

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG TIMBUNAN PADA BADAN JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGUNAKAN PROGRAM PLAXIS 22 (STABILITY ANALYSIS OF SLOPE ROAD EMBANKMENTS WITH GEOTEXTILE REINFORCEMENTS USING PLAXIS 22 PROGRAM)

(Studi Kasus pada Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta. 7+500)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Safitri Diyah Alysia Sari
19511150**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG TIMBUNAN PADA BADAN JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGUNAKAN PROGRAM PLAXIS V22 (STABILITY ANALYSIS OF SLOPE ROAD EMBANKMENTS WITH GEOTEXTILE REINFORCEMENTS USING PLAXIS 22 PROGRAM)

(Studi Kasus pada Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta. 7+500)

Disusun Oleh :

Safitri Diyah Alysia Sari
19511150

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 14 Juni 2024
Oleh Dewan Penguji

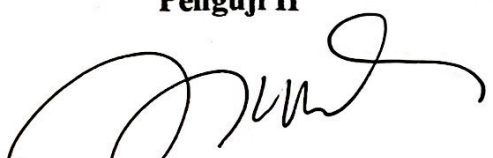
Pembimbing


Dr. Hanindya Kusuma A, S.T., M.T
NIK: 045110407

Penguji I


Muhammad Rifqi A, S.T., M.Eng
NIK: 135111101

Penguji II


Anisa Nur A, S.T., M.Eng
NIK: 215111305

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil


a.n) Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.
NIP: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai salah satu syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia adalah hasil karya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian pada Tugas Akhir ini adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Maret 2024

Yan...aan,



Safitri Diyah Alysia Sari

(19511150)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Pada Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS Versi 22”. Tugas akhir ini diperlukan sebagai bagian dari persyaratan akademik untuk menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menghadapi berbagai hambatan. Namun berkat dukungan, saran, masukan, dan motivasi dari berbagai pihak, alhamdulillah penyusunan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus dan sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberi bimbingan, nasihat, saran, kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji I, dalam sidang Tugas Akhir yang memberikan saran, masukan, dan kritik untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji II, dalam sidang Tugas Akhir ini yang memberikan saran, masukan, dan kritik untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Suparno dan Ibu Tutin Fariyatun selaku orang tua saya yang selama ini telah banyak memberikan saya motivasi dan doa serta berkorban begitu banyak

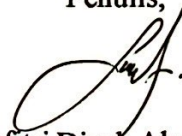
baik material maupun spiritual. Anan Kenedi dan Ibnu Al-Altar Satria Jati selaku kakak dan adik saya yang selalu memberikan bantuan dan motivasi dalam situasi dan kondisi apapun sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Keluarga besar saya yang selalu memberikan motivasi dan mendukung saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, terimakasih untuk doa dan dukungannya.
8. Saudara Aditia Ilham Pratama terima kasih atas semangat dan motivasi yang diberikan kepada saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Sahabat maupun teman-teman selama berkuliah, yang selalu memberikan dukungan dan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, terimakasih atas bantuan, saran dan motivasi yang selalu kalian berikan.

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 28 Maret 2024

Penulis,



Safitri Diyah Alysia Sari

(19511150)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xxii
ABSTRAK	xxiv
<i>ABSTRACK</i>	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	7
2.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil	10
2.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Program PLAXIS dan Metode Fellenius	12
2.5 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan	14
BAB III LANDASAN TEORI	22
3.1 Tanah	22
3.1.1 Klasifikasi Tanah	23
3.1.2 Parameter Tanah	29

3.1.1	Uji SPT (<i>Standard Penetration Test</i>)	37
3.2	Beban pada Analisis Stabilitas Lereng Timbunan	40
3.2.1	Beban Lalu Lintas	40
3.2.2	Beban Gempa	41
3.3	Lereng	41
3.3.1	Penyebab Longsor	42
3.3.2	Pengaruh Kelongsoran Lereng	43
3.3.3	Macam-macam Kelongsoran	44
3.4	Analisis Stabilitas Lereng	47
3.4.1	Teori Analisis Stabilitas Lereng	47
3.4.2	Nilai Faktor Aman (<i>Safety Factor</i>) pada Lareng	50
3.4.3	Metode Analisis Stabilitas Lereng	51
3.5	Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil	54
3.5.1	Geotekstil	55
3.5.2	Fungsi Geoteksil	57
3.5.3	Prinsip Kerja Geotekstil	60
3.5.4	Perkuatan Lereng Timbunan Menggunakan Geotekstil	62
3.6	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Program PLAXIS	67
	V. 22	
BAB IV METODE PENELITIAN		70
4.1	Tinjauan Penelitian	70
4.2	Data Penelitian	70
4.3	Lokasi Penelitian	71
4.4	Tahapan Penelitian	72
4.5	Analisis Data Penelitian	72
4.5.1	Potongan Melintang Jalan	73
4.5.2	Data Parameter Tanah	73
4.5.3	Data Geotekstil	74
4.5.4	Data Beban Lalu Lintas	75
4.5.5	Beban Gempa	75
4.6	Tahapan Analisis Data Menggunakan Program PLAXIS V.22	77

4.6.1	PLAXIS <i>Input</i>	77
4.6.2	PLAXIS <i>Calculation</i>	82
4.5.3	PLAXIS <i>Output</i>	83
4.7	Bagan Alir Penelitian	84
4.8	Bagan Alir Program PLAXIS V.22	85
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		86
5.1	Gambaran Umum Analisis	86
5.2	Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan	88
5.2.1	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Menggunakan Program PLAXIS V.22 Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	89
5.2.2	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Menggunakan Program PLAXIS V.22 Akibat Beban Lalu Lintas	92
5.2.3	Perhitungan Nilai Faktor Aman (<i>Safety Factor</i>) Akibat Beban Lalu Lintas dengan Metode Fellenius	96
5.2.4	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Menggunakan Program PLAXIS V.22 Akibat Beban Gempa	100
5.2.5	Rekapitulasi Nilai Faktor Aman (<i>Safety Factor</i>) dan Total <i>Displacement</i> Timbunan Tanpa Perkuatan	104
5.3	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	105
5.4	Perhitungan Kebutuhan Perkuatan Geotekstil	106
5.4.1	Perhitungan Kebutuhan Perkuatan Geotekstil	106
5.4.2	Perhitungan Stabilitas Eksternal	107
5.4.3	Perhitungan Stabilitas Internal	112
5.4.4	Pemodelan Pemasangan Geotekstil	116
5.5	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS V.22 Akibat Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	120
5.5.1	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	120
5.5.2	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	123

5.5.3 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	126
5.6 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS V.22 Akibat Beban Lalu Lintas	129
5.6.1 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	129
5.6.2 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	131 134
5.6.3 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	
5.7 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS V. 22 Akibat Beban Gempa	137
5.7.1 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	137
5.7.2 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	139
5.7.3 Analisis Stabilitas Lereng Timbuna Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	142
5.8 Pembahasan	145
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	151
6.1 Kesimpulan	152
6.2 Saran	152
DAFTAR PUSTAKA	153
LAMPIRAN	156

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan yang Dilakukan	15
Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi ASSHTO	26
Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi USCS	28
Tabel 3.3 Hubungan Antara Jenis Tanah dengan Sudut Geser Dalam	34
Tabel 3.4 Nilai <i>Poisson Ratio</i>	36
Tabel 3.5 Koefisien Permeabilitas	37
Tabel 3.6 Beban Lalu Lintas	40
Tabel 3.7 Hubungan Nilai Faktor Aman (<i>Safety Factor</i>) dengan Frekuensi Kelongsoran	49
Tabel 3.8 Nilai Faktor aman (<i>Safety Factor</i>) untuk Perencanaan Lereng	49
Tabel 3.9 Nilai Faktor aman (<i>Safety Factor</i>) pada Lereng	50
Tabel 3.10 Nilai <i>Interface</i> Tanah Kohesif dengan Geotekstil	60
Tabel 4.1 Data Parameter Tanah	73
Tabel 4.2 Data Parameter Geotekstil Jenis <i>Woven UW-250</i>	74
Tabel 4.3 Data Parameter Beban Lalu Lintas	75
Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Metode Fellenius	99
Tabel 5.2 Rekapitulasi Nilai Faktor Aman (<i>Safety Factor</i>) dan Total <i>Displacement</i> Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan	104
Tabel 5.3 Koefisien Daya Dukung Tanah Mayerhof untuk Perhitungan Geotekstil	107
Tabel 5.4 Rekapitulasi Panjang Geotekstil <i>Overlapping</i>	113
Tabel 5.5 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil	114
Tabel 5.6 Rekapitulasi Panjang Geotekstil pada Zona Aktif	115
Tabel 5.7 Rekapitulasi Panjang Total Geotekstil	115
Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Nilai SF dan Total <i>Displacement</i> dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan PLAXIS V.22	147

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram Fase Tanah	30
Gambar 3.2	Kriteria Kegagalan Mohr dan Couloumb	32
Gambar 3.3	Penetrasi dengan SPT	38
Gambar 3.4	Skema Pengujian SPT	39
Gambar 3.5	Tampak Lereng Akibat Pengaruh Rangkak (<i>Creep</i>)	44
Gambar 3.6	Kelongsoran Lereng	45
Gambar 3.7	Longsoran Rotasi	46
Gambar 3.8	Longsoran Translasi	46
Gambar 3.9	Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan	51
Gambar 3.10	(a) Tumpukan Pasir dengan Sudut Lereng Asli (b) Tumpukan Pasir dengan Lereng yang Sudah Diperkuat	55
Gambar 3.11	Geotekstil Teranyam (<i>Woven</i>)	56
Gambar 3.12	Geotekstil Tak Teranyam (<i>Non Woven</i>)	57
Gambar 3.13	Geotekstil Sebagai Perkuatan	58
Gambar 3.14	Fungsi Geotekstil Sebagai Perkuatan untuk Meningkatkan Stabilitas Lereng	58
Gambar 3.15	Geotekstil Sebagai Perkuatan pada Tepi Lereng	59
Gambar 3.16	Dasar Mekanisme Perkuatan Lereng dengan Tanah	61
Gambar 3.17	Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral	62
Gambar 3.18	Struktur Lereng yang Diperkuat Geotekstil Berlapis- Lapis	63
Gambar 4.1	Peta Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing	71
Gambar 4.2	Lokasi Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500	71
Gambar 4.3	Potongan Melintang Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500	73
Gambar 4.4	Peta Zonasi Gempa Indonesia	76
Gambar 4.5	Kotak Dialog <i>Quick Start/Open Pojext</i>	77

Gambar 4.6 Kotak Dialog <i>Project Properties</i> Bagian <i>Project</i>	77
Gambar 4.7 Kotak Dialog <i>Project Properties</i> Bagian <i>Model</i>	78
Gambar 4.8 Kotak Dialog <i>Material Sets</i>	80
Gambar 4.9 Lembar-Tab <i>General</i> dari Kotak Dialog <i>Material Sets</i>	80
Gambar 4.10 Lembar-Tab <i>Mechanical</i> dari Kotak Dialog <i>Material Sets</i>	80
Gambar 4.11 Lembar-Tab <i>Groundwater</i> dari Kotak Dialog <i>Material Sets</i>	81
Gambar 4.12 Kotak Dialog <i>Material Sets</i> dengan Parameter Tanah	82
Gambar 4.13 Kotak Dialog <i>Mesh Option</i> pada <i>Generate Mesh</i>	82
Gambar 4.14 Kotak Dialog <i>Phase</i> dengan Lembar-Tab <i>General</i> untuk Proses PLAXIS <i>Calculation</i>	83
Gambar 4.15 Bagan Alir Penelitian	84
Gambar 4.16 Bagan Alir Olah Data dengan Program PLAXIS Versi 2	85
Gambar 5.1 Desain Geometri Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	88
Gambar 5.2 Desain Geometri Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Beban Lalu Lintas	88
Gambar 5.3 Pemodelan Geometri Lereng Tanpa Perkuatan	88
Gambar 5.4 Meshing Lereng Tanpa Perkuatan	89
Gambar 5.5 Pemodelan Geometri Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	89
Gambar 5.6 <i>Deformed Mesh</i> Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	90
Gambar 5.7 <i>Effective Stress</i> Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	90
Gambar 5.8 Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Lereng Timbunan	91
Gambar 5.9 Total Displacement Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	91
Gambar 5.10 Daerah Potensi Longsor Akibat Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	92
Gambar 5.11 Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas	93
Gambar 5.12 <i>Deformed Mesh</i> Akibat Beban Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas	93
Gambar 5.13 <i>Effective Stress</i> Akibat Beban Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas	94

Gambar 5.14 Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas	94
Gambar 5.15 Total <i>Displacement</i> Akibat Beban Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas	95
Gambar 5.16 Potensi Longsor Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> Akibat Beban Lalu Lintas	96
Gambar 5.17 Pemodelan dan Analisis Lereng dengan Metode Fellenius	96
Gambar 5.18 Pemodelan Geometri Akibat Beban Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa	101
Gambar 5.19 <i>Deformed Mesh</i> Akibat Beban Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa	101
Gambar 5.20 <i>Effective Stress</i> Akibat Beban Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa	102
Gambar 5.21 Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa	102
Gambar 5.22 Total <i>Displacement</i> Akibat Beban Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa	103
Gambar 5.23 Potensi Longsor Akibat Beban Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa	103
Gambar 5.24 Pembagian Zona Lereng Timbunan	106
Gambar 5.25 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Tanah Miring	108
Gambar 5.26 Lembaran Geotekstil	116
Gambar 5.27 Pemasangan Geotekstil Variasi 1 Lapis pada Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	117
Gambar 5.28 Pemasangan Geotekstil dengan Sesuai Kebutuhan pada Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	117
Gambar 5.29 Pemasangan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis pada Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	118
Gambar 5.30 Pemasangan Geotekstil Sesuai Kebutuhan pada Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa	118

Gambar 5.31 Pemasangan Geotekstil dengan Variasi 1 Lapis Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa	119
Gambar 5.32 Pemasangan Geotekstil Pemasangan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis pada Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa	119
Gambar 5.33 Pemodelan Geometri Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	121
Gambar 5.34 <i>Deformed Mesh</i> Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	121
Gambar 5.35 <i>Effective Stress</i> Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	121
Gambar 5.36 Arah Peregerakan Tanah Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	122
Gambar 5.37 Total <i>Displacement</i> Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	122
Gambar 5.38 Daerah Potensi Longsor Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	123
Gambar 5.39 Pemodelan Geometri Lereng Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	123
Gambar 5.40 <i>Deformed Mesh</i> Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	124
Gambar 5.41 <i>Effective Stress</i> Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	124
Gambar 5.42 Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	125
Gambar 5.43 Total <i>Displacement</i> Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	125
Gambar 5.44 Daerah Potensi Longsor Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	126

Gambar 5.45	Pemodelan Geometri Lereng Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	126
Gambar 5.46	<i>Deformed Mesh</i> Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	127
Gambar 5.47	<i>Effective Stress</i> Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	127
Gambar 5.48	Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan Dan Variasi 1 Lapis	127
Gambar 5.49	Total <i>Displacement</i> Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	128
Gambar 5.50	Daerah Potensi Longsor Akibat Beban Lereng Timbunan <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	128
Gambar 5.51	Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	129
Gambar 5.52	<i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	129
Gambar 5.53	<i>Effective Stress</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	130
Gambar 5.54	Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	130
Gambar 5.55	Total <i>Displacement</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	131
Gambar 5.56	Daerah Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	131

Gambar 5.57	Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	132
Gambar 5.58	<i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	132
Gambar 5.59	<i>Effective Stress</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	133
Gambar 5.60	Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	133
Gambar 5.61	Total <i>Displacement</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	133
Gambar 5.62	Daerah Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	134
Gambar 5.63	Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	134
Gambar 5.64	<i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	135
Gambar 5.65	<i>Effective Stress</i> Beban Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	135
Gambar 5.66	Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	136
Gambar 5.67	Total <i>Displacement</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	136
Gambar 5.68	Daerah Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	137
Gambar 5.69	Pemodelan Geometri Akibat Beban Lereng Timbunan	137

Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	
Gambar 5.70	<i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis 138
Gambar 5.71	<i>Effective Stress</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis 138
Gambar 5.72	Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis 138
Gambar 5.73	Total <i>Displacement</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis 139
Gambar 5.74	Daerah Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis 139
Gambar 5.75	Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan 140
Gambar 5.76	<i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan 140
Gambar 5.77	<i>Effective Stress</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan 141
Gambar 5.78	Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan 141
Gambar 5.79	Total <i>Displacement</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan 141
Gambar 5.80	Daerah Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan 142
Gambar 5.81	Pemodelan Geometri Lereng Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis 142
Gambar 5.82	<i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis 143
Gambar 5.83	<i>Effective Stress</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 143

1 Lapis	
Gambar 5.84 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	144
Gambar 5.85 Total <i>Displacement</i> Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	144
Gambar 5.86 Daerah Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	145
Gambar 5.87 Grafik Nilai Faktor Aman (<i>Safety Factor</i>) pada Lereng Timbunan Menggunakan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis, Sesuai Kebutuhan, dan Gabungan Sesuai Kebutuhan dengan Variasi 1 Lapis	148
Gambar 5.88 Grafik Nilai Total <i>Displacement</i> pada Lereng Timbunan Menggunakan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis, Sesuai Kebutuhan, dan Gabungan Sesuai Kebutuhan dengan Variasi 1 Lapis	149

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Potongan Melintang Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500	157
Lampiran 2 Hasil Pengujian Bor Log Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500	158
Lampiran 3 Data Kondisi Tanah Dasar Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500	159
Lampiran 4 Data Parameter Geotekstil <i>Woven</i> PT. Teknindo Geosistem Unggul	160

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

cm	= Centimeter
m	= Meter
mm	= Milimeter
PGA	= Peak Ground Acceleration (g)
MC	= Mohr-Coulomb
γ_d	= Berat volume tanah kering (kN/m ³)
γ	= Berat volume tanah (kN/m ³)
γ_{sat}	= Berat volume tanah jenuh (kN/m ³)
γ_{unsat}	= Berat volume tanah tak jenuh (kN/m ³)
γ'	= Berat volume tanah efektif (kN/m ³)
e	= Angka pori
FK	= Faktor Keamanan
SF	= Safety Factor
kN	= Kilo Newton
N	= Newton
MPa	= Mega Pascal
Ka	= Koefisien tekanan tanah aktif lateral
Tu	= Kuat tarik ultimit (kN/m)
Ta	= Kuat tarik izin (kN/m)
σ_{hci}	= Tegangan yang bekerja pada lapis geotekstil ke-i (kN/m ²)
Sv	= Jarak geotekstil arah vertikal (m)
MD	= Momen mendorong (kN m)
MR	= Momen menahan (kN m)
L	= Panjang geotekstil (m)
Zi	= Kedalaman tiap lembar geotekstil dari permukaan tanah (m)

L_o	= Panjang <i>overlapping</i> geotekstil (m)
L_e	= Panjang efektif geotekstil (m)
L_z	= Panjang geotekstil pada zona aktif (m)
τ_f	= Kuat geser tanah (kN/m ²)
τ_d	= Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh (kN/m ²)
σ	= Tegangan normal (kN/m ²)
ε	= Regangan
m^2	= Meter persegi
m^3	= Meter kubik
Σ	= Total/Jumlah
c	= Kohesi (kN/m ²)
w	= Kadar air (persen)
e	= Eksentrisitas
N	= Koefisien daya dukung tanah
ϕ	= Sudut geser dalam (derajat)
ν	= <i>Poissons Ratio</i>
E	= <i>Modulus Young</i> / Modulus Elastisitas (kN/m ²)
EA	= Kekakuan normal (kN/m)
ψ	= Sudut dilatansi (°)
K	= Koefisien permeabilitas
G	= Modulus geser (kN/m ²)
q_c	= Tahanan konus (kN/m ²)
N	= Gaya normal efektif (kN)
W	= Berat total irisan (kN/m)
A	= Sudut geser singgung masing-masing irisan (derajat)
u	= Tekanan air pori pada pusat dasar (kN/m ²)
l	= Panjang dasar (m)
L	= Panjang busur (m)

ABSTRAK

Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing bertujuan untuk meningkatkan kapasitas jalan dalam melayani lalu lintas disektor yang diharapkan, dan dapat berguna dalam meningkatkan produktivitas perekonomian di daerah Kota Bekasi dan sekitarnya. Penelitian ini dikhususkan pada Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500. Kondisi lapisan tanah pada lokasi tersebut didominasi oleh lempung dan lanau, lapisan tanah yang digunakan adalah lapisan pertama sampai dengan lapisan ketiga dengan kedalaman 17,30 meter dan tinggi timbunan sebesar 9 m. Sedangkan tanah yang digunakan untuk timbunan adalah tanah pasir padat karena memiliki daya dukung yang tinggi. Analisis ini nantinya bertujuan untuk memperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil beserta nilai total *displacementnya*, sehingga potensi terjadinya kelongsoran lereng rendah.

Analisis stabilitas lereng menggunakan parameter tanah dengan data sekunder dan desain potongan melintang yang diperoleh dari laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta.7+500. Dalam proses analisis dan pemodelan 2D menggunakan program PLAXIS V.22 . Selain itu analisis dilakukan dengan menggunakan metode keseimbangan batas Fellenius dan metode elemen hingga untuk menganalisis stabilitas lereng sekaligus mencari nilai faktor keamanannya (*safety factor*). Sedangkan untuk melakukan analisis stabilitas lereng timbunan dengan perkuatan menggunakan geosintetik berjenis geotekstil *woven* UW-250 produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul, dengan pemasangan geotekstil variasi 1 lapis, sesuai kebutuhan serta gabungan antara sesuai kebutuhan dengan variasi 1 lapis.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng timbunan diperoleh hasil faktor keamanan (*safety factor*) pada lereng dengan menggunakan metode manual Fellenius sebesar 1,243. Sedangkan dengan menggunakan program PLAXIS V.22 didapatkan hasil nilai faktor aman (*safety factor*), akibat beban lereng timbunan *eksisting* sebesar 1,269, akibat beban lalu lintas sebesar 1,210, dan akibat beban gempa sebesar 1,185. Kemudian hasil perbandingan nilai faktor aman (*safety factor*) dari program PLAXIS V.22 pada lereng dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 1,327, akibat beban lalu lintas sebesar 1,284 dan akibat beban gempa sebesar 1,196. Hasil nilai faktor aman (*safety factor*) menggunakan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 1,412, akibat beban lalu lintas sebesar 1,343 dan akibat beban gempa sebesar 1,275. Sedangkan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) menggunakan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 1,538, akibat beban lalu lintas sebesar 1,425 dan akibat beban gempa sebesar 1,354. Hasil analisis nilai faktor aman (*safety factor*) sebelum diberi perkuatan geotekstil lereng masih dalam keadaan labil dan rawan terjadi longsor, dan setelah diperkuat faktor keamanan (*safety factor*) menjadi naik cukup signifikan lebih besar dari yang disyaratkan sebesar 1,3. Dengan demikian menandakan bahwa lereng menjadi relatif stabil dan potensi terjadinya longsor rendah

Kata Kunci: Stabilitas Lereng, Angka Aman (SF), Geotekstil, Metode Fellenius, Plaxis

ABSTRACT

The construction of the Cibitung-Cilincing Toll Road aims to increase road capacity in serving the expected sector traffic, which can be useful in increasing economic productivity in the Bekasi City area and its surroundings. This research is focused on the Cibitung-Cilinciing Toll Road Sta. 7+500. The condition of the soil layer at that location is dominated by clay and silt, the soil layer used is the first layer to the third layer with a depth of 17.30 meters and an embankment height of 9m. The soil used for the embankment is dense sand because it has a high bearing capacity. This analysis will aim to obtain the value of the safety factor without reinforcement and with geotextile reinforcement along with the total displacement value, so that the potential for slope failure is low.

The slope stability analysis uses soil parameters with secondary data and cross section design obtained from the Geotechnical Analysis report of the Cibitung-Cilincing Toll Road Project Sta.7+500. In the process of analysis and 2D modeling using PLAXIS V.22 program. In addition, the analysis was carried out using the Fellenius limit balance method and the finite element method to analyze slope stability while finding the value of the safety factor. While to analyze the stability of embankment slopes with reinforcement using geosynthetics woven geotextile type UW-250 produced by PT Teknindo Geosistem Unggul, with the installation of geotextile variations of 1 layer, as needed and a combination of as needed with 1 layer variations.

Based on the results of the embankment slope stability analysis, the safety factor on the slope using the Fellenius manual method is 1.243. While using the PLAXIS V.22 program obtained the value of the safety factor, due to the existing embankment slope load of 1.269, due to traffic load of 1.210, and due to earthquake load of 1.185. Then the comparison results of the safety factor value of the PLAXIS V.22 program on the slope with geotextile reinforcement variation of 1 layer due to the existing embankment load of 1.327, due to traffic load of 1.284 and due to earthquake load of 1.196. The result of the safety factor value using geotextile reinforcement as needed due to the existing embankment load of 1.412, due to traffic load of 1.343 and due to earthquake load of 1.275. While the results of the safety factor value (safety factor) using geotextile reinforcement as needed and 1 layer variation due to the existing embankment load of 1.538, due to traffic load of 1.425 and due to earthquake load of 1.354. The results of the analysis of the value of the safety factor before being reinforced with geotextile, the slope is still in a state of unstable and prone to landslides, and after being strengthened the safety factor has increased significantly greater than the required 1.3. This indicates that the slope is relatively stable and the potential for landslides is low.

Keywords: *Slope Stability, Safety Factor (SF), Geotextile, Fellenius Method, Plaxis*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan konstruksi jalan melibatkan banyak pertimbangan terkait perencanaan rute agar dapat menghasilkan jalur yang optimal secara efektif dan efisien. Selain aspek teknis, faktor-faktor lokal seperti kondisi sosial, ekonomi, politik, dan budaya juga harus dipertimbangkan dalam proses pembangunan. Selain itu, pertumbuhan pembangunan infrastruktur jalan sebagai fasilitas transportasi darat memiliki dampak yang signifikan pada berbagai aspek kehidupan masyarakat. Proses pembangunan infrastruktur ini dapat mempengaruhi pertumbuhan ekonomi, sehingga menciptakan kemajuan di suatu daerah.

Jalan adalah infrastruktur transportasi yang menghubungkan berbagai daerah. Perannya sangat penting dalam pembangunan dan pertumbuhan ekonomi Indonesia. Oleh karena itu, pemerintah terus membangun lebih banyak jalan guna memastikan kemajuan dan pertumbuhan yang merata di seluruh wilayah Indonesia. Salah satu masalah yang kerap muncul dalam pekerjaan proyek pembangunan jalan seperti jalan tol adalah risiko terjadi longsor pada lereng. Jalan tol dirancang untuk memberikan tingkat kenyamanan, keamanan dan kecepatan tinggi bagi pengguna.

Lereng adalah area tanah yang cenderung miring dan membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal. Ketika ada perbedaan ketinggian antara dua area tanah, gaya-gaya yang bekerja akan mendorong tanah yang lebih tinggi untuk bergerak ke arah bawah. Kondisi ini dikenal sebagai gaya potensial gravitasi, yang dapat menyebabkan terjadinya tanah longsor (Wardana, 2019).

Tanah longsor sendiri merupakan suatu kejadian yang terjadi akibat pergeseran batuan atau tanah yang turun dari suatu lereng yang diakibatkan adanya hasil dari gerakan massa yang terjadi di sepanjang bidang luncur kritisnya. Gerakan ini mencakup pergeseran batuan, regolit, dan tanah dari lokasi yang tinggi ke lokasi yang lebih rendah akibat gaya gravitasi. Pengertian gaya gravitasi dan rembesan air

merupakan penyebab utama ketidakstabilan lereng, baik itu lereng alami maupun yang telah dimodifikasi melalui proses penggalian atau penimbunan (Tim Bejis Project, 2005). Bencana longsor merupakan bencana alam yang mengakibatkan kerugian karena dapat menimbulkan korban jiwa dan merusak sarana dan prasarana transportasi.

Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing di wilayah Bekasi dilakukan dengan tujuan utama untuk meningkatkan aksesibilitas dan kapasitas jalan dalam melayani lalu lintas di sektor industri, khususnya menuju kawasan industri Cibitung dan Cilincing. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Pembangunan ruas jalan Tol Cibitung-Cilincing juga merupakan bagian dari komitmen pemerintah dalam merealisasikan Program Pembangunan Jangka Menengah (RPJMN) 2015-2020, yang salah satunya fokus pada penyediaan infrastruktur jalan guna mendukung strategi pertumbuhan ekonomi nasional. Ruas jalan Tol Cibitung-Cilincing, terdiri dari 4 seksi dengan total panjang keseluruhan mencapai 34,76 km. Saat ini, telah beroperasi 3 seksi. Seksi pertama adalah ruas Cibitung-Telaga Asih sepanjang 3,03 km. Seksi kedua dan ketiga adalah Telaga Asih - Tarumajaya dengan panjang 24,45 kilometer. Seksi keempat adalah ruas Tarumajaya-Cilincing dengan panjang 7,52 km yang menghubungkan antara ruas JORR II, sampai jalan Tol Cimanggis-Cilincing, dan ruas jalan Tol JORR I bagian timur.

Tingginya timbunan dapat mengurangi stabilitas tanah dasar dan meningkatkan beban yang diterima, sehingga meningkatkan potensi terjadinya kelongsoran pada lereng timbunan. Kemungkinan terjadi permasalahan tersebut pada proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing di wilayah Bekasi, dimana tinggi timbunan sebesar 9 m. Semakin tinggi timbunan tanah, semakin besar gaya-gaya yang bekerja dan semakin besar beban yang harus ditanggung oleh tanah asli, yang pada akhirnya meningkatkan risiko terjadinya longsor. Jalan Tol Cibitung – Cilincing ini memiliki timbunan yang tinggi dan dibangun diatas lapisan tanah jenis lapisan tanah lunak. Permasalahan terkait tanah lunak, yang memiliki karakteristik fisik dari lunak hingga sangat lunak, mengakibatkan daya dukung yang terbatas dan kecil pada tanah dasar. Selain itu, tanah lunak juga memiliki tingkat kompresibilitas

yang tinggi hingga sangat tinggi, dan memiliki kuat geser rendah menyebabkan pemampatan tanah yang relatif besar dan berlangsung dalam waktu yang lama. Dalam pembangunan jalan tol, tanah lunak dan tingginya timbunan menjadi fokus perhatian karena potensi risiko kegagalan konstruksi seperti penurunan dan kelongsoran yang signifikan. Oleh karena itu, analisis perkuatan timbunan sangat penting untuk memastikan keselamatan dan mengurangi risiko potensi terjadinya longsor dan Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta.7+500 bisa berfungsi secara optimal untuk meningkatkan aksesibilitas terhadap pertumbuhan ekonomi di daerah tersebut.

Perancangan perkuatan untuk mencegah terjadinya longsor pada Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta.7+500 harus dilakukan dengan efektif, untuk meminimalkan risiko kegagalan lereng yang bisa menyebabkan kelongsoran. Oleh karena itu dilakukan analisis stabilitas lereng dengan mencari nilai faktor aman (*safety factor*). Dimana nilai faktor aman (*safety factor*) menunjukkan $>1,3$ dapat dinyatakan lereng memiliki kestabilan yang memadai. Apabila didapatkan nilai faktor aman $<1,3$ maka akan diperkuat dengan menggunakan geotekstil *woven* UW-250. Sedangkan data parameter tanah diperoleh dari PT.Carina Griya Mandiri sebagai pihak yang melakukan penelitian terhadap parameter tanah dasar pada proyek tersebut.

Geotekstil merupakan material tekstil berbahan sintesis hasil pabrikasi yang bersifat *thermoplastic*. *Thermoplastic* merupakan sifat material yang akan lunak jika dipanaskan dan akan mengeras jika didinginkan. Keunggulan menggunakan geotekstil antara lain, mudah dalam pelaksanaan, dan dapat meningkatkan stabilitas lereng dan tidak memiliki risiko besar apabila terjadi kelongsoran (Rizqullah, 2022).

Dalam penelitian ini dilakukan untuk menganalisis stabilitas lereng timbunan jalan dengan bantuan program PLAXIS dimana yang digunakan versi 22 akan dihasilkan nilai faktor aman (*safety factor*), total *displacement*, *effective stress*, dan arah pergerakan tanah dari lereng timbunan akibat beban sendiri, lereng timbunan dengan beban lalu lintas dan lereng timbunan dengan beban lalu lintas dengan beban gempa baik diberi perkuatan maupun tanpa perkuatan geotekstil serta dilakukan perhitungan manual (metode Fellenius).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Berapa faktor aman (*safety factor*) pada lereng timbunan tanpa perkuatan menggunakan perhitungan metode Fellenius?
2. Berapa faktor aman (*safety factor*) pada lereng timbunan tanpa perkuatan menggunakan analisis program PLAXIS?
3. Berapa faktor aman (*safety factor*) pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil menggunakan analisis program PLAXIS?
4. Berapa nilai total *displacement* yang terjadi pada lereng timbunan tanpa perkuatan menggunakan analisis dari program PLAXIS?
5. Berapa nilai total *displacement* yang terjadi pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil menggunakan analisis dari program PLAXIS?
6. Bagaimana pengaruh dari perkuatan geotekstil yang diberikan pada lereng timbunan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang dirumuskan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan faktor aman (*safety factor*) lereng timbunan tanpa perkuatan menggunakan perhitungan metode Fellenius.
2. Mendapatkan faktor aman (*safety factor*) lereng timbunan tanpa perkuatan menggunakan analisis dari program PLAXIS.
3. Mendapatkan faktor aman (*safety factor*) lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil menggunakan analisis dari program PLAXIS..
4. Mendapatkan nilai total *displacement* yang terjadi pada lereng timbunan tanpa perkuatan menggunakan analisis dari program PLAXIS.
5. Mendapatkan nilai total *displacement* yang terjadi pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil menggunakan analisis dari program PLAXIS.
6. Mengetahui pengaruh dari perkuatan geotekstil yang diberikan pada lereng timbunan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memperluas ilmu pengetahuan, terutama dalam bidang geoteknik dan pengembangan teknologi geotekstil.
2. Memperoleh desain yang efektif dan aman untuk timbunan lereng pada proyek Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500, sehingga meminimalisir terjadinya kelongsoran.
3. Hasil penelitian bisa dijadikan acuan atau panduan untuk penelitian berikutnya, baik di daerah Cibitung-Cilincing maupun di wilayah lain yang terkait dengan perkuatan lereng.
4. Menambah pengetahuan mengenai permodelan lereng untuk analisis stabilitas lereng menggunakan program PLAXIS.
5. Menghemat waktu dalam menyelesaikan permasalahan dalam bidang geoteknik dengan memanfaatkan program PLAXIS.
6. Menambah pemahaman mengenai penggunaan geotekstil dan pengaruhnya terhadap lereng timbunan.
7. Bisa dijadikan bahan pertimbangan atau masukan dalam melakukan perencanaan kestabilan lereng dengan bentuk geometri yang sama maupun dengan bentuk geometri yang berbeda.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian dimaksudkan agar penelitian ini lebih mengarah pada latar belakang dan permasalahan yang telah dirumuskan maka diperlukan batasan-batasan masalah untuk membatasi ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut.

1. Lokasi studi kasus pada Jalan Tol Cibitung-Cilincing pada Sta. 7+500. JU. Sungai Sadang-2.
2. Stabilitas lereng timbunan dianalisis dengan menggunakan program PLAXIS V.22 dan menggunakan Metode Fellenius.
3. Bahan yang digunakan untuk perkuatan analisis stabilitas lereng menggunakan geosintetik jenis geotekstil *woven* UW-250 produksi PT.Teknindo Geosistem (2020), dengan kuat tarik ultimit 52 kN/m.

4. Data parameter tanah yang dipakai dan dimasukkan ke dalam PLAXIS versi 22 sesuai dengan Laporan Analisa Geoteknik Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing.
5. Muka air tanah diabaikan, dan tekanan air pori dianggap nol karena tidak tercantum dalam data pengujian N-SPT Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500.
6. Analisis satabilitas lereng ini menggunakan acuan atau pedoman standar nilai faktor aman (*safety factor*) $>1,3$ dimana lereng dalam kondisi stabil dari SNI 8460:2017 mengenai Persyaratan Perancangan Geoteknik.
7. Analisis biaya dan waktu, proses serta metode pelaksanaan tidak diperhitungkan dalam penelitian ini.
8. Dalam penelitian ini, beban yang dianalisis dengan program PLAXIS V.22 adalah akibat beban lereng timbunan *eksisting*, akibat beban lalu lintas dan beban gempa.
9. Beban merata yang berada di atas lereng timbunan merupakan beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 . Fungsi dan sistem jaringan pada Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500 adalah jalan arteri primer sesuai dengan data beban lalu lintas dari Departemen Pekerjaan Umum (2009) dari Panduan Geoteknik No.4.
10. Data beban gempa berasal dari kejadian gempa di kawasan American Canyon California dengan Percepatan Puncak Gempa rentang $0,3-0,4 \text{ g}$ yang nilainya disesuaikan dengan Percepatan Puncak Gempa (PGA) di wilayah Bekasi sebesar $0,3938 \text{ g}$, yang diambil setengahnya sebesar $0,1969 \text{ g}$ untuk *input* ke dalam program PLAXIS V.22 dengan acuan SNI 8460:2017 mengenai Persyaratan Perancangan Geoteknik.
11. Pembahasan untuk materi ini diantaranya mengenai nilai faktor aman (*safety factor*) dan total *displacement* yang terjadi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka merupakan langkah penting dalam proses penelitian. Proses penelitian ini mulai dari pencarian, pengumpulan, dan penyusunan informasi terkait dengan judul yang telah dipilih. Tujuannya adalah untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai judul penelitian yang sebelumnya dilakukan oleh peneliti lain, baik dari jurnal, buku, artikel, dan laporan ataupun dari sumber lain yang berkaitan dengan judul penelitian yang dipilih. Dalam tinjauan pustaka, peneliti dapat meninjau dan menganalisis berbagai sumber untuk mendukung atau memperkuat hipotesis atau argumen yang dikemukakan dalam penelitian. Namun, peneliti harus terlebih dahulu menganalisis relevansi dan kualitas informasi dalam sumber-sumber tersebut. Oleh karena itu dengan adanya tinjauan pustaka yang baik dan akurat, peneliti dapat mengembangkan pemahaman yang lebih mendalam terhadap judul yang dipilih.

2.2 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil

Suryadinullah (2018) melakukan penelitian mengenai Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Pada Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil. Penelitian ini dilakukan di Jalan Tol Berbanggi Besar-Pematang Panggang Sta 3+650, Lampung. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui seberapa nilai faktor aman (*safety factor*) yang diperlukan pada lereng timbunan jalan dengan kondisi menggunakan tanah asli, kondisi tanah asli dengan *replacement*, serta kondisi tanah asli yang diperkuat dengan geotekstil yang memiliki tinggi lereng timbunan yang bervariasi mulai dari 2 m, 4 m, 6 m, dan 8 m baik ditambah dengan beban gempa atau tanpa beban gempa dan untuk mengetahui seberapa besar penurunan (konsolidasi) dalam 1 tahun pada lereng timbunan jalan dan dengan menggunakan tanah asli, tanah asli dengan *replacement*, maupun tanah asli yang diperkuat dengan geotekstil. Untuk mempermudah akses lalu lintas perdagangan, perkebunan,

pertanian, dan pertambangan dengan menggunakan cara penimbunan nantinya digunakan untuk badan jalan yang memiliki trase jalan yang aman dan nyaman. Oleh karena itu penelitian ini menggunakan perkuatan geotekstil untuk mengetahui tingkat keamanan akibat kemiringan lereng dan adanya beban yang bekerja di atasnya serta dibantu dengan program PLAXIS 8.6. Dalam penelitian ini terdapat 2 macam kondisi, yaitu kondisi konstruksi dan kondisi pasca konstruksi. Hasil dari penelitian menggunakan jenis timbunan tanah asli memiliki nilai faktor aman sebesar (*safety factor*) 1,3. Apabila nilai tersebut belum memenuhi yang diisyaratkan maka akan dilakukan analisis terhadap tanah asli dengan geotekstil dengan menggunakan program PLAXIS 8.6. Dimana hasil analisis timbunan lereng yang diberi perkuatan geotekstil dengan program PLAXIS 8.6 diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) yang lebih besar dari yang diisyaratkan 1,3 yaitu pada timbunan 2 m kondisi tanah asli masa konstruksi memperoleh hasil nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,8410 dan pasca konstruksi sebesar 1,7894 serta dengan kondisi tanah asli sebesar 0,3120 m. Timbunan 4 m memperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) pada masa konstruksi sebesar 1,7014 dan pada pasca konstruksi sebesar 1,4882 dan kondisi tanah asli 0,19437 m. Sedangkan pada timbunan 6 m dan 8 m memperoleh nilai angka aman yang lebih kecil dari yang diisyaratkan. Sehingga untuk hasil timbunan lereng tanah asli 6 m dan 8 m dengan *replacement* pada timbunan lereng belum mencapai nilai faktor aman (*safety factor*). Pada timbunan 6 m nilai angka aman yang diperoleh lebih kecil dari nilai faktor aman (*safety factor*) yang disyaratkan 1,3. Timbunan 6 m diperoleh dengan nilai faktor aman (*safety factor*) 1,4696 pada masa konstruksi dan pada pasca konstruksi sebesar 1,3565 sedangkan dengan perkuatan geotekstil memperoleh nilai angka aman pada masa konstruksi sebesar 1,8405 dan pasca konstruksi sebesar 1,5886 dan kondisi tanah asli 0,30329 m dengan hasil konsolidasi dari tanah asli dengan *replacement* memiliki mengalami penurunan menjadi 0,32772 m. Timbunan 8 m diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) pada masa konstruksi sebesar 1,2781 dan pada pasca konstruksi sebesar 1,2192 begitu juga dengan menggunakan perkuatan geotekstil didapat nilai faktor aman (*safety factor*) pada masa konstruksi sebesar 1,6501 dan pasca konstruksi sebesar 1,4725 dan kondisi

tanah asli 0,44943 m. Kemudian pada timbunan yang diberi perkuatan geotekstil memiliki nilai konsolidasi yang lebih kecil daripada kondisi sebelumnya yaitu pada timbunan 6 m sebesar 0,30259 m dan pada timbunan 8 m sebesar 0,45635 m.

Ma'ruf (2019) dengan penelitiannya berjudul Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Perangkat Lunak Pada Proyek Jalan Tol Kertosono Seksi 1 dalam penelitiannya menggunakan bantuan program PLAXIS 8.6. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui nilai faktor aman (*safety factor*) pada lereng dan penurunan tanah selama 465 hari pada timbunan badan jalan dengan tinggi timbunan 3 m, 5 m, dan 9 m disertai dengan beberapa variasi pemodelan. Hasil dari penelitian ini diperoleh kondisi aman dan stabil dimana nilai faktor aman (*safety factor*) lebih besar dari yang disyaratkan 1,25 yaitu pada timbunan 3 m tanah asli dengan perkuatan geotekstil 1 lapis memperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,4467 pada masa konstruksi dan 1,2483 pada pasca konstruksi serta penurunan 0,757 dan kondisi tanah asli *replacement* 1 m dengan perkuatan geotekstil diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,7795 pada masa konstruksi dan 1,5627 pada pasca konstruksi serta penurunan 0,174 m. Timbunan 5 m dengan kondisi tanah asli *replacement* 1 m dan menggunakan perkuatan geotekstil 1 lapis diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,563 pada masa konstruksi dan 1,4561 pada pasca konstruksi dan penurunan 1,301 m. Untuk timbunan 9 m dengan kondisi tanah asli *replacement* 1 m dan menggunakan perkuatan geotekstil 2 lapis serta *counterweight* diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,522 pada masa konstruksi dan 1,4934 pada saat pasca konstruksi dan penurunan 0,444 m.

Rizqullah (2022) melakukan penelitian yang berjudul Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing Seksi 2 STA 6+475. Pada proyek pembangunan ini memiliki timbunan di badan jalan yang cukup tinggi sebesar 7,5 m. Penelitian ini akan dilakukan dengan perencanaan menggunakan geotekstil jenis *woven* dengan tujuan untuk mendapatkan hasil analisis stabilitas lereng yang tepat dengan mengetahui nilai faktor aman (*safety factor*) dan risiko kelongsorannya. Pada penelitian dilakukan perbandingan hasil nilai angka keamanan kondisi tanah asli dengan

penambahan perkuatan geotekstil yang dianalisis dengan metode Bishop menggunakan program bantu PLAXIS V.20. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode Bishop tanpa beban gempa menghasilkan nilai angka aman sebesar 1,47 dan dengan program PLAXIS V.20 diperoleh nilai angka aman sebesar 1,201. Kemudian hasil dari analisis dengan metode Bishop dengan beban gempa diperoleh 0,18 dengan nilai faktor aman (*safety factor*) 0,95. Sementara itu untuk analisis dengan beban gempa dan program PLAXIS V.20 tidak dapat dihitung, oleh karena itu dihitung dengan cara mencari nilai deformasi lateralnya dan memperoleh hasil sebesar 0,505 m. Berdasarkan hasil tersebut, diperlukan penguatan pada lereng kondisi tanah asli karena nilai faktor aman (*safety factor*) $< 1,25$. Perkuatan menggunakan geotekstil dibagi menjadi 2 zona yaitu 1,0 m dan 0,5 m. Setelah dianalisis dengan perkuatan geotekstil memperoleh hasil nilai angka aman sebesar 1,880 dimana meningkat sebesar 64% dari kondisi lereng yang dilakukan analisis tanpa perkuatan. Sedangkan nilai deformasi lateral dengan beban gempa didapat sebesar 0,034 m. Oleh karena itu nilai tersebut memenuhi syarat deformasi izin dan perkuatan geotekstil secara efektif dapat meningkatkan kestabilan lereng untuk mencegah kelongsoran pada lereng.

2.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil

Utomo (2019) dalam penelitiannya terkait analisis stabilitas lereng dengan studi kasus yang berlokasi di bantaran Sungai Code, Padukuhan Gemawang, Desa Sinduadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman. Penelitian ini menggunakan perkuatan jenis *soil nailing* dan menggunakan program bantu GEOSLOPE. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai faktor aman (*safety factor*) pada lereng alami dari hasil analisis kelongsoran menggunakan metode perhitungan manual Fellenius dan Bishop. Dengan mengetahui nilai faktor aman (*safety factor*) lereng yang diperkuat dengan *soil nailing* dapat dilakukan perhitungan kelongsoran menggunakan program GEOSLOPE dengan berdasarkan pada analisis kelongsoran metode baji (*wedge*). Dapat disimpulkan dari hasil perhitungan manual metode Fellenius diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar $0,929 < 1,3$ (tidak

aman) sedangkan dengan metode Bishop diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar $1,125 < 1,3$ (tidak aman). Untuk lereng yang diberi perkuatan *soil nailing* dengan menggunakan metode baji (*wedge*) pada sudut nail 10° didapat nilai faktor aman (*safety factor*) $1,5391 > 1,3$ (aman). Selain itu melalui program GEOSLOPE diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) tanpa tambahan beban gempa adalah $2,294 > 1,3$ (aman). Kemudian setelah diberi beban gempa, nilai angka aman sebesar $1,278 > 1,1$. Menggunakan sudut *nail* 20° diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) tanpa tambahan beban gempa sebesar $1,5977 > 1,3$ (aman) sedangkan dengan beban gempa sebesar $1,503 > 1,3$ (aman). Untuk sudut 30° diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) $1,6051 > 1,3$ (aman), dengan menggunakan program GEOSLOPE tanpa beban gempa diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar $3,253 > 1,3$ (aman) sedangkan dengan tambahan beban gempa menjadi sebesar $1,653 > 1,3$ (aman). Berdasarkan penelitian disimpulkan dengan adanya perbedaan nilai faktor aman (*safety factor*) menggunakan metode baji (*wedge*) dan dengan bantuan program GEOSLOPE. Adanya perbedaan tersebut karena analisis metode baji (*wedge*) menggunakan bidang gelincir longsor planar, sedangkan dengan bantuan program GEOSLOPE menggunakan bidang gelincir longsor dengan bentuk lingkaran.

