendefinisikan dan mengeksekusikan fasa-fasa perhitungan.

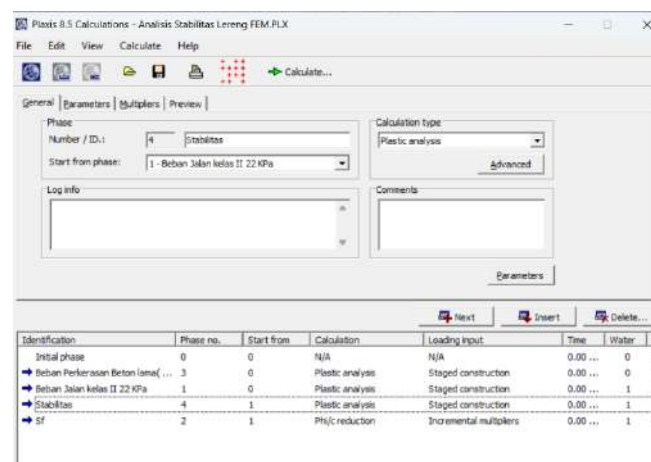
Simulasi pemodelan dapat dibagi menjadi beberapa tahap atau fasa perhitungan:

1. Pada *tab sheetGeneral* pilih *Plastic* pada *combo box* dari *Calculation type*.
2. Pada kotak Number / ID beri nama phase 1 dengan *Mwiegth Initial Condition*. Tahap awal dari analisis digunakan untuk menghitung tegangan-tegangan awal akibat berat sendiri massa tanah dan tegangan horisontal. Permukaan potongan melintang model yang di Analisis, bentuknya tidak horisontal (*non-horizontal surface*) sehingga untuk mencari tegangan dan regangan awalnya digunakan cara *Mwiegth Initial Condition*. Metode ini digunakan untuk menghitung tegangan awal dengan cara memasukkan beban tanah pada tahap perhitungan, oleh karena itu default dari program yang memakai persamaan Jaky ($K_0 = 1 - \sin \phi$) tidak diperlukan dalam mencari regangan dan tegangan awal dari model elemen hingga.

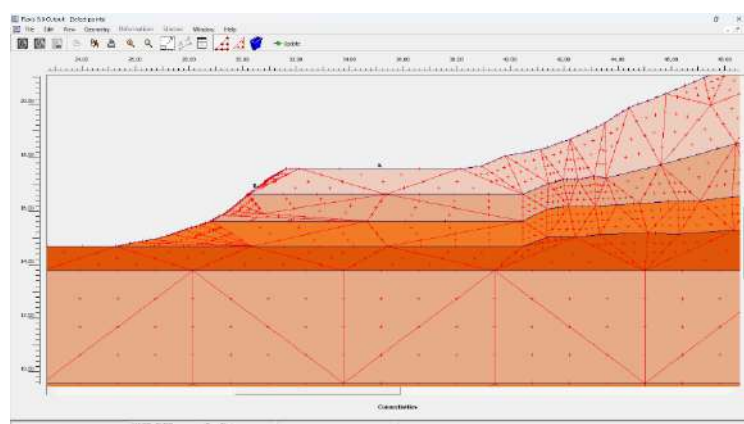
Tahapan perhitungan sebagai berikut:

1. *Tab sheet Parameters*, pada *tab sheet* ini terdapat parameter-parameter untuk mengontrol perhitungan. Berikan nilai pada *box Additional Step* = 250 dari *Control parameters* dan tanda centang *Delete intermediate steps*. Biarkan *Standart setting* pada *Iterative procedure*.
2. Pada kotak *Loading input* pilih *Staged constraction*, kemudian isi *time interval* = 14 *day*, tekan tombol <Define> untuk mengaktifkan atau nonaktifkan *Material Sets*.
3. *Tab sheet Multiplier* sesuai *default*.
4. Pada *tab sheet Preview* dapat digunakan untuk menunjukkan kondisi aktual dari geometri. *Preview* hanya tersedia setelah perhitungan dilakukan pada tahapan tersebut, lalu tekan tombol <Next>.
5. Kemudian dilanjutkan fasa konsolidasi, dengan memilih *consolidation* pada kotak *Calculation type*. Berikan nilai pada *box Additional Step* = 250 dari *Control parameters*. *Delete intermediate steps* dan *Reset displacement to zero* sesuai *default*. Biarkan *Standart setting* pada *Iterative procedure*.
6. Pada kotak *Loading input* pilih *Staged constraction*, kemudian isi *time interval* = 1825 *day* untuk perencanaan konsolidasi *Long Term* selama 5 tahun, kemudian tekan tombol <Define> untuk mengaktifkan atau nonaktifkan *Material Sets*.
7. *Tab sheet Multiplier* sesuai *default*, lalu tekan tombol <Next>.
8. Nilai faktor keamanan dari fasa *Gravity loading* dicari dengan tipe perhitungan *Phi/c reduction*, beri nama fasa tersebut sebagai SF (*Safety Factor*).
9. Pada *combo box Calculation type* pilih *Phi/c reduction*. Periksa pada *combo box Start from phase* harus dimulai dari fasa 1-*Gravity loading*.

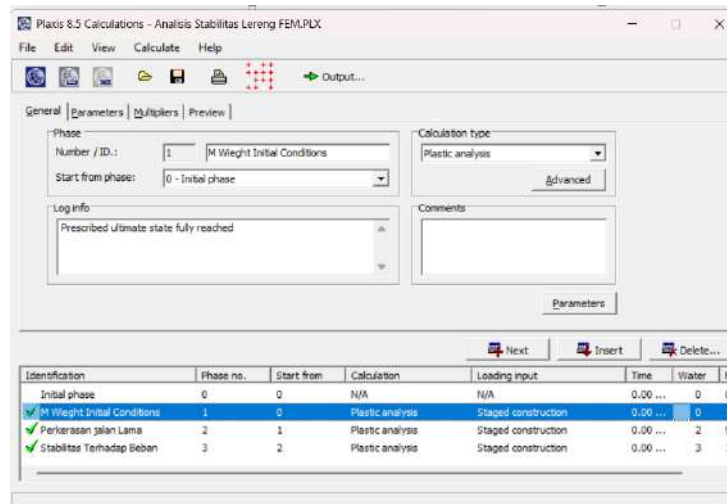
10. Pilih *tab sheet Parameters*, pada *Additional Steps* untuk memberikan gambaran detail pada output berikan nilai yang lebih rendah dari nilai default. Saat memberi nilai pada *Additional Steps* dan dilakukan *Trial and Error* didapatkan kegagalan, kemudian dicoba untuk memberikan nilai, yaitu 700. Beri tanda centang pada *Reset displacement to zero*, tekan tombol <Define>.
11. Pada *tab sheet Multipliers* biarkan semua nilai *default* yang ada. Nilai *Msf* pada *Incremental loading* = 0,10000.
12. Tekan tombol <Calculate> untuk memulai perhitungan Phase tersebut. Fase-fase yang akan dihitung diberi tanda anak panah biru di depan tulisan *Phase*, yang akan menjadi centang atau conteng hijau apabila perhitungan sukses dilakukan.



Gambar 3.16 Tahapan Kalkulasi.



Gambar 3.17 Menentukan Titik Monitoring.



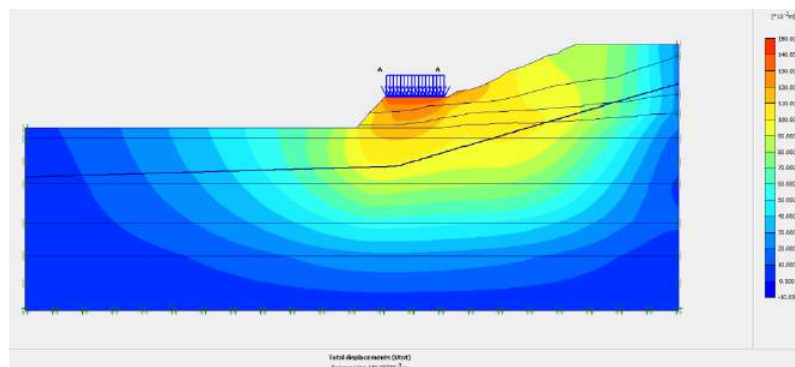
Gambar 3.18 Hasil Kalkulasi.

3.5.3 Program *Output*

Apabila proses perhitungan telah selesai kita bisa melihat hasil berupa gambar dan nilai-nilai hasil proses perhitungan dengan menekan tombol <Output>.

Tahapan Output sebagai berikut:

1. Klik tombol *File* pilih *Open* dan buka *file* yang ingin dilihat *output* hasil perhitungannya.
2. Kita bisa melihat gambar *output* berupa *deformasi*, *incremental* atau *diagram momen*, geser, dan lain sebagainya.
3. Dengan mengubah *arrows* ke *shading* pada gambar *incremental displacement* kita bisa mendapatkan gambaran informasi mengenai bidang gelincir yang bisa diaplikasikan pada geometri.



Gambar 3.19 Hasil Kalkulasi.

3.5.4 Program *Curve*

Pada tahap ini program *cuve* bisa digunakan untuk menggambar kurva beban atau waktu terhadap *displacement* (perpindahan), diagram tegangan - regangan dan garis tegangan atau garis regangan dari titik yang sudah dipilih dan dimodelkan secara *geometric* kurva ini menggambarkan perkembangan dari beberapa perhitungan selama berbagai *phase* (tahapan) perhitungan, dan memberikan tanda secara global atau *local* dari perilaku tanah. Untuk mendapatkan nilai faktor keamanan pada titik titik yang ditinjau tekan tombol *Curve*. Langkah-langkah pembuatan kurve sebagai berikut:

1. Klik tombol *New chart* untuk file yang baru atau *Existing chart* kemudian <OK>. Bisa juga open file pada grafik yang telah disimpan.
2. Untuk sumbu x biarkan sebagai nilai *displacement*, sumbu y sebagai multiplier atau Sum-Msf untuk Analisis faktor keamanan.
3. Pilih titik yang ingin ditinjau pada kombo boks point.
4. Klik <OK>.

Jenis perhitungan yang digunakan yaitu *plastic*. Untuk loading input pada parameter tipe *plastic* adalah *staged constraction*. Setelah tahap-tahap konstruksi tersusun, Langkah selanjutnya adalah memilih tombol <*Calculate*> sehingga diperoleh output.

3.6 Analisis Hasil

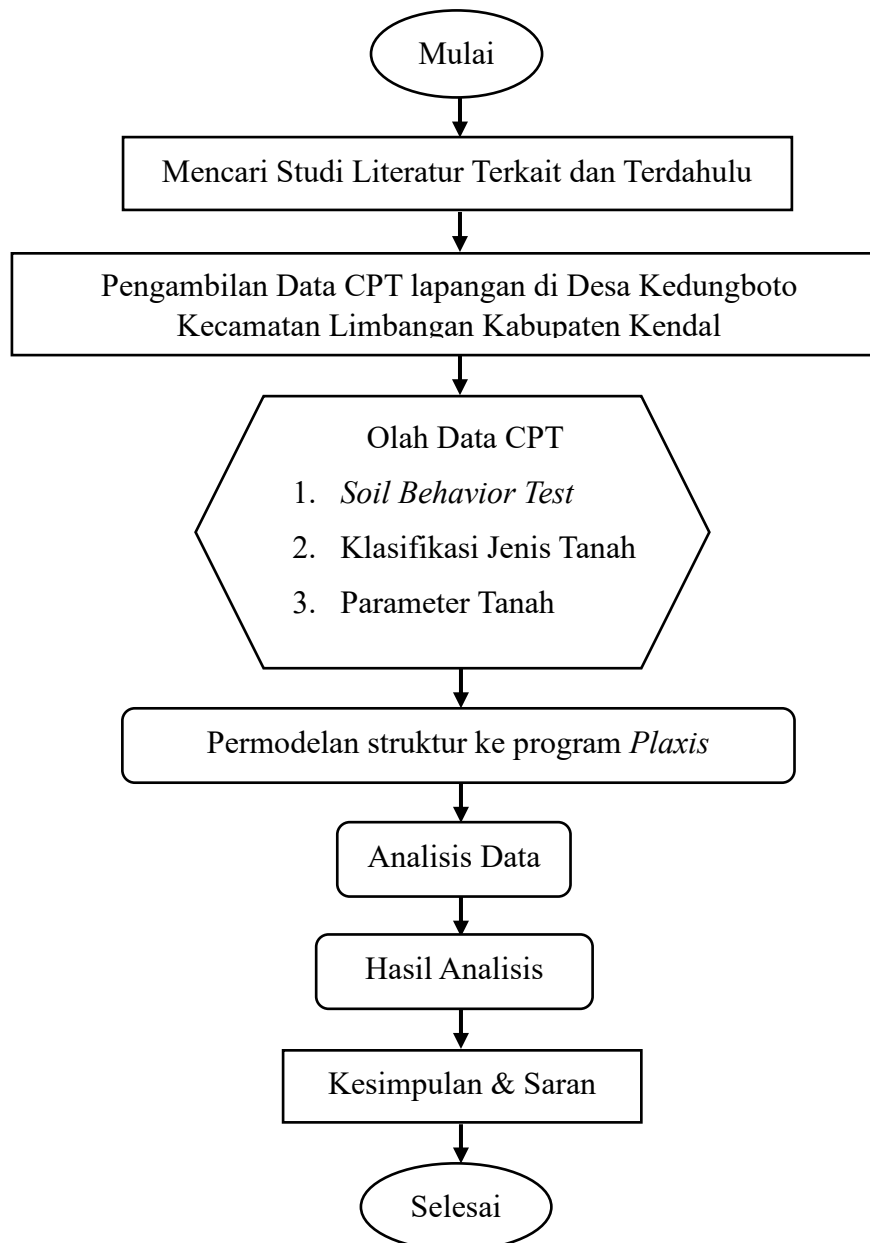
Metode analisis hasil adalah tahapan proses penelitian dimana data yang sudah dikumpulkan dikelola. Pengolahan data ini dilakukan agar mudah dipahami, kemudian membuat informasi berdasarkan sampel data yang dibuat. Analisis stabilitas lereng dihitung menggunakan kekuatan dinding penahan tanah (*retaining wall*) dengan program *Plaxis V 8.6*. Yang diharapkan dari perhitungan tersebut akan ada hasil analisis yang akurat dari penggunaan program bantu yakni:

1. Menghitung nilai keamanan lereng pada kondisi awal lereng.
2. Menghitung nilai keamanan lereng setelah diberi kekuatan dinding penahan tanah tanpa pondasi *borepile*

3. Menghitung nilai keamanan lereng setelah diberi perkuatan dinding penahan tanah dengan daya dukung pondasi *borepile*.
4. Menghitung besar penurunan tanah (*settlement*) yang terjadi pada ruas badan jalan setelah masa konstruksi selesai.

3.7 Bagan Alir Penelitian

Secara ringkas langkah-langkah Analisis terdapat dalam diagram dibawah ini:



Gambar 3.20 Bagan Alir Penelitian.

Berdasarkan Gambar 3.7 berikut ini merupakan uraian mengenai alur dalam melakukan penelitian antara lain:

1. Mencari Studi Literatur terdahulu

Merupakan tahap awal yang dimulai dengan studi literatur untuk mencari teori-teori yang berhubungan dengan masalah penelitian.

2. Pengambilan data CPT di lokasi kasus kelongsoran

Tahap kedua Analisis adalah mendapatkan data sekunder dengan melakukan pengujian tanah di lokasi proyek dengan menggunakan *Cone Penetration Test* (CPT) atau uji sondir. Pada alat uji sondir terdapat alat yang berbentuk kerucut (*conus*), alat ini disambung dengan pipa sondir dan dimasukkan kedalam tanah dengan cara memutar engkel agar pipa tersebut masuk dalam tanah. Pada saat diputar sampai kedalam 20 cm kemudian dihentikan dan dilakukan pembacaan nilai *conus* dan hambatan pelekak yang terdapat pada manometer. Demikian seterusnya dilakukan dan setiap turun 20cm dilakukan pembacaan manometer hingga sampai pada kedalam tanah keras atau kedalaman dimana didapatkan nilai perlawanan $\text{conus} \geq 150 \text{ kg/cm}^2$ (Mahmudi, 2023).

3. Pengolahan data CPT

Pengolahan data dari Hasil dari uji sondir berupa data *conus* dan hambatan pelekak selanjutnya dianalisis untuk mendapat paramater data tanah pada setiap kedalamannya, yakni berupa nilai perlawanan *conus* (*qc*), jumlah hambatan lekat (*JHL*), dan *Friction Ratio* (*FR*). Kemudian data *qc*/Pa dan %*FR* dimasukkan kedalam grafik *Soil Behavior Test* (*SBT*) Robertson dan akan didapatkan titik temu antara nilai tersebut yang menunjukkan *SBT* dari lapisan yang didefenisikan tersebut. Kemudian untuk mendefenisikan konsistensi tanah dilihat dengan menggunakan table hubungan antara nilai *qc* dengan konsistensi tanah. Hubungan antara konsistensi tanah dengan *qc* ditentukan juga dari jenis tanah, sehingga harus diperhatikan jenis *SBT* pada saat penggunaan table konsistensi tanah (Syuhada et al., 2024).

4. Permodelan struktur ke program *Plaxis*

Pemodelan struktur di *Plaxis* 2D menggunakan metode elemen hingga untuk menganalisis interaksi tanah-struktur, seperti pondasi, galian, atau dinding penahan. Prosesnya melibatkan penggambaran geometri, penetapan material tanah dan struktur (beban/elemen), pembuatan mesh, hingga penentuan tahapan konstruksi. *Plaxis* memodelkan deformasi dan stabilitas dengan akurat.

5. Analisis Data

Analisis stabilitas lereng menggunakan program *Plaxis* terdiri dari dua analisis, yaitu:

- a. Perhitungan stabilitas lereng menggunakan *type* material *Mohr-Coulomb*.
- b. Perhitungan stabilitas lereng menggunakan *type* material *hardening soil*.

6. Hasil Analisis

Hasil analisis dari program *Plaxis* yaitu:

- a. Nilai keamanan stabilitas lereng kondisi awal atau tanpa perkuatan.
- b. Nilai keamanan stabilitas lereng menggunakan dinding penahan tanah tanpa daya dukung pondasi *borepile*.
- c. Nilai keamanan stabilitas lereng menggunakan dinding penahan tanah dengan daya dukung pondasi *borepile*.
- d. Besar penurunan yang terjadi pada ruas badan jalan setelah diberi perkuatan.

7. Pembahasan hasil analisis

Tahap ini merupakan pembahasan dari hasil analisis yang telah didapatkan. Dari tahap ini dapat dibuat kesimpulan akan hasil yang didapat serta memberikan saran jika diperlukan.

3.8 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Perbandingan penelitian yang akan dilakukan dengan beberapa penelitian terdahulu lebih jelasnya akan di sajikan dalam table, dapat di lihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang.

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
1	ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN DENGAN MEMBANDINGKAN BRANKAL DAN GEOTEKSTIL	Adhi, et.al (2023)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	Dari 2 hasil Analisis diatas didapatkan bahwa settlement terkecil dengan menggunakan penanganan Geotekstil 2 lapis. Sedangkan hasil factor keamanan lereng dengan menggunakan penanganan brankal pada konsolidasi 1 tahun sebesar 1,475 dan factor keamanan konsolidasi 10 tahun sebesar 1,478 belum sesuai dengan kriteria desain sebesar 1,5.
2	Pendekatan Teknis Beberapa Alternatif Penanganan Stabilitas Lereng dan Timbunan Oprit Jembatan Akibat	Adhi, et.al (2025)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	Hasil dari berbagai alternatif penanganan antara lain dengan menggunakan penanganan Replacement 2 meter + 3.5 meter Selected Material + Retaining Wall + 4 Lapis Geotextile

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
	Keterbatasan Lahan			PP 50 + Preloading 2 meter di dapatkan penurunan 1 tahun Adalah 8,7 cm dan penurunan 10 tahun adalah 10,7 cm. factor keamanan pada tahapan 1 tahun Adalah 2,085 dan pada tahapan 10 tahun Adalah 2,027. Penanganan dengan PVD Int. 1 meter + PHD + 3.5 meter Selected Material + Retaining Wall + 4 Lapis Geotextile PP 50 + Preloading 2 meter di dapatkan penurunan 1 tahun Adalah 9.0 cm dan penurunan 10 tahun adalah 11,1 cm. factor keamanan pada tahapan 1 tahun Adalah 1,908 dan pada tahapan 10 tahun Adalah 1,947. Penanganan dengan Slab On Pile dengan <i>Borepile</i> D800 Int. Melintang 5 meter, Int. Memanjang 3 meter di dapatkan penurunan 1 tahun Adalah 1.0 cm dan penurunan 10 tahun adalah 1,30 cm. factor

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
				keamanan pada tahapan 1 tahun Adalah 1,545 dan pada tahapan 10 tahun Adalah 1,547.
3	Evaluasi Stabilitas Lereng Dengan Metode Limit Equilibrium Pada Sungai Waridin	Kurniawan , et.al (2025)	Menggunakan Program Geostudio	Berdasarkan hasil analisis pasca terjadinya longsor dengan menggunakan data tanah hasil back analisis maka dilakukan penambahan mini pile di bagian bawah tanggul dengan pengikat balok frame beton dengan jarak masing-masing 1meter didapatkan hasil yaitu nilai faktor keamanan $2.57 > 1.5$ untuk kondisi normal. Untuk kondisi gempa didapatkan nilai $1.75 > 1.3$. sedangkan pada kondisi rapiddrawdown didapatkan hasil $2.14 > 1.3$.
4	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan	Sdianto , Agustina (2023)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	1. Berdasarkan SNI 8460 tahun 2017 faktor keamanan yang dibutuhkan untuk stabilitas lereng adalah harus di atas 1,5 yang dapat

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
	<i>Plaxis</i> (Studi Kasus: Ruas Jalan Gesek - Simpang Busung. Kabupaten Bintan.)			dikatan bahwa lereng tersebut adalah stabil. 2. Nilai Safety Factor pada kondisi awal hasil analisis terlihat bahwa belum terjadi longsor namun dalam kondisi kritis dengan faktor keamanan tercapai 1,066. Maka kondisi kemantapan lereng tidak aman atau lereng tidak stabil. 3. Penanganan dinding penahan tanah dipilih karena keterbatasan area kerja dilapangan di area perkebunan penduduk sekitar. 4. Setelah dilakukan perkuatan dinding penahan tanah (DPT) tercapai nilai faktor keamanan sebesar 2,213, sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi lereng tersebut aman dan stabil.
5	Analisis Stabilitas Lereng dengan Alternatif Perkuatan Menggunakan	Mina , et. Al (2022)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i> dan Bishop	1. Hasil analisis pada kondisi lereng asli menggunakan software Slope/w didapatkan SF = 1,117, menggunakan software <i>Plaxis</i> 2D

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
	Software <i>Plaxis</i> 2D dan Slope/w (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Kampus Baru UNTIRTA Sindangsari)			kondisi short term dan long term didapatkan SF = 1,111 dan SF = 1,101, menggunakan perhitungan manual Metode Bishop didapatkan SF = 1,107. 2. Hasil analisis pada kondisi lereng perkuatan <i>borepile</i> menggunakan software <i>Plaxis</i> 2D kondisi short term dan long term didapatkan SF = 1,310 dan SF = 1,319, menggunakan perhitungan manual Metode Bishop didapatkan SF = 1,317. Kemudian hasil analisis pada kondisi lereng perkuatan sheet pile menggunakan software <i>Plaxis</i> 2D kondisi short term dan long term didapatkan SF = 1,392 dan SF = 1,404, menggunakan perhitungan manual Metode Bishop didapatkan SF = 1,406.
6	KAJIAN STABILITAS LERENG PADA KONDISI	Nurfauziah (2025)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	1. Untuk nilai faktor keamanan (FK) lereng awal (eksisting) atau sebelum adanya

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
	DRAINED DAN UNDRAINED DI DUSUN LEGOK 2 DENGAN MENGGUNAKAN PERKUATAN DINDING PENAHAN TANAH KANTILEVER			penanganan lereng yaitu 0,9750 dengan besar deformasi 0,210 meter. 2. ada kondisi tanah jenuh atau hujan, nilai faktor keamanan (FK) 0,9737 dan besar deformasi yang terjadi yaitu 0,211 meter. 3. Dalam kondisi drained nilai faktor keamanan (FK) paling besar keamanannya yaitu 1,530 dan deformasinya 1,338 dengan menggunakan DPT k-500. 4. Kondisi undrained memiliki nilai faktor keamanan yang paling besar yaitu 1,532 dengan besaran deformasinya 4,682 yang menggunakan DPT k-500. 5. Nilai faktor keamanan pada kondisi undrained lebih besar dari pada dari drained.
7	Analisis Kestabilan Dinding Penahan Tanah Tower	Cahyono, et.al (2024)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	1. Dari beberapa simulasi perkuatan lereng yang dilakukan pada program <i>Plaxis</i> ditemukan bahwa:

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
	Sutet 500 KV Ungaran – Pemalang			Kestabilan lereng didapatkan pada nilai $1,78 > 1,5$, dimana nilai tersebut dianggap kondisi lereng masih dalam kondisi stabil. Perkuatan dengan cara membuat terasiring tanah + DPT dapat menambah kestabilan lereng hingga mencapai 3,19. Perkuatan dengan cara menyusun geotekstil secara terasiring + DPT tidak menambah SF daripada lereng tersebut, tetap pada nilai 1,78. Perkuatan dengan cara membuat kontur tanah menjadi terasiring + slope + DPT menambah SF daripada lereng tersebut, tetap pada nilai 3,32. Perkuatan dengan <i>borepile</i> 40 cm sedalam 9 m menambah SF daripada lereng tersebut, tetap pada nilai 3,08.
8	Pemodelan Penanganan Longsoran Lereng dengan	Hibatulloh, Hamdan (2023)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	1. Hasil analisis bagian lereng 12, 8, dan 4 mendapatkan nilai faktor keamanan (FK) pada

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
	Perkuatan Dinding Penahan Tanah di Kawasan Artha Industrial Hills - Karawang Menggunakan <i>Plaxis 2D</i>			kondisi eksisting sebesar 1,324, 1.338, dan 1.323, setelah perubahan geometri nilai FK menjadi 1.212, 1.207, dan 1,282, maka lereng tersebut dikatakan tidak stabil dan diperlukan perkuatan menggunakan dinding penahan tanah (DPT). 2. Setelah ditambah perkuatan dinding penahan tanah nilai FK melebihi nilai yang disyaratkan sebesar 1.796, 1.765, dan 1.568 nilai FK pada lereng mendapatkan nilai $> 1,5$ hal ini dikarenakan DPT ditempatkan pada kaki lereng dimana bidang gelincir terdapat pada daerah tersebut, tetapi nilai stabilitas DPT terhadap geser dan daya dukung belum memenuhi nilai yang disyaratkan, maka diperlukan penambahan <i>borepile</i>. 3. Dari hasil analisis menggunakan <i>Plaxis 2D</i> penambahan <i>borepile</i>

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
				tidak terlalu berpengaruh karena bidang gelincir tidak mencapai bawah DPT yang mengakibatkan nilai FK tidak berubah secara signifikan, tetapi setelah ditambahkan <i>borepile</i> nilai stabilitas DPT meningkat yang menjadikan DPT tersebut stabil terhadap geser, guling, dan daya dukung.
9	Penanggulangan Longsor Dengan Dinding Penahan Tanah Atau Retaining Wall (Ruas Muara Teweh-Benangin STA 50+800)	Alexsander (2025)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	1. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bidang gelincir pada tubuh lereng dengan nilai safety factor (SF) awal sebesar 2,169 yang menunjukkan kondisi lereng aman, namun pada kenyataannya di lapangan terjadi longsoran. Oleh karena itu dilakukan back analysis yang menunjukkan bahwa jenis longsoran tersebut adalah longsoran rotasi berbentuk melengkung (circular slip surface) pada kedalaman 3,62 m

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
				dengan nilai safety factor sebesar 1,057, sehingga kondisi lereng tergolong kritis. Berdasarkan hasil analisis lebih lanjut, lereng yang mengalami longsoran memerlukan perkuatan berupa dinding penahan tanah (retaining wall) dengan dimensi tinggi 4 m, lebar 0,2 m, panjang heel 1,5 m, panjang toe 1 m, serta tebal dinding batang bawah 0,4 m. Setelah dilakukan perkuatan dengan dinding penahan tanah tersebut, nilai safety factor meningkat dari kondisi kritis 1,057 menjadi 1,690. Hal ini menunjukkan bahwa nilai safety factor telah memenuhi kriteria keamanan dan lereng dinyatakan stabil serta aman dari risiko longsoran lanjutan.
10	ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN	Meiprastyo , et.al (	Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	Berdasarkan hasil analisis dalam penanganan longsor pada daerah akses jalan di Desa

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
	METODE ELEMEN HINGGA (STUDI KASUS: AKSES JALAN DS. SUKAGALIH, KEC. MEGAMENDU NG, KAB. BOGOR, JAWA BARAT)			Sukagalih, Kecamatan Megamendung, Kabupaten Bogor, diketahui bahwa kondisi di lokasi penelitian sudah terjadi kelongsoran, dengan nilai faktor keamanan pada saat kondisi ekstisting 1,028 yang menunjukkan lereng berada pada kondisi kritis dan tidak memenuhi syarat ketstabilan mininum. kondisi ini juga semakin tidak stabil pada saat kondisi jenuh air dengan nilai faktor keamanan 0,520 hal ini juga menunjukkan bahwa lereng dipastikan mengalami kerutuhan, begitu pula pada saat kondisi gempa, nilai faktor keamanan yang didapat 0,442 yang menandakan bahwa lereng tidak memiliki daya tahan yang memadai terhadap beban dinamis. Analisis perkuatan pada lereng atas menunjukkan bahwa kombinasi angkur,

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
				gabion, dan geotekstil dapat memenuhi standar dalam meningkatkan kestabilan lereng, dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,662 pada kondisi eksisting, 1,496 pada kondisi jenuh air dan 1,317 pada kondisi gempa. Untuk lereng bawah yang menerima beban tambahan dari jalan diatasnya sehingga hasil dari analisis menunjukan bahwa kombinasi cerucuk bambu dan gabion efektif
11	Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsoran di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600 Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM)	Hamdhan , Pratiwi (2017)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	Setelah dilakukan analisis pada pemodelan lereng di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km.92+600, dapat disimpulkan bahwa kondisi eksisting lereng dominan kurang aman karena diperoleh nilai faktor keamanan kurang dari 1.5. Sehingga dibutuhkan sebuah penanganan longsoran yang efektif dan tepat serta permanen. Penanganan longsoran dengan

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
				menggunakan dinding penahan tanah dan <i>borepile</i> disarankan dalam masalah ini, karena efektif yang dapat dilihat dari kenaikan nilai faktor keamanan dari kondisi eksisting dan kondisi perkuatan. Adapun presentase kenaikan nilai faktor keamanan terendah pada pemodelan di Km 91+240, yaitu sebesar 9.23%. Sedangkan kenaikan presentase nilai faktor kemanaan terbesar terdapat di pemodelan Km. 92+642, yaitu sebesar 242.4%.
12	ANALISIS STABILITAS LERENG DAN PENANGANAN LONGSOR PADA DESA GURIMBANG KABUPATEN BERAU KALIMANTAN TIMUR	Sutanto , et.all (2025)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i> dan Bishop	Berdasarkan hasil analisis, lereng di Desa Gurimbang sebelum longsor dinyatakan tidak stabil karena nilai faktor keamanan (SF) < 1,50. Setelah dilakukan simulasi perkuatan, baik Sheet Pile maupun Dinding Kantilever (DPT) mampu meningkatkan kestabilan

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
				lereng dengan nilai SF > 1,50, sehingga lereng berada dalam kondisi aman terhadap keruntuhan global. Hasil perhitungan manual dan numerik menunjukkan konsistensi antara metode Bishop dan <i>Plaxis</i> 2D V20, di mana kedua sistem perkuatan memenuhi kriteria stabilitas terhadap geser, guling, dan daya dukung tanah. Secara teknis, keduanya layak diterapkan sebagai solusi penanganan longsor di Desa Gurimbang. Namun, dari segi ekonomi dan ketersediaan material, Dinding Kantilever lebih unggul, dengan biaya Rp604.442.285,33 dibandingkan Rp740.150.000,00 untuk Sheet Pile, serta material dan peralatan yang lebih mudah diperoleh di sekitar lokasi penelitian. Oleh karena itu, Dinding Kantilever

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
				direkomendasikan sebagai solusi paling efektif dan ekonomis untuk penanganan longsor di Desa Gurimbang, Kabupaten Berau
13	ANALISIS STABILITAS LERENG DAN PENANGGULANGAN LONGSORAN MENGGUNAKAN PROGRAM <i>PLAXIS</i> V.8.2	Gazali , et.all (2020)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng dan Analisis perhitungan turap baja pada lereng di Desa Gunung Ulin, Kecamatan Pulau Laut Utara, Kabupaten Kotabaru dapat disimpulkan sebagai berikut: 1. Dari hasil Analisis stabilitas lereng menggunakan program <i>PLAXIS</i> V.8.2 didapatkan Safety Factor (SF) kondisi awal (eksisting) lereng tidak aman terhadap kelongsoran yaitu dengan $SF < 1,5$ yaitu 1,407. 2. Untuk menanggulangi kelongsoran lereng tersebut maka kami melakukan Analisis perhitungan turap yang aman. Dengan konstruksi

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
				berupa: a) Turap baja profil kotak: profil A = FSP VIL dan profil B = FSP VIL dengan kedalaman b) dapat dikatakan aman pemancangan sepanjang 10,7 m. c) Untuk menahan gaya lateral pada turap baja maka digunakan jangkar yang direncanakan sejauh 7,2 m. Dari hasil analisis program <i>PLAXIS</i> V.8.2 dapat disimpulkan bahwa dalam pemancangan turap dan panjang jangkar rencana karena telah melewati garis kelongsoran dengan Safety Factor (SF) > 1,5 yaitu 5,277.
14	ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN PERKUATAN SHOTCRETE MENGGUNAKAN <i>PLAXIS</i> (STUDI KASUS: RUAS	Putro, Agustina (2023)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	Hasil Analisis pada gambar diatas dapat disimpulkan bahwa kondisi eksisting awal pada P2 saat tanah jenuh ruas jalan Tarempa – Rintis STA 07+800 tercapai angka aman sebesar $1,274 < 1,50$ maka lereng dapat

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
	JALAN TAREMPA – RINTIS STA 07+800 KAB. ANAMBAS)			dinyatakan tidak stabil pada tanah yang tidak mengalami kelongsoran (P2) akibat ada kenaikan muka air tanah. Hasil analisis kelongsoran dapat dilihat pada rangkuman Tabel 3 berikut. Hasil analisis menunjukkan bahwa dalam kondisi aman dengan faktor keamanan 1,823 dan 1,999 berada diatas batas keamanan 1,50 kecuali jika muka air tanah
15	ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN KONTRUKSI DINDING PENAHAN TANAH TIPE COUNTERFORT	Ciptaning, et.all (2018)	Menggunakan Program Geostudio	1. Faktor Keamanan pada kondisi existing dengan cara manual (metode Fellenius) dan software (program Geo Slope) pada semua titik tinjauan adalah tidak aman dengan daerah kelongsoran di atas kecuali STA 13+885 dengan daerah kelongsoran di bawah. 2. Penanganan dilakukan pada kelongsoran di bagian sebelah bawah lereng pada STA 13+885 dengan dinding penahan

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
				tanah tipe Counterfort. 3. Faktor Kemanan dinding penahan tanah tipe Counterfort yang didapat stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap geser dan satabilitas daya dukung adalah kondisi aman. 4. Faktor Kemanan sesudah dilakukan perkuatan lereng dengan dinding penahan tanah tipe Counterfort dengan software (program Geo Slope) akibat pengaruh beban gempa pada STA 13+885 adalah tidak aman. Perlu dilakukan penanganan tambahan dengan cara mengubah sudut kemiringan lereng agar nilai faktor keamanan (FK) > 1,5.
16	ANALISIS STABILITAS DINDING PENAHAN TANAH TERHADAP DRAWDOWN	Nurshinta, et.all (2022)	Menggunakan Program Geostudio	Hasil pemodelan lereng eksisting menggunakan Geostudio Slope/W untuk analisis stabilitas lereng overall dan Geostudio Seep/W untuk analisis stabilitas lereng

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
	PADA LERENG SUNGAI AREA DAM BADENG KECAMATAN SONGGON, KABUPATEN BANYUWANG I			terhadap drawdown.ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai safety factor terkritis didapatkan sebesar 0,828. Kondisi tersebut dikategorikan sebagai lereng labil karena $<1,07$ (Nugroho, 2020). Kondisi ni sesuai dengan hasil observasi lapangan, yang mana lereng tepi sungai area Dam Badeng sering mengalami kelongsoran.
17	ANALISIS PERKUATAN DINDING PENAHAN TANAH (RETAINING WALL) MENGGUNAKAN SECANT PILE (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Cimanggis – Cibitung Seksi 2 STA 27+070 – 50+373)	Permata, et.all (2024)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	Hasil analisis perkuatan dinding penahan tanah menggunakan secant pile pada Proyek Pembangunan Cimanggis – Cibitung Seksi 2 pada STA 32+025 menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi asli tidak aman, dengan faktor keamanan lereng sebesar 0,14 menurut perhitungan manual metode Bishop dan 0,36 berdasarkan software <i>Plaxis</i> 2D. Untuk meningkatkan stabilitas lereng,

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
				dilakukan perkuatan menggunakan secant pile, yang berhasil meningkatkan faktor keamanan menjadi 1,87, sehingga lereng dapat dikatakan stabil dan aman.
18	EVALUASI PENYEBAB LONGSORAN DAN ANALISIS STABILITAS PERKUATAN LERENG BADAN JALAN POROS BALIKPAPAN-SAMARINDA KM.11	Safitri, (2021)	Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	1. Berdasarkan SNI 8460 tahun 2017 faktor keamanan yang dibutuhkan untuk stabilitas lereng adalah harus di atas 1,5 yang dapat dikatan bahwa lereng tersebut adalah stabil. 2. Nilai Safety Factor pada kondisi awal hasil analisis terlihat bahwa belum terjadi longsor namun dalam kondisi kritis dengan faktor keamanan tercapai 1,066. Maka kondisi kemantapan lereng tidak aman atau lereng tidak stabil. 3. Penanganan dinding penahan tanah dipilih karena keterbatasan area kerja dilapangan di area perkebunan penduduk

No	Judul	Penulis dan Tahun	Metode Penelitian	Hasil
				sekitar. 4. Setelah dilakukan perkuatan dinding penahan tanah (DPT) tercapai nilai faktor keamanan sebesar 2,213, sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi lereng tersebut aman dan stabil.

