

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG BADAN JALAN DENGAN TIMBUNAN BERTAHAP DAN MENGUNAKAN PERKUATAN GEOTEKSTIL (*ANALYSIS OF THE STABILITY SLOPE ROAD USING EMBANKMENT GRADUALLY AND GEOTEXTILE*)

**(Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Indralaya-Muara Enim Seksi
Prabumih-Muara Enim, Sumatera Selatan, Sta.117 +925)**

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



**Diaz Arsyah Dip Susangunap
14511362**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG BADAN JALAN DENGAN TIMBUNAN BERTAHAP DAN MENGUNAKAN PERKUATAN GEOTEKSTIL (*ANALYSIS OF THE STABILITY SLOPE ROAD USING EMBANKMENT GRADUALLY AND GEOTEXTILE*) (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Indralaya-Muara Enim Seksi Prabumih-Muara Enim, Sumatera Selatan, Sta.117 +925)

Disusun Oleh

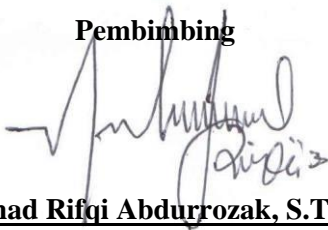
Diaz Arsyah Dip Susangunap
14511362

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

Diuji pada tanggal

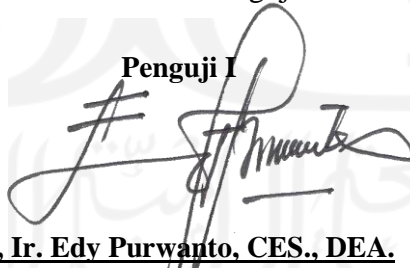
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



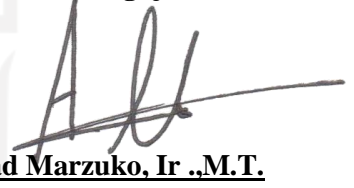
Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T, M.Eng. Dr., Ir. Edy Purwanto, CES., DEA.
NIK: 135111101

Penguji I



NIK: 855110101

Penguji II



Akhmad Marzuko, Ir., M.T.
NIK: 885110107



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Dr. Ir. Sri Amimi Yuni Astuti, M. T.
NIK: 885110101

PERNYAYAAN BEBAS PLAGIASI

Penyusun menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Laporan Tugas Akhir ynag disusun sebagai syarat untuk penyelesaian strata Sarjana di Program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu yang merupakan pengutipan hasil karya orang lain telah dituliskan refrensinya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan Sebagian atau seluruh Laporan Tugas Akhir ini atau ada plagiasi dalam bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan dan undang-undang yang berlaku.

Yogyakarta, 24 Desember 2021

Ya  ataan,

Diaz Arsyah Dip Susangunap

14511362

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillahirabbil'alamiin puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Shalawat serta salam selalu terlimpah curahkan kepada junjungan Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat serta pengikut beliau hingga yaumul akhir.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Atas kelancaran selama Menyusun tugas akhir, penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberi dukungan serta motivasi untuk terselesainya tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozaq, S.T., M.eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir. Terimakasih atas bimbingan dan nasehat serta dukungan yang diberikan kepada penulis selama Menyusun tugas akhir ini.
2. Bapak Dr., Ir. Edy Purwanto, CES., DEA. Selaku Dosen Penguji I Tugas Akhir, terimakasih atas ilmu dan saran yang telah diberikan kepada penulis.
3. Bapak Akhmad Marzuko, Ir .,M.T. Selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir, terima kasih atas ilmu dan saran yang telah diberikan kepada penulis.
4. Ibu Sri Amini Yuni Astuti, DR., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
5. Kepada seluruh bapak/ibu dosen dan civitas akademik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama menjalankan perkuliahan.

penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman. Semoga tugas akhir ini dapat memeberikan banyak manfaat bagi penyusun dan bagi pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, Oktober 2021

Diaz Arsyah Dip Susangunap

14511362



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYAYAAN BEBAS PLAGIASI	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
ABSTRAK	xvii
ABSTRACT	xviii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Mengenai Stabilitas Lereng	5
2.1.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil	5
2.1.2 Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dan Turap Beton Menggunakan Program Plaxis	6

2.1.3 Analisis Penurunan dan Waktu Konsolidasi Pada Perbaikan Tanah Lunak dengan Metode <i>Preloading</i> dan <i>Prefabricated</i>	7
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Tanah	11
3.2 Lereng	16
3.2.1 Pengertian Umum	16
3.2.2 Penyebab Longsor	16
3.2.3 Stabilitas Lereng	17
3.2.4 Teori Analisis Stabilitas Lereng	18
3.2.5 Metode yang Digunakan	19
3.3 Perkuatan Lereng	21
3.3.1 Pengertian Umum	21
4.3 Geotekstil	23
3.4.1 Mekanisme Kerja Geotekstil pada Tanah	24
3.5 Konsolidasi	27
3.5.1 Umum	27
3.6 Pembebanan	27
3.6.1 Beban Merata	27
3.6.2 Beban Gempa	28
3.7 Plaxis	29
3.7.1 Pendahuluan	29
3.7.2 Parameter Input Untuk Program plaxis V20	30
3.7.3 Metode Elemen Hingga	32
3.7.4 Analisis Stabilitas lereng dengan Plaxis V20	33
BAB IV METODELOGI PENELITIAN	34
4.1 Tinjauan Umum	34
4.2 Data Penelitian	34
4.3 Lokasi Penelitian	34

4.4 Tahapan Penelitian	35
4.4.1 Pengumpulan Data	36
4.4.2 Desain Badan Jalan	36
4.5 Analisis Data	36
4.5.1 Data Potongan Melintang Jalan Struktur Timbunan Lereng	36
4.5.2 Data Beban	38
4.5.3 Data Geotekstil	39
4.6 Analisis Data dengan Software Plaxis V20	40
4.7 Bagan Alir	41
BAB V ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	43
5.1 Gambaran Umum Analisis	43
5.2 Data Parameter Analisis	44
5.2.1 Data Parameter Tanah	44
5.2.2 Data Beban Lalu Lintas	44
5.2.3 Data Beban Gempa	44
5.2.4 Data Geotekstil	44
5.2.5 Kondisi Desain pada Lereng Timbunan	45
5.3 Lereng Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan	46
5.3.1 Analisis Timbunan Badan Jalan menggunakan Program <i>PLAXIS V20</i>	46
5.5 Perhitungan Kebutuhan Geotekstil	68
5.4.1 Data Perhitungan Geotekstil	68
5.4.2 Stabilitas Eksternal	69
5.4.3 Stabilitas Internal	72
5.5 Lereng Timbunan Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil	73
5.5.1 Lereng Timbunan 12 meter masa paska konstruksi dengan perkuatan Geotekstil Dengan Nilai Angka Aman $\geq 1,3$.	73
5.5.2 Lereng Timbunan 12 meter masa paska konstruksi dengan perkuatan Geotekstil Dengan Nilai Angka Aman $\geq 1,5$.	79

5.6 Rekapitulasi Hasil Angka Aman Lereng Timbunan 12m	86
5.6 Pembahasan	87
5.6.1 Hasil Analisis Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan	87
5.6.2 Hasil Analisa Lereng Timbunan Bertahap dengan Konsolidasi	87
5.6.3 Hasil Analisis Lereng Dengan Perkuatan	88
5.6.3 Perbandingan Nilai Angka Aman Lereng Timbunan Masa Paska Konstruksi	89
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	90
6.1 Kesimpulan	90
6.2 Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN	94



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perrbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	8
Tabel 3. 1 Perkiraan Modulus Elastisitas	13
Tabel 3. 2 Perkiraan Rasio Poisson	14
Tabel 3. 3 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah	16
Tabel 3. 4 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng	18
Tabel 3. 5 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng	22
Tabel 3. 6 faktor Kemanan Lereng	22
Tabel 3. 7 Beban Lalu Lintas Untuk Analisis Stabilitas	28
Tabel 4. 1 Data Parameter Tanah	37
Tabel 4. 2 Beban Lalu Lintas	38
Tabel 4. 3 Data Parameter Geotekstil Woven	40
Tabel 5. 1 Data Parameter Geotekstil Woven	45
Tabel 5. 2 Perhitungan Gaya Berat Metode Irisan	51
Tabel 5. 3 Perhitungan Gaya Berat Metode Irisan	56
Tabel 5. 4 Koefisen Daya Dukung tanah	69
Tabel 5. 5 Tabel Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil	72
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Angka Aman Lereng Timbunan 12m	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Fase Tanah	12
Gambar 3. 2 Kriteria Keruntuhan Mohr Coloumb	15
Gambar 3. 3 Tipe keruntuhan lereng gabungan	17
Gambar 3. 4 Gaya yang Bekerja Pada Irisan	20
Gambar 3. 5 Geotekstil Woven dan Non Woven	24
Gambar 3. 6 Diagaram Distribusi tekanan Tanah Lateral	25
Gambar 3.7 Peta Zonasi Gempa	28
Gambar 4. 1 Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Indralaya-Muara Enim	35
Gambar 4. 2 Kondisi Lereng	37
Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Antara Percepatan dan Waktu	39
Gambar 4. 4 Peta Zonasi Gempa Indonesia	39
Gambar 4. 5 Alur Bagan Penelitian	42
Gambar 5. 1 Geometri Kondisisi Desain Timbunan	45
Gambar 5. 2 Geometri Kondisi Desain Timbunan Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	46
Gambar 5. 3 Geometri Kondisi Desain Timbunan Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	46
Gambar 5. 4 Pemodelan Lereng Tanah Asli Timbunan 12m	47
Gambar 5. 5 Jaringan Elemen (Meshing) Timbunan Lereng Tanah Asli 12m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur	47
Gambar 5. 6 Deformed Mesh Lereng Timbuan Tanah ASli 12m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur	48
Gambar 5. 7 Total Displacement Lereng Timbuan Tanah ASli 12m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur	48
Gambar 5. 8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbuan Tanah Asli 12m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur	49
Gambar 5. 9 Nilai Effective Stresses Lereng Timbuan Tanah Asli 12m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur	49

Gambar 5. 10 Log Info Collapse untuk Perhitungan Analisis Akibat Beban Struktur Masa Konstruksi	50
Gambar 5. 11 Gambar Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan Masa Konstruksi	50
Gambar 5. 12 Jaringan Elemen (Meshing) Timbunan Lereng Tanah Asli 12m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas	52
Gambar 5. 13 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Tanah ASli 12m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	53
Gambar 5. 14 Total Displacement Lereng Timbunan Tanah ASli 12m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	53
Gambar 5. 15 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Tanah Asli 12m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	54
Gambar 5. 16 Nilai Effective Stresses Lereng Timbunan Tanah Asli 12m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	54
Gambar 5. 17 Log Info Collapse untuk Perhitungan Analisis Akibat Beban Struktur Masa Paska Konstruksi	55
Gambar 5. 18 Gambar Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan Masa Paska Konstruksi	55
Gambar 5. 19 Pemodelan Lereng Tanah Bertahap 3 meter dengan Konsolidasi	57
Gambar 5. 20 Jaringan Elemen (Meshing) Timbunan Lereng Bertahap 3m	58
Gambar 5. 21 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur	58
Gambar 5. 22 Total Displacement Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur	59
Gambar 5. 23 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur	59
Gambar 5. 24 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur	60
Gambar 5. 25 Nilai Effective Stresses Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur	60
Gambar 5. 26 Nilai Angka Aman (SF) Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur	61

Gambar 5. 27 Jaringan Elemen (Meshing) Timbunan Lereng Bertahap 3m Paska	
Konstruksi	61
Gambar 5. 28 Deformed Mesh Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska	
Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas	62
Gambar 5. 29 Total Displacement Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska	
Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas	62
Gambar 5. 30 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa	
Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas	63
Gambar 5. 31 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska	
Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas	63
Gambar 5. 32 Nilai Effective Stresses Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska	
Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas	64
Gambar 5. 33 Nilai Angka Aman (SF) Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa	
Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas	64
Gambar 5. 34 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi	
akibat Beban Gempa	65
Gambar 5. 35 Total Displacement Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi	
akibat Beban Gempa	65
Gambar 5. 36 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa	
Konstruksi akibat Beban Gempa	66
Gambar 5. 37 Nilai Effective Stresses Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa	
Konstruksi akibat Beban Gempa	66
Gambar 5. 38 Deformed Mesh Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska	
Konstruksi akibat Beban Gempa	67
Gambar 5. 39 Total Displacement Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska	
Konstruksi akibat Beban Gempa	67
Gambar 5. 40 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska	
Konstruksi akibat Beban Gempa	68
Gambar 5. 41 Nilai Effective Stresses Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska	
Konstruksi akibat Beban Gempa	68
Gambar 5. 42 Pemodelan Lereng Timbunan Tanah Asli 12m Dengan Perkuatan 74	

Gambar 5. 43 Jaringan Elemen (Meshing) Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Geotekstil	74
Gambar 5. 44 Deformed Mesh Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	75
Gambar 5. 45 Deformed Mesh Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa	75
Gambar 5. 46 <i>Total Displacement</i> pada Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	76
Gambar 5. 47 <i>Total Displacement</i> pada Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa	76
Gambar 5. 48 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	77
Gambar 5. 49 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa	77
Gambar 5. 50 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	77
Gambar 5. 51 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa	78
Gambar 5. 52 Nilai <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	78
Gambar 5. 53 Nilai <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa	78
Gambar 5. 54 Kurva Angka Amam (SF) pada Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi	79
Gambar 5. 55 Pemodelan Lereng Timbunan Tanah Asli 12m Dengan Perkuatan Geotekstil	80

Gambar 5. 56 Jaringan Elemen (Meshing) Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Konstruksi akibat Beban Struktur	80
Gambar 5. 57 Deformed Mesh Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	81
Gambar 5. 58 Deformed Mesh Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa	81
Gambar 5. 59 <i>Total Displacement</i> pada Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	82
Gambar 5. 60 Total Displacement pada Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Konstruksi akibat Beban Gempa	82
Gambar 5. 61 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	83
Gambar 5. 62 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa	83
Gambar 5. 63 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	84
Gambar 5. 64 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa	84
Gambar 5. 65 Nilai <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu	85
Gambar 5. 66 Nilai <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa	85
Gambar 5. 67 Kurva Angka Aman (SF) pada Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi	86
Gambar 5. 69 Grafik Perbandingan Angka Aman Lereng Timbunan Masa Paska Konstruksi	89

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar L-1. 1 Data Parameter Tanah Asli

Gambar L-2. 1 Data Spesifikasi Geotekstil yang Dipakai

Gambar L-3. 1 Gambar Potongan Melintang Jalan Tol Sta.117+92

Gambar L-4. 1 Potongan Memanjang Sta 117+925



ABSTRAK

Pembangunan jalan tol Indralaya-Muara Enim merupakan jalan tol yang berada di pulau Sumatera Selatan. Pembangunan jalan tol bertujuan untuk memperlancar lalu lintas dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi pada daerah tersebut. Pada jalan tol tersebut akan dilakukan penimbunan tanah agar membentuk badan jalan, lereng timbunan yang akan dibuat dengan ketinggian 12 meter dari permukaan tanah dan masih rawan terjadi kelongsoran karena tinggi timbunan yang ekstrim. Timbunan bertahap dengan konsolidasi dan menggunakan perkuatan geotekstil bisa menstabilkan lereng timbunan yang akan dibuat.

Analisis dilakukan untuk mengetahui nilai angka aman stabilitas lereng timbunan 12 meter. Permodelan dilakukan dengan membandingkan lereng timbunan tanah asli, timbunan bertahap dengan konsolidasi, dan menggunakan perkuatan geotekstil yang diolah dengan program *Plaxis 2D V20* dengan memperhitungkan beban gempa. Permodelan pada penelitian ini yaitu lereng dengan kemiringan 1:1,4.

Hasil penelitian menunjukkan nilai angka aman pada lereng timbunan tanah asli masa konstruksi 0,9135 dan pasca konstruksi 0,7368. Timbunan bertahap 3m dengan konsolidasi memiliki nilai angka aman pada masa konstruksi 1,073 dan pasca konstruksi 1,065. Dan lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil memiliki nilai angka aman 1,331 dan 1,520. Pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil memiliki nilai angka aman yang paling aman.

Kata Kunci : Lereng Timbunan, Angka Aman, Perkuatan Geotekstil, Timbunan Bertahap.

ABSTRACT

The construction of the Indralaya-Muara Enim toll road is a toll road located on the island of South Sumatra. The construction of toll roads aims to facilitate traffic and increase economic growth in the area. On the toll road, soil will be stockpiled to form a road body, the embankment slope will be made with a height of 12 meters from the ground surface and is still prone to landslides due to the extreme height of the embankment. Gradual embankment with consolidation and using geotextile reinforcement can stabilize the embankment slope to be made.

The analysis was carried out to determine the safe value of the 12 meter embankment slope stability value. The modeling is carried out by comparing the slopes of the original soil embankment, gradual embankment with consolidation, and using geotextile reinforcement processed with the program *Plaxis 2D V20* by calculating earthquake loads. The modeling in this study is a slope with a slope of 1:1.4.

The results showed that the safe value on the slope of the original soil embankment during the construction period was 0.9135 and the post-construction period was 0.7368. The 3m incremental embankment with consolidation has a safe value during construction of 1.073 and post-construction of 1.065. And the embankment slope with geotextile reinforcement has a safe value of 1.331 and 1.520. On embankment slopes with geotextile reinforcement, the safe value is the safest.