Setiawan (2019) melakukan penelitian yang berjudul “Perencanaan Ulang Perkuatan Tanah Tebing Kali Code Menggunakan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever dan Geotekstil” dimana membahas tentang kerusakan lereng yang disebabkan oleh erosi sungai secara perlahan mengikis lereng sungai. Banyak masyarakat yang menggunakan area sekitar sungai untuk pemukiman, yang meningkatkan risiko banjir saat volume air sungai meningkat. Banjir ini juga dapat meningkatkan potensi longsor karena lereng sungai kehilangan stabilitasnya. Setelah melakukan analisis eksternal terhadap dinding kantilever dengan mempertimbangkan beban gempa yang mungkin terjadi, ditemukan bahwa nilai faktor aman (*safety factor*) terhadap guling sebesar 2,7, nilai faktor aman (*safety factor*) terhadap geser sebesar 1,55, dan nilai faktor aman (*safety factor*) terhadap keruntuhan daya dukung tanah sebesar 16,9. Selanjutnya, analisis internal terhadap dinding kantilever dilakukan dalam dua tahap, yaitu perhitungan kebutuhan

tulangan untuk dinding vertikal dan plat kaki pondasi dinding kantilever. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk dinding vertikal, diperlukan tulangan pokok sebesar D20-125 mm, tulangan geser sebesar D10-550 mm, dan tulangan susut sebesar 20-D10. Sedangkan untuk plat kaki pondasi, diperlukan tulangan pokok sebesar D20-125 mm, tulangan geser sebesar D10-600 mm, dan tulangan susut sebesar 17-D10. Dengan menggunakan aplikasi GEOSLOPE dan mempertimbangkan beban gempa, nilai faktor aman (*safety factor*) yang dihasilkan untuk dinding kantilever adalah 2,1. Selanjutnya, dari analisis eksternal terhadap geotekstil dengan mempertimbangkan beban gempa, didapatkan faktor keamanan terhadap penggulingan sebesar 2,12, nilai faktor aman (*safety factor*) terhadap pergeseran sebesar 2,1, dan nilai faktor aman (*safety factor*) terhadap keruntuhan daya dukung tanah sebesar 4,5. Sementara itu, dari analisis internal terhadap geotekstil, didapatkan panjang geotekstil (L) sebesar 3 m, panjang lipatan (Lo) sebesar 1 m, dan jarak antara geotekstil (Sv) sebesar 0,4 m.

2.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Program PLAXIS dan Metode Fellenius

Lembang (2021) melakukan penelitian berjudul “Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan studi kasus di Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750. Penelitian ini berdasarkan kondisi lereng yang curam. Oleh karena itu dilakukan pemotongan lereng untuk mencapai elevasi yang direncanakan. Daerah ini memiliki lapisan tanah berbutir halus di permukaan dan tanah pasir di bagian bawahnya. Analisis stabilitas lereng tersebut menggunakan program PLAXIS 8.6 dan menggunakan metode Fellenius. Dalam penelitiannya, menggunakan sudut lereng *eksisting* sebesar 46° dan menggunakan variasi sudut lereng geometri baru dengan sudut 61° . Dari hasil analisis menggunakan metode Fellenius untuk variasi sudut lereng geometri baru sudut 61° memperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 0,9541. Sedangkan analisis dengan sudut lereng *eksisting* sebesar 46° menggunakan PLAXIS 8.6 mengalami *collapse* atau terjadi kelongsoran dan dengan metode Fellenius memperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 0,9675. Kemudian peneliti melakukan analisis dengan perkuatan geotekstil dengan jenis *woven* UW-250.

Setelah diberi perkuatan, dan analisis menggunakan PLAXIS 8.6 diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) untuk sudut lereng eksisting 46° sebesar 1,306 dengan penambahan beban struktur dan 1,3679 dengan penambahan beban gempa. Selain itu diperoleh hasil penurunan lereng yang terjadi selama 365 hari sebesar 0,0002626 m. Kemudian untuk variasi sudut lereng geometri baru dengan sudut 61° setelah diperkuat diperoleh nilai aman (*safety factor*) sebesar 1,2913 dengan penambahan beban struktur dan 1,2902 dengan penambahan beban gempa. Hasil penurunan lereng yang terjadi selama 365 hari sebesar 0,000408.

Hayumi (2021) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Stabilitas Timbunan Pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS”. Penelitian ini dilakukan pada Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi 1 dengan menggunakan program PLAXIS versi 20 dan metode Fellenius. Tinggi timbunan mempunyai ketebalan 1 m hingga 8 m dari permukaan tanah asli oleh karena itu penelitian ini juga menggunakan variasi tinggi timbunan 4 m, 6 m, dan 8 m untuk meminimalisir terjadinya kelongsoran dengan mengetahui hasil dari nilai faktor aman (*safety factor*) yang nantinya bisa diperkuat dengan efektif. Hasil analisis menggunakan PLAXIS versi 20 pada tinggi timbunan 4 m, 6 m, dan 8 m baik itu dengan penambahan beban lalu lintas dan beban gempa masa konstruksi dan paska konstruksi mengalami *collapse*. Oleh karena itu dilakukan analisis masa konstruksi dan paska konstruksi menggunakan metode Fellenius, untuk tinggi timbunan 4 m diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,893, tinggi timbunan 6 m sebesar 1,637, dan tinggi timbunan 8 m sebesar 1,622. Kemudian pada saat paska konstruksi untuk tinggi timbunan 4 m diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,651, tinggi timbunan 6 m sebesar 1,572 dan tinggi timbunan 8 m sebesar 1,512. Selain itu, analisis penurunan kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil menunjukkan bahwa penurunan pada timbunan 4 m adalah 0,207 m dalam waktu 88 hari, pada timbunan 6 m adalah 0,434 m dalam waktu 104 hari, dan pada timbunan 8 m adalah 0,639 m dalam waktu 131 hari.

2.5 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan

Perbandingan penelitian atau tugas akhir ini dengan beberapa penelitian yang terdahulu dengan dengan penelitian yang dilakukan disajikan dalam bentuk tabel, dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu								Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Suryadinullah (2018)	Maru'f (2019)	Utomo (2019)	Setiawan (2019)	Lembang (2021)	Hayumi (2021)	Rizqullah (2022)	Alysia (2024)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Pada Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS Pada Tol Terbanggi Besar-Pematang Panggang Sta. 3+650 Lampung	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Perangkat Lunak Pada Proyek Jalan Tol Solo-Kertosono.	Analisis Stabilitas Lereng dengan Pekuatan <i>Soil Nailing</i> Menggunakan Program (Studi Kasus : Bantaran Sungai Code)	Perencanaan Ulang Perkuatan Tanah Tebing Kali Code Menggunakan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever dan Geotekstil	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan (Studi kasus di Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750)	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS V20 (Studi kasus: Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi 1	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing Seksi 2 Sta. 6+475	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan pada Badan Jalan dengan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS Versi 22 (Studi Kasus pada Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta. 7+500)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu								Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Suryadinullah (2018)	Maru'f (2019)	Utomo (2019)	Setiawan (2019)	Lembang (2021)	Hayumi (2021)	Rizqullah (2022)	Alysia (2024)
Tujuan Penelitian	Mengetahui hasil nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) beserta konsolidasi pada timbunan lereng dengan menyesuaikan kondisi tanah asli, <i>replacement</i> 1 m, perkuatan geotekstil dengan variasi tinggi timbunan 2 m, 4 m, 6 m, dan 8 m.	Mengetahui nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) serta penurunan tanah variasi tinggi timbunan yaitu 3 m, 5 m, dan 9 m menggunakan PLAXIS 8.6 dan	Memperoleh nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) berdasarkan analisis dari data longsor yang diolah dengan menggunakan metode Fellenius dan Bishop	Melakukan perancangan penguatan pada struktur tanah dengan menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever dan bahan geotekstil, kemudian mengukur nilai kestabilan lereng sebelum dan setelah	Mengetahui nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) dan nilai dari penurunan tanah pada lereng asli serta lereng yang mengalami perubahan geometri dengan variasi sudut 46° dan 61° yang	Analisis ini memiliki tujuan memperoleh nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) pada massa konstruksi dan pasca konstruksi dengan variasi tinggi timbunan 4 m, 6 m, dan 8 m. Selain itu untuk memperoleh	Tujuan penelitian untuk mendapatkan hasil analisis stabilitas lereng yang tepat dengan mengetahui nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) dan risiko kelongso-rannya.	Mengetahui nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) dan nilai total <i>displacement</i> untuk daerah potensi longsor, dari lereng timbunan <i>eksisting</i> , lereng timbunan dengan beban lalu lintas, lereng timbunan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu								Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Suryadinullah (2018)	Maru'f (2019)	Utomo (2019)	Setiawan (2019)	Lembang (2021)	Hayumi (2021)	Rizqullah (2022)	Alysia (2024)
Tujuan Penelitian		perhitungan manual.		dilakukan peningkatan penguatan tersebut.	diberi perkuatan geotekstil.	nilai penurunan tanah timbunan yang diberi perkuatan geotekstil.	pada penelitian dilakukan perbandingan hasil nilai angka keamanan (<i>safety factor</i>) kondisi tanah asli dengan diberi perkuatan geotekstil.	beban gempa dan beban lalu lintas tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil jenis <i>woven</i> beserta pengaruhnya agar meminimalisir terjadinya longsor

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu								Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Suryadinullah (2018)	Maru'f (2019)	Utomo (2019)	Setiawan (2019)	Lembang (2021)	Hayumi (2021)	Rizqullah (2022)	Alysia (2024)
Metode Penelitian	Analisis lereng menggunakan program Plaxis V.8.6 untuk memperoleh nilai angka nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) dan konsolidasi akibat beban di atasnya serta menggunakan perhitungan manual Fellenius untuk mendapatkan kebutuhan geotekstil.	Menggunakan metode elemen hingga dan metode irisan dengan bantuan program PLAXIS 8.6.	Analisis nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) lereng dengan variasi sudut 20° dan 30° menggunakan metode Fellenius, Bishop, dan program GEOS-LOPE .	<i>Studi literature</i> , dilanjutkan pengumpulan data, permodelan lereng, analisis dilakukan dengan perhitungan manual dan bantuan program GEOS-LOPE.	Analisis dilakukan dengan pengumpulan data, pemodelan desain lereng dan analisis dilakukan menggunakan metode Fellenius dan bantuan program PLAXIS 8.6.	Pengumpulan data, pemodelan variasi lereng kemudian dimasukkan ke program PLAXIS versi 20 dan dihitung juga dengan metode Fellenius.	Penelitian ini dianalisis dengan membandingkan hasil faktor aman (<i>safety factor</i>), dihitung menggunakan metode Bishop dan PLAXIS versi 20.	Pengumpulan data parameter tanah, pemodelan lereng beserta timbunan tanpa atau diperkuat dengan geotekstil dengan program PLAXIS versi 22 dan perhitungan metode Fellenius.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu								Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Suryadinullah (2018)	Maru'f (2019)	Utomo (2019)	Setiawan (2019)	Lembang (2021)	Hayumi (2021)	Rizqullah (2022)	Alysia (2024)
Hasil Penelitian	Pada timbunan tanah asli tinggi 2 m, 4 m sudah memenuhi syarat nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) tinggi timbunan 6 m dan 8 m nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) belum memenuhi syarat nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) yaitu >1,3.	Hasil dari penelitian ini diperoleh kondisi aman dan stabil dimana nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) lebih besar dari yang disyaratkan 1,25 dengan penurunannya pada masa	Diperoleh nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) lereng dengan sudut nail 20° tanpa tambahan beban gempa sebesar 1,5977 > 1,3 (aman) sedangkan dengan beban gempa	Diperoleh desain Dinding Penahan Tanah (DPT) dengan tinggi vertikal 4 m dan lebar 0,8 m, dengan tinggi plat kaki pondasi 1,3 m dan lebar plat kaki pondasi 3,5 m.	Lereng asli dengan sudut 46° mengalami kegagalan begitu juga dengan penurunannya. Dalam kondisi lereng asli sudut 46° derajat dengan penggunaan geotekstil dan tanah timbunan setinggi 12,5 m	Pada masa konstruksi tinggi timbunan 4 m nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) sebesar 1,893, tinggi timbunan 6 m sebesar 1,637, tinggi timbunan 8 m sebesar 1,622. Pada paska konstruksi	Menggunakan metode Bishop tanpa beban gempa menghasilkan nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) sebesar 1,47 dan dengan program PLAXIS V20	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu								Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Suryadinullah (2018)	Maru'f (2019)	Utomo (2019)	Setiawan (2019)	Lembang (2021)	Hayumi (2021)	Rizqullah (2022)	Alysia (2024)
Hasil Penelitian	pada timbunan <i>replacement</i> tinggi 6 m sudah memenuhi syarat angka aman. Sedangkan pada tinggi 8 m belum memenuhi syarat nilai faktor aman (<i>safety factor</i>). Setelah diberi perkuatan tinggi timbunan 6 m dan 8 m	Konstruksi , paska konstruksi diperkuat dengan geotekstil yaitu pada timbunan 3 m dan <i>replacement</i> , timbunan 5 m dan <i>replacement</i> , timbunan 9 m dan	1,3 (aman). Untuk sudut 30° diperoleh nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) 1,6051 > 1,3 (aman), dengan menggunakan program GEOS-LOPE tanpa	dalam desain ini, digunakan tulangan pokok pada dinding vertikal sebesar D20-125 mm, tulangan sengkang sebesar D10-550 mm, dan tulangan susut 20-D10.	nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) sebesar 1,3697 akibat beban lalu lintas dan 1,3608 akibat beban lalu lintas dan beban gempa. Lereng geometri baru sudut 61° tanah asli mengalami kegagalan, begitu juga dengan	tinggi timbunan 4 m sebesar 1,651, tinggi timbunan 6 m sebesar 1,572, dan tinggi timbunan 8 m sebesar 1,512. Tinggi timbunan 4 m setelah analisis <i>excess pore water pressure</i>	diperoleh nilai angka aman (<i>safety factor</i>) sebesar 1,201 dengan beban gempa diperoleh 0,18 dengan nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) 0,95.	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu								Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Suryadinullah (2018)	Maru'f (2019)	Utomo (2019)	Setiawan (2019)	Lembang (2021)	Hayumi (2021)	Rizqullah (2022)	Alysia (2024)
Hasil Penelitian	menghasilkan nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) >1,3 yang artinya timbunan lereng sudah aman.	<i>replacement</i> dengan <i>counter-weight</i> diperoleh nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) sebesar 1,522 pada masa konstruksi dan 1,4934 pada saat pasca konstruksi.	beban gempa diperoleh nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) sebesar 3,253 > 1,3 (aman) dengan tambahan beban gempa menjadi sebesar 1,653 > 1,3 (aman).	Setelah diberi perkuatan dengan Dinding Penahan Tanah (DPT) nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) sebesar 1,542, dengan penambahan geotekstil sebesar 1,504.	penurunan-nya. Diperkuat dengan geotekstil dan diperoleh nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) sebesar 1,2913 akibat beban lalu lintas dan 1,2902 akibat beban lalu lintas dan beban gempa.	menjadi turun sebesar 0,207 m waktu 88 hari, tinggi timbunan 6 m sebesar 0,434 m waktu 104 hari dan tinggi timbunan 8 m sebesar 0,639 m waktu 131 hari serta 0,996 Fellenius.	Berdasarkan hasil tersebut, diperlukan penguatan pada lereng kondisi tanah asli karena nilai faktor aman (<i>safety factor</i>) < 1,25.	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah merupakan material yang terbentuk dari agregat dan mineral-mineral yang berbentuk padat. Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang melapuk (berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

Tanah merupakan sebuah kumpulan dari berbagai mineral, bahan organik, dan sedimen yang ikatan antar partikelnya relative lepas (*loose*) dan terletak pada lapisan batuan (*bedrock*) tanah didalam bumi. Ikatan yang relatif lemah antar butir dapat disebabkan oleh karbonat, zat anorganik, atau oksida yang mengendap di antara partikel. Ruang antar partikel bisa berisi air, udara, atau keduanya. Pembentukan tanah dari batuan aslinya dapat terjadi melalui berbagai proses fisika dan kimia. Proses fisika dari mengubah batuan menjadi partikel yang lebih kecil terjadi karena faktor seperti erosi, angin, es, cuaca atau perubahan suhu, dan aktivitas manusia. Pada saat yang sama, oksigen, karbon dioksida, air yang mengandung asam atau alkali dan proses kimia lainnya menyebabkan pembusukan kimia. Tanah yang mengalami pelapukan dan tetap berada pada tempatnya semula disebut tanah sisa (*residual*) , sedangkan tanah yang terbawa arus atau transportasi disebut tanah terangkat (Hardiyatmo, 2006).

Menurut Dokuchaev (1870) dalam Fauziek dkk (2018), tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami dibawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur, dan warna hasil pelapukan. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi akan membentuk tanah.

Pembentukan tanah dari batuan induknya dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses fisik dengan cara mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat faktor cuaca, angin, air dan pengaruh erosi. Sedangkan proses kimia dapat terjadi dengan oleh pengaruh zat kimia, seperti oksigen dan karbondioksida.

Tanah selalu berperan dalam setiap teknik sipil. Tanah berfungsi sebagai fondasi penahan beban suatu struktur atau bahan bangunan dari struktur itu sendiri, seperti tanggul atau bendungan, ataupun berfungsi sebagai sumber terjadinya gaya luar pada struktur, seperti dinding penahan. Oleh karena itu, ketika merencanakan konstruksi, harus memperhatikan pada struktur, bentuk, ukuran dan komposisi mineral tanah, serta sifat dan komposisi air bawah tanah. Struktur tanah adalah properti yang merespon perubahan lingkungan eksternal seperti beban, air, suhu, dan faktor lainnya. Secara umum struktur tanah dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu tanah kohesif dan tanah non kohesif (Das, 1995).

3.1.1 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan pengelompokkan dari berbagai jenis tanah ke dalam suatu kelompok tanah yang sesuai dengan karakteristik dan sifat-sifat tanah. Karakteristik dan sifat-sifat tanah begitu beragam, oleh karena itu terdapat sistem klasifikasi tanah yang secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori tertentu.

Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem pengaturan dari beberapa jenis tanah yang beraneka macam tetapi memiliki sifat yang sama ke dalam kelompok-kelompok maupun sub kelompok dengan berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi tanah memberikan sebuah bahasa yang mudah untuk menjelaskan dengan singkat sifat-sifat umum tanah dengan berbagai variasi tanpa penjelasan yang detail. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah sudah dikembangkan dengan tujuan rekayasa yang didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah secara sederhana seperti kelompok jenis tanah dengan ukuran butiran dan plastisitas, namun saat ini belum ada penjelasan yang lebih tegas mengenai sistem klasifikasi tanah dengan segala kemungkinan penggunaannya, hal itu disebabkan sifat-sifat tanah yang bervariasi (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah sangat membantu dalam perancangan seperti perancangan struktur bangunan, jalan dan jembatan dengan memberikan petunjuk melalui cara empiris yang sudah tersedia dari hasil pengalaman yang terdahulu. Klasifikasi tanah juga sangat bermanfaat dalam *studi* yang lebih terperinci mengenai kondisi tanah dan kebutuhan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti ciri-ciri pemadatan, kekuatan tanah dan sejenisnya.

Menurut Verhoef (1994) dibagi menjadi tiga kelompok :

1. Tanah berbutir kasar (kerikil, pasir)
2. Tanah berbutir halus (lempung, lanau)
3. Tanah campuran

Perbedaan antara pasir/kerikil dengan lanau/lempung dapat dikenali melalui ciri-ciri material tersebut. Sedangkan lanau/lempung umumnya bersifat kohesif (saling mengikat), dan material yang berbutir (kerikil, pasir) bersifat tidak kohesif (tidak saling mengikat). Struktur tanah yang tidak bersifat kohesif ditentukan oleh konfigurasi bagian-bagian yang kecil beserta ikatan diantara bagian-bagian kecil tersebut. Tanah dapat diklasifikasikan menjadi tanah tidak kohesif dan tanah kohesif atau tanah berbutir halus dan kasar (Bowles, 1989). Tetapi klasifikasi ini terlalu umum oleh karena itu dapat terjadi klasifikasi yang sama untuk jenis tanah yang memiliki sifat dan ciri-ciri yang hampir sama.

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang kerap digunakan, yaitu USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Kedua sistem ini memanfaatkan sifat indeks tanah secara sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair, dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari *System Unified* pertama kali diajukan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi kembali oleh teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*). Oleh karena itu untuk sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh kelompok organisasi konsultan geoteknik (Hardiyatmo, 2014).

1. Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*)

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) pertama kali dikenalkan oleh Hoentogler dan Tarzaghi yang kemudian diambil oleh *Bureau Of Public Roads*. Pada sistem ini ditujukan untuk keperluan tertentu digunakan untuk membantu menentukan kualitas tanah sesuai dengan kebutuhan perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Dalam sistem ini tanah diklasifikasikan menjadi 7 kelompok utama yaitu A-1 hingga A-7. Tanah yang masuk kategori A-1, A-2, dan A-3 merupakan tanah yang memiliki butiran dengan jumlah < 35% yang lolos ayakan No. 200. Sementara itu, tanah yang memiliki butiran dengan jumlah > 35% yang lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7 yang mayoritas terdiri dari lanau dan lempung. Berikut adalah sistem klasifikasi tanah berdasarkan klasifikasi AASHTO yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi umum	Material granuler (< 35% lolos saringan no.200)							Tanah-tanah lanau-lempung (< 35% lolos saringan no.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos)											
2,00 mm (no.10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no.200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no.4											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	2- maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir		Tanah berlempung dan pasir	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			
Catatan: Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL) Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5 Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6 Np = nonplastis											

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

2. Sistem Klasifikasi Tanah USCS (*Unified Soil Classification System*)

Menurut USCS (*Unified Soil Classification System*) tanah diklasifikasikan ke dalam tanah yang berbutir kasar seperti kerikil dengan simbol G (*gravel*) dan S (*sand*) untuk pasir. Selain itu disebutkan juga gradasi tanah yang dinyatakan dengan simbol W (*well graded*) untuk tanah bergradasi dengan baik dan simbol P (*poor graded*) untuk tanah bergradasi buruk. Apabila kurang dari 50% lolos saringan No. 200 dan jika lebih dari 50% lolos saringan No.200 tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir halus. Untuk simbol klasifikasi ini adalah M (*silt*) untuk tanah lanau organik dan C (*clay*) untuk tanah lempung anorganik. Disamping itu plastisitas diberi simbol L (*low plasticity*) untuk tanah yang plastisitasnya rendah dan H (*high plasticity*) untuk tanah dengan plastisitas tinggi. Berikut adalah sistem klasifikasi tanah berdasarkan klasifikasi USCS yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi USCS

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama jenis	
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	
	Pasir lebih dari lolos saringan no.	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi		P _t	Gambut dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

3.1.2 Parameter Tanah

Pada analisis stabilitas lereng timbunan, beberapa parameter tanah perlu diperhitungkan, termasuk berat volume, kuat geser (kohesi dan sudut geser dalam), modulus elastisitas, dan *poisson ratio*, sudut dilatasi, dan koefisien permeabilitas.

1. Berat volume (γ)

Berat volume tanah dibagi menjadi tiga kondisi, yaitu berat volume tanah jenuh (γ_{sat}), berat volume tanah basah (γ_b), dan berat volume tanah kering (γ_d). Berat volume tanah jenuh (γ_{sat}) merupakan perbandingan antara berat butiran tanah yang terendap di dalam air (di mana rongga udara sepenuhnya terisi oleh air) dengan volume total tanah. Berat volume tanah jenuh dapat dihitung menggunakan Persamaan (3.1) sebagai berikut.

$$\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V} \quad (3.1)$$

Berat volume tanah basah (γ_b) merupakan perbandingan antara berat butiran tanah (termasuk air dan udara) dengan volume total tanah. Berat volume tanah basah dapat dihitung menggunakan Persamaan (3.2) sebagai berikut.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (3.2)$$

Berat volume tanah kering (γ_d) adalah rasio antara berat butiran tanah yang padat dengan volume total tanah. Perhitungan berat volume tanah kering dapat dilakukan menggunakan Persamaan (3.3) sebagai berikut.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.3)$$

dengan:

γ_{sat} = Berat volume kondisi tanah jenuh (kN/m^3)

γ_b = Berat volume kondisi tanah basah (kN/m^3)

γ_d = Berat volume kondisi tanah kering (kN/m^3)

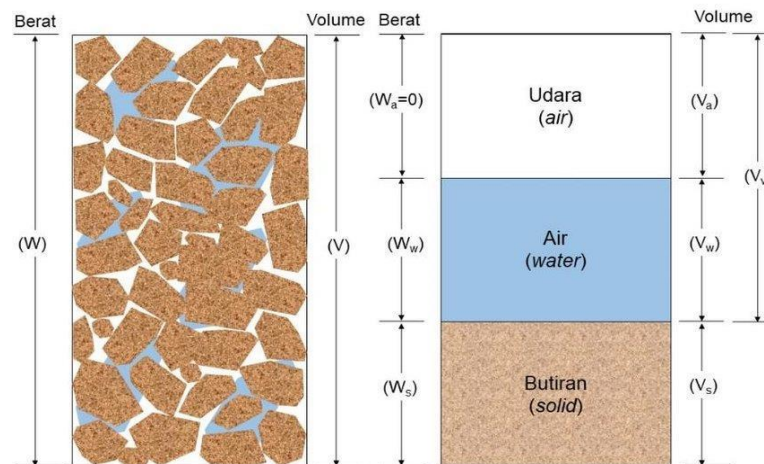
W_{sat} = Berat butiran kondisi tanah jenuh (kN)

W = berat butiran tanah termasuk air dan udara (kN)

W_s = Berat butiran tanah padat (kN)

V = Volume total tanah (m^3)

Menurut Hardiyatmo (2012), tanah bisa terdiri dari dua atau tiga komponen. Pada kondisi tanah kering, terdapat dua komponen, yaitu butiran tanah dan pori udara. Pada tanah yang jenuh, juga ada dua komponen, yaitu bagian padat (butiran) dan air pori. Namun, pada kondisi tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga komponen, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Komponen-komponen ini dapat direpresentasikan dalam bentuk diagram fase, seperti yang terlihat pada Gambar 3.1, yang menunjukkan elemen tanah dengan volume (V) dan berat total (W).



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

2. Kuat Geser

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah dalam menahan tekanan yang terjadi karena adanya beban yang berada di permukaan tanah. Kuat geser tanah ini dapat runtuh akibat adanya gerakan relatif antar partikel tanah. Penggunaan parameter kuat geser tanah sangat membantu dalam menganalisis daya dukung tanah (*bearing capacity*), kestabilan lereng (*slope stability*), dan tegangan terhadap dinding penahan (*earth pressure*). Parameter tersebut ditentukan melalui pengujian laboratorium menggunakan sampel benda uji yang diambil di lapangan yang dianggap bisa mewakili.

Kuat geser tanah dapat dijelaskan sebagai gaya perlawanan yang dihasilkan oleh partikel-partikel tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan konsep ini, dapat diinterpretasikan bahwa tanah akan mengalami pembebanan yang akan ditahan oleh:

- a. Gesekan antar partikel tanah yang dapat berbanding lurus dengan tegangan normal yang diberikan pada bidang geser di permukaan tanah.
- b. Jenis tanah dan kepadatan tanah bisa mempengaruhi kekuatan ikatan antar partikel tanah, tetapi hal ini bergantung pada tegangan normal yang bekerja pada bidang geser di permukaan tanah.

Menurut teori Mohr (1910) keruntuhan suatu bahan dapat terjadi karena adanya gabungan dari kondisi kritis tegangan normal dan tegangan geser. Parameter kuat geser tanah penting untuk menganalisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng, dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Gaya perlawanan yang dilakukan oleh partikel-partikel tanah terhadap tekanan atau tarikan disebut kuat geser tanah. Dalam hal ini, ketika tanah diberi beban, kohesi tanah akan menahan beban tersebut tergantung pada jenis dan pemadatan tanah, bukan pada tegangan vertikal yang bekerja pada geseran tanah, hubungan gesekan antara butir tanah dengan tegangan vertikal pada bidang gesernya yaitu berbanding lurus (Hardiyatmo, 2010). Hubungan fungsi antara tegangan geser dan tegangan normal pada bidang dengan keruntuhannya dapat dinyatakan oleh Persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.4)$$

dengan:

τ = Tegangan geser (kN/m^2)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

Penentuan nilai kuat geser tanah diperlukan untuk menghitung tekanan tanah yang berpengaruh pada dinding penahan tanah atau untuk menghitung analisa kapasitas daya dukung tanah. Ketika terjadi tegangan normal, maka gaya geser juga akan terjadi pada permukaannya. Oleh karena itu, nilai τ akan meningkat akibat deformasi dan mampu untuk mencapai nilai batasnya.

Berdasarkan Coulomb (1776) dalam Hardiyatmo (2010) menguraikan kekuatan geser dengan Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg}(\varphi) \quad (3.5)$$

dengan:

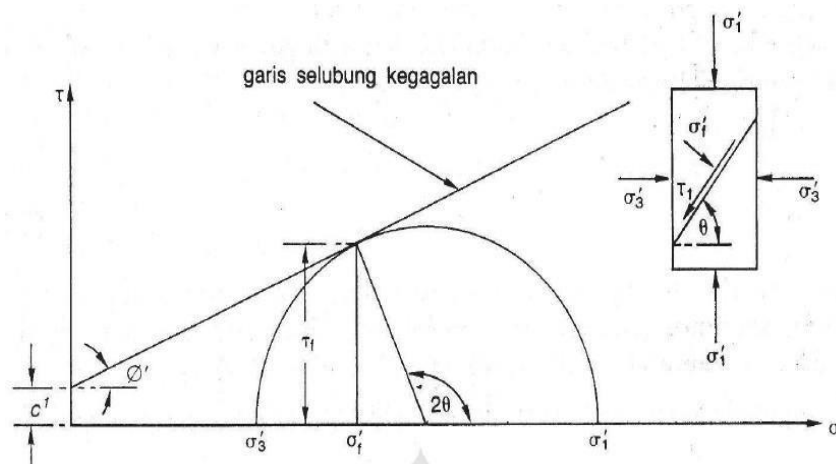
τ = Tegangan geser (kN/m^2)

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

φ = Sudut geser dalam tanah ($^\circ$)

Kuat geser dapat dinyatakan dalam bentuk tegangan efektif σ'_1 dan σ'_3 dapat dinyatakan dari kuat geser tanah pada saat terjadi keruntuhan. Lingkaran kegagalan Mohr ini diilustrasikan dalam bentuk lingkaran tegangan dengan titik koordinat τ dan σ' yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Kriteria Kegagalan Mohr dan Coulomb

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Berdasarkan Gambar 3.2 lingkaran kriteria kegagalan Mohr dan Coulomb dapat dilihat parameter sebagai berikut:

c' = Kohesi (kN/m^2)

φ = Sudut geser dalam tanah efektif ($^\circ$)

σ'_1 = Tegangan utama mayor efektif (kN/m^2)

σ'_3 = Tekanan utama minor efektif (kN/m^2)

θ = Sudut keruntuhan ($^\circ$)

$\tau'f$ = Tegangan geser efektif pada saat terjadi keruntuhan

$\sigma'f$ = Tegangan normal efektif saat terjadi keruntuhan

Kemudian Terzaghi (1925) mengubah persamaan Coulomb menjadi bentuk efektif karena pengaruh tekanan air pori pada sangat signifikan yang dapat dilihat pada Persamaan 3.6 dan 3.7 sebagai berikut.

$$\tau = c' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi' \quad (3.6)$$

karena, $\sigma' = \sigma - u'$ maka

$$\tau = c' + \sigma' \operatorname{tg} \varphi' \quad (3.7)$$

Parameter-parameter tersebut dapat disubstitusi kembali pada Persamaan 3.8, 3.9 dan 3.10 sebagai berikut.

$$Tf' = \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3) \sin 2\theta \quad (3.8)$$

$$\sigma f' = \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3) + \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3) \sin 2\theta \quad (3.9)$$

$$\operatorname{Sin} \varphi = \frac{\frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3)}{c \operatorname{tg} \varphi' + \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3)} \quad (3.10)$$

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk menentukan kuat geser tanah, diantaranya:

- a. Pengujian geser langsung (*direct shear test*)
- b. Pengujian triaksial (*triaxial test*)
- c. Pengujian tekan bebas (*unconfined compression test*)
- d. Pengujian geser kipas (*vane shear test*)

Pada penelitian ini menggunakan uji geser langsung (*direct shear test*) dan uji geser triaksial (*triaxial test*) yang diperoleh dari data laboratorium untuk memperoleh parameter kuat geser tanah yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ). Berikut pengertian mengenai kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ):

- a. Kohesi (c) ini dapat diartikan sebagai gaya tarik-menarik antar partikel dalam tanah yang dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi semakin tinggi jika jarak antara molekul atau partikel tanah semakin padat. Kohesi

merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dibagian dalam, dan yang terjadi berupa gerakan lateral tanah.

- b. Sudut geser dalam (ϕ) adalah sudut yang terbentuk saat dua atau lebih partikel tanah bergeser akibat hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser dalam tanah. Secara sederhana, kita dapat melihat saat kita mengambil sejumlah pasir dan menuangkannya diatas permukaan, pasir tersebut akan membentuk sudut tertentu. Inilah makna fisik sudut geser dalam tanah tanpa ada kondisi pengekang. Semakin tinggi nilai sudut geser dalam tanah, tanah akan lebih tahan terhadap gaya atau tegangan luar yang bekerja pada tanah. Berikut merupakan kisaran nilai sudut geser dalam yang sudah ditentukan berdasarkan jenis tanah yang dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Hubungan Antara Jenis Tanah dengan Sudut Geser Dalam (ϕ)

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

(Sumber: Das 1994)

Untuk mempelajari kuat geser tanah, berikut ini merupakan istilah-istilah yang sering digunakan yaitu :

- Kelebihan tekanan pori adalah kelebihan tekanan air pori akibat peningkatan tekanan yang tiba-tiba atau adanya tambahan tekanan air pori yang mendadak.
- Tekanan overburden adalah tekanan yang terjadi pada titik tertentu didalam tanah akibat adanya berat material air dan tanah yang berada diatasnya.
- Tekanan overburden efektif adalah tekanan akibat beban dari air dan tanah yang berada diatasnya dikurangi dengan tekanan air pori.

- d. Tekanan *normally consolidated* merupakan tanah dimana tegangan efektif yang menekan dan pada saat ini adalah tegangan maksimal yang pernah dialaminya.
- e. Tekanan *overconsolidated* merupakan tanah yang dimana tegangan efektif sudah pernah membebaninya dalam waktu lampau, lebih besar daripada tegangan efektif yang proses bekerjanya terjadi dalam waktu sekarang.
- f. Tekanan prakonsolidasi adalah tanah mengalami tekanan maksimum.
- g. Rasio *overconsolidasi* (OCR) adalah nilai perbandingan antara tekanan prakonsolidasi dengan tekanan *overburden* efektif. Oleh karen itu nilai OCR = 1 apabila tanah dalam keadaan *normally consolidated* dan nilai OCR > 1 apabila tanah dalam keadaan *overconsolidated*.

3. Modulus Elastisitas (E)

Besarnya nilai elastisitas tanah dapat ditunjukkan dengan nilai modulus elastisitas, dimana nilai modulus elastisitas ini merupakan perbandingan antara tegangan yang sudah terjadi terhadap regangan pada tanah. Secara umum, pengujian triaksial dengan kondisi tanah *undrained* digunakan sebagai ukuran atau nilai dari modulus elastisitas (E). Nilai E ini dapat dihitung dengan pendekatan kemiringan kurva tegangan-regangan yang didapat pada titik setengah dari beban kegagalan aksial. Hubungan modulus elastisitas (E) diketahui memiliki kaitannya dengan $(\sigma_0)^n$ dimana σ_0 merupakan tekanan keang hidrostatik. Das (2010) mengemukakan agar dapat menggunakan persamaan Schermaan (1970) untuk memperoleh nilai modulus elastisitas tanah berbutir halus seperti pasir dengan membuat korelasi atau nilai perkiraan modulus elastisitas dari uji sondir tanah yang menghasilkan jenis-jenis tanah seperti tanah lempung, pasir dan kerikil, tanah lanau.

4. Poisson Ratio (ν)

Koefisien *poisson* (ν) adalah *rasio* dari perubahan volume kompresi terhadap perubahan regangan lateral. Menurut Das (2010) nilai *poisson ratio* (ν) dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Nilai Poisson Ratio (ν)

Jenis Tanah	Nilai <i>Poisson Ratio</i> (ν)
Pasir lepas	0,20-0,40
Pasir sedang	0,25-0,40
Pasir padat	0,30-0,45
Pasir kelanauan	0,20-0,40
Lempung lunak	0,15-0,25
Lempung sedang	0,20-0,55

(Sumber: Das, 2010)

5. Sudut Dilatansi (ψ)

Sudut dilatansi (ψ) tanah bergantung pada berat volume tanah serta sudut gesek internal tanah. Biasanya, tanah lempung dan tanah yang memiliki sudut gesek $<30^\circ$ memiliki sudut dilatansi sebesar 0° . Namun, untuk tanah dengan sudut gesek $>30^\circ$, sudut dilatansinya dapat ditinjau dengan menggunakan rumus sudut dilatansi pada tanah *quartz sand soil*, yaitu $\psi = \phi - 30^\circ$ (Bolton, 1986, dalam Bnuarean, 2017).

6. Koefisien Permeabilitas (k)

Koefisien permeabilitas tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis tanah, ukuran dan bentuk butiran, rapat massa, geometri rongga pori, kekasaran partikel mineral, dan derajat kejenuhan. Selain itu, temperatur juga termasuk faktor koefisien permeabilitas (k) karena dapat mengubah viskositas dan tegangan permukaan. Pada tanah lempung, struktur juga mempengaruhi permeabilitas tanah secara signifikan. Faktor lain yang memengaruhi permeabilitas termasuk konsentrasi ion dan tebal lapisan air yang melapisi partikel lempung. Nilai koefisien permeabilitas (k) bervariasi untuk setiap jenis tanah. Koefisien permeabilitas dapat diukur langsung di lokasi lapangan atau dengan mengambil sampel tanah terlebih dahulu menggunakan tabung contoh dan kemudian mengujinya di laboratorium. Dalam pengujian laboratorium, terdapat dua metode yang umum digunakan untuk menentukan koefisien permeabilitas, yaitu pengujian Constant Head dan pengujian Falling Head. Koefisien permeabilitas

tanah yang tidak jenuh biasanya lebih rendah, tetapi meningkat secara signifikan dengan peningkatan derajat kejenuhan. Penelitian oleh Das (2010) menyediakan beberapa nilai khusus untuk tanah yang jenuh, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.5 Koefisien Permeabilitas (k)

Jenis Tanah	k (cm/det)
Kerikil	100-1
Pasir kasar	1-0,01
Pasir halus	0,01-0,001
Lempung berlanau	0,001-0,00001
Lempung	<0,0001

(Sumber: Das, 2010)

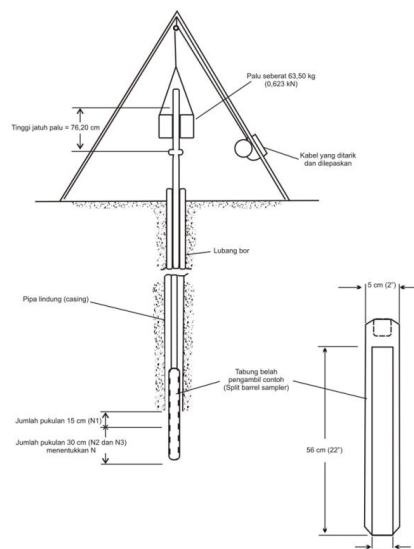
3.1.3 Uji SPT (*Standard Penetration Test*)

Standard Penetration Test (SPT) merupakan suatu teknik pengujian yang dilakukan bersamaan dengan pengeboran dengan tujuan mengetahui baik perlawanan dinamik tanah ataupun dengan pengambilan sampel tanah dengan teknik penumbukan. Disamping itu, pengujian SPT merupakan metode yang populer untuk survei geoteknis guna menentukan litologi dibawah permukaan dan memperoleh informasi tentang kemampuan daya dukung dibawah permukaan. Pengeboran SPT ini memberikan data yang akurat karena dilakukan secara langsung pada tanah untuk memperoleh data yang sebenarnya. SPT banyak digunakan, karena pelaksanaannya yang relative mudah.

Pengujian SPT cocok digunakan untuk jenis tanah yang non-kohefif seperti pasir dan batuan. Parameter pengujian yang diperoleh berasal dari jumlah pukulan pada penetrasi konus, dengan tujuan untuk mengidentifikasi semua lapisan tanah yang ada di lapangan. Hasil uji SPT memberikan hasil yang secara empiris dari kerentanan lapisan pada pasir terhadap likuifaksi. Standar dari uji SPT yang digunakan di lapangan yaitu: peralatan pengujian yang digunakan harus sesuai dengan syarat dan standar yang sudah ditetapkan seperti peralatan konus dan

lainnya, dalam melakukan pengujian harus sesuai syarat dari laporan dan contoh pengujian. Pengujian SPT ini menggunakan metode yang sama pada jenis tanah umumnya (SNI 4153, 2008).

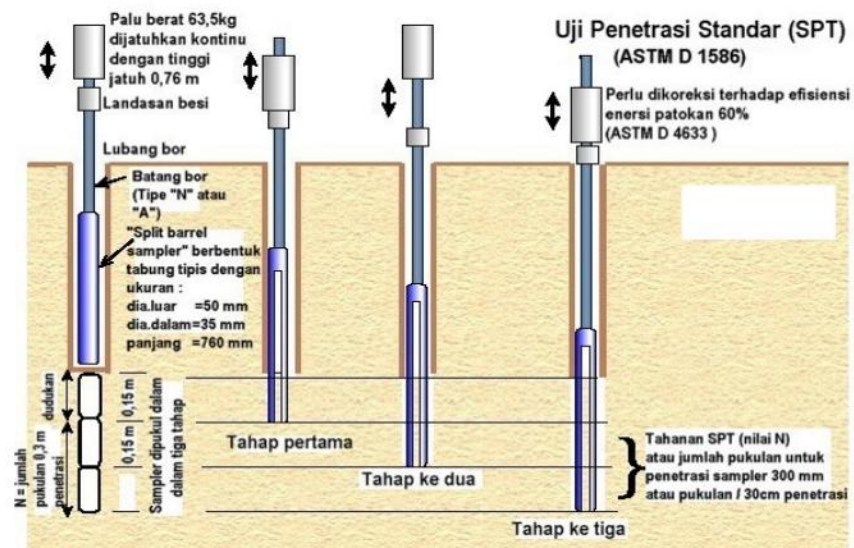
Pada uji SPT yang terdiri dari uji pukulan tabung belah yang berdinding tebal ke dalam tanah dan pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung hingga kedalaman 300 m secara vertikal. Dalam metode sistem beban jatuh, digunakan palu dengan berat 63,5 kg dan dijatuhkan secara berulang dengan ketinggian jatuh 0,76 m. Pelaksanaan uji SPT dapat dibagi menjadi tiga tahap, masing-masing dengan ketebalan 150 mm. Dilakukan pengujian antar lapisan tanah dengan interval sekitar 1,50 m sampai dengan 2,00 m. Pada tahap pertama, dilakukan pencatatan sebagai referensi, atau setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah yang batuan. Sementara jumlah pukulan pada tahap kedua dan ketiga dijumlahkan untuk mendapatkan nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m). Sewaktu melakukan pengeboran inti, apabila mencapai kedalaman yang diinginkan untuk pengujian lapisan tanah, mata bor diganti dengan tabung belah standar. Setelah tabung ini terpasang, bersama dengan pipa bor, alat tersebut diturunkan hingga mencapai lapisan dasar tanah dan kemudian dipukul dari bagian atas. Berikut gambar detail alat pada proses uji SPT dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Pentetrasi dengan SPT

(Sumber: SNI 4153:2008, 2008)

Contoh metode mendapatkan nilai dari SPT adalah dengan menggunakan tabung yang belah biasa nantinya dipukul arah vertikal sedalam 15 cm (6"). Pemukulan tahap kedua sedalam 30 cm (12") dengan jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk terjadinya penetrasi tabung belah biasa sedalam 30 cm didefinisikan sebagai nilai-N. Untuk pengujian yang lebih baik dilakukan dengan metode menghitung jumlah pukulan pada setiap penetrasi sedalam 7,62 cm (3") atau setiap 15 cm (6"), sehingga kedalaman sembarang jenis tanah dasar lubang bor dapat ditentukan termasuk elevasi lapisan keras dapat dicatat. Dicatat dengan jumlah pukulan N pada penetrasi yang pertama, selanjutnya dicatat setiap penetrasi sedalam 15 cm. Perhitungan jumlah pukulan yang dihitung adalah $N_2 + N_3$. Nilai N_1 tidak termasuk karena kondisi tanah dianggap dalam keadaan kotor hasil dari pengeboran. Jika nilai N lebih besar dari 50 pukulan, maka pengujian dilakukan hingga minimum kedalaman 6 m dan dicatat jumlah pukulan pada setiap 5 cm penetrasi yang terjadi. Pengujian ini banyak digunakan dalam geoteknik karena sederhana, ekonomis, dan memberikan informasi penting mengenai sifat-sifat tanah. Berikut merupakan skema pengujian SPT yang dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3.4 Skema Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)
(Sumber: SNI 4153:2008, 2008)

3.2 Beban pada Analisis Stabilitas Lereng Timbunan

Beban pada analisis stabilitas lereng timbunan menggunakan beban lalu lintas dan beban gempa yang nantinya di *input* ke dalam program PLAXIS dengan perkuatan maupun tanpa perkuatan geotekstil. Hasil dari analisis stabilitas lereng timbunan menggunakan beban lalu lintas dan beban gempa pada PLAXIS akan diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) dan nilai total *displacement* Adapun penjelasan mengenai beban lalu lintas dan beban gempa sebagai berikut.

3.2.1 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas adalah beban merata yang perlu diperhitungkan pada lebar permukaan timbunan saat melakukan analisis stabilitas lereng timbunan. Beban lalu-lintas diteruskan ke permukaan jalan melalui hubungan antara roda kendaraan dan permukaan jalan. Karena itu, beban lalu-lintas bervariasi tergantung pada berat kendaraan, konfigurasi sumbu, distribusi beban ke setiap sumbu kendaraan, dan ukuran roda kendaraan. Pada analisis stabilitas lereng terdapat dampak dari beban lalu lintas dimana dapat mempengaruhi tegangan dan gaya yang bekerja pada lereng timbunan. Kerusakan yang disebabkan oleh setiap beban lalu-lintas dipengaruhi oleh penurunan bertahap dalam kualitas struktur perkerasan selama masa penggunaan maupun dari faktor lingkungan. Acuan yang digunakan dalam menghitung analisis stabilitas lereng timbunan dengan beban lalu lintas ini dapat dilihat pada Tabel 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3.6 Beban Lalu Lintas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Sekunder	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

3.2.2 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja secara berulang-ulang pada sebuah struktur karena pergerakan tanah yang terjadi akibat gempa, pelepasan energi akibat gempa menyebabkan getaran seismic dari pusat gempa ke permukaan tanah, jadi penentuan beban gempa lebih kompleks daripada beban tetap atau gravitasi yang relative lebih mudah, salah satu metode penentuan beban gempa adalah dengan menggunakan respons spektrum berdasarkan sejarah gerakan tanah (percepatan) di wilayah setempat atau dengan kondisi tanah yang serupa di wilayah setempat, adapun faktor-faktor yang mempengaruhi respons tanah setempat adalah geologi local, kondisi, jenis, dan topografi tanah (Sutiyono, 2017). Ketika gempa mempengaruhi sebuah lereng, dapat diasumsikan bahwa kekuatan lereng tersebut akan sedikit menurun karena beban siklis. Kuat geser tanah pada lereng juga dapat mengalami penurunan karena efek gempa. Gempa yang direncanakan untuk lereng ditetapkan dengan probabilitas melewatinya selama masa rencana 50 tahun sebesar 2%, yang setara dengan periode ulang 500 tahun. Oleh karena itu, hal tersebut dapat menyebabkan lereng menjadi tidak stabil. Pada kenyataannya, beban gempa pada masing-masing wilayah atau daerah memiliki beban gempa yang berbeda satu sama lain sehingga pada perencanaan beban gempa harus berdasarkan peta zonasi gempa.