Sumber: Research Jurnal.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan suatu tahapan atau proses pengumpulan informasi-informasi berupa angka (data mentah) dimana angka-angka tersebut bisa digunakan pada tahap analisis. Data yang dikumpulkan pada penelitian ini berupa data sekunder yang di peroleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Kendal, yang berupa data hasil pengujian *Cone Penetration Test* (CPT) dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.1 sebagai berikut:

Tabel 5.1 Data *Cone Penetration Test* (CPT) STA 3 + 036.

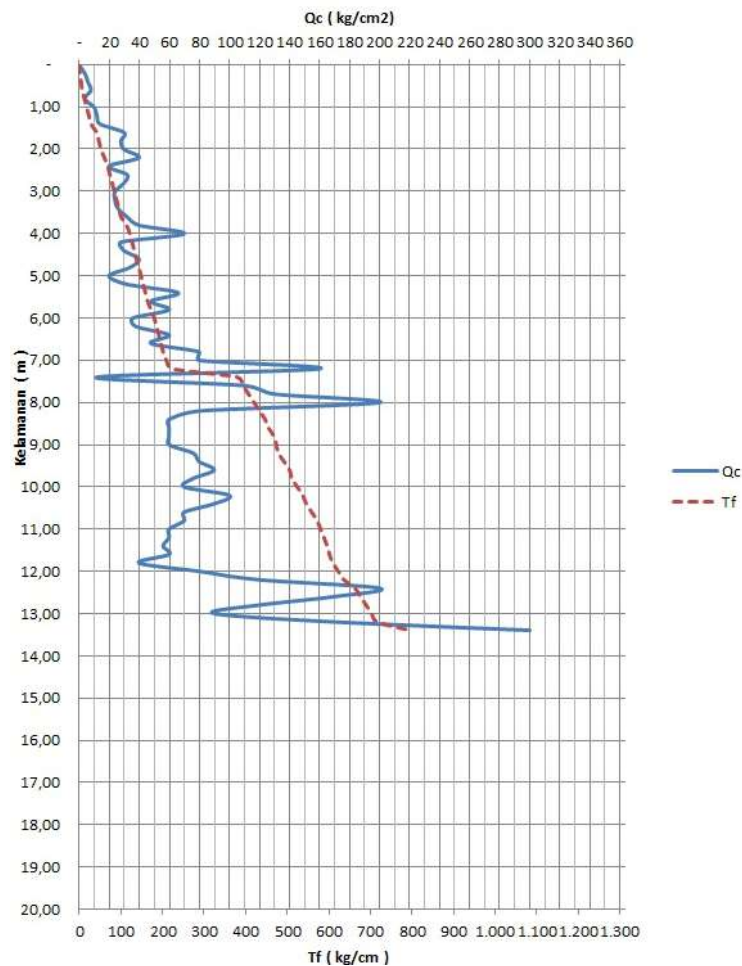
<i>Depth</i> (m)	C _w (kg/cm ²)	T _w (kg/c m ²)	q _c (kg/c m ²)	f _s (kg/cm ²)	f _s .20 cm (kg/cm)	Klasifikasi Tanah	Type Tanah
0,20	2	3	4	0.133	2.67	Very Soft	Soft
0,40	3	4	6	0.133	2.67	Soft	
0,60	4	5	8	0.133	2.67	Soft	
0,80	2	4	4	0.267	5.33	Very Soft	
1,00	5	7	10	0.267	5.33	Soft	
1,20	6	8	12	0.267	5.33	Medium	Medium
1,40	7	9	14	0.267	5.33	Medium	
1,60	8	20	16	1.600	32.00	Medium	
1,80	9	16	18	0.933	18.67	Medium	
2,00	15	17	30	0.267	5.33	Medium	
2,20	20	23	40	0.400	8.00	Stiff	
2,40	10	13	20	0.400	8.00	Medium	
2,60	16	18	32	0.267	5.33	Medium	
2,80	15	17	30	0.267	5.33	Medium	
3,00	12	14	24	0.267	5.33	Medium	
3,20	12	14	24	0.267	5.33	Medium	
3,40	13	15	26	0.267	5.33	Medium	
3,60	16	18	32	0.267	5.33	Medium	
3,80	20	25	40	0.667	13.33	Stiff	

<i>Dep th (m)</i>	<i>C_w (kg/cm²)</i>	<i>T_w (kg/c m²)</i>	<i>q_c (kg/c m²)</i>	<i>f_s (kg/cm²)</i>	<i>f_s.20 cm (kg/cm)</i>	Klasifikasi Tanah	Type Tanah
4,00	35	38	70	0.400	8.00	Very Stiff	Mediu m
4,20	14	16	28	0.267	5.33	Medium	
4,40	15	17	30	0.267	5.33	Medium	
4,60	20	22	40	0.267	5.33	Stiff	
4,80	17	19	34	0.267	5.33	Medium	
5,00	10	12	20	0.267	5.33	Medium	
5,20	16	18	32	0.267	5.33	Medium	
5,40	33	35	66	0.267	5.33	Very Stiff	Stiff
5,60	24	26	48	0.267	5.33	Stiff	
5,80	30	33	60	0.400	8.00	Stiff	
6,00	18	21	36	0.400	8.00	Stiff	
6,20	19	21	38	0.267	5.33	Stiff	
6,40	30	32	60	0.267	5.33	Stiff	
6,60	24	26	48	0.267	5.33	Stiff	
6,80	40	42	80	0.267	5.33	Very Stiff	
7,00	40	43	80	0.400	8.00	Very Stiff	
7,20	80	85	160	0.667	13.33	Hard	
7,40	6	65	12	7.867	157.33	Medium	
7,60	55	60	110	0.667	13.33	Very Stiff	
7,80	65	70	130	0.667	13.33	Hard	
8,00	100	105	200	0.667	13.33	Hard	
8,20	40	45	80	0.667	13.33	Very Stiff	
8,40	30	35	60	0.667	13.33	Stiff	
8,60	30	33	60	0.400	8.00	Stiff	
8,80	30	35	60	0.667	13.33	Stiff	
9,00	30	32	60	0.267	5.33	Stiff	
9,20	38	40	76	0.267	5.33	Very Stiff	Very Stiff
9,40	40	45	80	0.667	13.33	Very Stiff	
9,60	45	50	90	0.667	13.33	Very Stiff	
9,80	38	40	76	0.267	5.33	Very Stiff	

Dep th (m)	Cw (kg/cm²)	Tw (kg/c m²)	qc (kg/c m²)	fs (kg/cm²)	fs.20 cm (kg/cm)	Klasifikasi Tanah	Type Tanah
10,0 0	35	40	70	0.667	13.33	Very Stiff	Very Stiff
10,2 0	50	55	100	0.667	13.33	Very Stiff	
10,4 0	45	48	90	0.400	8.00	Very Stiff	
10,6 0	35	40	70	0.667	13.33	Very Stiff	
10,8 0	35	40	70	0.667	13.33	Very Stiff	
11,0 0	30	33	60	0.400	8.00	Stiff	
11,2 0	30	33	60	0.400	8.00	Stiff	
11,4 0	28	31	56	0.400	8.00	Stiff	
11,6 0	30	32	60	0.267	5.33	Stiff	
11,8 0	20	23	40	0.400	8.00	Stiff	
12,0 0	40	45	80	0.667	13.33	Very Stiff	
12,2 0	60	65	120	0.667	13.33	Very Stiff	
12,4 0	100	110	200	1.333	26.67	Hard	Hard
12,6 0	85	90	170	0.667	13.33	Hard	
12,8 0	60	65	120	0.667	13.33	Very Stiff	

Depth (m)	Cw (kg/cm ²)	Tw (kg/cm ²)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	fs.20 cm (kg/cm)	Klasifikasi Tanah	Type Tanah
13,00	45	50	90	0.667	13.33	Very Stiff	Hard
13,20	85	90	170	0.667	13.33	Hard	
13,40	150	180	300	4.000	80.00	Hard	

Sumber: Hasil Salinan Berdasarkan Pengujian CPT DPUPR Kendal.



Gambar 5.1 Grafik Hasil Pengujian *Cone Penetration Test*.

4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan suatu tahapan atau proses dimana pada pengolahan data ini data-data mentah yang telah dikumpulkan dihitung berdasarkan rumus-rumus yang telah ditetapkan. Pada proses pengolahan

data dari hasil dari uji sondir berupa data *conus* dan hambatan pelekak selanjutnya dianalisis untuk mendapat paramater data tanah pada setiap kedalamannya, yakni berupa nilai perlawanan *conus* (q_c), jumlah hambatan lekat (JHL), dan *Friction Ratio* (FR). Kemudian data q_c dan %FR dimasukkan kedalam tabel *Soil Behavior Test* (SBT) Robertson dan untuk mendefenisikan konsistensi tanah dilihat dengan menggunakan tabel hubungan antara nilai q_c dengan konsistensi tanah. Hubungan antara konsistensi tanah dengan q_c ditentukan juga dari jenis tanah, sehingga harus diperhatikan jenis SBT pada saat penggunaan tabel konsistensi tanah. Hasil Pengolahan Data *cone penetration test* menjadi data klasifikasi tanah dan parameter tanah yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai q_c .

Legenda Tabel CPT				
No Lapisan	q_c	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (m)	Klasifikasi Jenis Tanah
1	6.40	0.2 - 1	0.80	Lempung Kelanauan.
2	15.78	1 - 5.2	4.20	Lempung Agak Kenyal.
3	41.28	5.4 - 9	3.60	Pasir Kelanauan atau Lempung Padat.
4	76.61	9.2 - 12.2	3.00	Lempung Padat.
5	175.	12.4 - 13.4	1.00	Lempung Sangat Padat.

Sumber: Hasil Pengolahan Data Berdasarkan *Soil Behavior Test*.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Parameter Tanah.

No Lapisan	q_c	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	C	E (kN/m ²)	V (nu)	ϕ (°)	k (kN/day)
1	6.40	16.5	13.2	22	3000	0.3	8.9	0.00086
2	15.78	17.25	13.95	30	4500	0.3	8.7	0.00086
3	41.28	19.5	16.2	41	5000	0.27	8.67	0.00086
4	76.61	21.25	17.95	45	7000	0.25	8.5	0.0086
5	175	22	18.7	50	15000	0.2	8	0.0086

Sumber: Hasil Pengolahan Data Berdasarkan Tabel Korelasi di Bab 2.

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Parameter Tanah Dan Pembebanan

5.1.1 Parameter Tanah Dasar

Dalam perencanaan stabilitas lereng parameter tanah yang digunakan mengacu pada hasil pengolahan data dari penyelidikan tanah pada ruas jalan Kedungboto - Limbangan, Kendal. Adapun hasil dari olah data tanah yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.1 Sifat-Sifat Material Untuk Lapisan Tanah Dasar 1.

Parameter	Simbol	Jenis Tanah	Satuan
		Lempung Kelanauan	
Kedalaman	<i>Depth</i>	0.2 - 1	m
<i>Material Model</i>	-	<i>Mohr-Coulomb</i>	-
<i>Material Type</i>	-	<i>Undrained</i>	-
<i>Wet Soil Weight</i>	γ_{unsat} (kN/m ³)	13.2	(kN/m ³)
<i>Dry Soil Weight</i>	γ_{dry} (kN/m ³)	16.5	(kN/m ³)
<i>Horizontal Permeability</i>	K _x	0.00086	(m/day)
<i>Vertical Permeability</i>	K _y	0.00086	(m/day)
<i>Young's Modulus</i>	E _{ref}	3000	(kN/m ²)
<i>Poisson's Ratio</i>	ν	0.3	-
<i>Cohesion</i>	C _{ref}	22	(kN/m ²)
<i>Friction Angle</i>	ϕ	8.9	°
<i>Dilantancy Angle</i>	ψ	-	°

Sumber: Klasifikasi Berdasarkan *Soil Behavior Test*.

Tabel 5.2 Sifat-Sifat Material Untuk Lapisan Tanah Dasar 2.

Parameter	Simbol	Jenis Tanah	Satuan
		Lempung Agak Kenyal	
Kedalaman	<i>Depth</i>	1 - 5.2	m
<i>Material Model</i>	-	<i>Mohr-Coulomb</i>	-
<i>Material Type</i>	-	<i>Undrained</i>	-
<i>Wet Soil Weight</i>	γ_{unsat} (kN/m ³)	13.95	(kN/m ³)
<i>Dry Soil Weight</i>	γ_{dry} (kN/m ³)	17.25	(kN/m ³)
<i>Horizontal Permeability</i>	K _x	0.00086	(m/day)

Parameter	Simbol	Jenis Tanah	Satuan
		Lempung Agak Kenyal	
<i>Vertical Permeability</i>	K_y	0.00086	(m/day)
<i>Young's Modulus</i>	E_{ref}	4500	(kN/m ²)
<i>Poisson's Ratio</i>	ν	0.3	-
<i>Cohesion</i>	C_{ref}	30	(kN/m ²)
<i>Friction Angle</i>	ϕ	8.7	°
<i>Dilantancy Angle</i>	ψ	-	°

Sumber: Klasifikasi Berdasarkan *Soil Behavior Test*.

Tabel 5.3 Sifat-Sifat Material Untuk Lapisan Tanah Dasar 3.

Parameter	Simbol	Jenis Tanah	Satuan
		Pasir Kelanauan atau Lempung Padat	
Kedalaman	<i>Depth</i>	5.4 - 9	m
<i>Material Model</i>	-	<i>Mohr-Coulomb</i>	-
<i>Material Type</i>	-	<i>Undrained</i>	-
<i>Wet Soil Weight</i>	γ_{unsat} (kN/m ³)	16.2	(kN/m ³)
<i>Dry Soil Weight</i>	γ_{dry} (kN/m ³)	19.5	(kN/m ³)
<i>Horizontal Permeability</i>	K_x	0.00086	(m/day)
<i>Vertical Permeability</i>	K_y	0.00086	(m/day)
<i>Young's Modulus</i>	E_{ref}	5000	(kN/m ²)
<i>Poisson's Ratio</i>	ν	0.27	-
<i>Cohesion</i>	C_{ref}	45	(kN/m ²)
<i>Friction Angle</i>	ϕ	8.67	°
<i>Dilantancy Angle</i>	ψ	-	°

Sumber: Klasifikasi Berdasarkan *Soil Behavior Test*.

Tabel 5.4 Sifat-Sifat Material Untuk Lapisan Tanah Dasar 4.

Parameter	Simbol	Jenis Tanah	Satuan
		Lempung Padat	
Kedalaman	<i>Depth</i>	9.2 - 12.2	m
<i>Material Model</i>		<i>Mohr-Coulomb</i>	
<i>Material Type</i>		<i>Undrained</i>	
<i>Wet Soil Weight</i>	γ_{unsat} (kN/m ³)	17.95	(kN/m ³)
<i>Dry Soil Weight</i>	γ_{dry} (kN/m ³)	21.25	(kN/m ³)

Parameter	Simbol	Jenis Tanah	Satuan
		Lempung Padat	
<i>Horizontal Permeability</i>	K _x	0.0086	(m/day)
<i>Vertical Permeability</i>	K _y	0.0086	(m/day)
<i>Young's Modulus</i>	E _{ref}	7000	(kN/m ²)
<i>Poisson's Ratio</i>	ν	0.25	
<i>Cohesion</i>	C _{ref}	45	(kN/m ²)
<i>Friction Angle</i>	φ	8.5	°
<i>Dilantancy Angle</i>	ψ		°

Sumber: Klasifikasi Berdasarkan *Soil Behavior Test*.

Tabel 5.5 Sifat-Sifat Material Untuk Lapisan Tanah Dasar 5.

Parameter	Simbol	Jenis Tanah	Satuan
		Lempung Kelanauan Sangat Padat	
Kedalaman	<i>Depth</i>	12.4 - 13.4	m
<i>Material Model</i>		<i>Mohr-Coulomb</i>	
<i>Material Type</i>		<i>Undrained</i>	
<i>Wet Soil Weight</i>	γ _{unsat} (kN/m ³)	18.7	(kN/m ³)
<i>Dry Soil Weight</i>	γ _{dry} (kN/m ³)	22	(kN/m ³)
<i>Horizontal Permeability</i>	K _x	0.0086	(m/day)
<i>Vertical Permeability</i>	K _y	0.0086	(m/day)
<i>Young's Modulus</i>	E _{ref}	15000	(kN/m ²)
<i>Poisson's Ratio</i>	ν	0.2	
<i>Cohesion</i>	C _{ref}	50	(kN/m ²)
<i>Friction Angle</i>	φ	8	°
<i>Dilantancy Angle</i>	ψ		°

Sumber: Klasifikasi Berdasarkan *Soil Behavior Test*.

5.1.2 Tanah Timbunan

Timbunan baru jalan merupakan pekerjaan konstruksi yang dilakukan dengan menambahkan material tanah pilihan atau material granular pada area tertentu untuk membentuk badan jalan sesuai dengan elevasi, lebar, dan kemiringan yang direncanakan. Pekerjaan ini bertujuan meningkatkan kestabilan tanah dasar, memperbaiki kondisi topografi, serta menyediakan pondasi yang kuat bagi lapisan perkerasan jalan di atasnya. Material timbunan harus memenuhi

persyaratan teknis, seperti kadar air dan kepadatan yang sesuai, serta dipadatkan secara bertahap per lapisan guna mencapai daya dukung yang optimal. Pelaksanaan timbunan baru jalan yang baik akan menghasilkan konstruksi jalan yang lebih stabil, aman, dan mampu menahan beban lalu lintas dalam jangka waktu yang panjang. Adapun hasil dari olah data tanah yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.6 Sifat-Sifat Material Untuk Timbunan Baru.

Parameter	Simbol	Jenis Tanah	Satuan
		Timbunan Baru	
Kedalaman	<i>Depth</i>	3.50	m
<i>Material Model</i>		<i>Mohr-Coulomb</i>	
<i>Material Type</i>		<i>Drained</i>	
<i>Wet Soil Weight</i>	γ_{unsat} (kN/m ³)	17	(kN/m ³)
<i>Dry Soil Weight</i>	γ_{dry} (kN/m ³)	13.3	(kN/m ³)
<i>Horizontal Permeability</i>	K _x	0.00086	(m/day)
<i>Vertical Permeability</i>	K _y	0.00086	(m/day)
<i>Young's Modulus</i>	E _{ref}	3000	(kN/m ²)
<i>Poisson's Ratio</i>	ν	0.28	
<i>Cohesion</i>	C _{ref}	0.28	(kN/m ²)
<i>Friction Angle</i>	ϕ	21	°
<i>Dilantancy Angle</i>	ψ		°

Sumber: Klasifikasi Berdasarkan *Soil Behavior Test*.

5.1.3 Data Beban

Dalam penelitian ini, beban - beban yang bekerja adalah beban struktur perkerasan jalan, beban lalu lintas dan beban gempa. Pada saat masa konstruksi, beban yang bekerja hanya beban struktur perkerasan dan beban lalu lintas. Sedangkan pada saat paska konstruksi, beban yang bekerja meliputi beban struktur perkerasan, beban lalu lintas, dan beban luar jalan.

Beban struktur perkerasan jalan yaitu 24 kN/m² berdasarkan berat jenis beton dan beban lalu lintas pada jalan Desa Kedungboto yang merupakan jalan nasional tipe III. Nilai beban lalu lintas dan beban luar jalan dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

Kelas Jalan	Beban lalu lintas (kPa)	Beban di luar jalan (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

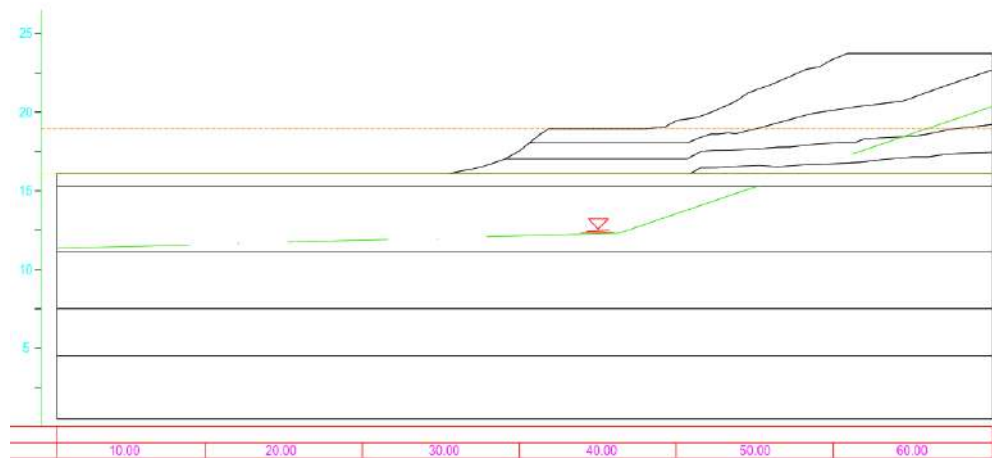
Sumber: SNI 8460 – 2017

Dimana beban yang digunakan yaitu:

$$\begin{aligned}\Sigma \text{Beban Merata} &= \text{Beban Lalu Lintas} + \text{Beban Luar Jalan} + \\ &\quad \text{Beban Struktur Perkerasan} \\ &= 12 + 10 + 24 \\ &= 46 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

5.2 Bentuk Geometri Lereng

Permodelan Lereng dibuat menggunakan *Autocad* sesuai dengan perencanaan geometri permodelan lereng. Pembentukan geometri lereng dapat dilakukan dengan cara survey langsung di lapangan. Dengan melakukan survei, data yang dikumpulkan menyajikan bentuk topografi, kontur lereng dan dimensi fisik yang diperlukan untuk membangun model geometrik yang akurat. Selain survei lapangan, data tanah dari laporan faktual investigasi tanah sangat penting untuk kestabilan lereng. Data tanah mencakup informasi mekanika tanah seperti sebagai sudut geser, kekuatan dan parameter lain yang diperlukan untuk analisis stabilitas. Dengan menggabungkan data survei lapangan dan data tanah dari laporan faktual investigasi tanah, sehingga dapat membuat model geometri yang akurat dan menganalisis stabilitas lereng menggunakan program yang lengkap seperti *Plaxis V8.6*.

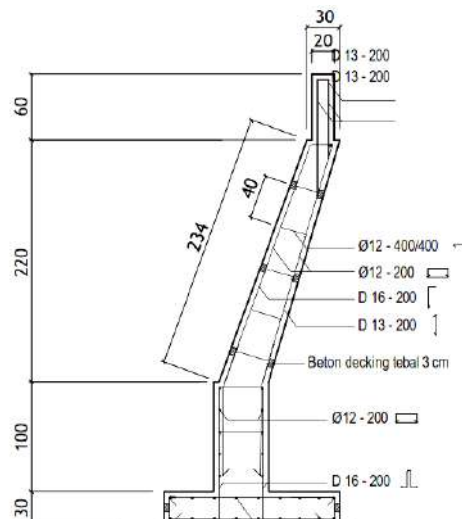


Gambar 5.1 Geometri Lereng.

(Sumber: Data Surveyor)

5.3 Data Dinding Penahan Tanah (*Retaining Wall*)

Pada analisis ini menggunakan *Retaining Wall* jenis kantilever dengan spesifikasi dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.2 Detail Dinding Penahan Tanah

(Sumber: Gambar Desain DPUPR Kabupaten Kendal 2026)

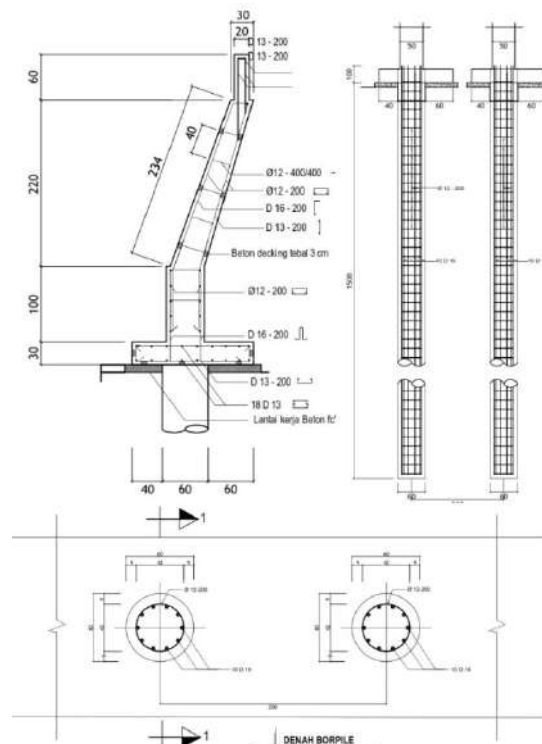
Berdasarkan Gambar 5.2 berikut ini merupakan uraian perencanaan data teknis dinding penahan tanah antara lain:

1. Material : Beton
2. Mutu Beton : $F_c 30 \text{ Mpa}$
3. Tinggi Dinding Total : 3,5 meter (total tinggi dinding beton)
4. Tinggi Dinding (h) : 3,2 meter (tinggi dinding yang menahan tanah)

5. Sisi Panjang (B) : 2,34 meter (sebagai kantilever)
6. Sisi Panjang total (L) : 3,64 meter (total panjang dari dinding yang menahan tanah dasar sampai ujung kantilever)

5.4 Data *Retaining Wall* Dengan Daya Dukung Pondasi *Borepile*

Pada analisis ini menggunakan *Retaining Wall* jenis kantilever dan pondasi *borepile* dengan spesifikasi dapat dilihat pada Gambar 5.3



Gambar 5.3 Detail Dinding Penahan Tanah Dan *Borepile*
(Sumber: Gambar Desain DPUPR Kabupaten Kendal 2026)

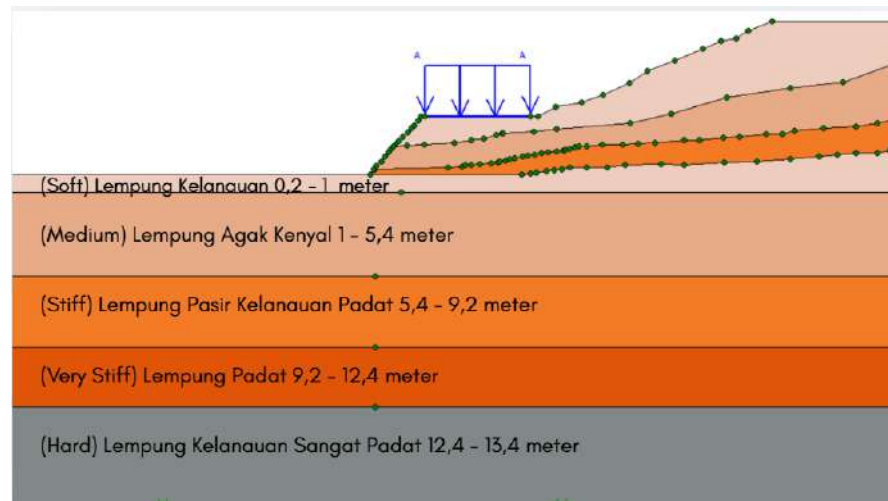
Berdasarkan Gambar 5.3 berikut ini merupakan uraian perencanaan data teknis dinding penahan tanah antara lain:

1. Material : Beton
2. Mutu Beton : F_c 30 Mpa
3. Panjang *Borepile* : 15 meter
4. Diameter *Borepile* : 60 cm

5.5 Analisis Stabilitas Kondisi Awal Lereng Dengan Program *Plaxis*

5.5.1 Permodelan Awal Lereng

Kondisi awal dalam permodelan awal lereng tanpa perkuatan dan diberi muka air. Dalam tahap permodelan yang dilakukan ini, seluruh data tanah geoteknik pada Tabel 5.2 dimasukkan dalam *Plaxis* untuk mengetahui nilai keamanan lereng yang mengalami kelongsoran.



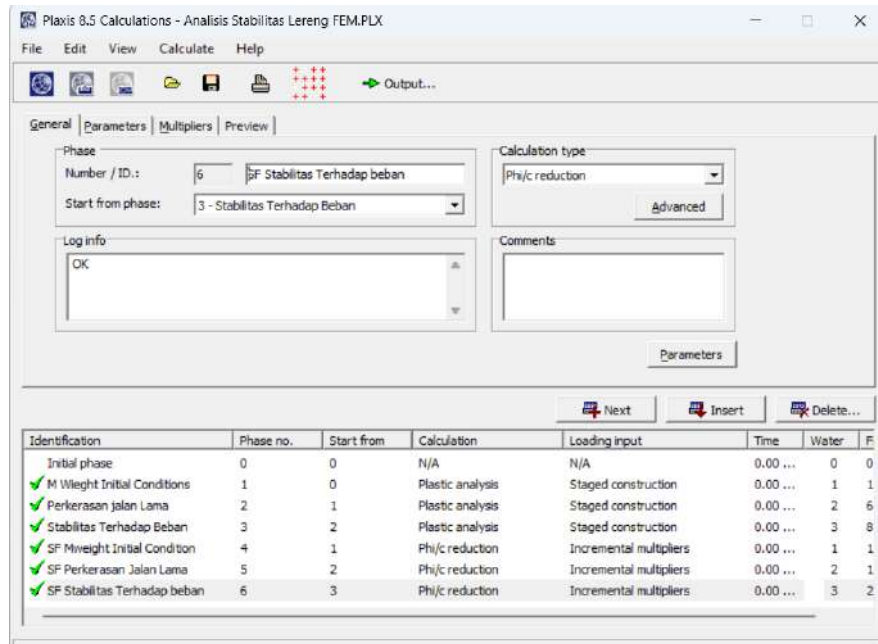
Gambar 5.4 Permodelan Lereng Asli.

Kondisi Lereng Asli

Lebar badan jalan	: 6 m
Tinggi lereng	: 3.5 m
Panjang lereng	: 47 m
Sudut kemiringan lereng	: 18 °

5.5.2 Tahap Perhitungan

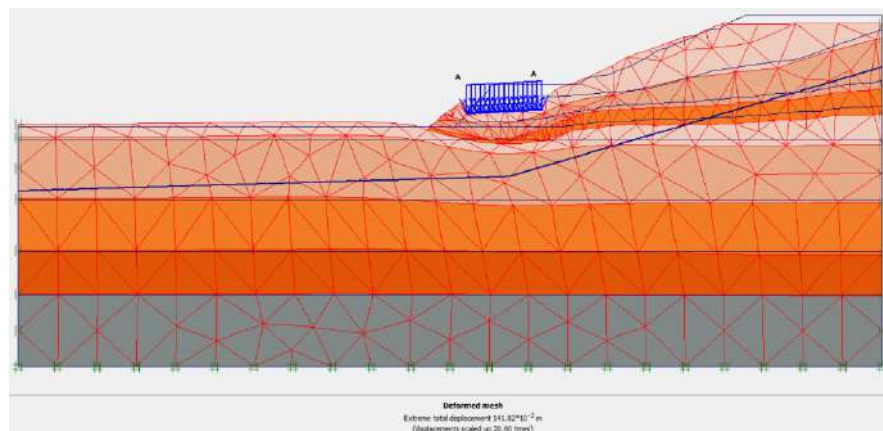
Pada tahap ini merupakan tahap untuk mengetahui angka keamanan (*safety factor*) lereng pada kondisi awal tanpa perkuatan. Hasil kalkulasi yang dilakukan pada program *Plaxis* dapat dilihat di gambar sebagai berikut:



Gambar 5.5 Tahapan Kalkulasi Nilai Faktor Keamanan Lereng.

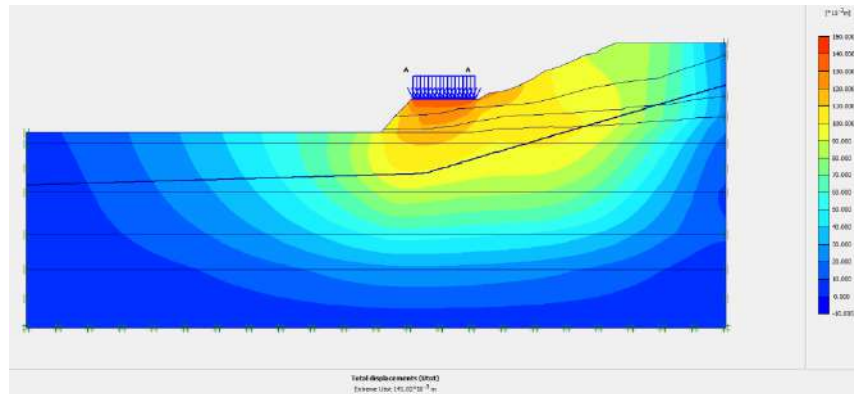
5.5.3 Hasil Analisis Dengan *Mohr-Coulomb*

Hasil *deformed mesh* tanah dengan beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas disajikan dalam Gambar 5.6 berikut.



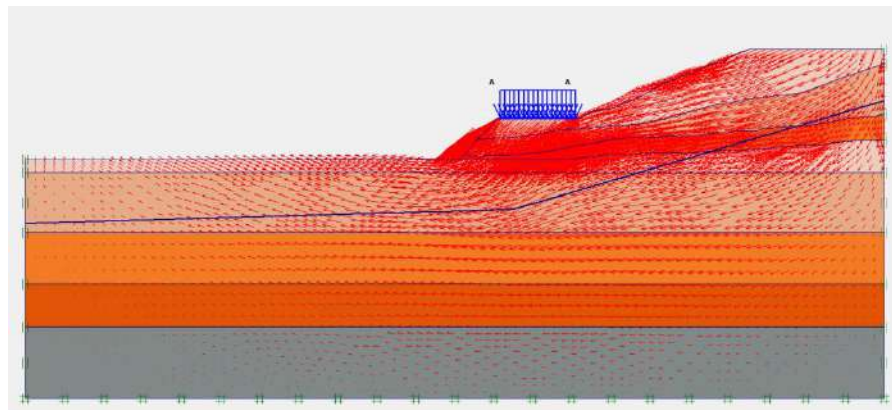
Gambar 5.6 Permodelan Lereng Perkuatan *Retaining Wall* input *Plaxis*.

Total *displacement* lereng akibat beban perkerasan jalan dan beban lalu lintas pada badan jalan disajikan dalam Gambar 5.7 sebagai berikut:

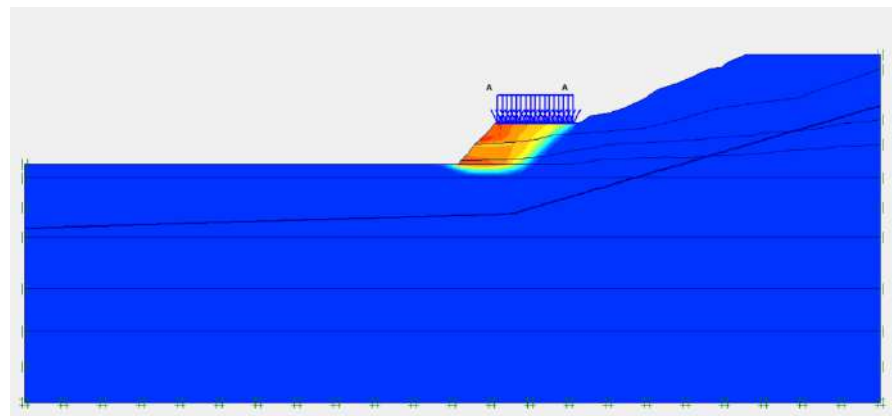


Gambar 5.7 Total *Displacement* Kondisi Lereng Tanpa Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan dan Lalulintas Sebesar $141.82 \cdot 10^{-3}$ m.