Keywords: Embankment Slope, Safe Figure, Geotextile Reinforcement, Gradual Embankment

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

R	= jari-jari lingkaran bidang longsor (m)
n	= jumlah irisan
θ_i	= sudut
F	= Faktor Aman
c	= Kohesi Tanah (kN/m^2)
ϕ	= sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)
a_i	= panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-I (m)
W_i	= berat irisan tanah ke-I (kN/m^2)
U_i	= tekanan air pori pada irisan ke-I (kN/m^2)
S_v	= jarak tulangan arah vertikal (m)
$T_{\text{allowable}}$	= kuat Tarik geotekstil <i>allowable</i> ($\text{t/m}'$)
SF	= faktor aman
σ_{hci}	= tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m^2)
q	= beban merata (kN/m^2)
K_a	= koefisien tanah aktif
H_1	= tinggi antar lapis geotekstil (m)
L_0	= panjang geotekstil <i>overlapping</i> (m)
γ_b	= berat volume tanah (kN/m^3)
Z_i	= kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah (m)
L_{ef}	= panjang efektif geotekstil (m)
$N_c N_q N_\gamma$	= faktor kapasitas dukung
S	= penurunan total
S_i	= penurunan segera
S_c	= penurunan konsolidasi primer
S_s	= penurunan konsolidasi sekunder

γ_{sat}	= berat volume tanah jenuh
γ_{unsat}	= berat volume tanah alami
γ_w	= berat volume air
ν	= <i>poisson ratio</i>
$k_x = k_y$	= permeabilitas
E	= modulus elastisitas
PGA	= percepatan puncak gempa (g)
T	= kuat Tarik ijin (kN/m)
ϵ	= regangan (%)
EA	= kekakuan normal (kN/m)
M_R	= momen menahan
M_D	= momen menggerakkan
C_r	= indeks pemampatan kembali
C_c	= indeks pemampatan
H	= tebal lapisan tanah
p_c'	= tekanan prakonsolidasi
e_o	= angka pori awal
Δp	= tambahan tegangan akibat beban fondasi
p_o'	= tekanan <i>overburden</i> efektif mula-mula sebelum dibebani
V	= volume awal
H	= tebal lapisan tanah awal
ΔV	= perubahan volume
ΔH	= perubahan tebal
e_o	= angka pori awal
e_1	= angka pori pada perubahan volume tertentu
Δe	= perubahan angka pori

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia merupakan negara berkembang yang sedang melakukan pembangunan infrastruktur secara besar-besaran, dengan seiringnya pertumbuhan penduduk yang tinggi menyebabkan kebutuhan transportasi di Indonesia mulai meningkat dan membutuhkan banyak lahan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Salah satu pembangunan infrastruktur tersebut adalah proyek pembangunan Jalan Tol Indralaya-Muara Enim. Pembangunan jalan tol bertujuan untuk memperlancar lalu lintas di daerah tersebut dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi pada daerah tersebut.

Dalam proses Pembangunan jalan Tol Indralaya-Muara Enim, khususnya seksi Prabumih-Muara Enim yang memiliki Panjang sekitar 64 kolimeter (Km) melintasi daerah perbukitan perkebunan. Untuk lokasi yang ditinjau pada Stasiun 117+ 925 adalah area pekerjaan timbunan yang diperbaiki kontur asli sebelumnya. Pada daerah tersebut akan mencapai *finish grade* permukaan jalan jika dilakukan dengan cara menimbunan tanah dengan ketinggian hingga 12 meter dari permukaan tanah asli. Dilakukan penimbunan tanah agar membentuk badan jalan yang sesuai gambar desain.

Adanya pekerjaan timbunan tanah untuk membentuk lereng baru, perlu dilakukan analisis kestabilan lereng. Dengan metode timbunan bertahap dengan konsolidasi diharapkan dapat memaksimalkan lereng timbunan dengan angka aman yang direncanakan. Salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng ialah menggunakan program *software* geoteknik yang berbasis pada analisis metode elemen hingga yaitu Plaxis. Geotekstil itu sendiri merupakan

metode dalam Geoteknik yang tembus air, yang dapat digunakan sebagai separator, filter, proteksi, dan perkuatan. Lokasi daerah Jalan Tol Indralaya-Muara Enim seksi Prabumulih-Muara Enim Sta 117+925 dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut ini.



Gambar 1. 1 Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Indralaya-Muara Enim Seksi Prabumulih-Muara Enim
(Sumber: Laporan Analisa Geoteknik)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa sebagai berikut ini.

1. Berapa angka aman timbunan 12 m tanah asli badan jalan.
2. Berapa angka aman timbunan tanah bertahap 3m dengan konsolidasi
3. Berapa angka aman pada lereng timbunan tanah 12 m dengan menggunakan perkuatan geotekstil

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Mengetahui nilai angka aman tanah timbunan 12m tanpa perkuatan.
2. Mengetahui nilai angka aman lereng timbunan tanah bertahap 3m dengan kondolidasi.

3. Mengetahui nilai angka aman pada lereng timbunan 12 m dengan menggunakan perkuatan geotekstil

1.4 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini manfaat yang didapatkan ialah untuk mengetahui desain lereng tinggi dengan timbunan ekstrem dan aman untuk timbunan lereng pada proyek dengan timbunan tanah bertahap dengan konsolidasi dan menggunakan perkuatan geotekstil serta menganalisis kestabilan lereng dengan program Plaxis. Manfaat lainnya ialah untuk masukan pengembangan ilmu di bidang Teknik sipil terutama dalam konsentrasi studi Geoteknik terlebih khusus dalam hal kestabilan lereng.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian harus mempunyai tujuan yang jelas, agar penelitian fokus dan tidak menyimpang dari topik pembahasan. Adapun batasan-batasan penelitian adalah sebagai berikut ini:

1. Lereng pada Jalan Tol Indralaya-Muara Enim STA 117+925.
2. Data tanah yang dipakai dari hasil uji di laboratorium dan lapangan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Indralaya-Muara Enim STA 117+925.
3. Tinggi lereng timbunan 12m.
4. Bahan yang dipakai perkuatan lereng adalah geotekstil.
5. Program Plaxis yang digunakan adalah versi 20 dengan pemodelan 2D.
6. Kemiringan Lereng adalah 1 Vertikal : 1,4 Horizontal.
7. Waktu konsolidasi pada timbunan bertahap tidak digunakan pada pelaksanaan
8. Data gempa yang diperhitungkan untuk wilayah Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan.
9. Pemasangan geotekstil adalah mendatar
10. Perubahan propertis tanah pada saat pengerjaan timbunan bertahap tidak diperhitungkan perubahannya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Mengenai Stabilitas Lereng

2.1.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil

Pradhana (2018) melakukan penelitian tentang analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai faktor keamanan (SF) lereng sebelum gempa dan lereng kondisi ekisisting lereng dengan variasi beban merata, variasi muka air, dan dianalisis menggunakan program Geoslope.

Analisis stabilitas lereng menggunakan program Geoslope dengan metode Fellenius karena metode ini menghasilkan factor aman yang lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Dari analisis program Geoslope di dapatkan Pada lereng sebelum longsor, didapatkan SF lereng setelah longsor dengan variasi beban vertikal 1, dan beban vertikal 2 adalah 1,055 dan 1,040. Karena $SF \leq 1,07$, maka lereng labil. Variasi muka air tanah 1, dan muka air tanah 2 adalah 1,039 dan 0,981. Karena $SF \leq 1,07$, maka lereng labil. Sedangkan gempa didapatkan SF sebesar 0,861. Karena $SF \leq 1,07$, maka lereng labil. 2. Berdasarkan analisis menggunakan program Geoslope lereng setelah longsor didapatkan SF dengan variasi beban vertikal 1, dan beban vertikal 2 adalah 1,293 dan 1,284. Karena $SF \geq 1,25$, maka longsor jarang terjadi. Variasi muka air tanah 1, dan muka air tanah 2 adalah 1,207 dan 1,089. Karena SF antara 1,07 sampai 1,25, maka lereng keadaan kritis. Sedangkan gempa didapatkan SF sebesar 0,956. Karena $SF \leq 1,07$, maka lereng labil.

2.1.2 Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dan Turap Beton Menggunakan Program Plaxis

Fitriadi (2019) melakukan penelitian tentang analisis stabilitas lereng pada Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis stabilitas lereng, baik lereng asli, lereng dengan geometri baru, lereng dengan geometri baru dan diperkuat dengan geotekstil, lereng diperkuat dengan turap analisis dilakukan menggunakan program Plaxis 8.6. Program plaxis merupakan salah satu program aplikasi geoteknik yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng.

Analisis stabilitas lereng pada tugas akhir ini menggunakan aplikasi program Plaxis 8.6. Untuk perencanaan perkuatan lereng digunakan perkuatan geotekstil dan perkuatan turap yang nantinya akan dibandingkan angka aman antara lereng asli, lereng dengan geometri baru, lereng geometri baru yang diperkuat geotekstil dan lereng yang diperkuat turap. Pemodelan lereng dilakukan secara 2D plane strain menggunakan program Plaxis 8.6. Beban yang digunakan adalah beban kendaraan sesuai dengan klasifikasi jalan sebesar 15 kN/m. Analisis dilakukan menggunakan program Plaxis 8.6 dan perhitungan manual menggunakan metode Fellinius. Berdasarkan hasil analisis menggunakan program Plaxis 8.6 pada lereng asli tanpa beban gempa didapatkan nilai safety factor 1,1789 sedangkan pada lereng asli dengan beban gempa didapatkan nilai safety factor 1,1436, berdasarkan kedua nilai tersebut nilai safety factor $< 1,25$, maka lereng dianggap aman, dan mampu menahan kelongsoran. nilai pada lereng geometri baru perkuatan geotekstil tanpa beban gempa didapatkan safety factor 1,7831 sedangkan pada lereng geometri baru perkuatan geotekstil dengan beban gempa didapatkan safety factor 1,7776, kenaikan nilai safety factor tersebut dikarenakan parameter interface dan parameter dasar yang dimiliki oleh geotekstil woven (kekakuan dan kuat tarik) mempengaruhi karakteristik perkuatan geotekstil ketika digunakan didalam tanah, dan lereng dengan perkuatan turap tanpa beban gempa didapatkan nilai safety factor 1,7853 sedangkan lereng dengan perkuatan turap dengan beban gempa didapatkan nilai safety factor 1,7541. Kenaikan nilai safety factor dikarenakan pile mampu menahan arah pergerakan tanah pada lereng, gaya pasif yang menahan lebih besar dari gaya aktif yang mendorong.

2.1.3 Analisis Penurunan dan Waktu Konsolidasi Pada Perbaikan Tanah Lunak dengan Metode *Preloading* dan *Prefabricated*

Setiawan (2019) melakukan penelitian tentang waktu konsolidasi pada perbaikan tanah lunak dengan metode *preloading* dan *prefabricated*. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui waktu konsolidasi pada kondisi 90% pada tanah lunak dengan metode *preloading* dan *prefabricated vertical drain* secara *preloading* secara analitik. Kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut Besar penurunan tanah lunak akibat beban *abutment* tanpa perbaikan tanah pada saat konsolidasi 90% berdasarkan perhitungan manual sebesar 0,610 m dan waktu yang diperlukan untuk konsolidasi 90% adalah 95000 hari atau 260 tahun, dengan perbaikan tanah menggunakan metode *preloading* pada saat konsolidasi 90% berdasarkan perhitungan manual sebesar 0,345m, perbaikan tanah menggunakan metode *preloading* pada saat konsolidasi 90% berdasarkan perhitungan menggunakan software *plaxis 8.2* sebesar 0,390 m, dengan perbaikan tanah menggunakan penggabungan metode *preloading* dan *prefabricated vertical drain (PVD)* pada saat konsolidasi 90% berdasarkan perhitungan manual sebesar 0,345m dan waktu yang diperlukan bervariasi tergantung dari jarak pemasangan dan pola pemasangan *prefabricated vertical drain (PVD)*. Pada pola segitiga jarak pemasangan PVD 1 m waktu konsolidasi 90 % selama 155 hari, pemasangan PVD 1,2 m selama 240 hari hari, pemasangan PVD 1,4 m selama 350 hari dan pemasangan PVD 1,6 m selama 480 hari. Pada pola segitiga jarak pemasangan PVD 1 m waktu konsolidasi 90 % selama 155 hari, pemasangan PVD 1,2 m selama 240 hari hari, pemasangan PVD 1,4 m selama 350 hari dan pemasangan PVD 1,6 m selama 480 hari. Pada pola segiempat jarak pemasangan PVD 1 m waktu konsolidasi 90 % selama 180 hari, pemasangan PVD 1,2 m selama 260 hari hari, pemasangan PVD 1,4 m selama 380 hari dan pemasangan PVD 1,6 m selama 560 hari.

Tabel 2. 1 Perrbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Budiasto	Radhitya	Setiawan	Fitriadi	Kurniawan	Penulis
Tahun	2018	2018	2019	2019	2019	2021
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis pada Jalan Tol Solo-Kertososno Tahap III STA 118+700 – 139+760.	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus : Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis, Daerah Istimewa Yogyakarta.	Analisis Penurunan dan Waktu Konsolidasi Pada Perbaikan Tanah Lunak dengan Metode <i>Preloading</i> dan <i>Prefabricated</i>	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dan Turap Beton Menggunakan Program Plaxis.	Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah dan Sheet Pile Baja Pada Lereng jalan Tol Balikpapan-Samarinda Sta 2+850 – 3+050	Analisis Stabilitas Lereng Badan Jalan Dengan Timbunan Bertahap dan Menggunakan Perkuatan Geotekstil
Metode Penelitian	Analisis menggunakan metode Fellenius	Analisis menggunakan metode Fellenius Sliced .	Analisis Menggunakan Metode <i>preloading</i> dan <i>prefabricated vertical drain</i> (PVD)	Analisis menggunakan metode Fellenius..	Analisis menggunakan metode fellenius dan menggunakan aplikasi Plaxis	Analisis menggunakan Metode Fellenius dan menggunakan aplikasi Plaxis.

Lanjutan Tabel 2.1 Perrbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

<p>Tujuan</p>	<p>Mengetahui angka aman tanah timbunan badan jalan dengan variasi timbunan 2 m, 4 m, 6 m, dan 8 m.</p>	<p>Mengetahui nilai faktor keamanan lereng sebelum longor dengan variasi beban merata dan menggunakan program Geoslope.</p>	<p>Mengetahui penurunan dan waktu konsolidasi tanah lunak menggunakan metode <i>preloading</i> dan <i>Pre-fabricated vertical drain</i></p>	<p>Mengetahui angka aman lereng setelah diubah dengan geometri baru yang diperkuat dengan geotekstil.</p>	<p>Mengetahui nilai SF (safety factor) lereng dengan menggunakan dindding penahan tanah jenis kantiliver dan menggunakan sheet pile baja.</p>	<p>Mengetahui nilai aman lereng 12m tanah asli tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil. Mengetahui nilai angka aman timbunan bertajap 3m dengan konsolidasi</p>
---------------	---	---	---	---	---	---

Lanjutan Tabel 2.1 Perrbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

<p>Hasil</p>	<p>Hasil analisis stabilitas lereng dengan program Plaxis didapatkan nilai angka aman yang lebih besar dari angka aman yang disyaratkan 1,4, pada timbunan 2m nilai SF 1,785. Timbunan 4 m Nilai SF 1,645, timbunan 8 m nilai SF 1,504.</p>	<p>Hasil Analisa dengan perkuatan geotekstil menggunakan program Geoslope lereng sebelum longsor dan setelah longsor nilai SF menunjukkan labil</p>	<p>Hasil analisa Besar penurunan tanah lunak akibat beban <i>abutment</i> tanpa perbaikan tanah pada saat konsolidasi 90% berdasarkan perhitungan manual sebesar 0,610 m dan waktu yang diperlukan untuk konsolidasi 90% adalah 95000 hari atau 260 tahun, dengan perbaikan tanah menggunakan metode <i>preloading</i> pada saat konsolidasi 90% berdasarkan perhitungan manual sebesar 0,345m, perbaikan tanah menggunakan metode <i>preloading</i> pada saat konsolidasi 90% berdasarkan perhitungan menggunakan software <i>plaxis</i> 8.2 sebesar 0,390 m</p>	<p>Mengetahui penurunan dan waktu konsolidasi tanah lunak menggunakan metode <i>preloading</i> dan <i>Prefabricated vertical drain</i></p>	<p>Hasil Analisa pada lereng tanah asli tanpa perkuatan terjadi collapse. Nilai angka aman dengan perkuatan dinding penahan tanah 1,5972 dan dengan perkuatan sheet pile baja 1,8022.</p>	<p>Hasil analisis stabilitas lereng tanah asli mengalami keruntuhan, lereng dengan timbunan bertahap nilai angka aman 1,073 dan 1,065 sedangkan menggunakan perkuatan nilai aman 1,331 dan 1,520</p>
--------------	---	---	---	--	---	--

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Dalam pandangan Teknik sipil, semua bangunan konstruksi direkayasa untuk bertumpu pada tanah. Selain itu juga berfungsi sebagai penyaluran untuk menerima beban dari konstruksi bangunan di atasnya, dan tanah merupakan dasar yang berperan sangat penting sebagai pondasi dari suatu konstruksi bangunan.

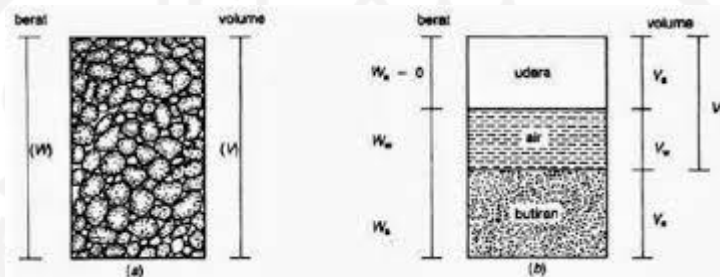
Tanah merupakan material yang terdiri dari himpunan butiran mineral-mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas, yang terletak di atas batuan dasar. Diantara ruang partikel-partikel terdapat zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong tersebut. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dan sifat fisik dari tanah kebanyakan bergantung dari factor ukuran, bentuk, serta kandungan kimia dari partikel tersebut.

Istilah pasir, lempung, lumpur atau lanau digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedangkan pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis (Hardiyatmo, 2006).

Tanah lempung mempunyai daya dukung dan kuat geser yang rendah yang berakibat pada kerusakan konstruksi yang berada di atasnya sehingga tanah dasar harus bersifat keras untuk menyesuaikan persyaratan teknis. Sebagian besar daerah di Indonesia memiliki karakteristik tanah lempung dengan plastisitas tinggi.

3.1.3 Parameter Tanah

Tanah terdiri dari beberapa bagian, pada tanah kering ada dua bagian yaitu butiran tanah dan udara. Pada tanah jenuh memiliki dua bagian yaitu butiran tanah dan air. Sedangkan pada tanah tidak jenuh, tanah memiliki tiga bagian yaitu butiran tanah, udara, udara dan air (Hardiyatmo, 2014). Bagian-bagian tersebut dapat dilihat pada diagram fase ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut



Gambar 3. 1 Diagram Fase Tanah
(sumber: Hardiyatmo,2002)

1. Berat Volume Basah (γ_b), ialah perbandingan antara butiran tanah termasuk air dan udar (W), dengan volume total tanah (V)
2. Berat volume jenuh air (γ_{sat})
Berat volume jenuh air (γ_{sat}), ($S = 100\%$)
3. Modulus Young
Modulus young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapat dari triaxial test. Umumnya modulus elastisitas (E) ditentukan dari uji triaksial kondisi undrained, dan nilai E ditentukan dari pendekatan keiringan kurva tegangan-regangan yang diambil pada setengah dari beban ultimit aksial. Nilai modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah sondir seperti terlihat pada Tabel 3.4. untuk tanah granuler seperti pasir, modulus elastisitas dapat ditentukan dari uji triaksial.