3.3 Lereng

Lereng merupakan suatu kondisi topografi yang memiliki perbedaan tinggi permukaan tanah di daerah yang berbeda dan membentuk sudut kemiringan tertentu dengan dataran horizontal. Abramson (1985) mengemukakan bahwa berdasarkan proses pembentukannya lereng dapat dibagi menjadi lereng alam (*natural slope*) dan lereng yang dibuat manusia (*engineered slope*).

1. Lereng Alam

Lereng alam terjadi karena proses ilmiah yang berlaku sangat lama. Contoh dari lereng alami yaitu lereng pada bukit dan tebing sungai yang stabil selama bertahun-tahun bisa tiba tiba runtuh karena perubahan cuaca, tegangan, aktivitas gempa, hilangnya kuat geser tanah, aliran air tanah dan perubahan topografi. Peck (1967, seperti yang dikutip dalam Hardiyatmo (2012) mengatakan bahwa

suatu stabilitas lereng alam mungkin dilakukan dengan baik, hanya jika daerah yang diteliti adalah daerah ambles lama yang sudah dipelajari sebelumnya, yang mungkin telah berubah keadaannya karena aktivitas manusia, seperti penggalian di kaki lereng. Dengan mengetahui keberadaan bidang ambles yang sudah lama, maka lereng alam akan lebih mudah diteliti untuk dipelajari sebab akibatnya.

2. Lereng Buatan

Lereng buatan terjadi karena secara sengaja dibuat oleh manusia dimana terdapat timbunan dan galian yang umumnya digunakan untuk pekerjaan pembangunan seperti pembangunan gedung, jalan, tanggul, dan lain sebagainya. Menganalisis stabilitas galian akan menjadi lebih kompleks dibandingkan dengan menganalisis stabilitas timbunan. Hal ini disebabkan oleh sifat homogen dari material tanah pada galian, yang memiliki variasi dalam karakteristik mekanis. Karakteristik ini biasanya perlu diidentifikasi melalui pengujian laboratorium untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang perilaku tanah dalam kondisi tertentu (Hardiyatmo, 2012).

3.3.1 Penyebab Longsor

Berdasarkan definisi lereng diatas, lereng mempunyai dua permukaan tanah dimana masing-masing permukaan memiliki perbedaan elevasi, oleh karena itu adanya gaya-gaya dorong yang bekerja. Pada kasus lereng terdapat gaya-gaya dorong pada tanah dengan posisi yang cenderung bergerak kearah bawah yang bisa menyebabkan terjadinya longsor. Hardiyatmo (2014) mengungkapkan beberapa faktor penyebab terjadinya longsor sebagai berikut.

1. Adanya aktivitas penggalian yang mengakibatkan kemiringan lereng.
2. Penggalian lahan pada kaki lereng.
3. Perubahan letak muka air secara cepat (*rapid drawdown*) pada struktur bangunan bendung.
4. Kenaikan tahanan lateral yang disebabkan oleh air yang mengisi retakan dengan begitu bisa mengakibatkan gaya yang mendorong tanah kearah lateral.
5. Penurunan tahanan geser tanah yang dikarenakan kondisi tanah lereng mempunyai jenis tanah lempung mudah kembang susut, kadar air dan tekanan pori naik, serta adanya tekanan rembesan dari air yang tergenang dalam dalam.

3.3.2 Pengaruh Kelongsoran Lereng

Terdapat tiga faktor dari pengaruh lereng yang mengakibatkan kelongsoran menurut Hardiyatmo (2014) sebagai berikut.

1. Pengaruh Iklim

Menurut Hardiyatmo (2014), beberapa jenis tanah mengalami pergerakan vertikal atau mengembang saat musim hujan, dan menyusut saat musim kemarau. Pada musim hujan yang intens, kuat geser tanah akan menjadi sangat rendah dibandingkan dengan musim kemarau. Maka dari itu, kuat geser tanah yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng harus didasarkan pada kuat geser tanah yang paling rendah, yaitu pada musim hujan.

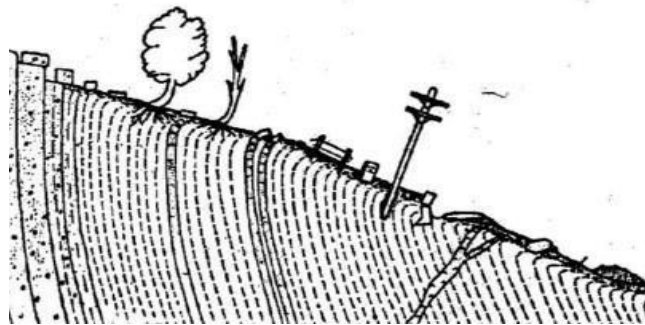
2. Pengaruh Air

Dampak aliran air atau rembesan menjadi faktor yang sangat krusial dalam kestabilan lereng, tetapi pengaruh ini sulit untuk diidentifikasi dengan akurat. Telah diteliti bahwa rembesan air yang terjadi akan mengakibatkan tekanan rembesan yang signifikan pada kestabilan lereng. Pengikisan pada lereng dapat menyebabkan tergerusnya tanah permukaan yang bisa mengurangi ketinggian lereng, sehingga meningkatkan kestabilan lereng. Sebaliknya, pengikiran yang memotong kaki lereng dapat meningkatkan ketinggian lereng dan mengurangi kestabilan lereng. Apabila terjadi penurunan muka air secara tiba-tiba pada saluran atau disekitar lereng, seperti penurunan muka air secara tiba-tiba pada saluran atau sungai, maka akan terjadi penurunan gaya angkat air pada material tanah dan peningkatan beban pada lereng. Peningkatan beban ini bisa menyebabkan tegangan geser, yang jika kuat geser tanah terlampaui maka akan menyebabkan terjadinya longsor pada lereng. Hal ini sering terjadi pada lereng tanah dengan permeabilitas rendah.

3. Pengaruh Rangkak (*Creep*)

Perubahan suhu, didekat permukaan tanah miring, perubahan cuaca, pengaruh pembekuan air di daerah dengan suhu tinggi bisa menyebabkan terjadinya siklus kembang-susut. Saat tanah dalam keadaan mengembang, tanah akan naik yang dimana keadaan tanah melawan gaya gravitasi, sedangkan saat tanah dalam keadaan menyusut, tanah akan turun dengan bantuan gravitasi. Oleh karena itu

kedua gerakan tersebut mengakibatkan terjadinya gerakan perlahan dari lereng yang turun ke bawah. Zona rangkai beraneka ragam mulai dari beberapa sentimeter hingga meter sesuai dengan sifat tanah dan kondisi iklim. Berikut Gambar 3.5 yang merupakan gambaran dari gerakan lereng yang diakibatkan adanya pengaruh rangkai berdasarkan Taylor (1984).



Gambar 3.5 Tampak Lereng Akibat Pengaruh Rangkai (*Creep*)

(Sumber: Taylor, 1984, dalam Hardiyatmo, 2014)

Berdasarkan Gambar 3.5 zona rangkai dapat memberikan beberapa dampak sebagai berikut.

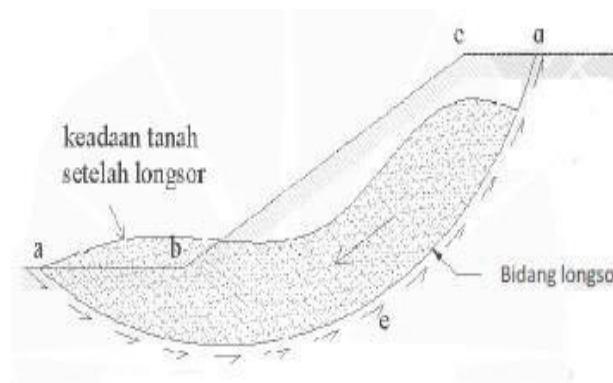
- a. Daerah blok bantuan bergerak.
- b. Pohon yang bergerak melengkung ke atas.
- c. Struktur bangunan seperti pondasi, dinding penahan tanah bergerak dan retak.
- d. Bagian bawah lereng bergerak melengkung dan menarik batuan disekitarnya
- e. Bangunan-bangunan di atasnya miring.
- f. Batu yang besar menggelinding tidak beraturan.
- g. Struktur jalan raya dan jalan rel yang keluar dari batas dan alurnya.

3.3.3 Macam-macam Kelongsoran

Perpindahan atau pergerakan massa batuan, debris (gabungan tanah dan butiran batu), dan tanah ke arah lereng bawah disebut tanah longsor. Perpindahan ini biasanya terjadi di wilayah yang luas dan dapat disebabkan oleh kondisi geologi yang tidak menguntungkan, serta fenomena geomorfologi gaya-gaya fisik alamiah, atau ulah manusia. Longsor biasanya terjadi selama musim hujan. Longsor dapat terjadi karena tanah bergeser di lereng yang curam, kondisi tanah yang berbeda-beda atau tidak homogen, dan tidak adanya lekatan antara lapisan tanah. Patahan

lempeng bumi, rekahan dan liniasi bentuk dan kemiringan lereng, kekuatan material pembentuk lereng, lokasi muka air tanah dan kondisi aliran drainase adalah beberapa faktor yang mempengaruhi longsor (Verhoef, 1985).

Menurut Hardiyatmo (2014) longsor terjadi ketika material yang membentuk lereng bergeser. Longsor disebabkan oleh kegagalan geser disepanjang bidang longsor. Masa material tanah nantinya dapat menyatu atau terpecah menjadi butiran pada saat bergerak. Perpindahan material total bergantung pada seberapa besar regangan dalam mencapai kuat geser pada puncak longsor dan tebal zona longsor. Longsor dapat dicegah jika gaya dorong tidak melebihi gaya perlawanan yang berasal dari tahanan geser yang letaknya sepanjang bidang longsor yang dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut.

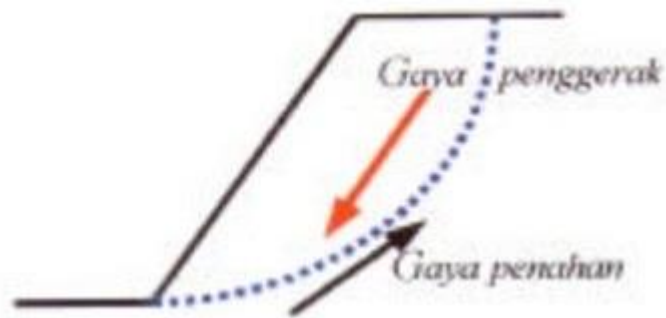


Gambar 3.6 Kelongsoran Lereng
(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

Menurut Hardiyatmo (2014) karakteristik dari kegagalan suatu lereng yang kerap terjadi dapat dibagi menjadi lima macam longsor adalah sebagai berikut.

1. Longsor Rotasi

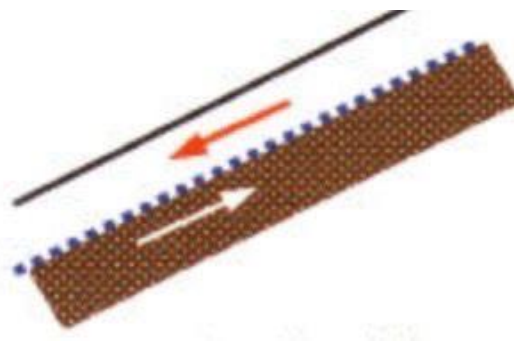
Longsor rotasi, terjadi ketika massa tanah dan batuan bergerak pada bidang gelincir yang berbentuk cekung. Umumnya terjadi pada tanah yang bersifat homogen. Longsor rotasi (*shump*) kerap terjadi di lereng dimana material penyusunnya relatif sama, seperti tanggul buatan, galian dan timbunan. Longsor rotasi sering terjadi di daerah dengan lereng yang curam, tanah yang jenuh air, atau akibat penggalian yang tidak stabil. Longsor rotasi dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3.7 Longsoran Rotasi
(Sumber: Craig, 1992, dalam Mustafiril, 2003)

2. Longsoran Translasi

Longsoran translasi adalah adanya gerakan di sepanjang diskontinuitas atau bidang lemah yang secara pendekatan sejajar dengan permukaan lereng. Longsoran ini disebabkan oleh massa tanah dan batuan yang bergerak pada bidang gelincir yang berbentuk rata atau melombang landai yang dapat dilihat pada Gambar 3.8, dalam keadaan tanah lempung, longsoran translasi terjadi di sepanjang lapisan tipis pasir atau lanau, terutama jika bidang lemah tersebut sejajar dengan lereng yang ada. Bidang longsoran ini terjadi mengikuti lapisan tanah lempung. Seringkali bidang longsor mengikuti alur dari permukaan batuan dasar (*bed rock*). Tekanan air pori yang tinggi dalam lapisan pasir atau lanau dapat menyebabkan longsoran translasi. Proses awal longsoran translasi sering kali tidak terlihat secara langsung, tetapi tanda-tanda seperti retakan pada permukaan tanah atau perubahan topografi dapat menjadi indikasi awal adanya longsoran translasi.



Gambar 3.8 Longsoran Translasi
(Sumber: Craig, 1992, dalam Mustafiril, 2003)

3.4 Analisis Stabilitas Lereng

Craig (1989) menyatakan bahwa gaya-gaya gravitasi yang ada dan rembesan (*seepage*) dalam lereng alami (*natural slope*), lereng yang bisa menyebabkan ketidakstabilan (*instability*). Analisis stabilitas lereng tidaklah mudah, dengan adanya beberapa faktor dalam analisis bisa mempengaruhi hasil hitungan dari analisis stabilitas lereng.

Hardiyatmo (2014) menyatakan bahwa komponen gravitasi cenderung menggerakkan tanah ke bawah pada permukaan yang tidak horizontal. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Jadi analisis stabilitas pada bidang permukaan tanah yang miring ini disebut analisis stabilitas lereng, Ada dua faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng yaitu pengaruh luar dan pengaruh dalam. Pengaruh luar menyebabkan gaya geser meningkat tanpa perubahan kuat geser tanah. Sedangkan pengaruh dalam menyebabkan longsoran terjadi tanpa perubahan kondisi dari luar atau gempa bumi. Kemampuan tanah untuk menahan tekanan tanah terhadap keruntuhan ditentukan oleh ketahanan suatu lereng, yang dipengaruhi secara signifikan oleh kuat geser tanah. Konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*) adalah dasar analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan tujuan untuk menentukan faktor-faktor aman yang diperlukan untuk bidang longsor yang mungkin terjadi.

Dalam beberapa kasus, kondisi tanah atau lereng dasar yang tidak ideal dan memerlukan beberapa tindakan salah satunya adalah dengan perhitungan analisis stabilitas tanah. Analisis stabilitas tanah atau lereng merupakan metode yang memberikan perlakuan khusus terhadap lapisan tanah untuk meningkatkan kemampuan daya dukungnya.

3.4.1 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Menurut Das (1994), dikutip oleh Violetta (2014), menyatakan bahwa menganalisa stabilitas lereng memerlukan pemahaman tentang kemantapan lereng yaitu dengan menerapkan pengetahuan mengenai kekuatan geser tanah. Keruntuhan

geser pada tanah dapat disebabkan oleh gerak relatif antar partikelnya, oleh karena itu, kekuatan geser tanah bisa terjadi karena 2 hal adalah sebagai berikut.

1. Bagian yang sifatnya kohesif, bisa tergantung pada jenis tanah dan ikatan antar partikel tanah.
2. Bagian yang sifatnya gesekan sebanding dengan tegangan efektif pada proses bekerja bidang geser.

Hardiyatmo (2014) menyatakan bahwa konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*) adalah dasar dari analisis stabilitas lereng. Tujuan dari analisis stabilitas lereng yaitu untuk menentukan faktor-faktor aman yang memastikan tanah tidak akan longsor. Dalam analisis stabilitas lereng, ada empat anggapan yang dibuat yaitu sebagai berikut.

1. Kelongsoran lereng, yang dapat dianggap sebagai akibat dari masalah bidang dua dimensi, terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu.
2. Massa tanah yang terjadi karena longsor dianggap benda massif.
3. Kuat geser tanah dianggap isotropis, dimana tanah geser yang berada disepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor.
4. Angka aman (*safety factor*) dihitung dengan menunjukkan tegangan geser rata-rata di bidang longsor potensial dan kuat geser rata-rata tanah di permukaan longsor.

Untuk menghitung faktor aman (*safety factor*) yang melawan gaya runtuh pada stabilitas lereng tersebut, menggunakan konsep umum keseimbangan batas (*general limit equilibrium*) yang merupakan dasar dari analisis stabilitas lereng dengan Persamaan 3.11 sebagai berikut.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (3.11)$$

dengan:

SF = nilai angka aman terhadap kekuatan tanah

τ = tegangan geser (kN/m²)

τ_d = tegangan geser yang terjadi karena adanya berat tanah dari longsor (kN/m²)

Kemudian pada Tabel 3.7 menunjukkan hubungan nilai faktor aman (*safety factor*) dengan frekuensi kejadian longsor pada suatu lereng dan Tabel 3.8 menunjukkan nilai faktor aman (*safety factor*) dalam suatu perencanaan lereng.

Tabel 3.7 Hubungan Nilai Faktor Aman (*Safety Factor*) dengan Frekuensi Kelongsoran

Angka Aman (SF)	Deskripsi
$SF < 1,07$	Frekuensi longsor yang biasa atau sering (lereng labil)
$1,07 < SF < 1,25$	Frekuensi longsor yang pernah terjadi (lereng kritis)
$SF > 1,25$	Frekuensi longsor yang jarang terjadi (lereng stabil)

(Sumber: Bowles, 1989)

Tabel 3.8 Nilai Faktor Aman (*Safety Factor*) untuk Perencanaan Lereng

Angka Aman (SF)	Deskripsi
$SF < 1,00$	Lereng dengan kondisi yang tidak mantap (lereng labil)
$1,00 < SF < 1,20$	Lereng dengan kondisi yang kemantapannya diragukan
$1,30 < SF < 1,40$	Lereng dengan kondisi yang memuaskan
$1,50 < SF < 1,70$	Lereng dengan kondisi yang mantap (lereng stabil)

(Sumber: Sosrodarsono, 2003)

Stabilitas suatu lereng sangat dipengaruhi oleh nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam tanah (ϕ). Nilai faktor aman (*safety factor*) biasanya lebih tinggi dalam kondisi tanah yang semakin kering, tetapi ketika tanah menjadi lebih jenuh, nilainya akan turun. Salah satu faktor yang menyebabkan lereng menjadi tidak stabil adalah peningkatan muka air tanah. Ketika muka air tanah naik, derajat kejenuhan dan tekanan air pori juga akan naik. Akibatnya, tegangan efektif dan kuat geser tanah akan mengalami penurunan. Sedangkan lereng yang dianggap stabil jika nilai faktor aman (*safety factor*) lebih besar daripada satu umumnya suatu lereng. Hal ini didasarkan pada kekuatan geser tanahnya, disebabkan oleh gerakan relatif antar partikel tanah. Oleh karena itu, gaya yang bekerja antar partikel tanah menentukan faktor aman stabilitas lereng atau faktor aman terhadap kuat geser tanah, yang biasanya lebih besar atau sama dengan 1,2-1,5.

3.4.2 Nilai Faktor Aman (*Safety Factor*) pada Lereng

Safety factor atau faktor keamanan adalah parameter penting dalam analisis dan perencanaan struktur secara keseluruhan. Selain itu faktor aman didefinisikan sebagai rasio antara kapasitas (atau kekuatan) yang dimiliki suatu sistem atau bahan terhadap beban atau tegangan maksimum yang diharapkan. Faktor keamanan lereng mengacu pada perbandingan antara gaya penahan dengan gaya dorongan. Ketika nilai faktor keamanan pada suatu lereng tidak memenuhi persyaratan, maka kemungkinan terjadinya longsoran meningkat. Pada dasarnya nilai faktor aman (*safety factor*) dihitung dengan membagi kekuatan geser lereng oleh gaya geser yang bekerja pada lereng, dimana kuat geser sebagai penahan gaya-gaya di atasnya. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa faktor keamanan lereng tetap dalam rentang nilai yang aman untuk mencegah terjadinya kelongsoran. Pada proses perencanaan stabilitas lereng timbunan bisa mengacu pada SNI 8460:2017 mengenai Persyaratan Perancangan Geoteknik untuk nilai angka aman (*safety factor*) yang dapat dilihat pada Tabel 3.9 sebagai berikut.

Tabel 3.9 Nilai Faktor Aman (*Safety Factor*) pada Lereng

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah ^a	Tinggi ^b
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
^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.		

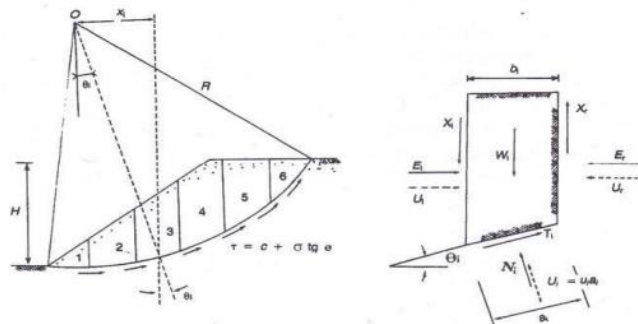
(Sumber: SNI 8460:2017)

3.4.3 Metode Analisis Stabilitas Lereng

Ada banyak metode yang digunakan untuk melakukan analisis stabilitas lereng ini, berikut merupakan metode analisis stabilitas lereng yang digunakan:

1. Metode Fellenius (*Ordinary Method Of Slice*)

Metode Fellenius pertama kali diperkenalkan oleh Fellenius (1972). Menurut Hardiyatmo (2012), gaya normal pada setiap titik lingkaran bidang longsor dipengaruhi oleh berat tanah di atas tanah tersebut. Jumlah tanah yang dianggap sebagai bidang longsor dibagi menjadi beberapa irisan vertikal, serta penting untuk menjaga keseimbangan di antara masing-masing irisan. Dalam analisis menggunakan metode ini, tanah dengan potensi longsor secara vertikal dibagi menjadi beberapa irisan, dengan memperhatikan keseimbangan setiap irisan. Dapat dilihat pada Gambar 3.9 menunjukkan adanya gaya-gaya yang bekerja pada tiap irisan.



Gambar 3.9 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Gambar diatas menunjukkan satu irisan dimana mempunyai gaya yang bekerja. Gaya ini terdiri dari gaya geser efektif (X_r dan X_1) dan gaya normal efektif (E_r dan E_1) di sepanjang irisan, serta resultan gaya normal efektif (N_i) dan juga resultan gaya geser efektif (T_i) dimana proses kerja gaya-gaya tersebut terletak di dasar irisan. Tekanan air pori (U_i) dan (U_r) bekerja di kedua sisi irisan dan di dasar irisan. Tekanan air pori ini dianggap sudah diketahui sebelumnya. Metode ini dalam asusimnya menyatakan bahwa keruntuhan terjadi karena blok tanah bergeser pada permukaan longsor yang berbentuk lingkaran dimana titik O

sebagai titik pusat. Metode ini juga mempertimbangkan gaya P normal yang berada di tengah-tengah *slice*. Selain itu, dianggap bahwa hasil gaya-gaya antar irisan sama dengan nol, dan juga hasil dari gaya-gaya antar irisan diabaikan. Oleh karena itu ada dua asumsi dari metode ini adalah sebagai berikut.

- a. Posisi dari gaya normal P berada pada tengah alas irisan (n)
- b. Resultan gaya antar irisan memiliki nilai sama dengan nol (n – 1)

$$\text{Total} = 2n - 1$$

Keseimbangan arah vertikal serta gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori dapat dihitung dengan Persamaan 3.12 dan Persamaan 3.13 sebagai berikut.

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (3.12)$$

atau,

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\ &= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \end{aligned} \quad (3.13)$$

Sehingga dari Persamaan 3.12 dan dan Persamaan 3.13 dapat digunakan untuk menghitung faktor aman yang bisa dilihat pada Persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F &= \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \\ &= \frac{\sum Mr}{\sum Md} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Kemudian untuk lengan momen dari berat massa setiap irisan dari tanah adalah $R \sin \theta$, dihitung dengan Persamaan 3.15 sebagai berikut.

$$\sum Md = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (3.15)$$

dengan:

R = Jari-jari lingkarang bidang dari longsor.

n = Jumlah dari irisan.

W_i = Berat massa tanah irisan ke- i

N_i = Resultan dari gaya-gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan.

θ_i = Sudut yang sudah didefinisikan.

Dengan cara yang sama, momen yang masih menahan tanah yang akan longsor dihitung dengan Persamaan 3.16 sebagai berikut.

$$\Sigma M_r = R \sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i (ca_i + N_i \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.16)$$

Oleh karena itu, persamaan nilai faktor aman dapat dihitung dengan Persamaan 3.17 sebagai berikut.

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \varphi)}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.17)$$

Apabila tekanan air pori pada bidang longsor yang terletak di lereng tidak meningkatkan momen akibat tanah yang akan longsor (M_d), ini karena gaya yang dihasilkan oleh tekanan air pori melalui pusat lingkaran. Oleh karena itu substitusi Persamaan 3.12 ke Persamaan 3.17, sehingga didapatkan Persamaan 3.18 sebagai berikut.

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} ca_i (W_i \cos \theta_i + u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.18)$$

dengan:

SF = Nilai faktor aman.

φ = Sudut gesek dalam tanah ($^{\circ}$).

θ_i = Sudut yang didefinisikan.

a_i = Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke- i (m).

C = Kohesi tanah (kN/m^2).

u_i = Tekanan air pori pada irisan ke- i (kN/m^2).

W_i = Berat irisan tanah ke- i (kN).

Metode Fellenius menggunakan hitungan yang lebih teliti untuk menghasilkan faktor aman yang lebih rendah. Besarnya nilai kesalahan tergantung pada faktor aman, sudut pusat lingkaran, dan tekanan air pori. Meskipun analisis dilakukan

ditinjau dari tegangan total, faktor aman dan sudut pusat lingkaran masih bagian dari kesalahan analisis. Karena perhitungan yang dihasilkan sederhana dan kesalahan yang terjadi pada sisi yang aman, metode ini telah banyak digunakan.

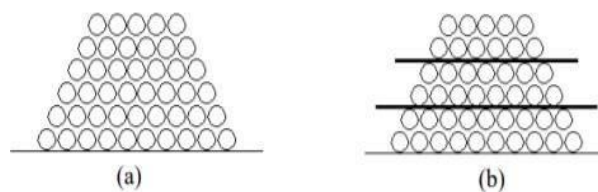
2. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan suatu metode yang sudah dikembangkan untuk menganalisis kestabilan geoteknik dan deformasi dalam perencanaan berbagai jenis pembangunan. Metode elemen hingga (*Finite Element Method*) dikenalkan oleh Clough dan Woodward (1967), tetapi hanya dapat digunakan pada struktur tanah yang kompleks. Dalam kondisi tertentu, metode elemen dapat mengatasi pengaruh dari timbunan, dan penggalian tanah secara berturut-turut, sehingga pengaruh tegangan yang ada dalam tanah terhadap deformasi dapat ditelusuri. Namun kualitas dari metode elemen secara langsung bergantung pada keahlian dari model konstitutif yang dipilih, yang secara nyata mensimulasikan perilaku non linier dari tanah yang membentuk lereng. Untuk lereng buatan dan lereng alami, model konstitusifnya hanya dapat sepenuhnya dikembangkan dengan pengujian di lapangan dengan kualitas pengujian yang tinggi serta dengan dukungan dari pengamatan yang detail di lapangan.

3.5 Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil

Pada beberapa proyek konstruksi, tanah dasar yang kondisinya kurang ideal dapat berakibat fatal, apabila tidak diberi solusi yang baik dari pekerja konstruksi. Di lapangan, terdapat banyak jenis tanah seperti tanah lempung dan gambut yang memiliki sifat kompresibilitas tinggi. Sifat ini dapat mempengaruhi stabilitas pada tanah dan penurunan tanah. Dalam pekerjaan structural, ketika beban bangunan ditambahkan, dapat menyebabkan tegangan *ultimit* di dasar fondasi. Apabila tegangan *ultimit* tersebut melebihi batas tegangan ijin tanah, maka tanah akan mengalami keruntuhan. Oleh karena itu, dalam beberapa kasus dibutuhkan perkuatan tanah. Teknik perkuatan tanah yang berkembang hingga saat ini, terutama pada jenis tanah lunak, yaitu dengan menggunakan material yang memiliki sifat fleksibilitas tinggi seperti geosintetik (Purwanto, 2012).

Seorang ahli teknik yang berasal dari Perancis Henri Vidal (1966) melakukan suatu penelitian. Berdasarkan hasil penelitiannya disimpulkan bahwa tumpukan pasir alam yang memiliki sudut kemiringan asli, bisa tetap stabil dengan sudut kemiringan yang lebih besar serta jika diberi material yang fleksibel yang nantinya dapat menahan tarikan di dalam tumpukan pasir tersebut. Adapun perbedaan dari tumpukan pasir dan sudut lereng asli dengan tanah yang telah diperkuat dapat dilihat pada Gambar 3.10 sebagai berikut.



Gambar 3.10 (a) Tumpukan Pasir dengan Sudut Lereng Asli
(b) Tumpukan Pasir dengan Lereng yang Sudah Diperkuat

(Sumber: Henry Vidal, 2966, dalam Effendi, 2020)

Penyebab dari keruntuhan atau kelongsoran yaitu tergulingnya partikel-partikel tanah, oleh sebab itu dengan mengetahui jenis atau tipe keruntuhan yang terjadi. Salah satunya diaplikasikan perkuatan tanah yang dapat diaplikasikan pada bidang yang runtuh atau longsor dengan menaruh material perkuatan tanah, penjangkaran (*soil nailing*) dan lainnya. Selain itu dengan perkuatan tanah bisa menambah atau meningkatkan faktor aman rencana, mencegah adanya pergeseran timbunan serta memperbaiki kinerja timbunan tanah yang diakibatkan adanya penurunan pasca konstruksi yang seragam.

3.5.1 Geotekstil

Geotekstil merupakan bahan sintetis berbentuk lembaran yang menyerupai tekstil dan memiliki kemampuan permeabilitas yang baik. Ada beberapa elemen yang dikombinasikan untuk menjadi lembaran geotekstil. Elemen tersebut yaitu filamen (serat menerus) yang panjang dan berbentuk benang, dan serabut serat (*stable fiber*) yang berbentuk serat pendek. Geotekstil tidak tahan terhadap sinar ultraviolet matahari, sehingga dalam berbagai produk dari geotekstil dibuat dengan bahan tambahan khusus untuk memberikan ketahanan yang optimal. Salah satu

aspek yang sangat penting dalam mempertimbangkan penggunaan geotekstil adalah kekuatan tariknya. Pemilihan jenis geotekstil akan mempengaruhi kemampuannya dalam berbagai fungsi, termasuk sebagai penguat struktur atau pemisah, serta dalam hal filtrasi atau drainase. Oleh karena itu, penting untuk memilih jenis geotekstil yang tepat dan dalam pemasangannya benar sesuai dengan prosedurnya (Fluet, 1998) Secara umum jenis geotekstil ini dibagi menjadi dua yaitu sebagai berikut.

1. Geotekstil Teranyam (*woven*)

Geotekstil teranyam (*woven*) adalah salah satu bahan geotekstil yang berbentuk lembaran terbuat dari *silt film tape polypropylene* yang dianyam secara dua arah, memanjang (di atas) dan melintang (di bawah) yang dapat dilihat pada Gambar 3.10. Permukaan geotekstil teranyam memiliki bentuk yang khas untuk memberikan koefisien geser (*pull our resistance*) yang tinggi, bahkan ketika dipasang di tanah yang bersifat kohesif. Hal ini berdampak pada panjang penjangkaran geotekstil yang dibutuhkan. Untuk meningkatkan kekuatan tanah dasar, terutama tanah lunak serta digunakan untuk lahan reklamasi, jalur kereta api, bandara, pembangunan jalan dan lainnya menggunakan geotekstil jenis ini, karena bersifat *permeable* dan mempunyai kuat tarik lebih tinggi untuk mendapatkan keamanan struktur yang optimal. Geotekstil teranyam dapat dilihat pada Gambar 3.11 sebagai berikut.

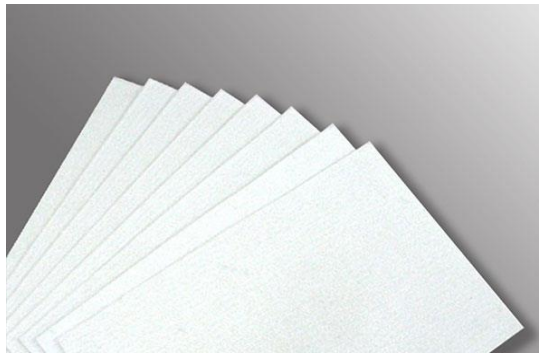


Gambar 3.11 Geotekstil Teranyam (*Woven*)
(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul)

2. Geotekstil Tak Teranyam (*Non Woven*)

Geotekstil tak teranyam adalah salah satu produk geotekstil yang memiliki bentuk tidak teranyam, tetapi terbuat dari bahan dasar *polypropylene* dan

polyester dibuat dengan mesin berteknologi tinggi untuk meningkatkan kinerja yang optimal per satuan berat. Geotekstil jenis ini memiliki bukaan pori yang relative lebih kecil, tetapi memiliki permeabilitas yang tinggi. Oleh karena itu, ketahanan mekanik dan hidrolis tinggi membuat geotekstil tak teranyam menjadi pilihan yang baik sebagai lapisan pemisah dan penyaring. Geotekstil tak teranyam dapat dilihat pada Gambar 3.12 sebagai berikut.



Gambar 3.12 Geotekstil Tak Teranyam (*Non Woven*)
(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul)

3.5.2 Fungsi Geotekstil

Fungsi dari geotekstil ada tiga yaitu, sebagai pemisah, untuk perkuatan tanah, dan sebagai filtrasi. Untuk penjelasan perbedaan fungsi dari geotekstil adalah sebagai berikut.

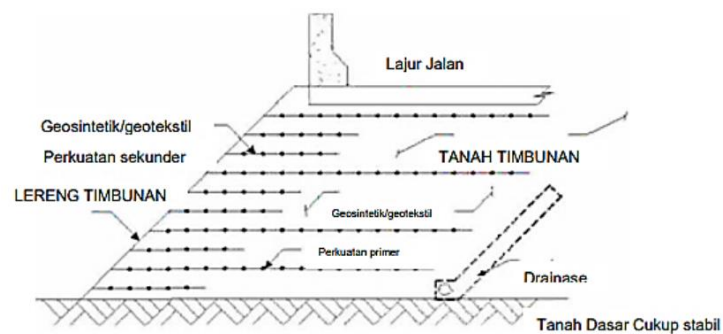
1. Geotekstil sebagai perkuatan tanah, pada umumnya, lapisan perkuatan tanah tidak mampu menahan tegangan tarik. Jika kondisi tersebut terjadi, konstruksi geoteknik biasanya akan sangat mahal. Sebagai contoh, dapat dilihat pada Gambar 3.13 dimana lereng yang curam dan lereng tersebut terbuat alami dan memiliki nilai kohesi tinggi kemungkinan masih aman. Namun, jika dibuat dari tanah urugan umumnya akan diperkuat dengan tembok penahan tanah (*retaining wall*) yang akan membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang besar karena memiliki dimensi yang besar. Oleh karena itu digunakan geotekstil sebagai perkuatan tanah karena mampu menahan tarikan dan geseran karena adanya gesekan-gesekan tanah.



Gambar 3.13 Geotekstil Sebagai Perkuatan (Reinforcement)
(Sumber: Isparmo, 2010)

Selain itu, ada beberapa fungsi geotekstil sebagai perkuatan adalah sebagai berikut.

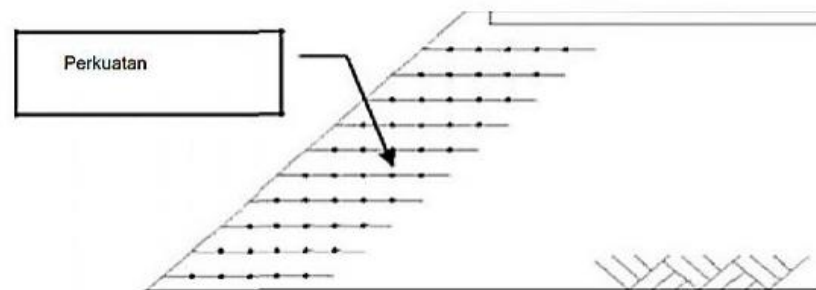
- a. Meningkatkan stabilitas lereng, jika diperlukan kemiringan lereng yang lebih besar tetapi nilai faktor aman (*safety factor*) tetap aman, dibandingkan dengan lereng tanpa diberi perkuatan. Jika drainase yang dipakai menggunakan pipa berlubang (*perforated pipes*) dapat dilapisi dengan material granual dan terhubung dengan saluran drainase berisi agregat kasar yang dilapisi dengan geotekstil filter yang dapat dilihat pada Gambar 3.14 sebagai berikut. Selain itu, bisa juga menggunakan sistem geokomposit untuk saluran tersebut.



Gambar 3.14 Fungsi Geotekstil sebagai Perkuatan untuk Meningkatkan Stabilitas Lereng
(Sumber: Elias dkk, 2001)

- b. Fungsi geotekstil yang diletakkan pada tepi lereng timbunan yang sedang dipadatkan untuk memberikan tahanan lateral selama proses pemadatan berlangsung. Dengan meningkatnya tahanan lateral, hal ini memungkinkan

peningkatan kepadatan tanah dan mengurangi tekanan lateral pada tanah di permukaan lereng. Perkuatan pada tepi lereng timbunan ini juga memungkinkan penggunaan alat berat dengan aman di sepanjang tepi lereng. Pada timbunan dengan tanah kohesif, geosintetik tak teranyam dapat digunakan secara sejajar dengan penguatan untuk meredakan tekanan pori dalam timbunan yang sedang dipadatkan. Geotekstil sebagai perkuatan untuk meningkatkan kepadatan pada tepi lereng atau kaki lereng dan stabilitas permukaan lereng dapat dilihat pada Gambar 3.15 sebagai berikut.



Gambar 3.15 Geotekstil sebagai Perkuatan pada Tepi Lereng
(Sumber: Elias dkk, 2001)

2. Geotekstil sebagai filtrasi, pada saat yang sama, geotekstil harus dapat menahan tanah dibagian hulunya untuk mencegah butiran tanah masuk ke aliran.
3. Geotekstil sebagai separasi untuk memisahkan lapisan tanah, dimana lebih tepatnya digunakan untuk memisahkan lapisan tanah yang berbeda, mencegah tercampurnya material yang bisa mengurangi stabilitas lereng. Dalam desain lereng yang diperkuat, geotekstil ditempatkan pada lapisan tertentu untuk memberikan perkuatan.

Menurut Hardiyatmo (2010), kemampuan tanah untuk menahan gaya tarik dipengaruhi oleh interaksi antara tanah dan geotekstil. Interaksi ini terjadi melalui gesekan di mana tanah mentransfer gaya-gaya yang bekerja padanya ke geotekstil. Tingkat interaksi ini dapat diukur melalui uji geser dan uji tarik. Pada Tabel 3.10 dapat dilihat sudah ada beberapa nilai *interface* yang diusulkan untuk jenis tanah kohesif dengan geotekstil, bersama dengan asumsi dan jenis bahan yang dianalisis.

Tabel 3.10 Nilai *Interface* Tanah Kohesif dengan Geotekstil

Sumber Referensi	Nilai <i>Interface</i>	
	Geotekstil <i>non</i>	Geotekstil woven
Suryokekono (2000)	0,67	
	Asumsi praktis di lapangan	
Brinkgreeve (2002)	-	
	Asumsi praktik untuk analisis numeris	
Kamon (2008)	-	0,85
		<i>Polypropylen</i>
Rifa'I (2009)	0,84 – 1,3	0,78 – 0,95
	TS600 – R206	BW250
Mariapan (2011)	-	0,85
		<i>Polypropylen</i>
Produsen Geotekstil (2001)	0,92	0,84
	<i>Geosynthetic Clay (GCL)</i>	

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

3.5.3 Prinsip Kerja Geotekstil

Persamaan 3.19 sebagai berikut menunjukkan tegangan geser yang dihasilkan oleh gesekan pada bidang kontak.

$$\tau = c + \sigma_v \operatorname{tg} \varphi \quad (3.19)$$

dengan:

τ = Tegangan geser (kN/m^2).

φ = Sudut geser antara tanah dengan geotekstil ($^\circ$).

σ_v = Tegangan normal yang ada pada bidang kontak (*interface*) tanah-geotekstil (kN/m^2).

c = Kohesi tanah (kN/m^2).

Kemudian pada Persamaan 3.20 sebagai berikut menunjukkan gaya-gaya tarik yang bekerja pada geotekstil.

$$T_a = \tau \times b \times L \times \operatorname{tg} \varphi \quad (3.20)$$

dengan:

T_a = Gaya tarik pada tulangan (kN/m).

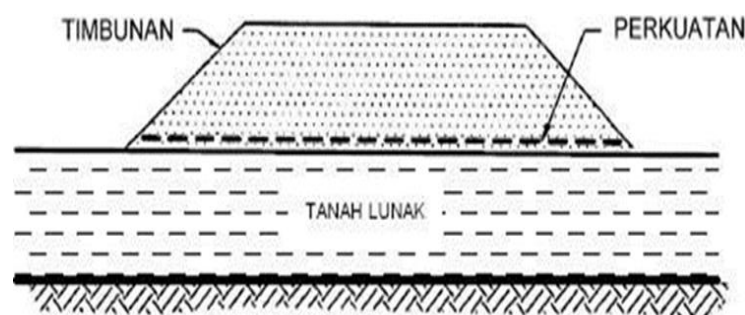
b = Lebar dari tulangan (m).

L = Panjang dari tulangan (m).

Dengan menggunakan geotekstil sebagai perkuatan tanah, tujuan utama penggunaan geotekstil adalah untuk membuat struktur *deformable* dengan memperbaiki karakteristik mekanik tanah, sehingga diharapkan daya dukung tanah menjadi lebih baik untuk struktur di atasnya. Teknik perkuatan tanah menggunakan geotekstil merupakan kombinasi seni dan sains yang memanfaatkan pertimbangan teknis dan prinsip mekanika tanah.

Pemakaian geotekstil meningkatkan sifat mekanis massa tanah, faktor keamanan lereng, dan stabilitas lereng dengan kemiringan curam ($<70^\circ$). Dalam kebanyakan kasus, lereng tanah yang diperkuat terdiri dari timbunan padat yang dikombinasikan dengan perkuatan geotekstil yang disusun secara horizontal. Ketika perkuatan geotekstil dipasang di lereng tanah, komposit tanah tersebut memiliki kekuatan tekan dan tarik yang tinggi, sehingga dapat menahan gaya dan deformasi. Selain itu geotekstil berfungsi untuk menjaga stabilitas massa tanah dengan berfungsi sebagai tahanan tarik gesekan (*adhesi*), saling mengikat (*interlocking*), atau pengurungan (*confinement*).

Timbunan yang ada pada tanah lunak cenderung bergerak ke arah lateral. Tekanan ini menyebabkan tegangan geser pada dasar timbunan. Dimana tanah pondasi yang lunak tersebut harus mampu menahan pada dasar timbunan agar tidak terjadi keruntuhan. Oleh karena itu, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.16 sebagai berikut, geotekstil dengan kuat tarik tinggi dapat dipasang pada dasar timbunan untuk meningkatkan nilai stabilitas timbunan tersebut.

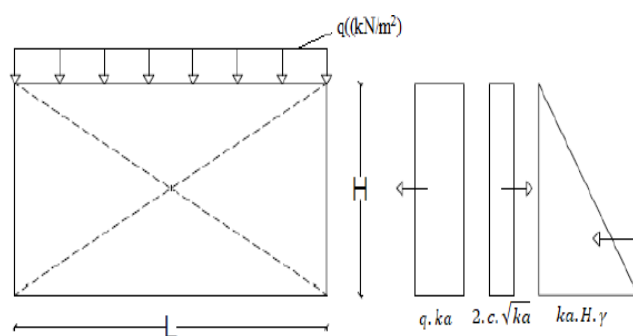


Gambar 3.16 Dasar Mekanisme Perkuatan Lereng dengan Tanah
(Sumber:Hardiyatmo, 2008)

3.5.4 Perkuatan Lereng Timbunan Menggunakan Geotekstil

Lereng yang memiliki tingkat stabilitas rendah memerlukan perkuatan untuk mengatasi gaya tanah yang berpotensi menyebabkan erosi dan kelongsoran. Faktor keamanan lereng harus memenuhi persyaratan baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang untuk segala kemungkinan model keruntuhan. Salah satu metode yang umum digunakan untuk memperkuat lereng adalah dengan menggunakan bahan tambahan seperti geotekstil. Geotekstil digunakan untuk meningkatkan stabilitas lereng dengan memberikan tambahan dukungan dan melindungi lereng dari erosi dan kelongsoran.

Perilaku mekanis dan interaksi yang berbeda pasti akan dihasilkan oleh penggunaan bahan tambahan ini. Oleh karena itu, ketika merencanakan pembangunan tanah yang diperkuat menggunakan geotekstil, gaya-gaya stabilitas struktur harus dipertimbangkan. Stabilitas struktur lereng dengan perkuatan dibagi menjadi dua yaitu stabilitas eksternal dan internal. Stabilitas eksternal terdiri dari stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas, dan kapasitas dukung tanah. Stabilitas internal terdiri dari stabilitas terhadap gaya internal yang diperhitungkan terhadap panjang geotekstil (*overlapping*) dan panjang efektif geotekstil. Gambar 3.17 berikut ini menunjukkan gaya yang bekerja pada tanah lateral dengan diagram distribusi tekanan.



Gambar 3.17 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral

(Sumber: Purwanto, 2012)

Untuk melakukan perhitungan jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (S_v) dihitung dengan Persamaan 3.21 hingga Persamaan 3.23 sebagai berikut.

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \left(\frac{\phi}{2} \right) \right) \quad (3.21)$$

$$\sigma_{hc} = q \cdot k_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_a} + k_a \cdot H \cdot \gamma_b \quad (3.22)$$

$$S_v = \frac{T_a}{\sigma_{hc} \cdot S_f} \quad (3.23)$$

Sedangkan untuk mencari nilai dari kuat tarik geotekstil *allowable* menggunakan Persamaan 3.24 sebagai berikut.

$$T_{\text{allowable}} = \frac{T_{\text{ultimate}}}{S_f} \quad (3.24)$$

dengan:

K_a = Koefisien tanah aktif.

σ_{hc} = Tekanan horizontal rata-rata yang ada di lipatan (kN/m^2).

q = Beban merata (kN/m^2).

S_f = Faktor aman.

S_v = Jarak tulangan arah vertikal (m).