Arah pergerakan tanah pada lereng tahapan akhir konstruksi akibat beban perkerasan jalan dan beban lalulintas didominasi oleh pergerakan arah horizontal. Arah pergerakan tanah pada lereng tahapan akhir konstruksi disajikan dalam Gambar 5.8 sebagai berikut:

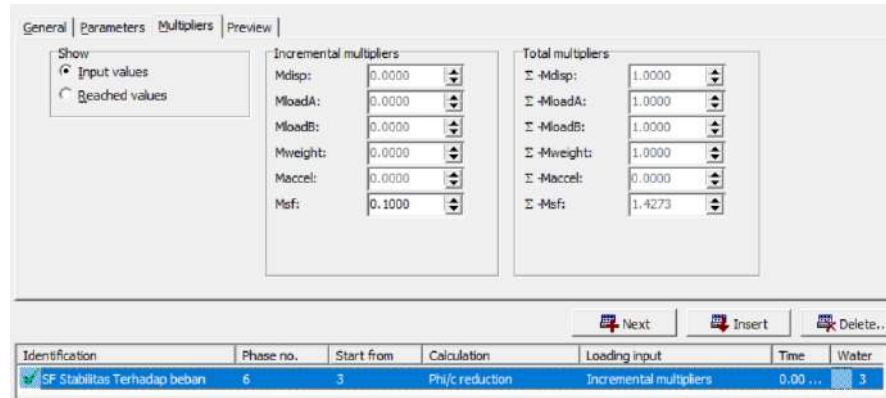


Gambar 5.8 Arah Pergerakan Tanah *output Plaxis calculation*.



Gambar 5.9 *Safety Factor* Akibat Beban Perkerasan dan Lalulintas sebesar 1.4273.

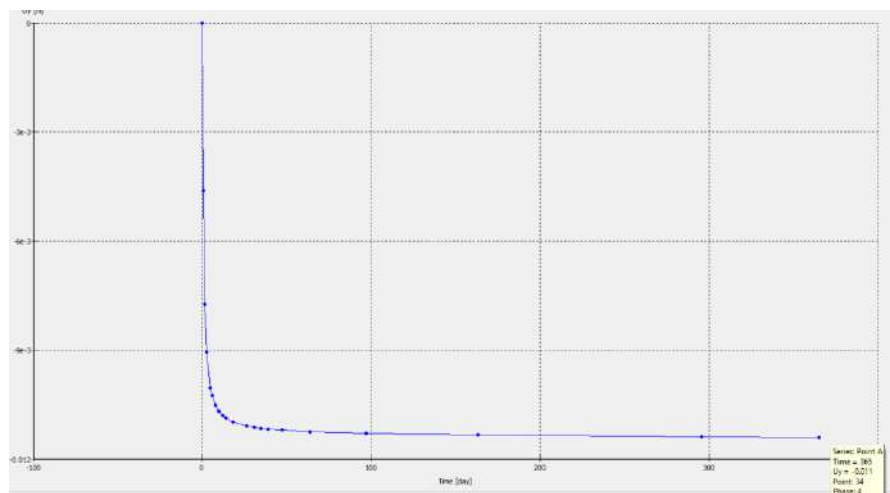
Nilai angka aman (SF) kondisi awal lereng tanpa perkuatan yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur jalan sebesar 2,3732 sedangkan nilai angka aman (SF) akibat beban struktur jalan dan beban lalu lintas sebesar 1,4273. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 *Safety Factor Plaxis calculation.*

Dalam analisis kondisi awal pada lereng memiliki nilai keamanan lereng yaitu 1,4273. Dengan ini nilai keamanan $< 1,5$, maka lereng tersebut memang berpotensi terjadi kerawanan longsor atau diartikan tidak aman dan diperlukan perkuatan lereng.

Nilai penurunan tanah arah vertikal (U_y) terhadap beban struktur jalan dan beban lalu lintas kondisi lereng tanpa perkuatan sebesar 0,093 m, dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut ini.



Gambar 5.11 Kurva *Settlement* Kondisi Awal Lereng Tanpa Perkuatan.

Nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) berdasarkan waktu tahapan konstruksi dan titik tinjau *point A* dari kurva *settlement* kemudian dilakukan rekapitulasi nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) pada tanah timbunan jalan disajikan pada Tabel 5.8 berikut.

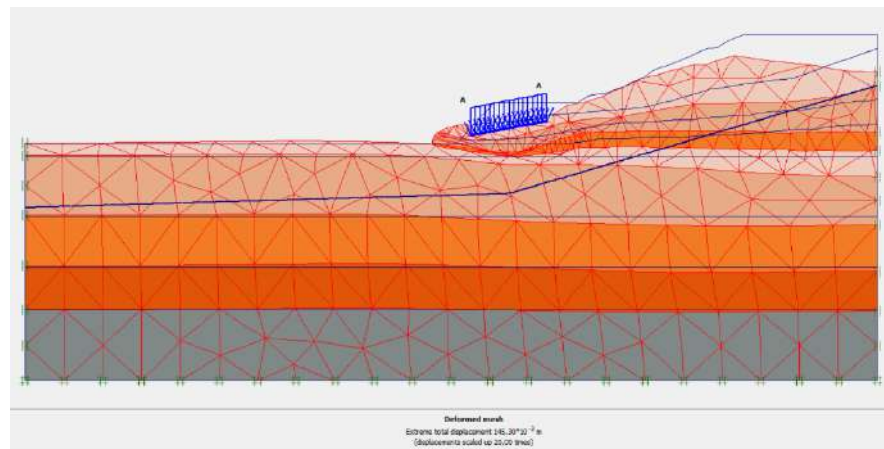
Tabel 5.8 Hasil *Safety Factor* Dan *Settlement Point A*.

Tahapan Kalkulasi	<i>Safety Factor</i>	<i>Settlement</i> (cm)
Perkerasan Jalan	2.3732	1.7
Pembebanan 46 kN/m ²	1.4273	2.3
1 Tahun Setelah Konstruksi	1.4277	3.1
3 Tahun Setelah Konstruksi	1.4278	3.1
5 Tahun Setelah Konstruksi	1.4276	3.2
10 Tahun Setelah Konstruksi	1.4276	3.2

Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan Program *Output Plaxis*

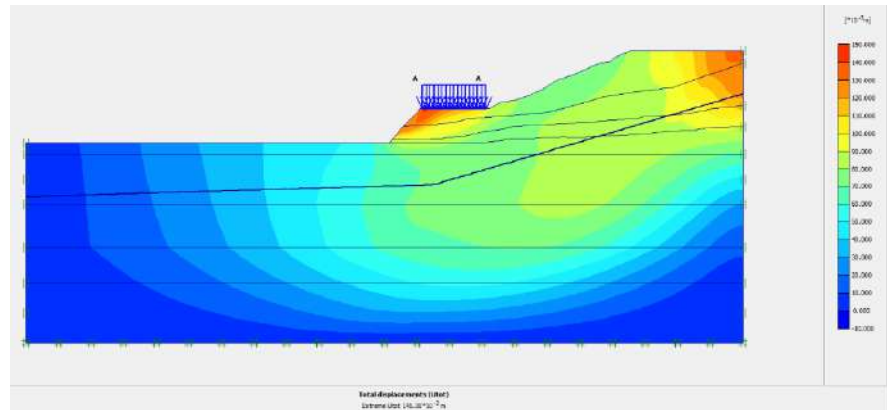
5.5.4 Hasil Analisis Dengan *Hardening soil*

Hasil *deformed mesh* tanah dengan beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas disajikan dalam Gambar 5.12 berikut.



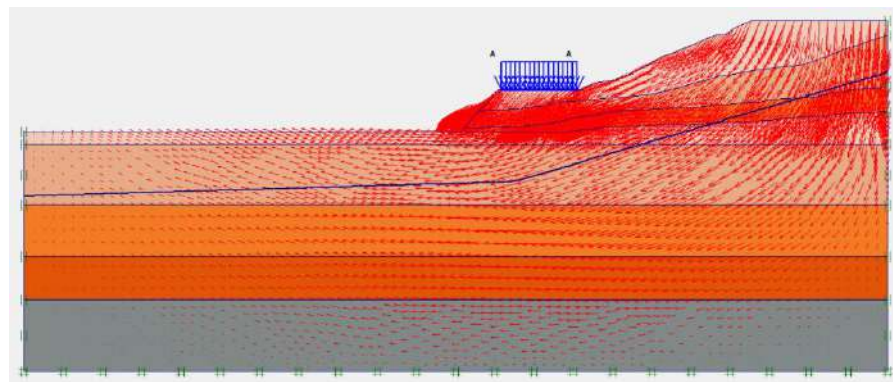
Gambar 5.12 Permodelan Lereng Perkuatan *Retaining Wall input Plaxis*.

Total *displacement* lereng akibat beban perkerasan jalan dan beban lalu lintas pada badan jalan disajikan dalam Gambar 5.13 sebagai berikut:

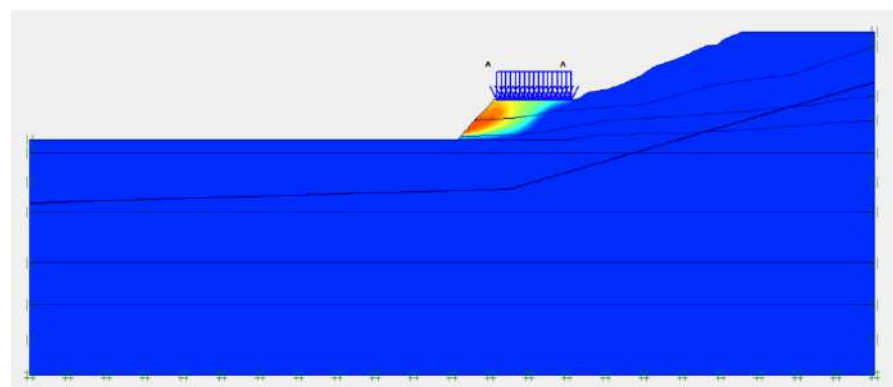


Gambar 5.13 Total *Displacement* Kondisi Lereng Tanpa Perkuatan Akibat Beban Struktur Jalan dan Lalulintas Sebesar $145.30 \cdot 10^{-3}$ m.

Arah pergerakan tanah pada lereng tahapan akhir konstruksi akibat beban perkerasan jalan dan beban lalulintas didominasi oleh pergerakan arah horizontal. Arah pergerakan tanah pada lereng tahapan akhir konstruksi disajikan dalam Gambar 5.14 sebagai berikut:

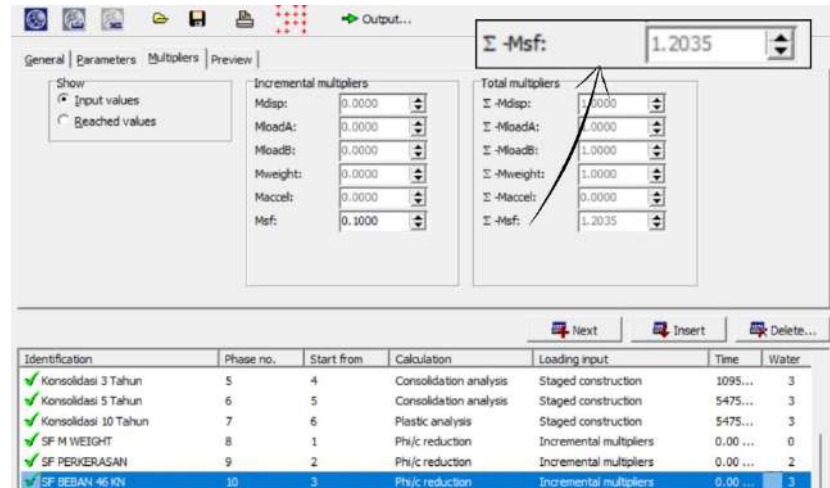


Gambar 5.14 Arah Pergerakan Tanah *output Plaxis calculation*.



Gambar 5.15 *Safety Factor* Akibat Beban Perkerasan sebesar 1.2035.

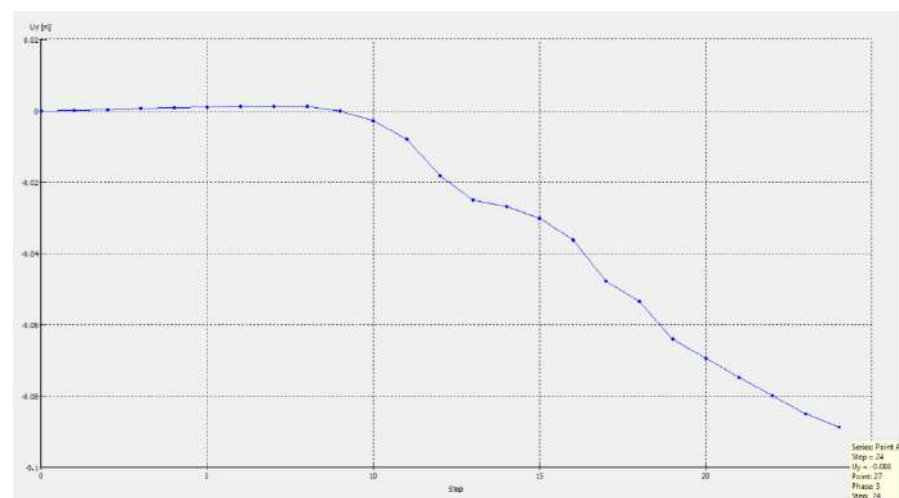
Nilai angka aman (SF) kondisi awal lereng tanpa perkuatan yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur jalan dan beban lalu lintas sebesar 1,2035. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Safety Factor Plaxis calculation.

Dalam kondisi awal pada lereng tanpa perkuatan memiliki nilai keamanan lereng yaitu 1,2035. Dengan ini nilai keamanan $< 1,5$, maka lereng tersebut memang berpotensi terjadi kerawanan longsor atau diartikan tidak aman dan diperlukan perkuatan lereng.

Nilai penurunan tanah arah vertikal (U_y) terhadap beban struktur jalan dan beban lalu lintas kondisi lereng tanpa perkuatan sebesar 0,088 m, dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut ini.



Gambar 5.17 Kurva *Settlement* Kondisi Awal Lereng Tanpa Perkuatan.

Nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) berdasarkan waktu tahapan konstruksi dan titik tinjau *point A* dari kurva *settlement* kemudian dilakukan rekapitulasi nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) pada tanah timbunan jalan pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Hasil *Safety Factor* Dan *Settlement Point A*.

Tahapan Kalkulasi	<i>Safety Factor</i>	<i>Settlement</i> (cm)
Perkerasan Jalan	1.6610	8.5
Pembebanan 46 kN/m ²	1.2035	8.8
1 Tahun Setelah Konstruksi	1.1980	3.1
3 Tahun Setelah Konstruksi	1.2037	3.1
5 Tahun Setelah Konstruksi	1.2035	3.2
10 Tahun Setelah Konstruksi	1.1995	3.2

Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan Program *Output Plaxis*

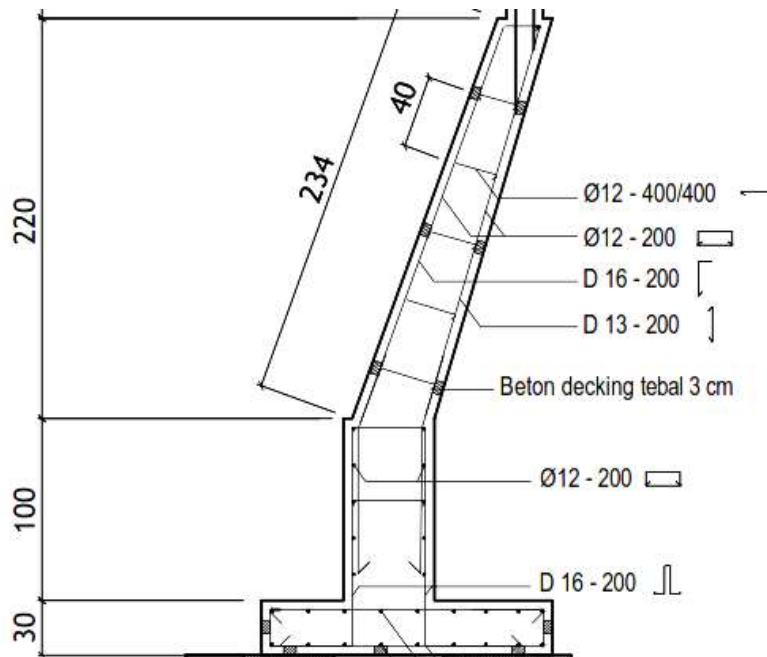
5.6 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Dengan Program *Plaxis*

Dari hasil perhitungan lereng asli diatas dapat disimpulkan bahwa keadaan lereng mempunyai nilai faktor keamanan lereng yang kurang atau berpotensi longsor, maka dilakukan percobaan penambahan perkuatan tanah menggunakan dinding penahan tanah untuk menambah angka keamanan lereng.

5.6.1 Permodelan Dan Material Dinding Penahan Tanah

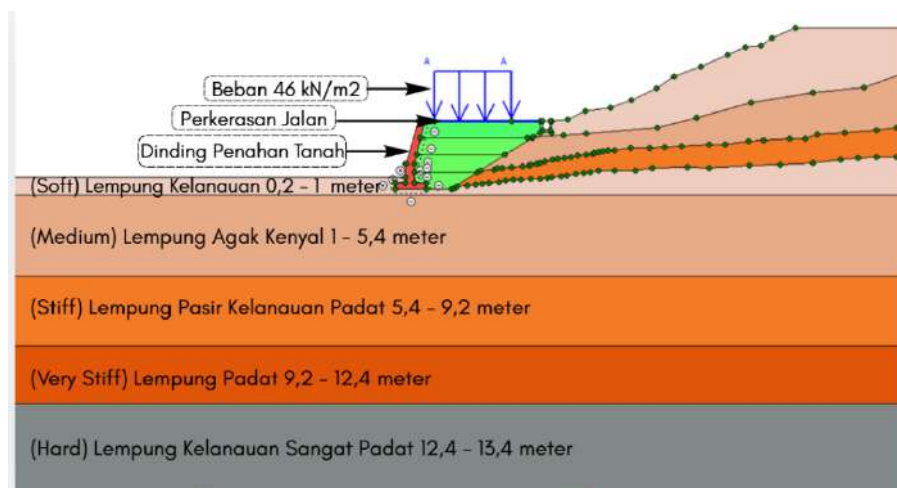
Permodelan Lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan diberi muka air. Dengan menggunakan data tanah pada Tabel 5.2 kemudian dimasukkan kedalam program *Plaxis* agar mengetahui pada lereng tersebut mengalami kelongsoran atau tidak dengan karakteristik permodelan dinding penahan tanah *type* kantilver yang digunakan sebagai berikut:

1. $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$
2. $D = 0.6 \text{ m}$
3. $F_c = 20 \text{ Mpa}$
4. $E = 21019038.99 \text{ kN/m}^2$



Gambar 5.19 Detail Dinding Penahan Tanah

(Sumber: Gambar Desain DPUPR Kabupaten Kendal 2026)



Gambar 5.20 Permodelan Lereng Perkuatan *Retaining Wall* input *Plaxis*.

5.6.2 Tahapan Pelaksanaan

Dalam tahapan proses perhitungan menggunakan *Plaxis* dimulai dengan menentukan fase-fase perhitungan yang dimulai dari *initial condition*, *cut and fill* lereng , konstruksi dinding penahan tanah, timbunan badan jalan, dan penimbunan material preloading. Pada progam ini seluruh struktur yang telah digambarkan saat permodelan akan muncul ketika kalkulasi dilaksanakan, struktur akan dianggap

terpasang ketika diaktivasi. Setelah timbunan selesai dikerjakan sesuai dengan elevasi yang direncanakan, waktu yang dibutuhkan pada masing-masing tahapan pekerjaan diambil berdasarkan hasil pencatatan pada tahapan konstruksi dilapangan. Jumlah tahapan yang akan dilakukan pada permodelan adalah 15 dengan Waktu pelaksanaan selama 57 hari, tahapannya yaitu:

Fase-fase pelaksanaan perhitungan tersebut dapat dilihat seperti pada Tabel 5.10 ini:

Tabel 5.10 Tahapan Pelaksanaan

NO	Tahapan Konstruksi	Hari	Total Hari
1	Mweight 1 Kondisi Initial	0	0
2	Cut And Fill Lereng	5	5
3	Konstruksi Dinding Penahan Tanah	14	19
4	Timbunan Layer 4 elevasi 0,87 m	1	20
5	Timbunan Layer 3 elevasi 1,75 m	1	21
6	Timbunan Layer 2 elevasi 2,63 m	1	22
7	Timbunan Layer 1 elevasi 3,5 m	1	23
8	Galian Drainase	2	25
9	konstruksi Drainase	3	28
10	Perkerasan Beton	28	56
11	Pembebanan 46 kN/m ²	1	57
12	Konsolidasi 1 Tahun	365	422
13	Konsolidasi 3 Tahun	1095	1517
14	Konsolidasi 5 Tahun	5475	6992
15	Konsolidasi 10 Tahun	54750	61742

Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan *Schedule* Pekerjaan Dilapangan.

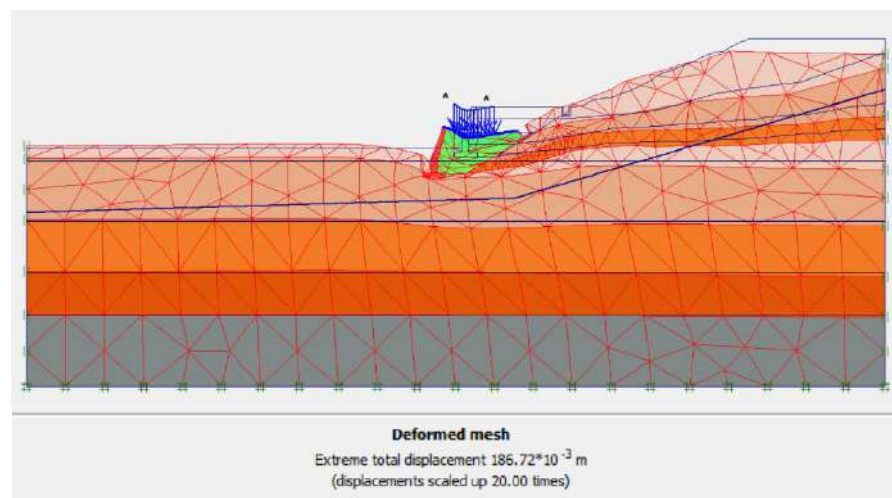
5.6.3 Hasil Analisis Dengan *Mohr-Coulomb*

Setelah seluruh tahapan perhitungan dimasukkan ke dalam program *Plaxis* dengan benar, maka program dapat melakukan perhitungan. Hasil output perhitungannya dapat dilihat pada gambar berikut ini:

1. Kondisi terhadap beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas

Pada tahapan akhir konstruksi ini proses penimbunan telah selesai dan pekerjaan struktur jalan sudah selesai, maka pada analisis dimasukkan beban merata sebesar 24 kN/m diterapkan sebagai representasi beban struktur perkerasan jalan dan 22 kN/m sebagai beban Lalu lintas total menjadi 46 kN/m.

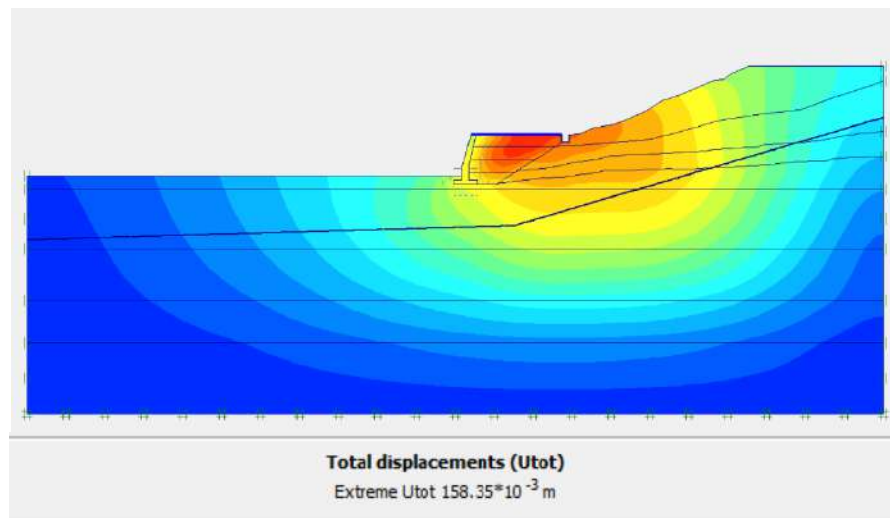
Hasil *deformed mesh* tanah dengan beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas disajikan dalam Gambar 5.21 berikut:



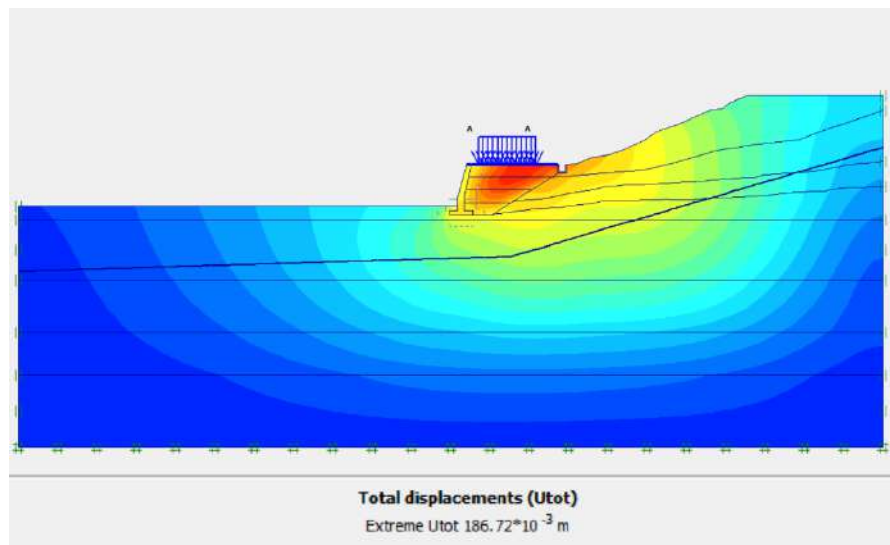
Gambar 5.21 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Perkuatan Dinding Penahanan Tanah Akibat Beban Perkerasan dan Lalu lintas.

Pada timbunan tanah baru saat penimbunan hingga layer paling atas elevasi 3.5 m yang diberi beban perkerasan struktur jalan mengalami *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada daerah tengah timbunan, dan setelah diberi beban Lalu lintas *displacement* terkonsentrasi pada daerah kanan timbunan. Akibat beban struktur jalan kondisi *displacement* terbesar terjadi pada bagian tengah timbunan sedangkan akibat beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas terjadi pada bagian kanan timbunan. Besar nilai total *displacement* yang dialami timbunan saat penimbunan 4 m akibat beban perkerasan jalan adalah sebesar $158.35 \cdot 10^{-3}$ m sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban Lalu lintas adalah $186.72 \cdot 10^{-3}$. Total *displacement* akibat beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas pada timbunan saat

penimbunan 3.5 m disajikan dalam Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 sebagai berikut:

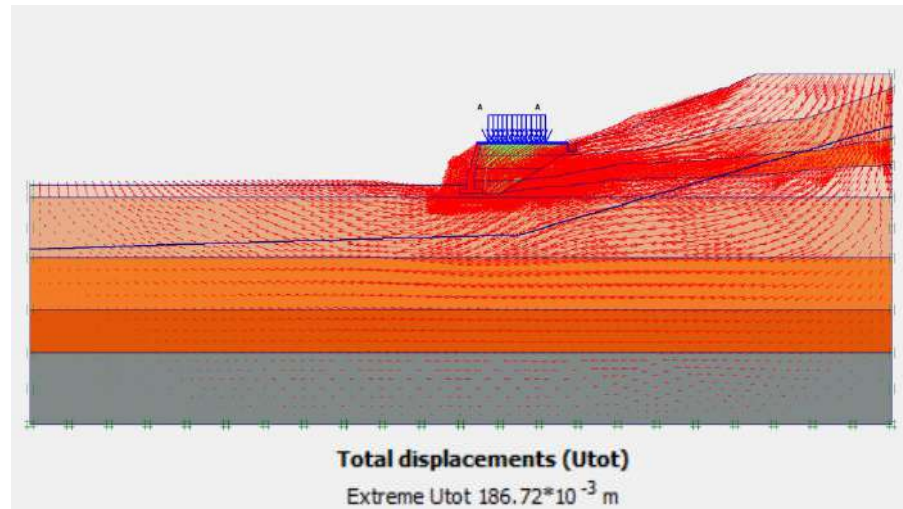


Gambar 5.22 *Total Displacement* Kondisi Tanah Perkuatan Dinding Penahanan Tanah Akibat Beban Perkerasan Jalan.

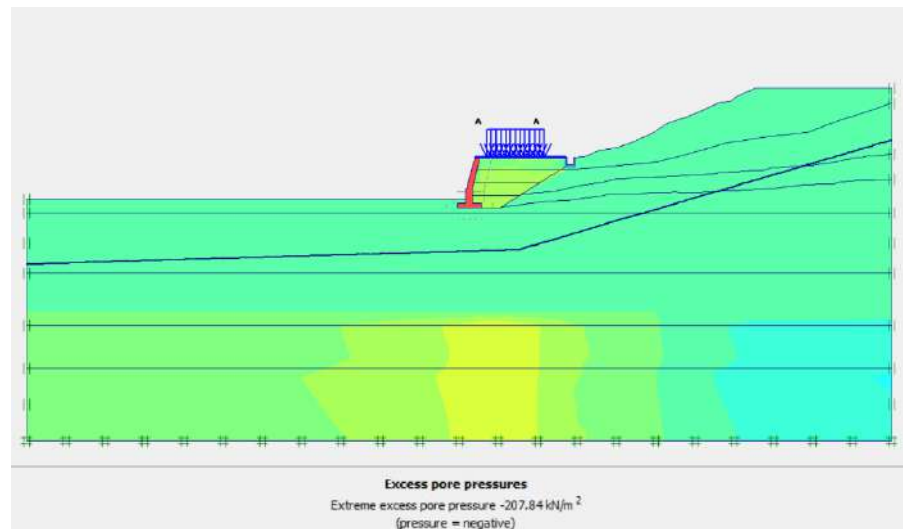


Gambar 5.23 *Total Displacement* Kondisi Tanah Perkuatan Dinding Penahanan Tanah Akibat Beban Struktur dan Lalu lintas.

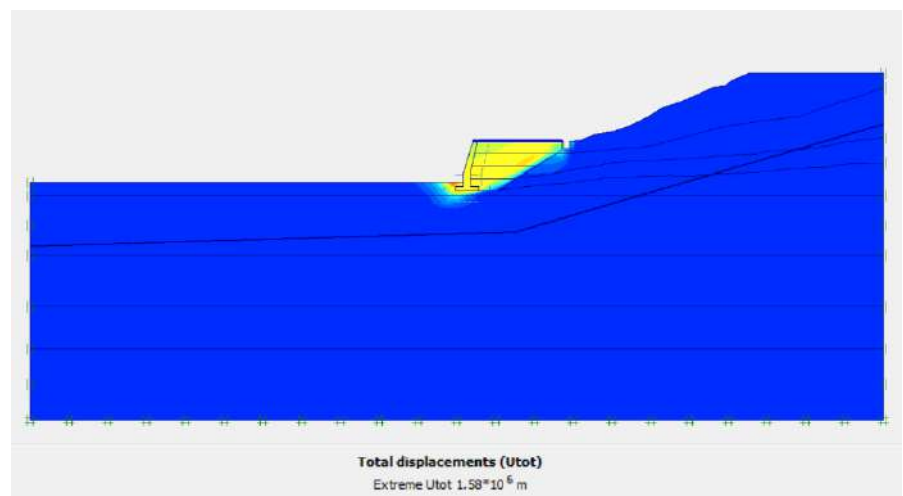
Arah pergerakan tanah pada lereng tahapan akhir konstruksi akibat beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas didominasi oleh pergerakan arah horizontal. Arah pergerakan tanah pada lereng tahapan akhir konstruksi disajikan dalam Gambar 5.24 sebagai berikut:



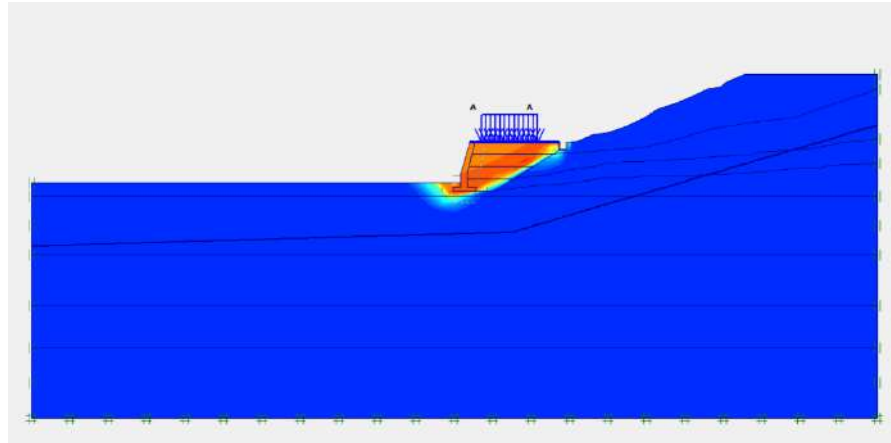
Gambar 5.24 Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Perkerasan dan Lalu lintas.



Gambar 5.25 *Excess Pore Pressure* sebesar -207.84 kN/m².



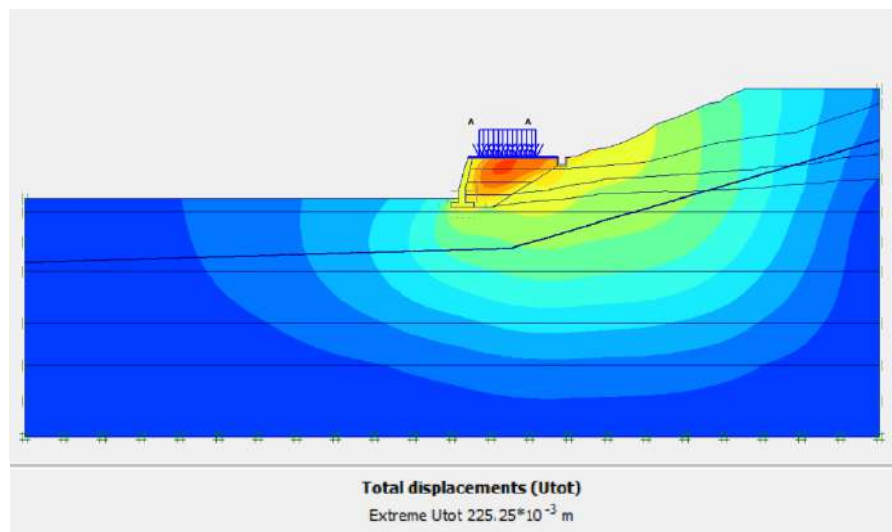
Gambar 5.26 *Safety Factor* Akibat Beban Perkerasan sebesar 2.3664.



Gambar 5.27 *Safety Factor* Akibat Beban Perkerasan Dan Beban Lalu lintas sebesar 1.4927.

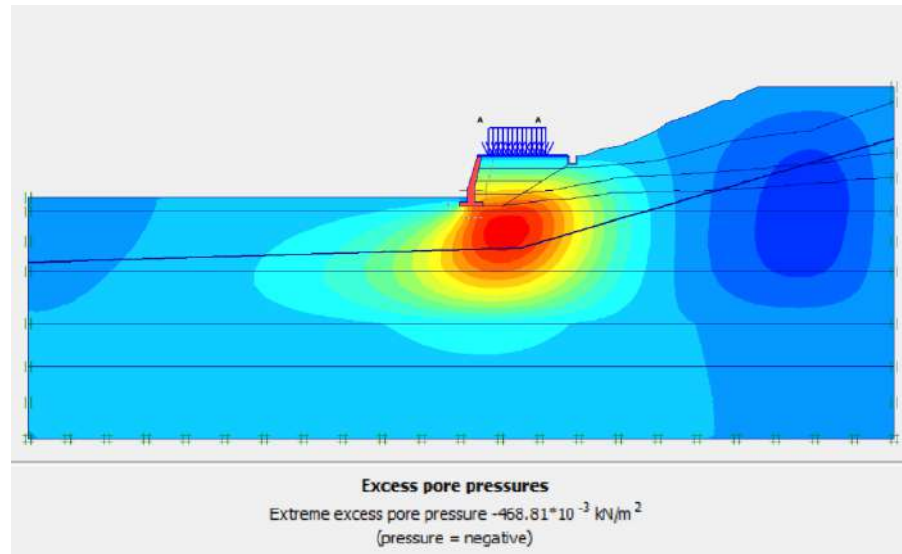
2. Analisis konsolidasi 1 tahun

Perhitungan *consolidation* pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 365 hari pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.28 sampai 5.30 berikut:

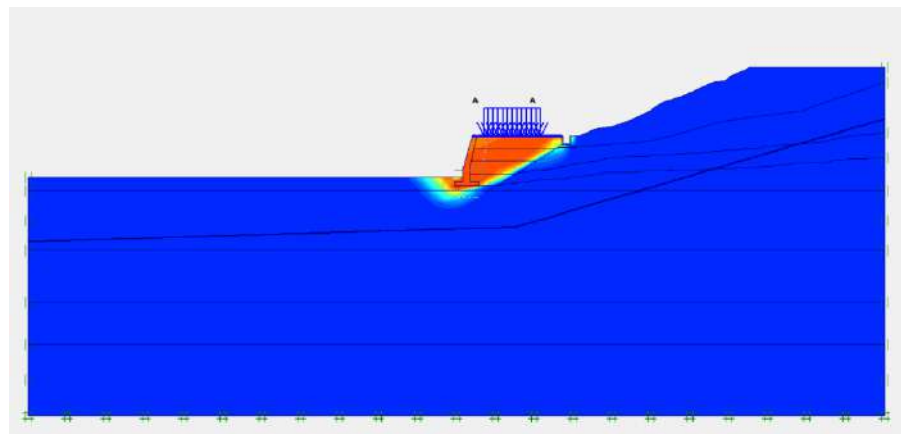


Gambar 5.28 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.225 m.