Tabel 3. 1 Perkiraan Modulus Elastisitas

Macam Tanah	E(kN/m ²)
LEMPUNG	
Sangat lunak	300-3000
Lunak	2000-4000
Sedang	4500-5000
Keras	7000-20000
Berpasir	30000-42500
PASIR	
Berlanau	5000-20000
Tidak padat	10000-25000
Padat	50000-100000
PASIR DAN KRIKIL	
Padat	80000-200000
Tidak padat	50000-140000
LANAU	2000-20000
LOESS	15000-60000
CADAS	140000-1400000

sumber: Bowles (1997)

Nilai-nilai E yang dipergunakan dalam Persamaan (3.6), terdapat beberapa usulan nilai E yang diberikan oleh peneliti yang lain. Hasil-hasil uji kerucut statis (sondir) yang dilakukan oleh De Beer (1965) memberikan korelasi antara tahanan kerucut q_c dan E , seperti dalam Persamaan (3.6) sebagai berikut.

$$E = 2 q_c \quad (3.6)$$

Dengan q_c dalam kg/cm^2 . Bowles (1977) mengusulkan persamaan yang dihasilkan dari pengumpulan data uji kerucut statis (sondir) seperti dalam Persamaan (3.7) dan (3.8), sebagai berikut.

$$E = 3 q_c \text{ kg/cm}^2 \text{ (untuk pasir)} \quad (3.7)$$

$$E = 2 q_c \text{ sampai } 8 q_c \text{ kg/cm}^2 \text{ (untuk pasir)} \quad (3.8)$$

Nilai perkiraan modulus elastis dapat pula diperoleh dari uji SPT. Mitchell dan Gardner (1975) mengusulkan nilai modulus elastis yang dihubungkan

dengan nilai SPT seperti dalam Persamaan (3.9) dan (3.10), sebagai berikut.

$$E = 6 (N+5) \text{ k/ft}^2 \text{ (untuk pasir berlempung)} \quad (3.9)$$

$$E = 10 (N+15) \text{ k/ft}^2 \text{ (untuk pasir)} \quad (3.10)$$

Didasarkan pada nilai pendekatan hubungan antara nilai N dari pengujian SPT dan tahanan konus (Meyerhof, 1956) nilai q_c dapat menggunakan rumus seperti dalam Persamaan (3.11), sebagai berikut.

$$q_c = 4N \quad (3.11)$$

4. Poisson Ratio

Poisson ratio memiliki nilai yang ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permulaan lateral. Nilai poisson ratio ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 2 Perkiraan Rasio Poisson

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

Sumber : Bowles (1997)

5. Kohesi

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

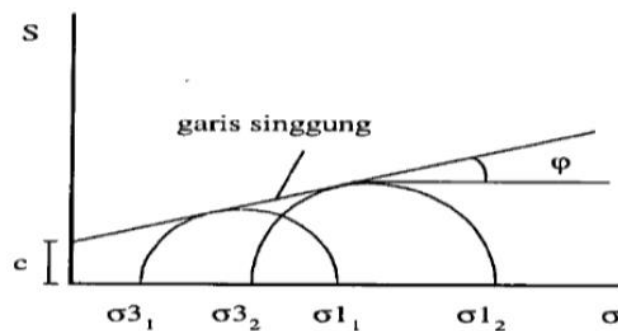
terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan factor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian *Direct Shear Test*.

6. Kuat geser Tanah

Kuat geser adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh sebagai berikut.

1. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Mengenai kekuatan geser tanah dikemukakan oleh Coulomb (1773) dengan Persamaan (3.2).



Gambar 3. 2 Kriteria Keruntuhan Mohr Coloumb
(Sumber: Das,Braja,1995)

$$\tau = c + \sigma_n \tan \varphi \quad (3.12)$$

keterangan:

τ = Kuat geser tanah (kN/m^2)

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

σ_n = Tegangan Normal pada bidang Tinjauan

$\tan \varphi$ = Koefisien gesek antar partikel tanah

φ = Sudut geser dalam tanah

Kekuatan geser dalam memiliki variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai

ini juga didapat dari pengukuran *engineering properties* tanah berupa *Triaxial Test* dan *Direct Sher Test*. Untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 3 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah

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

(Sumber: Das, 1994)

3.2 Lereng

3.2.1 Pengertian Umum

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat berbentuk secara alamiah karena proses geologi. Lereng juga dapat terbentuk untuk membangun sebuah konstruksi jalan raya dan jalan kereta api, bendungan, tanggul sungai dan kanal serta tambang terbuka.

3.2.2 Penyebab Longsor

Menurut Hardiyatmo (2014) kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut ini:

1. Penambahan beban pada lereng, Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenang di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuhan-tumbuhan yang tertiup angin dan lain-lain,
2. Penggalan atau pemotongan tanah pada kaki lereng,
3. Penggalan yang mempertajam kemiringan lereng,
4. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) (pada bendung, sungai dan lain-lain,
5. Kenaikan tekanan tanah lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral),

6. Gempa bumi, dan
7. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.

3.2.3 Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang miring, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Umumnya, analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengecek keamanan dari alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah.

Gaya-gaya gravitasi dan rembesan (*seepage*) cenderung menyebabkan ketidakstabilan pada lereng alami, lereng yang dibentuk dengan cara penggalian, pada lereng tanggul serta pada bendungan tanah. Tipe keruntuhan lereng yang terjadi pada analisis yaitu tipe keruntuhan gabungan digambarkan pada Gambar 3.2 sebagai berikut



Gambar 3. 3 Tipe keruntuhan lereng gabungan
(sumber: Santoso Budi,1998)

Berikut adalah tabel nilai faktor keamanan untuk lereng yang disyaratkan dari Departemen Pekerjaan Umum seperti pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 4 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng

Resiko terhadap nyawa manusia		Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan nyawa manusia		
		Tak diperhatikan	Rendah	Tinggi
Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan secara ekonomis	Diabaikan	1.1	1.2	1.5
	Rendah	1.2	1.2	1.5
	Tinggi	1.4	1.4	1.5

Catatan :

1. Meskipun nilai faktor keamanan lerengnya 1,4, jika beresiko tinggi terhadap keselamatan orang-orang disekitarnya maka harus diubah menjadi 1.1 berdasarkan hasil prediksi kondisi air tanah terburuk.
2. Faktor keamanan yang tercantum di dalam tabel ini adalah nilai-nilai yang direkomendasikan. Faktor keamanan yang lebih tinggi atau lebih rendah mungkin saja terjamin keamanannya pada situasi-situasi khusus dalam hubungannya dengan resiko kehilangan secara ekonomis.

(sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

3.2.4 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Kemantapan lereng sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan terhadap keruntuhan. Analisis stabilitas lereng berdasarkan pada konsep keseimbangan batas platis. Adapun maksud analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial.

Berdasarkan Hardiyatmo (2014) Maksud dari analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng, beberapa anggapan dibuat, yaitu: 1. kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi. 2. kassa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif. 3. tanah geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis. 4. faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor.

Menurut Hardiyatmo (1994) faktor keamanan didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, yang dapat dilihat dalam Persamaan (3.13).

$$F = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (3.13)$$

keterangan:

- τ = tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah (kN/m²),
 τ_d = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m²), dan
 F = faktor aman

Dalam teori Mohr-Coulumb (hardiyatmo 1994), tahanan terhadap tegangan geser (τ) yang dapat digerakkan oleh tanah, di sepanjang bidang longsohnya, dapat dinyatakan pada Persamaan (3.14).

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \emptyset \quad (3.14)$$

keterangan:

- τ = tegangan geser (kN/m²),
 c = kohesi (kN/m²),
 \emptyset = sudut gesek dalam tanah (derajat), dan
 σ = tegangan normal (kN/m²)

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi (τ_d) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsohnya seperti pada Persamaan (3.15).

$$\tau_d = c_d + \sigma \operatorname{tg} \emptyset_d \quad (3.15)$$

keterangan:

- τ_d = tegangan geser (kN/m²),
 c_d = kohesi (kN/m²),
 \emptyset_d = sudut gesek dalam yang terjadi (derajat), dan
 σ = tegangan normal (kN/m²)

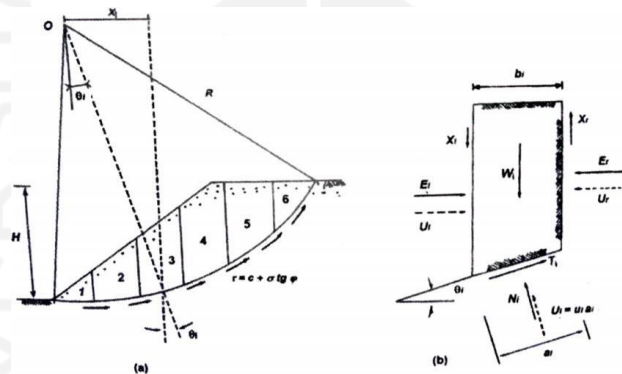
3.2.5 Metode yang Digunakan

Kelongsoran sering terjadi karena adanya kekuatan geser yang berbeda pada bagian tanah yang berbatasan, lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman

yang relative dangkal dibawah permukaan lereng dimana permukaan runtuhnya akan berbentuk bidang dan hamper sejajr dengan lereng. Untuk menganalisis stabilitas lereng ini ada beberapa metode yang sering digunakan sebagai berikut ini.

1. Metode Fellenius

Metode Fellenius diperkanalakan pertama kali oleh Fellenius (1936) bahwa gaya memiliki sudut kemiringan parallel dengan dasar irisan faktor keamanan dihitung dengan keseimbangan momen. Fellenius menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Metode fellenius dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 3. 4 Gaya yang Bekerja Pada Irisan
(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (3.16)$$

Atau

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i \quad (3.17)$$

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i a_i \quad (3.18)$$

Faktor keamanan didefinisikan sebagai,

$$F = \frac{\text{Jumlah momen dari tahan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \quad (3.19)$$

$$F = \frac{\sum Mr}{\sum Md} \quad (3.20)$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $\sin \theta$, maka

$$\sum Md = R \sum^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (3.21)$$

Keterangan :

R = Jari-jari lingkaran bidang longsor

n = jumlah irisan

W_i = berat massa tanah irisan ke- i

θ_i = sudut yang didefinisikan pada Gambar

Momen yang menahan tanah akan longsor didefinisikan

$$\Sigma Mr = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c\alpha_i + H_i \operatorname{tg} \varphi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.22)$$

Sehingga persamaan untuk faktor aman menjadi

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c\alpha_i + (W_i \cos \theta_i - U_i \alpha_i) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.23)$$

Keterangan :

F = faktor aman

C = kohesi tanah (kN/M^2)

φ = sudut gesek dalam tanah (derajat)

α_i = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke- I (meter)

W_i = berat irisan tanah ke- I (meter)

U_i = tekanan air pori pada irisan ke- I (kN/m^2)

θ_i = sudut yang didefinisikan dalam Gambar 3.2

3.3 Perkuatan Lereng

3.3.1 Pengertian Umum

Perkuatan lereng merupakan struktur perkuatan yang ditempatkan di tebing sungai untuk menyerap energi air yang masuk guna melindungi suatu tebing alur sungai atau permukaan lereng tanggul terhadap erosi dan limpasan gelombang ke darat dan secara keseluruhan berperan meningkatkan stabilitas alur sungai atau tubuh tanggul yang dilindungi. Walaupun demikian konstruksi perkuatan lereng secara terus menerus dikembangkan dan disempurnakan.

3.3.2 Faktor Keamanan

Didalam analisis kemnatapan lereng dengan permukaan gelincir yang diasumsi sebagai lengkungan lingkaran, maka gaya yang mendorong massa tanah di atas 25 lengkungan lingkaran sehingga menggelincir harus dibandingkan dengan gaya geser sepanjang lengkungan lingkaran yang menahan longosan itu. Berbagai metode diusulkan untuk perbandingan antara gaya dorong dan gaya penahan. Sehingga angka aman adalah: gaya yang menggelincirkan gaya penahan $SF =$ Bila faktor keamanan didapat 1, ini berarti bahwa lereng sudah hampir dalam bahaya keruntuhan lereng/longsor. Akibatnya, untuk mendapatkan lereng yang ditetapkan maka *safety factor* (SF) $\geq 1,0$. Dalam buku Mekanika Tanah I karya (Hardiyatmo H.C., 2009), Bowles J.E. (1989) menjelaskan bahwa keadaan lereng berdasarkan nilai *safety factor* (SF) nya dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 berikut ini.

Tabel 3. 5 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng

Faktor Keamanan (F)	Keadaan Lereng
$F < 1,00$	Lereng dalam kondisi tidak mantap (lereng <i>labil</i>)
$1,00 < F < 1,20$	Lereng dalam kondisi kemantapan diragukan
$1,30 < F < 1,40$	Lereng dalam kondisi memuaskan
$1,50 < F < 1,70$	Lereng dalam kondisi mantap (lereng <i>stabil</i>)

(Sumber: Sosrodarsono, 2003)

Tabel 3. 6 faktor Kemanan Lereng

Faktor Keamanan	Status Lereng	Intensitas Longsor
$SF < 1,07$	Lereng Labil	Longsor sering terjadi
$1,07 \geq SF \geq 1,25$	Lereng Kritis	Longsor pernah terjadi
$1,25 \geq SF$	Lereng relatif stabil	Longsor jarang terjadi

(Sumber: Bowles, 1989)

Lereng yang labil merupakan lereng yang sering terjadi longsor, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) dibawah 1,07. Lereng kritis merupakan lereng

yang pernah terjadi longsor, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) antara 1,07 hingga 1,25. Sedangkan lereng yang relatif stabil merupakan lereng yang jarang terjadi longsor dan tergolong lereng yang aman, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) diatas 1,25.

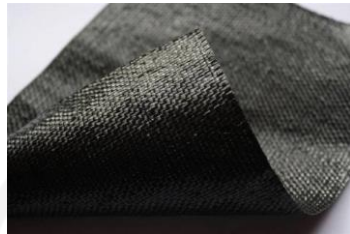
4.3 Geotekstil

Geotekstil merupakan salah satu jenis geosintetik atau produk buatan dari polime yang berfungsi untuk memperbaiki kinerja tanah. Dalam proses pembuatan geotekstil, elemen tekstil seperti serat-serat atau beberapa untain serat yang dikombinasikan menjadi struktur tekstil lembaran. Geotekstil umumnya tidak tahan atau mengalami degradasi apabila terkena sinar ultra violet daari matahari. Ada haal yang sangat penting terkait dengan geotekstil adalah kuat tariknya. Tipe geotekstil tertentu menentukan tipe penggunaan tertentu yang cocok, misalnya fungsi geotekstil yntuk tulangan atau pemisah, filtrasi atau drainase (Fluet, 1998).

Jika ditinjau menurut fungsinya, beberapa aplikasi geotekstil yang telah digunakan hingga saat ini adalah sebagai berikut ini.

1. Pemisah antar material yang berbeda. Pada struktur perkerasan jalan dan bandara geotekstil diletakkan di antara tanah dasar (subgrade) dan lapis pondasi agregat batuan dan diletakkan di antara lapisan aspal lama dan baru (overlay). Pada timbunan, geotekstil diletakkan pada dasar timbunan di atas tanah lunak berfungsi sebagai pemisah sekaligus sebagai perkuatan timbunan.
2. Sebagai filter. Dalam aplikasinya sebagai filter, geotekstil sering dipasang melingkari agregat batuan atau pipa pengumpul pada saluran drainase bawah tanah. Apabila geotekstil dipasang dalam timbunan dapat berfungsi sebagai penyaring agar butiran halus tidak terangkut aliran rembesan.
3. Perkuatan bangunan pada tanah lunak. Dalam fungsinya sebagai perkuatan, terutama perkuatan lereng pada timbunan terjal maupun landai, geotekstil diletakkan dibagian lereng dengan jarak tertentu sehingga terjaga

kestabilannya (Hardiyatmo, 2008).



Geotekstil *Woven*



Geotekstil *Non Woven*

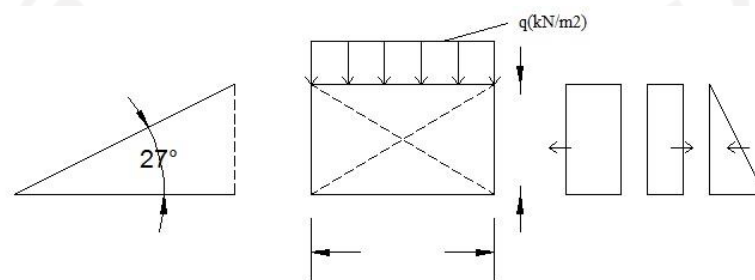
Gambar 3. 5 Geotekstil Woven dan Non Woven
(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul,2000)

3.4.1 Mekanisme Kerja Geotekstil pada Tanah

Dalam rekayasa Teknik sipil salah satu kegunaan geotekstil adalah sebagai fungsi stabilitas tanah untuk meningkatkan sifat mekanis massa tanah, meningkatkan faktor keamanan lereng dan menstabilkan lereng dengan kemiringan curam (kurang dari 70%). Lereng tanah yang diperkuat umumnya terdiri dari timbunan padat yang digabungkan dengan perkuatan geosintetik yang disusun kearah horizontal. Ketika tanah dan geosintetik digabungkan, material komposit (tanah yang diperkuat) tersebut menghasilkan kekuatan tekan dan transfe tegangan antara tanah dan perkuatan dapat terjadi melalui dua mekanisme, yaitu tahanan friksi dan tahanan pasif. Meskipun demikian, hanya geotekstillah yang bidang permukaannya halus. Sehingga hanya geotekstil sajalah yang transfer bebannya terjadi melalui friksi murni. Oleh karena sistim perkuatan yang lainnya tidak mempunyai permukaan yang rata dan halus, maka koefisien friksinya didapat dari pengukuran langsung.