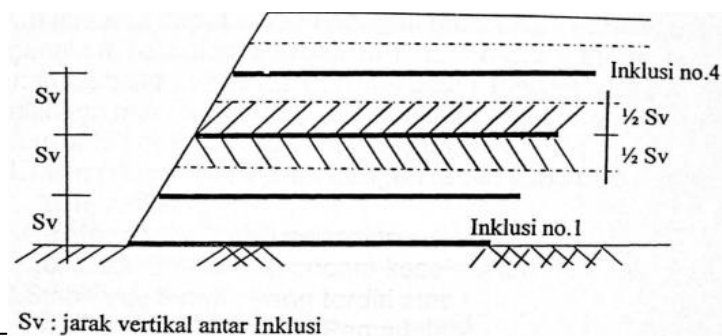
γ = Berat volume tanah (kN/m^3).

c = Nilai kohesi tanah (kN/m^2).

T_a = Kuat tarik geotekstil *allowable* (t/m^2).

H = Tinggi antar lapis geotekstil (m).

Adapun penggambaran jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (S_v) yang dapat dilihat pada Gambar 3.18 sebagai berikut.



Gambar 3.18 Struktur Lereng yang Diperkuat Geotekstil Berlapis-Lapis
(Sumber: Purwanto, 2012)

Untuk merencanakan panjang total minimum geotekstil didapatkan dari hasil analisis gaya-gaya stabilitas lereng dan dibagi menjadi dua yaitu stabilitas eksternal dan internal. Berikut merupakan rumus untuk perhitungan stabilitas eksternal dan internal.

1. Stabilitas Eksternal

a. Stabilitas Terhadap Geser

Berikut rumus untuk menghitung faktor aman stabilitas terhadap geser yang dapat dilihat pada Persamaan 3.25.

$$SF = \frac{\Sigma P_R}{\Sigma P_D} = \frac{\text{Jumlah gaya yang menahan}}{\text{Jumlah gaya yang menggeser}} \geq 1,5$$

$$SF = \frac{L \cdot (q + \gamma b) \cdot \tan \varphi}{(q \cdot K_a \cdot H + K_a \cdot H^2 \cdot \gamma b - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \cdot H)} \quad (3.25)$$

dengan:

φ = Sudut gesek antara tanah dengan geotekstil ($^{\circ}$).

L = Panjang geotekstil (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m^3).

H = Tinggi lapisan tanah (m).

K_a = Koefisien tanah aktif.

c = Kohesi (kN/m^2).

q = Beban merata (kN/m^2).

b. Stabilitas Terhadap Guling

Berikut rumus untuk menghitung faktor aman stabilitas terhadap guling yang dapat dilihat pada Persamaan 3.26 sebagai berikut.

$$SF = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_D} = \frac{\text{Jumlah gaya yang menahan}}{\text{Jumlah gaya yang menggeser}} \geq 1,5$$

$$SF = \frac{L^2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot q + \frac{1}{2} \cdot \gamma b \cdot H\right)}{\frac{1}{2} \cdot q \cdot K_a \cdot H^2 + \frac{1}{6} \cdot K_a \cdot H^2 \cdot \gamma b - c \cdot \sqrt{K_a} \cdot H^2} \quad (3.26)$$

dengan:

H = Tinggi Lapisan Tanah (m).

- L = Panjang geotekstil (m).
 γ_b = Berat volume tanah (kN/m³).
 c = Kohesi (kN/m²).
 q = Beban merata (kN/m²).

c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Stabilitas terhadap eksentrisitas untuk perhitungan dari faktor keamanan diasumsikan nilai $\frac{1}{6} L$ harus lebih besar dari hasil nilai eksentrisitas yang dapat dilihat pada Persamaan 3.27 dan Persamaan 3.28 sebagai berikut.

$$\frac{1}{6} L \geq e \quad (3.27)$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{\frac{1}{2} \cdot q \cdot K_a \cdot H^2 + \frac{1}{6} \cdot K_a \cdot H^2 \cdot \gamma_b - c \cdot \sqrt{K_a} \cdot H^2}{(q \cdot L + \gamma_b \cdot H \cdot L)} \quad (3.28)$$

dengan:

- e = Nilai eksentrisitas tanah (m).
 L = Panjang geotekstil (m).
 c = Kohesi (kN/m²).
 γ_b = Berat volume tanah (kN/m³).
 K_a = Koefisien tanah aktif.
 H = Tinggi Lapisan Tanah (m).
 q = Beban merata (kN/m²).

d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Daya Dukung Tanah

Berikut rumus untuk menghitung faktor aman stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah yang dapat dilihat pada Persamaan 3.29 sampai dengan Persamaan 3.31 sebagai berikut.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{q_{ult}} \geq 1,5 \quad (3.29)$$

$$q_{ult} = c \cdot N_c + 0,5L \cdot \gamma_b \cdot N_\gamma \quad (3.30)$$

$$\sigma_{ult} = c \cdot N_c \cdot q + N_q + 0,5L \cdot \gamma_b \cdot N_\gamma \quad (3.31)$$

Untuk nilai L dapat dihitung dengan Persamaan 3.32 sebagai berikut.

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{(H \cdot \gamma_b) + q} \quad (3.32)$$

dengan:

q_{ult} = Tegangan ultimit (kN/m^2).

c = Kohesi (kN/m^2).

L = Panjang geotekstil (m)

γ_b = Berat volume tanah (kN/m^3).

H = Tinggi lapisan tanah (m).

2. Stabilitas Internal

Untuk perhitungan stabilitas internal mempunyai tujuan yaitu untuk mengetahui panjang *overlapping* dan panjang efektif geotekstil.

a. Panjang *Overlapping*

Untuk menentukan panjang *overlapping* atau panjang lipatan L_0 menggunakan Persamaan 3.33 sebagai berikut.

$$L_0 = \frac{\sigma_{hc} \cdot S_{v_i} \cdot SF}{2 \cdot Z_i \cdot \gamma_b \cdot \tan \varphi} \geq 1 \quad (3.33)$$

dengan:

L_0 = Panjang geotekstil *overlapping* (m).

σ_{hc} = Tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m^2).

q = Beban merata (kN/m^2).

S_{v_i} = Jarak antar tulangan arah vertikal (m).

γ_b = Berat volume tanah (kN/m^3).

Z_i = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke dalam tanah (m).

φ = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil ($^\circ$).

b. Panjang Efektif Geotekstil

Sedangkan panjang tulangan yang berada di belakang bidang longsor L_{ef} dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 3.34 sebagai berikut.

$$L_{ef} = \frac{SF \cdot S_{v_i} \cdot K_a \cdot \gamma_b \cdot Z_i}{2 \cdot \gamma_b \cdot Z_i \cdot \tan \varphi} \geq 0,5 \text{ m} \quad (3.34)$$

dengan:

L_{ef} = Panjang efektif geotekstil (m).

Sv_i = Jarak antar tulangan arah vertikal (m).

γ_b = Berat volume tanah (Kn/m^3).

K_a = Koefisien tanah aktif.

Z_i = Kedalaman tulangan yang ditebuk masuk ke dalam tanah (m).

φ = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil ($^\circ$).

3.6 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Program PLAXIS

PLAXIS yang digunakan versi 22 merupakan salah satu program komputer yang dapat membantu untuk menganalisis bidang geoteknik. Program PLAXIS dibuat berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi, yang nantinya bisa digunakan untuk menganalisis deformasi dan stabilitas. Tujuan dari simulasi kondisi lapangan dalam program PLAXIS adalah untuk memasukkan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan program. Untuk membuat tahapan pelaksanaan di lapangan sedekat mungkin dengan program, sehingga respons yang dihasilkan dari program dapat dianggap sebanding dengan kondisi lapangan yang sebenarnya. Dengan cara memasukkan data lereng yang sudah di olah kemudian dimasukkan ke dalam program PLAXIS, program ini mengolah data untuk menentukan apakah lereng perlu diperkuat atau tidak. Program ini juga dapat mengontrol nilai faktor aman (*safety factor*) terhadap lereng dengan menggunakan geotekstil.

Brinkgreve (2007) mengemukakan bahwa model yang diterapkan Mohr-Coulomb, merupakan model plastis elastis yang terdiri dari lima parameter: E dan μ untuk memodelkan elastisitas tanah, φ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah, dan ψ untuk memodelkan sudut dilatasi. Pendekatan “ordo pertama” untuk mengamati perilaku batuan atau tanah dikenal sebagai model Mohr-Coulomb. Model ini disarankan untuk analisis awal masalah yang dihadapi. Nantinya setiap lapisan akan dimodelkan dengan bentuk nilai kekuatan rata-rata yang konstan. Oleh karena itu, perhitungannya akan lebih cepat dan akan diperoleh model dari bentuk

deformasi perkiraan awal. Lima parameter tersebut memiliki peran penting untuk menganalisa masalah deformasi dan stabilitas tanah. Tegangan horizontal mula-mula harus sudah ditentukan terlebih dahulu dan setelah itu dapat menentukan nilai σ_h dengan tepat.

Model Mohr-Coulomb direkomendasikan untuk digunakan pada tahap awal analisis karena kemudahannya dan kecepatannya, terutama ketika data tanah yang memadai tidak tersedia. Titik-titik kritis dari model Mohr-Coulomb cenderung memiliki nilai yang serupa dengan titik-titik kritis tanah sebenarnya di sepanjang bidang kelongsoran. Oleh karena itu, pemodelan Mohr-Coulomb menjadi pilihan yang tepat untuk analisis kestabilan lereng timbunan. Keunggulan pendekatan elemen hingga dibandingkan dengan metode keseimbangan batas (Griffiths & Lane, 1999) adalah sebagai berikut.

1. Tidak menggunakan asumsi mengenai bidang longsor karena longsoran terjadi secara alami melalui zona di dalam tanah di mana kekuatan geser tanah tidak mampu menahan tegangan geser yang ada.
2. Pendekatan elemen hingga tidak memperhitungkan konsep irisan, sehingga tidak ada asumsi tentang gaya-gaya di setiap irisan. Metode ini mempertahankan keseimbangan keseluruhan hingga terjadi kelongsoran.
3. Jika data mengenai kompresibilitas tanah tersedia, metode elemen hingga bisa memberikan penjelasan mengenai perubahan bentuk yang terjadi.
4. Metode elemen hingga mampu memantau kegagalan progresif, termasuk kegagalan geser secara menyeluruh.

Cara kerja PLAXIS adalah dengan membuat simulasi kondisi di lapangan ke dalam program tersebut. Tujuannya untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program. Oleh karena itu diharapkan, pelaksanaan di lapangan dapat mendekati sehingga respon yang didapat dari program dianggap sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan.

Permodelan PLAXIS ini ada dua model yaitu *plane strain* dan *axisymmetric*. *Plane strain* sendiri umumnya digunakan untuk menganalisis struktur dengan potongan melintang beserta pembebanannya dan juga kondisi tegangan yang

seragam, serta perpindahan pada arah model ini dianggap nol, contohnya digunakan untuk menganalisis pembuatan bendungan, dinding penahan tanah, timbunan jalan, dan lain-lain. Sedangkan *axisymmetric* ini merupakan model analisa struktural bulat yang radial dengan pembebanan seragam terpusat pada konsentris dengan besarnya deformasi dan tegangan yang memiliki arah yang sama dengan radialnya, contohnya digunakan untuk menganalisis pondasi lingkaran (Hendroatmo, 2008).

Ada 3 tahapan yang harus dilakukan untuk analisis stabilitas lereng menggunakan program PLAXIS versi 22, diantaranya sebagai berikut:

1. *Input data*

Dalam melakukan analisis pekerjaan menggunakan program PLAXIS, penting untuk membuat pemodelan yang sesuai dengan data yang tersedia di lapangan. Tahap ini merupakan tahap *input data* seperti data parameter tanah timbunan dan tanah lapisan-lapisannya yang telah diperoleh yang nanti akan dianalisis.

2. *Calculation*

Setelah tahap permodelan pada tahapan input data, langkah selanjutnya adalah tahap perhitungan (*calculation*). Pada tahap ini, analisis dilakukan sesuai dengan kebutuhan terhadap model yang telah didefinisikan dalam *input data*. Terdapat beberapa jenis perhitungan (*calculation*) yang disediakan seperti *type plastic*, *phi/c reduction*, dan analisis dinamis (*dynamic analysis*).

3. *Output*

Hasil dari tahap perhitungan (*calculation*) dapat dilihat pada tahap *output*. Hasil analisis tersebut dapat ditampilkan dalam berbagai bentuk, termasuk gambar, angka, dan kurva. *Output* yang dihasilkan seperti nilai faktor keamanan (*safety factor*), *deformed mesh*, perpindahan total (*total displacement*), potensi kelongsoran, arah pergerakan tanah yang terjadi, dan nilai *effective stress* yang terjadi dari lereng timbunan yang dianalisis dengan perkuatan geotekstil maupun tanpa perkuatan geotekstil. Setelah *output* dari analisis stabilitas lereng dengan beban dan tanpa beban, dengan perkuatan maupun tanpa perkuatan selesai, bisa dimasukkan ke bab selanjutnya untuk membuat pembahasan dan kesimpulan.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Penelitian

Metode penelitian merupakan tahapan yang penting dalam proses penelitian. Metode penelitian bertujuan untuk mengumpulkan data atau informasi yang relevan sesuai dengan judul penelitian digunakan untuk proses analisis dan peneliti bisa menemukan hasil, kesimpulan dan jawaban untuk masalah yang akan diajukan. Dalam metode penelitian memberikan gambaran dari analisis seperti data penelitian, lokasi, dan tahap-tahap penelitian yang nantinya apabila sudah lengkap bisa dianalisis. Penelitian ini dilakukan pada pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui dan mengidentifikasi nilai faktor aman (*safety factor*) dan nilai total *displacement* dari lereng timbunan *eksisting*, dengan beban lalu lintas, dan dengan beban gempa menggunakan program PLAXIS V.22. Selain itu analisis ini menggunakan perhitungan metode manual dengan metode Fellenius. Apabila nilai faktor aman (*safety factor*) yang diperoleh $< 1,3$ yang merupakan standar dari nilai faktor aman (*safety factor*) untuk perencanaan analisis stabilitas lereng timbunan pada konstruksi jalan tol, maka analisis timbunan lereng tersebut akan diberi perkuatan menggunakan geotekstil dengan jenis geotekstil *woven* UW-250. Diharapkan bahwa dengan melakukan analisis tersebut, akan memungkinkan identifikasi kondisi yang menghasilkan nilai faktor aman (*safety factor*) yang optimal dan stabil dimana nilai faktor aman (*safety factor*) sudah $> 1,3$, yang kemudian dapat digunakan sebagai panduan dalam merencanakan perkuatan analisis stabilitas lereng timbunan.

4.2 Data Penelitian

Data yang digunakan untuk penelitian analisis stabilitas timbunan lereng berupa data sekunder seperti berikut.

1. Peta Lokasi Penelitian
2. Data Penyelidikan Tanah

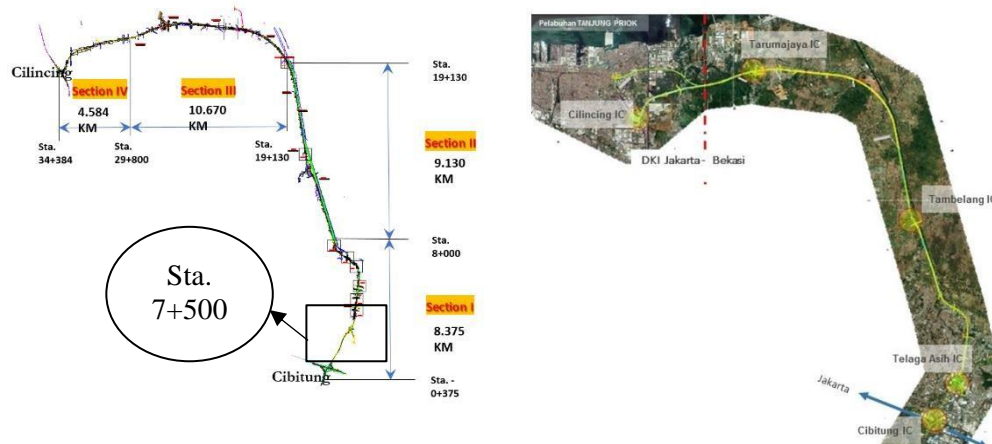
3. Data Geotekstil
4. Gambar Potongan Melintang Lereng Timbunan
5. Data Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa

4.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang akan digunakan berada pada peta pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500 yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Peta Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing
(Sumber: PT. CTP Tollways, 2020)



Gambar 4.2 Lokasi Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500
(Sumber: PT. CTP, Tollways, 2020)

4.4 Tahapan Penelitian

Penelitian ini memiliki proses yang dibagi dalam beberapa tahapan seperti berikut ini.

1. Pengumpulan Data

Dalam mendapatkan informasi yang dibutuhkan maka diperlukan pengumpulan data terlebih dahulu agar mencapai tujuan dari penelitian ini, seperti, data gambar potongan melintang jalan, data parameter tanah, data geotekstil, data beban lalu lintas, dan data gempa. Tahapan pengumpulan data yang dibutuhkan ini untuk dimasukkan dan diolah dalam program PLAXIS V.22 , berdasarkan Laporan Analisis Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung-Cilincing.

2. Pengolahan dan Analisis Data

Tahap ini data yang telah diterima (dari data uji lapangan dan data laboratorium), yang akan diolah menggunakan program PLAXIS V.22 dengan tahap awal pemodelan desain potongan melintang jalan yang sesuai dengan gambar rencana pada berdasarkan Laporan Analisis Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500. Hasil analisis dari program PLAXIS V.22 akan dijadikan dasar untuk tahap analisis selanjutnya.

3. Tahap Pembahasan dan Kesimpulan

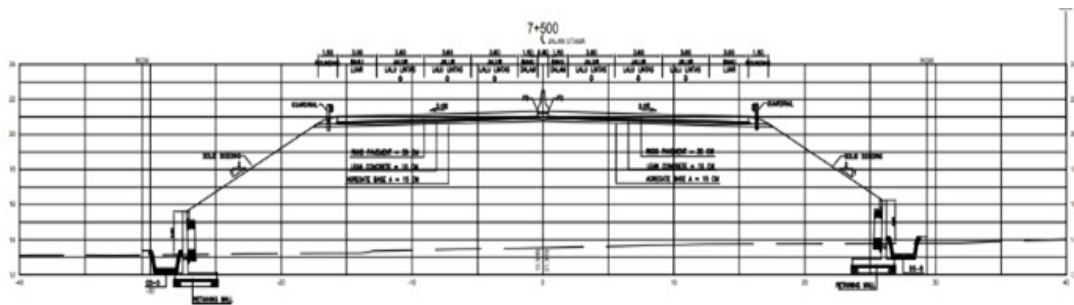
Tahap ini akan dilakukan penulisan kedalam laporan yang dimana berisi hasil-hasil yang telah didapatkan dari tahapan analisis, kemudian akan dihasilkan solusi dari masalah-masalah yang timbul dan diambil kesimpulan berdasarkan teori yang ada.

4.5 Analisis Data Penelitian

Tahap analisis data memiliki tujuan yaitu untuk mempermudah dalam analisis sesuai dengan data yang diperoleh, selain itu dengan analisis data dapat menyederhanakan proses pengolahan data yang akan dianalisis sesuai dengan tahapannya. Adapun data-data yang diperoleh untuk penelitian adalah sebagai berikut.

4.5.1 Potongan Melintang Jalan

Potongan melintang jalan digunakan untuk proses analisis stabilitas lereng timbunan dengan menggunakan program PLAXIS V.22 yang nantinya dilakukan analisis permodelan geometri lereng timbunan. Berikut merupakan gambar potongan melintang jalan yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



**Gambar 4. 3 Potongan Melintang Jalan Tol Cibitung-Cilincing
Sta. 7+500**

(Sumber: PT. CTP, Tollways, 2020)

4.5.2 Parameter Tanah

Data parameter merupakan parameter yang sangat penting untuk analisis stabilitas lereng yang dimasukkan kemudian diolah menggunakan program PLAXIS V.22. Berdasarkan data sekunder untuk data parameter tanah ini diperoleh dari Laporan Analisis Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500. Adapun data parameter tanah yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data Parameter Tanah

Parameter	Satuan	<i>Silty Clay</i>	<i>Silt Very Dense</i>	<i>Silt Very Hard</i>	Timbunan
Model	-	MC	MC	MC	MC
Jenis	-	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>
γ_{unsat}	kN/m ³	15	17	21	18
γ_{sat}	kN/m ³	16	19	22	20
E	kN/m ²	12000	16000	20000	54000
v	-	0,35	0,33	0,32	0,30

Lanjutan Tabel 4.1 Data Parameter Tanah

c	kN/m ²	10	14	18	1
φ	°	8,6	23	25	30
ψ	°	0	0	0	0
K _x	m/day	0,0000001	0,000001	0,0000001	0,1
K _y	m/day	0,0000001	0,000001	0,0000001	0,1

(Sumber: PT. Carina Griya Mandiri, 2017)

4.5.3 Geotekstil

Nilai geotekstil yang digunakan untuk diolah pada program PLAXIS V.22 pada geotekstil adalah nilai *normal stiffnes* (*EA*) yang dapat dihitung dengan menggunakan Persaman 4.1 berikut.

$$EA = \frac{F_g}{\Delta l/l} \quad (4.1)$$

dengan:

F_g = Kuat tarik ijin geotekstil (kN/m)

$\Delta l/l$ = Regangan dari geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan tipe *woven* atau geotekstil teranyam yang dimodelkan ke dalam PLAXIS V.22 dengan *input* nilai kekakuan normal (*EA*). Informasi atau data mengenai parameter geotekstil yang digunakan untuk perkuatan diperoleh dari PT. Teknindo Geosistem dan dapat dilihat pada Lampiran 4. Detail data parameter geotekstil beserta nilainya dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Data Parameter Geotekstil Jenis Woven UW-250

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	Ta	52	kN/m
Regangan	E	20	%
Kekakuan Normal	EA	260	kN/m

(Sumber: PT. Teknindo Geosistem, 2020)

4.5.4 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas yang *diinput* ke dalam program PLAXIS V.22 adalah 15 kN/m², dimana termasuk fungsi primer dan sistem jaringan arteri, sesuai dengan nilai yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Data Parameter Lalu Lintas

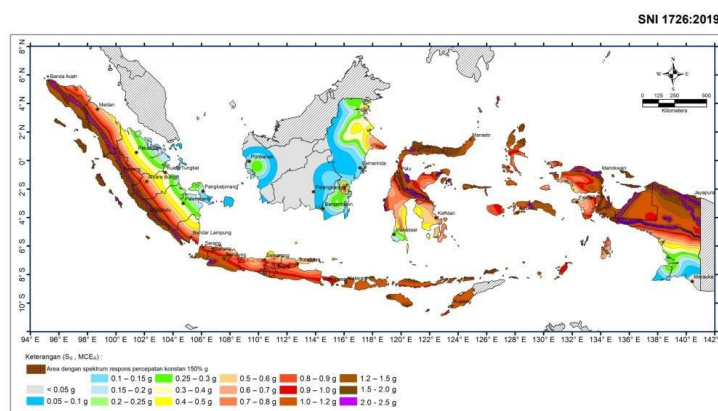
Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Sekunder	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

4.5.5 Beban Gempa

Beban gempa yang diterapkan dalam analisis stabilitas lereng ini adalah beban gempa dinamis. Dalam analisis stabilitas lereng, beban gempa adalah salah satu faktor penting yang harus dipertimbangkan. Gempa bumi dapat menyebabkan gaya inersia yang cukup besar pada lereng timbunan, dimana dapat menyebabkan kegagalan stabilitas jika tidak diperhitungkan dengan baik atau terjadi kelongsoran. Getaran dalam beban gempa inilah yang akan menimbulkan gaya inersia pada material lereng timbunan, yang cenderung mendorong material tersebut ke arah yang berlawanan dari arah getaran gempa. Dalam analisis ini menggunakan beban gempa wilayah Bekasi yang memiliki Percepatan Puncak Gempa (PGA) berkisar antara 0,3 hingga 0,4 g. Informasi yang relevan dengan durasi gempa tersebut berasal dari data yang dikumpulkan di kawasan American Canyon, California, pada akhir tahun 2014, dengan percepatan puncak gempa mencapai 0,3938 g. Pengaruh beban gempa diperhitungkan jika lereng galian atau timbunan direncanakan dibangun di dekat area pemukiman atau dibangun dengan kriteria kepentingan

strategis yaitu dengan kondisi tidak boleh mengalami keruntuhan atau terputusnya lajur transportasi setelah terjadi gempa rencana. Gempa rencana untuk lereng galian dan timbunan ditetapkan dengan kemungkinan terlewatinya besarnya selama umur rencana 50 tahun adalah 2% atau setara dengan periode ulang 500 tahun dengan mengacu pada peta gempa (SNI 8460:2017). Pada input beban gempa ke dalam PLAXIS V.22 diambil nilai setengahnya sebesar 0,1969 g karena memungkinkan memungkinkan distribusi beban yang lebih realistis pada analisis model PLAXIS, karena percepatan maksimum tidak selalu merata dan konstan sepanjang waktu selama gempa, menyesuaikan dengan standar desain hal ini didasarkan pada penelitian dan pengalaman yang menunjukkan bahwa metode ini memberikan hasil yang aman dan konservatif, dan mencerminkan pengaruh peredaman dinamis dari tanah, yang mengurangi percepatan yang dialami oleh struktur geoteknik. Selain itu dalam analisis stabilitas lereng pseudo-statik, gaya seismik yang diterapkan pada massa tanah dianggap sebagai beban statis setara. Menggunakan setengah nilai PGA mencerminkan realitas bahwa percepatan dinamis maksimum tidak terjadi secara terus-menerus selama gempa, dan pendekatan ini memungkinkan perhitungan yang lebih realistis dan aman. Peta zonasi serta grafik hubungan antara percepatan gempa dan waktu gempa yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 15 – Parameter gerak tanah S_w gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_0) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%)

Gambar 4.4 Peta Zonasi Gempa Indonesia (Sumber: SNI-1726, 2019)

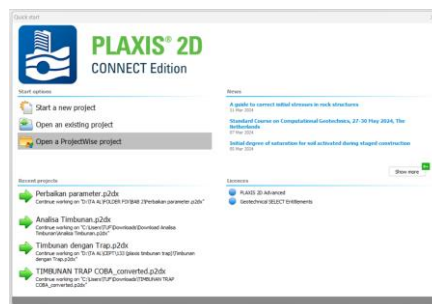
4.6 Tahapan Analisis Data Menggunakan Program PLAXIS Versi 22

Tahapan analisis menggunakan program PLAXIS versi 22 dilakukan dengan tiga tahapan, untuk tahapan yang pertama adalah tahapan *input* (PLAXIS *Input*), tahapan kedua proses perhitungan (PLAXIS *Calculation*), tahapan terakhir adalah hasil (PLAXIS *Output*). Rincian langkah-langkah analisis menggunakan program PLAXIS adalah sebagai berikut.

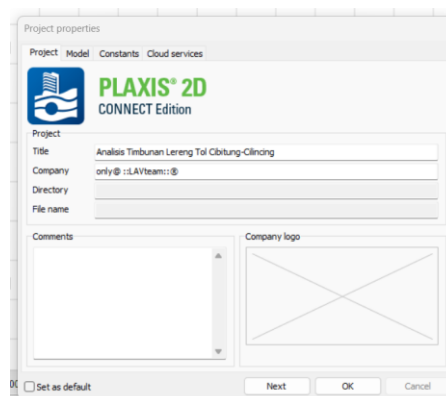
4.6.1 *Input* (PLAXIS *Input*)

1. Buka Program PLAXIS versi 22

Memulai pengoperasian program PLAXIS versi 22, langkah pertama adalah dengan melakukan klik ganda pada ikon program PLAXIS *input*. Setelah itu, sebuah kotak dialog (*quick start*) akan muncul dengan opsi untuk "*Start new project/open an existing project*". Pilih opsi "*new project*" dan klik OK untuk membuat proyek baru, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.5. Selanjutnya, isi kotak dialog *project properties* dan pilih *project* kemudian masukkan judul pada opsi *title* yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 sebagai berikut



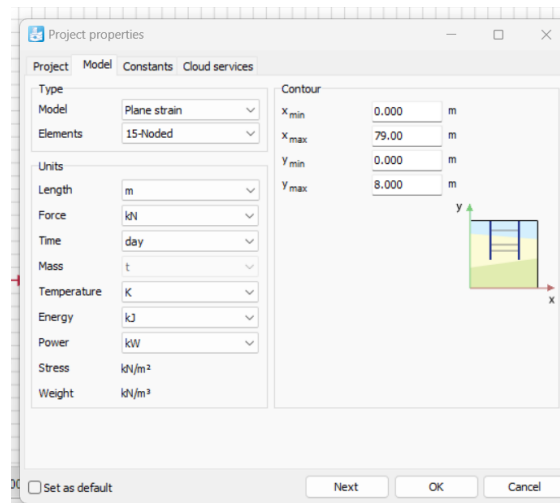
Gambar 4.5 Kotak Dialog *Quick Start/Open Project*



Gambar 4.6 Kotak Dialog *Project Properties* Bagian *Project*

2. General Setting


Dalam pengaturan global (*Model*), pilih analisis model *plane strain* (regangan bidang) di kotak general, dan pilih jenis elemen dasar *15-Node* untuk analisis yang menghasilkan tegangan dan beban runtuh yang akurat. Di tab *geometry dimensions*, gunakan satuan pra-pilih dalam kotak *unit* (*Length* = m, *Force* = kN, *Time* = day). Pada kotak *contour*, masukkan dimensi dari bidang gambar dengan menginput koordinat teratas dan terbawah dari geometri yang akan dibuat. PLAXIS versi 22 akan menambahkan sebuah margin kecil sehingga geometri akan berada pada bidang gambar. Selanjutnya, masukkan 0,000; 79,00; 0,000; 8,000 masing-masing pada kotak isian *Xmin*, *Xmax*, *Ymin*, dan *Ymax* dalam kotak *contour*. Kotak Grid berisi nilai-nilai untuk mengatur spasi grid. Grid ini akan membentuk matriks titik-titik yang digunakan untuk memasukkan penggambaran tepat pada grid yang telah ada saat pembuatan model. Jarak antara titik ditentukan oleh nilai spasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.7 sebagai berikut.




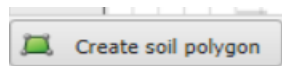
Gambar 4.7 Kotak Dialog *Project Properties* Bagian *Model*

3. Permodelan Geometri


Ada beberapa tahapan-tahapan yang dilakukan untuk pemodelan geometri lereng timbunan adalah sebagai berikut.


- a.  Pilih opsi *structure* pada *toolbar*.

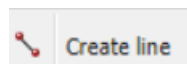
b. Klik *icon*  selanjutnya pilih opsi *create soil polygon*




untuk itu bisa dilanjutkan dengan pemodelan lapisan-lapisan tanahnya sesuai dengan ukuran ataupun koordinat yang telah ditentukan dengan memposisikan kursor pada pusat koordinat X dan Y 0,0 ; 0,0.


c. Klik *icon*  *create interfaces on the boundary*, digunakan untuk menentukan atau membuat antarmuka pada batas model geoteknik pada bidang gambar lapisan tanah.

d. Selanjutnya untuk pemodelan lereng klik *icon*  dan pilih opsi *create line*

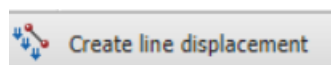


dan bisa langsung membuat pemodelan lereng timbunan diatas lapisan-lapisan tanah dasar sesuai dengan ukuran geometri lereng timbunan.

e. Setelah model geometri sudah dibentuk, lalu klik *icon*  pilih opsi *create*


line load  *Create line load*

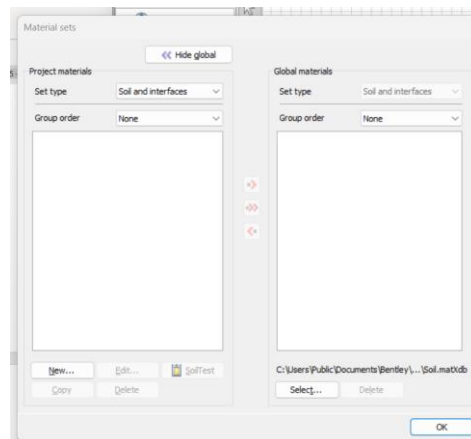
untuk memasukkan beban lalu lintas (beban merata) sebesar 15 kN/m^2 dengan cara klik pada titik awal dan akhir pada geometri timbunan yang menerima beban, lalu klik kanan *mouse* untuk mengakhiri model dari beban dan *create line displacement*



untuk membantu memodelkan perpindahan (deformasi) pada sepanjang garis lapisan tanah dengan cara yang sama pada memasukkan beban lalu lintas.

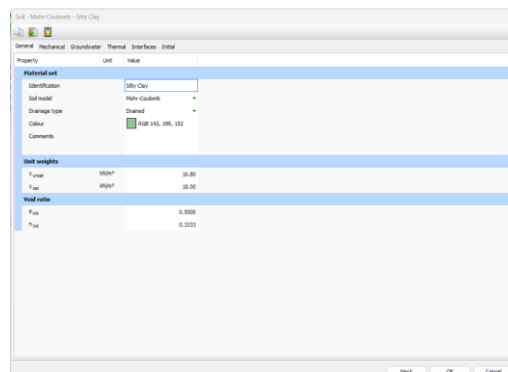
4. *Input Parameter Material*

a. *Input* parameter material pada PLAXIS versi 22 dapat dilakukan dengan memilih *icon material sets*  pada *toolbar* dan akan muncul kotak dialog *material sets* yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 sebagai berikut.

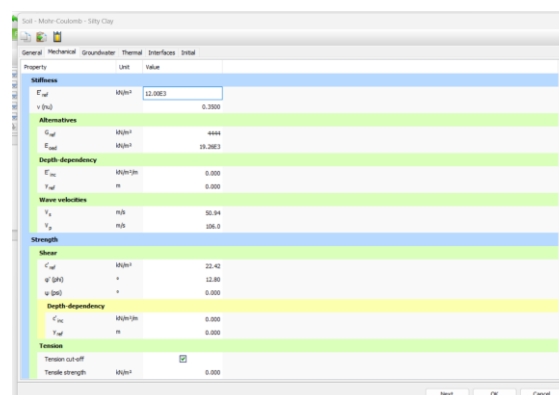


Gambar 4.8 Kotak Dialog *Material Sets*

- b. Klik pilihan *new* pada sisi bawah dari kotak dialog *material sets*. Kemudian muncul kotak dialog dengan beberapa lembar-tab yaitu *general*, *mechanical*, *groundwater*, *thermal*, *interfaces*, dan *initial* yang dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.

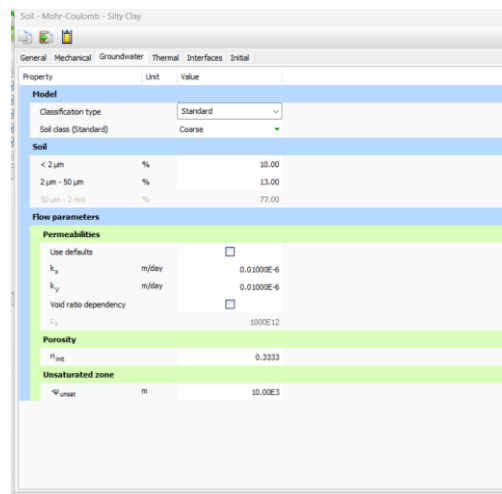


Gambar 4.9 Lembar-Tab *General* dari Kotak Dialog *Material Sets*



Gambar 4.10 Lembar-Tab *Mechanical* dari Kotak Dialog *Material Sets*

- c. Pada kotak dialog *material sets* dalam lembar-tab *general* pada kotak *identification*, tuliskan jenis tanah lapisan dasar mulai dari *silty clay*, *silt very dense* dan *silt very hard* dan untuk jenis tanah timbunan *dense sand*.
- d. Selanjutnya pilih *Mohr-Coloumb* pada kotak *soil model* dan pada kotak *drainage type* pilih *drained* karena paska konstruksi.
- e. Pada bagian *unit weights* masukkan nilai γ_{unsat} dan γ_{sat} sesuai dengan parameter tanah yang ada.
- f. Selanjutnya ke lembar-tab *mechanical* isikan nilai modulus elastisitas (E), nilai *poisso ratio* (v) , nilai kohesi (c), nilai sudut geser dalam (ϕ) dan sudut dilatansi (ψ) sesuai dengan nilai parameter lapisan tanah dasar dan tanah timbunan.
- g. Lembar-tab yang terakhir yaitu *groundwater* terdapat kotak *permeabilities* lalu isikan nilai k_x dan k_y sesuai dengan nilai parameter lapisan tanah dasar dan tanah timbunan yang dapat dilihat pada Gambar 4.11.

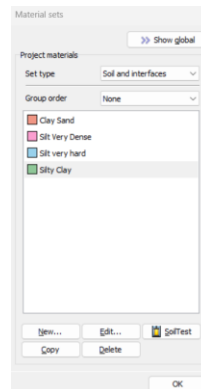


Gambar 4.11 Lembar-Tab *Groundwater* dari Kotak Dialog *Material Sets*

- h. Kemudian pada kotak dialog *material sets* klik dan seret (*drag*) kursor kumpulan parameter lapisan tanah dan tanah timbunan ke bidang gambar model geometri yang telah dibuat. Maka material yang digunakan sudah masuk dalam bidang gambar model geometri dan akan berubah warnanya



sesuai dengan warna yang mewakili parameter dari lapisan tanah dan tanah timbunan dapat dilihat pada Gambar 4.12

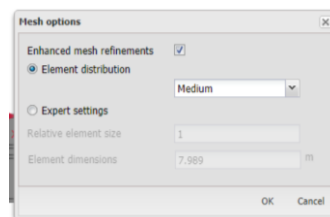
- i. Klik OK pada kotak dialog *material sets* otomatis sudah tersimpan untuk angka parameter yang digunakan untuk analisis selanjutnya.



Gambar 4.12 Kotak Dialog *Material Sets* dengan Parameter Tanah


5. Mesh Generation

Pilih opsi *mesh* pada toolbar , kemudian klik *generate mesh*  dan akan muncul kotak dialog *mesh option*, pilih *element distribution* dan pilih *medium* lalu klik OK yang dapat dilihat pada Gambar 4.13. Setelah proses *generate mesh* akan ditampilkan *output* model geometri lereng jaringan elemen hingga.

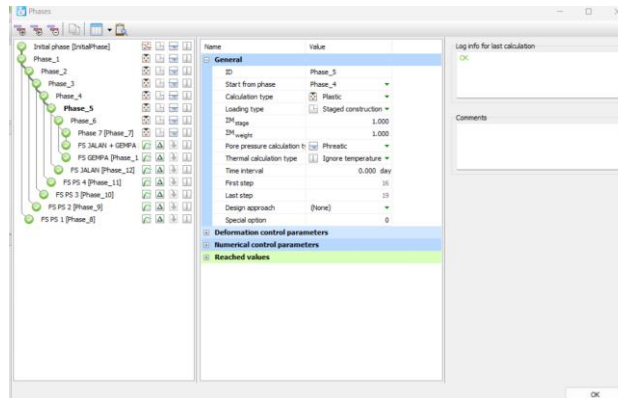


Gambar 4.13 Kotak Dialog *Mesh Option* pada *Generate Mesh*



4.6.2 PLAXIS Calculation

Pada bagian *calculation* klik bagian *add phase*  otomatis akan muncul *phase 1* dan seterusnya sesuaikan dengan permodelan geometri, untuk edit *phase* *double klik mouse* pada *phase 1* kemudian akan muncul kotak dialog *phase* Pada bagian lembar-tabs *general* dari ID, *star from phase*, *calculation type* dipilih *plastic*

untuk mengetahui total *displacement* tiap *phase* dan *safety* untuk mengetahui nilai faktor aman (*safety factor*) dan *loading type* dipilih *staged construction*. Kemudian pilih *phi/c reduction* untuk mengetahui pengaruh dari adanya beban gempa. Apabila sudah semua klik OK. Proses PLAXIS *calculation* dapat dilihat pada Gambar 4.14 sebagai berikut.




Gambar 4.14 Kotak Dialog *Phase* dengan Lembar-Tab *General* untuk Proses PLAXIS *Calculation*

Selanjutnya klik *select point for curves*  untuk menentukan titik yang akan ditinjau untuk daerah potensi longsornya atau untuk mengontrol bagaimana kurva atau grafik yang dihasilkan dalam analisis akan dipengaruhi titik-titik yang ditentukan. Apabila sudah pilih opsi *calculate*  untuk menjalankan analisis perhitungan.

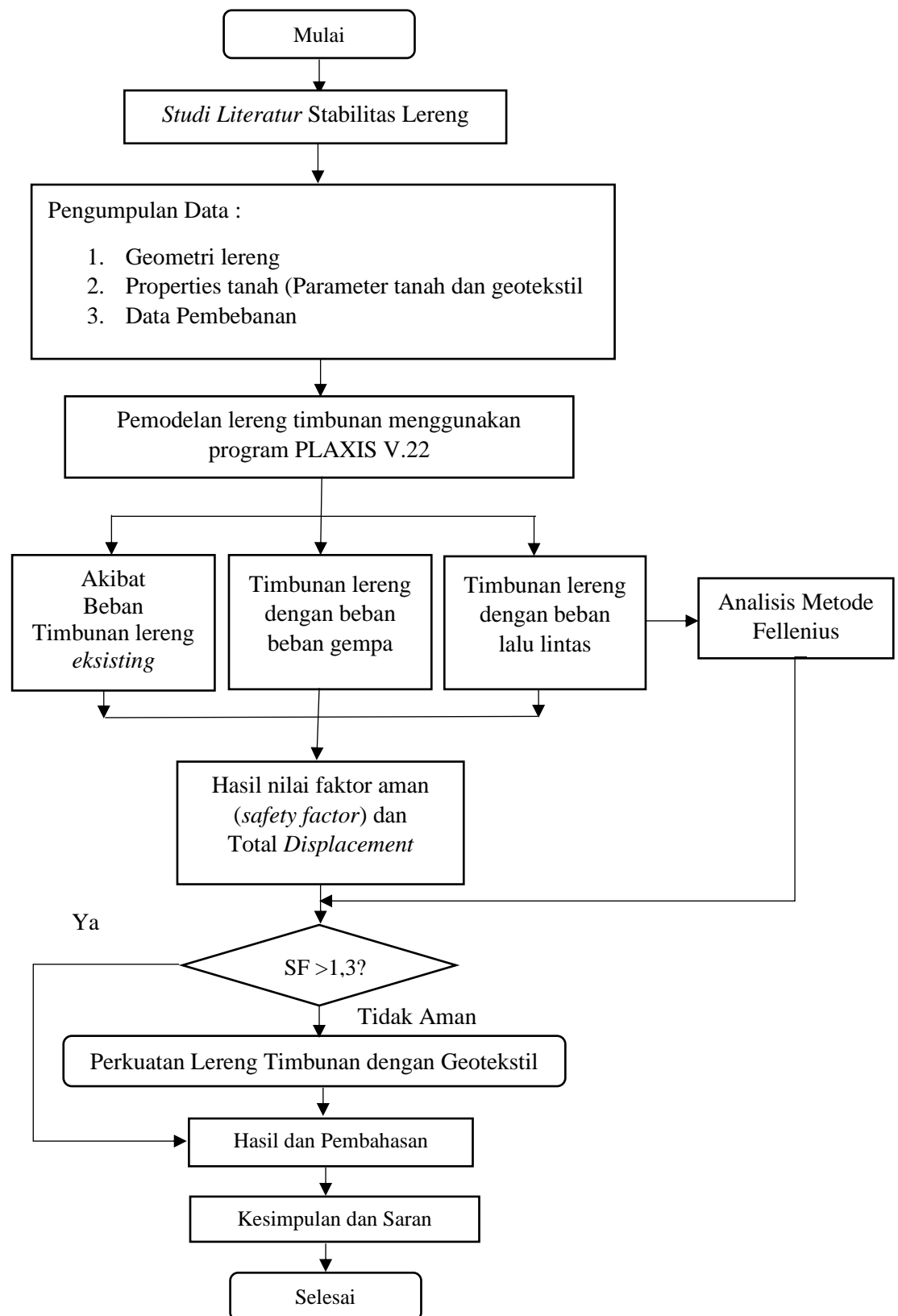
4.6.3 PLAXIS *Output*

Setelah tahap PLAXIS *calculation* selesai melakukan analisis perhitungan,

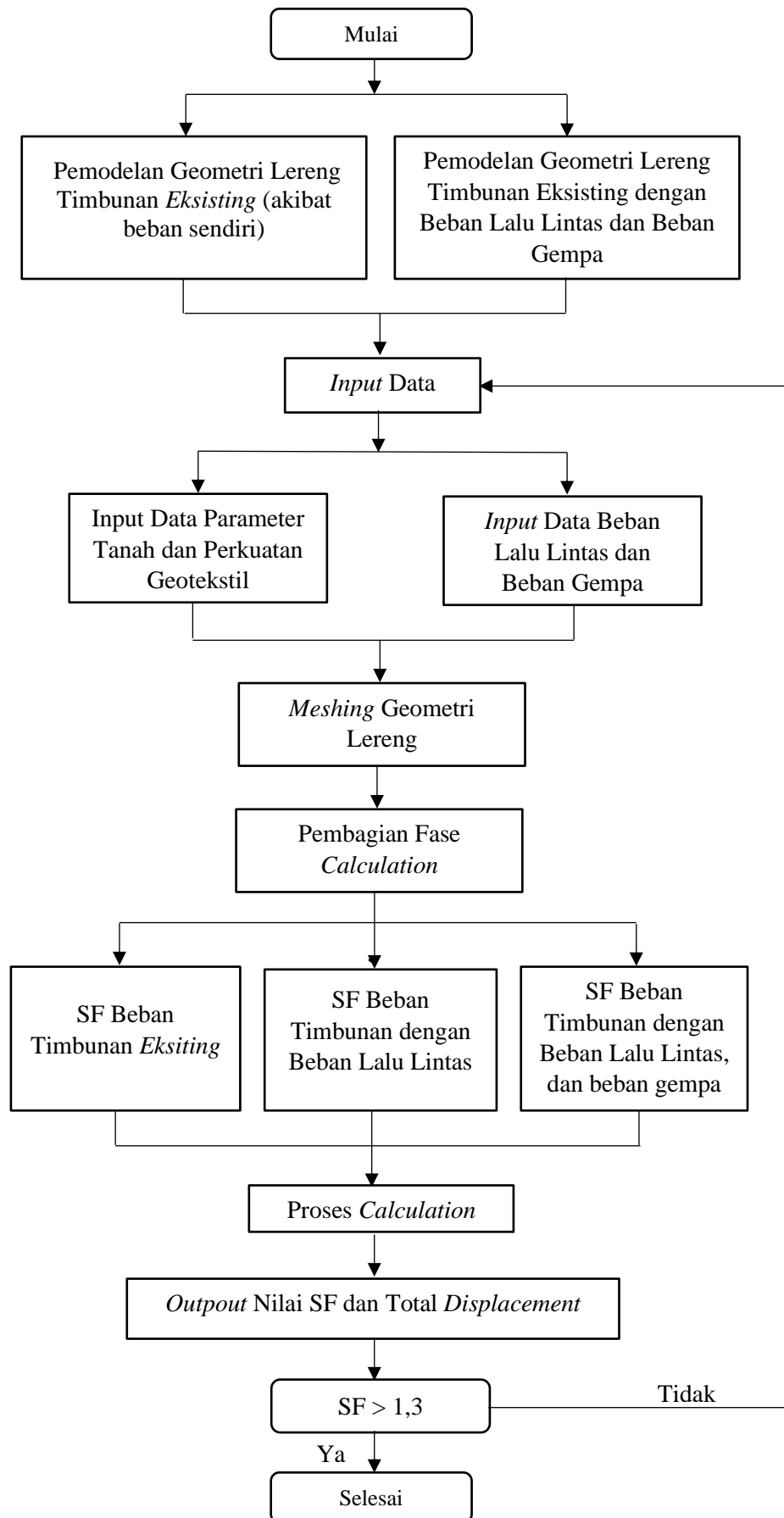
klik opsi *view calculation results*  untuk menampilkan hasil dari PLAXIS *calculation* dan analisis perhitungan yang telah dilakukan.