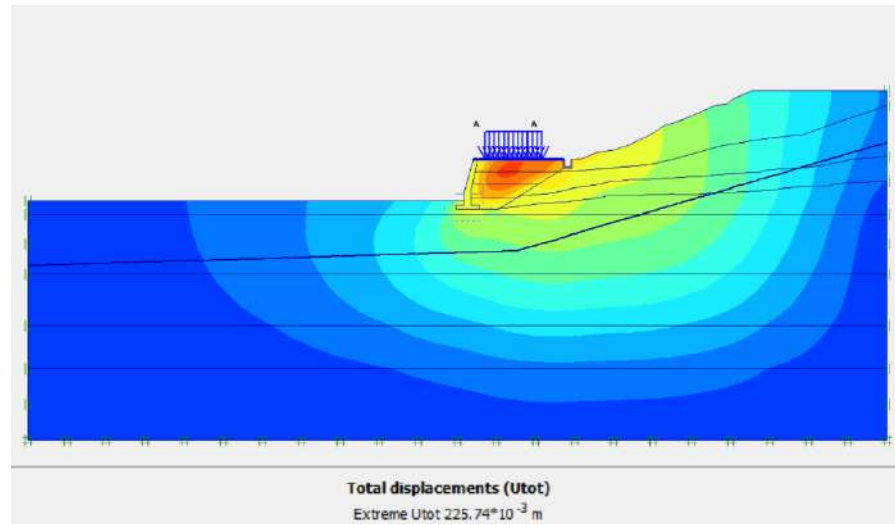
Gambar 5.29 *Excess Pore Pressure* sebesar $-20\backslash.84 \text{ kN/m}^2$.



Gambar 5.30 *Safety Factor* Akibat Penurunan Konsolidasi 1 Tahun
 Sebesar 1.6022.

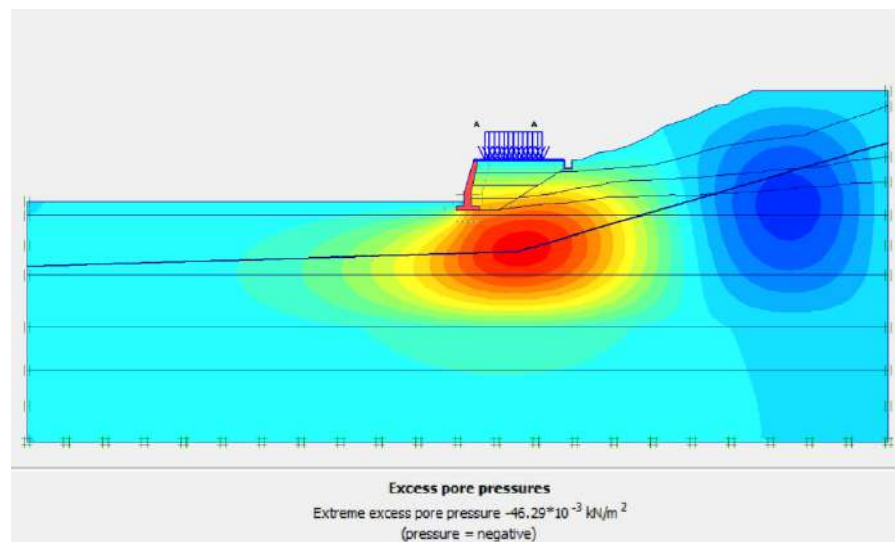
3. Analisis konsolidasi 3 tahun

Perhitungan *consolidation* pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 1095 hari / 3 tahun pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.31 sampai 5.33 berikut:

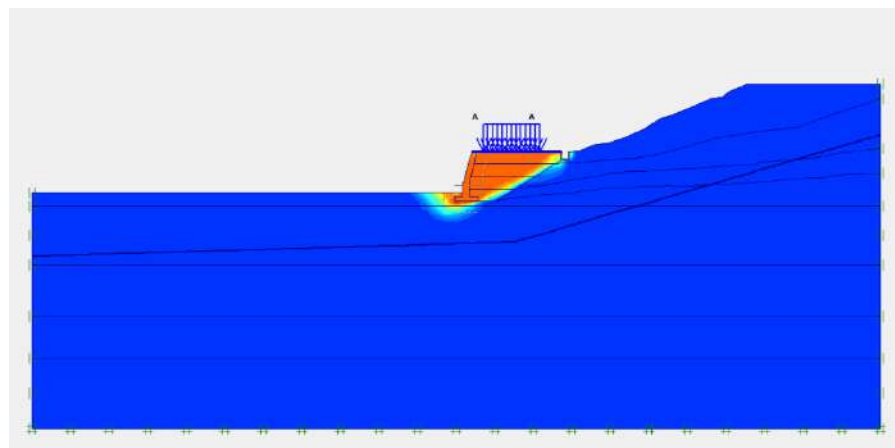


Gambar 5.31 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.226 m.



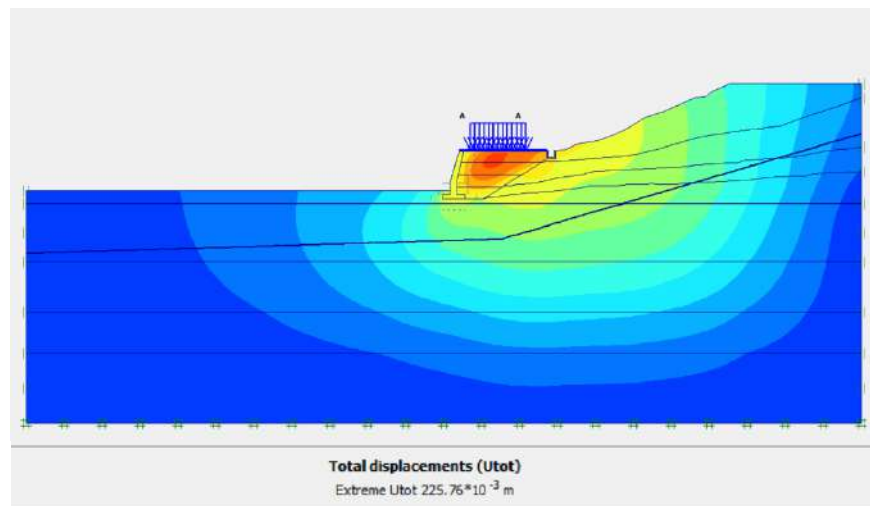
Gambar 5.32 *Excess Pore Pressure* sebesar $-46.29 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$.



Gambar 5.33 *Safety Factor* Penurunan Konsolidasi 3 Tahun Sebesar 1.6188.

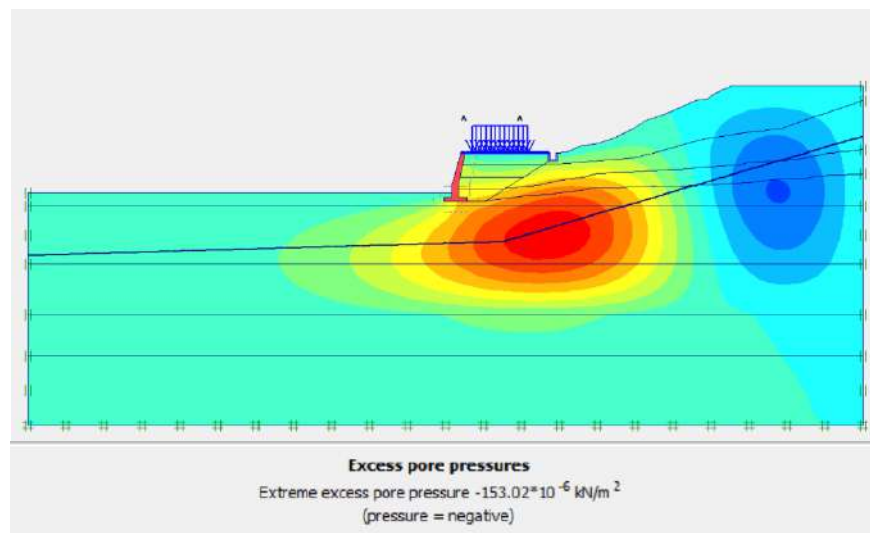
4. Analisis konsolidasi 5 tahun

Perhitungan consolidation pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 5475 hari atau 5 tahun pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.34 sampai 5.36 berikut.

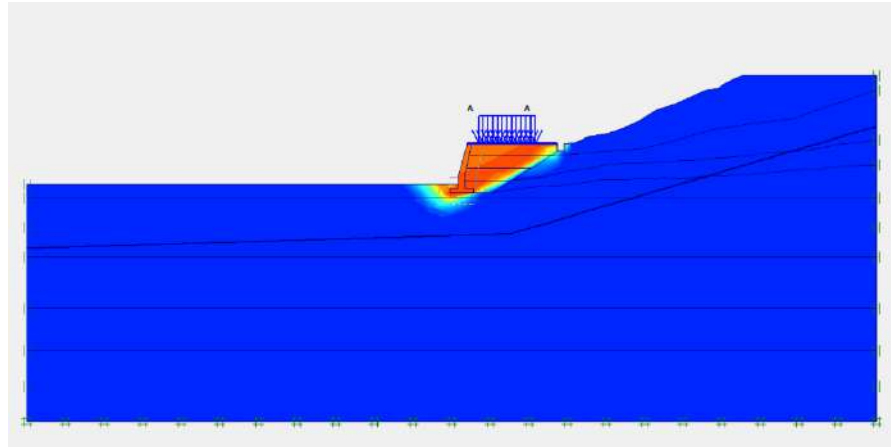


Gambar 5.34 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.226 m.



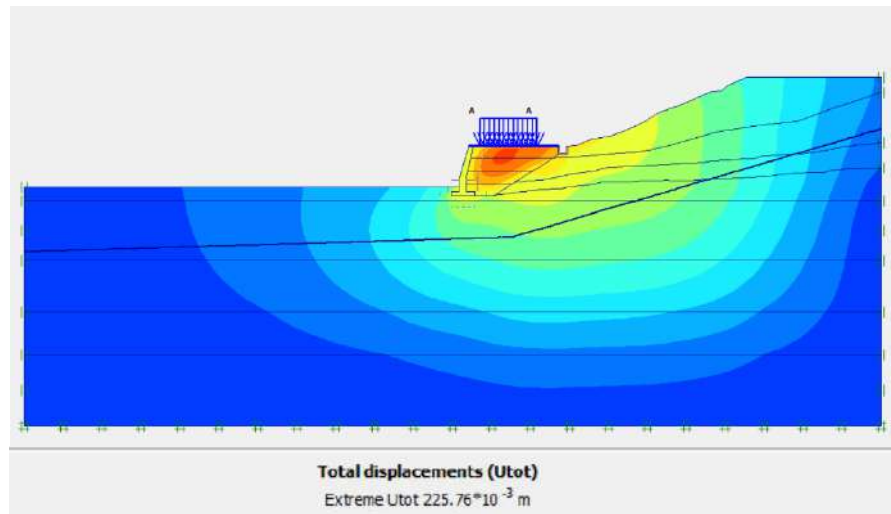
Gambar 5.35 *Excess Pore Pressure* sebesar $-153.02 \cdot 10^{-6} \text{ kN/m}^2$.



Gambar 5.36 *Safety Factor* Penurunan Konsolidasi 5 Tahun Sebesar 1.6002.

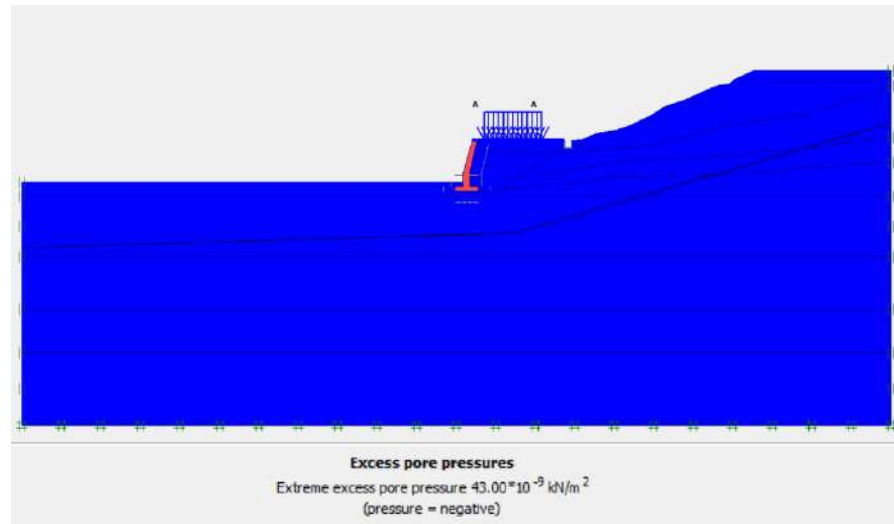
5. Analisis konsolidasi 10 tahun

Perhitungan *consolidation* pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 54750 hari atau 10 tahun pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.37 sampai 5.39 berikut.

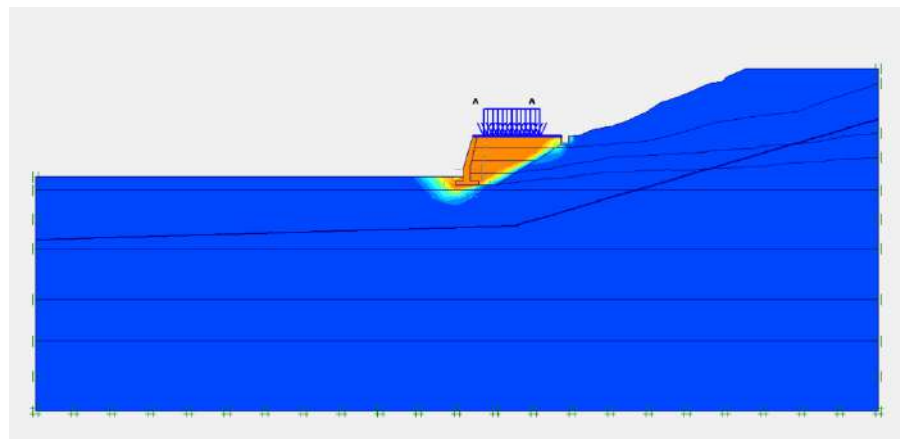


Gambar 5.37 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.226 m.



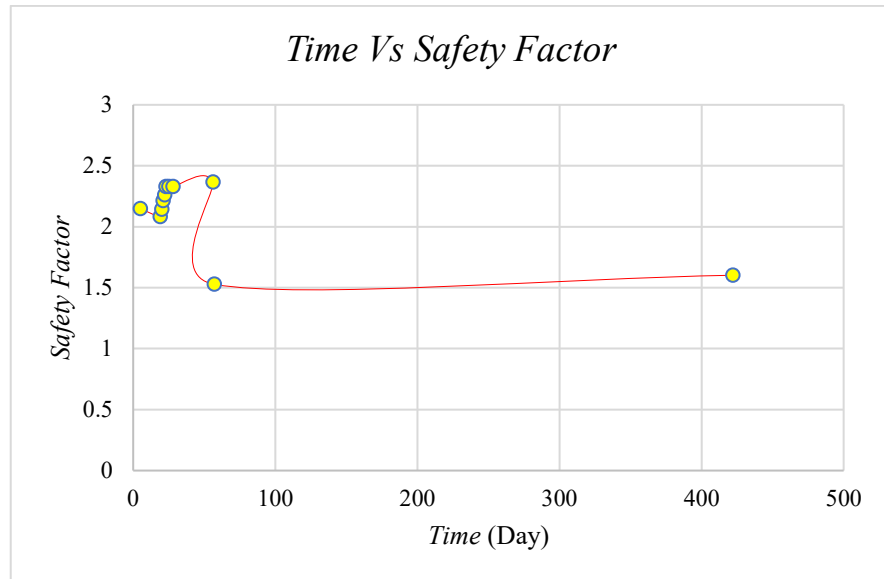
Gambar 5.38 *Excess Pore Pressure* sebesar $-43.00 \cdot 10^{-9} \text{ kN/m}^2$.



Gambar 5.39 *Safety Factor* Akibat Penurunan Konsolidasi 10 Tahun
Sebesar 1.6002.

6. Grafik Time Vs Safety Factor

Grafik nilai keamanan lereng berdasarkan waktu tahapan akhir konstruksi sampai dengan waktu konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 5.40.



Gambar 5.40. Grafik *Time Vs Safety Factor*.

Rekapitulasi nilai angka keamanan (*Safety Factor*) dari waktu tahapan konstruksi kemudian dari hasil analisis dilakukan rekapitulasi nilai angka keamanan (*Safety Factor*) pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah disajikan pada Tabel 5.11 berikut:

Tabel 5.11 Nilai Keamanan Dari Tahapan Pelaksanaan

No	Tahapan Konstruksi	Hari	Total Hari	<i>Safety Factor</i>
1	Mweight 1 Kondisi Initial	0	0	2.2003
2	Cut And Fill Lereng	5	5	2.1481
3	Konstruksi Dinding Penahan Tanah	14	19	2.0827
4	Timbunan Layer 4 elevasi 0,87 m	1	20	2.1429
5	Timbunan Layer 3 elevasi 1,75 m	1	21	2.2143
6	Timbunan Layer 2 elevasi 2,63 m	1	22	2.2615
7	Timbunan Layer 1 elevasi 3,5 m	1	23	2.3293
8	Galian Drainase	2	25	2.3294
9	Konstruksi Drainase	3	28	2.331
10	Perkerasan Jalan	28	56	2.3664
11	Pembebanan 46 kN/m ²	1	57	1.4927
12	Konsolidasi 1 Tahun	365	422	1.6022
13	Konsolidasi 3 Tahun	1095	1517	1.6188
14	Konsolidasi 5 Tahun	5475	6992	1.6002

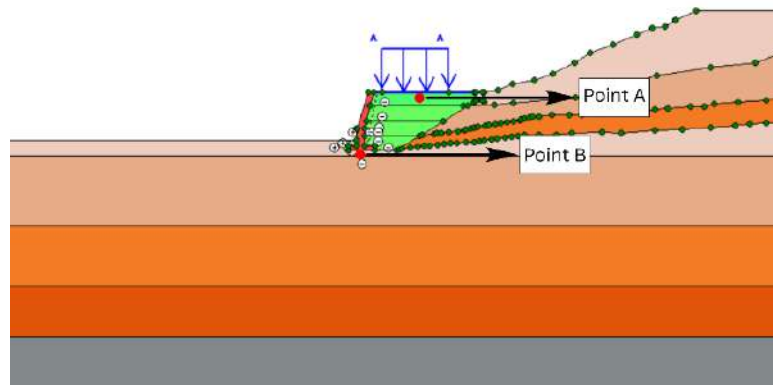
No	Tahapan Konstruksi	Hari	Total Hari	<i>Safety Factor</i>
15	Konsolidasi 10 Tahun	54750	61742	1.6002

Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan *Schedule* Pekerjaan Dilapangan

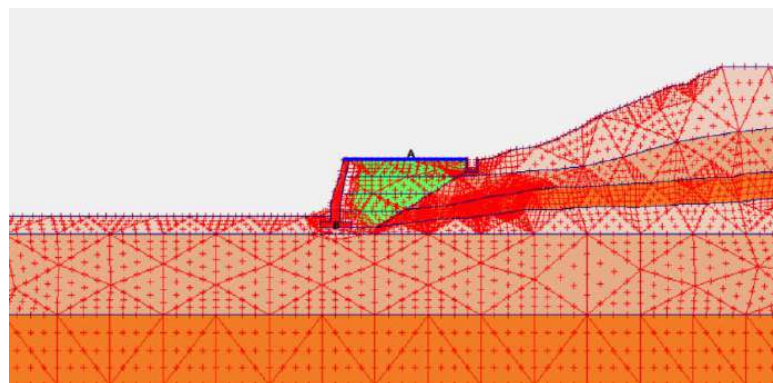
Berdasarkan Tabel 5.11 angka aman (SF) pada lereng pasca konstruksi memiliki nilai angka aman (SF) yang masih kurang dari yang syarat yang ditentukan sebesar 1,5. Maka perlu dilakukan analisis kembali dengan alternatif solusi yang baru yaitu memberi perkuatan tambahan pondasi *borepile* sebagai kapasitas daya dukung pondasi.

7. Kurva Settlement Dan Time Pelaksanaan

Penentuan titik tinjau pada permodelan program *Plaxis* untuk mengetahui nilai *settlement* (penurunan) tanah pada analisis stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 5.41 dan Gambar 5.42 berikut.

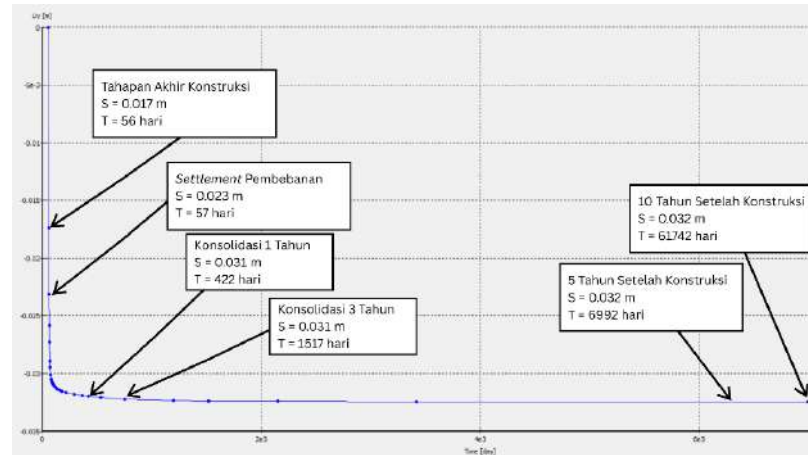


Gambar 5.41 lokasi Titik Tinjau Perhitungan Penurunan Tanah.



Gambar 5.42 Penentuan Nodal Titik Monitoring *Settlement Analysis*.

Grafik hubungan antara penurunan tanah arah vertikal (U_y) dengan waktu tahapan akhir konstruksi dan konsolidasi pada titik tinjauan nodal A dapat dilihat pada Gambar 5.43 berikut.



Gambar 5.43 Kurva *Settlement vs Time* Pelaksanaan Point A.

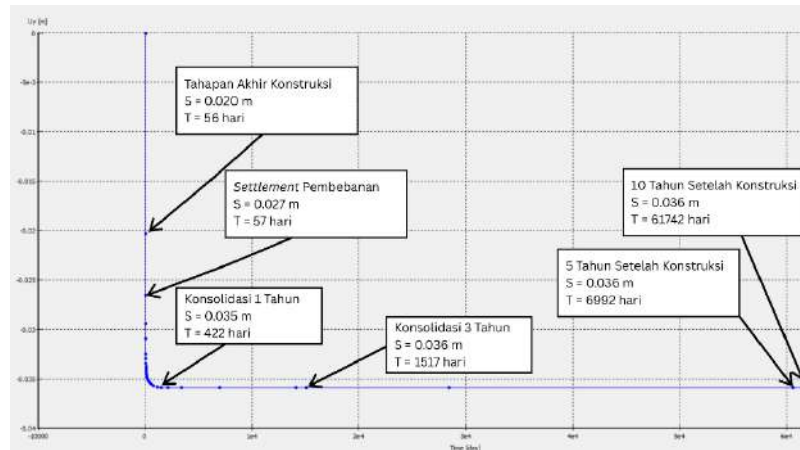
Nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) berdasarkan waktu tahapan konstruksi dan titik tinjau *point A* dari kurva *settlement* kemudian dilakukan rekapitulasi nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah disajikan pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Tahapan Pelaksanaan Dan Hasil *Settlement* Point A.

Tahapan Pelaksanaan	Hari	<i>Settlement</i> (cm)
Perkerasan Jalan	56	1.7
Pembebanan 46 kN/m ²	57	2.3
1 Tahun Setelah Konstruksi	422	3.1
3 Tahun Setelah Konstruksi	1517	3.1
5 Tahun Setelah Konstruksi	6992	3.2
10 Tahun Setelah Konstruksi	61742	3.2

Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan Program *Curve Plaxis*.

Grafik hubungan antara penurunan tanah arah vertikal (U_y) dengan waktu tahapan akhir konstruksi dan konsolidasi pada titik tinjauan nodal B dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.44 Kurva *Settlement vs Time* Pelaksanaan Point B.

Nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) berdasarkan waktu tahapan konstruksi dan titik tinjau *point B* dari kurva *settlement* kemudian dilakukan rekapitulasi nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah disajikan pada Tabel 5.13 berikut.

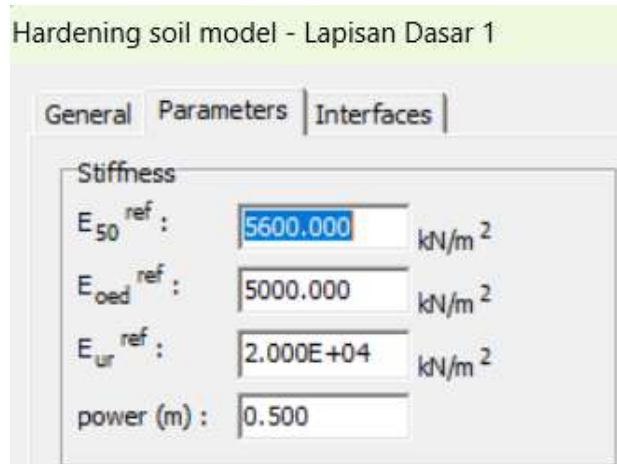
Tabel 5.13 Tahapan Pelaksanaan Dan Hasil *Settlement* Point B.

Tahapan Pelaksanaan	Hari	<i>Settlement</i> (cm)
Perkerasan Jalan	56	2.0
Pembebanan 46 kN/m ²	57	2.7
1 Tahun Setelah Konstruksi	422	3.5
3 Tahun Setelah Konstruksi	1517	3.6
5 Tahun Setelah Konstruksi	6992	3.6
10 Tahun Setelah Konstruksi	61742	3.6

Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan Program *Curve Plaxis*.

5.6.4 Hasil Analisis Dengan *Hardening soil*

Perhitungan pada permodelan dengan *hardening soil* sama dengan pada *Mohr Coulomb*, yang membedakan hanyalah parameter tanah yang digunakan. Jika pada permodelan *Mohr Coulomb* didasarkan dari nilai modulus (*E*) dan passion rasio (*v*) tanah, maka pada *hardening soil* didasarkan dari nilai modulus yang diperoleh dari pengujian triaxial dan konsolidasi (*E_{ur}*, *E₅₀* dan *E_{oed}*).



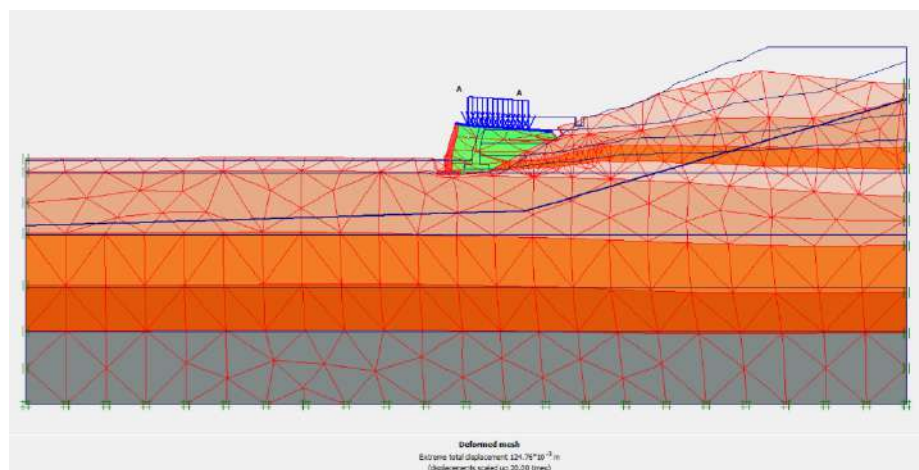
Gambar 5.45 Parameter Tambahan *Hardening soil Plaxis*.

Hasil output perhitungannya dapat dilihat pada gambar berikut ini:

1. Kondisi terhadap beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas

Pada tahapan akhir konstruksi ini proses penimbunan telah selesai dan pekerjaan struktur jalan sudah selesai, maka pada analisis dimasukkan beban merata sebesar 24 kN/m diterapkan sebagai representasi beban struktur perkerasan jalan dan 22 kN/m sebagai beban Lalu lintas total menjadi 46 kN/m.

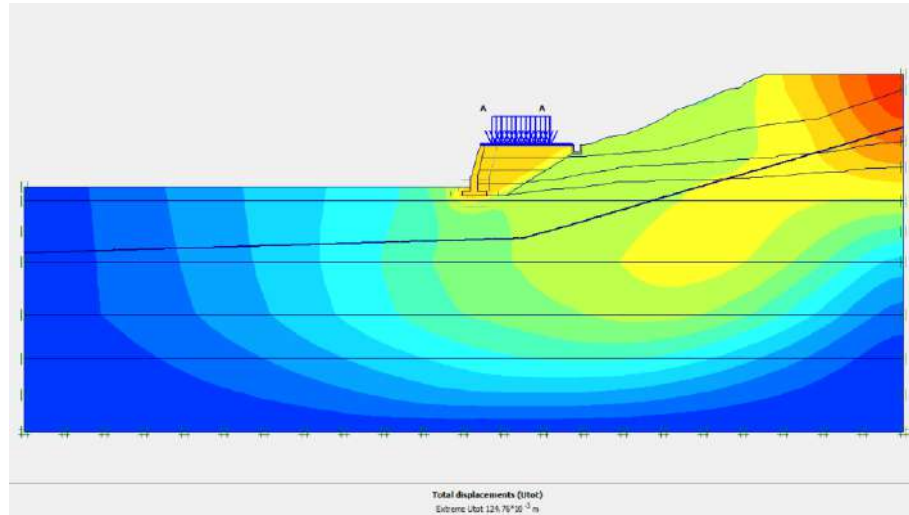
Hasil *deformed mesh* tanah dengan beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas disajikan dalam Gambar 5.46 berikut:



Gambar 5.46 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Dengan *Hardening soil* sebesar $124.76 \cdot 10^{-3}$.

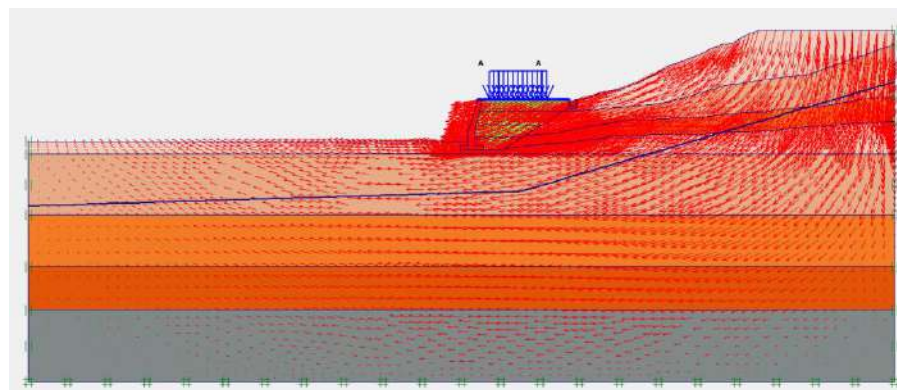
Besar nilai total *displacement* yang dialami timbunan saat penimbunan 3.5 m akibat beban perkerasan jalan adalah sebesar

123.83×10^{-3} m sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban Lalu lintas adalah 124.76×10^{-3} m. Total *displacement* akibat beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas pada timbunan saat penimbunan 3.5 m disajikan dalam Gambar 5.47 sebagai berikut:

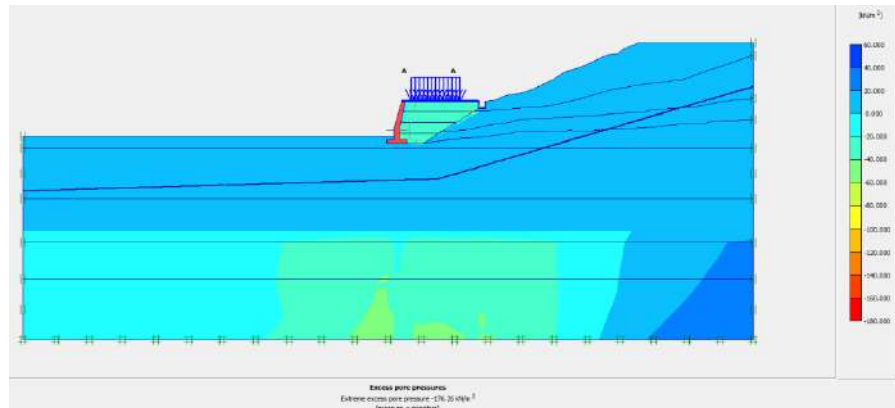


Gambar 5.47 Total *Displacement* Kondisi Tanah Perkuatan Dinding Penahanan Tanah Akibat Beban Struktur dan Lalu lintas.

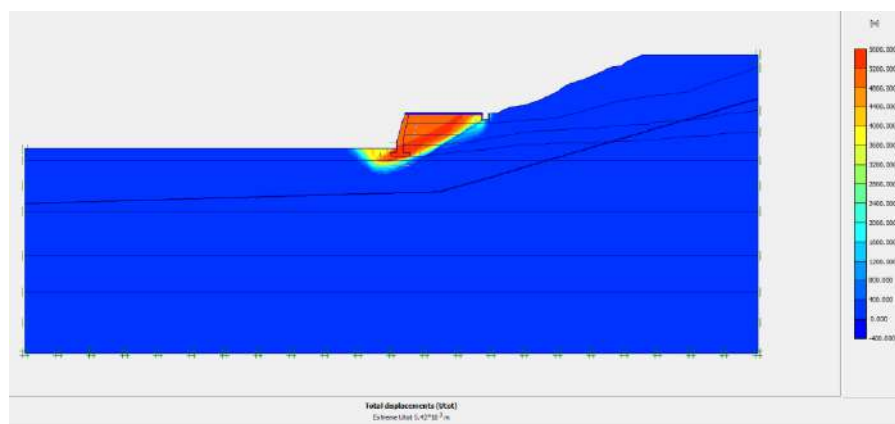
Arah pergerakan tanah pada lereng tahapan akhir konstruksi akibat beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas didominasi oleh pergerakan arah horizontal. Arah pergerakan tanah pada lereng tahapan akhir konstruksi disajikan dalam Gambar 5.48 sebagai berikut:



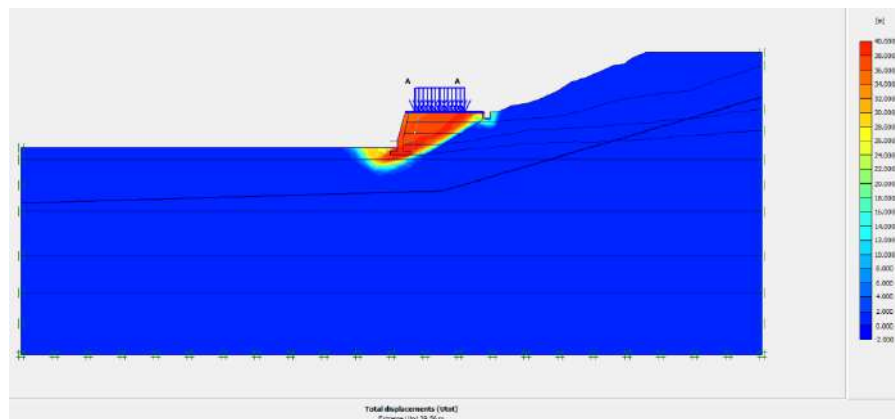
Gambar 5.48 Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Perkerasan dan Lalu lintas.



Gambar 5.49 *Excess Pore Pressure* sebesar -176.26 kN/m².



Gambar 5.50 *Safety Factor* Akibat Beban Perkerasan sebesar 1.9858.

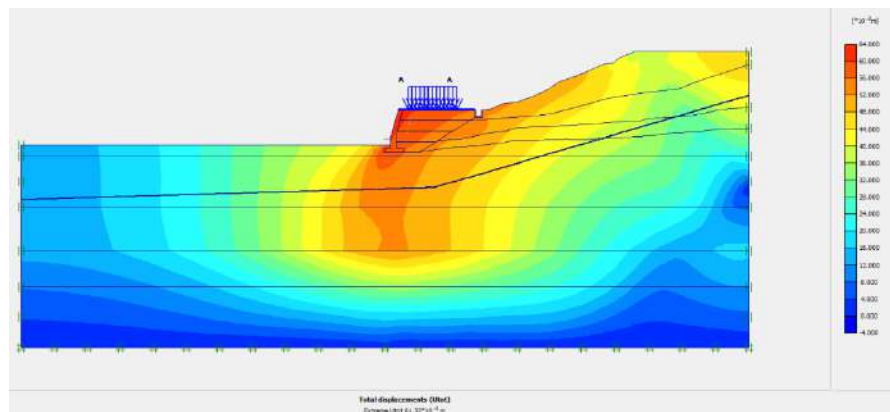


Gambar 5.51 *Safety Factor* Akibat Beban Perkerasan Dan Beban Lalu lintas sebesar 1.5506.