3.4.2 Perkuatan Lereng dengan Geotekstil

Perkuatan lereng merupakan struktur perkuatan yang ditempatkan di lereng untuk menahan gaya tanah yang terjadi untuk melindungi terhadap erosi dan kelongsoran. Salah satu metode untuk perkuatan lereng yaitu dengan menggunakan geotekstil yang dibagi dalam stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Adapun diagram distribusi tekanan tanah lateral pada lereng dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Diagram Distribusi tekanan Tanah Lateral
(Sumber: Purwanto,2012)

Untuk mendapatkan jarak arah vertical anatar lapis geotekstil (S_v) dapat dilakukan dengan Persamaan (3.26) sampai dengan Persamaan berikut ini.

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{\varphi}{2}\right)\right) \quad (3.24)$$

$$\sigma_{hc1} = q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} + K_a \cdot H_1 \cdot \gamma b \quad (3.25)$$

$$S_{v1} = \frac{T_a}{\sigma_{hc1} \cdot SF} \quad (3.26)$$

Keterangan:

K_a = koefisien tanah aktif

σ_{hc1} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m^2)

q = beban merata (kN/m^2)

SF = faktor aman

S_v = jarak tulangan arah vertical (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

c = kohesi (kN/m^2)

T_a = kuat tarik geotekstil *allowable*

1. Stabilitas Eksternal

a. Stabilitas Eksternal

Faktor aman terhadap geser terdapat pada Persamaan (3.29).

$$SF = \frac{L.(q+\gamma b).\tan\phi}{(q.Ka.H+Ka.H^2.\gamma b-2.c.\sqrt{Ka}.H)} \quad (3.27)$$

b. Stabilitas Terhadap Guling

Faktor aman terhadap guling terdapat pada Persamaan (3.30).

$$SF = \frac{L.(\frac{1}{2}q+\frac{1}{2}\gamma b.H)}{(\frac{1}{2}q.Ka.H^2+\frac{1}{6}Ka.H^2.\gamma b-c.\sqrt{Ka}.H^2)} \quad (3.28)$$

c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Nilai L pada stabilitas eksentrisitas terdapat pada Persamaan (3.31).

$$\frac{1}{6}L \geq \frac{(\frac{1}{2}q.Ka.H^2+\frac{1}{6}Ka.H^2.\gamma b-c.\sqrt{Ka}.H^2)}{(q.L+\gamma b.H.L)} \quad (3.29)$$

d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Daya Dukung Tanah

Faktor aman terhadap kapasitas daya dukung tanah terdapat pada Persamaan (3.32) sampai (3.34).

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{q_{ult}} \quad (3.30)$$

$$q_{ult} = c.Nc + 0,5L.\gamma b.N\gamma \quad (3.31)$$

$$\sigma_{ult} = c.Nc + q.Nq + 0,5L.\gamma b.N\gamma \quad (3.32)$$

2. Stabilitas internal

a. Panjang Geotekstil “Overlapping”

Panjang geotekstil *overlapping* terdapat pada Persamaan (3.35)

$$L0 = \frac{\sigma_{hc1}.Sv.SF}{2.Zi.\gamma b.\tan\phi} \quad (3.33)$$

Keterangan:

$L0$ = Panjang geotekstil *overlapping* (m)

σ_{hc1} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m²)

q = beban merata (kN/m²)

SF = faktor aman

Sv = jarak tulangan arah vertikal (m)

- γ = berat volume tanah (kN/m^3)
 Φ = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)
 Z_i = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah (m)

3.5 Konsolidasi

3.5.1 Umum

Konsolidasi merupakan proses keluarnya air dari dalam pori-pori tanah yang menyebabkan terjadinya perubahan volume tanah (memampat). Peristiwa konsolidasi umumnya dipicu oleh adanya beban/muatan diatas tanah. Muatan tersebut dapat berupa tanah atau konstruksi bangunan yang berdiri di atas tanah. Nila lpaian tanah mengalami beban diatasnya, maka air pori akan mengalir keluar dari lapisan tersebut dan volumenya akan berkuarang atau dengan kata lain akan mengalami konsolidasi. Secara umum penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar sebagai berikut.

1. Penurunan segera yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, biasa, basa, dan jenuh air tanpa adanya perubahan air.
2. Penurunan konsolidasi merupakan hasil dari penurunan volume tanah air sebagai akibat dari keluarga air yang menempati pori-pori tanah.

3.6 Pembebanan

3.6.1 Beban Merata

Untuk perhitungan beban merata ada timbunan, berdasarkan panduan beban lalu lintas untuk analisis stabilitas dalam SE PUPR 42/SE/M/2015 beban lalu lintas dapat dilihat pada tabel 3.7 berikut.

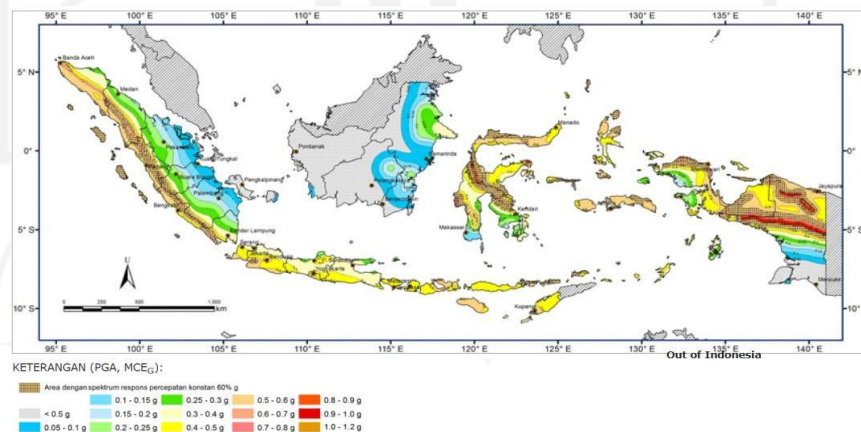
Tabel 3. 7 Beban Lalu Lintas Untuk Analisis Stabilitas

Klasifikasi fungsi jalan	LHR		Kelas	Beban (Kpa)
	Arteri	Semua		
Primer	Arteri	Semua	I	15
	Kolektor	≥ 10.000	I	15
		≤ 10.000	II	12
Sekunder	Arteri	≥ 20.000	I	15
		≤ 20.000	II	12
	Kolektor	≥ 6.000	II	12
		≤ 6.000	III	12
Lokal	≥ 500	III	12	
	≤ 500	IV	12	

(Sumber ; Kementerian Pekerjaan umum dan Perumahan rakyat, 2015)

3.6.2 Beban Gempa

Lereng alam ataupun buatan bisa terjadi keruntuhan jika terjadi gerakan gempa bumi. Beban gempa dapat mempengaruhi nilai stabilitas dipengaruhi oleh percepatan seismik gempa, dimensi lereng, material lereng yang berhubungan dengan beban dinamik. Adapun peta zona gempa di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut

**Gambar 3.7 Peta Zonasi Gempa**

(Sumber : SNI 1726 :2012)

3.7 Plaxis

3.7.1 Pendahuluan

Program plaxis adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang rekayasa geoteknik. Prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat (Brinkgreve 2007). Model Mohr-Coulomb disarankan untuk digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi karena relatif sederhana, cepat dan saat tidak diperoleh data tanah yang memadai. Titik-titik kritis permodelan Mohr-Coulomb memiliki nilai yang berdekatan dengan titik-titik kritis tanah sebenarnya di sepanjang bidang kelongsoran. Oleh karena itu pemodelan Mohr-Coulomb sangat cocok untuk menganalisa stabilitas lereng. Kelebihan metode elemen hingga dengan metode kesimbangan batas (D.V Griffiths, P.A. Lane, 1999) yaitu :

1. Asumsi bidang longsor tidak diperlukan. Longsoran terjadi secara natural melalui zona dalam massa tanah di mana kekuatan geser tanah tidak dapat menahan tegangan geser yang ada,
2. Tidak adanya konsep irisan (slice) pada pendekatan elemen hingga sehingga tidak perlu adanya asumsi gaya-gaya yang terjadi pada tiap irisan (slice side force). Metode elemen hingga menjaga keseimbangan global hingga kelongsoran terjadi,
3. Jika terdapat data soil compressibility, metode elemen hingga dapat memberikan informasi deformasi yang terjadi, dan
4. Metode elemen hingga dapat memantau progressive failure termasuk shear failure secara keseluruhan.

Model material yang digambarkan pada program Plaxis adalah bentuk persamaan matematika yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan. Model material ini sering diekspresikan dalam bentuk pertambahan tegangan dan pertambahan regangan.

Pemodelan Plaxis dapat dianalisa dalam kondisi plane strain maupun axisymmetry. Plane strain digunakan untuk menganalisis struktur yang memiliki potongan melintang dengan pembebanan dan kondisi tegangan yang seragam dan perpindahan pada arah ini dianggap nol, sedangkan pemodelan axisymmetry digunakan untuk analisa struktur lingkaran yang memiliki potongan radial dan pembebanan seragam terhadap pusat, dengan deformasi dan tegangan yang besarnya dianggap sama pada arah radialnya.

Untuk mendapatkan hasil analisis metode elemen hingga yang akurat diperlukan pemodelan tanah yang sesuai dengan keadaan sesungguhnya di lapangan (Hendroatmo, 2008).

3.7.2 Parameter Input Untuk Program plaxis V20

Model Mohr-Coulomb akan digunakan pada tugas akhir ini dengan parameter-parameter berupa: kohesi tanah (c), sudut geser dalam (ϕ). Seperti yang dikutip dari peneliti sebelumnya (Hendroatmo, 2008), analisis data dengan program Plaxis dilakukan dengan memasukkan data berupa parameter-parameter dasar berikut ini.

1. Bentuk kemiringan lereng dan kondisi muka air tanah

Input data ini memberikan gambaran dari lereng yang akan dianalisis. Gambaran lereng akan ditampilkan dengan memasukkan koordinat-koordinat lereng tersebut. Data muka air tanah diinput untuk kemiringan lereng. Jika tekanan air pori sama dengan nol, maka opsi untuk kondisi permukaan air tanah diabaikan.

2. Data mesh generation

Data mesh generation merupakan informasi berupa titik noda koordinat, jumlah titik noda, dan titik tegangan yang ada untuk semua elemen yang dipakai.

3. Data Tanah

a. Berat isi tanah (γ)

Perhitungan berat tanah basah dan berat kering mengacu pada berat isi tanah pada parameter ini. Berat isi kering digunakan untuk material diatas garis phreatic, sedangkan berat isi basah digunakan untuk material yang berada dibawahnya. Untuk material nonporous paling sesuai menggunakan berat isi kering. Sebenarnya tidak ada tanah yang benar-

benar kering. Tanah diatas garis phreatic bersifat jenuh karena sifat kapiler tanah, sedang diatasnya lagi sebagian jenuh.

b. Konstanta modulus Young (Eref)

Plaxis menggunakan modulus Young sebagai modulus kekakuan dalam model elastik pada model Mohr-Coulomb. Namun Plaxis juga memberikan dua alternatif modulus lainnya, yaitu modulus geser G atau modulus oedometer Eoed. Harga dari parameter kekakuan memerlukan perhatian khusus karena banyak material tanah menunjukkan sifat non linier pada kondisi pembebanan. Dari test triaxial, dapat ditentukan besarnya modulus Young E, yang didapat dari kemiringan awal grafik tegangan regangan.

c. Rasio Poisson (ν_0)

Pada awal pembebanan aksial dalam tes triaksial, akan dihasilkan perubahan volume yang cukup besar, sehingga harga rasio poisson yang didapat cukup kecil. Harga rasio poisson ini disebut dengan harga elastik murni (ν_0). Pada kasus dan beberapa kasus geoteknik lainnya, harga ini cukup realistis untuk digunakan. Akan tetapi, apabila menggunakan model tanah Mohr-Coulomb, disarankan untuk memakai harga rasio poisson yang lebih besar.

d. Kohesi (c)

Dimensi kohesi sama dengan dimensi tegangan. Plaxis dapat menjalankan material yang tidak memiliki kohesi misalnya seperti pasir ($c=0$) tetapi tidak akan berjalan dengan baik. Sebaiknya digunakan nilai kohesi yang kecil untuk prosedur nonlinear agar lebih efektif (gunakan $c>0$). Dalam praktek di lapangan, material yang tidak memiliki kohesi sama sekali terkadang ditemui. Kohesi yang kecil diperlukan untuk mencocokkan pengukuran kuat geser dari test triaxial pada tingkat tegangan yang berbeda. Dalam hal ini parameter kohesi didapat dari analisa balik.

e. Sudut gesek (ϕ)

Parameter sudut geser dinyatakan dalam derajat dan merupakan pertambahan dari kuat geser dengan level tegangan. Sudut geser yang besar sering ditemukan pada pasir padat, dan cenderung menurun ketika tanah mengalami deformasi geser yang terus menerus. Sudut geser konstan pada pemodelan Mohr-Coulomb, lebih cocok menggunakan ϕ_{cv} (sudut geser kritis) dibandingkan dengan nilai yang lebih besar yang menghasilkan regangan yang kecil. Dalam hal ini parameter sudut geser didapat dari analisis balik. Penggunaan sudut geser yang besar dapat meningkatkan beban komputasi, sehingga waktu eksekusi akan meningkat secara eksponensial.

f. Sudut dilatasi (ψ)

Tanah lempung biasanya menunjukkan dilatasi yang kecil ($\psi \approx 0$). Dilatasi pada pasir tergantung pada kerapatandan sudut gesernya, selain material lapisan over consolidated, lempung dan lanau biasanya memiliki sudut dilatasi yang kecil ($\psi \approx 0$). Sudut dilatasi pada pasir tergantung kepadatan dan sudut gesernya. Untuk pasir kuarsa $\psi = \phi - 30^\circ$. Nilai negatif yang kecil untuk ψ hanya realistis untuk pasir sangat lepas.

3.7.3 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga ialah prosedur perhitungan yang dipakai untuk mendapatkan pendekatan dari permasalahan matematis yang sering muncul pada rekayasa Teknik, inti dari metode tersebut adalah membuat persamaan matematis dengan berbagai pendekatan dan rangkaian persamaan aljabar yang melibatkan nilai-nilai pada titik-titik distrik pada bagaian yang dievaluasi. Persamaan metode elemen hingga dibuat dan dicai solusinya dengan sebaik mungkin untuk menghindari kesalahan pada hasil akhirnya.

Menurut Hardiyatmo (2014) dengan menggunakan metoda keseimbangan batas dimungkinkan untuk melakukan evaluasi lereng dengan cepat. Tetapi, prosedur ini memberlakukan hitungan yang sama antara lereng timbunan baru, lereng yang baru digali atau lereng alami. Tegangan-tegangan di dalam lereng sangat dipengaruhi oleh K_0 , yaitu rasio tegangan lateral

terhadap tegangan vertical efektif. Tetapi, hitungan cara konvensional dengan metoda keseimbangan batas mengabaikan hal ini (Chowdhury, 1981).

3.7.4 Analisis Stabilitas lereng dengan Plaxis V20

Dari data yang ada kemudian diolah dengan memasukan data-data yang ada untuk lereng untuk dilakukan pengolahan data oleh program, maka akan diketahui perlu tidaknya lereng diberi perkuatan. Angka faktor keamanan (SF) terhadap lereng perkuatan geotekstil juga dapat dikontrol dengan program ini. Dalam pengoperasiannya diperlukan Langkah-langkah sebagai berikut:

1. Buka program *Plaxis V20* kemudian masukkan data dimensi dan *title* program yang akan dibuat.
2. Gambar penampang lereng yang akan dianalisis, kemudian klik *Standart Fixities*.
3. Buat jenis *properties* material yang akan dipakai pada lereng, dan isi data-data lereng seperti γ_d , γ_b , ϕ , dan lain sebagainya. Lalu kemudian aplikasikan material yang telah dibuat ke setiap lapisan tanah.
4. Kemudian ubah *mesh generating setup* sesuai dengan *mesh* dan lalu *generate*.
5. Buat lapisan muka air tanah pada penampang dengan menggunakan *initial conditions*.
6. Kemudian lakukan *calculating* dan isi setiap *phase* yang akan dilakukan analisis.
7. Kemudian buat *curve displacement*, dan baru dapat dilakukan *calculate*.
8. Setelah proses *calculate* selesai maka didapatkan *output* sebagai berikut.

Dari tahapan-tahapan yang telah dilakukan oleh program *Plaxis V20* didapatkan berupa *curve displacement* dan juga nilai SF. *Output* tersebut dapat dilihat apakah lereng aman mengalami kelongsoran atau sudah aman sehingga tidak diperlukan perkuatan tambahan. Apabila lereng belum aman terhadap longsor, maka akan dilakukan analisis kembali menggunakan perkuatan geotekstil dan akan didapatkan *Safety Factor* yang baru setelah diberi perkuatan.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah suatu cara untuk menemukan jawaban dari permasalahan yang telah diajukan. Penelitian yang dilakukan ialah menganalisis stabilitas lereng dengan beban gempa dan tanpa beban gempa menggunakan program Plaxis versi 20 dan mencari angka aman antara lereng asli. Program plaxis merupakan salah satu program aplikasi geoteknik yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng sehingga didapatkan tinggi timbunan yang berpotensi terjadi kelongsoran dan akan diperkuat menggunakan perkuatatan geotekstil.

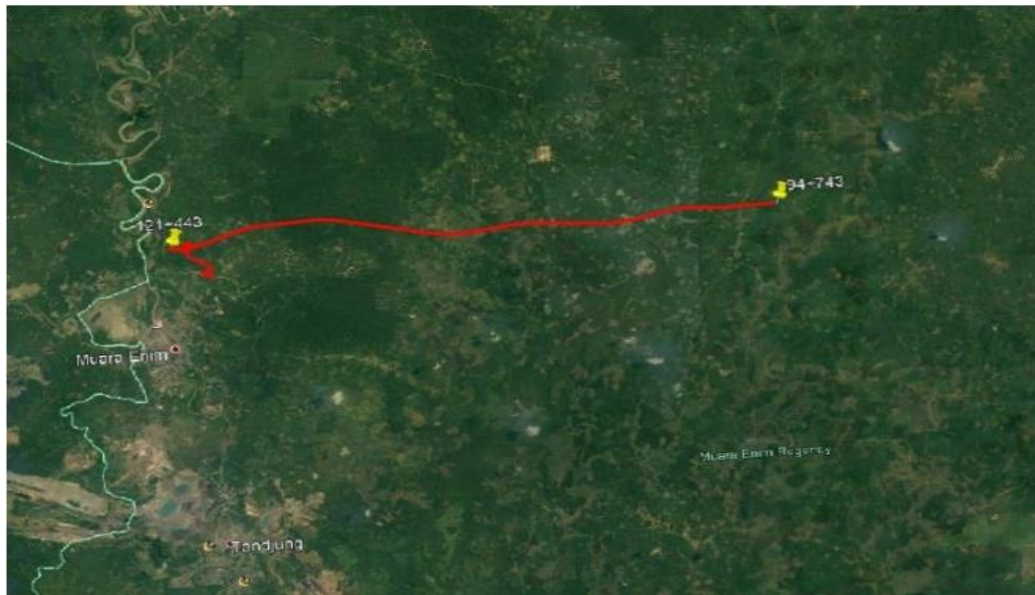
4.2 Data Penelitian

Data penelitian yang akan digunakan pada analisis tugas akhir ini adalah data sekunder yang meliputi sebagai berikut.