4.7 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir adalah proses yang dilalui selama penelitian berlangsung, dengan adanya bagan alir maka langkah - langkah yang ditempuh pada proses penelitian menjadi jelas. Proses penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.16 Bagan Alir Olah Data dengan Program PLAXIS V.22

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum Analisis

Studi kasus yang dilakukan dalam penelitian ini adalah kondisi timbunan pada proyek Jalan Tol Cibitung-Cilincing di Sta. 7+500. Kondisi lapisan tanah pada lokasi tersebut didominasi oleh lempung dan lanau, dan lapisan tanah yang digunakan adalah lapisan sampai dengan lapisan ketiga dengan kedalaman 17,30 meter dan tinggi timbunan sebesar 9 m. Sedangkan tanah yang digunakan untuk timbunan adalah tanah pasir padat karena memiliki daya dukung yang tinggi. Analisis ini nantinya dapat diketahui nilai faktor aman (*safety factor*) dan total *displacement* untuk mengetahui potensi terjadinya longsor. Kelongsoran yang terjadi dapat disebabkan karena timbunan sudah tidak mampu lagi menahan gaya-gaya yang terjadi akibat beban pada saat timbunan akan digunakan maupun pada saat timbunan dibuat.

Analisis ini dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS V.22 dan dengan cara manual menggunakan metode Fellenius. Pada analisis perhitungan untuk kebutuhan geotekstil pemodelan lereng dibagi menjadi zona 1 dan zona 2 untuk mempermudah dalam menghitung kebutuhan geotekstil. Hasil dari PLAXIS ini untuk mengetahui nilai faktor aman (*safety factor*) dan nilai total *displacement* dari akibat beban lereng timbunan *eksisting*, dengan beban lalu lintas, dan lereng beban gempa baik itu dengan perkuatan geotekstil jenis *woven* UW-250 maupun tanpa perkuatan geotekstil. Selain itu untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan geotekstil apakah mampu menahan kelongsoran pada lereng timbunan tersebut. Diharapkan pada hasil nilai faktor aman (*safety factor*) setelah diberi perkuatan analisis ini dapat membantu menyelesaikan permasalahan kelongsoran yang terjadi dan menjadi pedoman untuk analisis dengan kondisi yang sama. Kemudian hasil dari analisis ini masuk ke pembahasan dan kesimpulan. Adapun data-data yang digunakan pada analisis stabilitas lereng timbunan yang akan *diinput* pada program PLAXIS V.22.

Beban yang bekerja pada lereng tersebut terdiri dari beban kendaraan dan beban gempa. Detail mengenai parameter tanah, jenis beban yang digunakan, jenis geotekstil serta analisis stabilitas lereng yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Data Parameter Tanah

Pada penelitian ini, data parameter tanah yang digunakan berdasarkan Laporan Analisis Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500. Adapun detail data parameter tanah tercantum pada Tabel 4.1. Data parameter tanah ini nantinya diinput ke dalam program PLAXIS V.22 dengan kondisi tanah *drained* atau kondisi dimana air dapat mengalir keluar dari tanah dengan bebas dan juga paska konstruksi untuk pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500.

2. Data Beban Lalu Lintas Kendaraan

Pada penelitian ini, dalam analisis stabilitas lereng timbunan, terdapat jalan arteri selebar 34 meter yang melintasi bagian atasnya. Beban lalu lintas yang digunakan untuk jalan tersebut adalah sebesar 15 kN/m², sesuai dengan yang tercantum dalam Tabel 4.3.

3. Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan berasal dari produksi PT. Tekindo Geosistem Unggul dengan jenis *woven* UW-250. Informasi mengenai nilai geotekstil yang digunakan sebagai *input* dalam program PLAXIS V.22 dapat dilihat pada Tabel 4.2. Data yang diinput berupa data kekakuan normal (EA) sebesar 260 kN/m.

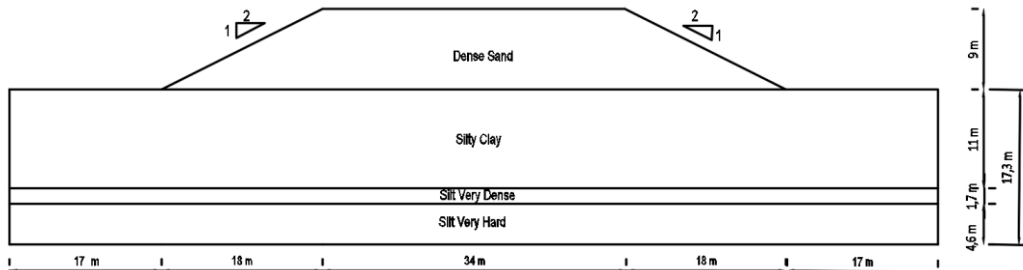
4. Data Beban Gempa

Percepatan puncak gempa (PGA) di wilayah Bekasi berkisar antara 0,3-0,4g. Informasi mengenai data gempa yang sesuai dengan nilai tersebut adalah data gempa yang terjadi di kawasan American Canyon, California pada akhir tahun 2014, dengan percepatan puncak gempa sebesar 0,3938 g. Pada *input* beban gempa ke dalam PLAXIS V.22 diambil nilai setengahnya sebesar 0,1969 g sesuai dengan acuan pada SNI 8460:2017 mengenai Persyaratan Perancangan Geoteknik.

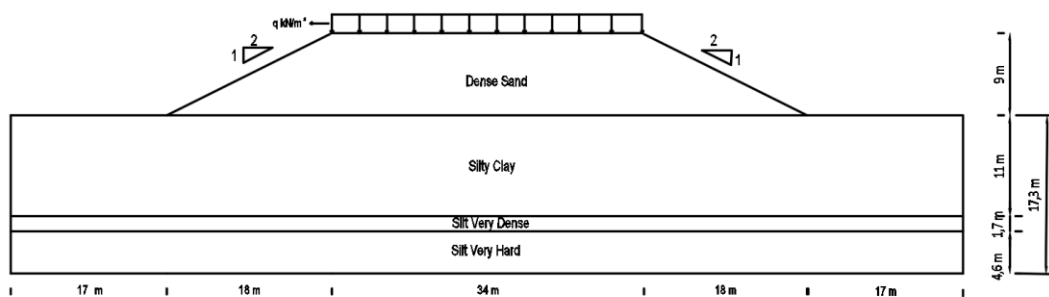
5. Desain Timbunan Lereng

Berikut merupakan desain timbunan lereng dan desain tanah tiap-tiap lapisannya pada lokasi Sta. 7+500 dari desain geometri lereng timbunan *eksisting* dan

dengan beban lalu lintas yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 sebagai berikut.



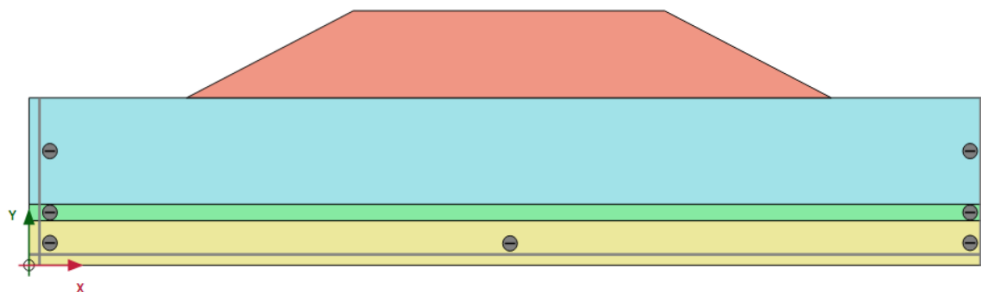
Gambar 5.1 Desain Geometri Lereng Timbunan *Eksisting*



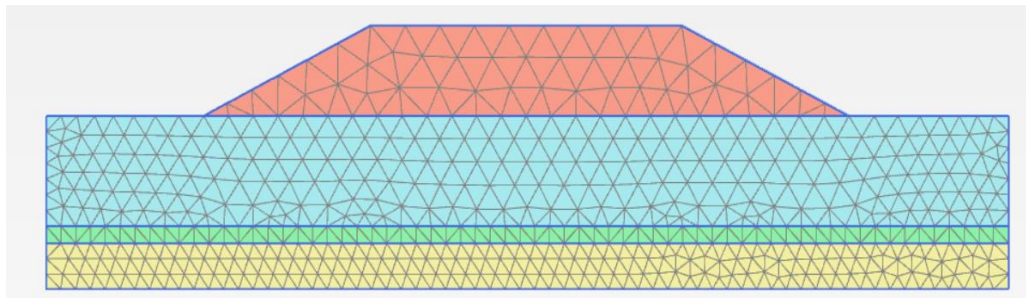
Gambar 5.2 Desain Geometri Lereng Timbunan *Eksisting* dengan Beban Lalu Lintas

5.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan pada Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500 diolah menggunakan program PLAXIS versi 22. Adapun model geometri lereng awal dan pemodelan jaringan elemen hingga (*meshing*) dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5.3 Pemodelan Geometri Lereng Tanpa Perkuatan

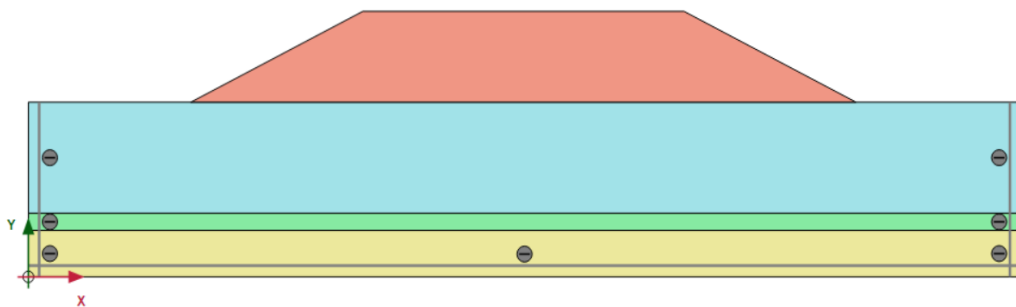


Gambar 5.4 Meshing Geometri Lereng Tanpa Perkuatan

5.2.1 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Menggunakan Program PLAXIS V.22 Akibat Beban Lereng Timbunan *Eksisting*

1. Pemodelan Geometri Lereng

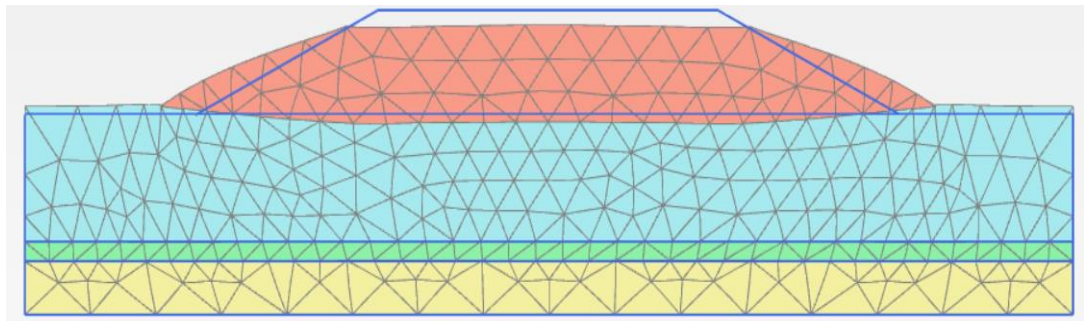
Pemodelan awal dari lereng timbunan *eksisting* sesuai dengan desain penampang lereng timbunan dan lapisan-lapisan tanahnya dengan tinggi lapisan tanah *dense sand* 11 m, *silt very dense* 1,70 m dan *silt very hard* 4,60 m dengan total 17,30 m dan lebar total lereng sepanjang 34 m. Pemodelan geometri lereng ini dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS V.22 dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.



**Gambar 5.5 Pemodelan Geometri Lereng Akibat Beban
Timbunan *Eksisting***

2. *Deformed Mesh*

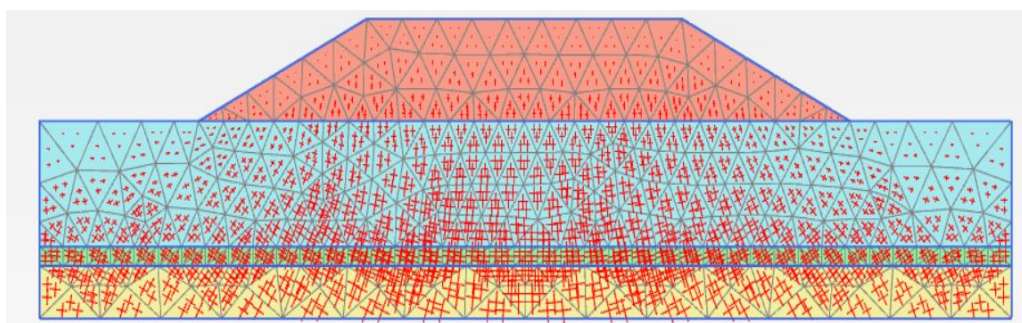
Deformed mesh digambarkan dengan bentuk jaringan elemen hingga yang tidak beraturan dan umumnya akan mengalami penurunan akibat dari beban yang bekerja. Berikut hasil dari *deformed mesh* akibat beban lereng timbunan *eksisting* yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 sebagai berikut.



Gambar 5.6 Deformed Mesh Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting

3. *Effective Stress*

Tegangan efektif (*effective stress*) mengacu pada konsep tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan daripada tanah, dengan menggunakan tegangan efektif dalam analisis stabilitas lereng timbunan di PLAXIS, kita dapat memperkirakan bagaimana distribusi tegangan dalam tanah akan berubah seiring dengan penambahan beban dari timbunan. Dari hasil analisis tegangan efektif (*effective stress*), disimpulkan bahwa garis-garis yang menunjukkan arah dan intensitas tegangan efektif cenderung meningkat saat menuju ke bagian bawah, terutama di tengah-tengah timbunan hingga mencapai lapisan dasar tanah. Besar nilai maksimum *effective stress* akibat beban lereng timbunan *eksisting* adalah $-462,1 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasil analisis *Effective Stress* dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.

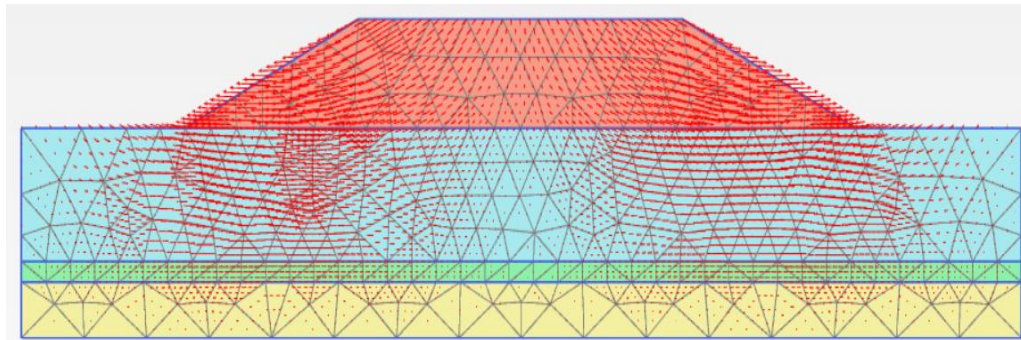


Gambar 5.7 *Effective Stress* Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting

4. Arah Pergerakan Tanah

Hasil dari analisis pergerakan tanah lereng timbunan *eksisting* menunjukkan bahwa anak panah merah yang terjadi dominan bergerak ke arah sebelah kanan

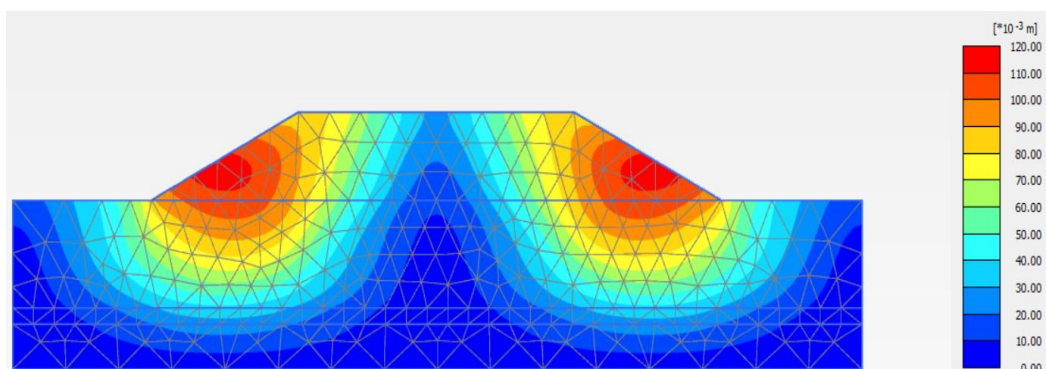
dan kiri meskipun ada juga yang bergerak ke arah bawah timbunan, dengan begitu dapat membantu untuk menganalisis stabilitas lereng timbunan secara efektif. Hasil arah pergerakan tanah akibat beban lereng timbunan *eksisting* dapat dilihat pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



Gambar 5.8 Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Lereng Timbunan *Eksisting*

5. Total *Displacement*

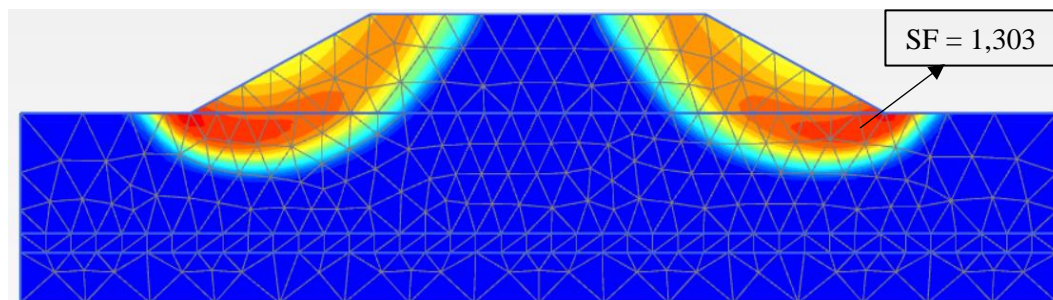
Total *displacement* mengacu pada perpindahan atau pergerakan tanah yang terjadi sebagai respons terhadap beban dan kondisi lingkungan tertentu. Pada lereng tanpa perkuatan tanah, terjadi pergeseran pada lereng kanan dan kiri karena lereng timbunan *eksisting*, dan memiliki nilai total *displacement* sebesar 0,1176 m. Adapun hasil dari total *displacement* dari program PLAXIS V.22 yang dapat dilihat pada Gambar 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5.9 Total *Displacement* Akibat Beban Lereng Timbunan *Eksisting*

6. Daerah Potensi Longsor

Hasil analisis program PLAXIS V.22 menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah *rotational slides*. Dapat disimpulkan bahwa terdapat zona pasif dan zona aktif yang terbentuk. Zona pasif ditunjukkan secara grafis dengan warna biru sedangkan zona aktif ditunjukkan dengan warna oranye dan merah. Daerah potensi longsor sudah diketahui dengan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) yang merupakan *output* akhir. Hasil nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,303 yang menandakan bahwa nilai faktor aman (*safety factor*) $> 1,3$ dengan kondisi lereng sudah termasuk aman dimana dihasilkan dari parameter tanah yang sesuai dengan mempertimbangkan nilai kuat geser yang tinggi sehingga lereng timbunan cenderung lebih stabil dan mampu menahan gaya geser yang lebih besar dan potensi longsor rendah. Adapun daerah potensi longsor akibat beban lereng timbunan *eksisting* yang dapat dilihat pada Gambar 5.10 sebagai berikut.



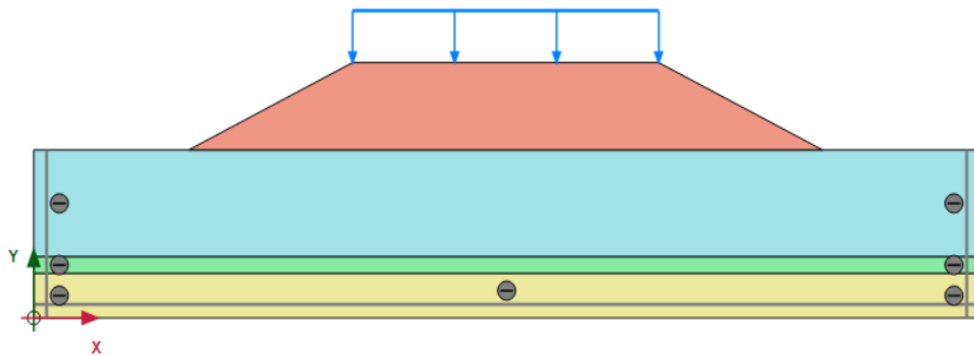
Gambar 5.10 Daerah Potensi Longsor Akibat Beban Lereng Timbunan *Eksisting*

5.2.2 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Menggunakan Program PLAXIS V.22 Akibat Beban Lalu Lintas

1. Pemodelan Geometri Lereng

Pemodelan awal dari lereng timbunan *eksisting* sesuai dengan desain penampang lereng timbunan dan lapisan-lapisan tanahnya dengan tinggi lapisan tanah *dense sand* 11 m, *silt very dense* 1,70 m dan *silt very hard* 4,60 m dengan total 17,30 m. dan lebar total lereng sepanjang 34 m dengan penambahan beban merata diatas lereng timbunan atau beban lalu lintas sebesar 15 kN/m². Analisis ini

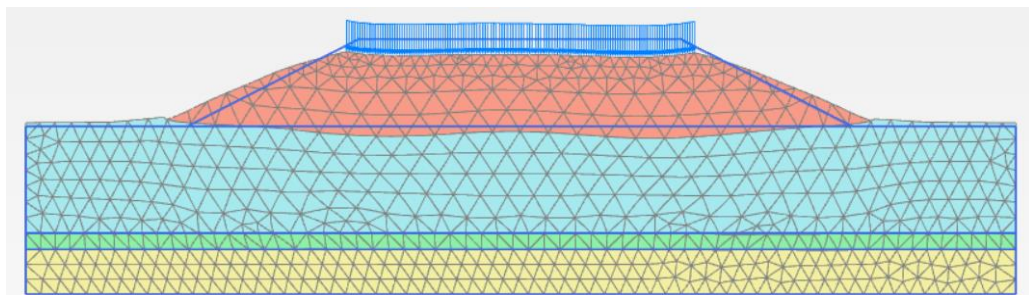
dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS V.22 dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



Gambar 5.11 Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas

2. *Deformed Mesh*

Deformed mesh digambarkan dengan bentuk jaringan elemen hingga yang tidak beraturan dan umumnya akan mengalami penurunan akibat dari beban yang bekerja. Berikut hasil dari *deformed mesh* akibat beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 yang dapat dilihat pada Gambar 5.12 sebagai berikut.

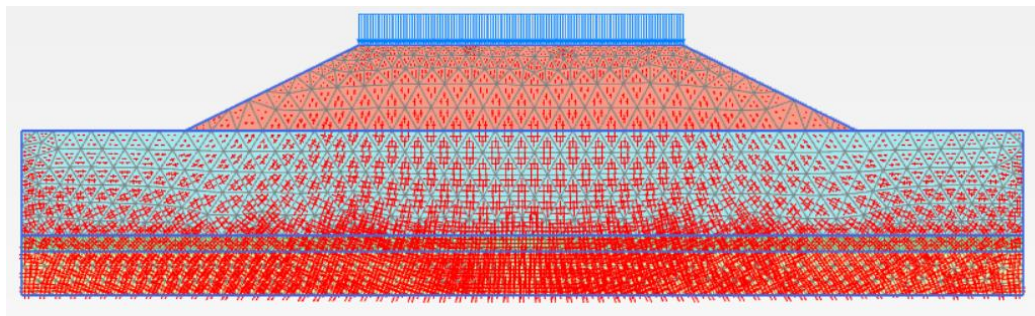


Gambar 5.12 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas

3. *Effective Stress*

Tegangan efektif (*effective stress*) mengacu pada konsep tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan daripada tanah, dengan menggunakan tegangan efektif dalam analisis stabilitas lereng timbunan di PLAXIS, kita dapat memperkirakan bagaimana distribusi tegangan dalam tanah akan berubah seiring dengan penambahan beban dari timbunan. Dari hasil

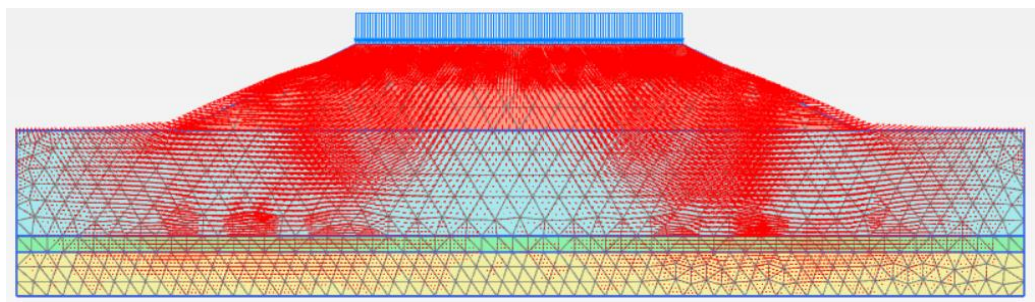
analisis tegangan efektif (*effective stress*), disimpulkan bahwa garis-garis yang menunjukkan arah dan intensitas tegangan efektif cenderung meningkat saat menuju ke bagian bawah, terutama di tengah-tengah timbunan hingga mencapai lapisan dasar tanah. Besar nilai maksimum *effective stress* akibat beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 sebesar $-487,1 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasil analisis *Effective Stress* dapat dilihat pada Gambar 5.13 sebagai berikut.



Gambar 5.13 *Effective Stress* Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas

4. Arah Pergerakan Tanah

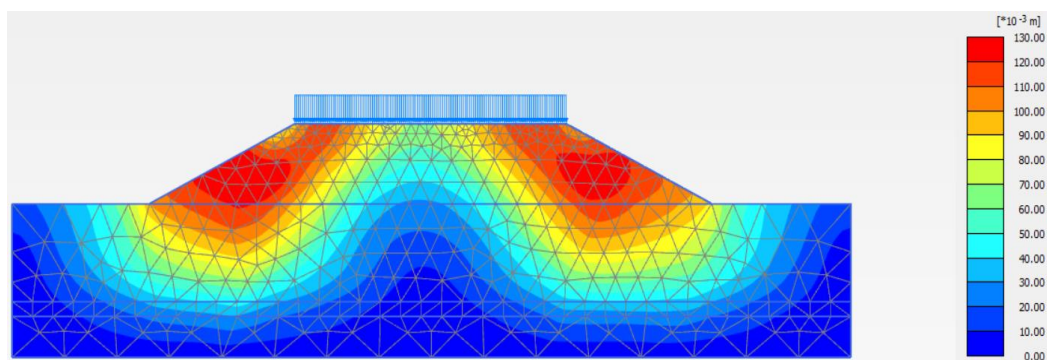
Hasil dari analisis pergerakan tanah akibat beban lalu lintas menunjukkan bahwa terjadi pergerakan tanah yang dominan bergerak ke arah sebelah kanan dan kiri meskipun ada juga yang bergerak ke arah bawah timbunan. Arah pergerakan tanah ditunjukkan dengan anak panah merah dalam jumlah tertentu, dengan begitu dapat membantu untuk menganalisis stabilitas lereng timbunan secara efektif. Hasil arah pergerakan tanah akibat beban lereng timbunan dengan penambahan beban merata atau beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 dapat dilihat pada Gambar 5.14 sebagai berikut.



Gambar 5.14 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas

5. Total *Displacement*

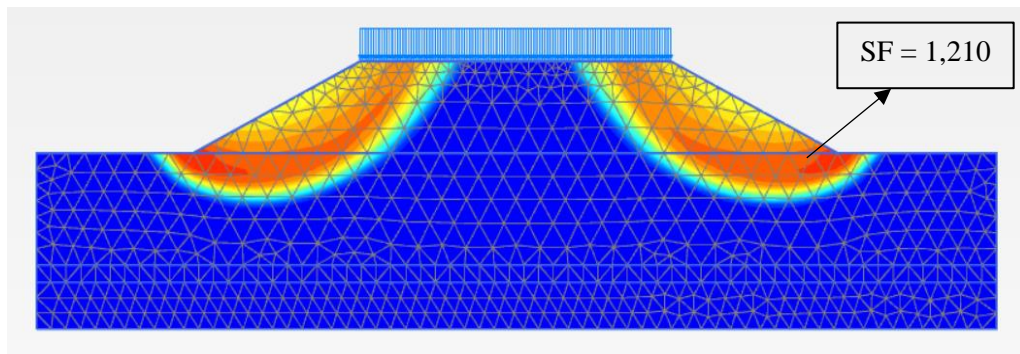
Total *displacement* mengacu pada perpindahan atau pergerakan tanah yang terjadi sebagai respons terhadap beban dan kondisi lingkungan tertentu. Pada lereng tanpa perkuatan tanah, terjadi pergeseran pada lereng kanan dan kiri karena akibat beban lereng timbunan dengan penambahan beban merata atau beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 , dan memiliki nilai total *displacement* sebesar $0,1275 \text{ m}$, yang dapat dilihat pada Gambar 5.15 sebagai berikut.



Gambar 5.15 Total *Displacement* Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas

6. Daerah Potensi Longsor

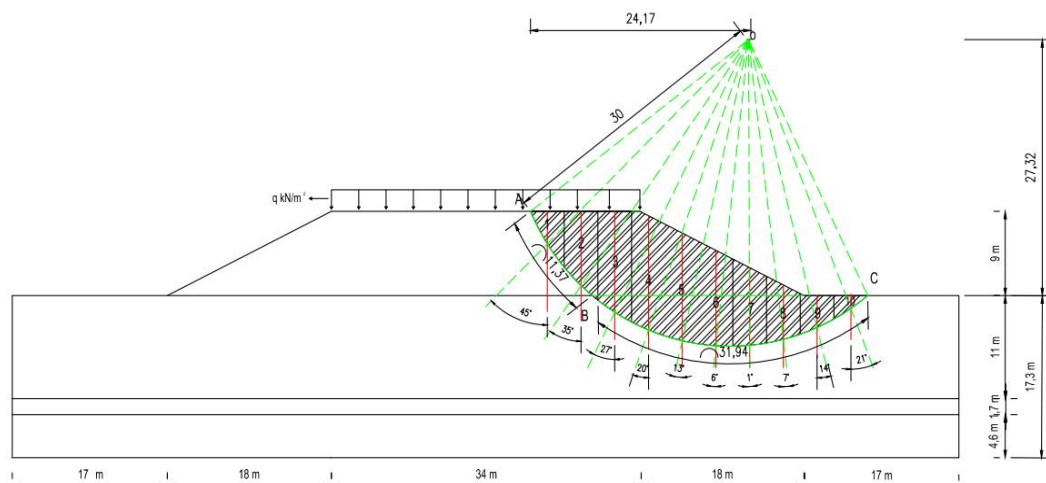
Hasil analisis program PLAXIS V.22 menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah *rotational slides*. Dapat disimpulkan bahwa terdapat zona pasif dan zona aktif yang terbentuk. Zona pasif digambarkan secara grafis dengan warna biru sedangkan zona aktif dengan warna oranye dan merah. Daerah potensi longsor sudah diketahui dengan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) yang merupakan *output* akhir. Hasil nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,210 yang menandakan bahwa nilai faktor aman (*safety factor*) $< 1,3$ dengan kondisi lereng belum aman kapasitas tahanan lereng hampir sama dengan atau lebih rendah dari gaya yang diterapkan, yang menandakan bahwa lereng tidak stabil dan berpotensi mengalami kelongsoran, oleh karena itu nanti perlu diberi perkuatan geotekstil. Adapun daerah potensi longsor akibat beban lereng timbunan dengan penambahan beban merata atau beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 yang dapat dilihat pada Gambar 5.16 sebagai berikut.



Gambar 5.16 Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas

5.2.3 Perhitungan Nilai Faktor Aman (*Safety Factor*) Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas Menggunakan Metode Fellenius

Tingkat keamanan pada lereng tanpa perkuatan tanah, perhitungan manual digunakan sebagai pembandingan dengan nilai tingkat keamanan (*safety factor*) yang diperoleh dari program PLAXIS V.22. Perhitungan dengan menggunakan metode Fellenius ini menggunakan analisis stabilitas lereng timbunan *eksisting* dengan beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 karena nilai faktor aman (*safety factor*) yang diperoleh analisis stabilitas lereng timbunan dengan beban lalu lintas dengan menggunakan PLAXIS V.22 tidak mencapai standar atau $< 1,3$. Gambaran dari gaya-gaya yang bekerja pada irisan lereng asli terdapat dalam Gambar 5.17, bersama dengan contoh perhitungannya adalah sebagai berikut.



Gambar 5.17 Pemodelan dan Analisis Lereng dengan Metode Fellenius

Bidang longsor terbagi menjadi 10 lapisan, dengan total panjang keseluruhan bidang longsor dalam arah horizontal mencapai 37,102 m, sehingga tiap sisi akan memiliki panjang horizontal dari $37,102 \text{ m} / 10 = 3,7102 \text{ m}$. Adapun proses dari perhitungan stabilitas timbunan lereng tanpa perkuatan menggunakan metode Fellenius secara manual adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan Berat Irisan atau Pias Tanah

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Dibawah ini merupakan perhitungan berat irisan untuk timbunan lereng *eksisting* yang tidak terkena beban lalu lintas.

Contoh pada irisan 10

$$\begin{aligned} W_{10} &= (\gamma \times A_i) \\ &= 18 \times 4,930 \\ &= 88,740 \text{ kN} \end{aligned}$$

Terdapat beban diatas irisan, berikut adalah perhitungan berat irisan menggunakan rumus dibawah ini.

$$W_i = (\gamma \times A_i \times 1) + (q \times L)$$

Nilai q mewakili besarnya beban lalu lintas jalan (kN/m^2), sedangkan nilai L merupakan lebar irisan yang terkena beban (m). Perhitungan berat irisan untuk timbunan lereng *eksisting* dengan beban merata tanpa perkuatan sebagai berikut.

Contoh pada irisan 1:

$$\begin{aligned} W_1 &= (\gamma \times A_i) + (q \times L) \\ &= 18 \times 12,280 + (15 \times 3,70) \\ &= 276,540 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Radian untuk Perhitungan Besar Sudut (α) Sin dan Cos

Perhitungan radian untuk perhitungan besar sudut (α) sin dan cos pada setiap irisan atau pias bidang longsor. Adapun contoh perhitungan besar sudut (α) dan radian sebagai berikut.

$$\text{Rad}_1 = \alpha \times \frac{\pi}{180^\circ}$$

$$= 45^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ}$$

$$= 0,785$$

$$\text{Rad}_{10} = \alpha \times \frac{\pi}{180^\circ}$$

$$= -21^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ}$$

$$= -0,366$$

3. Perhitungan $W_i \times \sin \alpha_i$

Perhitungan dilakukan secara menyeluruh untuk setiap irisan atau pias. Berikut merupakan contoh perhitungan $W_1 \times \sin \alpha_1$ dibawah ini.

Contoh pada irisan 1:

$$\begin{aligned} W_1 \times \sin \alpha_1 &= 276,540 \times \sin (45^\circ) \\ &= 195,543 \text{ kN} \end{aligned}$$

Contoh pada irisan 10:

$$\begin{aligned} W_{10} \times \sin \alpha_1 &= 88,740 \times \sin (-21^\circ) \\ &= -31,802 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. Perhitungan $W_i \times \cos \alpha_i$

Perhitungan dilakukan secara menyeluruh untuk setiap irisan atau pias. Berikut merupakan contoh perhitungan $W_1 \times \cos \alpha_1$ dibawah ini.

Contoh pada irisan 1:

$$\begin{aligned} W_1 \times \cos \alpha_1 &= 276,540 \times \cos (45^\circ) \\ &= 195,543 \text{ kN} \end{aligned}$$

Contoh pada irisan 10:

$$\begin{aligned} W_{10} \times \cos \alpha_1 &= 82,846 \times \cos (-21^\circ) \\ &= 82,846 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan pengukuran geometri timbunan, setelah panjang garis lengkung pada lapisan tanah 1 dari titik A ke titik B adalah 11,37 m, dan dari titik B ke titik C adalah 31,94 m, proses selanjutnya dapat dilakukan, langkah berikutnya melakukan perhitungan nilai ketahanan terhadap kelongsoran yang dihasilkan oleh komponen kohesi di bawah ini.

$$\Sigma c_{iai} = (\text{nilai } c \times \text{panjang AB}) + (\text{nilai } c \times \text{panjang BC})$$

$$= (1 \times 11,37) + (10 \times 31,94)$$

$$= 330,770 \text{ kN}$$

Perhitungan metode Fellenius dengan menggunakan parameter – parameter yang jelas dan proses perhitungan yang benar, metode ini memberikan gambaran untuk menilai resiko kegagalan longsor. Pada perhitungan metode Fellenius ini dengan penambahan beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 dengan cara menghitung lebar yang terkena beban saja (setengah) dan sesuai dengan gambar pada autocad dimana posisi beban lalu lintas yang berada di atasnya masih masuk pada garis kelengkungan potensi longsor pada salah satu sisi yaitu di sisi kanan. Adapun rekapitulasi hasil perhitungan manual tanpa mempertimbangkan beban gempa dengan menggunakan metode Fellenius dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Metode Fellenius

No Pias	Lebar Pias	A	α	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	W_i ($\gamma \times A_i$)	$W_i \cdot \cos \alpha$	$W_i \cdot \sin \alpha$
		m^2	$^\circ$			kN/m		
1	3,70	12,280	45	0,707	0,707	276,540	195,543	195,543
2	3,70	29,090	35	0,574	0,819	579,120	474,387	332,170
3	3,70	33,300	27	0,454	0,891	654,900	583,520	297,318
	3,70	6,440	27	0,454	0,891	152,300	135,522	69,052
4	0,90	8,100	20	0,342	0,940	159,300	149,693	54,484
	0,90	2,740	20	0,342	0,940	54,600	51,307	18,674
	2,80	23,240	20	0,342	0,940	418,320	393,092	143,074
	2,80	10,720	20	0,342	0,940	160,800	151,103	54,997
5	3,70	24,700	13	0,225	0,974	444,600	433,205	100,013
	3,70	17,760	13	0,225	0,974	266,400	259,572	59,927
6	3,70	17,850	6	0,105	0,995	321,300	319,540	33,585
	3,70	19,730	6	0,105	0,995	295,950	294,205	30,935
7	3,70	11,010	1	0,017	1,000	198,180	198,150	3,459
	3,70	19,550	1	0,017	1,000	293,250	293,205	5,119
8	3,70	4,160	-7	-0,122	0,993	74,800	74,322	-9,126

Lanjutan Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Metode Fellenius

No Pias	Lebar Pias	A	α	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	W_i ($\gamma \times A_i$)	$W_i \cdot \cos \alpha$	$W_i \cdot \sin \alpha$
		m ²	°			kN/m		
8	3,70	17,200	-7	-0,122	0,993	258,000	256,077	-31,442
9	3,70	12,520	-14	-0,242	0,970	253,360	218,666	-54,520
10	3,70	4,930	-21	-0,358	0,934	88,740	82,846	-31,802
	Total						4564,079	1271,460

Dengan mempertimbangkan panjang jari-jari dan sudut yang diapit (bertemu), maka panjang garis AB sebesar 11,37 m dan garis BC sebesar 31,94 m.

Langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai faktor aman (*safety factor*).

5. Menghitung nilai faktor aman (*safety factor*)

Nilai faktor aman pada lereng timbunan *eksisting* dengan beban lalu lintas menggunakan perhitungan manual metode Fellenius adalah sebagai berikut.

$$SF = \frac{(\Sigma c_{iai}) + (W \cos \alpha \cdot \tan \phi)}{(W_i \cdot \sin \alpha) + (\text{beban} \times \text{luas})} = \frac{330,770 + 1614,022}{1271,460 + (15 \times 16,600)} = 1,279 < 1,3 \text{ (SNI 8460:2017)}$$

Angka faktor aman (*safety factor*) yang dihasilkan dari perhitungan manual metode Fellenius pada lereng timbunan *eksisting* dengan beban lalu lintas sebesar 1,279 dan menggunakan program PLAXIS V.22 diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) yaitu sebesar 1,210 dengan selisih sebesar 0,069 antara perhitungan manual metode Fellenius dengan analisis program PLAXIS V.22. Hal itu juga menandakan bahwa lereng timbunan dalam keadaan kritis dan rawan terjadi kelongsoran karena nilai faktor aman (*safety factor*) < 1,3.

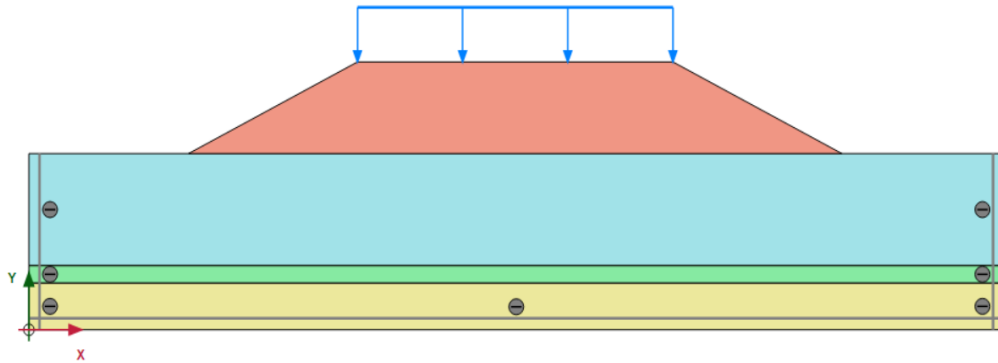
5.2.4 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Menggunakan Program PLAXIS V.22

Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa

1. Pemodelan Geometri Lereng

Pemodelan awal dari lereng timbunan *eksisting* sesuai dengan desain penampang lereng timbunan dan lapisan-lapisan tanahnya dengan tinggi lapisan tanah *dense sand* 11 m, *silt very dense* 1,70 m dan *silt very hard* 4,60 m dengan total 17,30 m. dan lebar total lereng sepanjang 34 m dengan penambahan beban gempa

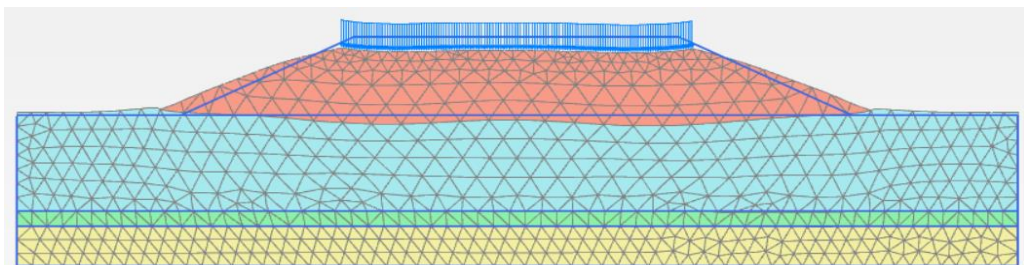
sebesar 0,1969 g. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS V.22 dapat dilihat pada Gambar 5.18 sebagai berikut.



Gambar 5.18 Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa

2. *Deformed Mesh*

Deformed mesh digambarkan dengan bentuk jaringan elemen hingga yang tidak beraturan dan umumnya akan mengalami penurunan akibat dari beban yang bekerja. Berikut hasil dari *deformed mesh* akibat beban gempa sebesar 0,1969 g, yang dapat dilihat pada Gambar 5.19 sebagai berikut.

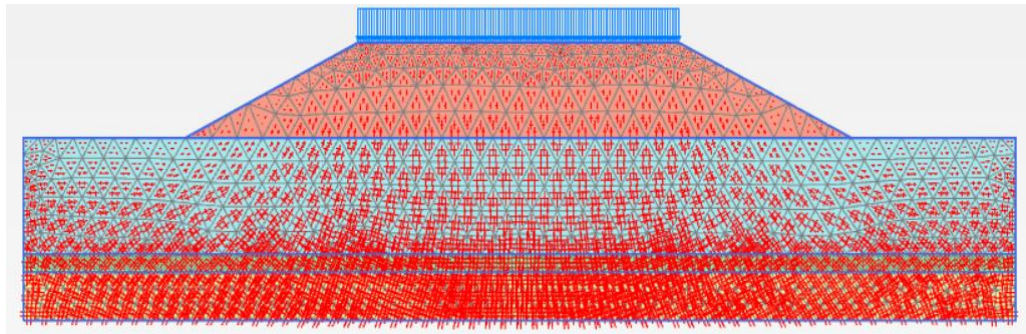


Gambar 5.19 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa

3. *Effective Stress*

Tegangan efektif (*effective stress*) mengacu pada konsep tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan daripada tanah, dengan menggunakan tegangan efektif dalam analisis stabilitas lereng timbunan di PLAXIS, kita dapat memperkirakan bagaimana distribusi tegangan dalam tanah akan berubah seiring dengan penambahan beban dari timbunan. Dari hasil analisis tegangan efektif (*effective stress*), disimpulkan bahwa garis-garis yang menunjukkan arah dan intensitas tegangan efektif cenderung meningkat saat

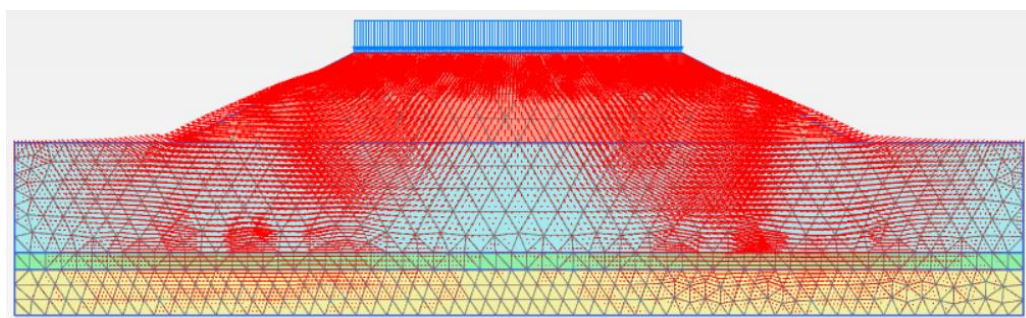
menuju ke bagian bawah, terutama di tengah-tengah timbunan hingga mencapai lapisan dasar tanah. Besar nilai maksimum *effective stress* akibat beban gempa sebesar 0,1969 g, adalah $-545,3 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasil analisis *Effective Stress* dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.20 *Effective Stress* Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa

4. Arah Pergerakan Tanah

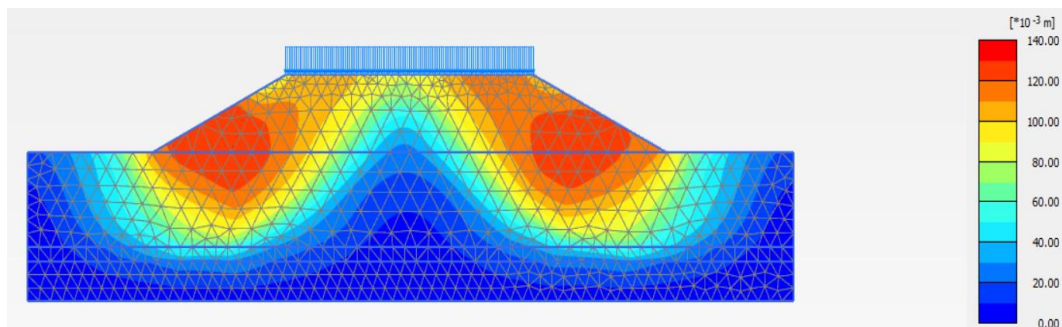
Hasil dari analisis pergerakan tanah akibat lereng timbunan dengan beban gempa menunjukkan bahwa terjadi pergerakan tanah yang dominan bergerak ke arah sebelah kanan dan kiri meskipun ada juga yang bergerak ke arah bawah timbunan. Arah pergerakan tanah ditunjukkan dengan anak panah merah dalam jumlah tertentu, dengan begitu dapat membantu untuk menganalisis stabilitas lereng timbunan secara efektif. Hasil arah pergerakan tanah akibat beban gempa sebesar 0,1969 g dapat dilihat pada Gambar 5.21 sebagai berikut.