2. Analisis konsolidasi 1 tahun

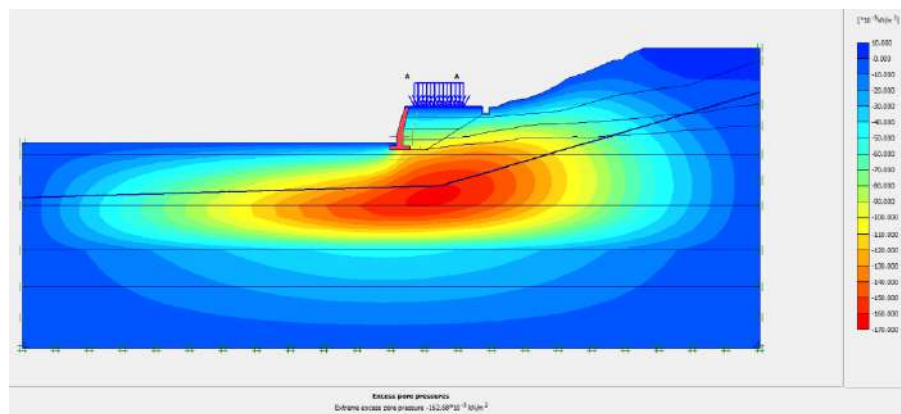
Perhitungan *consolidation* pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 365 hari pada lereng timbunan dengan

perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.52 sampai 5.54 berikut:

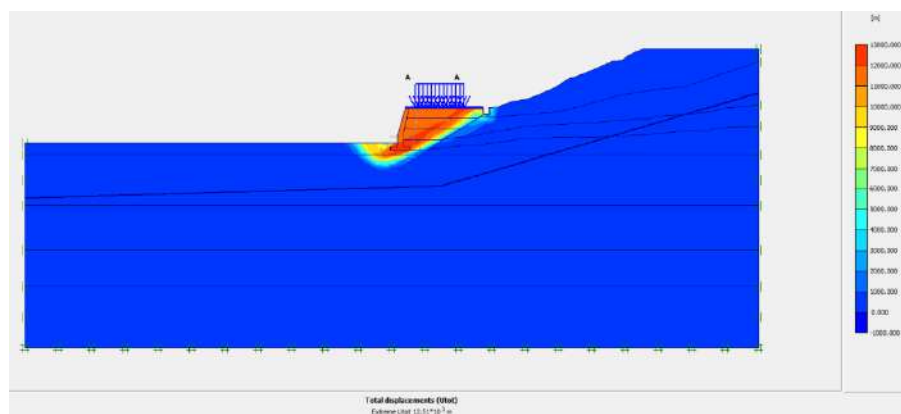


Gambar 5.52 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.0613 m.



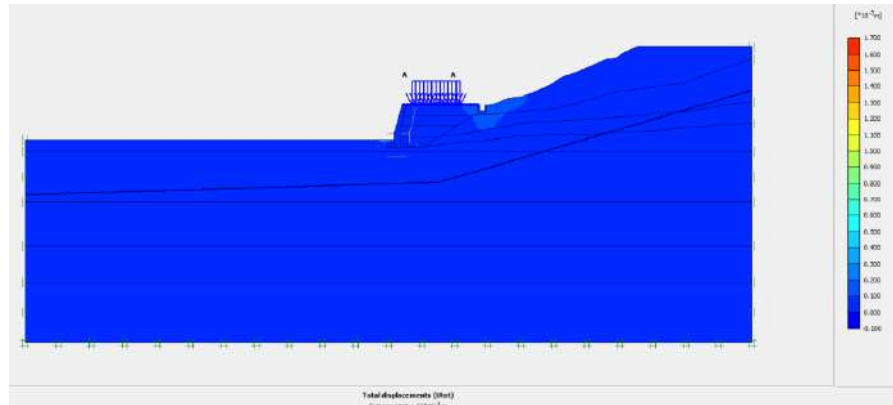
Gambar 5.53 *Excess Pore Pressure* sebesar $-162.68 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$.



Gambar 5.54 *Safety Factor* Akibat Penurunan Konsolidasi 1 Tahun Sebesar 1.7001.

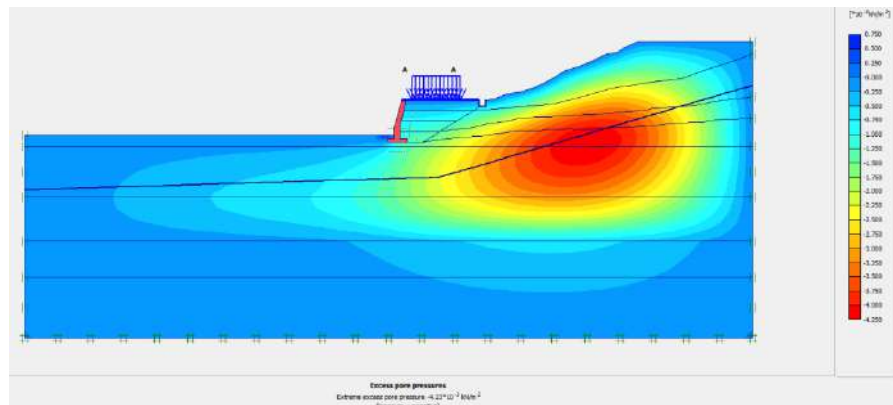
3. Analisis konsolidasi 3 tahun

Perhitungan *consolidation* pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 1095 hari / 3 tahun pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.55 sampai 5.57 berikut.

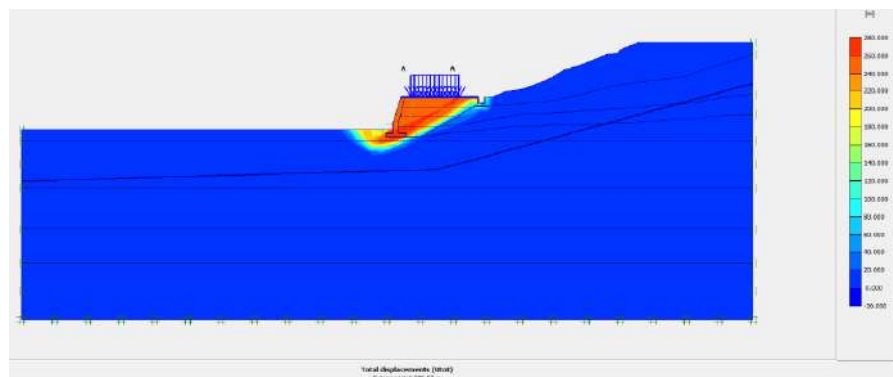


Gambar 5.55 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.169 m.



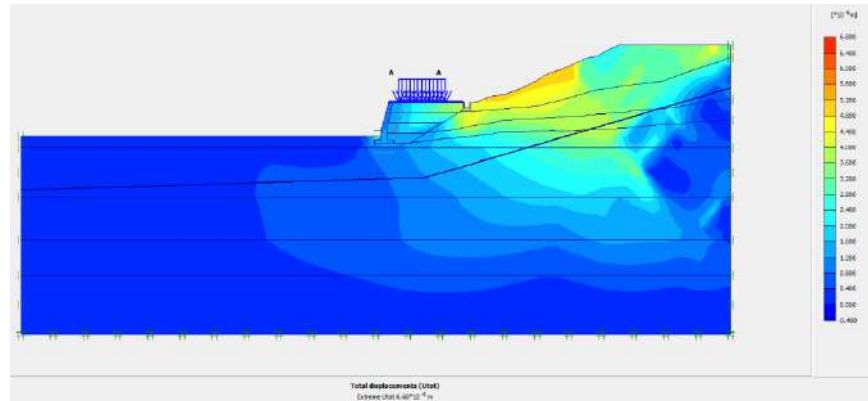
Gambar 5.56 *Excess Pore Pressure* sebesar $-4.23 \cdot 10^{-3}$ kN/m².



Gambar 5.57 *Safety Factor* Akibat Penurunan Konsolidasi 3 Tahun
Sebesar 1.7029.

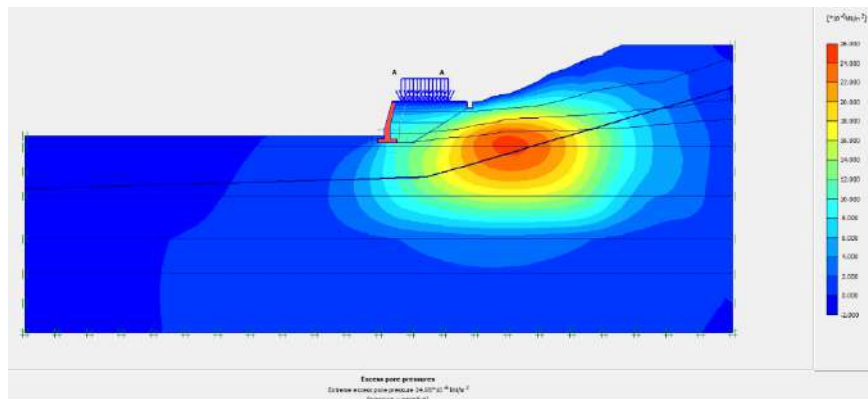
4. Analisis konsolidasi 5 tahun

Perhitungan consolidation pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 5475 hari atau 5 tahun pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.58 sampai 5.60 berikut:

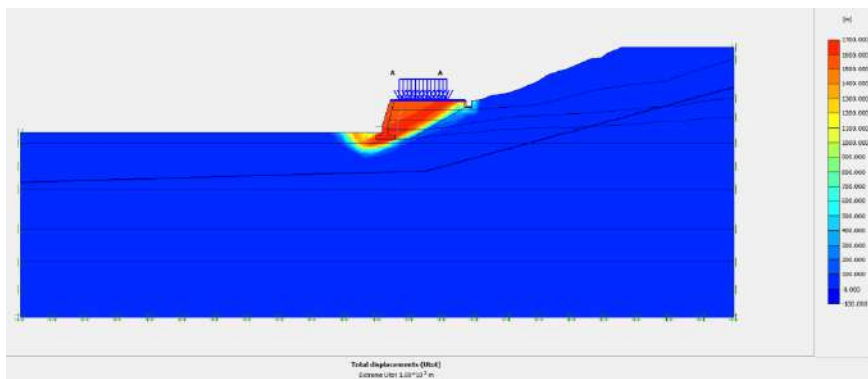


Gambar 5.58 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.0668 m.



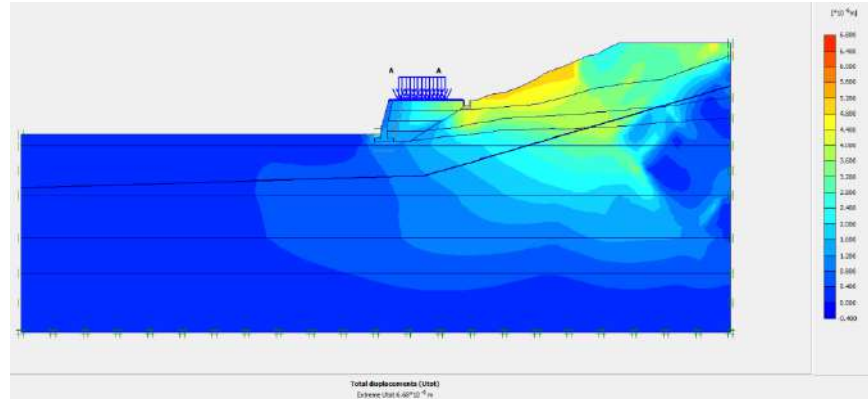
Gambar 5.59 *Excess Pore Pressure* sebesar $24.65 \cdot 10^{-4} \text{ kN/m}^2$.



Gambar 5.60 *Safety Factor* Akibat Penurunan Konsolidasi 5 Tahun Sebesar 1.7049.

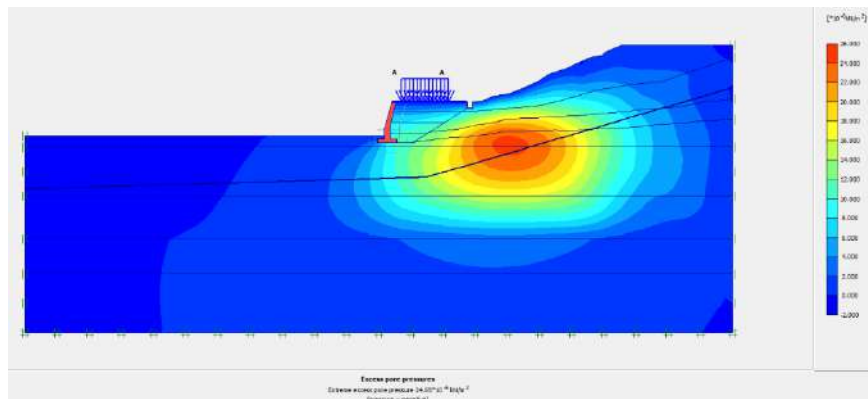
5. Analisis konsolidasi 10 tahun

Perhitungan *consolidation* pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 54750 hari atau 10 tahun pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah disajikan dalam Gambar 5.61 sampai 5.63 berikut:

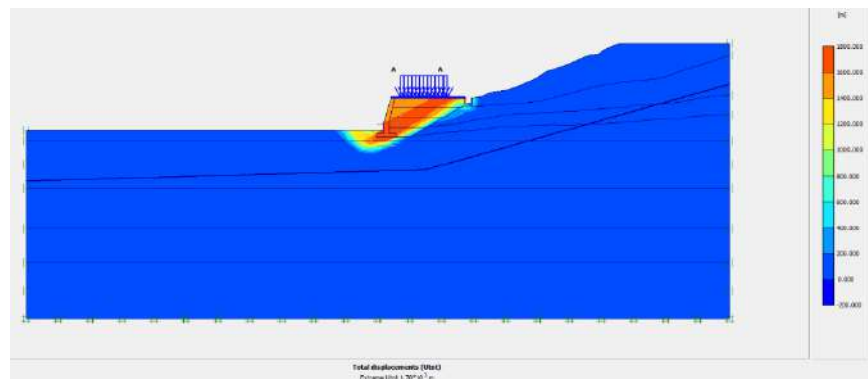


Gambar 5.61 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.0668 m.



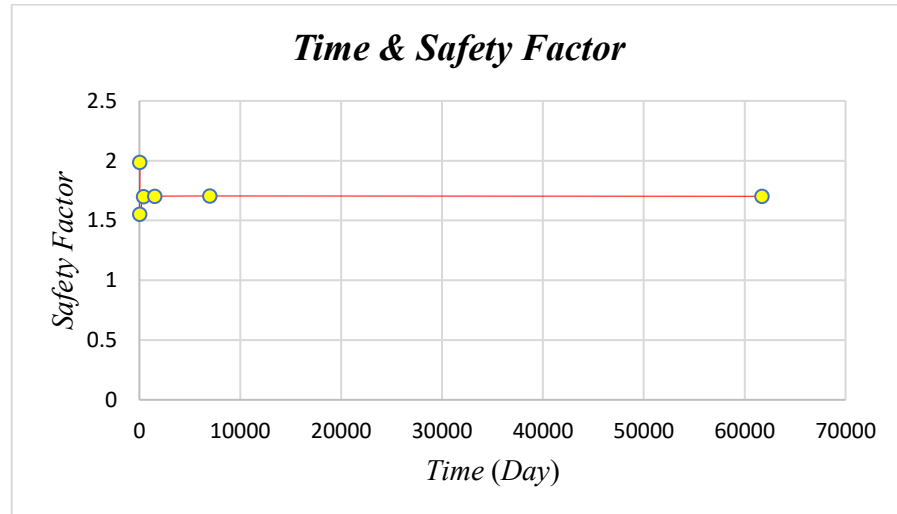
Gambar 5.62 *Excess Pore Pressure* sebesar $24.65 \cdot 10^{-4}$ kN/m².



Gambar 5.63 *Safety Factor* Akibat Penurunan Konsolidasi 10 Tahun Sebesar 1.7026.

6. Grafik Time Vs Safety Factor

Grafik nilai keamanan lereng berdasarkan waktu tahapan akhir konstruksi sampai dengan waktu konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 5.64 berikut ini.



Gambar 5.64 *Safety Factor Akibat Penurunan Konsolidasi 10 Tahun*
Sebesar 1.7026.

Rekapitulasi nilai angka keamanan (*Safety Factor*) dari waktu tahapan konstruksi kemudian dari hasil analisis dilakukan rekapitulasi nilai angka keamanan (*Safety Factor*) pada lereng dengan kekuatan dinding penahan tanah disajikan pada Tabel 5.13 berikut:

Tabel 5.13 Nilai Keamanan Dari Tahapan Pelaksanaan

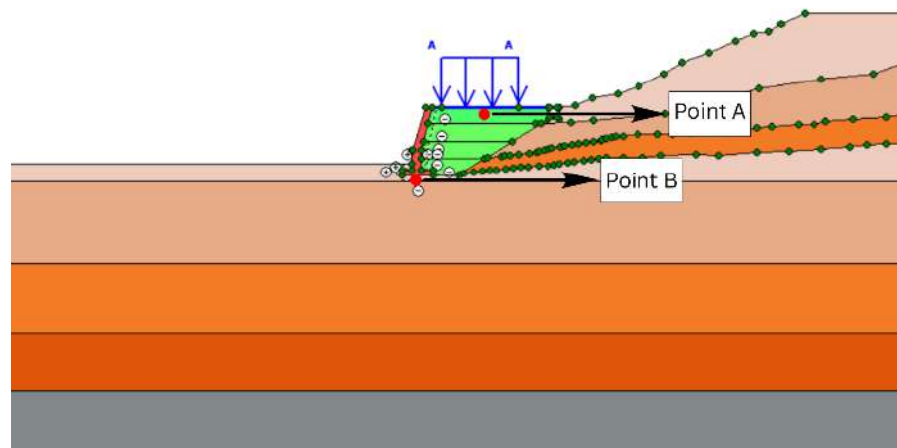
No	Tahapan Konstruksi	Hari	Total Hari	<i>Safety Factor</i>
1	Mweight 1 Kondisi Initial	0	0	2.2119
2	Cut And Fill Lereng	5	5	2.0751
3	Konstruksi Dinding Penahan Tanah	14	19	1.9192
4	Timbunan Layer 4 elevasi 0,87 m	1	20	1.9542
5	Timbunan Layer 3 elevasi 1,75 m	1	21	2.1908
6	Timbunan Layer 2 elevasi 2,63 m	1	22	2.3841
7	Timbunan Layer 1 elevasi 3,5 m	1	23	2.5673
8	Galian Drainase	2	25	2.5679
9	Konstruksi Drainase	3	28	2.5671
10	Perkerasan Jalan	28	56	1.9858

No	Tahapan Konstruksi	Hari	Total Hari	<i>Safety Factor</i>
11	Pembebanan 46 kN/m ²	1	57	1.5506
12	Konsolidasi 1 Tahun	365	422	1.7001
13	Konsolidasi 3 Tahun	1095	1517	1.7029
14	Konsolidasi 5 Tahun	5475	6992	1.7049
15	Konsolidasi 10 Tahun	54750	61742	1.7026

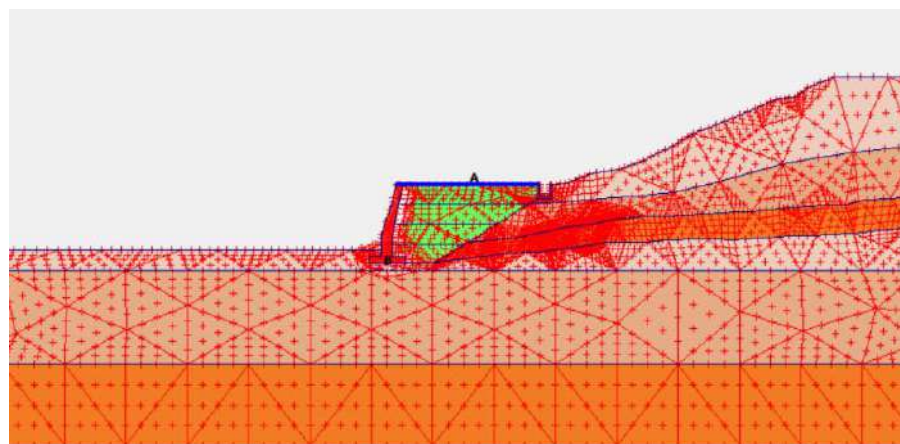
Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan *Schedule* Pekerjaan Dilapangan

7. Kurva Settlement Dan Time Pelaksanaan

Penentuan titik tinjau pada permodelan program *Plaxis* untuk mengetahui nilai *settlement* (penurunan) tanah pada analisis stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 5.65 dan Gambar 5.66 berikut.

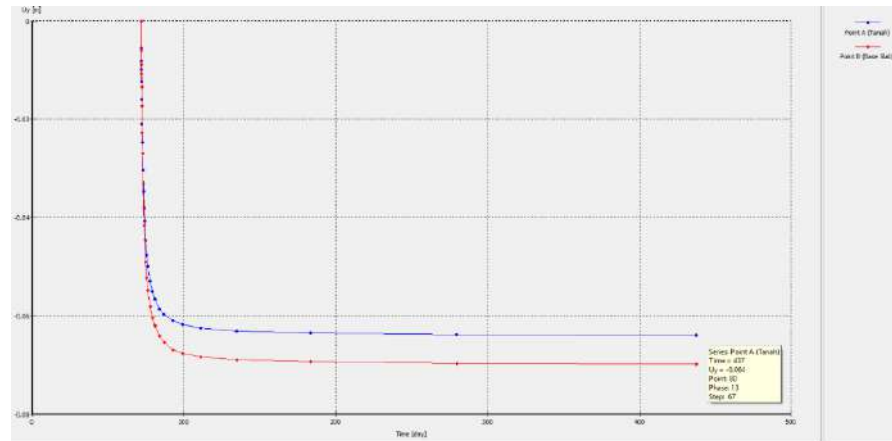


Gambar 5.65 lokasi Titik Tinjau Perhitungan Penurunan Tanah.



Gambar 5.66 Penentuan Nodal Titik Monitoring *Settlement Analysis*.

Grafik hubungan antara penurunan tanah arah vertikal (U_y) dengan waktu tahapan akhir konstruksi dan konsolidasi pada titik tinjauan nodal A dapat dilihat pada Gambar 5.67 berikut:



Gambar 5.67 Kurva *Settlement vs Time* Pelaksanaan Point A Dan B.

Nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) berdasarkan waktu tahapan konstruksi dan titik tinjau *point* A dan B dari kurva *settlement* kemudian dilakukan rekapitulasi nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe *hardening soil* disajikan pada Tabel 5.14 berikut.

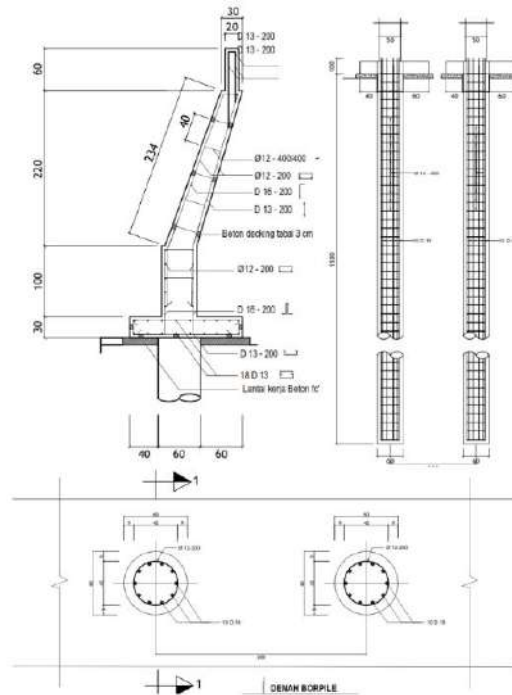
Tabel 5.14 Waktu Pelaksanaan Dan Hasil *Settlement* Poin A dan B.

Tahapan Konstruksi	Hari	<i>Settlement Point A</i> (cm)	<i>Settlement Point B</i> (cm)
Perkerasan Jalan	56	5.3	1.4
Pembebanan 46 kN/m ²	57	5.5	1.6
Konsolidasi 1 Tahun	422	6.4	7
Konsolidasi 3 Tahun	1517	0.0099240	0.007634
Konsolidasi 5 Tahun	6992	0.00229	0.01527
Konsolidasi 10 Tahun	61742	0.002137	0.00916

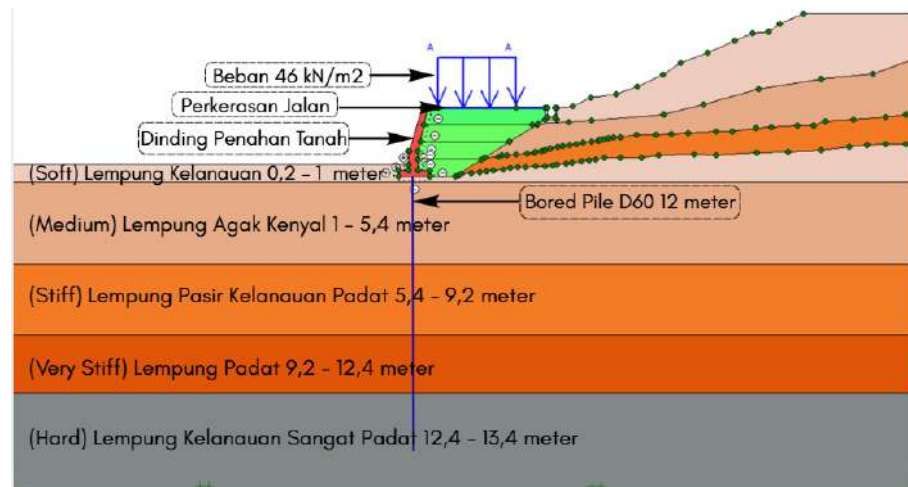
Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan Program *Curve Plaxis*.

5.7 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Dan Daya Dukung Pondasi *Borepile* Dengan Program *Plaxis*

Dari hasil perhitungan perkuatan lereng menggunakan dinding penahan tanah diatas dapat disimpulkan bahwa keadaan lereng mempunyai nilai faktor keamanan lereng yang kurang atau berpotensi longsor, maka



Gambar 5.68 Detail Dinding Penahan Tanah Dan *Borepile*.
(Sumber: Gambar Desain DPUPR Kabupaten Kendal 2026)



Gambar 5.69 Permodelan Lereng Perkuatan *Retaining Wall* Dan
Pondasi *Borepile Plaxis*.

5.7.2 Tahapan Pelaksanaan

Dalam tahapan proses perhitungan menggunakan *Plaxis* dimulai dengan menentukan fase-fase perhitungan yang dimulai dari *initial condition*, *cut and fill* lereng, konstruksi *Borepile*, konstruksi dinding penahan tanah, timbunan badan jalan, dan penimbunan material preloading. Pada program ini seluruh struktur yang telah digambarkan

saat permodelan akan muncul ketika kalkulasi dilaksanakan, struktur akan dianggap terpasang ketika diaktivasi. Setelah timbunan selesai dikerjakan sesuai dengan elevasi yang direncanakan, waktu yang dibutuhkan pada masing-masing tahapan pekerjaan diambil berdasarkan hasil pencatatan pada tahapan konstruksi dilapangan. Jumlah tahapan yang akan dilakukan pada permodelan adalah 17 dengan waktu pelaksanaan selama 70 hari, tahapannya yaitu:

Fase-fase pelaksanaan perhitungan tersebut dapat dilihat seperti pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Tahapan Pelaksanaan

No	Tahapan Konstruksi	Hari	Total Hari
1	Mweight 1 Kondisi Initial	0	0
2	Cut And Fill Lereng	5	5
3	Pemboran Tanah Untuk <i>Borepile</i>	7	12
4	Konstruksi <i>Borepile</i>	7	19
5	Konstruksi Dinding Penahan Tanah	14	33
6	Timbunan Layer 4 elevasi 0,87 m	1	34
7	Timbunan Layer 3 elevasi 1,75 m	1	35
8	Timbunan Layer 2 elevasi 2,63 m	1	36
9	Timbunan Layer 1 elevasi 3,5 m	1	37
10	Galian Drainase	2	39
11	konstruksi Drainase	3	42
12	Perkerasan Beton	28	70
13	Pembebanan 46 kN/m ²	1	71
14	Konsolidasi 1 Tahun	365	436
15	Konsolidasi 3 Tahun	1095	1531
16	Konsolidasi 5 Tahun	5475	7006
17	Konsolidasi 10 Tahun	54750	61756

Sumber: Penyusunan pribadi berdasarkan tahapan konstruksi dilapangan.

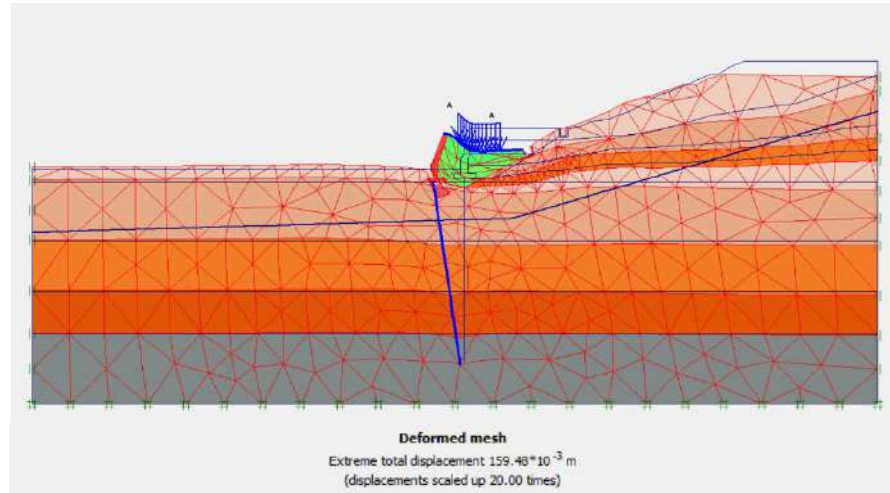
5.7.3 Hasil Analisis Dengan *Mohr-Coulomb*

1. Kondisi terhadap beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas

Pada tahapan akhir konstruksi ini proses penimbunan telah selesai dan pekerjaan struktur jalan sudah selesai, maka pada analisis dimasukkan beban merata sebesar 24 kN/m diterapkan sebagai

representasi beban struktur perkerasan jalan dan 22 kN/m sebagai beban Lalu lintas total menjadi 46 kN/m.

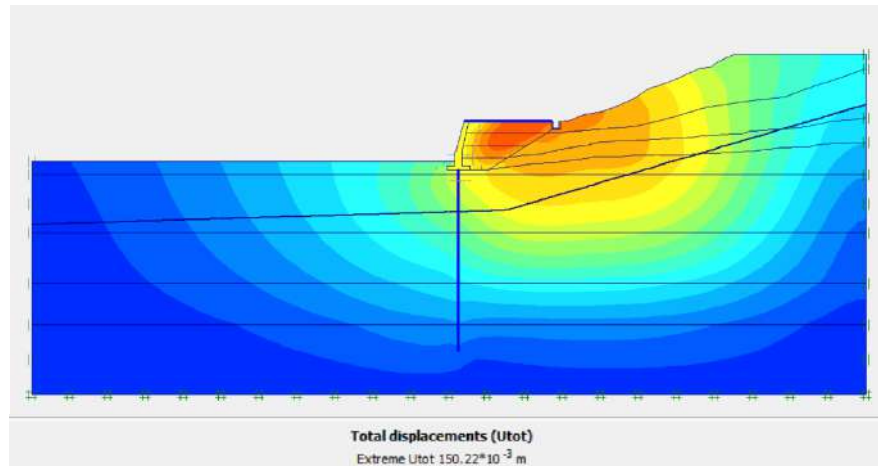
Hasil *deformed mesh* tanah dengan beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas disajikan dalam Gambar 5.70 berikut:



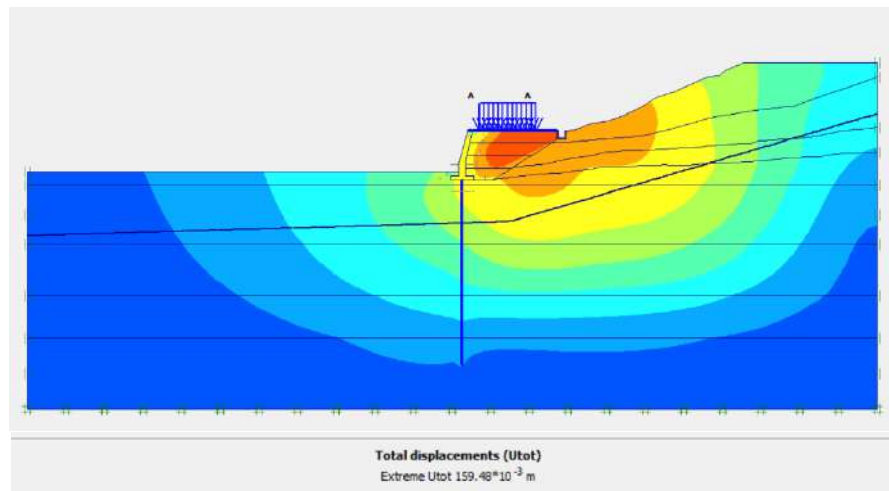
Gambar 5.70 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Perkuatan Dinding

Penahanan Tanah Akibat Beban Perkerasan dan Lalu lintas.

Pada timbunan tanah baru saat penimbunan hingga layer paling atas elevasi 3.5 m yang diberi beban perkerasan struktur jalan mengalami *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada daerah tengah timbunan, dan setelah diberi beban Lalu lintas *displacement* terkonsentrasi pada daerah kanan timbunan. Akibat beban struktur jalan kondisi *displacement* terbesar terjadi pada bagian tengah timbunan sedangkan akibat beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas terjadi pada bagian kanan timbunan. Besar nilai total *displacement* yang dialami timbunan saat penimbunan 3.5 m akibat beban perkerasan jalan adalah sebesar 150.22×10^{-3} m sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban Lalu lintas adalah 159.48×10^{-3} . Total *displacement* akibat beban struktur jalan, serta beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas pada timbunan baru saat penimbunan 3.5 m disajikan dalam Gambar 5.71 dan Gambar 5.72 sebagai berikut:

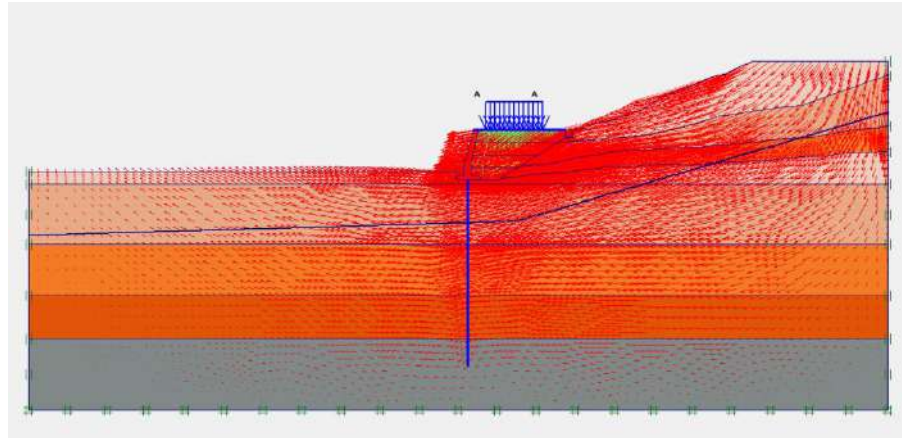


Gambar 5.71 Total *Displacement* Kondisi Tanah Perkuatan Dinding Penahanan Tanah Akibat Beban Perkerasan Jalan.

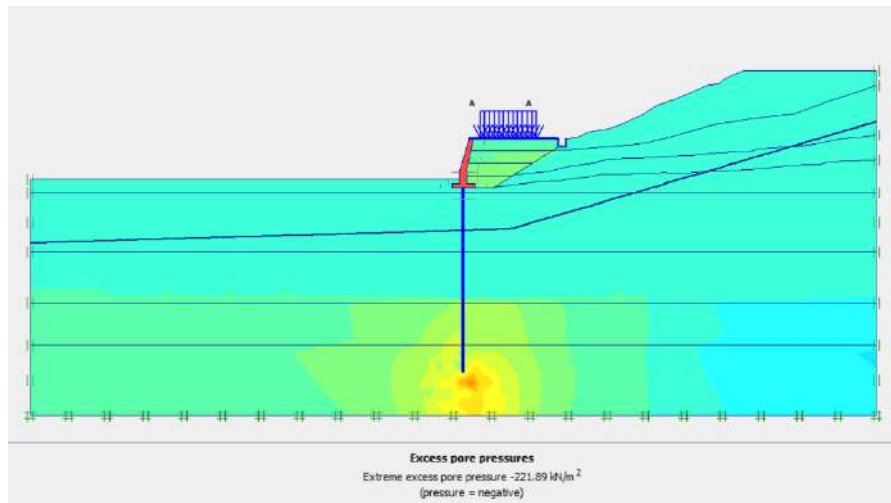


Gambar 5.72 Total *Displacement* Kondisi Tanah Perkuatan Dinding Penahanan Tanah Akibat Beban Struktur dan Lalu lintas.