1. Data lapisan tanah
2. Peta lokasi
3. Gambar penampang

4.3 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di jalan. Untuk peta lokasi jalan tol dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Indralaya-Muara Enim
(Sumber: Laporan Analisa Geoteknik, 2020)

4.4 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini proses penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan, diantaranya yaitu sebagai berikut

1. Tahap pengumpulan data, tahap ini merupakan pengambilan data tanah dan data lereng (data uji lapangan dan laboratorium) yang dibutuhkan untuk keperluan analisis.
2. Tahap pemodelan desain potongan badan jalan yang akan ditinjau, untuk mengetahui gambar potongan melintang timbunan badan jalan.
3. Tahap pengolahan data software dan analisis, pada tahap ini akan mengolah data yang telah didapatkan kemudian akan diolah dan diinput kedalam software plaxis. Variasi pemodelan dilakukan dalam kondisi
4. Tahap pembahasan dan pengambilan kesimpulan, tahap ini dilakukan dan dimasukkan kedalam laporan yang kemudian akan menghasilkan solusi-solusi dari masalah yang ada dan diambil kesimpulan berdasarkan teori yang ada.

4.4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah hasil dari data yang diperoleh dari instansi terkait. Data yang diperoleh sebagai berikut.

1. Data Tanah

Tanah di konstruksi terdapat beberapa lapisan dan setiap lapisan berbeda jenis tanah. Ada 5 lapisan tanah yang terdiri dari Top Soil, Stiff Clay, Very Stiff Clay, Hard Silty Clay, dan Very Dense Sand.

2. Data Beban Lalu Lintas

Data beban lalu lintas diperoleh dari instansi terkait meliputi lalu lintas harian rata-rata dan beban lalu lintas sesuai fungsi jalan dan sistem jaringan

3. Data Gempa

Beban gempa ialah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa (baik itu gempa tektonik atau vulkanik) yang mempengaruhi struktur tersebut.

4. Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan jenis geotekstil dari PT. Tekindo Geosistem Unggul.

4.4.2 Desain Badan Jalan

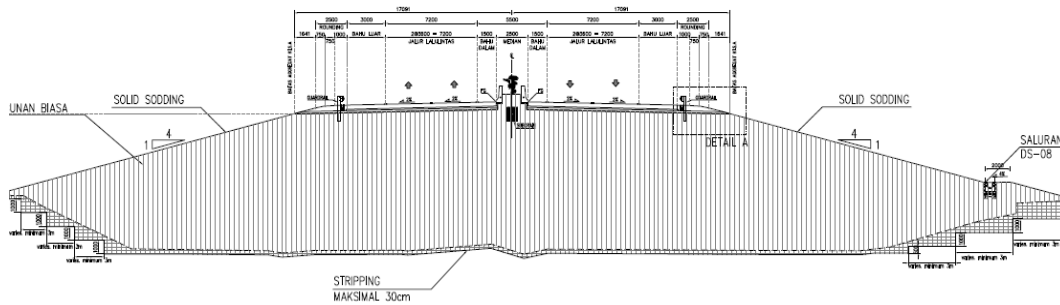
Desain potongan timbunan pada badan jalan sesuai gambar rencana. Variasi pada tanah asli kondisi drained dengan geotekstil, timbunan tanah asli kondisi undrained dengan geotekstil.

4.5 Analisis Data

Metode analisis data adalah cara untuk memudahkan dalam mengolah data yang diperoleh kemudian dianalisis berdasarkan tahap pengerjaannya. Data yang diperoleh dapat dilihat sebagai berikut.

4.5.1 Data Potongan Melintang Jalan dan Struktur Timbunan Lereng

Hasil penyelidikan tanah didapat hasil parameter tanah dan gambar potongan melintang timbunan lereng, dalam studi kasus ini kemiringan lereng diubah menjadi 1:1,4 yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Kondisi Lereng
(Sumber: Laporan Analisa Geoteknik, 2020)

Berikut adalah data parameter tanah lereng galian pada jalan Tol Indralaya-Muara Enim Sta.117+925 dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data Parameter Tanah

NAMA	SATUAN	TIMBUHAN	TOP SOIL	STIFF CLAY	VERY STIFF CLAY	HARD STIFF CLAY	VERY DENSE SAND
Model	-	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb
Jenis	-	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>
γ_{unsat}	kN/m ³	15	15	15	15	15	17
γ_{sat}	kN/m ³	16	16	16	16	16	18
Modulus Elastisitas (E)	kN/m ²	15000	3000	9000	12750	32250	45600
Angka Poisson (μ)	-	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Kohesi (c)	kN/m ²	50	20	60	85	215	0
Kohesi Tanah Efektif (c')	kN/m ²	15	2	25	28	30	0
Sudut Gesek Dalam (ϕ)	°	24	22	27	29	32	42
Sudut Dilatasi (ψ)	°	0	0	0	0	0	0

(Sumber: Laporan Analisa Geoteknik,2020)

4.5.2 Data Beban

Beban-beban yang bekerja pada lereng tersebut adalah beban perkerasan, beban lalu lintas, dan beban gempa. Data-data tertera pada data beban sebagai berikut.

1. Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Beban perkerasan jalan Tol Indralaya-Muara Enim sebesar 15 kN/m^2 dari data sekunder, sedangkan untuk beban lalu lintas yang bekerja sebesar 15 kN/m^2 dapat dilihat berdasarkan fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 4.2 berikut ini

Tabel 4. 2 Beban Lalu Lintas

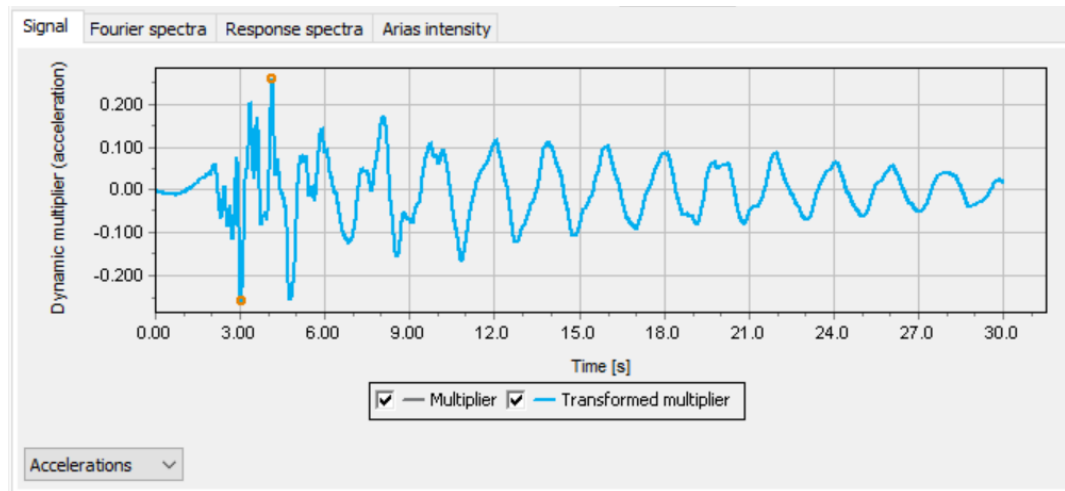
Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m^2)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	>10.000	15
		<10.000	12
Sekunder	Arteri	>20.000	15
		<20.000	12
	Kolektor	>6.000	12
		<6.000	10
	Lokal	>500	10
		<500	10

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

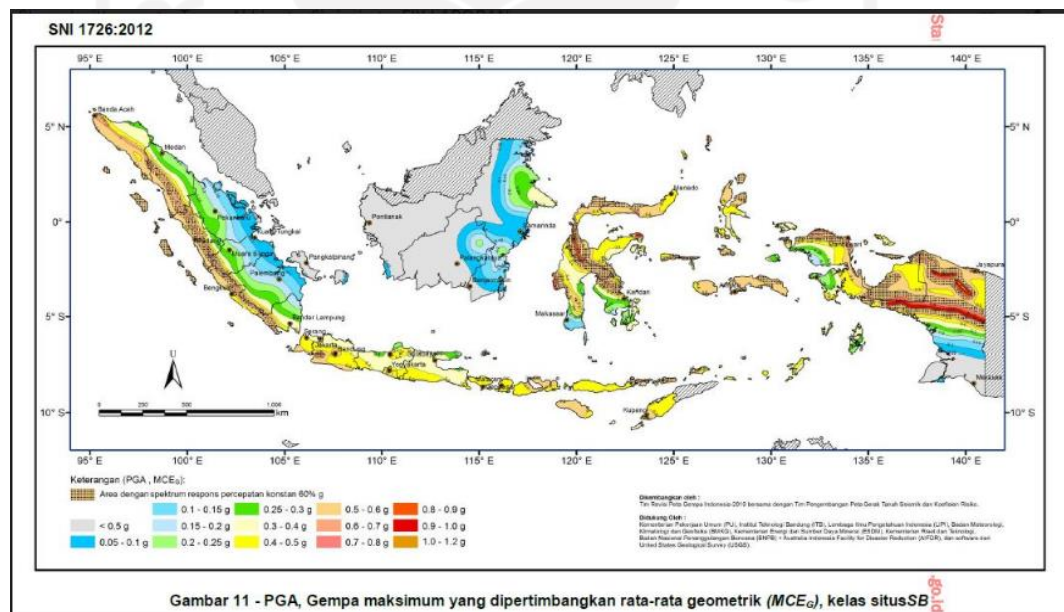
2. Data Gempa

Pada daerah Indralaya – Muara Enim khususnya wilayah Muara Enim mempunyai nilai percepatan puncak gempa (PGA) sebesar 0,2-0.4g, data tersebut mempunyai kesamaan nilai yang berada di Kawasan *Gempa Whittier Narrows, California* pada tahun 1987 yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,35g. waktu interval yang dimasukkan dalam plaxis diambil sebesar 4 detik dengan asumsi telah melewati percepatan puncak. Grafik

respon spektrum dan gambar peta zonasi gempa dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Antara Percepatan dan Waktu
(sumber: Data Gempa Whittier Narrows California, 1987)



Gambar 4. 4 Peta Zonasi Gempa Indonesia
(Sumber : SNI 1726:2012)

4.5.3 Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan jenis *woven* atau teranyam. Data parameter geotekstil dari PT. Tekindo Geosistem Unggul. Untuk spesifikasi geotekstil dari PT. Tekindo Geosistem Unggul dapat dilihat pada lampiran 3. Adapun data geotekstil dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut :

Tabel 4. 3 Data Parameter Geotekstil Woven

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

(Sumber: PT. Tekindo Geosistem Unggul, 2015)

4.6 Analisis Data dengan Software Plaxis V20

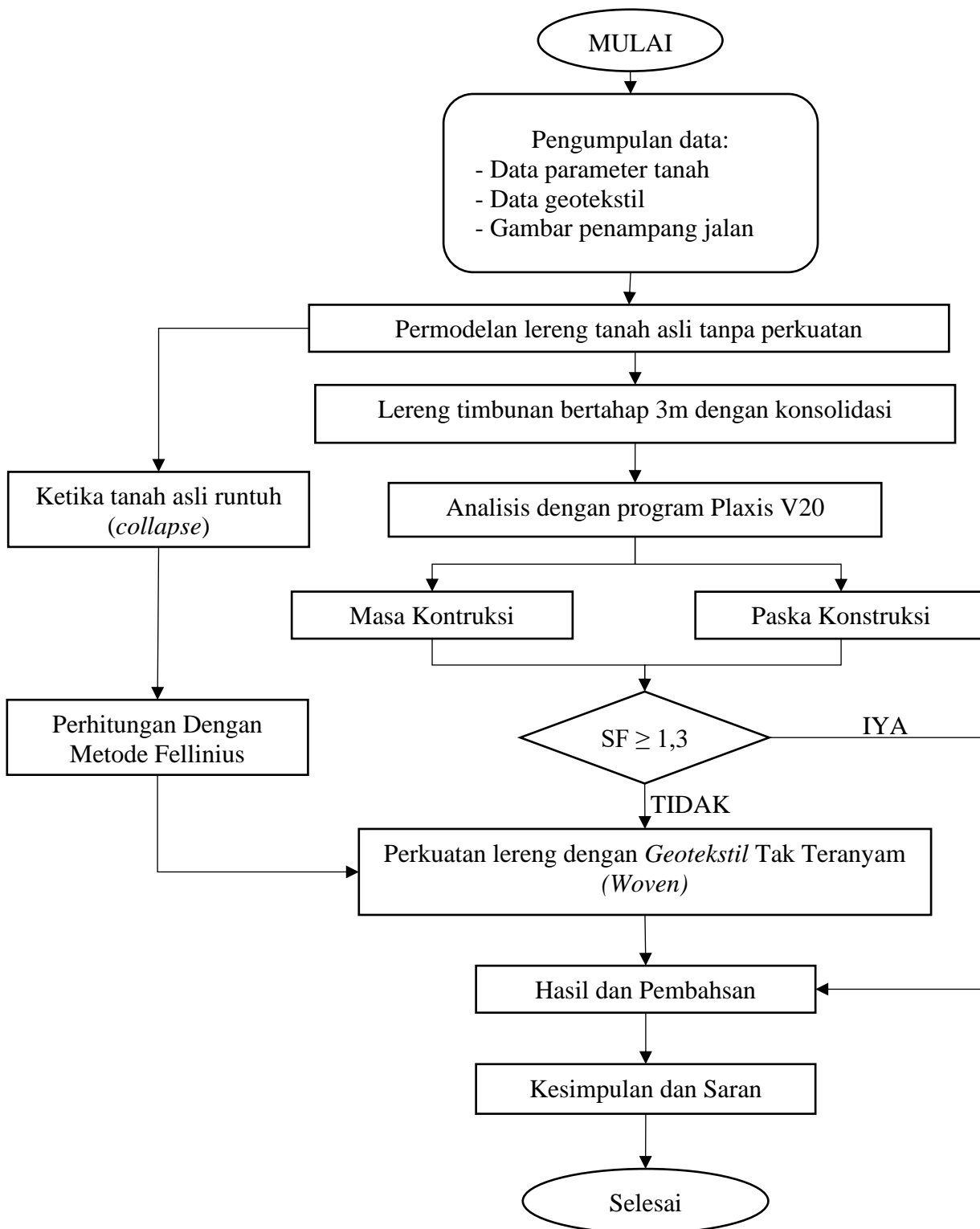
Metode tahapan dengan analisis menggunakan *software plaxis* untuk tanah yang diberikan beban lalu lintas dan beban gempa dengan variasi tanah pada kondisi drained dan dengan tanpa menggunakan geotekstil, kondisi tanah undrained dengan dan tanpa menggunakan geotekstil. Langkah-langkah analisis menggunakan *software plaxis* seperti berikut ini.

1. Input
 - a. Memodelkan geometri tanah,
 - b. Memberikan kondisi batas (boundary condition),
 - c. Membentuk mesh lapisan tanah dan timbunan,
 - d. Menentukan kondisi tanah air tanah,
 - e. Menentukan konfigurasi awal dari mesh,
 - f. Menghitung tegangan-tegangan awal, dan
 - g. Menspesifikasi titik yang ditinjau.
2. Proses (*calculation* pada *software PLAXIS*)
3. Output
 - a. Nilai angka aman pada tanah asli
 - b. Nilai displacement lereng dengan dan tanpa perkuatan,
 - c. Nilai angka aman timbunan bertahap dengan konsolidasi
 - c. Besarnya penurunan (konsolidasi) yang akan terjadi dengan lama 200 hari

4.7 Bagan Alir

Bagan alir (*flow chart*) menunjukkan langkah-langkah yang ditempuh selama proses penelitian. Bagan alir ini akan membantu kita melakukan evaluasi prosedur yang ada apakah sudah optimal atau sebaliknya untuk dapat melakukan perbaikan. Proses penelitian dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.5 dibawah ini.





Gambar 4. 5 Alur Bagan Penelitian

BAB V

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum Analisis

Jalan tol Indralaya- Muara enim seksi Prabumulih-Muara Enim pada Sta 117+725 akan dilakukan pembangunan jalan dan terdapat pekerjaan timbunan tanah, pada daerah stasiun lain untuk mencapai *finish grade* permukaan jalan maka dilakukan penimbunan tanah yang cukup tinggi dengan ketebalan kurang lebih dari hingga 12 meter dari permukaan tanah asli setempat. Penimbunan tanah tersebut dimaksudkan untuk memebentuk badan jalan sesuai dengan gambar desain.

Pada lokasi yang akan dilakukan penelitian mempunyai lima lapisan yang mempunyai varian jenis tanah, seperti tanah lempung, pasir, dan pasir lempung. Lapisan tanah yang digunakan sampai lapisan kelima mempunyai kedalaman 30 meter. Dengan jenis tanah diatas jika air masuk maka tanah akan menjadi tidak stabil dan lemah, sehingga dengan adanya beban dinamis diatas lapisan tersebut akan mengakibatkan terjadi konsolidasi tanah dan terjadi longsor. Untuk mempermudah pelaksanaan dilapangan serta mencegah kelongsoran yang akan terjadi maka dilakukan dengan mendesain timbunan badan jalan dengan tanah yang memiliki parameter yang baik akan dilakukan penimbunan bertahap dengan konsolidasi dan diperkuat dengan menggunakan geotekstil.