Gambar 5.21 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa

5. Total *Displacement*

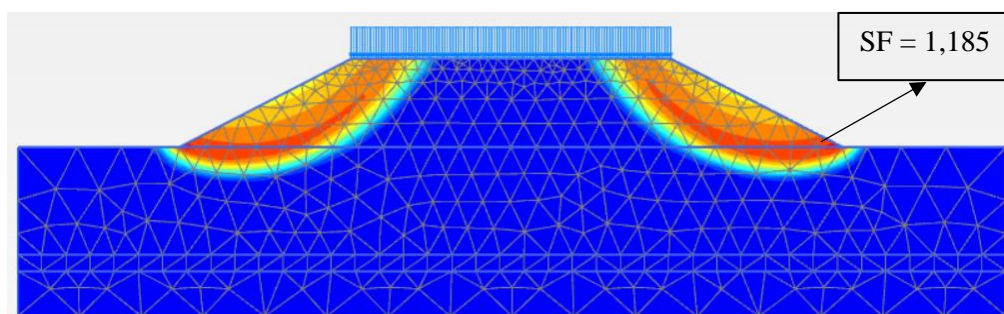
Total *displacement* mengacu pada perpindahan atau pergerakan tanah yang terjadi sebagai respons terhadap beban dan kondisi lingkungan tertentu. Pada lereng tanpa perkuatan tanah, terjadi pergeseran pada lereng kanan dan kiri, namun lebih dominan di bagian kiri karena akibat beban gempa sebesar 0,1969 g. Adapun hasil dari nilai total *displacement* adalah 0,1354 m, yang dapat dilihat pada Gambar 5.22 sebagai berikut.



Gambar 5.22 Total Displacement Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa

6. Daerah Potensi Longsor

Dapat disimpulkan bahwa terdapat zona pasif dan zona aktif yang terbentuk. Zona pasif ditunjukkan secara grafis dengan warna biru sedangkan zona aktif ditunjukkan dengan warna oranye. Daerah potensi longsor sudah diketahui dengan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) yang merupakan output akhir. Hasil nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,185 yang menandakan bahwa nilai faktor aman (*safety factor*) < 1,3 dengan kondisi lereng belum aman atau rentan terhadap longsor. Adapun daerah potensi longsor akibat beban gempa sebesar 0,1969 g yang dapat dilihat pada Gambar 5.23 sebagai berikut.



Gambar 5.23 Daerah Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa

5.2.5 Rekapitulasi Nilai Faktor Aman (*Safety Factor*) Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan

Hasil dari nilai faktor aman (*safety factor*) menunjukkan seberapa jauh kapasitas tahanan lereng timbunan terhadap beban yang bekerja, dengan nilai yang sesuai dengan parameter tanah dan kondisi geometri lereng. Sedangkan total *displacement* merupakan penurunan atau pergeseran yang terjadi pada lereng timbunan yang dapat memberikan gambaran tentang respons yang terjadi terhadap beban yang bekerja. Hasil analisis nilai faktor aman (*safety factor*) beserta nilai total *displacement* akibat beban lereng timbunan *eksisting*, akibat lalu lintas sebesar 15 kN/m², dan akibat beban gempa sebesar 0,1969 g tanpa perkuatan menggunakan program PLAXIS V.22 dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Nilai Faktor Aman (*Safety Factor*) dan Total *Displacement* Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan Menggunakan Program PLAXIS V.22

Analisis Stabilitas Lereng		Nilai Faktor Aman (<i>Safety Factor</i>)	Total <i>Displacement</i> (m)
Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan	Akibat beban lereng timbunan <i>eksisting</i>	1,303	0,1176
	Akibat beban lalu lintas	1,210	0,1275
	Akibat beban gempa	1,185	0,1354

Dapat diketahui hasil rekapitulasi nilai faktor aman (*safety factor*) menggunakan program PLAXIS V.22 akibat beban lereng timbunan dengan beban lalu lintas dan akibat beban lereng timbunan dengan beban gempa belum memenuhi syarat dari nilai faktor aman (*safety factor*) yaitu $< 1,3$ sesuai dengan rekapitulasi hasil nilai angka aman (*safety factor*) tanpa perkuatan, dengan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) yang dapat dilihat pada Tabel 5.2. Hal ini menunjukkan bahwa

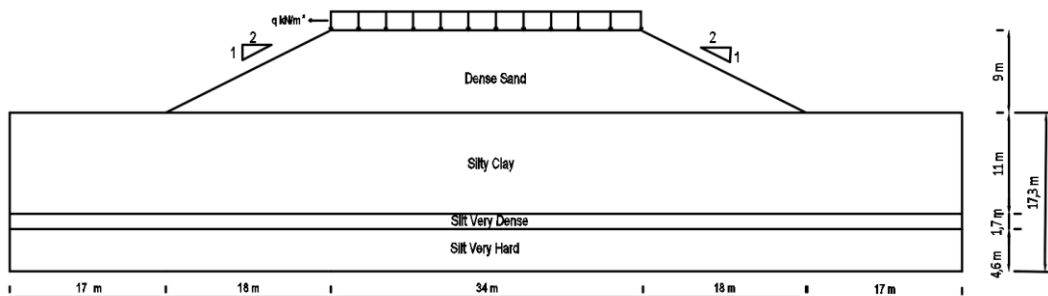
lereng tersebut tidak aman dan memerlukan perkuatan untuk mencegah kemungkinan terjadinya kelongsoran. Oleh karena itu diperlukan perkuatan, perkuatan yang akan digunakan adalah geotekstil, dan perhitungan kebutuhannya akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

5.3 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

Menurut Hardiyatmo (2008), geotekstil adalah bahan lembaran yang terbuat dari polimer tekstil yang memiliki sifat yang memungkinkan air untuk meresapinya dan digunakan dalam berbagai aplikasi rekayasa sipil, seperti dalam kontak dengan tanah atau batu, serta bahan-bahan geoteknik lainnya. Umumnya, geotekstil diproduksi menggunakan *polipropilena* (meskipun beberapa menggunakan *poliester* atau *polietilena*), yang kemudian diolah menjadi serat atau benang, dan kemudian dijadikan kain anyaman (*woven*) atau non-anyaman (*non woven*). Ketika kain tekstil ini ditempatkan di dalam tanah, maka disebut sebagai geotekstil. Salah satu jenis geotekstil yang digunakan adalah tipe geotekstil *woven* UW-250 yang diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul.

Dalam tugas akhir ini, digunakan metode *zone per zone*, di mana lereng tanah timbunan dibagi menjadi dua zona, yaitu zona 1 dan zona 2. Nilai faktor aman (*safety factor*) $> 1,3$, menunjukkan bahwa lereng jarang mengalami longsor atau relatif stabil. Oleh karena itu mengklasifikasikan lereng sebagai stabil, diperlukan nilai batas keamanan selain dari $SF = 1,3$. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS V.22.

Geotekstil nantinya dipasang dengan 3 variasi yaitu memanjang, kanan kiri lereng, dan gabungan antara keduanya. Bentuk bidang longsor terletak pada tanah timbunan, maka geotekstil ditempatkan di atas tanah timbunan dan untuk merencanakan perkuatan lereng dengan geotekstil agar stabil terhadap gaya-gaya yang bekerja, analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal diperlukan. Pembagian zona pada lereng timbunan untuk diberi perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.24 sebagai berikut.



Gambar 5.24 Pembagian Zona Lereng Timbunan

5.4 Perhitungan Kebutuhan Perkuatan Geotekstil

Perhitungan kebutuhan perkuatan geotekstil dilakukan untuk mengetahui jumlah kebutuhan geotekstil yang digunakan hingga geotekstil mampu untuk meningkatkan stabilitas lereng dan mengurangi terjadinya longsor.

5.4.1 Perhitungan Kebutuhan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

1. Parameter Tanah Timbunan

- a. Berat volume tanah (γ_b) = 18 kN/m³
- b. Kohesi (c) = 1 kN/m²
- c. Sudut gesek dalam (ϕ) = 30°

2. Data Geotekstil

- a. Jenis geotekstil = Geotekstil *woven* UW-250
- b. Kuat tarik ultimit (T_u) = 52 kN/m
- c. Kuat tarik izin (T_a) = 26 kN/m

3. Data Beban Merata = 15 kN/m²

4. Koefisien Daya Dukung Tanah

Koefisien daya dukung tanah menggunakan dari koefisien daya dukung Tanah Meyerhof, karena koefisien daya dukung tanah ini berdasarkan pengamatan lapangan dan penelitian empiris. Umumnya koefisien daya dukung Meyerhof digunakan untuk analisis stabilitas lereng timbunan dan pondasi untuk menentukan kemampuan suatu tanah untuk menopang beban yang di atasnya dan menentukan daya dukung tanah yang bergantung pada parameter-parameter tanah. Koefisien daya dukung tanah Meyerhof ditentukan dari nilai sudut geser dalam (ϕ). Adapun data koefisien daya dukung tanah Meyerhof

yang diperoleh dari Departemen pekerjaan Umum (2009) yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

**Tabel 5.3 Koefisien Daya Dukung Tanah Mayerhof
untuk Perhitungan Geotekstil**

ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ
15	11,63	4,34	3,06	24	19,32	9,60	9,44
16	11,63	4,34	3,06	25	20,72	10,66	10,88
17	12,34	4,77	3,53	26	22,25	11,85	12,54
18	13,10	5,26	4,07	27	23,94	13,20	14,47
19	13,93	5,80	4,68	28	25,80	14,72	16,72
20	14,83	6,40	5,39	29	27,86	16,44	19,34
21	15,82	7,07	6,20	30	30,14	18,40	22,40
22	16,88	7,82	7,13	31	32,67	20,63	25,90
23	18,05	8,66	8,20	32	35,49	23,18	30,22

(Sumber: Departement Pekerjaan Umum 2009)

5.4.2 Perhitungan Stabilitas Eksternal

Pada perhitungan stabilitas eksternal bertujuan untuk menentukan jarak arah vertikal minimal pada lapisan geotekstil (S_v) dan panjang total minimum geotekstil (L). Adapun perhitungan untuk menentukan jarak arah vertikal antar lapisan geotekstil (S_v) sebagai berikut.

1. Menentukan Jarak Arah Vertikal antar Lapisan Geotekstil (S_v)

Beban merata atau beban lalu lintas dimasukkan = 15 kN/m^2 , digunakan nilai faktor aman (*safety factor*) = 1,5 dan kohesi (c) = 1 kN/m^2 .

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 \left(45^\circ - \left(\frac{\phi}{2} \right) \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ - \left(\frac{30}{2} \right) \right) \\ &= 0,333 \end{aligned}$$

a. Zona 1

$$\sigma_{hc} 1 = (q \times k_a) + (k_a \times H_1 \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{k_a})$$

$$= (15 \times 0,33) + (0,532 \times 4,5 \times 18) - (2 \times 1 \times \sqrt{0,333})$$

$$= 30,845 \text{ kN/m}^2$$

SF = diambil 1,5

$$Sv\ 1 = \frac{T_a}{\sigma_{hc_1} \times SF} = \frac{26}{30,845 \times 1,5} = 0,562 \text{ m}$$

Dilapangan dipasang Sv 1 = 0,5 m

Banyaknya lapis geotekstil = $(4,5) / (0,5) = 9$

Banyaknya lembar yang diambil = 9 lembar

b. Zona 2

$$\sigma_{hc\ 2} = (k_a \times H_2 \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{k_a})$$

$$= (0,333 \times 9 \times 18) - (2 \times 1 \times \sqrt{0,333})$$

$$= 52,845 \text{ kN/m}^2$$

SF = diambil 1,5

$$Sv\ 2 = \frac{T_a}{\sigma_{hc_2} \times SF} = \frac{26}{52,845 \times 1,5} = 0,328 \text{ m}$$

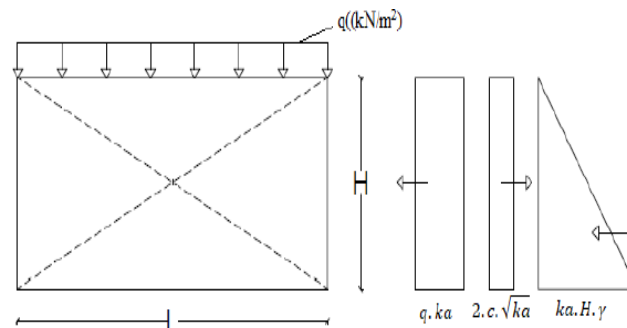
Dilapangan dipasang Sv 2 = 0,5 m

Banyaknya lapis geotekstil = $(4,5) / (0,5) = 9$

Banyaknya lembar yang diambil = 9 lembar

2. Menentukan Panjang Geotekstil Berdasarkan Gaya-Gaya yang Bekerja

Panjang geotekstil yang dibutuhkan berdasarkan perhitungan dengan manual dari stabilitas internal dan eksternal, dimana menyesuaikan dengan gaya-gaya yang bekerja pada analisis stabilitas lereng timbunan seperti gaya tarik, dan gaya geser seperti pada Gambar 5.25 sebagai berikut.



Gambar 5.25 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Tanah Miring

Zona 1 :

a. Eksentrisitas

$$e = \frac{\Sigma MD}{Rv} = \frac{(P_q \times \frac{1}{2} H) + (P_s \times \frac{1}{3} H) - (P_k \times \frac{1}{2} H)}{(H \times \gamma_b \times L) + (q \times L)}$$

Asumsi bahwa resultan gaya yang bekerja pada tera (sentris)

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{(q \times ka \times \frac{1}{2} \times H^2) + (\frac{1}{2} \times Ka \times \gamma_b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H) - (2 \times c \times \sqrt{ka} \times \frac{1}{2} \times H^2)}{(H \times \gamma_b \times L) + (q \times L)}$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{(15 \times 0,333 \times \frac{1}{2} \times 4,5^2) + (\frac{1}{2} \times 0,333 \times 18 \times 4,5^2 \times \frac{1}{3} \times 4,5) - (2 \times 1 \times \sqrt{0,333} \times \frac{1}{2} \times 4,5^2)}{(4,5 \times L) + (15 \times L)}$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{130,059}{96,000 L}$$

$$96,000 L^2 \geq 780,352$$

$$L^2 = \frac{780,352}{96,000}$$

$$L^2 = 8,129$$

$$L = \sqrt{8,129}$$

$$L = 2,851 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil = 3 m

b. Stabilitas Terhadap Guling

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} = \frac{\text{Momen Menahan}}{\text{Momen Mendorong}} \geq 1,5$$

$$\Sigma MD = (q \times ka \times \frac{1}{2} \times H^2) + (\frac{1}{2} \times ka \times \gamma_b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H) - (2 \times c \times \sqrt{ka} \times \frac{1}{2} \times H^2)$$

$$\Sigma MR = 0,5 \times \gamma_b \times H \times L^2$$

$$SF = \frac{0,5 \times 0,333 \times 4,5 \times L^2}{(15 \times 0,333 \times \frac{1}{2} \times 4,5^2) + (\frac{1}{2} \times 0,333 \times 18 \times 4,5^2 \times \frac{1}{3} \times 4,5) - (2 \times 1 \times \sqrt{0,333} \times \frac{1}{2} \times 4,5^2)}$$

$$SF = \frac{40,500 L^2}{130,059}$$

$$L^2 = \frac{(130,059 \times 1,5)}{40,500}$$

$$L = \sqrt{4,817}$$

$$L = 2,195$$

Diambil panjang geotekstil = 3 m

c. Stabilitas Terhadap Geser

$$SF = \frac{(q \times H \times \gamma_b \times \text{tg } \delta_b) + (L \times H \times \gamma_b \times \text{tg } \delta_b \times L)}{(0,5 \times H^2 \times k_a \times \gamma_b) + (q \times k_a \times H) - (2 \times c \times \sqrt{k_a} \times H)}$$

Tahanan geser pada dasar perkuatan $\delta b = 2/3 \times 30^\circ = 20^\circ$

$$SF = \frac{(15 \times \text{tg } 20 \times L) + (L \times 4,5 \times 28 \times \text{tg } 20)}{(0,5 \times 4,5^2 \times 0,333 \times 18) + (15 \times 0,333 \times 4,5) - (2 \times 1 \times \sqrt{0,333} \times 4,5)}$$

$$SF = \frac{39,943 L}{78,053}$$

$$L = \frac{78,053 \times 1,5}{39,943}$$

$$L = 5,351$$

Diambil panjang geotekstil = 5 m

d. Tinjauan Terhadap Kapasitas Daya Dukung Tanah

Digunakan SF = 1,5

$$N_c = 30,14$$

$$N_\gamma = 22,40$$

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \times \gamma_b}$$

$$\begin{aligned} q_{ult} &= c \times N_c + 0,5 \times L \times \gamma_b \times N_\gamma \\ &= 1 \times 30,14 + 0,5 \times L \times 22,40 \\ &= 30,14 + 201,600 L \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \sigma_{ult} &= q_{ult} \times SF \\ &= (30,14 + 201,600 L) \times 1,5 \\ &= 45,21 + 302,400 L \end{aligned}$$

$$L \leq \frac{45,21 + 302,400 L}{4,5 \times 18}$$

$$96,000 \leq 45,21 + 67,552 L$$

$$L = \frac{45,21}{96,000 - 67,552}$$

$$L = -0,219$$

Dari empat jenis perhitungan parameter diatas, diambil panjang geotekstil (L) yang maksimum untuk zona 1 yaitu L = 5 m

Zona 2

a. Eksentrisitas

$$e = \frac{\Sigma MD}{Rv} = \frac{(P_q \times \frac{1}{2} H) + (P_s \times \frac{1}{3} H) - (P_k \times \frac{1}{2} H)}{(H \times \gamma_b \times L) + (q \times L)}$$

Asumsi bahwa resultan gaya yang bekerja pada tera (sentris)

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{(q \times ka \times \frac{1}{2} \times H^2) + (\frac{1}{2} \times Ka \times \gamma_b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H) - (2 \times c \times \sqrt{ka} \times \frac{1}{2} \times H^2)}{(H \times \gamma_b \times L) + (q \times L)}$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{(15 \times 0,333 \times \frac{1}{2} \times 9^2) + (\frac{1}{2} \times 0,333 \times 18 \times 9^2 \times \frac{1}{3} \times 9) - (2 \times 1 \times \sqrt{0,333} \times \frac{1}{2} \times 9^2)}{(9 \times 18 \times L) + (15 \times L)}$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{682,235}{162,000 L}$$

$$162,000 L^2 \geq 4093,408$$

$$L^2 = \frac{4093,408}{162,000}$$

$$L^2 = 25,268$$

$$L = \sqrt{25,268}$$

$$L = 5,027 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil = 6 m

b. Stabilitas Terhadap Guling

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} = \frac{\text{Momen Menahan}}{\text{Momen Mendorong}} \geq 1,5$$

$$\Sigma MD = (q \times ka \times \frac{1}{2} \times H^2) + (\frac{1}{2} \times ka \times \gamma_b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H) - (2 \times c \times \sqrt{ka} \times \frac{1}{2} \times H^2)$$

$$\Sigma MR = 0,5 \times \gamma_b \times H \times L^2$$

$$SF = \frac{0,5 \times 18 \times 9 \times L^2}{(15 \times 0,333 \times \frac{1}{2} \times 9^2) + (\frac{1}{2} \times 0,333 \times 18 \times 9^2 \times \frac{1}{3} \times 9) - (2 \times 1 \times \sqrt{0,333} \times \frac{1}{2} \times 9^2)}$$

$$SF = \frac{682,235 L^2}{81,000}$$

$$L^2 = \frac{(682,235 \times 1,5)}{81,000}$$

$$L = \sqrt{12,634}$$

$$L = 3,554$$

Diambil panjang geotekstil = 4 m

c. Stabilitas Terhadap Geser

$$SF = \frac{(L \times H \times \gamma_b \times \text{tg } \delta_b \times L)}{(0,5 \times H^2 \times ka \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{ka} \times H)}$$

Tahanan geser pada dasar perkuatan $\delta b = 2/3 \times 30^\circ = 20^\circ$

$$SF = \frac{(L \times 4,5 \times 18 \times \text{tg } 20)}{(0,5 \times 9^2 \times 0,333 \times 18) - (2 \times 1 \times \sqrt{0,333} \times 9)}$$

$$SF = \frac{58,963 L}{232,608}$$

$$L = \frac{232,608 \times 1,5}{48,963}$$

$$L = 7,126$$

Diambil panjang geotekstil = 7 m

d. Tinjauan Terhadap Kapasitas Daya Dukung Tanah

Digunakan SF = 1,5

$$N_c = 30,14$$

$$N_\gamma = 22,40$$

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \times \gamma_b}$$

$$\begin{aligned} q_{ult} &= c \times N_c + 0,5 \times L \times \gamma_b \times N_\gamma \\ &= 1 \times 30,14 + 0,5 \times L \times 22,40 \\ &= 30,14 + 201,600 L \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \sigma_{ult} &= q_{ult} \times SF \\ &= (30,14 + 201,600 L) \times 1,5 \\ &= 45,210 + 302,400 L \end{aligned}$$

$$L \leq \frac{45,210 + 302,400 L}{9 \times 18}$$

$$162,000 \leq 45,210 + 201,600 L$$

$$L = \frac{45,210}{162,000 - 201,600}$$

$$L = -0,322 \text{ m}$$

Dari empat jenis perhitungan parameter diatas, diambil panjang geotekstil (L) yang maksimum untuk zona 2 yaitu L = 7 m

5.4.3 Perhitungan Stabilitas Internal

1. Panjang Geotekstil *Overlapping*

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} + Sv_i \times SF}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times tg \varphi}$$

Geotekstil no.1 pada zona 1

$$\sigma_{hc1} = 30,845 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = 1,5$$

$$Sv_1 = 0,5 \text{ m}$$

$$Z_1 = 1 \text{ m}$$

$$L_o = \frac{30,845 + 0,5 \times 1,5}{2 \times 18 \times 1 \times tg 30} = 1,113 \text{ m}$$

Digunakan panjang *overlapping* 2 m.

Adapun rekapitulasi hasil perhitungan L_o tertera pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Panjang Geotekstil *Overlapping*

Zona	Geotekstil	SV i	Z i	Lo	Lo Pakai
		(m)	(m)	(m)	(m)
Zona 1	Geotekstil no 1	0,5	0,5	2,226068	2
	Geotekstil no 2	0,5	1	1,113034	1
	Geotekstil no 3	0,5	1,5	0,742023	1
	Geotekstil no 4	0,5	2	0,556517	1
	Geotekstil no 5	0,5	2,5	0,445214	1
	Geotekstil no 6	0,5	3	0,635630	1
	Geotekstil no 7	0,5	3,5	0,544826	1
	Geotekstil no 8	0,5	4	0,476723	1
	Geotekstil no 9	0,5	4,5	0,423753	1
Zona 2	Geotekstil no 10	0,5	5	0,381378	1
	Geotekstil no 11	0,5	5,5	0,346707	1
	Geotekstil no 12	0,5	6	0,317815	1
	Geotekstil no 13	0,5	6,5	0,293368	1
	Geotekstil no 14	0,5	7	0,272413	1
	Geotekstil no 15	0,5	7,5	0,254252	1
	Geotekstil no 16	0,5	8	0,238361	1
	Geotekstil no 17	0,5	8,5	0,224340	1
	Geotekstil no 18	0,5	9	0,211877	1

2. Panjang Efektif Geotekstil (L_e)

$$Le = \frac{SF + Sv_i \times ka \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times tg \varphi}$$

Geotekstil no. 1 pada Zona 1:

$$Le = \frac{1,5 + 0,5 \times 0,333 \times 18 \times 1}{2 \times 18 \times 1 \times tg 30}$$

$$= 0,216506 \text{ m}$$

Digunakan panjang efektif geotekstil 1 m.

Adapun rekapitulasi hasil perhitungan Le tertera pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil

Zona	Geotekstil	SV i	Z i	Le	Le Pakai
		(m)	(m)	(m)	(m)
Zona 1	Geotekstil no 1	0,5	0,5	0,216506	1
	Geotekstil no 2	0,5	1	0,216506	1
	Geotekstil no 3	0,5	1,5	0,216506	1
	Geotekstil no 4	0,5	2	0,216506	1
	Geotekstil no 5	0,5	2,5	0,216506	1
	Geotekstil no 6	0,5	3	0,216506	1
	Geotekstil no 7	0,5	3,5	0,216506	1
	Geotekstil no 8	0,5	4	0,216506	1
	Geotekstil no 9	0,5	4,5	0,216506	1
Zona 2	Geotekstil no 10	0,5	5	0,216506	1
	Geotekstil no 11	0,5	5,5	0,216506	1
	Geotekstil no 12	0,5	6	0,216506	1
	Geotekstil no 13	0,5	6,5	0,216506	1
	Geotekstil no 14	0,5	7	0,216506	1
	Geotekstil no 15	0,5	7,5	0,216506	1
	Geotekstil no 16	0,5	8	0,216506	1
	Geotekstil no 17	0,5	8,5	0,216506	1
	Geotekstil no 18	0,5	9	0,216506	1

3. Panjang Geotekstil Pada Zona Aktif

$$Lz = (H - Z_i) \times tg \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Geotekstil no. 1 pada zona 1:

$$Lz_1 = (4,5 - 1) \times tg \left(45^\circ - \frac{30}{2} \right)$$

$$= 2,020726 \text{ m}$$

Digunakan panjang efektif geotekstil 3 m.

Adapun rekapitulasi hasil perhitungan L_z tertera pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Panjang Geotekstil Pada Zona Aktif

Zona	Geotekstil	SV i	Z i	Lz	Lz Pakai
		(m)	(m)	(m)	(m)
Zona 1	Geotekstil no 1	0,5	0,5	2,309401	2
	Geotekstil no 2	0,5	1	2,020726	2
	Geotekstil no 3	0,5	1,5	1,732051	2
	Geotekstil no 4	0,5	2	1,443376	1
	Geotekstil no 5	0,5	2,5	1,154701	1
	Geotekstil no 6	0,5	3	3,464102	3
	Geotekstil no 7	0,5	3,5	3,175426	3
	Geotekstil no 8	0,5	4	2,886751	3
	Geotekstil no 9	0,5	4,5	2,598076	3
Zona 2	Geotekstil no 10	0,5	5	2,309401	2
	Geotekstil no 11	0,5	5,5	2,020726	2
	Geotekstil no 12	0,5	6	1,732051	2
	Geotekstil no 13	0,5	6,5	1,443376	1
	Geotekstil no 14	0,5	7	1,154701	1
	Geotekstil no 15	0,5	7,5	0,866025	1
	Geotekstil no 16	0,5	8	0,577350	1
	Geotekstil no 17	0,5	8,5	0,288675	1
	Geotekstil no 18	0,5	9	0	1

4. Panjang Total Geotekstil

$$L \text{ total} = L_o + S_v + L_e + L_z$$

Geotekstil no. 1 pada zona 1:

$$L_1 \text{ total} = 2 + 0,5 + 1 + 3 = 6,5 \text{ m}$$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan panjang total geotekstil yang dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

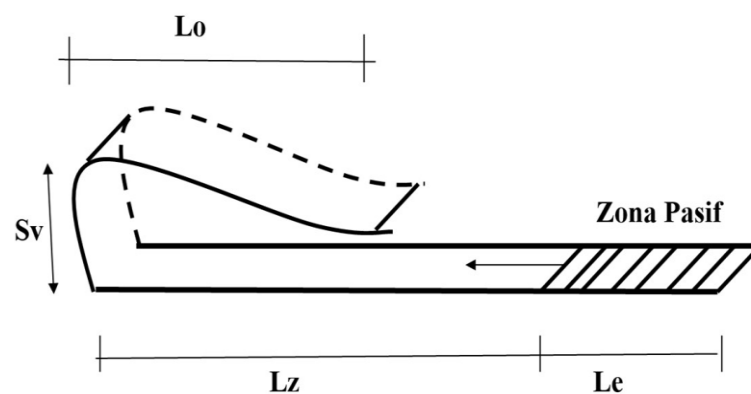
Tabel 5.7 Rekapitulasi Panjang Total Geotekstil

Zona	Geotekstil	L _o	SV i	L _e	L _z	L Total
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Zona 1	Geotekstil no 1	2	0,5	1	2	5,5

Lanjutan Tabel 5.7 Rekapitulasi Panjang Total Geotekstil

Zona	Geotekstil	Lo	SV i	Le	Lz	L Total
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Zona 1	Geotekstil no 2	1	0,5	1	2	4,5
	Geotekstil no 3	1	0,5	1	2	4,5
	Geotekstil no 4	1	0,5	1	1	3,5
	Geotekstil no 5	1	0,5	1	1	3,5
	Geotekstil no 6	1	0,5	1	3	5,5
	Geotekstil no 7	1	0,5	1	3	5,5
	Geotekstil no 8	1	0,5	1	3	5,5
Zona 2	Geotekstil no 9	1	0,5	1	3	5,5
	Geotekstil no 10	2	0,5	1	2	4,5
	Geotekstil no 11	1	0,5	1	2	4,5
	Geotekstil no 12	1	0,5	1	2	4,5
	Geotekstil no 13	1	0,5	1	1	3,5
	Geotekstil no 14	1	0,5	1	1	3,5
	Geotekstil no 15	1	0,5	1	1	3,5
	Geotekstil no 16	1	0,5	1	1	3,5
	Geotekstil no 17	1	0,5	1	1	3,5
Geotekstil no 18	1	0,5	1	1	3,5	

Panjang geotekstil overlapping, jarak antar nap geotekstil, panjang geotekstil pada zona aktif dan zona pasif dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.



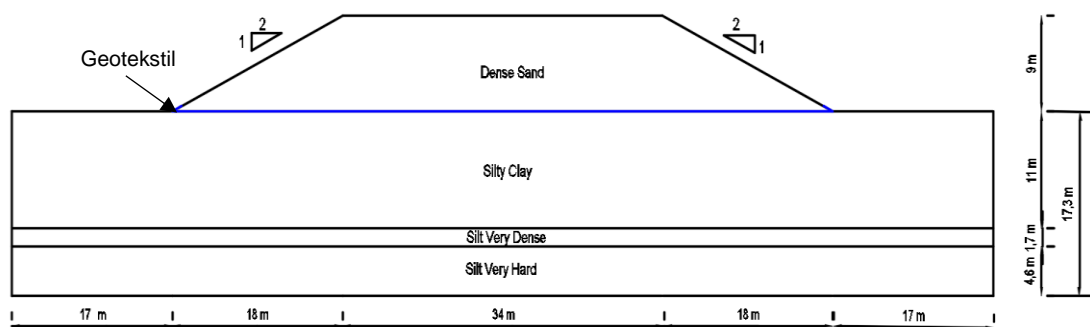
Gambar 5.26 Lembaran Geotekstil

(Sumber: Materi Kuliah Perkuatan Tanah oleh Dr. Edy Purwanto, 2023)

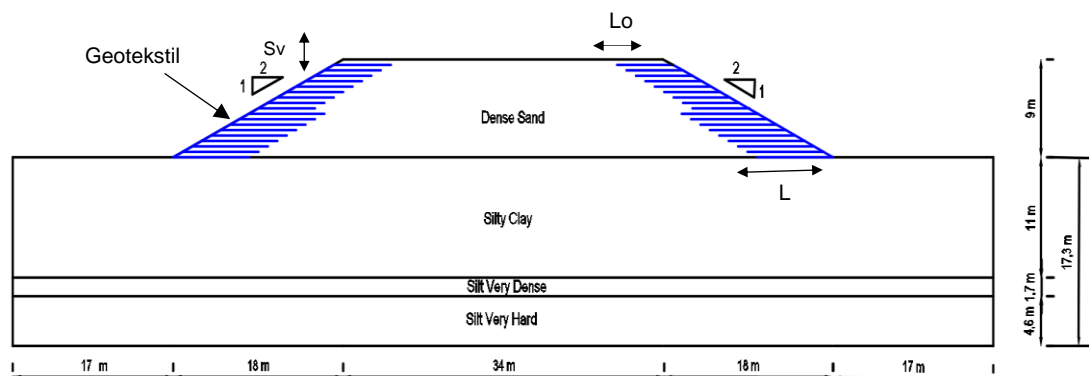
5.4.4 Pemodelan Pemasangan Geotekstil

1. Pemasangan Geotekstil pada Lereng Timbunan *Eksisting*

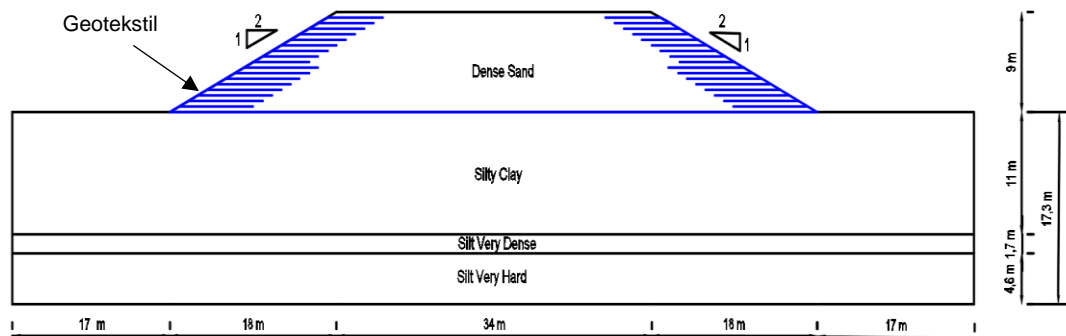
Pemasangan geotekstil pada lereng timbunan *eksisting* sesuai dengan perhitungan manual yang telah dilakukan dimana menggunakan metode *zone* per *zone* pada lereng timbunan untuk memudahkan dalam perhitungan kebutuhan geotekstil, pada zona 1 menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar dan zona 2 juga menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar. Adapun metode pemasangan geotekstil pada lereng timbunan *eksisting* dengan variasi pemasangan 1 lapis antara tanah timbunan dengan tanah dasar dapat dilihat pada Gambar 5.27, Gambar 5.28 pemasangan geotekstil dengan sesuai kebutuhan, dan Gambar 5.29 pemasangan geotekstil sesuai kebutuhan dan dengan variasi pemasangan 1 lapis antara tanah timbunan dan tanah dasar sebagai berikut.



Gambar 5.27 Pemasangan Geotekstil Variasi 1 Lapis pada Lereng Timbunan *Eksisting*



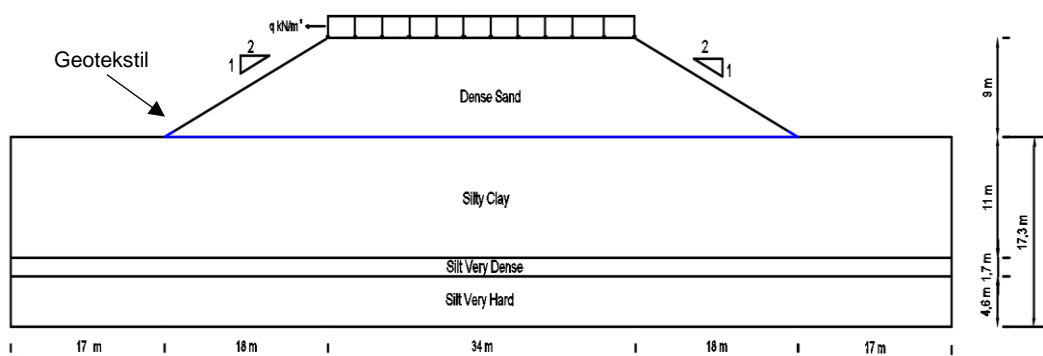
Gambar 5.28 Pemasangan Geotekstil dengan Sesuai Kebutuhan pada Lereng Timbunan *Eksisting*



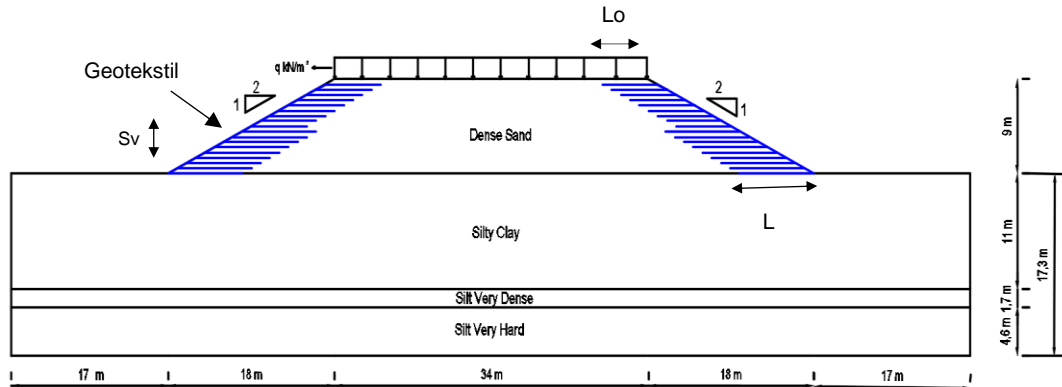
Gambar 5.29 Pemasangan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis pada Lereng Timbunan *Eksisting*

2. Pemasangan Geotekstil pada Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa

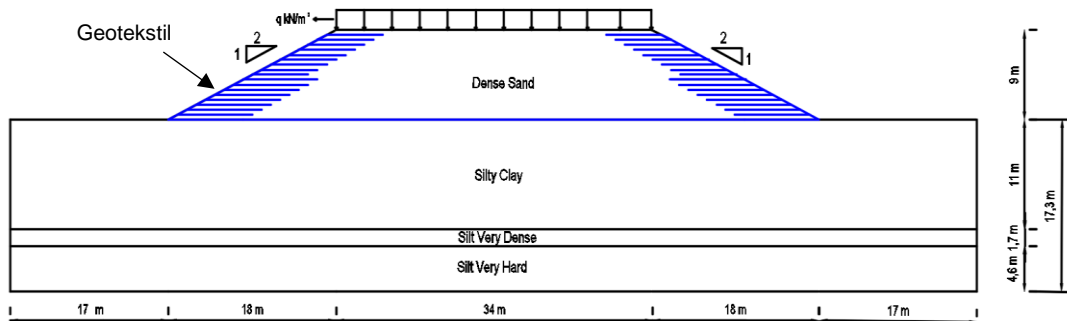
Pemasangan geotekstil pada lereng timbunan dengan beban lalu lintas dan gempa sama dengan pemodelan pemasangan geotekstil pada lereng timbunan *eksisting*. Adapun metode pemasangan geotekstil pada lereng timbunan diberi penambahan beban lalu lintas dan beban gempa dengan variasi 1 lapis antara tanah timbunan dengan tanah dasar dapat dilihat pada Gambar 5.30, Gambar 5.31 dengan pemasangan geotekstil sesuai kebutuhan atau sesuai perhitungan yang telah dilakukan dipasang pada kanan dan kiri lereng timbunan, dan Gambar 5.32 pemasangan geotekstil sesuai kebutuhan dan dengan variasi pemasangan 1 lapis antara tanah timbunan dan tanah dasar sebagai berikut.



Gambar 5.30 Pemasangan Geotekstil Variasi 1 Lapis pada Lereng Timbunan dengan Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa



Gambar 5.31 Pemasangan Geotekstil Sesuai Kebutuhan Lereng Timbunan dengan Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa



Gambar 5.32 Pemasangan Geotekstil Pemasangan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis pada Lereng Timbunan dengan Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa

Kemampuan geotekstil dalam menahan gaya tarik dapat diambil dari nilai S_{vi} yang paling besar yaitu pada zona 1 dan geotekstil no 1.

1. Tegangan geser yang bekerja pada bidang kontak permukaan dinyatakan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\tau_1 &= C_1 + \sigma_1 \times \text{tg}\varphi_1 \\ &= 1 + \left(\frac{1}{2} \times 0,5 \times 18 \times \text{tg} 30\right) \\ &= 3,598 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_2 &= C_2 + \sigma_2 \times \text{tg}\varphi_2 \\ &= 1 + \left(\frac{1}{2} \times 0,5 \times 18 \times \text{tg} 30\right) \\ &= 3,598 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Gaya tarik yang bekerja pada geotekstil

$$\begin{aligned} T &= (\tau_1 + \tau_2) \\ &= (3,598 + 3,598) \\ &= 7,196 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka didapatkan bahwa gaya tarik yang bekerja pada geotekstil adalah sebesar 7,196 kN/m, sedangkan geotekstil yang digunakan memiliki gaya tarik sebesar 52 kN/m. Sehingga geotekstil yang digunakan kuat menahan gaya tarik yang bekerja $52 \text{ kN/m} > 7,196 \text{ kN/m}$ dinyatakan aman.

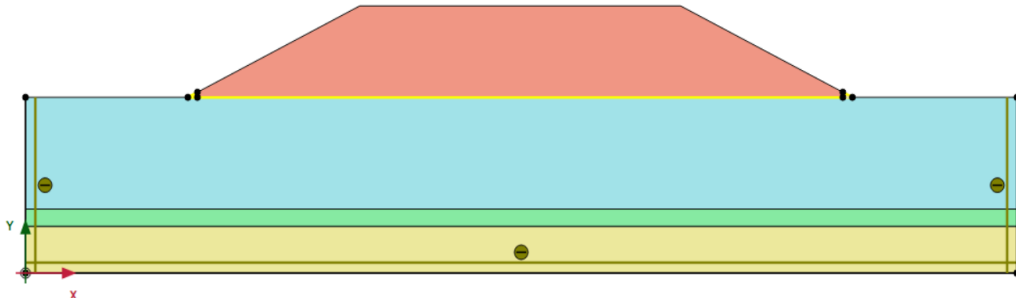
Pada penelitian tugas akhir ini, stabilitas lereng timbunan di Lokasi Sta. 7+500 dianalisis dengan menggunakan perkuatan tanah geotekstil terhadap beban timbunan *eksisting*, beban lalu lintas, dan beban gempa menggunakan program PLAXIS V.22. Proses pemodelan geotekstil pada program PLAXIS V.22 harus mencakup daerah potensi kelongsoran, panjang geotekstil diasumsikan sesuai dengan area yang berpotensi mengalami kelongsoran. Pemodelan lereng dengan perkuatan geotekstil mempertimbangkan hal yang serupa dengan pemodelan lereng tanpa perkuatan geotekstil. Aspek-aspek yang dianalisis dimulai dari pemodelan lereng geometri, *deformed mesh*, *effective stress*, arah pergerakan tanah, total *displacement*, dan daerah potensi longsor.

5.5 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS V.22 Akibat Lereng Timbunan *Eksisting*

5.5.1 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan *Eksisting* dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

1. Pemodelan Geometri Lereng

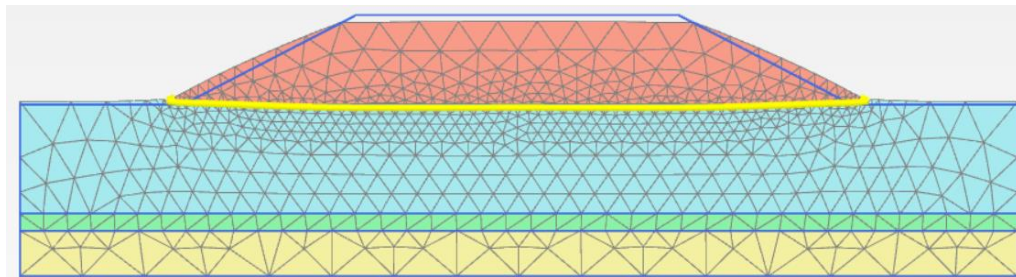
Pemodelan awal dari lereng timbunan *eksisting* dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis dipasang antara lereng timbunan dengan tanah lapisan-lapisannya. Pemodelan geometri lereng perkuatan geotekstil variasi 1 lapis akibat beban sendiri dapat dilihat pada Gambar 5.33 sebagai berikut



Gambar 5.33 *Pemodelan Geometri Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis*

2. *Deformed Mesh*

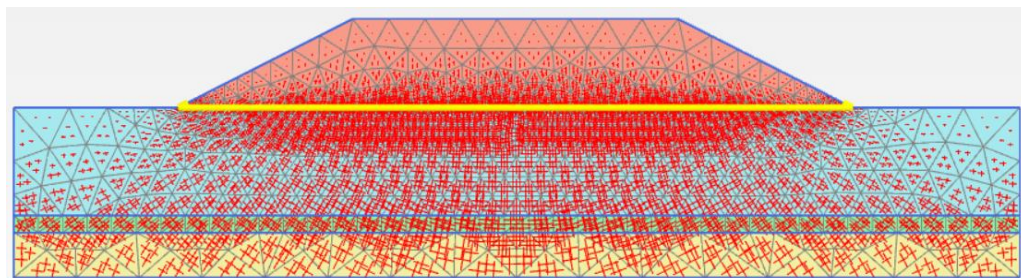
Berikut hasil dari *deformed mesh* akibat beban lereng timbunan *eksisting* dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis yang dapat dilihat pada Gambar 5.34 sebagai berikut.



Gambar 5.34 *Deformed Mesh Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis*

3. *Effective Stress*

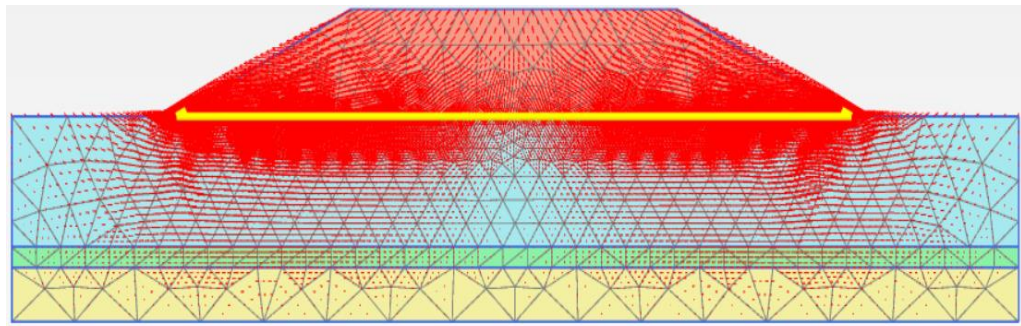
Besar nilai maksimum *effective stress* akibat beban lereng timbunan *eksisting* dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis adalah $-459,1 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasil dari analisis *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.35 sebagai berikut.