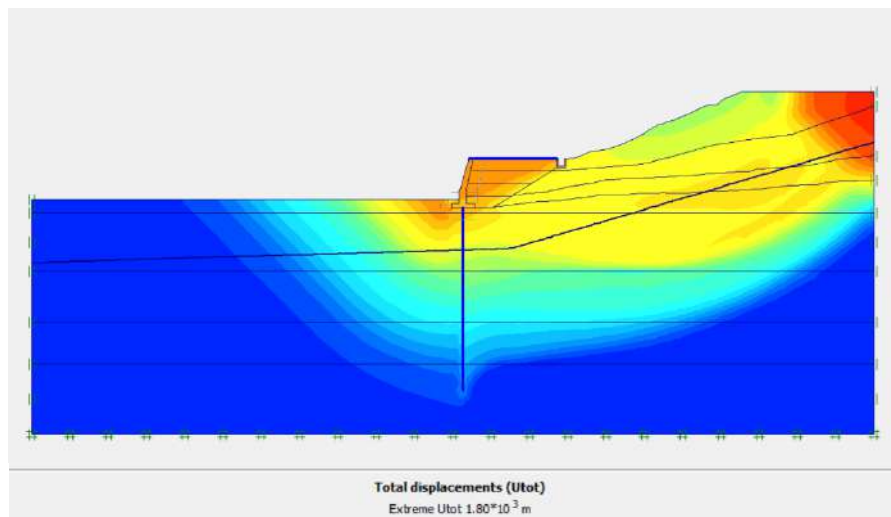
Arah pergerakan tanah pada lereng tahapan akhir konstruksi akibat beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas didominasi oleh pergerakan arah horizontal. Arah pergerakan tanah pada lereng tahapan akhir konstruksi disajikan dalam Gambar 5.73 berikut:



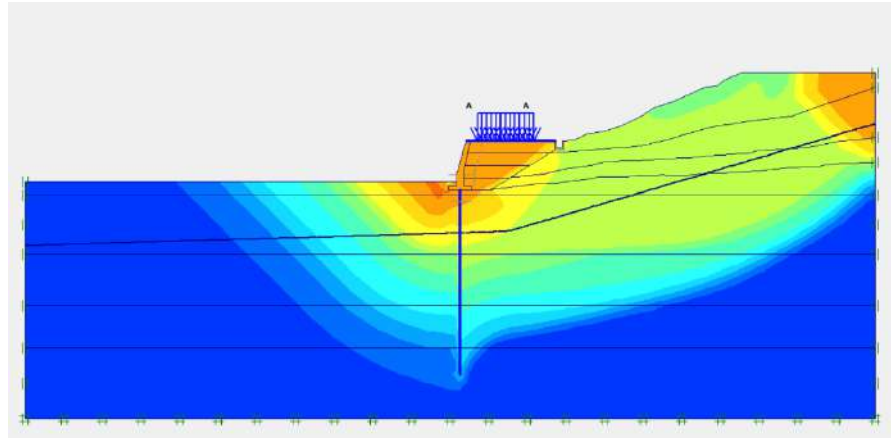
Gambar 5.73 Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Perkerasan dan Lalu lintas.



Gambar 5.74 *Excess Pore Pressure* sebesar -207.84 kN/m².



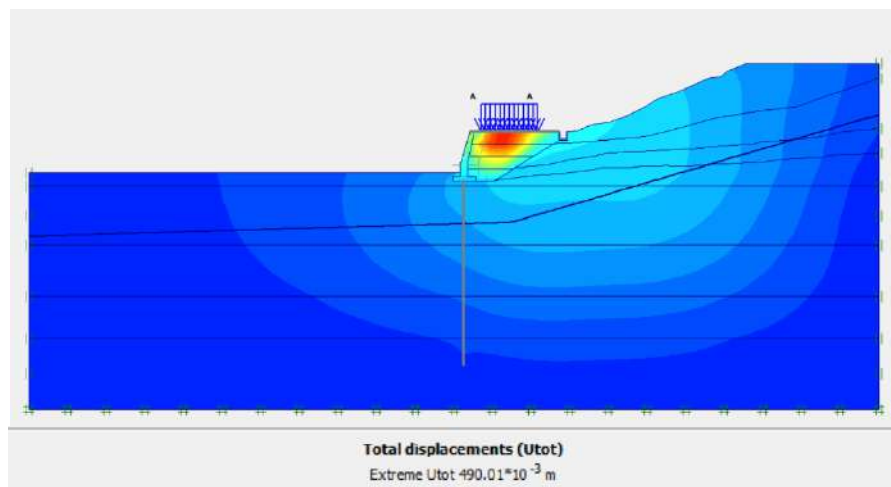
Gambar 5.75 *Safety Factor* Akibat Beban Perkerasan sebesar 2.4609.



Gambar 5.76 *Safety Factor* Akibat Beban Perkerasan Dan Beban Lalu lintas sebesar 2.3761.

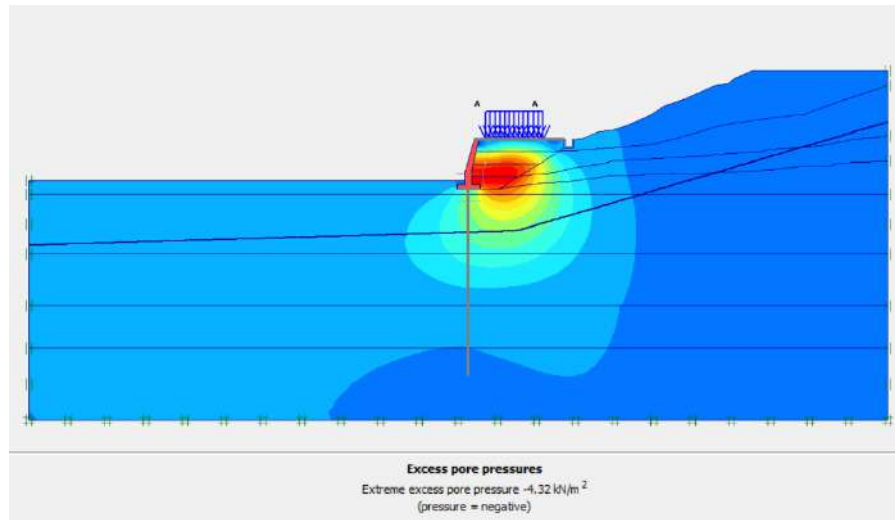
2. Analisis konsolidasi 1 tahun

Perhitungan *consolidation* pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 365 hari pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.77 sampai 5.79 berikut:

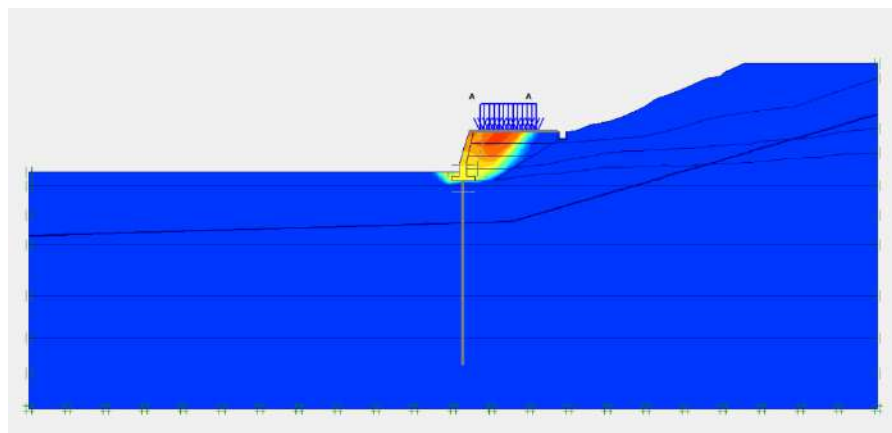


Gambar 5.77 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.490 m.



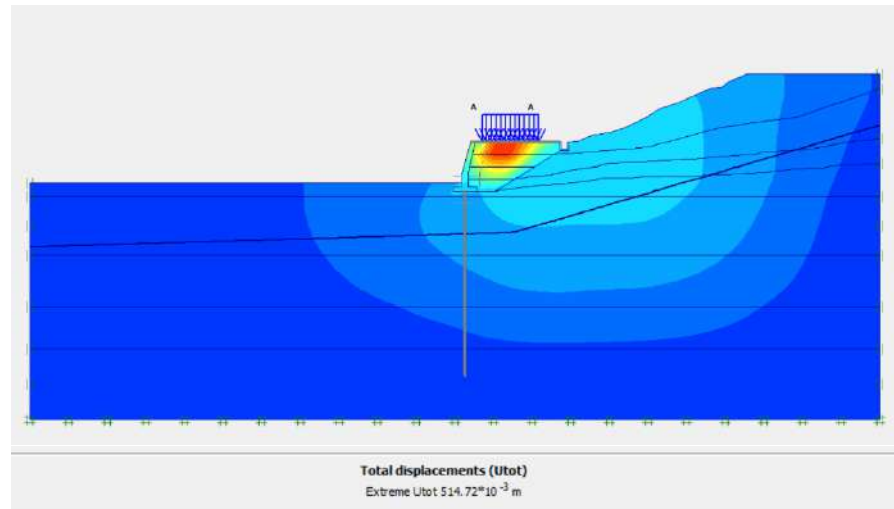
Gambar 5.78 *Excess Pore Pressure* sebesar -4.32 kN/m^2 .



Gambar 5.79 *Safety Factor Akibat Penurunan Konsolidasi 1 Tahun*
Sebesar 2.4876.

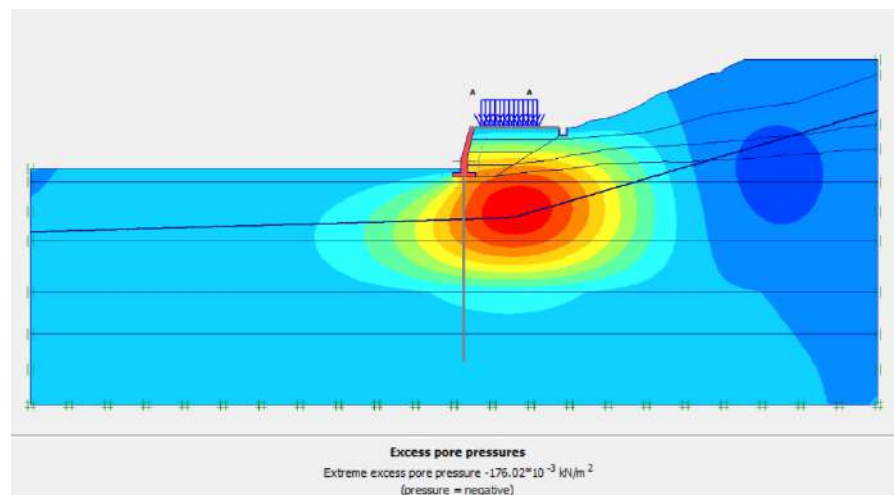
3. Analisis konsolidasi 3 tahun

Perhitungan consolidation pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 1095 hari / 3 tahun pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.80 sampai 5.82 berikut:

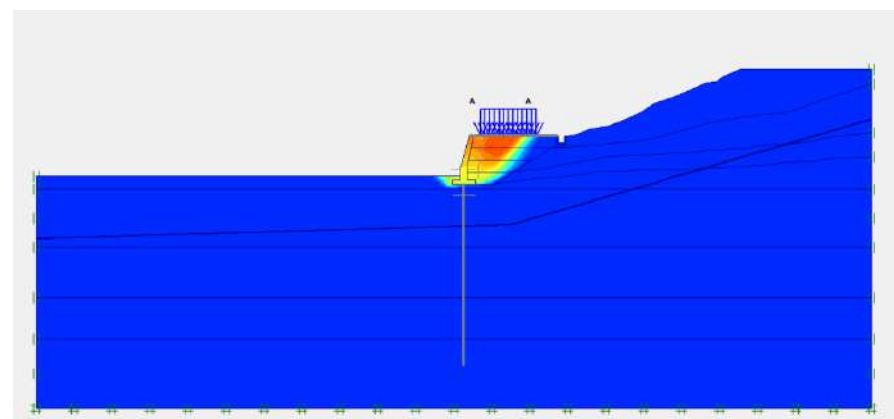


Gambar 5.80 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.514 m.



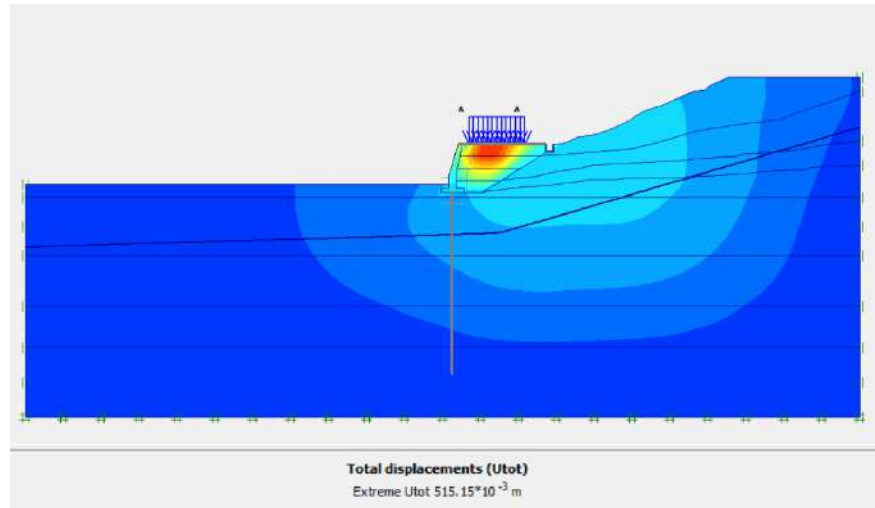
Gambar 5.81 Excess Pore Pressure sebesar $-176.02 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$.



Gambar 5.82 Safety Factor Penurunan Konsolidasi 3 Tahun Sebesar 2.5004.

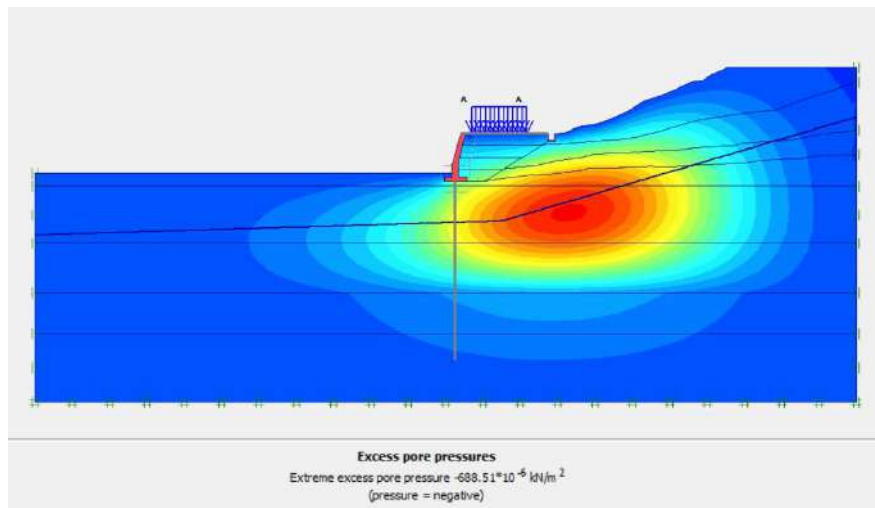
4. Analisis konsolidasi 5 tahun

Perhitungan consolidation pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 5475 hari atau 5 tahun pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.83 sampai 5.85 berikut:

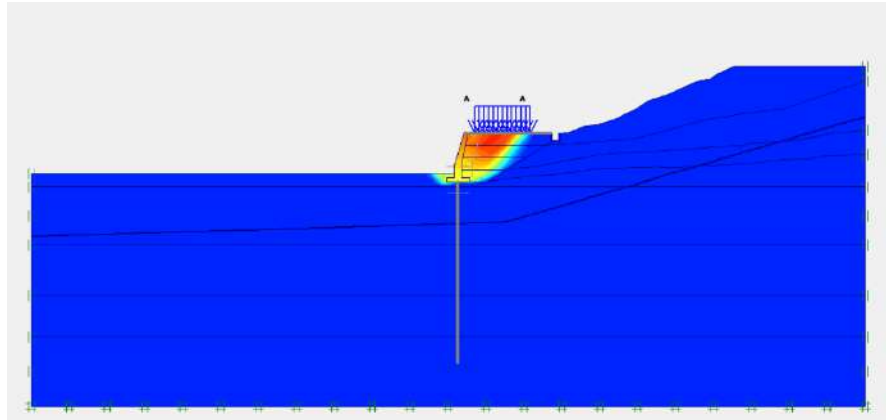


Gambar 5.83 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.515 m.



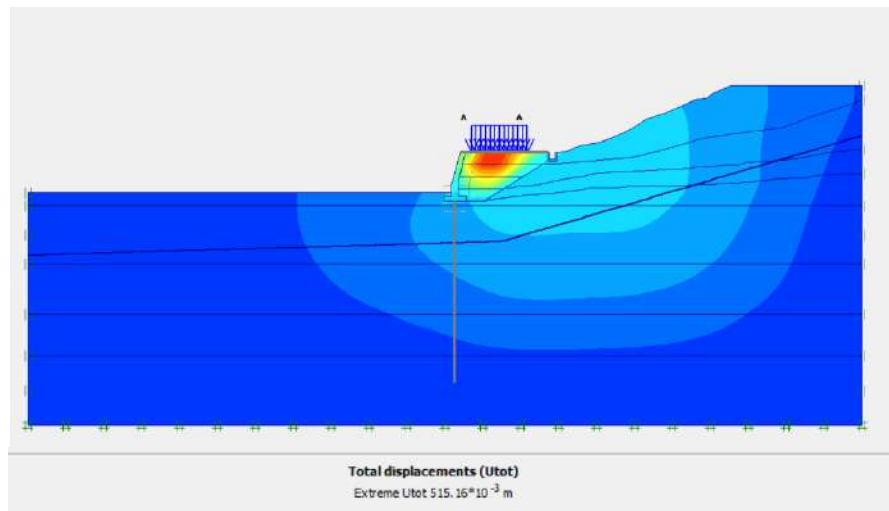
Gambar 5.84 *Excess Pore Pressure* sebesar $-688.51 \cdot 10^{-6} \text{ kN/m}^2$.



Gambar 5.85 *Safety Factor* Penurunan Konsolidasi 5 Tahun Sebesar 2.5144.

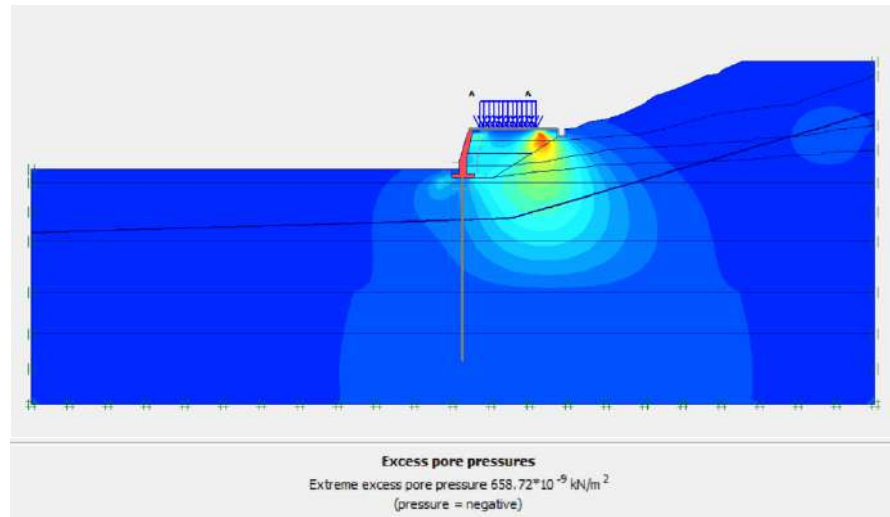
5. Analisis konsolidasi 10 tahun

Perhitungan *consolidation* pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 54750 hari atau 10 tahun pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.86 sampai 5.88 berikut:

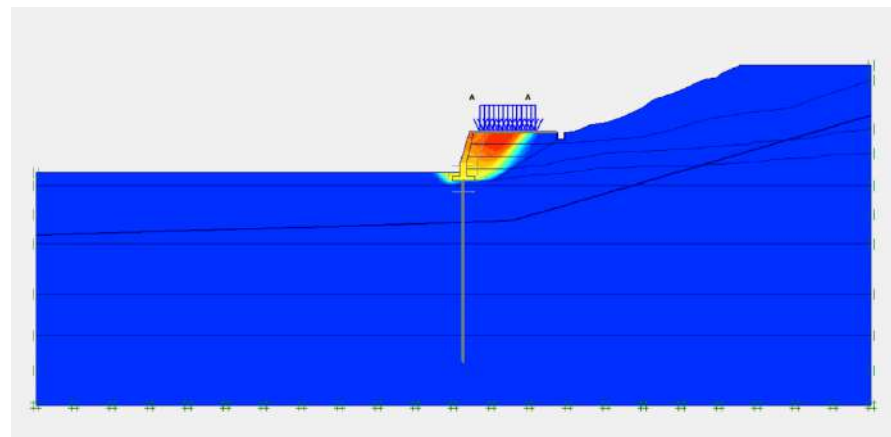


Gambar 5.86 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.515 m.



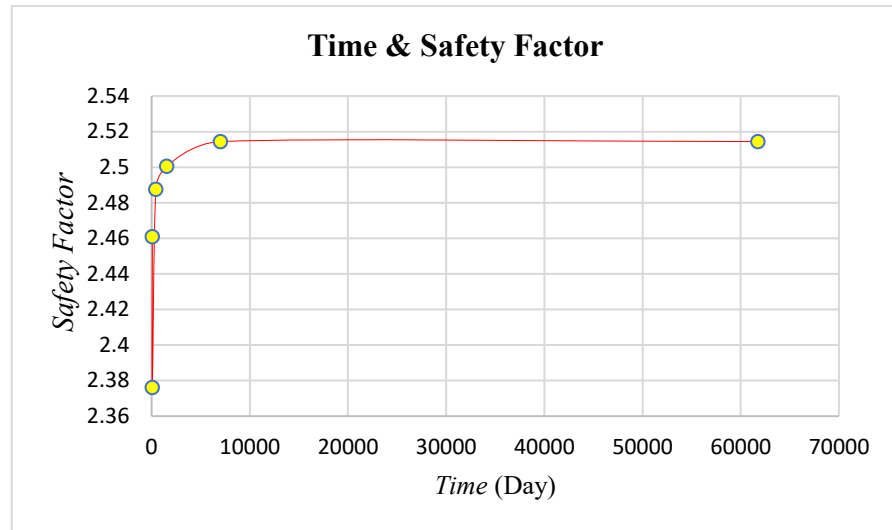
Gambar 5.87 *Excess Pore Pressure* sebesar $658.72 \cdot 10^{-9} \text{ kN/m}^2$.



Gambar 5.88 *Safety Factor* Akibat Penurunan Konsolidasi 10 Tahun
Sebesar 2.5144.

6. Grafik Time Vs Safety Factor

Grafik nilai keamanan lereng berdasarkan waktu tahapan akhir konstruksi sampai dengan waktu konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 5.89 berikut.



Gambar 5.89 Grafik *time* dan *Safety Factor*.

Rekapitulasi nilai angka keamanan (*Safety Factor*) dari waktu tahapan konstruksi Kemudian dari hasil analisis dilakukan rekapitulasi nilai angka keamanan (*Safety Factor*) pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah disajikan pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Nilai Keamanan Dari Tahapan Pelaksanaan

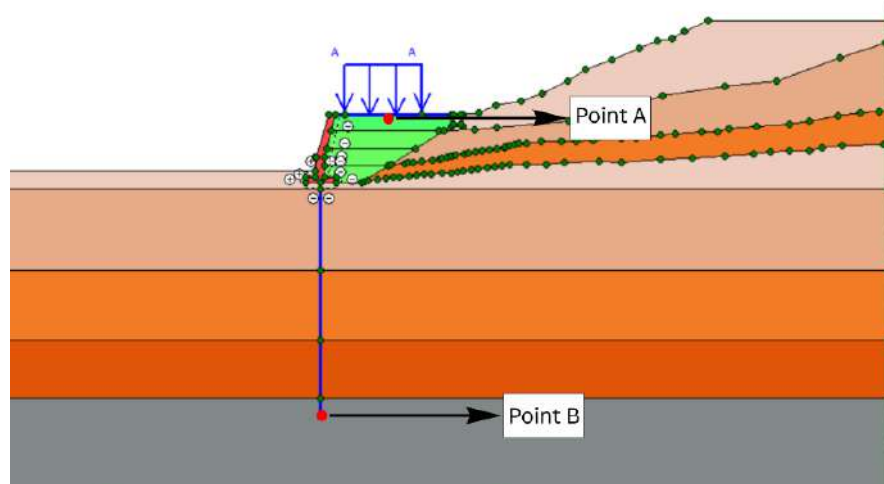
No	Tahapan Konstruksi	Hari	Total Hari	<i>Safety Factor</i>
1	Mweight 1 Kondisi Initial	0	0	2.2003
2	Cut And Fill Lereng	5	5	2.1481
3	Pemboran Tanah Untuk <i>Borepile</i>	7	12	2.1462
4	Konstruksi <i>Borepile</i>	7	19	2.1702
5	Konstruksi Dinding Penahan Tanah	14	33	2.0681
6	Timbunan Layer 4	1	34	2.1254
7	Timbunan Layer 3	1	35	2.2222
8	Timbunan Layer 2	1	36	2.3669
9	Timbunan Layer 1	1	37	2.4722
10	Galian Drainase	2	39	2.4715
11	konstruksi Drainase	3	42	2.4739
12	Perkerasan Beton	28	70	2.4609
13	Pembebanan 46 kN/m ²	1	71	2.3761
14	Konsolidasi 1 Tahun	365	436	2.4876

No	Tahapan Konstruksi	Hari	Total Hari	<i>Safety Factor</i>
15	Konsolidasi 3 Tahun	1095	1531	2.5004
16	Konsolidasi 5 Tahun	5475	7006	2.5144
17	Konsolidasi 10 Tahun	54750	61756	2.5144

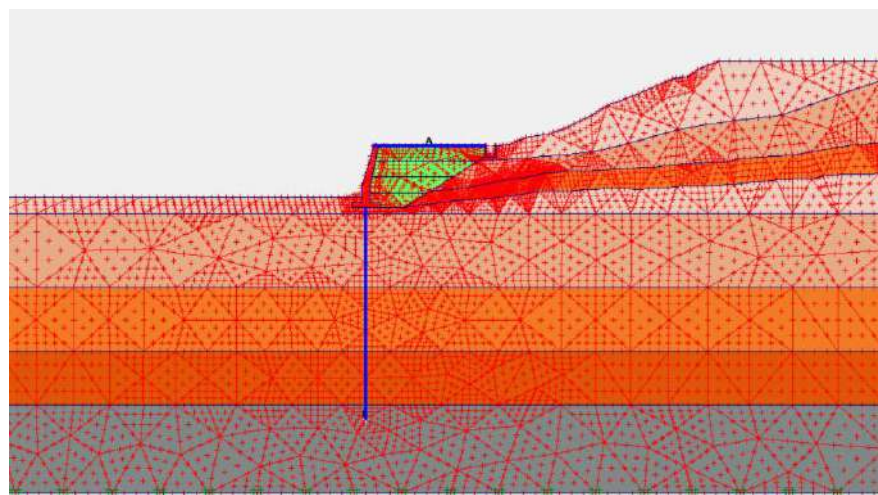
Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan *Schedule* Pekerjaan Dilapangan.

7. Kurva Settlement Dan Time Pelaksanaan

Penentuan titik tinjau pada permodelan program *Plaxis* untuk mengetahui nilai *settlement* (penurunan) tanah pada analisis stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 5.90 dan Gambar 5.91 berikut:

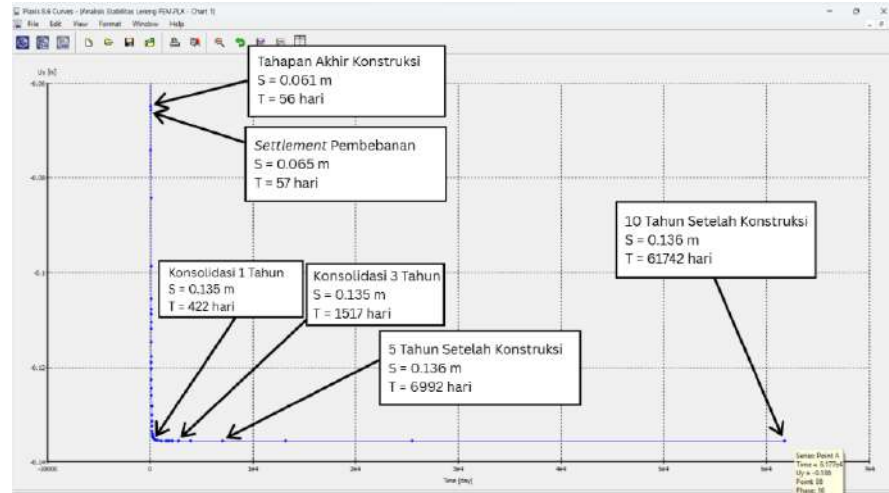


Gambar 5.90 lokasi Titik Tinjau Perhitungan Penurunan Tanah.



Gambar 5.91 Penentuan Nodal Titik Monitoring *Settlement Analysis*.

Grafik hubungan antara penurunan tanah arah vertikal (U_y) dengan waktu tahapan akhir konstruksi dan konsolidasi pada titik tinjauan nodal A dapat dilihat pada Gambar 5.92 berikut:



Gambar 5.92 Kurva *Settlement vs Time* Pelaksanaan Point A.

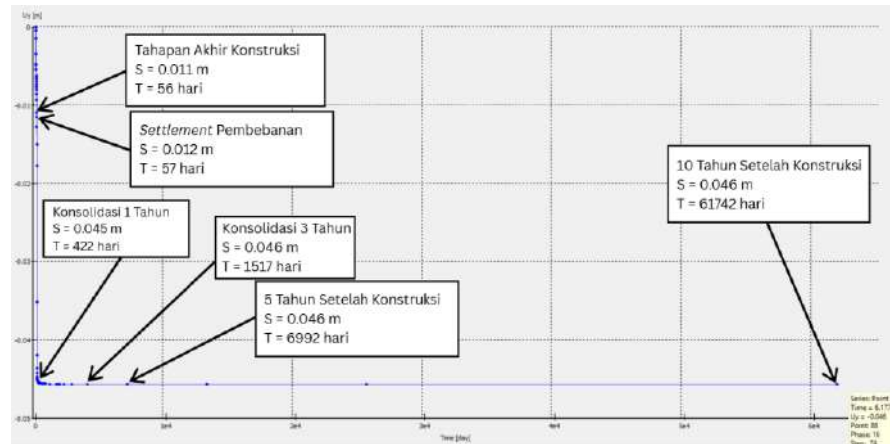
Nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) berdasarkan waktu tahapan konstruksi dan titik tinjau *point A* dari kurva *settlement* kemudian dilakukan rekapitulasi nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) pada tanah timbunan jalan dengan perkuatan dinding penahan tanah dan pondasi *borepile* disajikan pada Tabel 5.16 berikut:

Tabel 5.16 Tahapan Pelaksanaan Dan Hasil *Settlement* Point A.

Tahapan Pelaksanaan	Hari	<i>Settlement</i> (cm)
Perkerasan Jalan	56	6.1
Pembebanan 46 kN/m ²	57	6.5
1 Tahun Setelah Konstruksi	422	1.35
3 Tahun Setelah Konstruksi	1517	1.35
5 Tahun Setelah Konstruksi	6992	1.35
10 Tahun Setelah Konstruksi	61742	1.36

Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan Program *Curve Plaxis*

Grafik hubungan antara penurunan tanah arah vertikal (U_y) dengan waktu tahapan akhir konstruksi dan konsolidasi pada titik tinjauan nodal B dapat dilihat pada Gambar 5.93 berikut:



Gambar 5.93 Kurva *Settlement vs Time* Pelaksanaan Point B.

Nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) berdasarkan waktu tahapan konstruksi dan titik tinjau *point B* dari kurva *settlement* kemudian dilakukan rekapitulasi nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah disajikan pada Tabel 5.17 berikut.

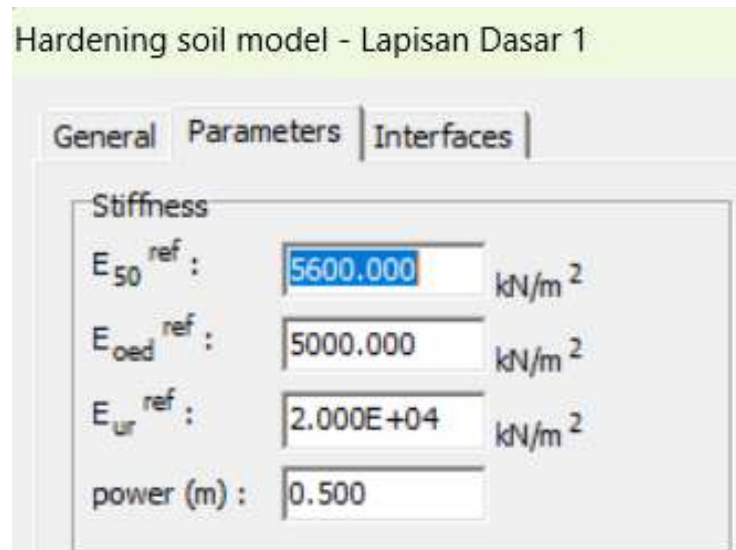
Tabel 5.17 Tahapan Pelaksanaan Dan Hasil *Settlement* Point B.

Tahapan Pelaksanaan	Hari	<i>Settlement</i> (cm)
Perkerasan Jalan	56	1.1
Pembebanan 46 kN/m ²	57	1.2
1 Tahun Setelah Konstruksi	422	4.5
3 Tahun Setelah Konstruksi	1517	4.6
5 Tahun Setelah Konstruksi	6992	4.6
10 Tahun Setelah Konstruksi	61742	4.6

Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan Program *Curve Plaxis*

5.7.4 Hasil Analisis Dengan *Hardening soil*

Perhitungan pada permodelan dengan *hardening soil* sama dengan pada *Mohr Coulomb*, yang membedakan hanyalah parameter tanah yang digunakan. Jika pada permodelan *Mohr Coulomb* didasarkan dari nilai modulus (*E*) dan possion rasio (*v*) tanah, maka pada *hardening soil* didasarkan dari nilai modulus yang diperoleh dari pengujian triaxial dan konsolidasi (*E_{ur}*, *E₅₀* dan *E_{oed}*).



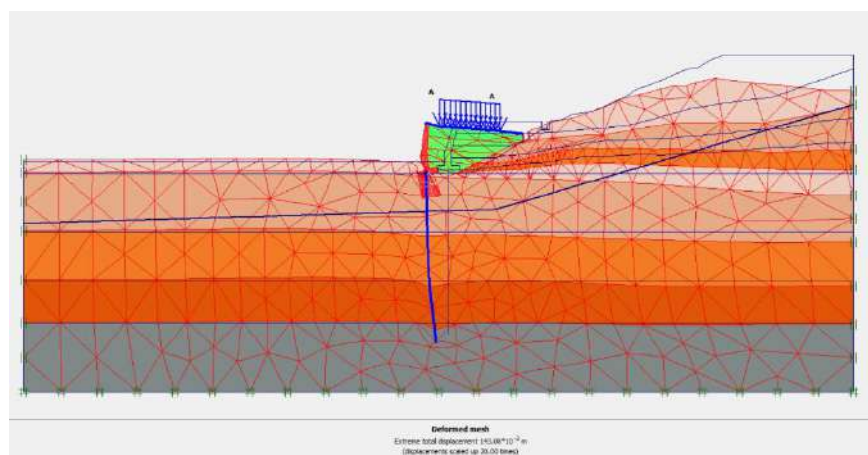
Gambar 5.94 Parameter Tambahan *Hardening soil Plaxis*.

Hasil output perhitungannya dapat dilihat pada gambar berikut ini:

1. Kondisi terhadap beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas

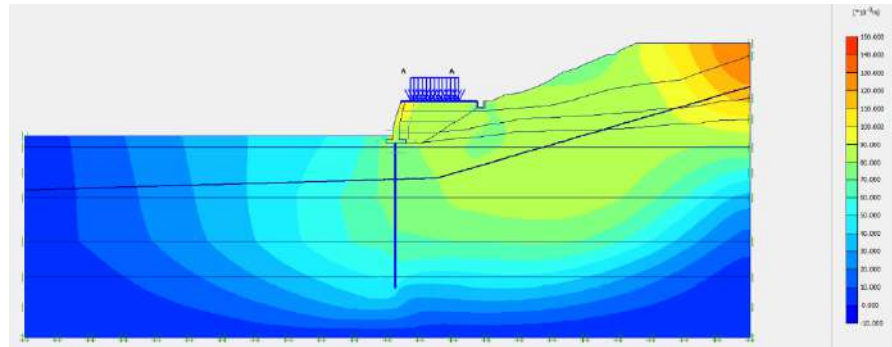
Pada tahapan akhir konstruksi ini proses penimbunan telah selesai dan pekerjaan struktur jalan sudah selesai, maka pada analisis dimasukkan beban merata sebesar 24 kN/m diterapkan sebagai representasi beban struktur perkerasan jalan dan 22 kN/m sebagai beban Lalu lintas total menjadi 46 kN/m.