Dalam penelitian ini yang akan dianalisis dengan melakukan penimbunan secara bertahap 3m sampai 12m dengan konsolidasi, dengan penimbunan bertahap tersebut akan diketahui timbunan yang memiliki kemanan terhadap beban-beban yang terjadi. Dan analisis timbunan bertahap dengan konsolidasi memiliki beberapa tahap yaitu penimbunan tanah dilakukan secara bertahap 3m sampai 12m dengan konsolidasi, dan tahap kedua yaitu dengan ditambah beban lalu lintas ditambah dengan beban saat pekerjaan sebesar 25 kN/m^2 .

Jika angka aman (SF) lereng belum memenuhi syarat yang direncanakan, maka akan dilakukan perkuatan lereng dengan menggunakan bahan perkuatan berjenis geotekstil. Sehingga dengan adanya tambahan perkuatan geotekstil pada lereng

akan membuat nilai aman (SF) naik dan dapat menahan keruntuhan (kelongsoran) dari timbunan lereng.

5.2 Data Parameter Analisis

5.2.1 Data Parameter Tanah

Parameter tanah untuk tanah asli terdiri dari 5 lapisan yaitu *top soil*, *stiff clay*, *very stiff clay*, *hard silty clay*, dan *very dense sand*. Material tanah dimodelkan menggunakan pemodelan *Mohr Couloumb* Parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1.

5.2.2 Data Beban Lalu Lintas

Beban perkerasan sebesar 10 kN/m^2 dari data sekunder, sedangkan beban lalu lintas yang berkerja sebesar 15 kN/m^2 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

5.2.3 Data Beban Gempa

Pada daerah Indralaya – Muara Enim khususnya wilayah Muara Enim mempunyai nilai percepatan puncak gempa (PGA) sebesar 0,2-0.4g, data tersebut mempunyai kesamaan nilai yang berada di Kawasan *Gempa Whittier Narrows, California* pada tahun 1987 yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,35g. waktu interval yang dimasukkan dalam plaxis diambil sebesar 4 detik dengan asumsi telah melewati percepatan puncak. Grafik respon spektrum dan gambar peta zonasi gempa dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.

5.2.4 Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan jenis *woven* atau teranyam. Data parameter geotekstil dari PT. Tekindo Geosistem Unggul. Untuk spesifikasi geotekstil dari PT. Tekindo Geosistem Unggul dapat dilihat pada lampiran 3. Adapun data geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.4.

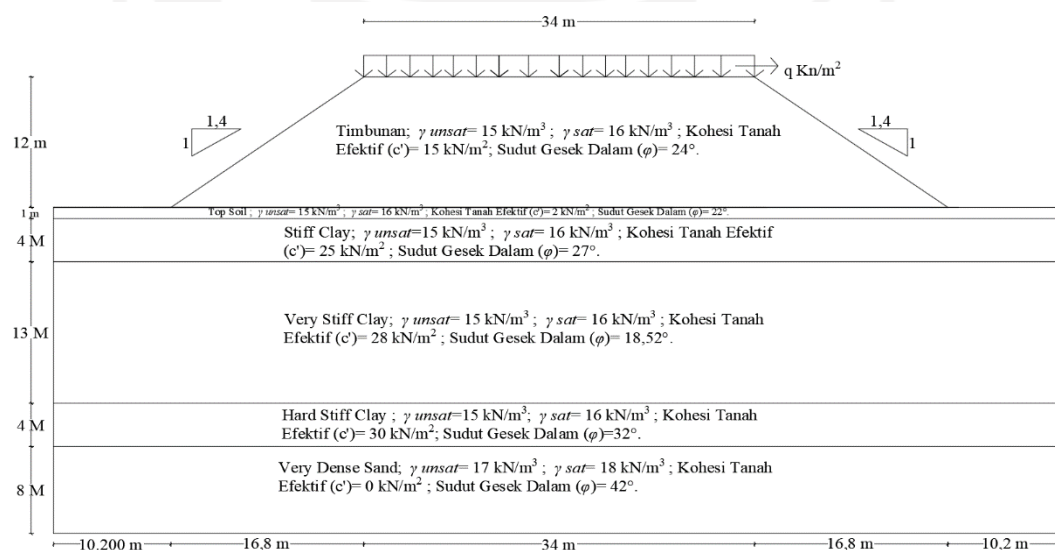
Tabel 5. 1 Data Parameter Geotekstil Woven

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

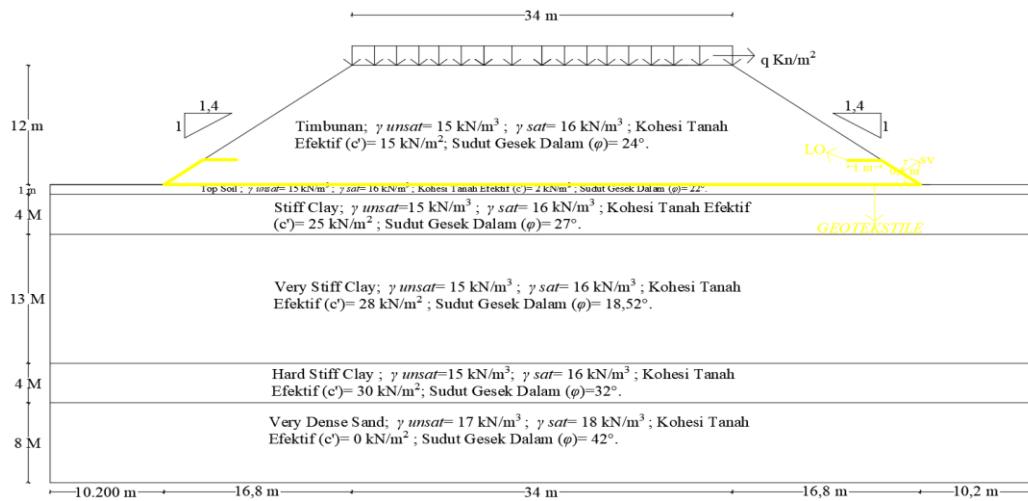
(Sumber: PT. Tekindo Geosistem Unggul, 2015)

5.2.5 Kondisi Desain pada Lereng Timbunan

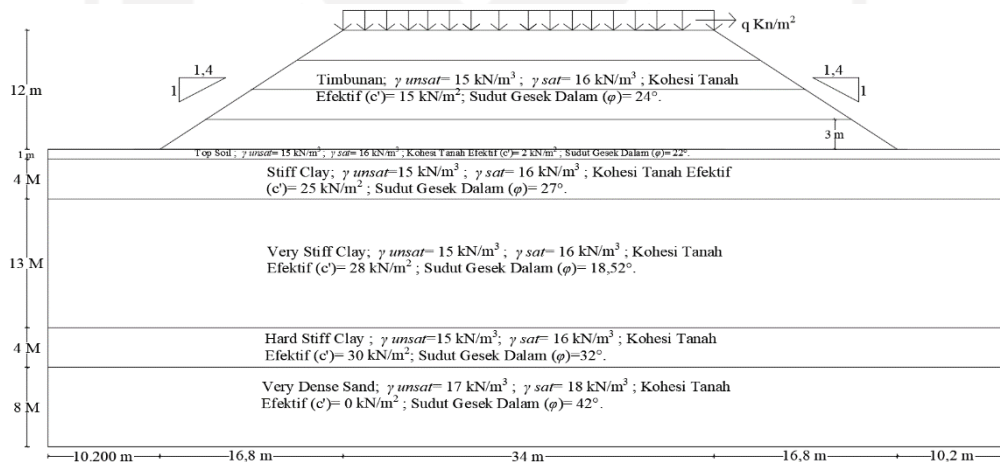
Kondisi eksisting lereng timbunan dengan kemiringan 1:1,4 dan jenis material yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 5.1. Sedangkan untuk lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada gambar 5.2 dan timbunan bertahap 3m dengan konsolidasi pada Gambar 5.3.



Gambar 5. 1 Geometri Kondisi Desain Timbunan Tanah Asli



Gambar 5. 2 Geometri Kondisi Desain Timbunan Lereng dengan Perkuatan Geotekstil



Gambar 5. 3 Geometri Kondisi Desain Timbunan Lereng Bertahap 3m Dengan Konsolidasi

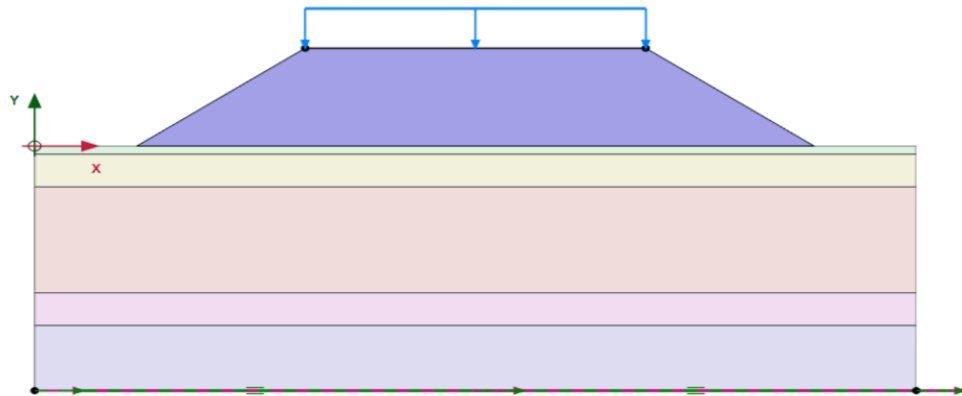
5.3 Lereng Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan

5.3.1 Analisis Timbunan Badan Jalan menggunakan Program PLAXIS V20

Pada hasil analisis menggunakan program *Plaxis V20* pada timbunan 12 m yang akan ditampilkan dibawah ini. Analisis ini meliputi berupa pemodelan awal lereng.

1. Pemodelan awal

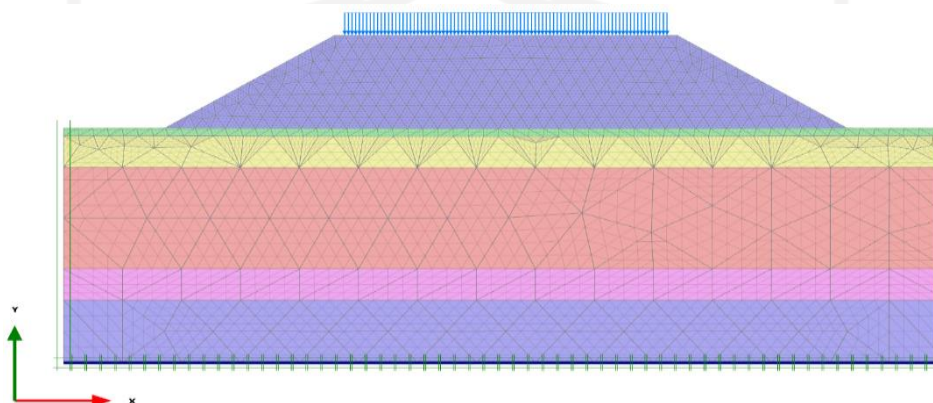
Pada pemodelan lereng tanah asli timbunan bertahap 3m, lebar lereng 34 meter yang akan digunakan sebagai jalan tol, menggunakan beban merata dan beban gempa dinamik. Untuk pemodelan lereng tanah asli dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 4 Pemodelan Lereng Tanah Asli Timbunan 12m

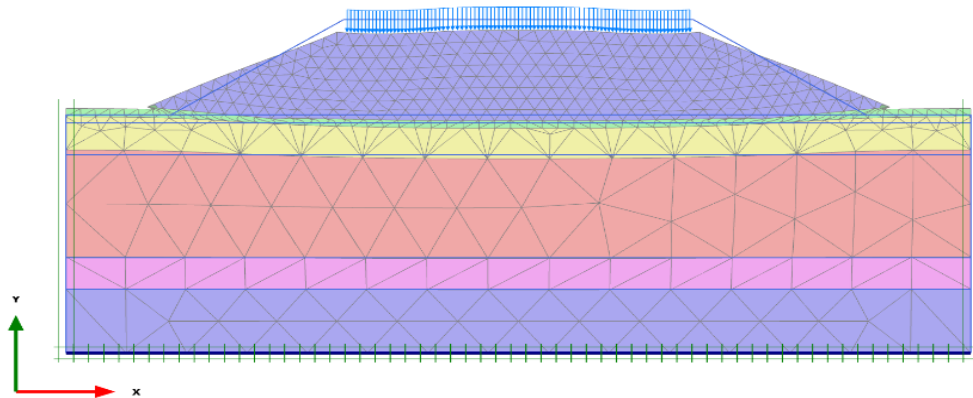
2. Kondisi Masa Konstruksi

Pada masa konstruksi dianggap timbunan dianggap bersifat *undrained*. Untuk beban yang bekerja pada masa konstruksi yaitu beban struktur perkerasan jalan sebesar 10 kN/m^2 . Selanjutnya pada tahapan konstruksi dilakukan *input* parameter tanah, untuk tahapan setelahnya dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Adapun hasil jaringan elemen (*meshing*) dapat dilihat pada Gambar 5.5.



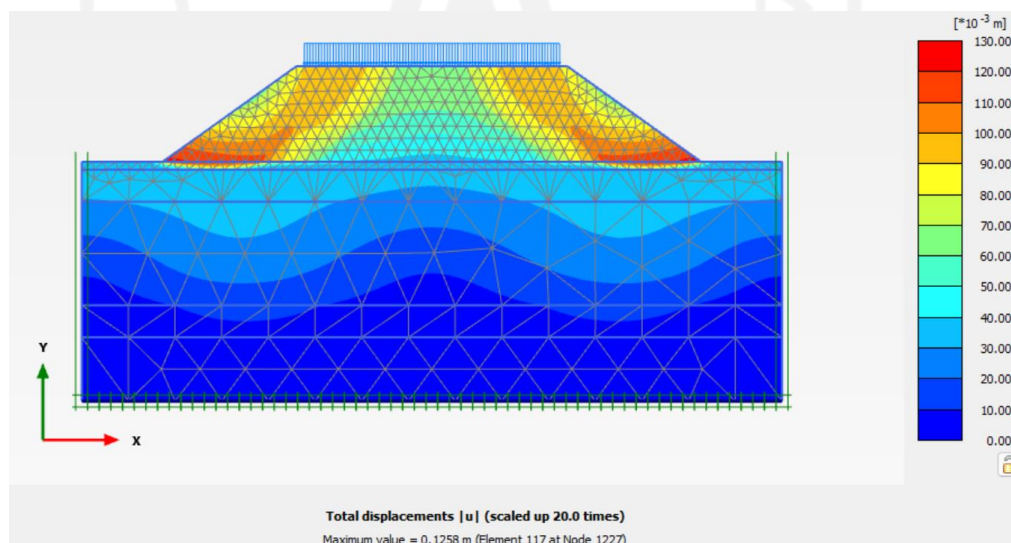
Gambar 5. 5 Jaringan Elemen (Meshing) Timbunan Lereng Tanah Asli 12m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur

Setelah dilakukan *meshing* kemudian dilakukan tahap analisis (*calculation*) lereng timbunan tanah asli setinggi 12m mempunyai beberapa tahap. Tahap pertama yaitu analisis perhitungan akibat beban struktur perkerasan jalan sebesar 10 kN/m^2 , Tahap kedua yaitu analisis perhitungan angka aman (SF). Tahap keempat yaitu analisis perhitungan akibat beban gempa, ternyata pada saat analisis perhitungan akibat beban struktur sudah runtuh (*collapse*). Untuk hasil deformed mesh dapat dilihat pada gambar 5.6.



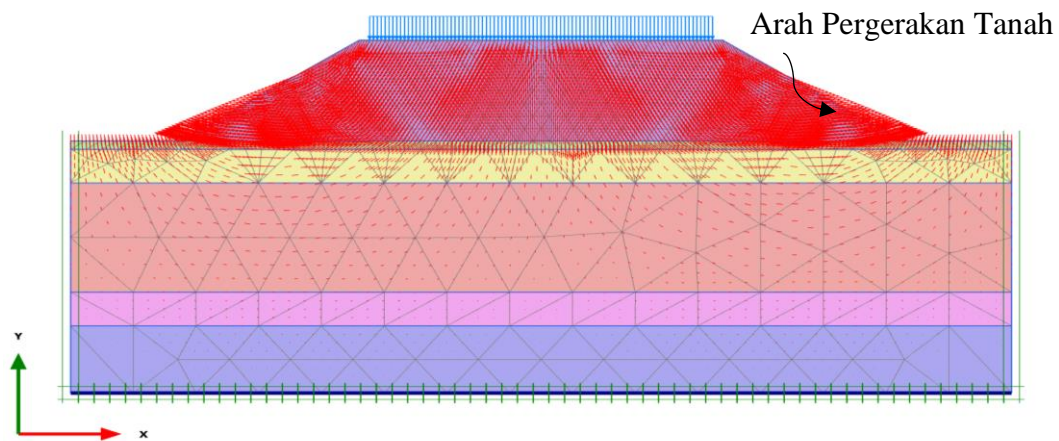
Gambar 5. 6 Deformed Mesh Lereng Timbuan Tanah Asli 12m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur

Selanjutnya untuk nilai total displacement pada lereng timbunan tanah asli 12 meter akibat beban struktur masa konstruksi sebesar 0,1068 m. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.7.



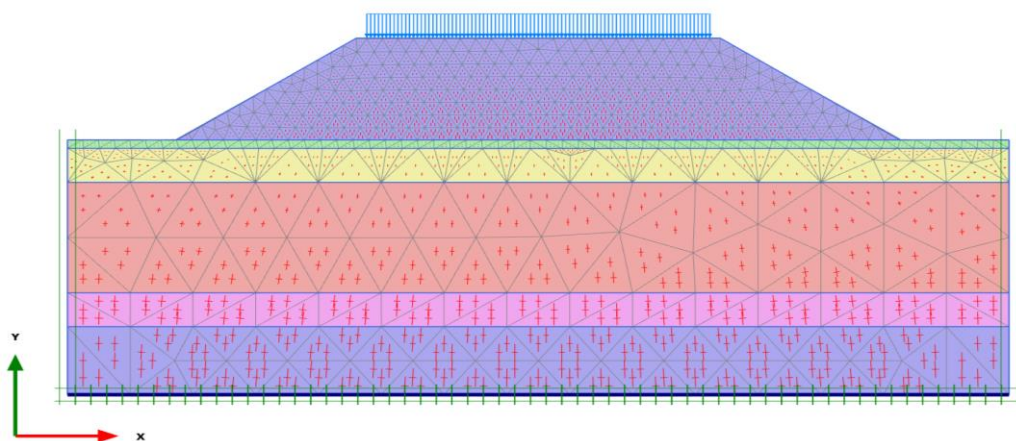
Gambar 5. 7 Total Displacement Lereng Timbuan Tanah Asli 12m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur

Selanjutnya untuk arah pergerakan lereng tanah asli timbuan 12 meter pada masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.8.