Gambar 5.35 *Effective Stress Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis*

4. Arah Pergerakan Tanah

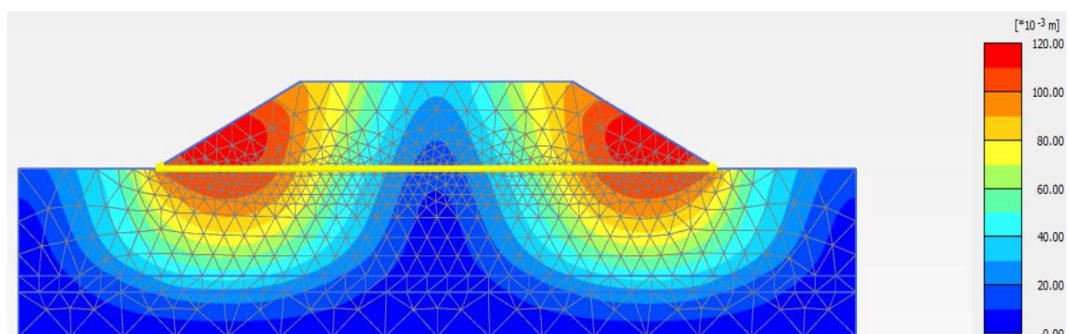
Hasil arah pergerakan tanah akibat beban lereng timbunan *eksisting* beban dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis dapat dilihat pada Gambar 5.36 sebagai berikut.



Gambar 5.36 Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

5. Total Displacement

Total *displacement* akibat beban lereng timbunan *eksisting* dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis, memiliki nilai total *displacement* sebesar 0,1125 m. Adapun hasil dari total *displacement* yang dapat dilihat pada Gambar 5.37 sebagai berikut.

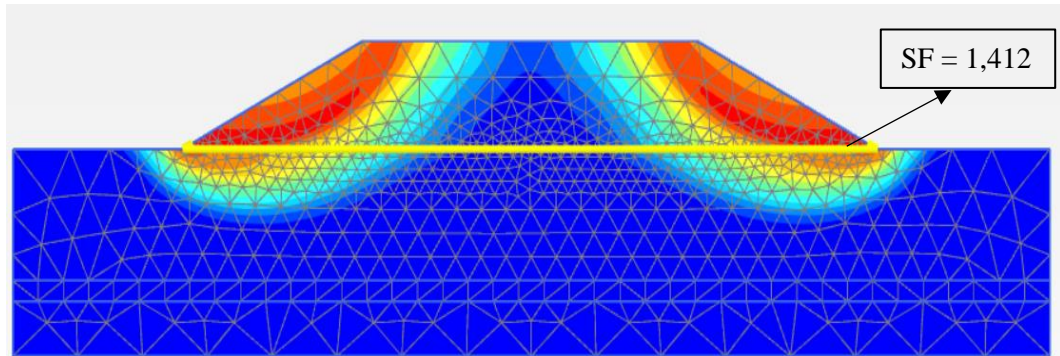


Gambar 5.37 Total Displacement Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

6. Daerah Potensi Longsor

Hasil analisis program PLAXIS V.22 menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah *rotational slides*. Sedangkan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,412 Adapun daerah potensi longsor akibat beban lereng

timbunan *eksisting* dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis, yang dapat dilihat pada Gambar 5.38 sebagai berikut.

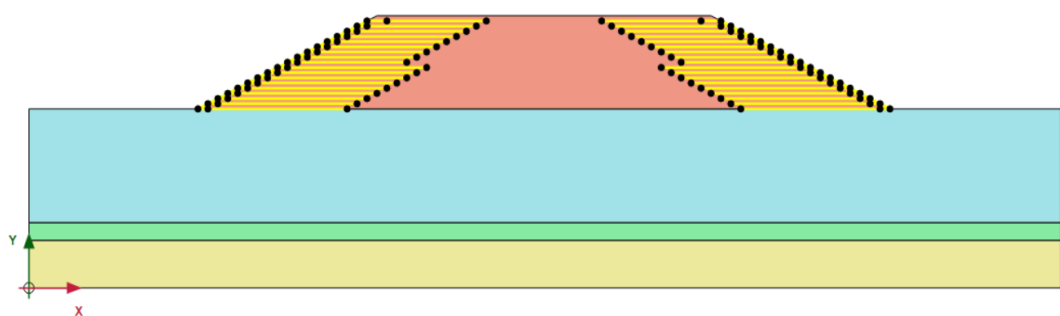


Gambar 5.38 Daerah Potensi Longsor Akibat Beban Lereng Timbunan *Eksisting* dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

5.5.2 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan *Eksisting* dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

1. Pemodelan Geometri Lereng

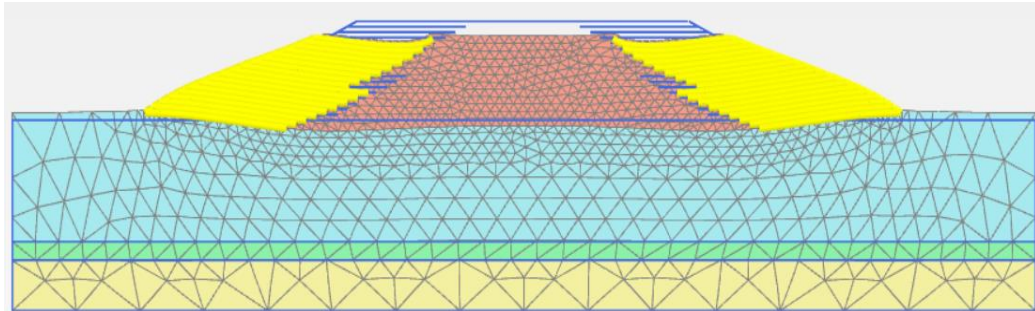
Pemodelan awal dari lereng timbunan *eksisting* dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan pada zona 1 menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar dan zona 2 juga menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar yang dipasang pada kanan kiri lereng. Pemodelan geometri lereng perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dapat dilihat pada Gambar 5.39 sebagai berikut.



Gambar 5.39 Pemodelan Geometri Lereng Akibat Beban Lereng Timbunan *Eksisting* dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

2. *Deformed Mesh*

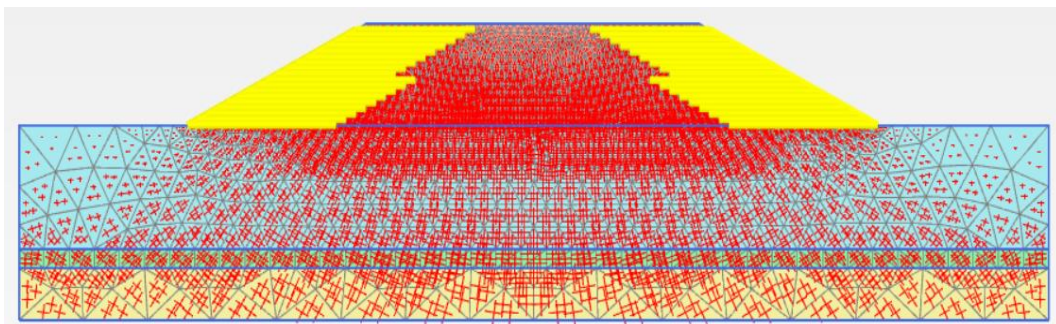
Berikut hasil dari *deformed mesh* akibat beban lereng timbunan *eksisting* dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan yang dapat dilihat pada Gambar 5.40 sebagai berikut.



Gambar 5.40 Deformed Mesh Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

3. *Effective Stress*

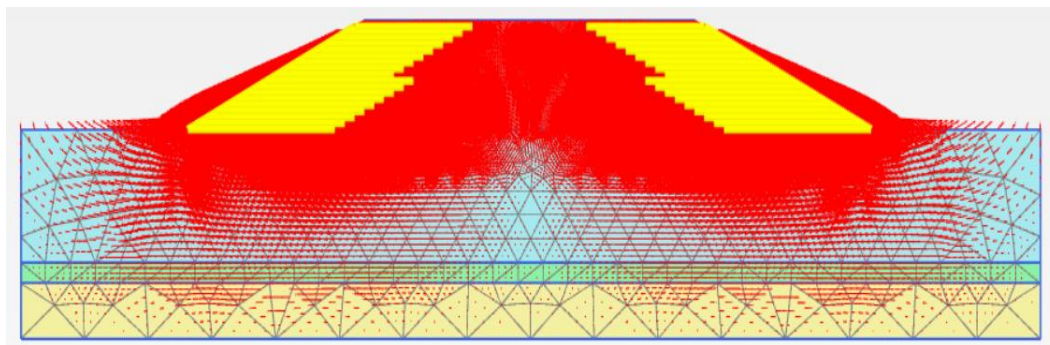
Besar nilai maksimum *effective stress* akibat beban lereng timbunan *eksisting* (akibat beban sendiri) dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan adalah - 457,9 kN/m². Adapun hasil analisis *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.41 sebagai berikut.



Gambar 5.41 Effective Stress Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

4. Arah Pergerakan Tanah

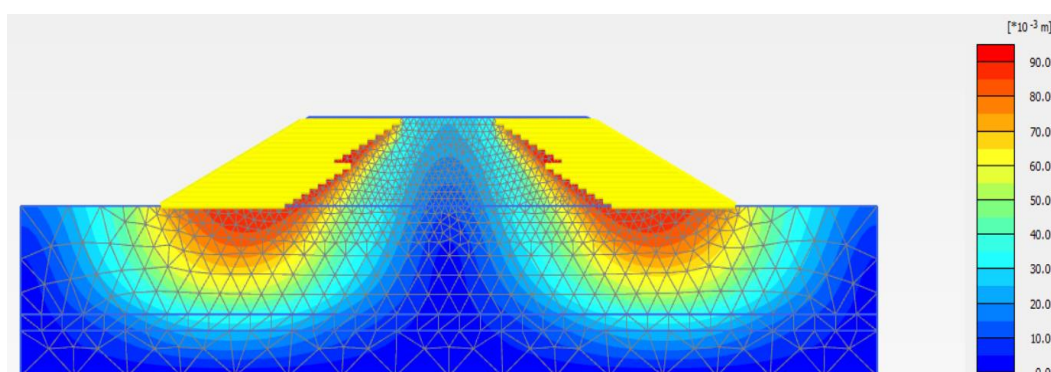
Hasil arah pergerakan tanah akibat beban lereng timbunan *eksisting* dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dapat dilihat pada Gambar 5.42 sebagai berikut.



Gambar 5.42 Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

5. Total Displacement

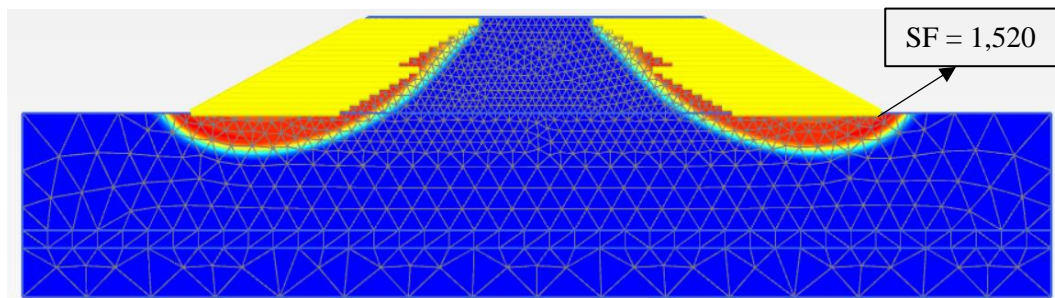
Total *displacement* akibat beban lereng timbunan *eksisting* dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan, memiliki nilai total *displacement* sebesar 0,0941 m. Adapun hasil dari total *displacement* yang dapat dilihat pada Gambar 5.43 sebagai berikut.



Gambar 5.43 Total Displacement Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting) dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

6. Daerah Potensi Longsor

Hasil analisis program PLAXIS V.22 menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah *rotational slides*. Sedangkan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,520. Adapun daerah potensi longsor akibat beban lereng timbunan *eksisting* (akibat beban sendiri) dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan, dapat dilihat pada Gambar 5.44 sebagai berikut.

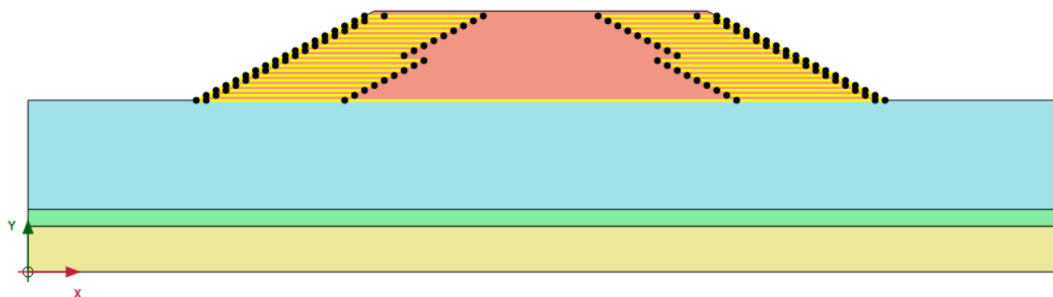


Gambar 5.44 Daerah Potensi Longsor Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

5.5.3 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan *Eksisting* dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

1. Pemodelan Geometri Lereng

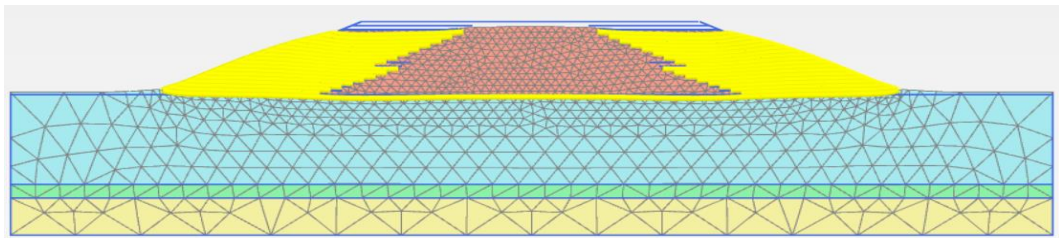
Pemodelan awal dari lereng timbunan *eksisting* dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan pada zona 1 menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar dan zona 2 juga menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar. Sedangkan geotekstil variasi 1 lapis dipasang antara tanah lereng timbunan dengan tanah lapisan-lapisannya. Pemodelan geometri lereng dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis dapat dilihat pada Gambar 5.45 sebagai berikut.



Gambar 5.45 Pemodelan Geometri Lereng Akibat Beban Lereng Timbunan *Eksisting* dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

2. *Deformed Mesh*

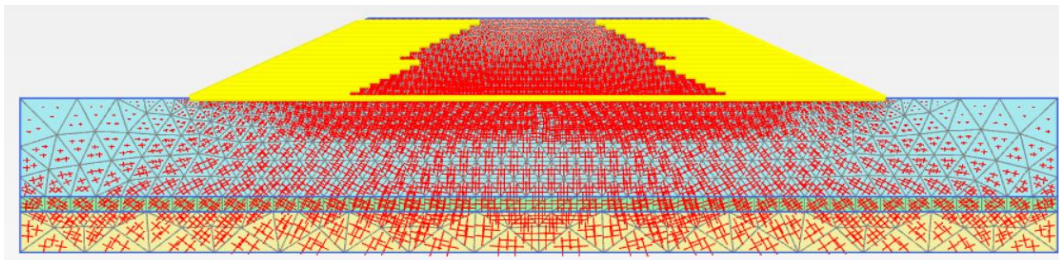
Berikut hasil dari *deformed mesh* akibat beban lereng timbunan *eksisting* dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis yang dapat dilihat pada Gambar 5.46 sebagai berikut.



Gambar 5.46 Deformed Mesh Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

3. *Effective Stress*

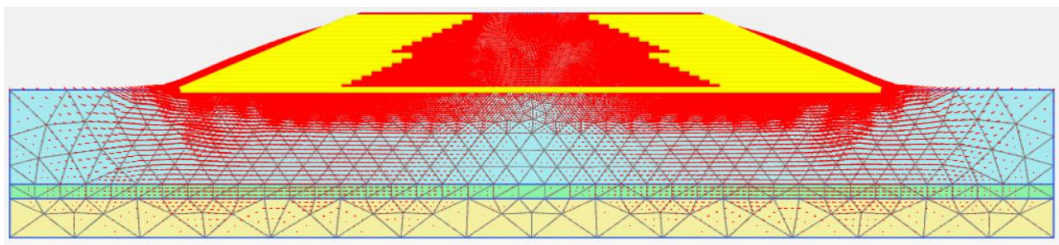
Besar nilai maksimum *effective stress* akibat beban lereng timbunan *eksisting* dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis adalah $-458,4 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasil analisis *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.47 sebagai berikut.



Gambar 5.47 *Effective Stress* Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

4. Arah Pergerakan Tanah

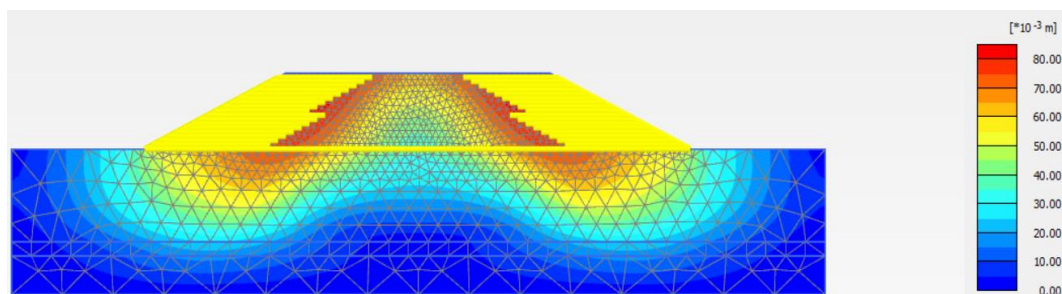
Hasil arah pergerakan tanah akibat beban lereng timbunan *eksisting* dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis yang dapat dilihat pada Gambar 5.48 sebagai berikut.



Gambar 5.48 Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Lereng Timbunan Eksisting dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

5. Total *Displacement*

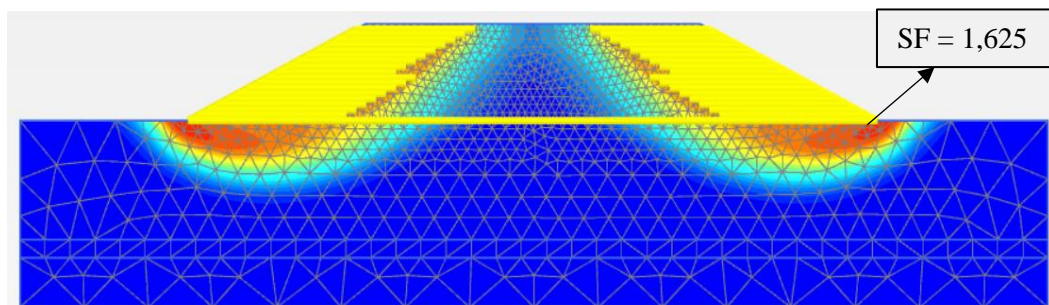
Total *displacement* akibat beban lereng timbunan *eksisting* perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis, memiliki nilai total *displacement* sebesar 0,0832 m. Adapun hasil dari total *displacement* yang dapat dilihat pada Gambar 5.49 sebagai berikut.



Gambar 5.49 Total *Displacement* Akibat Beban Lereng Timbunan *Eksisting* dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

6. Daerah Potensi Longsor

Hasil analisis program PLAXIS V.22 menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah *rotational slides*. Sedangkan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,625. Adapun daerah potensi longsor akibat beban lereng timbunan *eksisting* (akibat beban sendiri) dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis, yang dapat dilihat pada Gambar 5.50 sebagai berikut.



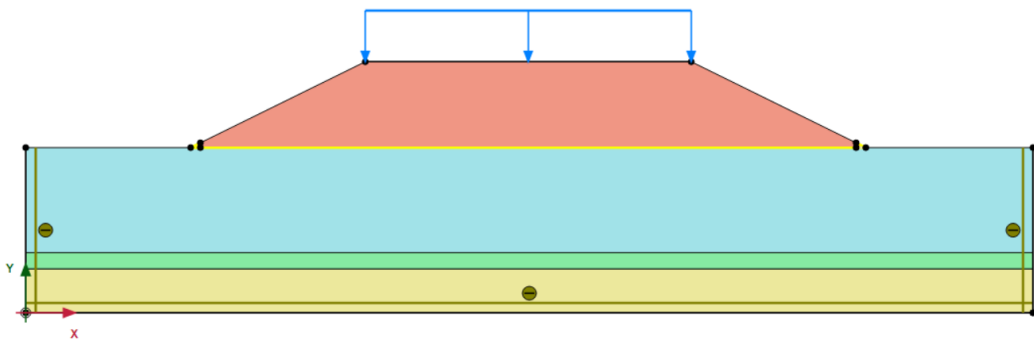
Gambar 5.50 Daerah Potensi Longsor Akibat Beban Lereng Timbunan *Eksisting* dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

5.6 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS versi 22 Akibat Beban Lalu Lintas

5.6.1 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

1. Pemodelan Geometri Lereng

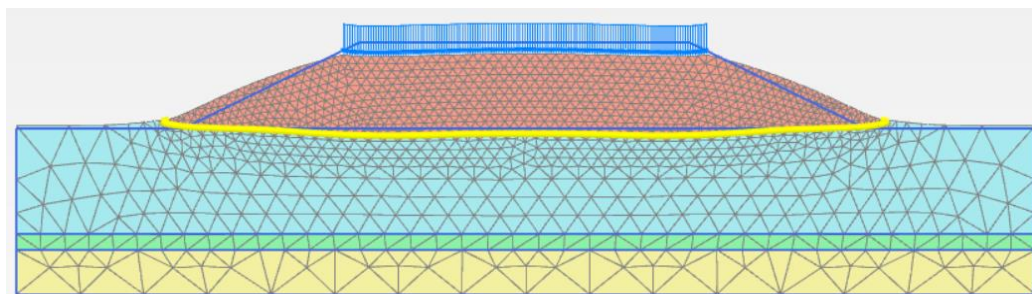
Pemodelan awal dari lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis dipasang antara lereng timbunan dengan tanah lapisan-lapisannya. Pemodelan geometri lereng dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis dengan beban lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 5.51 sebagai berikut.



Gambar 5.51 Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

2. *Deformed Mesh*

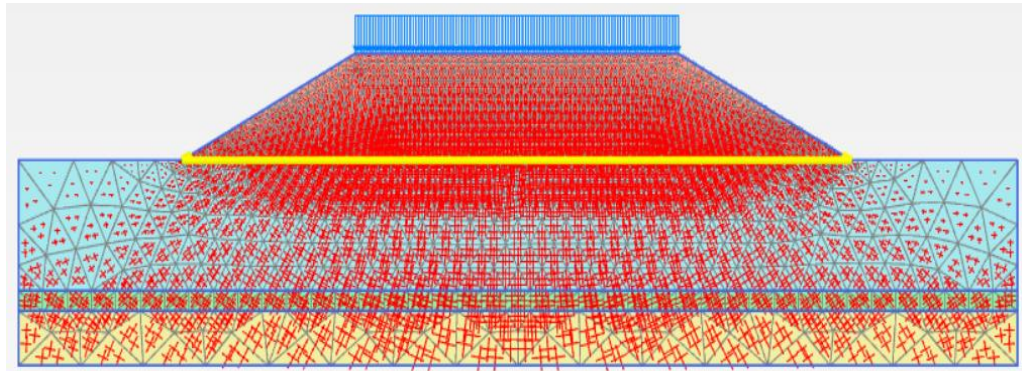
Berikut hasil dari *deformed mesh* lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis yang dapat dilihat pada Gambar 5.52 sebagai berikut.



Gambar 5.52 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

3. *Effective Stress*

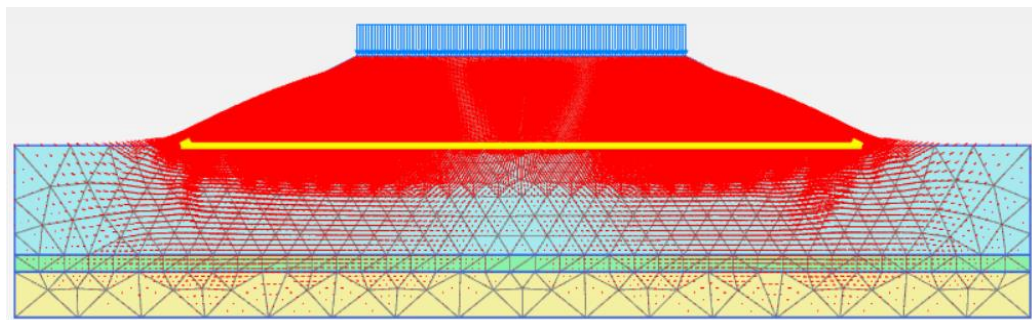
Besar nilai maksimum *effective stress* akibat lereng timbunan dengan beban lalu lintas menggunakan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis adalah $-468,2 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasil analisis *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.53 sebagai berikut.



Gambar 5.53 *Effective Stress* Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

4. Arah Pergerakan Tanah

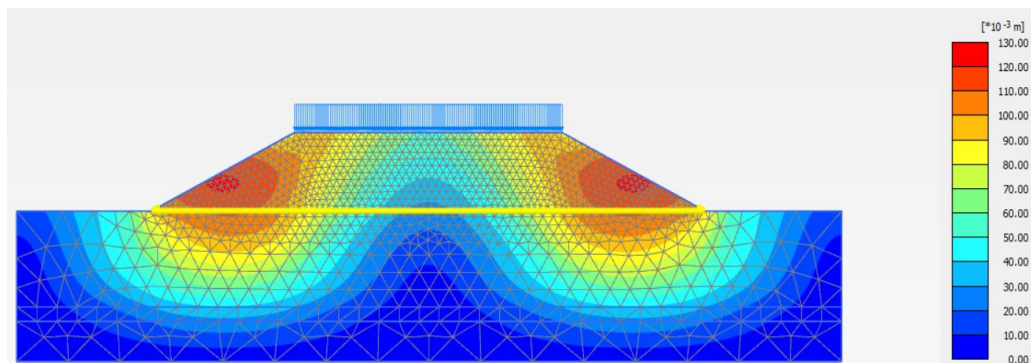
Hasil arah pergerakan tanah lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis dapat dilihat pada Gambar 5.54 sebagai berikut.



Gambar 5.54 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

5. Total *Displacement*

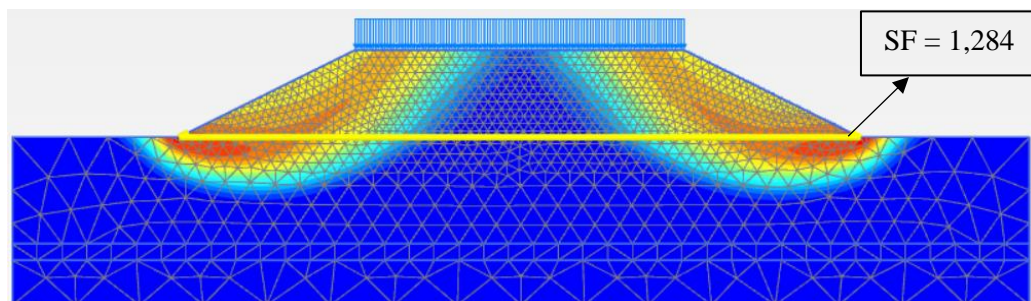
Total *displacement* lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil dan variasi 1 lapis, memiliki nilai total *displacement* sebesar $0,1218 \text{ m}$. Adapun hasil dari total *displacement* yang dapat dilihat pada Gambar 5.55 sebagai berikut.



Gambar 5.55 Total Displacement Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

6. Daerah Potensi Longsor

Hasil analisis program PLAXIS V.22 menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah *rotational slides*. Sedangkan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,284. Adapun daerah potensi longsor lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis, yang dapat dilihat pada Gambar 5.56 sebagai berikut.

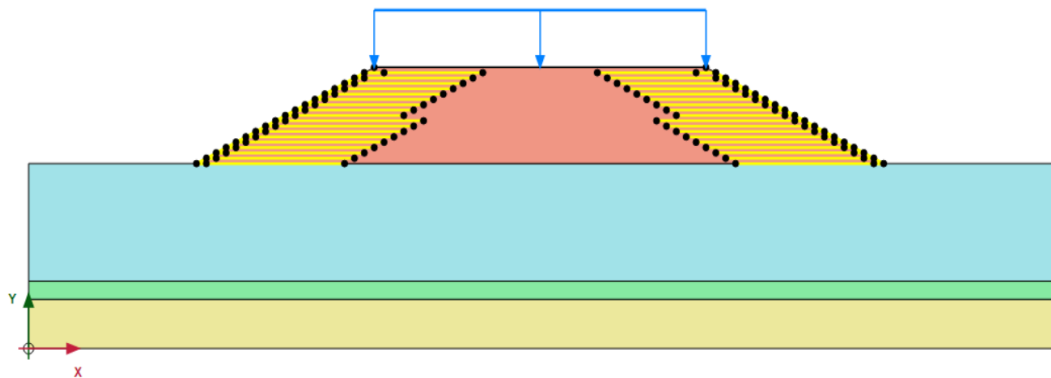


Gambar 5.56 Daerah Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

5.6.2 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

1. Pemodelan Geometri Lereng

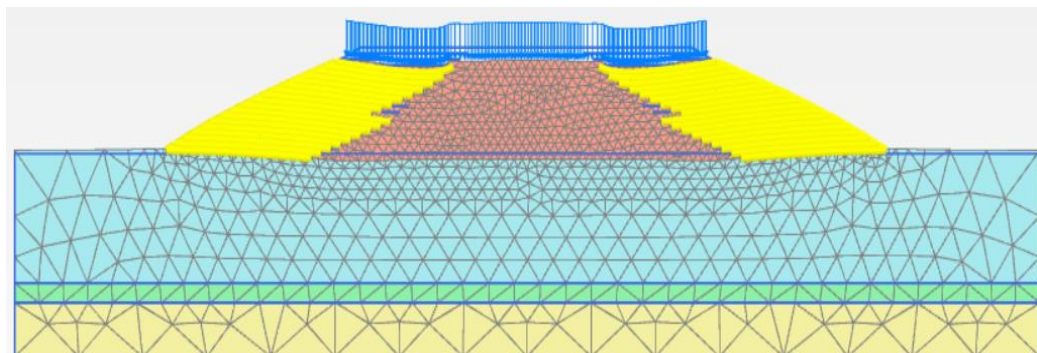
Pemodelan awal dari lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan pada zona 1 menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar dan zona 2 juga menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar yang dapat dilihat pada Gambar 5.57 sebagai berikut.



Gambar 5.57 Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

2. *Deformed Mesh*

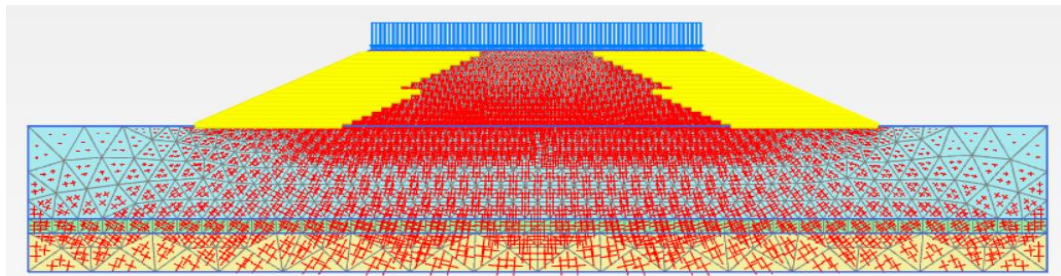
Berikut hasil dari *deformed mesh* lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan yang dapat dilihat pada Gambar 5.58 sebagai berikut.



Gambar 5.58 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

3. *Effective Stress*

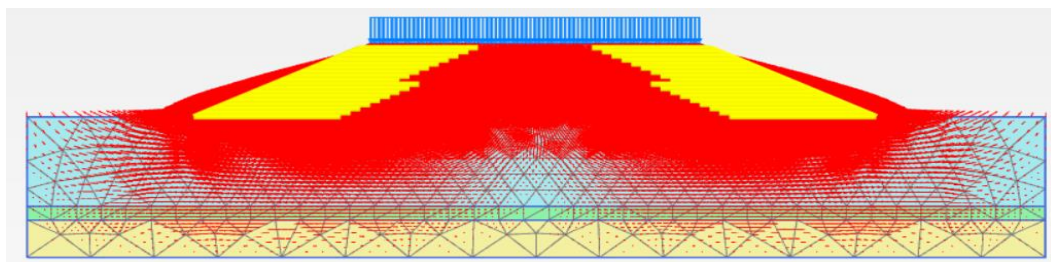
Besar nilai maksimum *effective stress* lereng timbunan akibat beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan adalah $-469,9 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasil analisis *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.59 sebagai berikut.



Gambar 5.59 *Effective Stress* Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

4. Arah Pergerakan Tanah

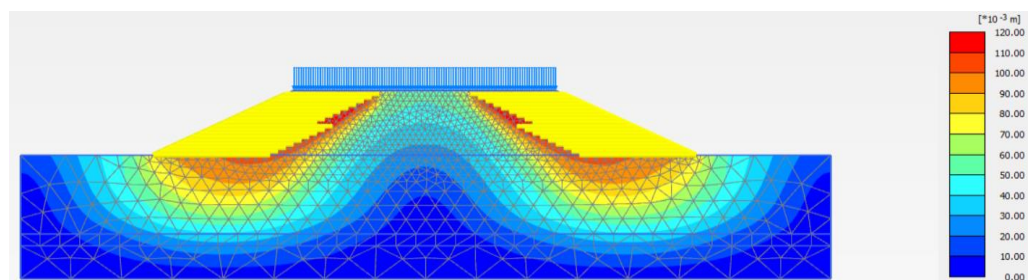
Hasil arah pergerakan tanah lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dapat dilihat pada Gambar 5.60 sebagai berikut.



Gambar 5.60 Arah Pergerakan Lereng Timbunan Tanah Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

5. Total *Displacement*

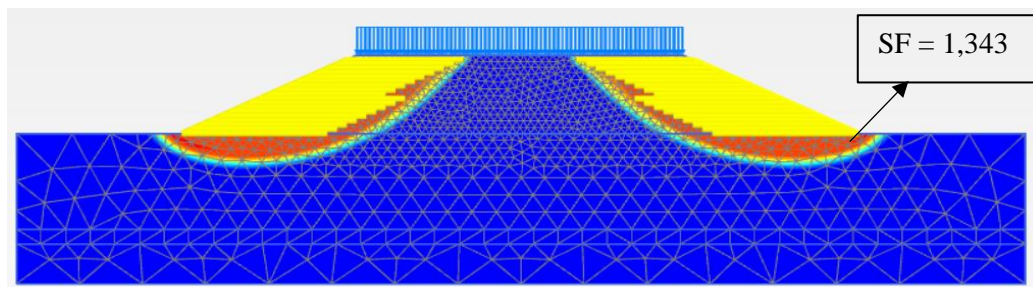
Total *displacement* lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan, memiliki nilai total *displacement* sebesar 0,1156 m. Adapun hasil dari total *displacement* yang dapat dilihat pada Gambar 5.61 sebagai berikut.



Gambar 5.61 Total *Displacement* Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

6. Daerah Potensi Longsor

Hasil analisis program PLAXIS V.22 menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah *rotational slides*. Sedangkan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,343. Adapun daerah potensi longsor lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan, yang dapat dilihat pada Gambar 5.62 sebagai berikut.

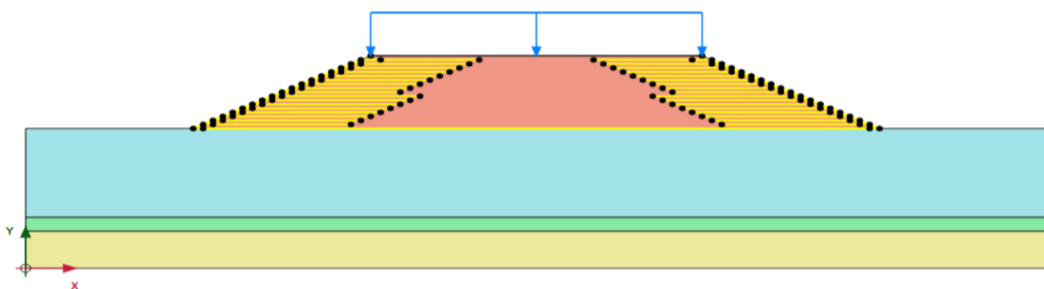


Gambar 5.62 Daerah Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

5.6.3 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

1. Pemodelan Geometri Lereng

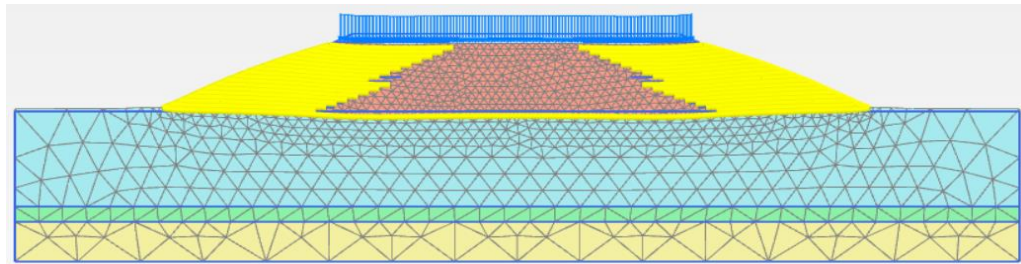
Pemodelan awal dari lereng timbunan akibat beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan pada zona 1 menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar dan zona 2 juga menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar. Sedangkan geotekstil variasi 1 lapis dipasang antara tanah lereng timbunan dengan tanah lapisan-lapisannya yang berada dibawahnya. Pemodelan geometri lereng dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis dengan beban lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 5.63 sebagai berikut.



Gambar 5.63 Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

2. *Deformed Mesh*

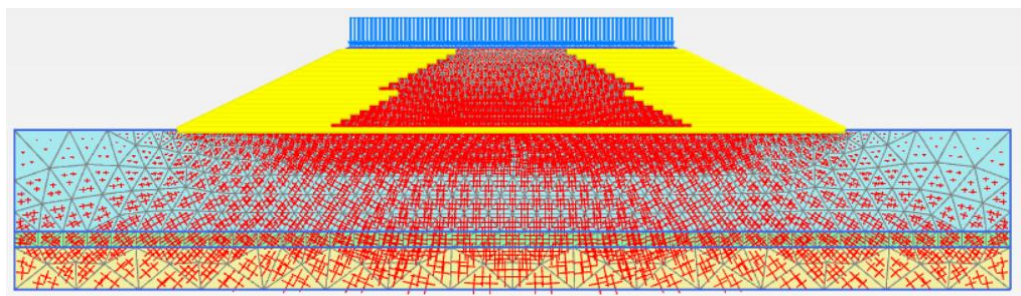
Berikut hasil dari *deformed mesh* akibat lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis yang dapat dilihat pada Gambar 5.64 sebagai berikut.



Gambar 5.64 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

3. *Effective Stress*

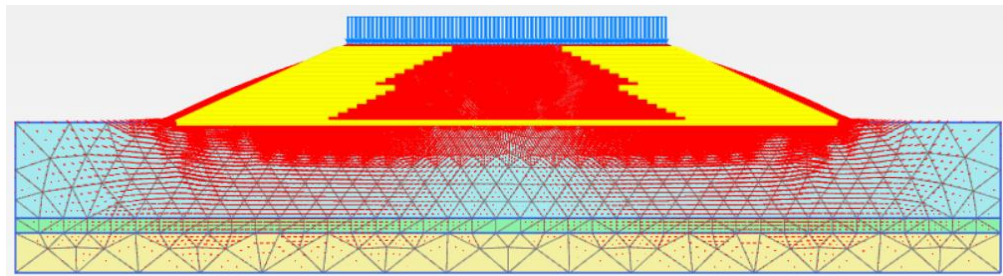
Besar nilai maksimum *effective stress* lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis adalah $-466,0 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasil analisis *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.65 sebagai berikut.



Gambar 5.65 *Effective Stress* Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

4. Arah Pergerakan Tanah

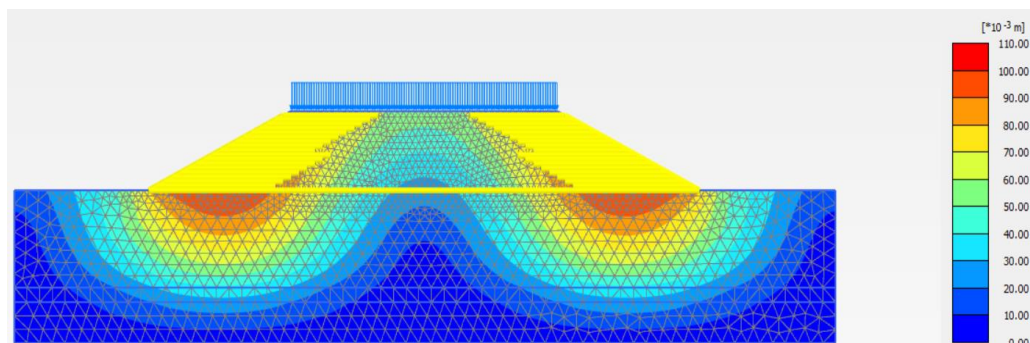
Hasil arah pergerakan tanah lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis dapat dilihat pada Gambar 5.66 sebagai berikut.



Gambar 5.66 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

5. Total *Displacement*

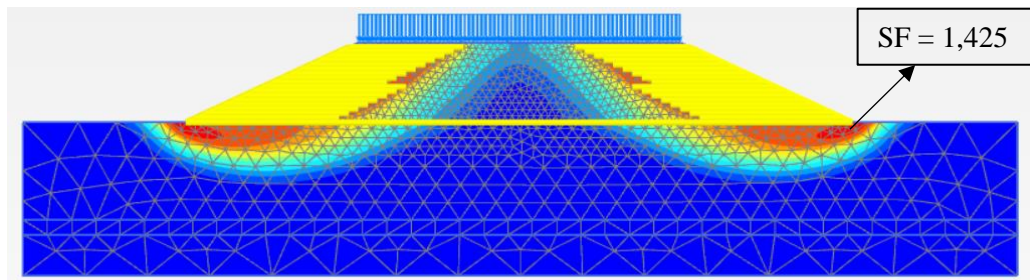
Total *displacement* lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis, memiliki nilai total *displacement* sebesar 0,1048 m. Adapun hasil dari total *displacement* yang dapat dilihat pada Gambar 5.67 sebagai berikut.



Gambar 5.67 Total *Displacement* Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

6. Daerah Potensi Longsor

Hasil analisis program PLAXIS V.22 menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah *rotational slides*. Sedangkan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,425. Adapun daerah potensi longsor lereng timbunan akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis, yang dapat dilihat pada Gambar 5.68 sebagai berikut.



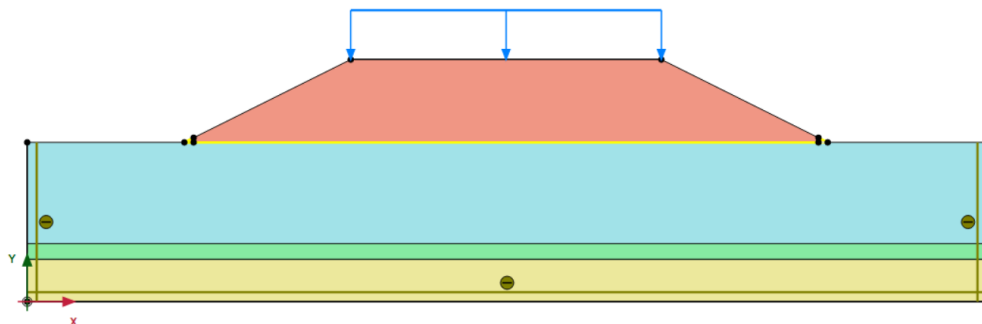
Gambar 5.68 Daerah Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Beban Lalu Lintas dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

5.7 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS versi 22 Akibat Beban Lalu Gempa

5.7.1 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

1. Pemodelan Geometri Lereng

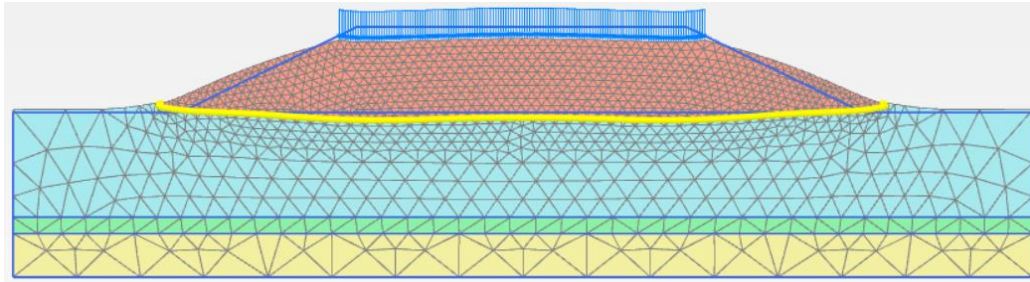
Pemodelan awal dari lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis dipasang antara lereng timbunan dengan tanah lapisan-lapisannya. Pemodelan geometri lereng dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.69 sebagai berikut.



Gambar 5.69 Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

2. *Deformed Mesh*

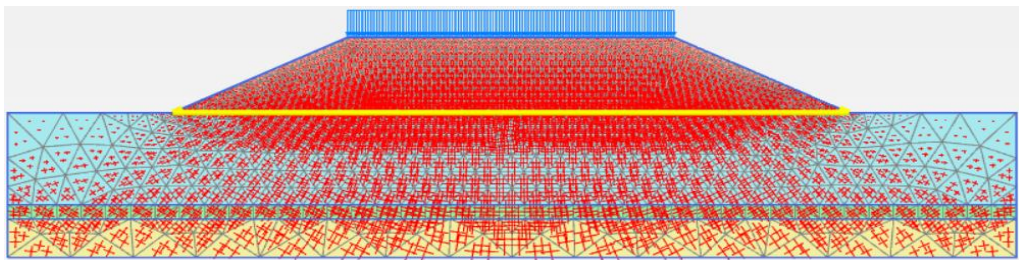
Berikut hasil dari *deformed mesh* lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis yang dapat dilihat pada Gambar 5.70 sebagai berikut.



Gambar 5.70 Deformed Mesh Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

3. *Effective Stress*

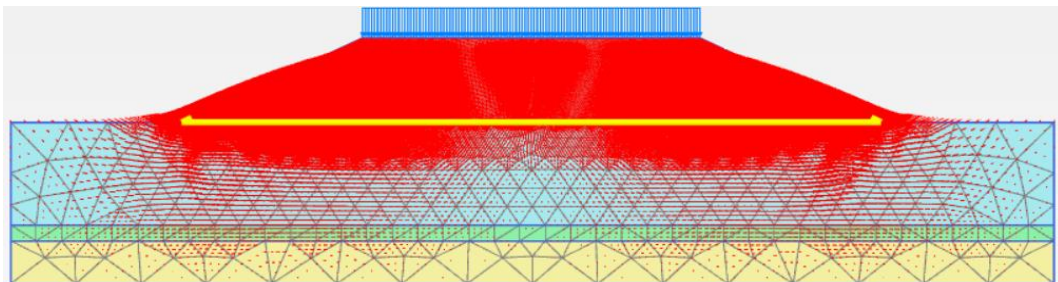
Besar nilai maksimum *effective stress* lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis adalah $-468,2 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasil analisis *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.71 sebagai berikut.



Gambar 5.71 Effective Stress Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

4. Arah Pergerakan Tanah

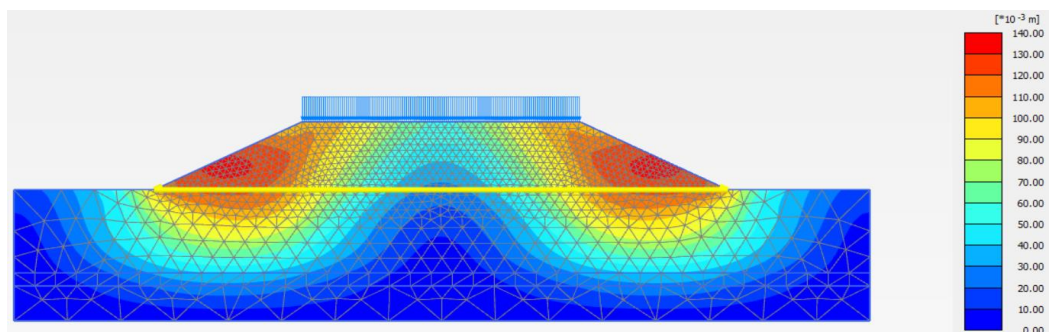
Hasil arah pergerakan tanah lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis dapat dilihat pada Gambar 5.72 sebagai berikut.