Hasil *deformed mesh* tanah dengan beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas disajikan dalam Gambar 5.95 berikut.



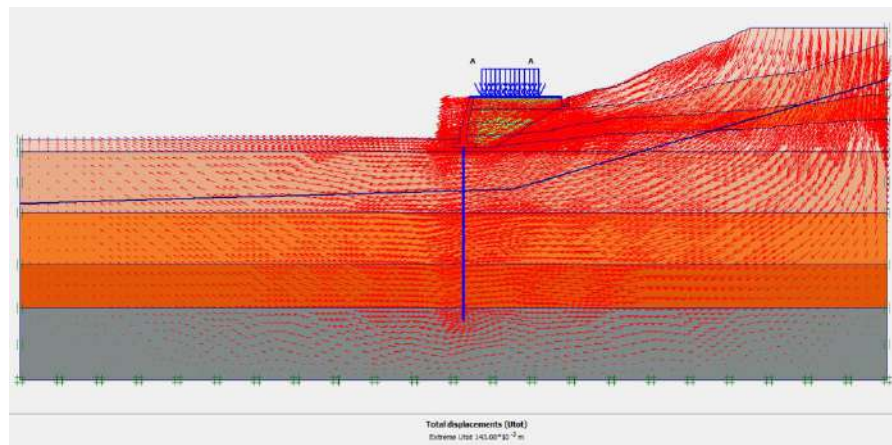
Gambar 5.95 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Dengan *Hardening soil* sebesar 143.08×10^{-3} .

Besar nilai total *displacement* yang dialami timbunan saat penimbunan 3.5 m akibat beban perkerasan jalan adalah sebesar 123.83×10^{-3} m sedangkan akibat beban struktur jalan dan beban Lalu lintas adalah 143.08×10^{-3} m. Total *displacement* akibat beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas pada timbunan saat penimbunan 3.5 m disajikan dalam Gambar 5.96 sebagai berikut:

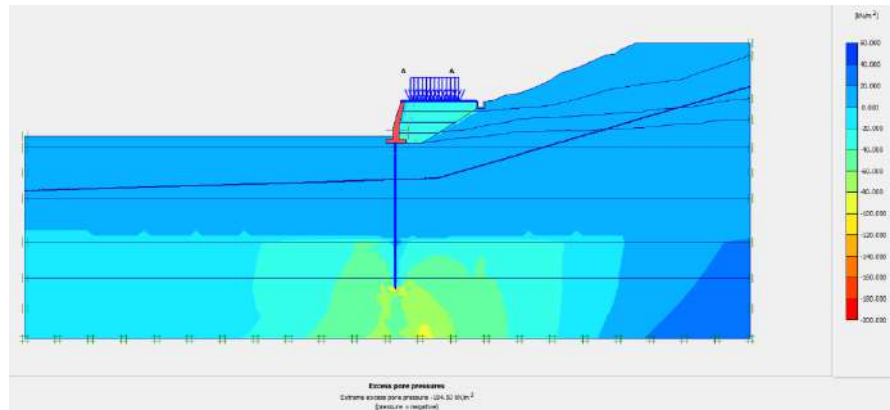


Gambar 5.96 Total *Displacement* Kondisi Tanah Perkuatan Dinding Penahanan Tanah Akibat Beban Struktur dan Lalu lintas.

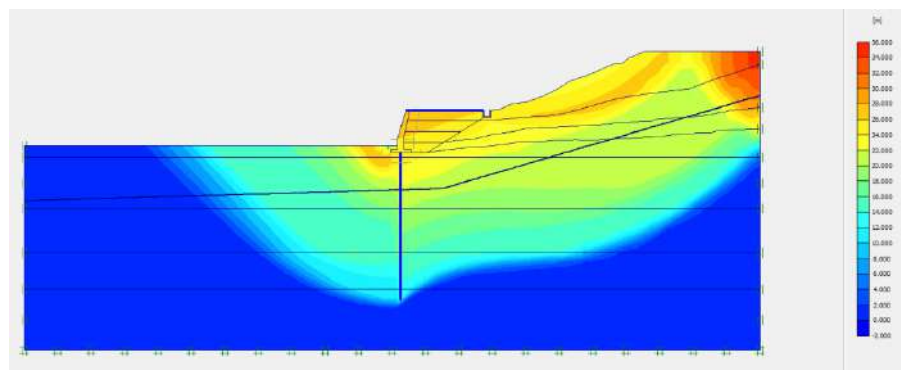
Arah pergerakan tanah pada lereng tahapan akhir konstruksi akibat beban perkerasan jalan dan beban Lalu lintas didominasi oleh pergerakan arah *horizontal*. Arah pergerakan tanah pada lereng tahapan akhir konstruksi disajikan dalam Gambar 5.97 sebagai berikut:



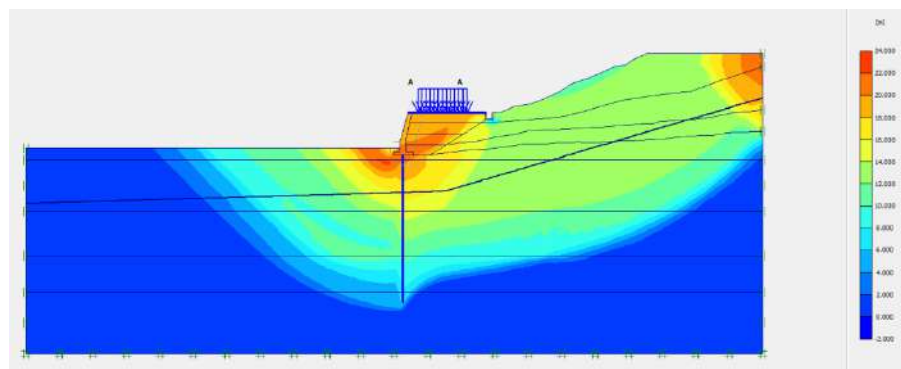
Gambar 5.97 Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Perkerasan dan Lalu lintas.



Gambar 5.98 *Excess Pore Pressure* sebesar -184.50 kN/m².



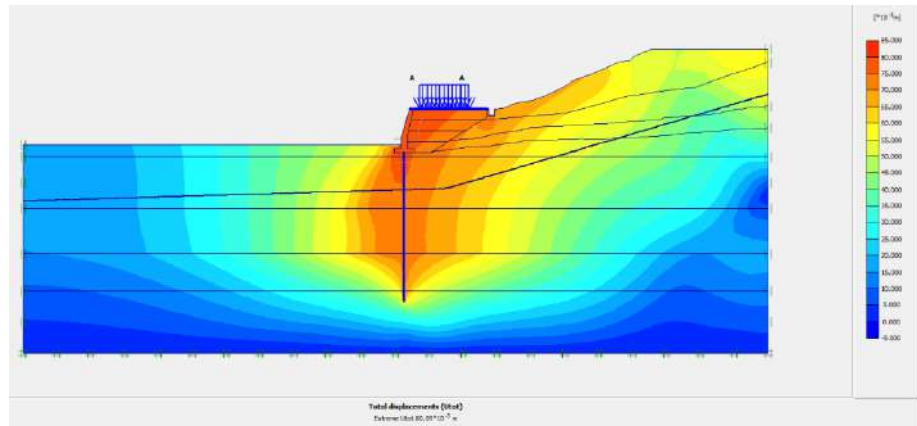
Gambar 5.99 *Safety Factor* Akibat Beban Perkerasan sebesar 2.5174.



Gambar 5.100 *Safety Factor* Akibat Beban Perkerasan Dan Beban Lalu lintas sebesar 2.4152.

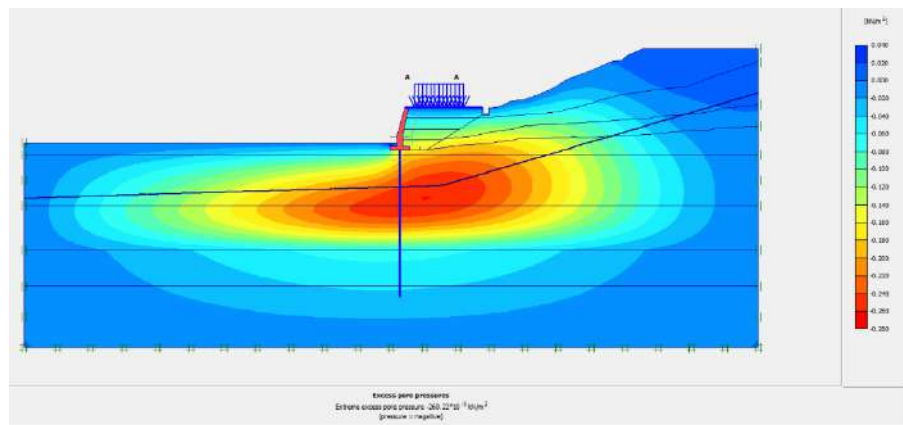
2. Analisis konsolidasi 1 tahun

Perhitungan *consolidation* pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 365 hari pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan dalam Gamabar 5.101 sampai 5.103 berikut:

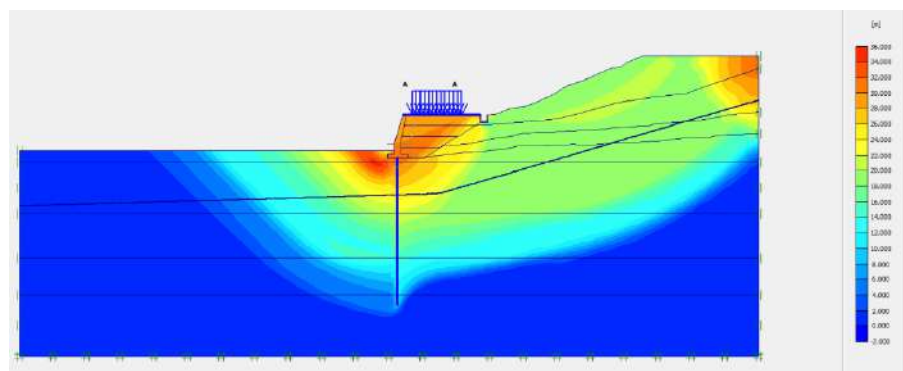


Gambar 5.101 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.0800 m.



Gambar 5.102 *Excess Pore Pressure* sebesar $-162.68 \times 10^{-3} \text{ kN/m}^2$.

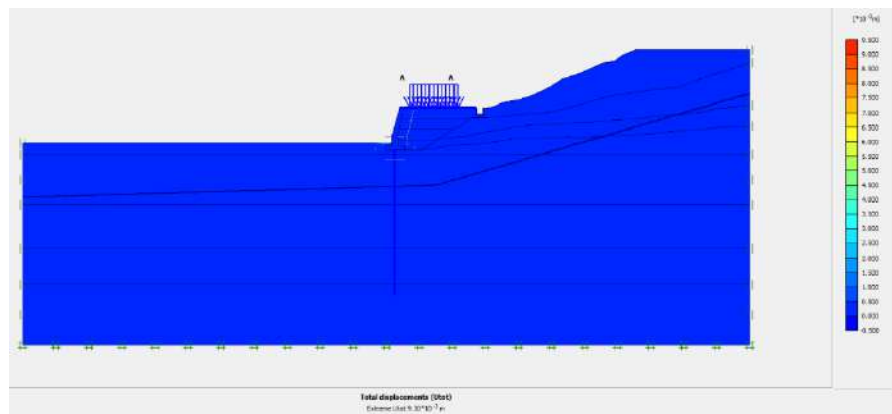


Gambar 5.103 *Safety Factor Akibat Penurunan Konsolidasi 1 Tahun*
Sebesar 2.5333.

3. Analisis konsolidasi 3 tahun

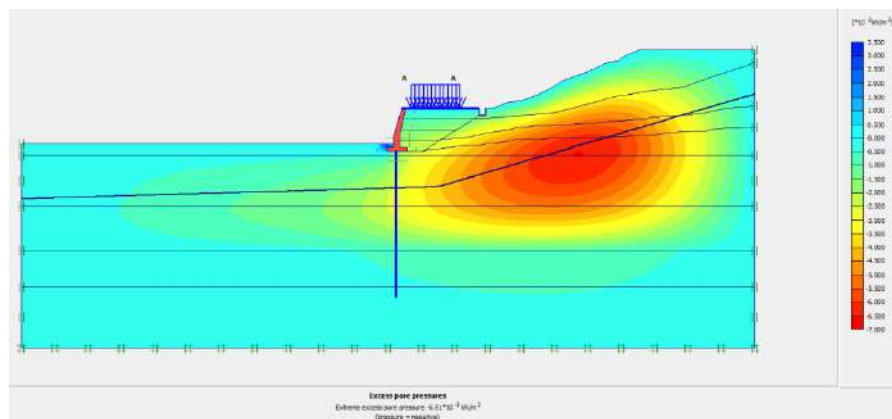
Perhitungan *consolidation* pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 1095 hari / 3 tahun pada lereng timbunan

dengan perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan pada gambar 5.104 sampai 5.106 berikut:

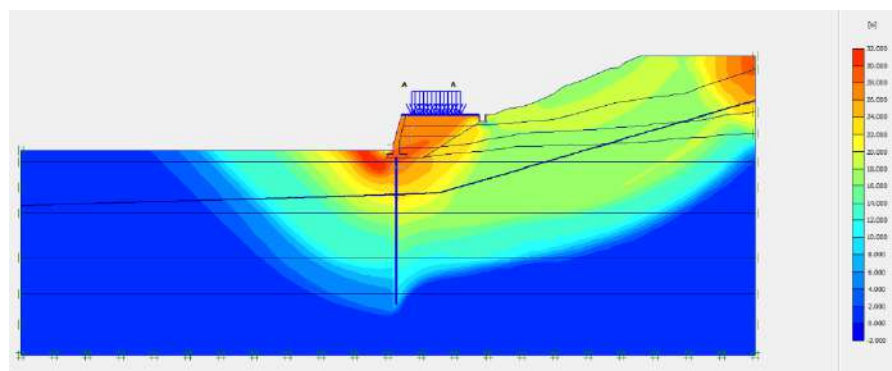


Gambar 5.104 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.930 m.



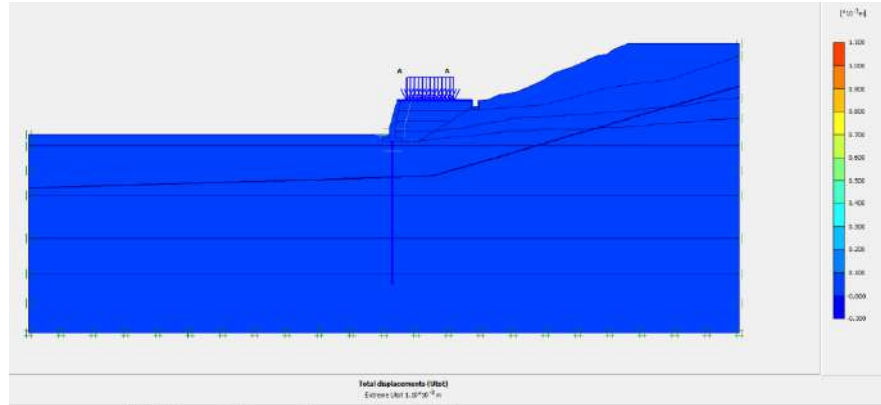
Gambar 5.105 *Excess Pore Pressure* sebesar $-4.23 \cdot 10^{-3}$ kN/m².



Gambar 5.106 *Safety Factor* Akibat Penurunan Konsolidasi 3 Tahun
Sebesar 2.5360.

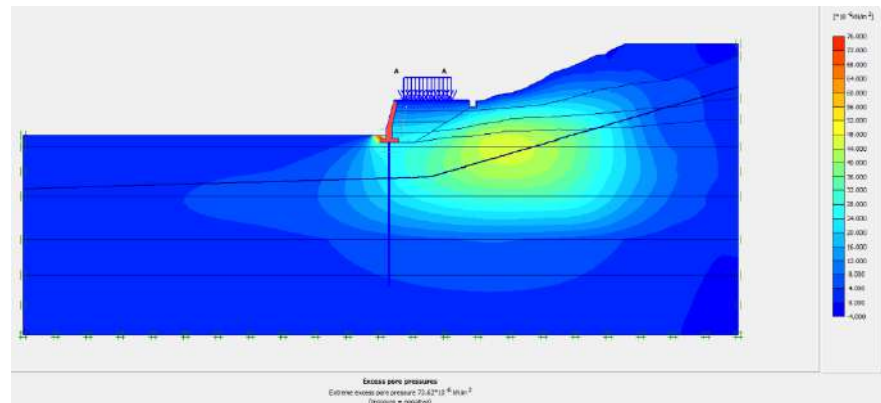
4. Analisis konsolidasi 5 tahun

Perhitungan *consolidation* pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 5475 hari atau 5 tahun pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah masa konstruksi disajikan dalam Gambar 5.107 sampai 5.109 berikut:

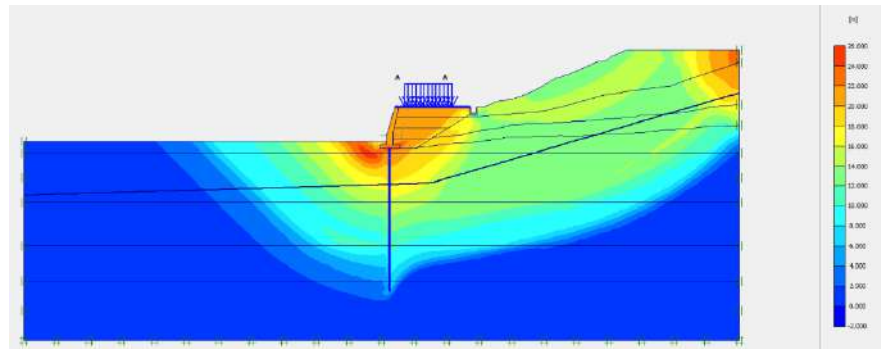


Gambar 5.107 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.0110 m.



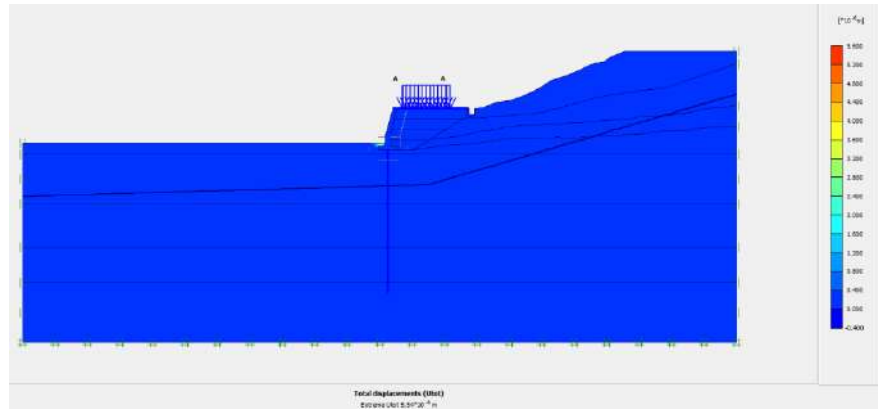
Gambar 5.108 *Excess Pore Pressure* sebesar $24.65 \cdot 10^{-4}$ kN/m².



Gambar 5.109 *Safety Factor* Akibat Penurunan Konsolidasi 5 Tahun
Sebesar 2.5360.

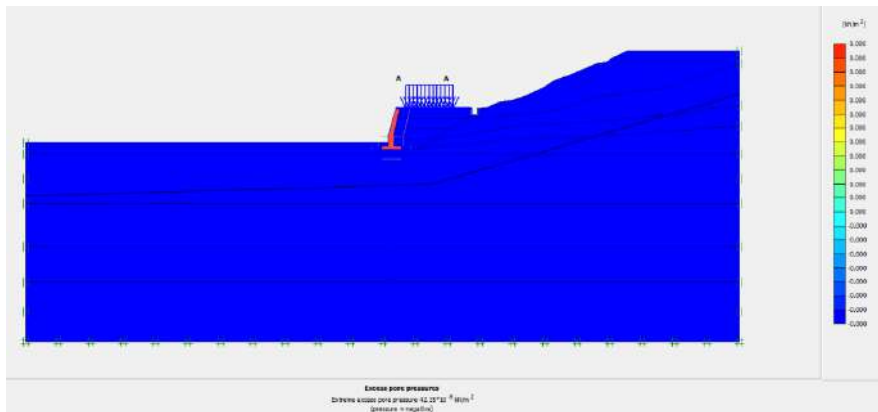
5. Analisis konsolidasi 10 tahun

Perhitungan *consolidation* pada tahapan penurunan konsolidasi dengan estimasi waktu 54750 hari atau 10 tahun pada lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah disajikan dalam Gambar 5.110 sampai 5.112 berikut:

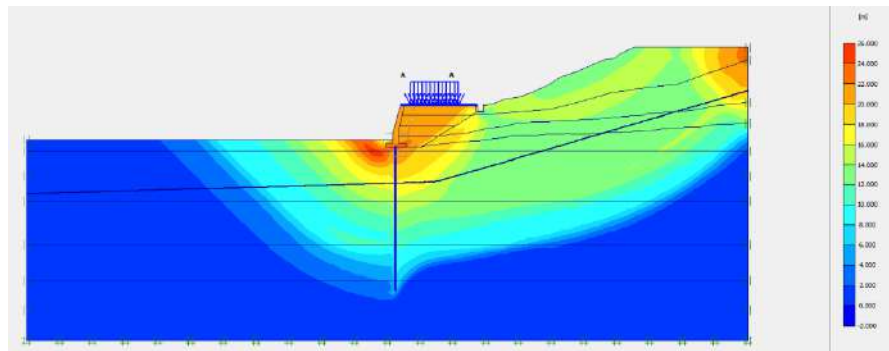


Gambar 5.110 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi lereng pada tahapan akhir konstruksi yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0.0554 m.



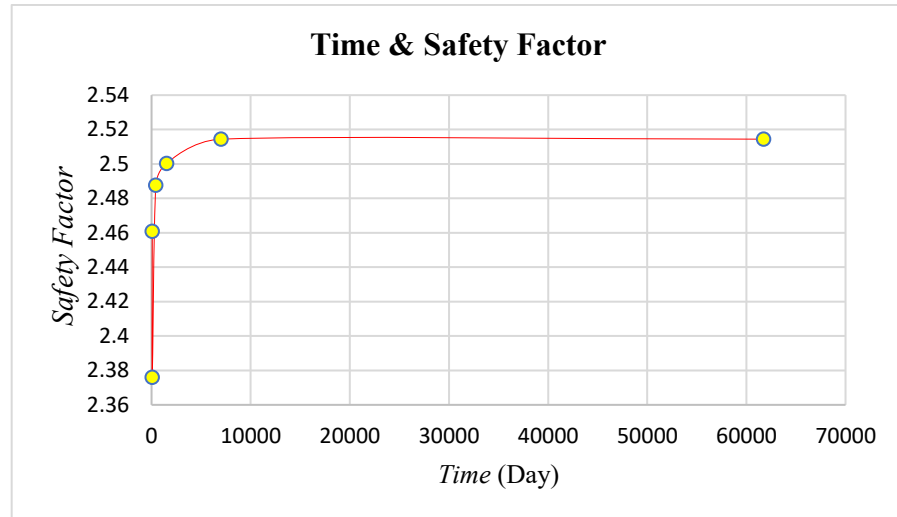
Gambar 5.111 *Excess Pore Pressure* sebesar 24.65×10^{-4} kN/m².



Gambar 5.112 *Safety Factor* Akibat Penurunan Konsolidasi 10 Tahun Sebesar 2.5360.

6. Grafik Time Vs Safety Factor

Grafik nilai keamanan lereng berdasarkan waktu tahapan akhir konstruksi sampai dengan waktu konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 5.113 berikut.



Gambar 5.113 Tahapan Pelaksanaan Dan Nilai *Safety Factor*.

Rekapitulasi nilai angka keamanan (*Safety Factor*) dari waktu tahapan konstruksi kemudian dari hasil analisis dilakukan rekapitulasi nilai angka keamanan (*Safety Factor*) pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah disajikan pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Nilai Keamanan Dari Tahapan Pelaksanaan

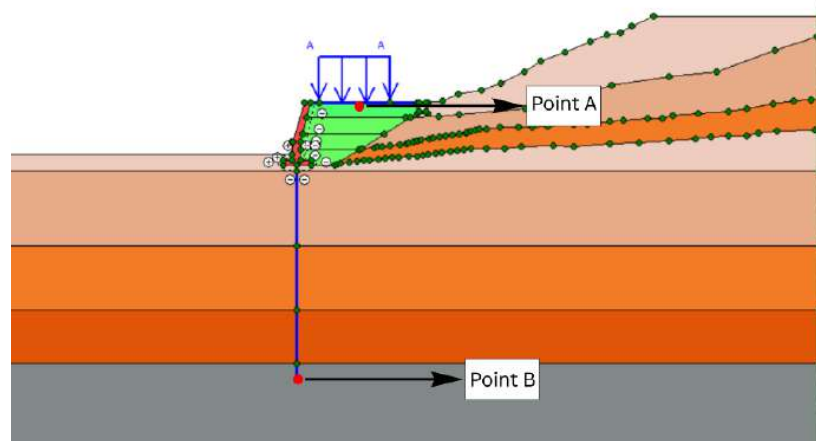
No	Tahapan Konstruksi	Hari	Total Hari	<i>Safety Factor</i>
1	Mweight 1 Kondisi Initial	0	0	2.2003
2	Cut And Fill Lereng	5	5	2.1481
3	Konstruksi Dinding Penahan Tanah	14	19	2.1462
4	Timbunan Layer 4 elevasi 0,87 m	1	20	2.1702
5	Timbunan Layer 3 elevasi 1,75 m	1	21	2.0681
6	Timbunan Layer 2 elevasi 2,63 m	1	22	2.1254
7	Timbunan Layer 1 elevasi 3,5 m	1	23	2.2222
8	Galian Drainase	2	25	2.3669
9	Konstruksi Drainase	3	28	2.4722
10	Perkerasan Jalan	28	56	2.5174

No	Tahapan Konstruksi	Hari	Total Hari	<i>Safety Factor</i>
11	Pembebanan 46 kN/m ²	1	57	2.4152
12	Konsolidasi 1 Tahun	365	422	2.5333
13	Konsolidasi 3 Tahun	1095	1517	2.5360
14	Konsolidasi 5 Tahun	5475	6992	2.5360
15	Konsolidasi 10 Tahun	54750	61742	2.5360

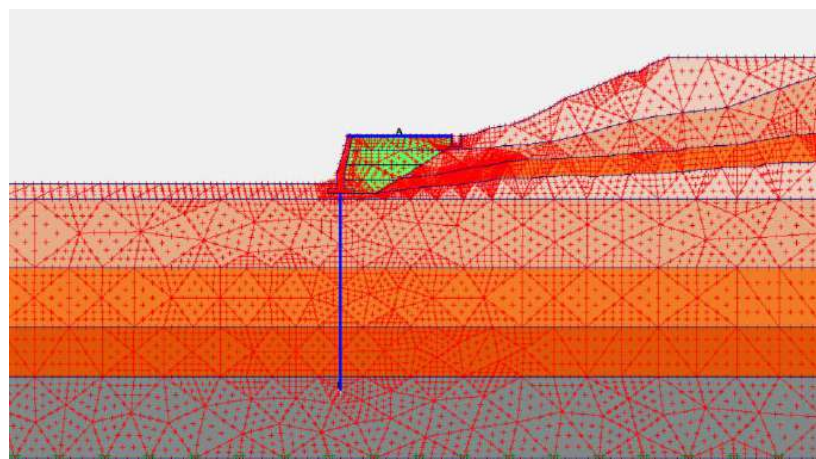
Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan *Schedule Pekerjaan Dilapangan*

7. Kurva Settlement Dan Time Pelaksanaan

Penentuan titik tinjau pada permodelan program *Plaxis* untuk mengetahui nilai *settlement* (penurunan) tanah pada analisis stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 5.114 dan Tabel 5.115 berikut.

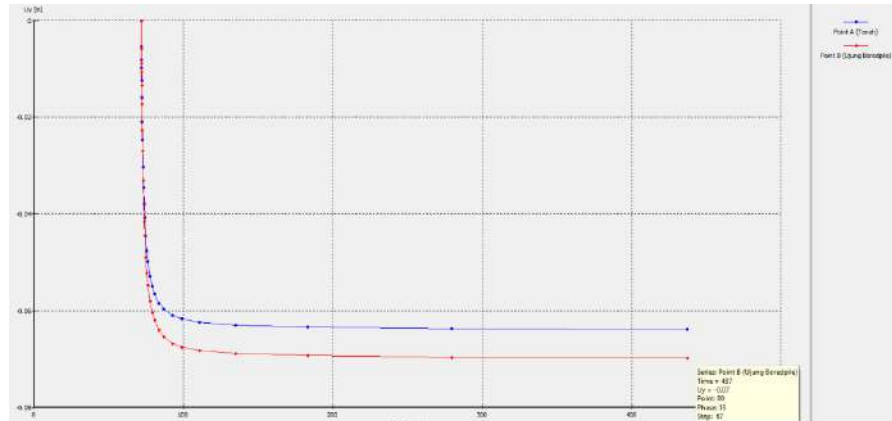


Gambar 5.114 lokasi Titik Tinjau Perhitungan Penurunan Tanah.



Gambar 5.115 Penentuan Nodal Titik Monitoring *Settlement Analysis*.

Grafik hubungan antara penurunan tanah arah vertikal (U_y) dengan waktu tahapan akhir konstruksi dan konsolidasi pada titik tinjauan nodal A dapat dilihat pada Gambar 5.116 berikut.



Gambar 5.116 Kurva *Settlement vs Time* Pelaksanaan Point A Dan B.

Nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) berdasarkan waktu tahapan konstruksi dan titik tinjau *point* A dan B dari kurva *settlement* kemudian dilakukan rekapitulasi nilai penurunan tanah arah vertikal (*settlement*) pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe *hardening soil* disajikan pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Waktu Pelaksanaan Dan Hasil *Settlement* Poin A dan B.

Tahapan Konstruksi	Hari	<i>Settlement Point</i> A (cm)	<i>Settlement Point</i> B (cm)
Perkerasan Jalan	56	7	1.8
Pembebanan 46 kN/m ²	57	1.1	1.9
Konsolidasi 1 Tahun	422	6.4	7
Konsolidasi 3 Tahun	1517	0.001415	0.008978
Konsolidasi 5 Tahun	6992	0.0005356	0.1528
Konsolidasi 10 Tahun	61742	0.0000007028	0.0000003981

Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan Program *Curve Plaxis*.

5.8 Rekapitulasi Perbandingan Nilai Keamanan (SF)

Analisis perhitungan *Safety Factor* terhadap lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah di Ruas Jalan Desa Kedungboto Kecamatan Limbangan Kabupaten Kendal menggunakan cara perhitungan menggunakan program bantu yaitu program *Plaxis* V 8.6. Program *Plaxis*

menggunakan *Metode Finite Elemen Method* (FEM) dengan perbandingan dua permodelan material yaitu *Mohr-Coulomb* dan *Hardening soil*.

Hasil rekapitulasi angka keamanan kondisi lereng tanpa penanganan dan sesudah penanganan dengan dinding penahan tanah akan disajikan dalam bentuk *table* pada Tabel 5.18 berikut:

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Menggunakan Program *Plaxis*.

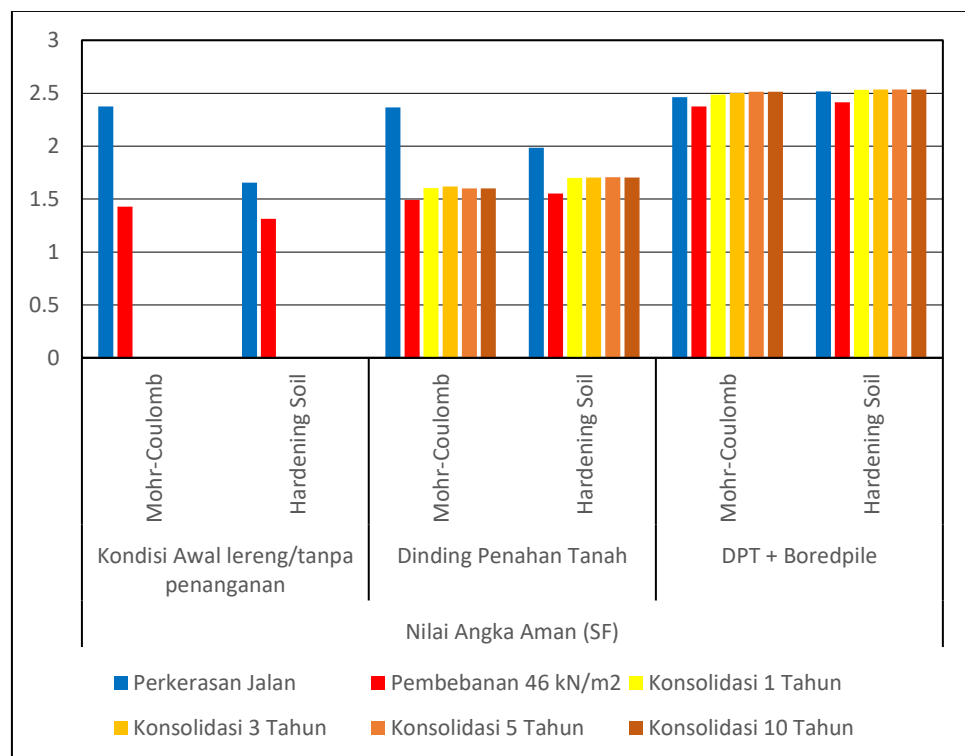
Tahapan Akhir Konstruksi	Nilai Angka Aman (SF)					
	Kondisi Awal		Dinding Penahan Tanah		DPT + <i>Borepile</i>	
	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Hardening soil</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Hardening soil</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Hardening soil</i>
Perkerasan Jalan	2.3732	1.6610	2.3664	1.9858	2.4609	2.5174
Pembebanan 46 kN/m ²	1.4273	1.2035	1.4927	1.5506	2.3761	2.4152
Konsolidasi 1 Tahun	1.4277	1.1980	1.6022	1.7001	2.4876	2.5333
Konsolidasi 3 Tahun	1.4278	1.2037	1.6188	1.7029	2.5004	2.5360
Konsolidasi 5 Tahun	1.4276	1.2035	1.6002	1.7049	2.5144	2.5360
Konsolidasi 10 Tahun	1.4276	1.1995	1.6002	1.7026	2.5144	2.5360
*Kriteria Nilai Faktor Keamanan SNI 8460 Tahun 2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik: Kondisi Analisis Jangka Pendek: Nilai SF minimal 1,25. Kondisi Analisis Jangka Panjang: Nilai SF minimal 1,50.						

Sumber: Rekapitulasi Berdasarkan Hasil SF *Plaxis Calculation*.

Berdasarkan Tabel 5.18, hasil analisis angka keamanan (*Safety Factor*) menggunakan metode elemen hingga program bantu *Plaxis* menunjukkan bahwa perkuatan dengan dinding penahan tanah menggunakan pondasi *borepile* memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan stabilitas lereng dibandingkan hanya menggunakan dinding

penahan tanah. Pada kondisi beban struktur perkerasan jalan dan beban lalu lintas, SF hasil perhitungan dengan permodelan *Mohr-Coulomb* untuk perkuatan dinding penahan tanah hanya sebesar 1,4927, sedangkan dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan pondasi *borepile* meningkat menjadi 2,3761. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan perkuatan dinding penahan tanah serta daya dukung pondasi *borepile* memberikan peningkatan yang paling signifikan terhadap kestabilan lereng.

Hal serupa juga terlihat pada perhitungan dengan permodelan *Hardening soil* untuk perkuatan dinding penahan tanah nilai angka aman (SF) sebesar 1,5506, sedangkan dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan pondasi *borepile* meningkat menjadi 2,4152. Ini menegaskan bahwa perkuatan dinding penahan tanah menggunakan pondasi *borepile* efektif dalam menahan deformasi dan gaya geser tambahan akibat beban dinamis. Tabel 5.18 bisa dibuat bar chart sebagai berikut:



Gambar 5.117 Bar Chart perbandingan *Safety Factor*.