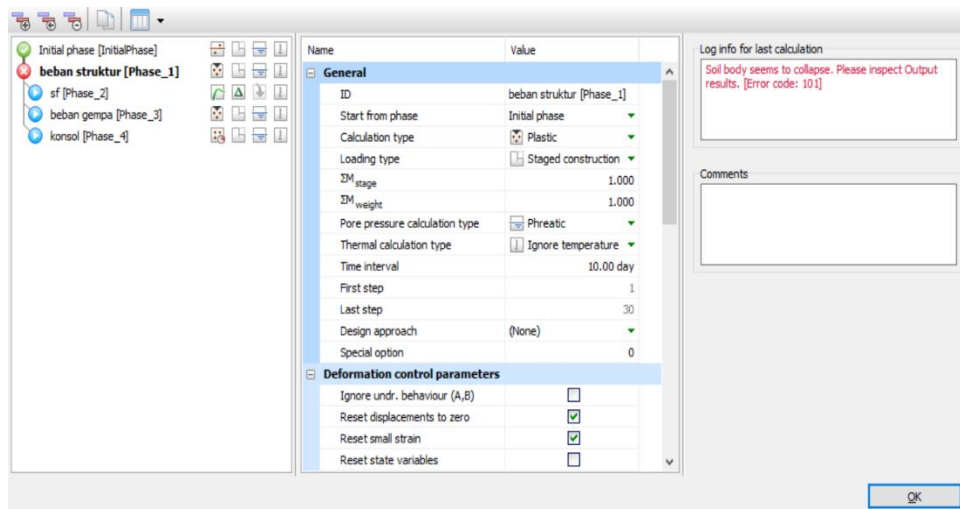
**Gambar 5. 8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbuan Tanah Asli 12m
Masa Konstruksi akibat Beban Struktur**

Selanjutnya untuk nilai *effective stresses* pada lereng timbunan tanah asli 12 meter akibat beban struktur sebesar $0,01776 \times 10^{-12} \text{ kN/m}^2$. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.9.



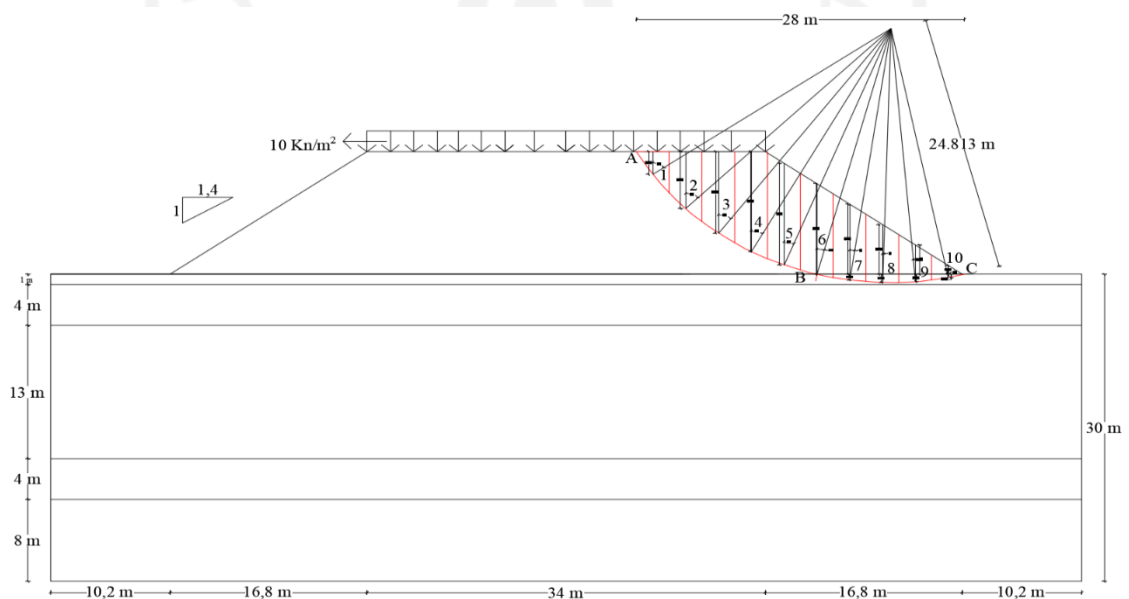
**Gambar 5. 9 Nilai Effective Stresses Lereng Timbuan Tanah Asli 12m Masa
Konstruksi akibat Beban Struktur**

Selanjutnya untuk potensi kelongsoran pada lereng timbunan 12 meter pada masa konstruksi tidak ada karena lereng timbunan pada saat menerima beban struktur sudah runtuh (*collapse*). Adapun *log info collapse* dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5. 10 Log Info Collapse untuk Perhitungan Analisis Akibat Beban Struktur Masa Konstruksi

Selanjutnya untuk angka aman (SF) pada lereng timbunan tanah asli 12 meter pada masa konstruksi mengalami runtuh (*collapse*). Adapun gaya-gaya yang bekerja pada irisan lereng timbunan tanah asli masa konstruksi 12 meter dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5. 11 Gambar Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan Masa Konstruksi

Bidang longsor akan dibagi menjadi 10 irisan. Panjang total dari bidang longsor arah horizontal adalah 28 m, maka tiap irisan mempunyai lebar $28/10 = 2,8$ m. berikut cara untuk menghitung gaya berat setiap irisan bisa dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Perhitungan Gaya Berat Metode Irisan

Pia	b (m)	hi (m)	sudut α (°)	Sin α (°)	Cos α (°)	Berat Wi (kN)	Wi.cos α .tan phi (kN)	Wi.sin α (kN)	
1	2,8	2,242	55	0.8191520	0.57357643	100.4416	25.65004084	110.276942	
2	2,8	5,571	45	0.7071067	0.70710678	249.5808	78.57408133	204.4802761	
3	2,8	7,974	36	0.5877852	0.80901699	357.2352	128.675252	237.9775822	
4	2,8	9,76	29	0.4848096	0.87461970	437.248	170.2668995	239.9820368	
5	2,8	9,931	22	0.3746065	0.92718385	444.9088	183.6622895	194.6657699	
6	2,8	8,849	15	0.2588190	0.96592582	396.4352	170.4900839	130.6049799	
7a	2,8	6,857	8	0.1391731	0.99026806	307.1936	135.4403528	70.75308591	
7b	2,8	0,559	8	0.1391731	0.99026806	25.0432	10,0196408	31.4853398	
8a	2,8	4,857	2	0.0348994	0.99939082	217.5936	96.81989644	35.59390713	
8b	2,8	0,799	2	0.0348994	0.99939082	35.7952	14.45338958	71.24923446	
9a	2,8	2,857	-5	-0.087155	0.99619468	127.9936	56.76957171	58.84462273	
9b	2,8	0,721	-5	-0.087155	0.99619469	32.3008	13.00070972	67.18479978	
10a	2,8	0,857	-11	-0.190808	0.98162718	38.3936	16.77986837	62.67415576	
10b	2,8	0,323	-11	-0.190808	0.98162718	14.4704	5.739005876	53.23891751	
JUMLAH								1106,341082	1569,01165

Untuk hasil pengukuran Panjang jari-jari dan sudut yang diapit, panjang garis AB = 20,1028 m, dan BC = 12,6967 m. dengan begitu tanah terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen kohesi dapat dihitung sebesar :

$$\Sigma C_{iai} = (20,1028 \times 15) + (12,6967 \times 2) = 326,9354 \text{ Kn}$$

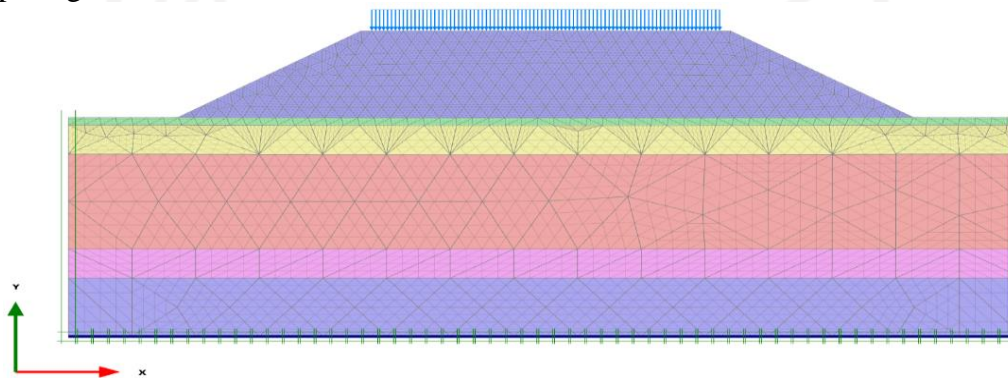
Dengan menggunakan metode irisan dapat dicari nilai angka aman (SF) menggunakan perbandingan gaya yang menahan dibagi dengan gaya yang mendorong. Nilai angka aman yang dihasilkan pada lereng timbunan 12 meter sebagai berikut.

$$\text{Angka aman (SF)} = \frac{326,9354 + 1106,3420}{1569,01165} = 0,9135$$

Nilai angka aman yang dihasilkan dari menggunakan metode irisan pada lereng timbunan 12 meter masa kontruksi tanah asli sebesar $0,9135 < 1$, sehingga terjadi keruntuhan (*collapse*). Untuk gaya-gaya yang bekerja pada irisan lereng timbunan tanah asli masa paska konstruski 12 meter dapat dilihat pada Gambar 5.11.

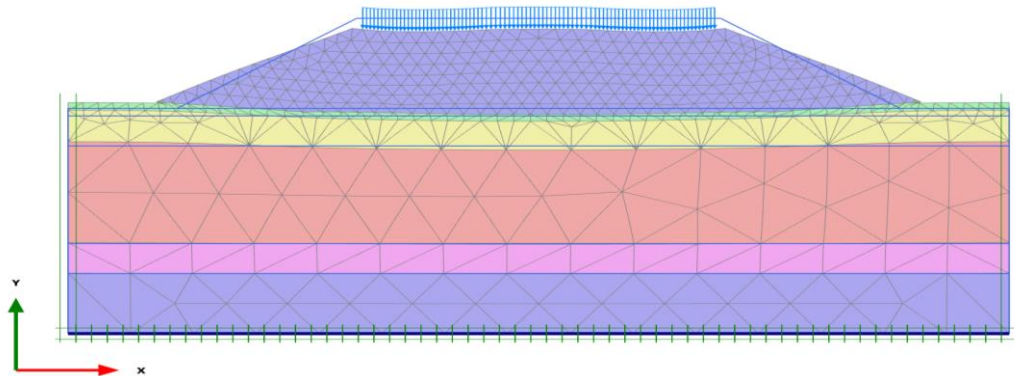
3. Kondisi Paska Konstruksi

Untuk tahapan masa paska konstruksi pada pembuatan timbunan lereng, pada tahapan ini timbunan dianggap bersifat *drained* karena untuk kemungkinan terburuk yang akan terjadi pada tanah. Sedang untuk beban yang bekerja pada masa paska konstruksi yaitu beban struktur perkerasan jalan sebesar 10 kN/m^2 ditambah dengan beban lalu lintas 15 kN/m^2 , jadi beban yang bekerja pada tahap masa paska konstruksi sebesar 25 kN/m^2 . Adapun hasil jaringan elemen (*meshing*) dapat dilihat pada gambar 5.12.



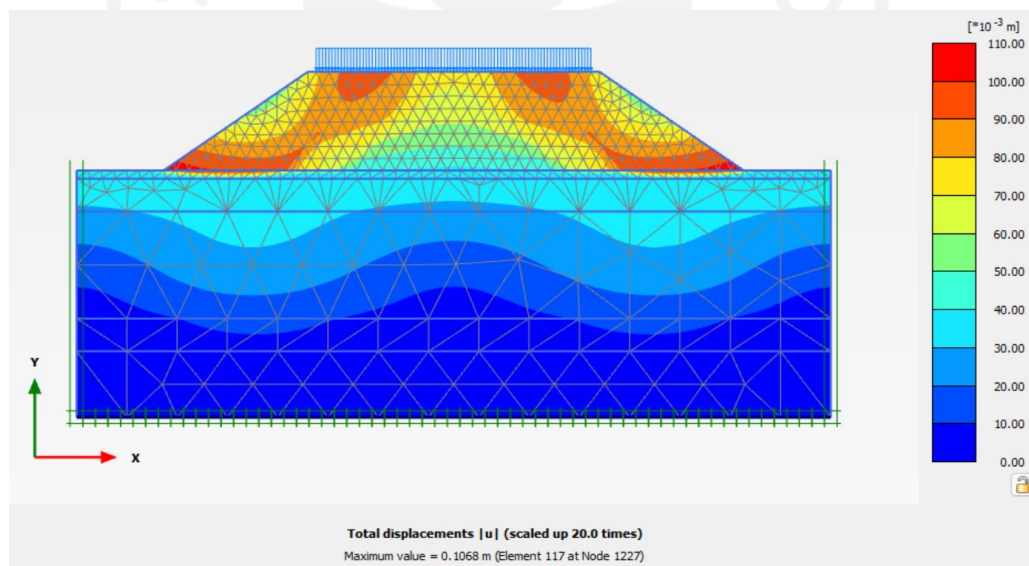
Gambar 5. 12 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan Lereng Tanah Asli 12m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas

Setelah dilakukan *meshing* kemudian dilakukan tahap analisis (*calculation*) lereng timbunan tanah asli setinggi 12m mempunyai beberapa tahap. Tahap pertama yaitu analisis perhitungan akibat beban struktur perkerasan jalan dan lalu lintas sebesar 25 kN/m^2 . Tahap kedua yaitu analisis perhitungan angka aman (SF). Tahap ketiga yaitu analisis perhitungan akibat beban gempa, ternyata pada saat analisis perhitungan akibat beban struktur sudah runtuh (*collapse*). Untuk hasil deformed mesh dapat dilihat pada gambar 5.13.



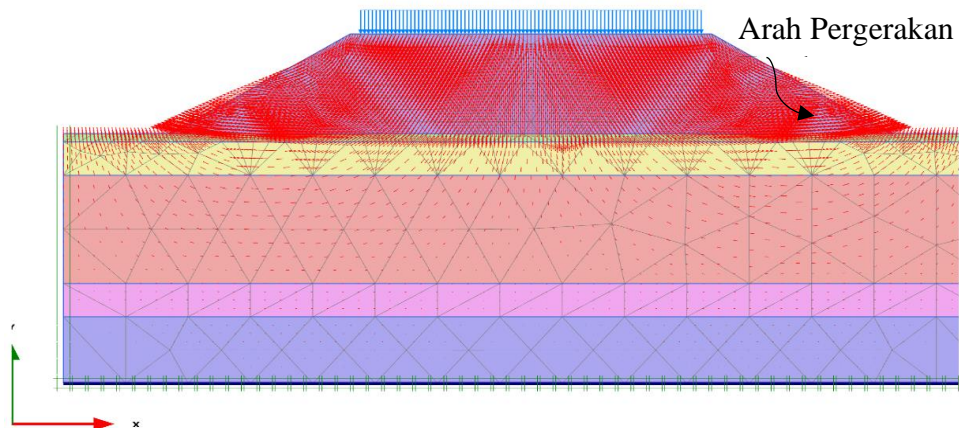
Gambar 5. 13 Deformed Mesh Lereng Timbuan Tanah Asli 12m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas

Selanjutnya untuk nilai total displacement pada lereng timbuan tanah asli 12 meter paska konstruksi akibat beban struktur perkerasan beban lalu lintas sebesar 0,1258 m. untuk nilai total displacement dapat dilihat pada Gambar 5.14.



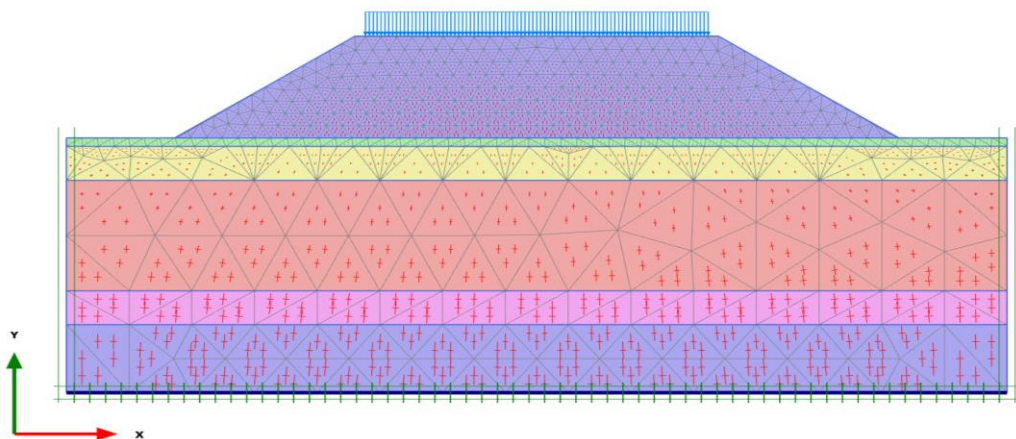
Gambar 5. 14 Total Displacement Lereng Timbuan Tanah Asli 12m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas

Selanjutnya untuk arah pergerakan lereng tanah asli timbuan 12 meter pada masa paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.15.



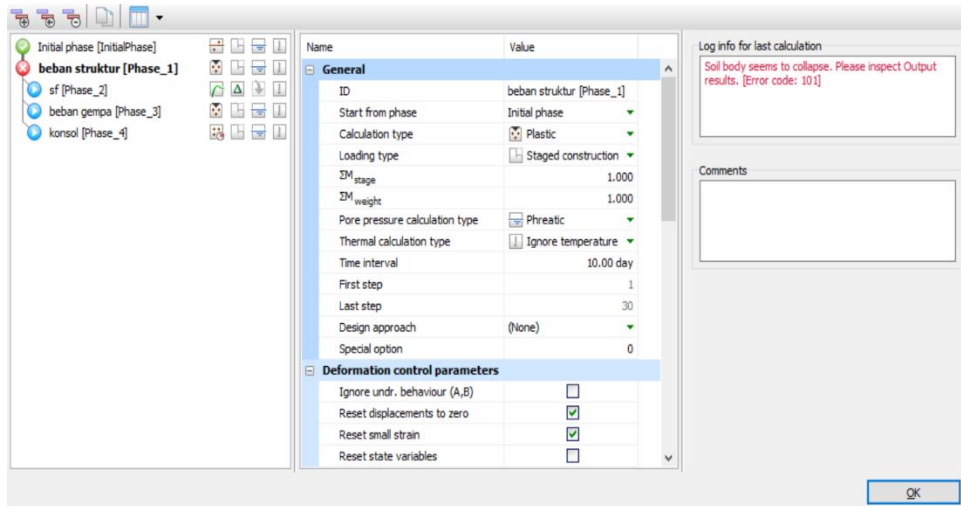
Gambar 5. 15 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Tanah Asli 12m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas

Selanjutnya untuk nilai *effective stresses* pada lereng timbunan tanah asli 12 meter akibat beban struktur sebesar $0,02842 \times 10^{-12} \text{ kN/m}^2$. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.16.