Gambar 5.72 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

5. Total *Displacement*

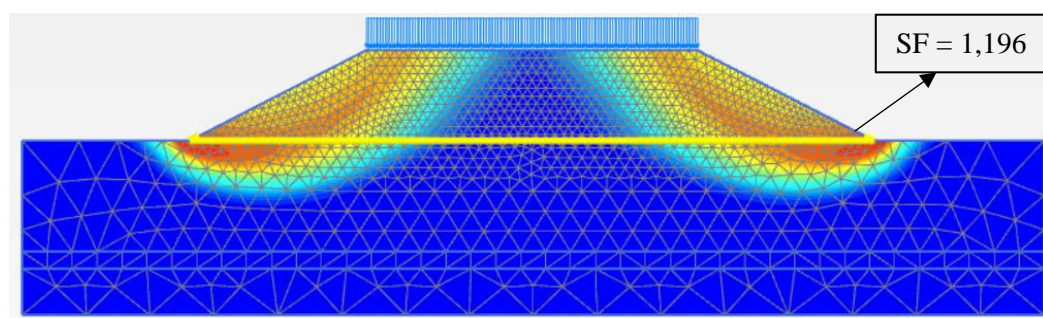
Total *displacement* lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis, memiliki nilai total *displacement* sebesar 0,1325 m. Adapun hasil dari total *displacement* yang dapat dilihat pada Gambar 5.73 sebagai berikut.



Gambar 5.73 Total *Displacement* Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

6. Daerah Potensi Longsor

Hasil analisis program PLAXIS V.22 menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah *rotational slides*. Sedangkan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,196. Adapun daerah potensi longsor lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis, yang dapat dilihat pada Gambar 5.74 sebagai berikut.

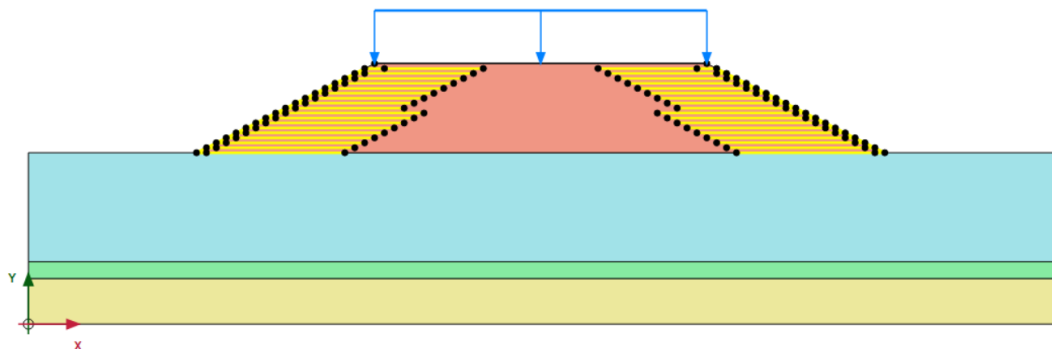


Gambar 5.74 Daerah Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis

5.7.2 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

1. Pemodelan Geometri Lereng

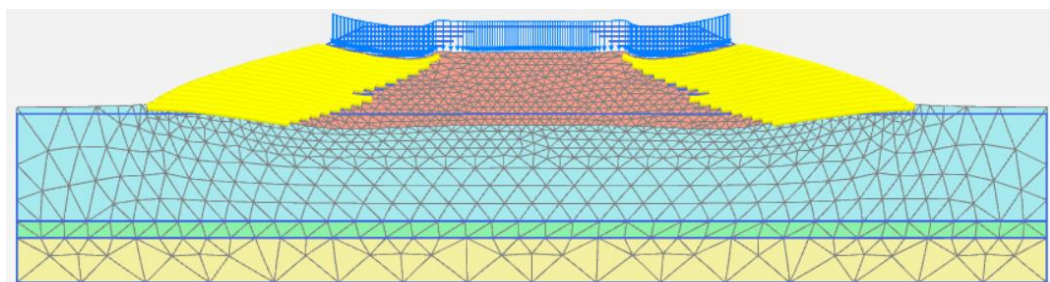
Pemodelan awal dari lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan pada zona 1 menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar dan zona 2 juga menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar. Pemodelan geometri lereng dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dapat dilihat pada Gambar 5.75 sebagai berikut.



Gambar 5.75 Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

2. *Deformed Mesh*

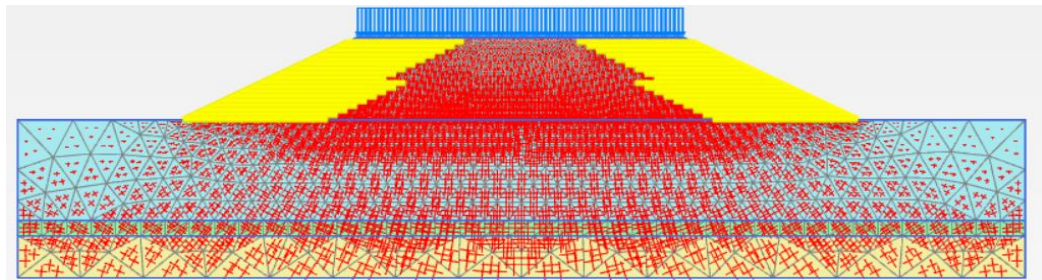
Berikut hasil dari *deformed mesh* lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan yang dapat dilihat pada Gambar 5.76 sebagai berikut.



Gambar 5.76 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

3. *Effective Stress*

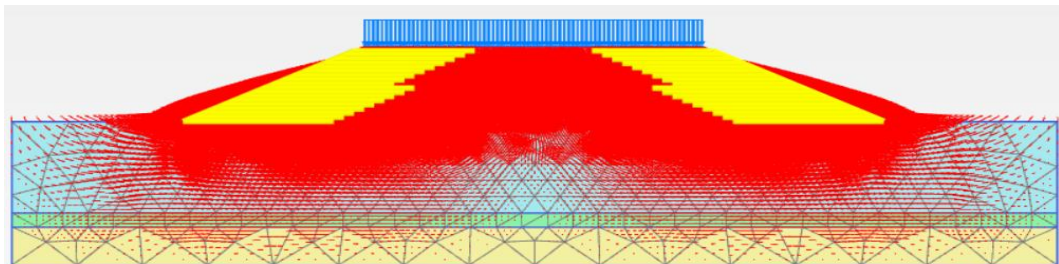
Besar nilai maksimum *effective stress* lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan adalah $-472,8 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasil analisis *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.77 sebagai berikut.



Gambar 5.77 Effective Stress Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

4. Arah Pergerakan Tanah

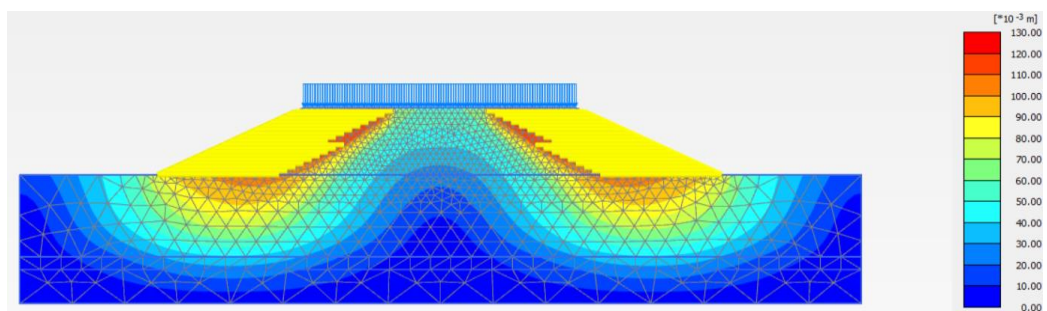
Hasil arah pergerakan tanah lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dapat dilihat pada Gambar 5.78 sebagai berikut.



Gambar 5.78 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

5. Total Displacement

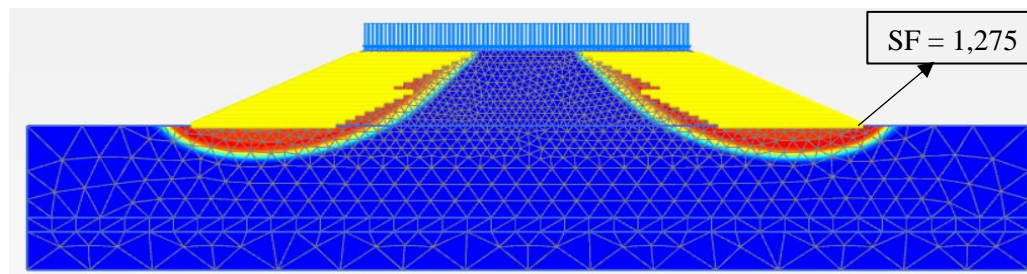
Total *displacement* lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan, memiliki nilai total *displacement* sebesar 0,1220 m. Adapun hasil dari total *displacement* yang dapat dilihat pada Gambar 5.79 sebagai berikut.



Gambar 5.79 Total Displacement Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

6. Daerah Potensi Longsor

Hasil analisis program PLAXIS V.22 menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah *rotational slides*. Sedangkan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,275. Adapun daerah potensi longsor lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan, yang dapat dilihat pada Gambar 5.80 sebagai berikut.

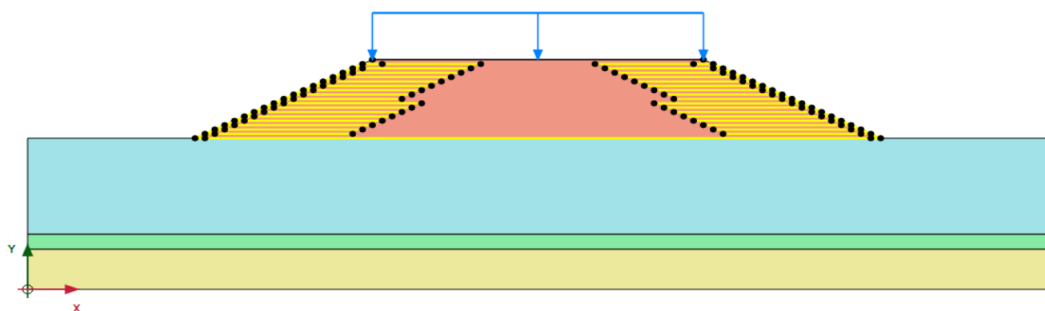


Gambar 5.80 Daerah Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

5.7.3 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

1. Pemodelan Geometri Lereng

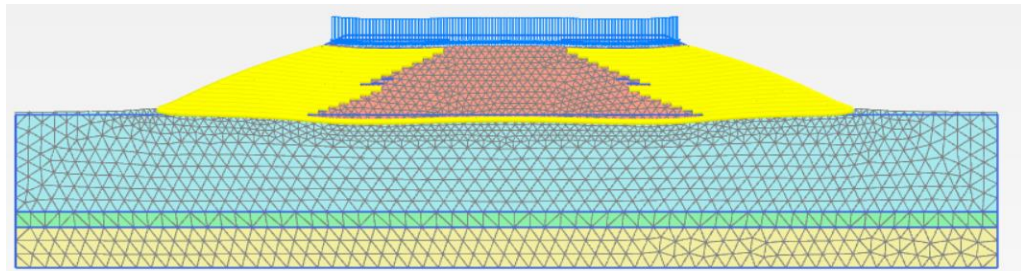
Pemodelan awal dari lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan pada zona 1 menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar dan zona 2 juga menggunakan geotekstil sebanyak 9 lembar. Sedangkan geotekstil variasi 1 lapis dipasang antara tanah lereng timbunan dengan tanah lapisan-lapisannya. Pemodelan geometri lereng perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis dengan beban lalu lintas dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.81 sebagai berikut.



Gambar 5.81 Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

2. *Deformed Mesh*

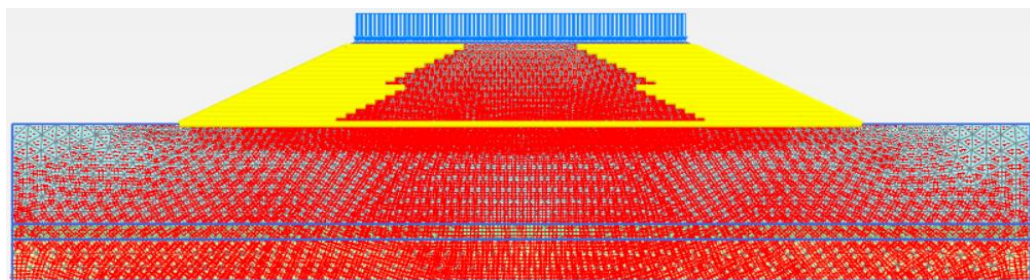
Berikut hasil dari *deformed mesh* lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis yang dapat dilihat pada Gambar 5.82 sebagai berikut.



Gambar 5.82 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

3. *Effective Stress*

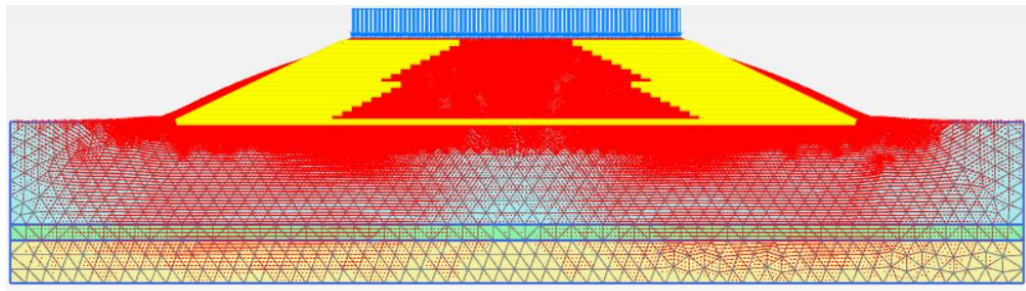
Besar nilai maksimum *effective stress* lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil gabungan antara sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis adalah $-467,6 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasil analisis *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.83 sebagai berikut.



Gambar 5.83 *Effective Stress* Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

4. Arah Pergerakan Tanah

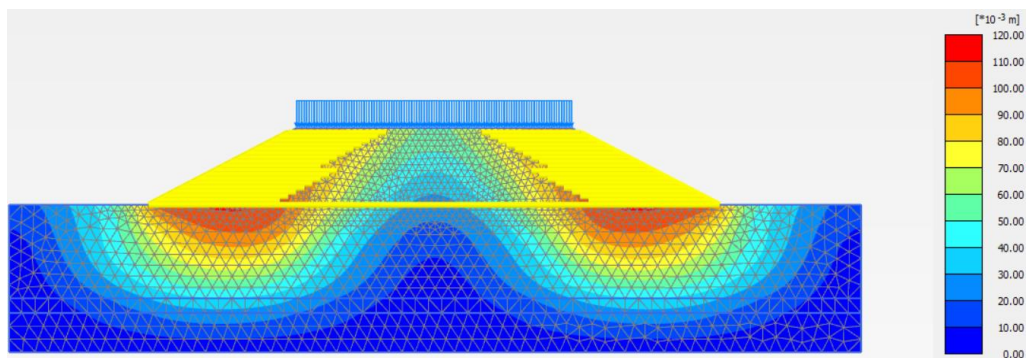
Hasil arah pergerakan tanah lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis dapat dilihat pada Gambar 5.84 sebagai berikut.



Gambar 5.84 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

5. Total *Displacement*

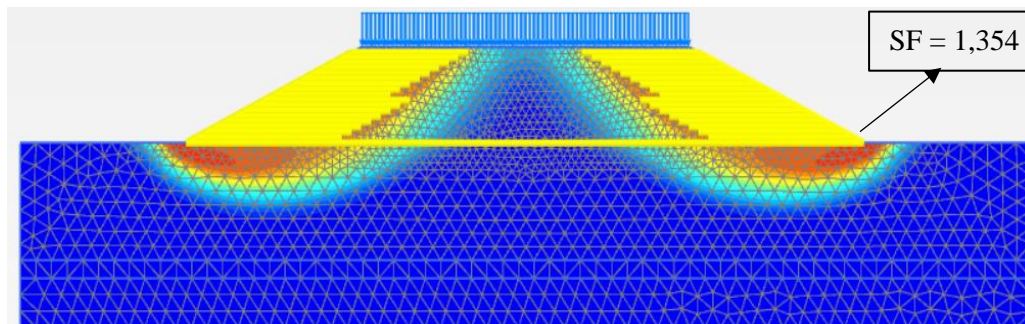
Total *displacement* lereng timbunan akibat beban gempa dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis, memiliki nilai total *displacement* sebesar 0,1117 m. Adapun hasil dari total *displacement* yang dapat dilihat pada Gambar 5.85 sebagai berikut.



Gambar 5.85 Total *Displacement* Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

6. Daerah Potensi Longsor

Hasil analisis program PLAXIS V.22 menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah *rotational slides*. Sedangkan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,354. Adapun daerah potensi longsor lereng timbunan akibat beban gempa sebesar 0,1969 g dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan yang dipasang pada kanan kiri lereng dengan zona 1 berjumlah 9 lembar dan zona 2 berjumlah 9 lembar dan variasi 1 lapis dipasang antara tanah timbunan dengan tanah dasar, yang dapat dilihat pada Gambar 5.86 sebagai berikut.



Gambar 5.86 Daerah Potensi Longsor Lereng Timbunan Akibat Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis

5.8 Pembahasan

Berdasarkan dari hasil pemodelan dan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan PLAXIS V.22 dimulai dari *input* perkuatan geotekstil variasi 1 lapis yang dipasang diantara lereng timbunan dengan tanah dasar, perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan yang dipasang pada kanan kiri lereng dengan zona 1 berjumlah 9 lembar dan zona 2 juga berjumlah 9 lembar dengan total 18 lembar, serta gabungan antaran perkuatan geotekstil yang sesuai kebutuhan dengan variasi 1 lapis.

Setiap perkuatan geotekstil ini diperoleh nilai faktor aman (*safety faktor*) dan nilai total *displacement* dari analisis stabilitas lereng timbunan *eksisting*, analisis stabilitas lereng timbunan akibat beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 dan analisis stabilitas lereng timbunan akibat beban gempa sebesar $0,1969 \text{ g}$. Hasil dari analisis menggunakan program PLAXIS V.22 ini menggunakan jenis parameter yang sama, tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil. Perkuatan geotekstil sendiri menggunakan geotekstil jenis *woven UW-250* dengan nilai kekakuan normal (EA) sebesar 260 kN/m .

Penggunaan geotekstil dalam perkuatan lereng timbunan memiliki beberapa pengaruh yang signifikan terhadap analisis stabilitas lereng. Dimana dengan perkuatan geotekstil nilai faktor aman (*safety faktor*) menjadi lebih tinggi dan nilai total *displacement* rendah, terutama pada saat perkuatan geotekstil gabungan antara sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis, artinya perkuatan geotekstil mampu berfungsi sebagai penghalang mekanis yang membatasi pergerakan tanah. Peningkatan nilai

faktor aman (*safety factor*) ini menunjukkan bahwa setelah diberi perkuatan geotekstil sangat dipengaruhi oleh kuat tarik dari geotekstil tersebut. Geotekstil dengan kuat tarik tinggi dapat memberikan dukungan tambahan pada tanah yang lemah, sehingga meningkatkan kapasitas dukung tanah. Hal ini membantu mencegah pergerakan lateral tanah dan meningkatkan stabilitas keseluruhan struktur tanah.

Panjang geotekstil sangat berpengaruh terhadap faktor keamanan dalam aplikasi geoteknik seperti dinding penahan tanah, lereng, dan penguatan tanah. Panjang geotekstil yang lebih besar memungkinkan distribusi beban yang lebih merata di seluruh lapisan tanah yang diperkuat. Ini meningkatkan kapasitas dukung tanah dan mengurangi tekanan pada titik-titik tertentu, yang pada gilirannya meningkatkan faktor keamanan. Selain itu geotekstil memainkan peran penting dalam meningkatkan kedua jenis stabilitas ini. Dalam stabilitas internal, geotekstil bertindak sebagai material penguat yang menambah kekuatan tarik dan meningkatkan interaksi antara lapisan tanah. Dalam stabilitas eksternal, geotekstil membantu mendistribusikan beban dan meningkatkan daya dukung tanah dasar.

Pada nilai *displacement* yang diperoleh menjadi rendah, dimana geotekstil mampu sebagai penahan yang mengurangi perpindahan lateral dan vertikal tanah dalam lereng timbunan. Selain itu distribusi beban yang lebih merata, karena kuat tarik tinggi sehingga dapat menahan beban di atasnya, mampu mencegah deformasi berlebihan pada lereng yang bisa mengarah pada ketidakstabilan lereng, serta meningkatnya kuat geser tanah sebagai parameter perkuatan tanah yang memberikan tambahan tahanan geser di dalam massa tanah. Dalam hal ini perkuatan geotekstil mampu membantu mengurangi potensi terjadinya kelongsoran. Penggunaan geotekstil dalam analisis stabilitas lereng timbunan ini bisa memberikan keuntungan baik dari segi teknis, ekonomi dan lingkungan.

Berikut rekapitulasi hasil nilai faktor aman (*safety factor*) dan nilai total *displacement* dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis, sesuai kebutuhan dan gabungan antara sesuai kebutuhan dengan variasi 1 lapis dari analisis stabilitas lereng timbunan *eksisting*, analisis stabilitas lereng akibat beban lalu lintas, dan

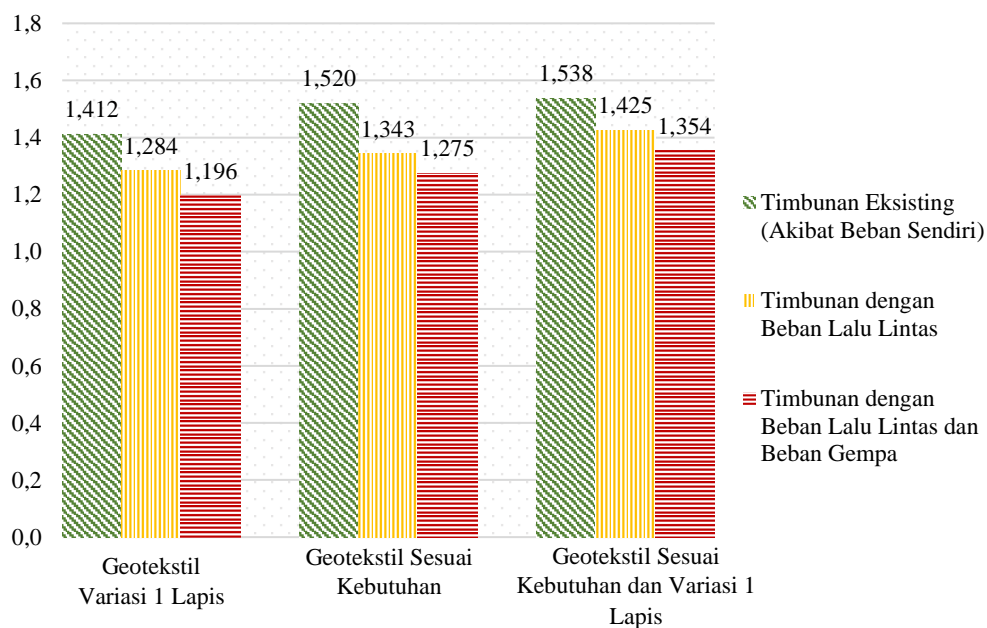
analisis stabilitas lereng akibat beban gempa menggunakan program PLAXIS V.22 dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Nilai Faktor Aman (*Safety Factor*) dan Nilai Total *Displacement* dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS V.22

Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil		Nilai <i>Safety Factor</i>	Nilai Total <i>Displacement</i> (m)
Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	1,412	0,1125
	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Beban Lalu Lintas	1,284	0,1218
	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Beban Gempa	1,196	0,1325
Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	1,520	0,0941
	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Beban Lalu Lintas	1,343	0,1156
	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Beban Gempa	1,275	0,1220
Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan <i>Eksisting</i>	1,625	0,0832

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Nilai Faktor Aman (*Safety Factor*) dan Nilai Total *Displacement* dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS V.22

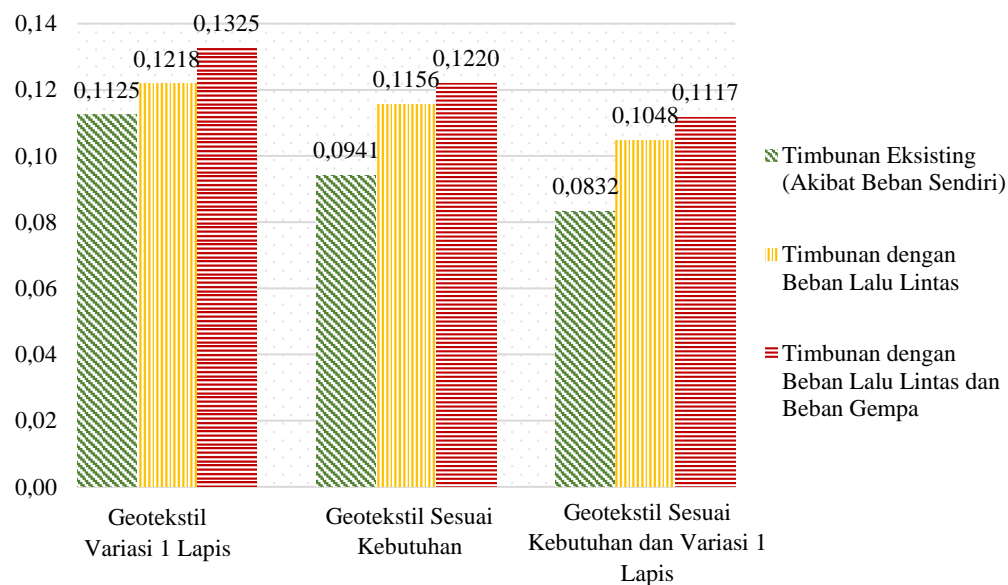
Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil		Nilai <i>Safety Factor</i>	Nilai Total <i>Displacement</i> (m)
Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan dan Variasi 1 Lapis	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Beban Lalu Lintas	1,425	0,1048
	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Beban Gempa	1,354	0,1117



Gambar 5.87 Grafik Nilai Faktor Aman (*Safety Factor*) pada Lereng Timbunan Menggunakan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis, Sesuai Kebutuhan, dan Gabungan Sesuai Kebutuhan dengan Variasi 1 Lapis

Berdasarkan grafik 5.87 di atas didapat hasil perbandingan nilai faktor aman (*safety factor*) dari program PLAXIS V.22 pada lereng dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 1,412, akibat beban lalu

lintas sebesar 1,284 dan akibat beban gempa sebesar 1,196. Hasil nilai faktor aman (*safety factor*) menggunakan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan, akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 1,520, akibat beban lalu lintas sebesar 1,343 dan akibat beban gempa sebesar 1,275. Sedangkan hasil nilai faktor aman (*safety factor*) menggunakan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 1,625, akibat beban lalu lintas sebesar 1,425 dan akibat beban gempa sebesar 1,354. Hal ini menunjukkan bahwa untuk lereng dengan perkuatan geotekstil diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) yang lebih besar dari 1,3. Oleh karena itu menandakan lereng menjadi relatif stabil dan potensi longsor yang rendah.



Gambar 5.88 Grafik Nilai Total *Displacement* pada Lereng Timbunan Menggunakan Perkuatan Geotekstil Variasi 1 Lapis, Sesuai Kebutuhan, dan Gabungan Sesuai Kebutuhan dengan Variasi 1 Lapis

Berdasarkan grafik 5.88 diatas, hasil total *displacement* didapat dari analisis program PLAXIS V.22 pada lereng dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 0,1125, akibat lalu lintas sebesar 0,1218 dan akibat beban gempa sebesar 0,1325. Hasil nilai total *displacement* menggunakan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 0,0941, akibat beban lalu lintas sebesar 0,1156 dan akibat beban gempa sebesar 0,1220. Sedangkan hasil nilai total *displacement* menggunakan

perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 0,0832, akibat beban lalu lintas sebesar 0,1048 dan akibat beban gempa sebesar 0,1117. Total *displacement* merupakan perpindahan tanah karena adanya beban yang bekerja dengan arah perpindahan searah dengan sumbu x (ke kanan atau ke kiri) dan searah sumbu y (keatas atau kebawah). Total *displacement* diperoleh berdasarkan perhitungan pada program PLAXIS V.22, dengan *input* parameter tanah dan beban yang bekerja seperti beban lalu lintas dan beban gempa. Oleh karena itu dengan diberikannya perkuatan geotekstil pada lereng timbunan maka besar nilai total *displacement* mengalami penurunan yang signifikan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Diperoleh hasil nilai faktor aman (*safety factor*) menggunakan metode Fellenius lereng timbunan tanpa perkuatan tanah sebesar 1,279.
2. Diperoleh hasil nilai faktor aman (*safety factor*) tanpa perkuatan geotekstil akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 1,269, akibat beban lalu lintas sebesar 1,210 dan akibat beban gempa sebesar 1,185.
3. Diperoleh hasil nilai faktor aman (*safety factor*) dari analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis dimulai dari akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 1,327, akibat beban lalu lintas sebesar 1,284 dan akibat beban gempa sebesar 1,196. Hasil nilai faktor aman (*safety factor*) untuk analisis stabilitas lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dimulai dari akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 1,412, akibat beban lalu lintas sebesar 1,343 dan akibat beban gempa sebesar 1,275. Sedangkan untuk perkuatan geotekstil gabungan antara perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis diperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) dimulai dari akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 1,538, akibat beban lalu lintas sebesar 1,425 dan akibat beban gempa sebesar 1,354.
4. Diperoleh total *displacement* pada lereng tanpa perkuatan akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 0,1242 m, akibat beban lalu lintas sebesar 0,1275. Sedangkan total *displacement* akibat gempa sebesar 0,1354.
5. Diperoleh total *displacement* dengan perkuatan geotekstil variasi 1 lapis akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 0,1187 m, akibat beban lalu lintas sebesar 0,1211 m dan akibat beban gempa sebesar 0,1325 m. Hasil total *displacement* dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 0,1125 m, akibat beban lalu lintas sebesar 0,1156 m dan akibat beban

gempa sebesar 0,1220 m. Sedangkan untuk hasil total *displacement* dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan dan variasi 1 lapis akibat beban timbunan *eksisting* sebesar 0,0961 m, akibat beban lalu lintas sebesar 0,1048 m, dan akibat beban gempa sebesar 0,1117 m.

6. Pengaruh perkuatan geotekstil yang diberikan pada lereng cukup signifikan, sehingga menaikkan nilai faktor keamanan yang diperoleh dan menurunkan nilai total *displacement* dari analisis satabilitas lereng timbunan menggunakan program PLAXIS V.22. Nilai faktor keamanan (*safety factor*) yang diperoleh lebih besar dari ($> 1,3$) artinya lereng dalam keadaan yang relatif stabil dan potensi terjadinya longsor rendah atau memiliki keamanan lereng yang memadai dan stabil.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng yang sudah dilakukan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Pada penelitian analisis lereng, perhitungan yang lengkap harus dilakukan, mulai dari perhitungan manual hingga analisis dengan bantuan program seperti PLAXIS. PLAXIS dapat menangani tingkat kompleksitas yang tinggi dan melakukan banyak iterasi program, sehingga hasil yang didapatkan lebih akurat. Selain itu bisa diganti dengan menggunakan program lainya seperti GEOSLOPE, SLOPE-W, dan lain-lain.
2. Penelitian sejenis ini masih memiliki potensi untuk dikembangkan dengan melakukan modifikasi pada jenis perkuatan tanah yang dipakai seperti menggunakan perkuatan dari cerucuk bambu atau perkuatan tambahan, menggunakan variasi paramater tanah, dan mencoba berbagai variasi metode analisis yang lain untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter tanah pada stabilitas lereng.
3. Peneliti yang akan melakukan penelitian lebih lanjut dapat mempertimbangkan penggunaan bahan kimia alternatif untuk meningkatkan stabilitas tanah. Salah satu contohnya adalah membuat tanah di lereng asli dicampur dengan bahan kimia seperti kapur, semen, dan sebagainya untuk meningkatkan stabilitas tanah.

DAFTAR PUSTAKA

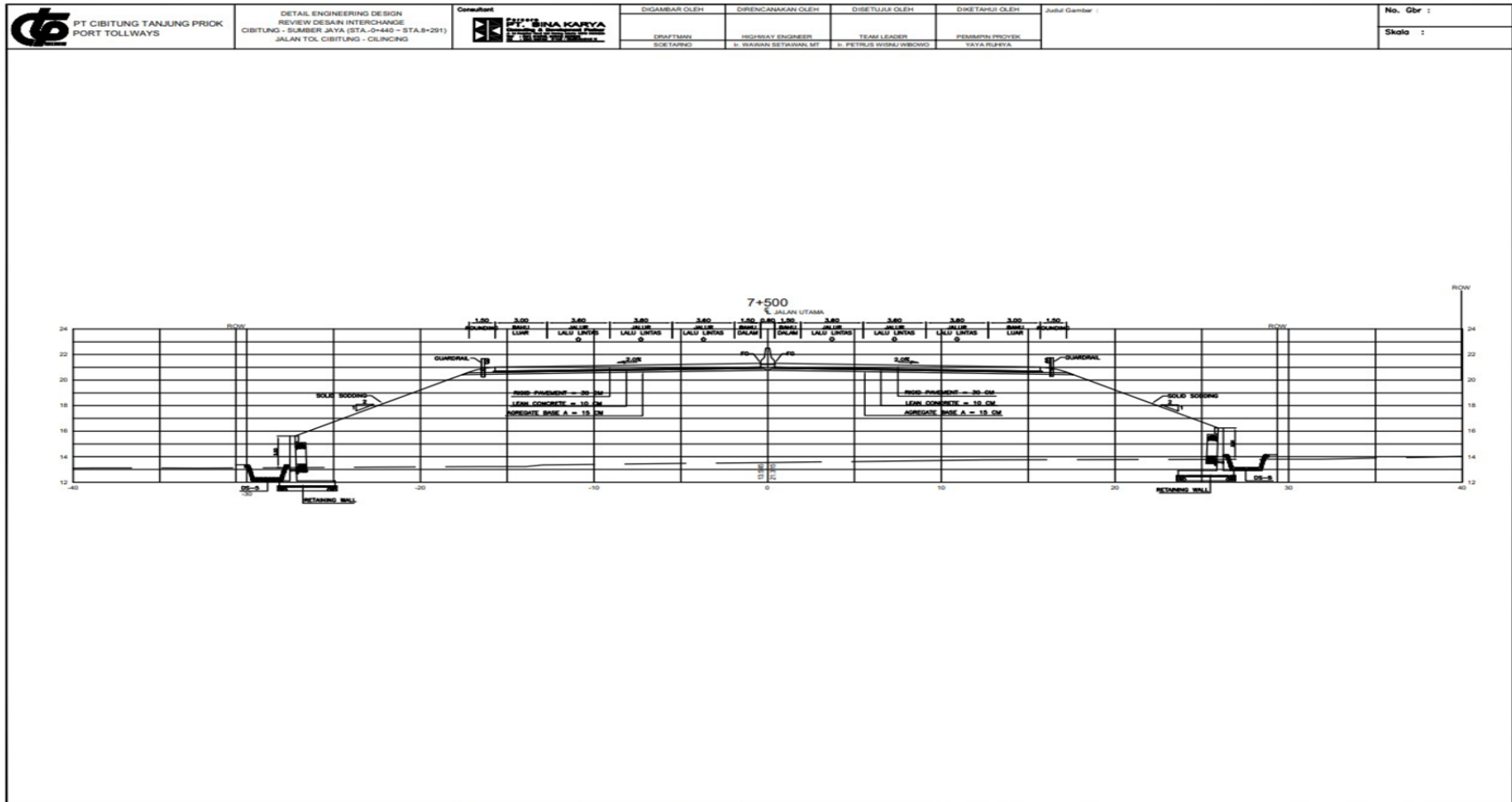
- Abramson, Robert, and Halset, Welter. 1985. *Planning For Improve Enterprise Performance*. International Labour Office. Geneva Switzerland.
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. *SNI 8460-2017*. Persyaratan Perencanaan Geoteknik. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- Bowles, J.E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Jilid 1*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Bowles, J.E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Jilid 2*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Brinkgreve, R. B. J. Et al. 2007. *PLAXIS 2D-Versi 8*. Delft University of Technology and Plaxis. Belanda.
- BSN. 2011. *SNI 2812:2011 Cara Uji Konsolidasi Tanah Satu Dimensi*. Badan Standarisasi Nasional.
- BSN. 2008. *SNI 4153:2008. Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Bina Marga, 2009, *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*, No 003/BM/2009, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga Direktorat Bina Teknik, Jakarta Selatan.
- Craig, R. F., S., Budi Susilo. 1989. *Mekanika Tanah*. Edisi 4. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Das, B.M. 1990. *Principle of Foundation Engineering*. Boston: PWS-KENT Publishing Company.
- Das, M Braja, dkk. 1994. *Mekanika Tanah II. (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid 1 dan 2. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Dokuchaev. 1870. *Mekanika Tanah*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. Modul Pelatihan Geosintetik. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*. Volume 3.
- Hardiyatmo, H.C. 2003. *Mekanika Tanah 1*. Edisi 2. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekania Tanah 2*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Edisi 3. Mekanika Tanah 2*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2012. *Tanah Longsor dan Erosi. Edisi Pertama*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Ismanti, S. 2012. *Analisis Perilaku Timbunan Dengan Perkuatan Geosintetik Menggunakan Software Plaxis*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Isparmo. 2010. *Geotextile Woven, Definisi dan Fungsi*. (<https://geotextile.web.id/geotextile-woven-definisi-dan-fungsi.html>. Diakses 25 Juli 2023).
- Kafilanda, Digor Wira, and Edy Purwanto. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil Dengan Software Geoslope. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- M, Aryanto Suryadinullah, and Edy Purwanto. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Pada Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Pada Tol Terbanggi Besar-Pematang Panggang Sta 3+650, Lampung. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ma'ruf, Fuanda Noordharma. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga Pada Proyek Tol Solo-Kertosono Seksi 3. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Mohr. 1910. *Geotechnical Engineering Investigation Manual* McGrawHill Book Co., 984 p.
- N, A Putri. 2023. An Analysis of Single Slope Stability at Pemenang Road Using Bishop Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* Volume 1175.
- Purwanto, E. 2012. *Hand Out Mata Kuliah Perkuatan Tanah*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rasdi, Rts Fbri Kumala. 2021. Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Menggunakan Perkuatan Geotekstil Dengan Program Plaxis 8.2 (Studi Kasus Di Jalan Tol Balikpapan-Samarinda). *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rizqullah, Pandu Graha, and Yelvi. 2022. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung - Cilincing Seksi 2 Sta 6+475). *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil* 19 No.2: 145-156.

- Sekarti, D. N. A. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan di Jalan Tol Semarang - Solo Ruas Salatiga Kartasura. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Sosrodarsono, Sunyono, Ir. dan Nakazawa, K. 1994. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. PT. Pradnya Paramitha.
- PT. Teknindo Geosistem Unggul (Tanpa Tahun). *Technical Spesification Geotextile Woven*. Surabaya.
- Taylor, D.W. 1984. *Fundamental of Soil Mechanichs. Jilid I* (Jonh Wiley & Sons).
- Terzaghi, K. 1925. *Theoritical Soil Mechanics for Civil and Mining Engineers*. Granada. London.
- Utomo, B. P. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Dengan Menggunakan Program Geoslope Pada Bantaran Sungai Code. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Verhoef, P.N.W. 1994. *Geologi Untuk Teknik Sipil*. Penerbit Erlangga. Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Potongan Melintang Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500



Lampiran 2 Hasil Pengujian Bor Log Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500



PT. CARINA GRIYA MANDIRI
 ENGINEERING & MANAGEMENT CONSULTANT
 Jl. Pahlawan Revolusi No. 2A Jakarta 13430, Telp.021-8613824, Mail : pt_cg_mandiri@yahoo.com

- ENGINEERING DESIGN
- SOIL INVESTIGATION
- SUPERVISION
- MINING EXPLORATION
- SURVEY / MAPPING

PROJECT : RENCANA PEMBANGUNAN JALAN TOL LINGKAR LUAR JAKARTA II, RUAS CIBITUNG - CILINCING		BORING NO : BH-28							
LOCATION : STA. 7+500, ABT-2 (JU. SUNGAI SADANG 2)		ELEVATION : 0,00 m (MTS) SHEET NO : 1							
DATE	DEPTH (m)	BORING PROFILE	STANDARD PENETRATION TEST				q _u POCKET PENETROMETER	CORE RECOVERY %	LITHOLOGIC DESCRIPTION
			N = Number of Blows	P = Penetration (cm)					
24 Sept 17	± 0.00		0	N/P	N/P	N/P			Kordinat : X = 731270 Y = 931185
			10	2 / 15	2 / 15	3 / 15	N = 5		Lempung lanauan, abu-abu muda Contoh : I (- 1,50 - - 2,00) m SPT : 1 (- 2,00 - - 2,45) m
			20	2 / 15	3 / 15	3 / 15	N = 6		Lempung lanauan, abu-abu muda Contoh : II (- 3,50 - - 4,00) m SPT : 2 (- 4,00 - - 4,45) m
			30	2 / 15	3 / 15	4 / 15	N = 7		Lempung lanauan, abu-abu muda Contoh : III (- 5,50 - - 6,00) m SPT : 3 (- 6,00 - - 6,45) m
			40	3 / 15	3 / 15	5 / 15	N = 8		Lempung lanauan, abu-abu muda SPT : 4 (- 8,00 - - 8,45) m
			50	3 / 15	3 / 15	4 / 15	N = 7		Lempung lanauan, abu-abu muda SPT : 5 (- 10,00 - - 10,45) m
	- 11.00								
	- 12.70		1 / 15	2 / 15	2 / 15	N = 4			Lanau, hitam SPT : 6 (- 12,00 - - 12,45) m

Lampiran 3 Data Kondisi Tanah Dasar Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 7+500

4.3. Keadaan Tanah Dasar (sub soil condition)

Dari hasil penyelidikan di lapangan Bor Dalam (Deep Boring), secara garis besar dapat disajikan sebagai berikut :

1) Pada daerah sekitar titik penyelidikan Bor : BH-28, ABT-2 (STA 7+500) JU. Sungai Sadang-2.

Ke dalaman	Perkiraan Jenis Tanah
Surface : - 0,00 m	Elevasi ($\pm 0,00$) m diambil dari Muka Tanah Setempat (MTS).
- 0,00 ÷ - 11,00 m	<p>Lapisan-1 Macam tanah : Lempung lanauan (silty Clay), abu-abu muda dgn Konsistensi : teguh (firm) s/d kaku (stiff) atau dengan Nilai N SPT : berkisar antara : N = 5 s/d 8 blows.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Contoh : I (- 1,50 ÷ - 2,00) m. SPT 1 (- 2,00 \approx - 2,45) m, nilai N = 5 Blows, dengan Konsistensi : teguh (firm) ▪ Contoh : II (- 3,50 ÷ - 4,00) m. SPT 2 (- 4,00 \approx - 4,45) m, nilai N = 6 Blows, dengan Konsistensi : teguh (firm) ▪ Contoh : III (- 5,50 ÷ - 6,00) m. SPT 3 (- 6,00 ÷ - 6,45) m, nilai N = 7 Blows, dengan Konsistensi : teguh (firm) ▪ SPT 4 (- 8,00 ÷ - 8,45) m, nilai N = 8 Blows, dengan Konsistensi : kaku (stiff) ▪ SPT 5 (- 10,00 ÷ - 10,45) m, nilai N = 7 Blows, dengan Konsistensi : teguh (firm)

PT. CARINA GRIYA MANDIRI

5

oyek : Rencana Pembangunan Jalan Tol Lingkar Luar Jakarta-II, Ruas Cibitung-Cilincing.

kasi : Area Rencana Jl. Tol Lingkar Luar Cibitung-Cilincing, Provinsi : Jawa Barat.

r : Titik BH-28, ABT-2 (STA. 7+500), JU. Sungai Sadang-2.

- 11,00 m ÷ - 12,70 m	<p>Lapisan -2 Macam tanah : lanau (Silt), hitam dengan Konsistensi : sangat padat (very dense) atau dengan Nilai N SPT : berkisar antara : N = 4 blows.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ SPT 6 (- 12,00 ÷ - 12,45) m, nilai N = 4 Blows, dengan Konsistensi : lunak (soft)
- 12,70 m ÷ - 17,30 m	<p>Lapisan -3 Macam tanah : lanau (silt) membatu, abu-abu muda dengan Konsistensi : sangat keras (very hard) atau dengan Nilai N SPT : berkisar antara : N > 60 blows.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ SPT 7 (- 14,00 ÷ - 14,22) m, nilai N > 60Blows, dengan Konsistensi : sangat keras (very hard) ▪ SPT 8 (- 16,00 ÷ - 16,23) m, nilai N > 60 Blows, dengan Konsistensi : sangat keras (very hard)

Lampiran 4 Data Parameter Geoteksil Woven PT. Teknindo Geosistem Unggul

UnggulTex

POLYPROPYLENE WOVEN GEOTEXTILES

TECHNICAL SPECIFICATIONS

PROPERTIES	UNIT	TEST METHOD	UW - 150	UW - 200	UW - 250
Physical Properties					
Mass	g/m ²	ASTM D 5261-92	150	200	250
Thickness	mm	ASTM D 5199-91	0.5	0.6	0.7
Colour	-	-	Black	Black	Black
Mechanical Properties					
Strip Tensile Strength (Wrab/Woft)	kN/m	ASTM D 4595-94	37/35	42/39	52/52
Elongation at Max. Load (Wrab/Woft)	%	ASTM D 4595-94	19/18	20/20	20/20
Grap Tensile Strength (Wrab/Woft)	N	ASTM D 4632-91	1210/1200	1600/1600	1750/1750
Elongation at Max. Load (Wrab/Woft)	%	ASTM D 4632-91	14/13	22/22	22/22
Trapezoidal Tear Strength (Wrab/Woft)	N	ASTM D 4533-91	615/615	700/700	800/800
Hydraulic Properties					
Pore Size O ₉₅	µm	ASTM D 4751-95	320	275	250
Water Permeability	l/m ² /sec	100 mm water head	28	16	7.5
Environmental Properties					
Effect of soil Alkalinity	-	-	nil	nil	nil
Effect of soil Acidity	-	-	nil	nil	nil
Effect of Bacteria	-	-	nil	nil	nil
Effect of U.V. Light	-	-	Stabilized	Stabilized	Stabilized
Packaging					
Roll Length	m	-	150 - 200	150 - 200	150 - 200
Roll Width	m	-	3 - 4	3 - 4	3 - 4
Roll Area	m ²	-	640 - 760	640 - 760	640 - 760
Roll Diameter (Approx)	m	-	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5
Roll Weight (Approx)	kg	-	96 - 114	128 - 152	160 - 190

All information, illustration and specification are based on the latest product information available at the time of printing. The right is reserved to make changes at any time without notice.

Distributed by :

PT. TEKINDO GEOSISTEM UNGGUL

Wilma SIER Building, 1st Floor, Jl. Rungtut Industri Raya 10, Sumbaya 50293
Tel: 031-8475062 Fax: 031-8475063
Email: info@geosistem.co.id
Website: www.geosistem.co.id