Berdasarkan *bar chart*, dapat dilihat bahwa perkuatan lereng, baik dengan dinding penahan tanah maupun dinding penahan tanah dan pondasi *borepile*, secara umum meningkatkan nilai faktor keamanan (SF)

dibandingkan kondisi lereng tanpa penanganan, baik pada beban Lalu lintas dan konstruksi. Perkuatan dinding penahan tanah dan *borepile* memberikan peningkatan SF paling signifikan, dari 1,4927 pada tanah asli menjadi 2,3761, dan tetap stabil pada nilai yang sama meskipun ditambah dengan permodelan analisis *hardening soil*. Hal ini menunjukkan bahwa jenis perkuatan sangat memengaruhi kestabilan lereng, di mana dinding penahan tanah menggunakan pondasi *borepile* lebih efektif dalam menahan beban konstruksi dan beban lalu lintas.

5.9 Rekapitulasi Perbandingan Nilai Penurunan Tanah (*Settlement*)

Hasil rekapitulasi nilai *settlement* (penurunan) tanah pada titik tinjau Point A dan B analisis stabilitas lereng dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan Gambar 5.9.b berikut ini. Hasil analisis menggunakan *Plaxis 2D* yang bertujuan untuk mengetahui besarnya penurunan dan waktu untuk setiap tahapan akhir konstruksi dengan menggunakan model *Mohr-Coulomb* dan *hardening soil* dapat dilihat pada Tabel 5.19 sampai dengan Gambar 5.118

Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Angka Penurunan Tanah Menggunakan Program *Plaxis*.

Tahapan Akhir Konstruksi	Nilai Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>) Point A					
	Kondisi Awal		Dinding Penahan Tanah		DPT + <i>Borepile</i>	
	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Hardening soil</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Hardening soil</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Hardening soil</i>
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
Perkerasan Jalan	8.5	8.5	1.7	5.3	6.1	7
Pembebanan 46 kN/m ²	9.3	8.8	2.3	5.5	6.5	1.1
Konsolidasi 1 Tahun	11	5.6	3.1	6.4	1.35	6.4
Konsolidasi 3 Tahun	0.000072 22	0.00018 29	3.1	0.0099 24	1.35	0.00141 5
Konsolidasi 5 Tahun	0.000009 996	0.00000 4536	3.2	0.0022 9	1.35	0.00053 56

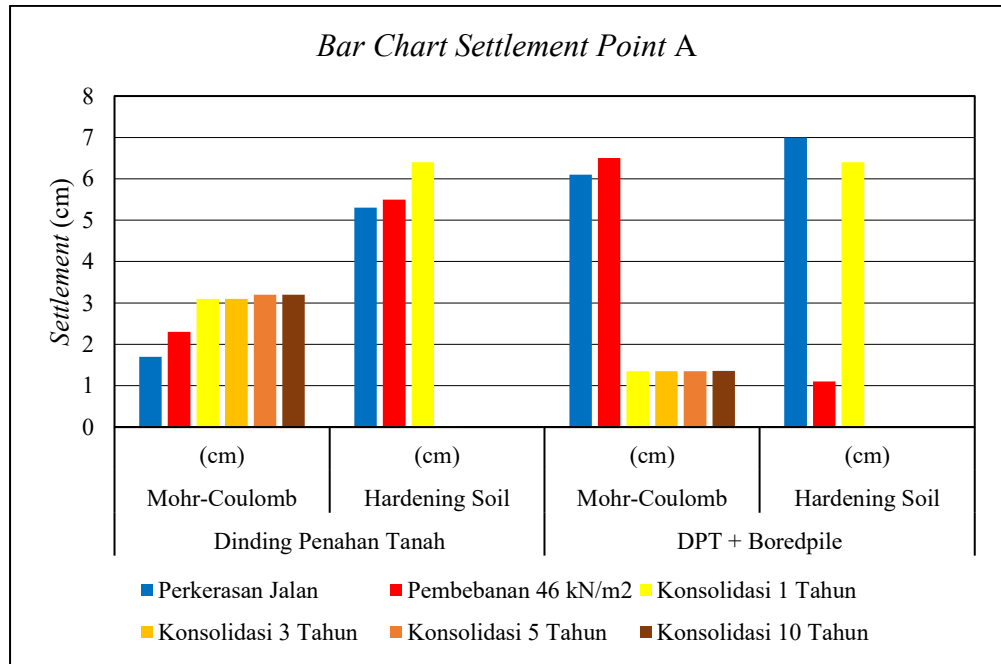
Tahapan Akhir Konstruksi	Nilai Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>) Point A					
	Kondisi Awal		Dinding Penahan Tanah		DPT + <i>Borepile</i>	
	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Hardening soil</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Hardening soil</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Hardening soil</i>
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
Konsolidasi 10 Tahun	0.000000 004269	0.000000 01689	3.2	0.0021 37	1.36	0.00000 07028
*Kimpraswil No. Pt T-10-2002-B pedoman teknis resmi tentang Panduan Geoteknik 4: Desain dan Konstruksi Timbunan Jalan pada Tanah Lunak Nilai <i>Settlement</i> timbunan kondisi analisis jangka pendek maksimal 2,5 cm per tahun atau maksimum 20 mm/tahun. Nilai <i>Settlement</i> timbunan kondisi analisis jangka panjang kurun waktu 10 tahun biasanya dibatasi maksimal 10 cm untuk badan jalan .						

Sumber: Hasil Rekap Sendiri Berdasarkan Hasil *SF Plaxis Curve*.

Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil Angka Angka Penurunan Tanah Menggunakan Program *Plaxis*.

Tahapan Akhir Konstruksi	Nilai Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>) Point B					
	Kondisi Awal		Dinding Penahan Tanah		DPT + <i>Borepile</i>	
	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Hardening soil</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Hardening soil</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Hardening soil</i>
Perkerasan Jalan	-	-	2	1.4	1.1	1.8
Pembebanan 46 kN/m ²	-	-	2.7	1.6	1.2	1.9
Konsolidasi 1 Tahun	-	-	3.5	7	4.5	7
Konsolidasi 3 Tahun	-	-	3.6	0.007634	4.6	0.008978
Konsolidasi 5 Tahun	-	-	3.6	0.01527	4.6	0.1528
Konsolidasi 10 Tahun	-	-	3.6	0.00916	4.6	0.0000003981

Sumber: Hasil Rekap Sendiri Berdasarkan Hasil *Plaxis Curve*.



Gambar 5.118 *Bar Chart* perbandingan nilai *settlement*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Pada penelitian analisis stabilitas lereng perkuatan dinding penahan tanah menggunakan pondasi *borepile* ini, membandingkan hasil analisis dengan metode *Finite Element Method* yaitu program bantu *Plaxis V 8.6* kedalam dua permodelan yaitu *Mohr-Coulomb* dan *Hardening soil*. Pada ruas Jalan Desa Kedungboto STA 3 + 036. Maka beberapa hal dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan *Safety Factor* pada kondisi awal lereng tanpa perkuatan saat kondisi pembebanan pada muka lereng sebesar 46 kN/m², menggunakan analisis *Software Plaxis* dengan permodelan *Mohr-Coulomb* didapatkan nilai aman pada lereng asli tersebut sebesar 1,4273. Sedangkan perhitungan dengan permodelan *Hardening soil* didapatkan nilai aman pada lereng asli tersebut sebesar 1,3118. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi lereng berpotensi terjadi kerawanan longsor atau diartikan tidak aman dan diperlukan perkuatan lereng untuk menambah nilai keamanan lereng sesuai yang dipersyaratkan pada SNI 1840 Tahun 2017 tentang Persyaratan Perencanaan Geoteknik yang merekomendasikan nilai *Safety Factor* harus lebih dari 1,5.
2. Perhitungan analisis nilai *Safety Factor* pada kondisi lereng yang telah diberi perkuatan dinding penahan tanah dengan menggunakan analisis *Software Plaxis* dengan permodelan *Mohr-Coulomb* didapatkan nilai SF sebesar 1,4927. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi lereng masih kurang aman dikarenakan nilai *Safety Factor* < SF 1,5. Sedangkan perhitungan dengan permodelan *Hardening soil* didapatkan nilai aman sebesar 1,5506. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi lereng tersebut aman dan stabil karena > SF 1,5. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan permodelan analisis *hardening soil* cukup memenuhi batas angka keamanan lereng.

3. Hasil perhitungan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan pondasi *borepile* dengan permodelan *Mohr-Coulomb* didapatkan nilai SF sebesar 2.4876. Sedangkan angka aman yang diperoleh dengan permodelan *hardening soil* didapatkan nilai sebesar 2.4152. Dengan dua permodelan analisis program *Plaxis* yaitu *Mohr-Coulomb* dan *hardening soil* nilai angka aman yang diperoleh melebihi 1,5 dari yang disyaratkan pada SNI maka dianggap aman terhadap keruntuhan.
4. Hasil analisis penurunan tanah (*settlement*) menggunakan program *Plaxis* dengan membandingkan besarnya penurunan berdasarkan waktu tahapan akhir konstruksi dengan menggunakan model *Mohr-Coulomb* dan *hardening soil* diperoleh besar penurunan untuk model *Mohr-Coulomb* sebesar -6,50 cm, sedangkan untuk model *hardening soil* diperoleh besarnya penurunan sebesar -1,1 cm dengan waktu tahapan akhir konstruksi yang relatif sama yaitu pembebanan 46 kN/m².
5. Perhitungan analisis nilai *Safety Factor* pada kondisi lereng yang telah diberi perkuatan dinding penahan tanah dan pondasi *borepile* dengan permodelan *Mohr-Coulomb* dan *Hardening soil*. Model *Hardening soil* memperoleh nilai keamanan yang melebihi kriteria angka aman dikarenakan *hardening soil* memperhitungkan kekakuan tergantung tegangan (*stress-dependent*) serta penambahan kekakuan akibat beban (*strain hardening*) sedangkan *Mohr-Coulomb* memperhitungkan hubungan linear antara tegangan dan regangan pada kondisi elastis serta batas kekuatan geser konstan.

6.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka peneliti dapat memberikan saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Pengambilan data tanah tambahan untuk pengujian laboratorium diperlukan untuk mengetahui nilai paramter tanah secara lengkap, sehingga dalam input program *Plaxis* bisa lebih akurat.

2. Melakukan pengambilan *sample* tanah untuk mendapatkan gambaran karakteristik lapisan tanah dalam membantu keakuratan perhitungan dan pemodelan program *Plaxis*.
3. Pada dinding penahan tanah yang dipengaruhi oleh beban jalan lalu lintas, dan setiap pertambahan tahunnya ada peningkatan dan penurunan, maka harus diperhatikan asumsinya dengan kondisi yang kritis.
4. Untuk studi selanjutnya, analisis dilakukan dengan model tanah *soft soil*, agar mendekati hasil analisis data lapangan pada studi kasus tanah lunak.
5. Lebih baik menggunakan perhitungan manual dan perhitungan aplikasi (*software*) agar ada pebandingan yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhi, B. W., Safarizki, H. A., Saputro, Y. A., & Indriyana, D. (2025). *Seminar Nasional Teknik Sipil Pendekatan Teknis Beberapa Alternatif Penanganan Stabilitas Lereng dan Timbunan Oprit Jembatan Akibat Keterbatasan Lahan Seminar Nasional Teknik Sipil yaitu dengan penanganan Replacement 2 meter + 3 . 5 meter Selected Material + Retaining Wall*. 3(1), 224–232.
- Agustinus, S., & Lesmana, C. (2019). Perbandingan Analisis Perkuatan Struktur Pelat dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 1–25.
- Brinkgreve, R. B. J., Kappert, M. H., & Bonnier, P. G. (2007). Hysteretic damping in a small-strain stiffness model. *Proceedings of the 10th International Symposium on Numerical Models in Geomechanics NUMOG 10 - Numerical Models in Geomechanics NUMOG 10*, 737–742.
- Budiarti, P. W., Fathani, T. F., & Faris, F. (2020). *Analysis of rainfall-triggered landslide in Baleagung Village , Magelang Regency , Central Java*. 01001.
- Chandra, A. A. (2021). Analisis Kestabilan Lereng pada Ruas Jalan Nimbontong-Taja-Lereh Di KM 123+700. *Syntax Idea*, 3(8), 1789–1801.
- Ciptaning, K., Yunus, Y., & Saleh, S. M. (2018). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Kontruksi Dinding Penahan Tanah Tipe Counterfort. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 1(2), 58–68.
- Dariato, D., Siregar, A., Umroh, B., & Kurniadi, D. (2019). Simulasi Kekuatan Mekanis Material Komposit Tempurung Kelapa Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 3(1), 39.
- Dendo, E. A., Allo, E. L., & Irwanto, I. (2020). Studi Perkuatan Lereng Terhadap Kelongsoran Pada Ruas Jalan Tamba Narang. *Journal*

- Dynamic Saint*, 5(1), 898–905.
- Dewi, I. K., & Adriansyah, R. (2023). Pemodelan 2D Data Ground Penetrating Radar (Gpr) Pada Lahan Gambut Di Desa Jati Mulyo. *Journal Online of Physics*, 9(1), 15–22.
- Irawan, R., & Panjaitan, M. (2024). Design and Implementation of Line 2 Avalanche Handling in Tenggarong, East Kalimantan, Indonesia. *Asian Basic and Applied Research Journal*, 6(1), 184–191.
- Kurniawan, A., Adhi, B. W., & Pamungkas, H. (2025). *Evaluasi Stabilitas Lereng Dengan Metode Limit Equilibrium Pada Sungai Waridin*. 7(1), 10–17.
- Laksono, P. A., Studi, P., Teknik, S., & Tarumanagara, U. (2025). *Tujuan Penelitian Pengertian Tanah*. 8(1), 291–298.
- Luriyanto Apri, & Maulana Iqbal. (2014). Analisis Stabilitas Lereng Dan Alternatif Penanganannya : Studi Kasus Longsor Pada Ruas Jalan Pringsurat Km. Mgl. 22+631-22+655 Kabupaten Temanggung. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 3(4), 861–889.
- Mahmudi, A. (2023). Penurunan Pondasi Tiang Pancang Dan *Borepile* Terhadap Variasi Dimensi Di Lokasi Ubhara Surabaya. *Jurnal Inter Tech*, 1(1), 43–51.
- Maitimu, A., Pellu, S., & Latar, S. (2025). Perencanaan Dinding Penahan Tanah Pada Area Longsor di Desa Hunuth, Kecamatan Teluk Ambon Kota Ambon. *Jurnal Penelitian Multidisiplin Bangsa*, 2(3), 660–670.
- Nurshinta, H., Putra, P. P., & Nurtjahjaningtyas, I. (2022). Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Drawdown Pada Lereng Sungai Area Dam Badeng Kecamatan Songgon, Banyuwangi. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 9(2), 86–94.
- Pahrul Rodji, A., Martua Sihombing, S., & Rizky Ramadhan, M. (2022). Analisis Pondasi *Borepile* Pada Proyek Metrostater Depok Jawa Barat. *Jurnal Forum Mekanika*, 11(1), 11–21.
- Pushpa K, Dr. S. K. Prasad, & Dr. P. Nanjundaswamy. (2016). Critical Analysis of Slope Stability Analysis Methods. *International Journal of Engineering Research And*, V5(07), 128–136.

- Safitri Annisa. (2021). Evaluasi Penyebab Longsoran Dan Analisis Stabilitas Perkuatan Lereng Badan Jalan Poros Balikpapan-Samarinda Km.11. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 1–12.
- Shafna, P. M., & Anjana, T. R. (2021). Generalized Three-Dimensional Slope Stability Analysis of Soil Using *Plaxis 3D*. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 133 LNCE, 745–752.
- Syuhada, S., Agung Saputra, C., Kurniawan, R., Rahman Hakim Sitepu, A., Hayati, J., Abi Berkah Nadi, M., Sinta Aprilia, A., & Kurnianingtyas, E. (2024). Penentuan Soil Behavior Type (SBT) dan Konsistensi Tanah Hasil Uji Cone Penetrometer Test (CPT) di Masjid At Tanwir ITERA Sebagai Langkah Awal Perencanaan Pondasi. *STATIKA: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 6–10.
- Taufiq, R. M., Yakin, Y. A., Pratiwi, D. S., Sipil, M. T., Teknik, D., Program, S., & Teknik, S. (2025). *ANALISIS STABILITAS LERENG EKSISTING (Studi Kasus Ruas Jalan Tol Cisumdawu STA. 54–58*.
- WIDIANSYAH, M. I., & ILYAS, D. A. A. (2024). Pengaruh Kemiringan Lereng Terhadap Kebutuhan Soil Nailing dan Stabilitas Lereng (Studi Kasus: Lingkaran Timur Kuningan STA 1+ 100). *Prosiding FTSP Series*, 119–124.
- Widianto, D., & Budianto, A. (2024). *Journal Indonesian Impression (JII)*. 3(12), 907–915.
- Wulandari, T. E. (2021). Prediksi Penurunan Konsolidasi Menggunakan Preloading dan Prefabricated Vertical Drain dengan Software Metode Elemen Hingga. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 5(2), 99–108.
- Zahrandika, M. A., Yuliadi, & Isniarno, N. F. (2023). Analisis Kestabilan Lereng Tambang Kuari Batu Trass di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Desa Kedongdong Kidul Kecamatan Dukupuntang Kabupaten Cirebon Provinsi Jawa Barat. *Bandung Conference Series: Mining Engineering*, 3(2), 339–348.

LAMPIRAN



UNIVERSITAS ISLAM BATIK SURAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

Program Studi Teknik Sipil

Terakreditasi No : 6425/SK/BAN-PT/Ak/S/IX/2022 Alamat

Kampus : Jl. KH. Agus Salim No. 10 Surakarta Telp. 714751

Fax. (0271) 740160 Surakarta 57147

KEGIATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

Nama : Adha Akmaul Alviansyah NPM : 2022090006
Pembimbing I : Ir. Bagus Wahyu Adhi, S.T. , M.T. Tanggal Penelitian : 29-03/2026
Pembimbing II : Ahmad Hidayawan, S.T. , M.T.
Judul Tugas Akhir : ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN METODE
ELEMEN HINGGA (Studi Kasus : Longsoran Badan Jalan Desa
Kedungboto Kendal)

Tanggal	Uraian konsultasi	Tanda Tangan Pembimbing
2/04/2026	BAB I : • Perbanyak sitasi • Rumusan masalah : lereng tanpa penangaman, PPT, PPT + Bor Pile (Safety Factor)	
12-04/26	BAB II : • Studi Pustaka di Perbanyak lagi, teori Pembahasan • 1 Sub bab sendiri tentang FEM • Piradikan dan ditambahkan sitasi lagi	
20-04/26	BAB III : • legenda Penjelasan type tanah berdasarkan warna • Bagun ptt dirapikan dan diberi Penjelasan • Variabel Analisis Plaxis Mohr-Coulomb & Hardening soil	
21-04/26	- Bisa masuk sidang Proposal	
28/04/26	BAB IV : • Isi Sub Bab ada hasil Mohr-Coulomb dan Hardening soil • Rekapitulasi Tabel Safety Factor + di jelaskan • Rekapitulasi Tabel Settlement	



UNIVERSITAS ISLAM BATIK SURAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

Program Studi Teknik Sipil

Terakreditasi No : 6425/SK/BAN-PT/Ak/S/IX/2022 Alamat

Kampus : Jl. KH. Agus Salim No. 10 Surakarta Telp. 714751

Fax. (0271) 740160 Surakarta 57147

KEGIATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

Nama : Adha Akmaul Alviansyah NPM : 2022090006
 Pembimbing I : Ir. Bagas Wahyu Adhi, S.T. , M.T. Tanggal Penelitian : 27-03-2026
 Pembimbing II : Ahmad Hidayawan, S.T. , M.T.
 Judul Tugas Akhir : ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA (Studi Kasus : Longsoran Badan Jalan Desa Kedungboto Kendal)

Tanggal	Uraian konsultasi	Tanda Tangan Pembimbing
24/ Mei 2026	Pembimbing II Judul = • Dirapikan Maksimal 15 kata • Pengusunan kalimat disesuaikan KBBI	JP
24/ Mei 2026	Pembimbing II BAB II = • ketentuan Safety Factor dibuat sub bab sendiri • Pengusunan Diperhatikan & Dirapikan lagi	JP
29/ Mei 2026	Pembimbing II BAB III = • Gambar lokasi diambil dari gogle earth dan ditandai lokasi kasus longsoran • Bagan Alir dipindah dibagian Akhir Bab III	JP
29/ Mei 2026	Pembimbing II BAB IV = • Gambar Permodelan lereng diberi Keterangan jenis tanah • Grafik $\frac{1}{2}$ diperiksa dan dirapikan lagi	JP
12/ Juni 2026	Pembimbing II Penomoran Tabel dan Gambar diurutkan dari Bab Utama Lampiran Pengujian CPT	JP



UNIVERSITAS ISLAM BATIK SURAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

Program Studi Teknik Sipil

Terakreditasi No : 6425/SK/BAN-PT/Ak/S/IX/2022 Alamat

Kampus : Jl. KH. Agus Salim No. 10 Surakarta Telp. 714751

Fax. (0271) 740160 Surakarta 57147

KEGIATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

Nama : Adha Akmaul Alviansyah NPM : 2022090006
 Pembimbing I : Ir. Bagas Wahyu Adhi, S.T. , M.T. Tanggal Penelitian : 27-03-2026
 Pembimbing II : Ahmad Hidayawan, S.T. , M.T.
 Judul Tugas Akhir : ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN METODE
 ELEMEN HINGGA (Studi Kasus : Longsoran Badan Jalan Desa
 Kedungboto Kendal)

Tanggal	Uraian konsultasi	Tanda Tangan Pembimbing
22 / Juni / 2026	Pembimbing I BAB IV = • Sumber Tabel Parameter tanah dibetulkan • Penjelasan Pembebanan lebih rinci dan jelas	
22 / Juni / 2026	BAB IV = • Nomor Judul tabel diperhatikan dan diperbaiki • Perhitungan lereng awal dirangsikan Perhitungan konsolidasi	
	Lanjutan = • Kerapatan Penempatan diperhatikan dan dirapikan lagi	
16 / Juli / 2026	- Hal persetujuan CONTO, Format diperhatikan) - Hal Penjelasan (format diperhatikan - Hal Gambar, Tabel, Daftar Lampiran - Abstrak diperbaiki spasi 1	
16 / Juli / 2026	BAB III = - Lokasi Penelitian diberi cup foto lokasi longsoran BAB V • Tabel Rekapitulasi diberi ideus satu angun aman SNI beotelnik	



UNIVERSITAS ISLAM BATIK SURAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

Program Studi Teknik Sipil

Terakreditasi No : 6425/SK/BAN-PT/Ak/S/IX/2022 Alamat

Kampus : Jl. KH. Agus Salim No. 10 Surakarta Telp. 714751

Fax. (0271) 740160 Surakarta 57147

KEGIATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

Nama : Adha Akmaul Alviansyah NPM : 2022090006
Pembimbing I : Ir. Bagas Wahyu Adhi, S.T. , M.T. Tanggal Penelitian : 27-03-2026
Pembimbing II : Ahmad Hidayawan, S.T. , M.T.
Judul Tugas Akhir : ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN METODE
ELEMEN HINGGA (Studi Kasus : Longsoran Badan Jalan Desa
Kedungboto Kendal)

Tanggal	Uraian konsultasi	Tanda Tangan Pembimbing
27/Jul 2026	Catatatan Perbaikan Pendadaran : 1. Data MAT tetap sama dengan alternatif Pada kesimpulan harus menegaskan Pada kondisi inisial kondisi jangan didefinisikan	
27/Jul 2026	Sudah terjadi longsor tetapi lebih ditegaskan SF belum memenuhi standar SNI No.... Pemisalan kurang dari 1,5 bisa ditambah dg Perkuatan DPT - Borepile untuk menambah angka SF	
27/Jul 2026	2. Pada kesimpulan diberikan alasan penggunaan Mohr- Coulom dan hardening soil 3. Berat volume tanah Pada tabel disertai nama lain Pada bahasa Inggris	
27/Jul 2026	4. Opsional → diberi halaman MOTTO 5. Periksa tabel garts & Pengertian tetap utuh	
28/Jul 2026	Ace Jilid	



UNIVERSITAS ISLAM BATIK SURAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Program Studi Teknik Sipil

Terakreditasi No : 6425/SK/BAN-PT/Ak/S/IX/2022 Alamat

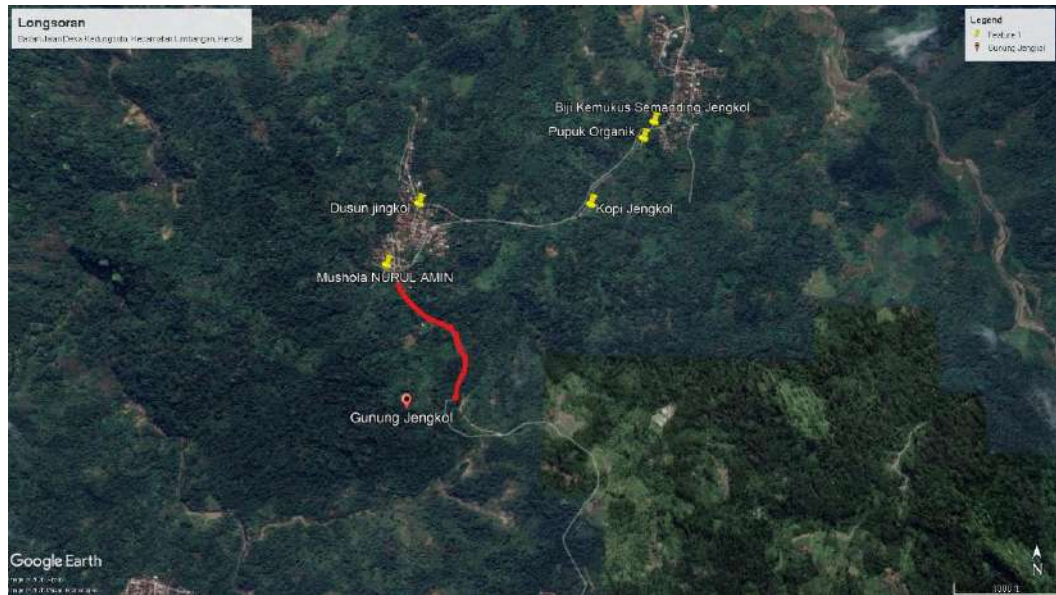
Kampus : Jl. KH. Agus Salim No. 10 Surakarta Telp. 714751

Fax. (0271) 740160 Surakarta 57147

KEGIATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

Nama : Adha Akmaul Alviansyah NPM : 2022090006
Pembimbing I : Ir. Bagas Wahyu Adhi, S.T. , M.T. Tanggal Penelitian : 27-03-2026
Pembimbing II : Ahmad Hidayawan, S.T. , M.T.
Judul Tugas Akhir : ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN METODE
ELEMEN HINGGA (Studi Kasus : Longsor Badan Jalan Desa
Kedungboto Kendal)

Tanggal	Uraian konsultasi	Tanda Tangan Pembimbing
26/ Juli /2026	- cek kembali parameter pemodelan - penulisan rumus di seragamkan	JP
27/ Juli /2026	- Rapikan penulisan - Bisa di silid dan dapat di ujikan	JP



Lampiran 2. Lokasi Penelitian Desa Kedungboto, Kecamatan Limbangan, Kabupaten Kendal.



Lampiran 3. Kondisi Longsoran Badan Jalan.



PEMERINTAH KABUPATEN KENDAL

DINAS PEKERJAAN UMUM DAN PENATAAN RUANG

BIDANG PEMBINAAN DAN PENGENDALIAN

LABORATORIUM PENGENDALIAN MUTU

Kantor : Jl. Laili No.25 Phone / fax : 0294- 381 347 KENDAL 51314

HASIL PENGUJIAN CONE PENETRATION TEST (CPT) / SONDIR

Pelanggan : Bidang Bina Merga DPUPR Kendal

Alamat : Jl. Laut No 25 Kendal

Pekerjaan : Penyelidikan Tanah

Lokasi : Dinding Penahan Tanah Jl. Kedungboto - Semanding - Jengkol

Cuaca : Cerah

Tanggal Uji : 13 Januari 2026

Dikerjakan : Masturi

Diperiksa : Mahardika W.J., ST

No. Sondir : S1 (posisi sondir -40 cm dari muka jalan beton)

Kedalaman : 13,4 m

Luas Penampang Piston (Ap)

Luas Penampang Konus (Ac)

Luas Salimut geser (As)

20

10

150

Untuk Fs 20

$$Q_c = \frac{C_w \times A_{pi}}{A_c}$$

$$F_s = \frac{(T_w - C_w) \times A_{pi}}{A_s}$$

$$R_f = \frac{F_s}{Q_c} \times 100$$

Kedalaman (m)	Cw (kg/cm²)	Tw (kg/cm²)	qc (kg/cm²)	fs (kg/cm²)	fs.20 cm (kg/cm)	Tt (kg/cm)	Rf %
0,20	2	3	4	0,133	2,67	2,67	5,33
0,40	3	4	6	0,133	2,67	5,33	2,22
0,60	4	5	8	0,133	2,67	8,00	1,67
0,80	2	4	4	0,267	5,33	13,33	0,67
1,00	5	7	10	0,267	5,33	18,67	2,67
1,20	6	8	12	0,267	5,33	24,00	2,22
1,40	7	9	14	0,267	5,33	29,33	1,90
1,60	15	20	30	0,567	13,33	42,67	2,22
1,80	14	16	28	0,267	5,33	48,00	0,95
2,00	15	17	30	0,267	5,33	53,33	0,89
2,20	20	23	40	0,400	8,00	61,33	1,00
2,40	10	13	20	0,400	8,00	69,33	2,00
2,60	16	18	32	0,267	5,33	74,67	0,83
2,80	15	17	30	0,267	5,33	80,00	0,89
3,00	12	14	24	0,267	5,33	85,33	1,11
3,20	12	14	24	0,267	5,33	90,67	1,11
3,40	13	15	26	0,267	5,33	96,00	1,03
3,60	16	18	32	0,267	5,33	101,33	0,83
3,80	20	25	40	0,567	13,33	114,67	1,67
4,00	35	38	70	0,400	8,00	122,67	0,57
4,20	14	16	28	0,267	5,33	128,00	0,95
4,40	15	17	30	0,267	5,33	133,33	0,89
4,60	20	22	40	0,267	5,33	138,67	0,67
4,80	17	19	34	0,267	5,33	144,00	0,78
5,00	10	12	20	0,267	5,33	149,33	1,33
5,20	16	18	32	0,267	5,33	154,67	0,83
5,40	33	35	66	0,267	5,33	160,00	0,40
5,60	24	26	48	0,267	5,33	165,33	0,56
5,80	30	33	60	0,400	8,00	173,33	0,67
6,00	18	21	36	0,400	8,00	181,33	1,11
6,20	19	21	38	0,267	5,33	186,67	0,70
6,40	30	32	60	0,267	5,33	192,00	0,44
6,60	24	26	48	0,267	5,33	197,33	0,56
6,80	40	42	80	0,267	5,33	202,67	0,33
7,00	40	43	80	0,400	8,00	210,67	0,50
7,20	80	85	160	0,667	13,33	224,00	0,42
7,40	6	05	12	7,867	157,35	381,33	65,56
7,60	55	60	110	0,667	13,33	394,67	0,61
7,80	65	70	130	0,667	13,33	408,00	0,51
8,00	100	105	200	0,667	13,33	421,33	0,33
8,20	40	45	80	0,667	13,33	434,67	0,83
8,40	30	35	60	0,667	13,33	448,00	1,11
8,60	30	33	60	0,400	8,00	456,00	0,67
8,80	30	35	60	0,667	13,33	469,33	1,11
9,00	30	32	60	0,267	5,33	474,67	0,44
9,20	38	40	76	0,267	5,33	480,00	0,35
9,40	40	45	80	0,667	13,33	493,33	0,83
9,60	45	50	90	0,667	13,33	506,67	0,74
9,80	38	40	76	0,267	5,33	512,00	0,35
10,00	35	40	70	0,667	13,33	525,33	0,95
10,20	50	55	100	0,667	13,33	538,67	0,67
10,40	45	48	90	0,400	8,00	546,67	0,44
10,60	35	40	70	0,667	13,33	560,00	0,95
10,80	35	40	70	0,667	13,33	573,33	0,95
11,00	30	33	60	0,400	8,00	581,33	0,67
11,20	30	33	60	0,400	8,00	589,33	0,67
11,40	28	31	56	0,400	8,00	597,33	0,71
11,60	30	32	60	0,267	5,33	602,67	0,44
11,80	20	23	40	0,400	8,00	610,67	1,00
12,00	40	45	80	0,667	13,33	624,00	0,83
12,20	60	65	120	0,667	13,33	637,33	0,56
12,40	100	110	200	1,333	26,67	664,00	0,67
12,60	85	90	170	0,667	13,33	677,33	0,39
12,80	60	65	120	0,667	13,33	690,67	0,56
13,00	45	50	90	0,667	13,33	704,00	0,74
13,20	85	90	170	0,667	13,33	717,33	0,39
13,40	150	180	300	4,000	80,00	797,33	1,33

Kendal , 13 Januari 2026

Penandatangan Laporan

Sub. Koordinator Seksi Pengendalian Mutu dan Pembinaan Jasa Konstruksi

HADIYANTO ST MM

NIP. 19760109 199803 1 002

162

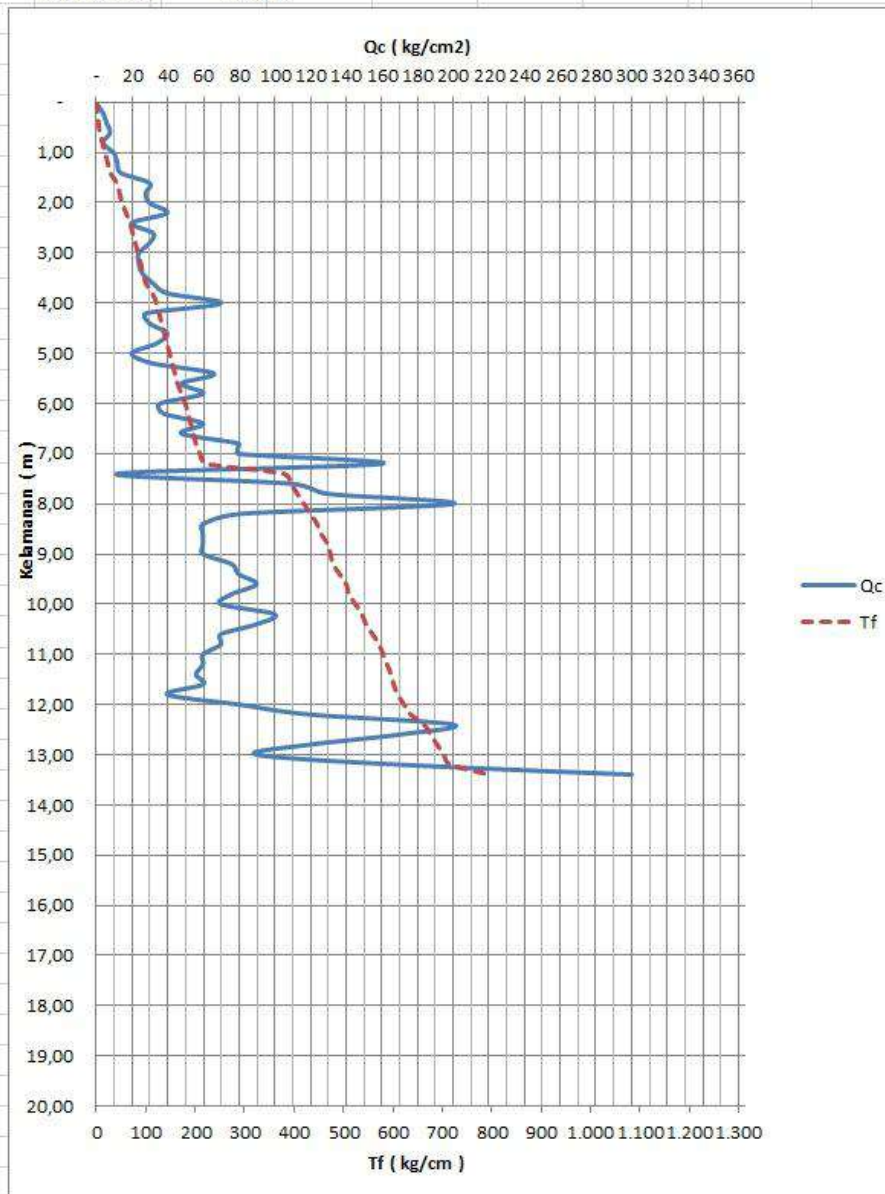
GRAFIK HASIL PENGUJIAN CONE PENETRATION TEST (CPT) / SONDIR

Pekerjaan : Penyelidikan Tanah

Lokasi : Dinding Penahan Tanah Jl. Kedungboto - Semanding - Jengkol

No. Sondir : S1 (posisi sondir -40 cm dari muka jalan beton)

Kedalaman : 13,4 m



Keterangan :

1. Perlawanan penetrasi konus (qc)
2. Perlawanan geser (Fs)
3. Hambatan lekat (LF)
4. Jumlah hambatan lekat (Tf)
5. friction ratio (FR/Rf).

Kendal, 13 Januari 2026 2024

Penandatangan Laporan

Sub. Koordinator Seksi Pengendalian Mutu dan

Pembinaan Jasa Konstruksi

HADIYANTO, ST, M.M.

NIP. 19760409 199803 1 002

Lampiran 4. Data Penyelidikan Tanah *Cone Penetration Test* (CPT).