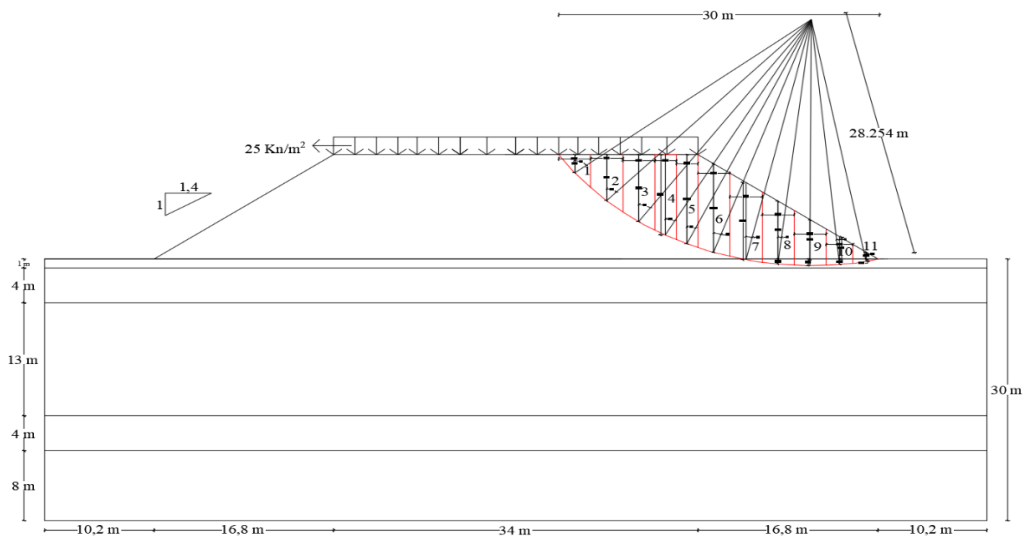
Gambar 5. 16 Nilai *Effective Stresses* Lereng Timbunan Tanah Asli 12m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas

Selanjutnya untuk potensi kelongsoran pada lereng timbunan 12 meter pada paska konstruksi tidak ada karena lereng timbunan pada saat menerima beban struktur sudah runtuh (*collapse*). Adapun *log info collapse* dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5. 17 Log Info Collapse untuk Perhitungan Analisis Akibat Beban Struktur Masa Paska Konstruksi

Selanjutnya untuk angka aman (SF) pada lereng timbunan tanah asli 12 meter pada paska konstruksi mengalami runtuh (*collapse*). Adapun gaya-gaya yang bekerja pada irisan lereng timbunan tanah asli masa konstruksi 12 meter dapat dilihat pada Gambar 5.18.



Gambar 5. 18 Gambar Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan Masa Paska Konstruksi

Bidang longsor akan dibagi menjadi 11 irisan. Panjang total dari bidang longsor arah horizontal adalah 30 m, berikut cara untuk menghitung gaya berat setiap irisan bisa dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5. 3 Perhitungan Gaya Berat Metode Irisan

Pias	b (m)	hi (m)	sudut α (°)	Sin α (°)	Cos α (°)	Berat Wi (kN)	Wi.cos α .tan phi (kN)	Wi.sin α (kN)
1	3	2.071	51	0.777146	0.629320391	93.195	26.11244594	147.4261179
2	3	5.291	43	0.6819984	0.731353702	238.095	77.52840987	237.3803995
3	3	7.691	35	0.5735764	0.819152044	346.095	126.2243032	273.5119367
4	2	9.239	29	0.4848096	0.874619707	277.17	107.9316007	184.3746824
5	2	10.23	24	0.4067366	0.913545458	307.14	124.9250926	174.9250926
6	3	10.15	19	0.3255682	0.945518576	456.885	192.3357887	223.7472062
7a	3	8.85	12	0.2079117	0.978147601	398.25	173.4376242	157.8008309
7b	3	6.643	6	0.1045285	0.994521895	298.935	120.1159476	106.2472162
8a	3	0.561	6	0.1045285	0.994521895	25.245	11.17822537	77.63882106
8b	3	4.5	6	0.1045285	0.994521895	202.5	81.3671179	96.16701381
9a	3	0.732	0	0	1	32.94	14.66583289	75
9b	2.5	2.536	0	0	1	95.1	38.42289408	62.5
10a	2.5	2.536	-5	-0.087156	0.996194698	95.1	42.18012674	54.21148886
10b	2.5	0.609	-5	-0.087156	0.996194698	22.8375	9.191837606	60.50958073
11a	2.5	0.75	-10	-0.173648	0.984807753	28.125	12.33181859	57.616145
11b	2.5	0.261	-10	-0.173648	0.984807753	9.7875	3.894330362	60.80041846
JUMLAH							1161.843396	2049.85695

Untuk hasil pengukuran Panjang jari-jari dan sudut yang diapit, panjang garis AB = 21,5105 m, dan BC = 12,8948 m. dengan begitu tanah terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen kohesi dapat dihitung sebesar :

$$\Sigma C_{iai} = (21,5105 \times 15) + (12,8948 \times 2) = 348,4471 \text{ Kn}$$

Dengan menggunakan metode irisan dapat dicari nilai angka aman (SF) menggunakan perbandingan gaya yang menahan dibagi dengan gaya yang mendorong. Nilai angka aman yang dihasilkan pada lereng timbunan 12 meter sebagai berikut.

$$\text{Angka aman (SF)} = \frac{348,4471 + 1161,843396}{2049,85695} = 0,7368$$

Nilai angka aman yang dihasilkan dari menggunakan metode irisan pada lereng timbunan 12meter masa paska konstruksi sebesar 0,7368, sehingga terjadi keruntuhan (*collapse*).

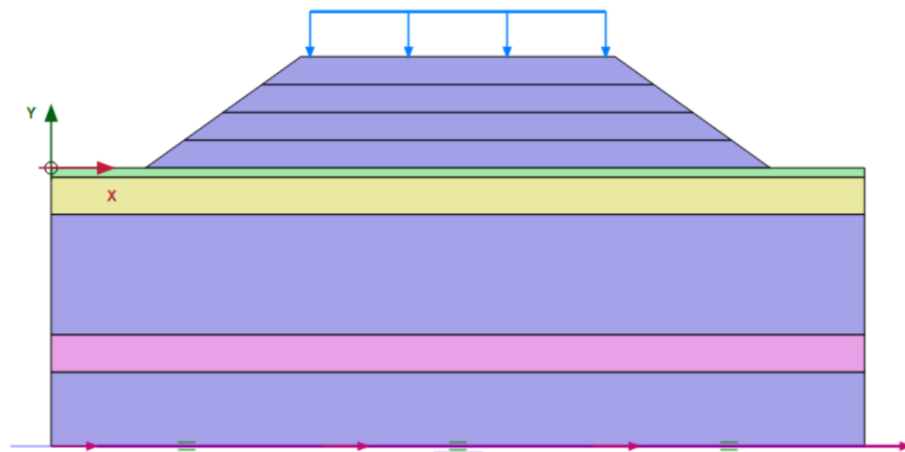
5.4 Timbunan Lereng Bertahap 3 meter

5.4.1 Analisis Timbunan Badan Jalan Menggunakan Program Plaxis V20

Pada hasil analisis menggunakan program *Plaxis V20* pada timbunan lereng bertahap 3 meter dengan konsolidasi untuk memperkuat lereng, yang akan ditampilkan dibawah ini. Analisis ini meliputi berupa pemodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi dan masa paska konstruksi .

1. Pemodelan Awal

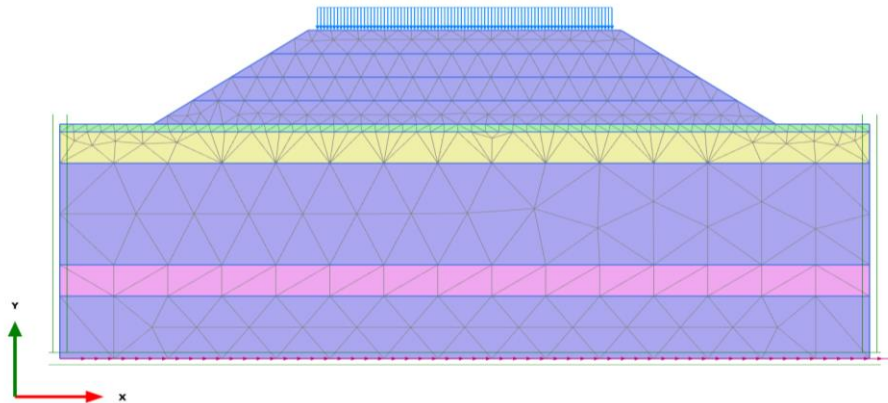
Pada pemodelan lereng tanah asli timbunan bertahap 3m, lebar lereng 34 meter yang akan digunakan sebagai jalan tol, menggunakan beban merata dan beban gempa dinamik. Untuk pemodelan lereng tanah asli dapat dilihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5. 19 Pemodelan Lereng Tanah Bertahap 3 meter dengan Konsolidasi

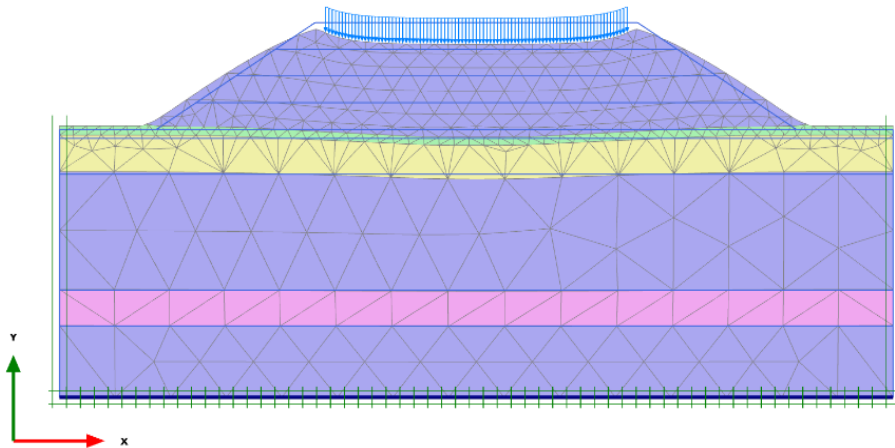
2. Kondisi Masa Konstruksi

Pada tahapan masa konstruksi timbunan dianggap bersifat *undrained*. Untuk beban yang bekerja pada masa konstruksi yaitu beban struktur perkerasan jalan sebesar 10 kN/m^2 . Selanjutnya pada tahapan konstruksi dilakukan *input* parameter tanah, untuk tahapan setelahnya dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Adapun hasil jaringan elemen (*meshing*) dapat dilihat pada gambar 5.20.



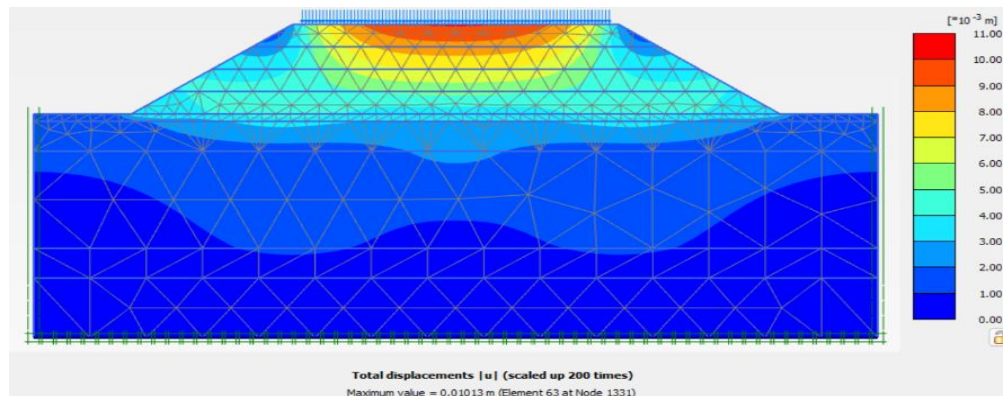
Gambar 5. 20 Jaringan Elemen (Meshing) Timbunan Lereng Bertahap 3m

Setelah dilakukan *meshing* kemudian dilakukan tahap analisis (*calculation*) lereng timbunan bertahap 3m mempunyai beberapa tahap. Tahap pertama yaitu analisis timbunan 3m dengan konsolidasi 100 hari, 6m dengan konsolidasi 100 hari, 9m dengan konsolidasi 100 hari, dan 12m dengan konsolidasi 100 hari. Tahap kedua yaitu analisis perhitungan akibat beban struktur perkerasan jalan sebesar 10 kN/m^2 . Tahap ketiga yaitu analisis perhitungan angka aman (SF). Tahap keempat yaitu analisis perhitungan akibat beban gempa. Untuk hasil deformed mesh dapat dilihat pada gambar 5.21.



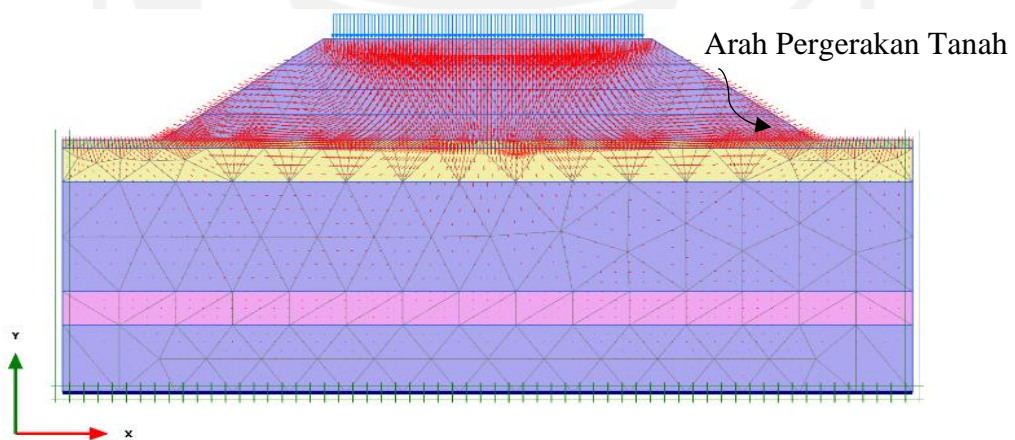
Gambar 5. 21 Deformed Mesh Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur

Selanjutnya untuk nilai total displacement pada lereng timbunan bertahap 3m akibat beban struktur masa konstruksi sebesar 0,02454 m. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.22.



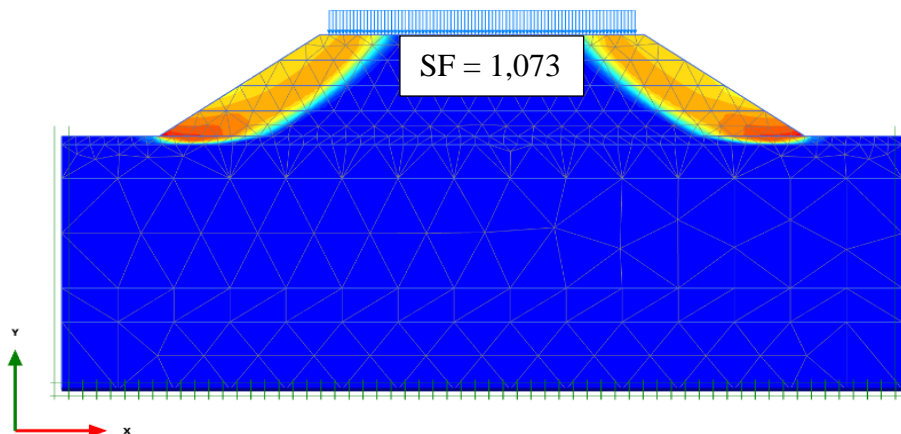
Gambar 5. 22 Total Displacement Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur

Selanjutnya untuk arah pergerakan lereng timbunan bertahap 3m pada masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.23.



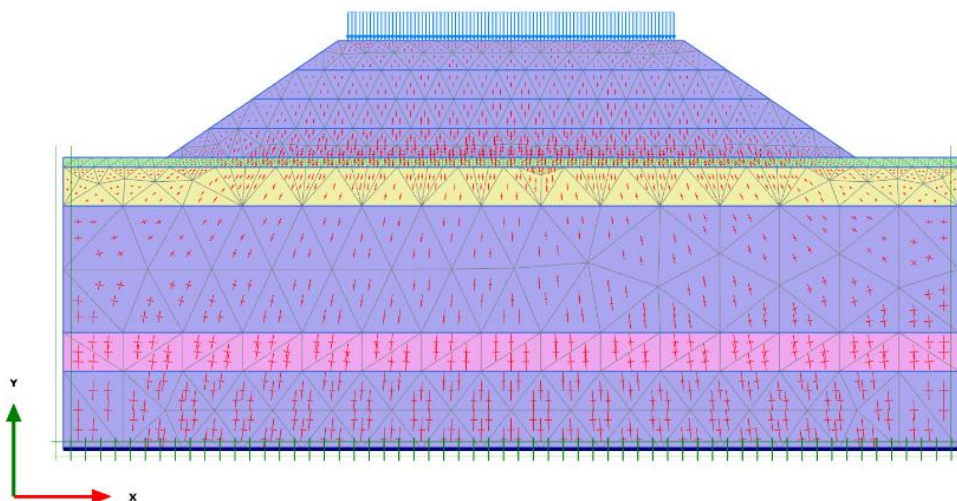
Gambar 5. 23 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur

Selanjutnya untuk potensi kelongsoran pada lereng timbunan bertahap 3m masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.24.



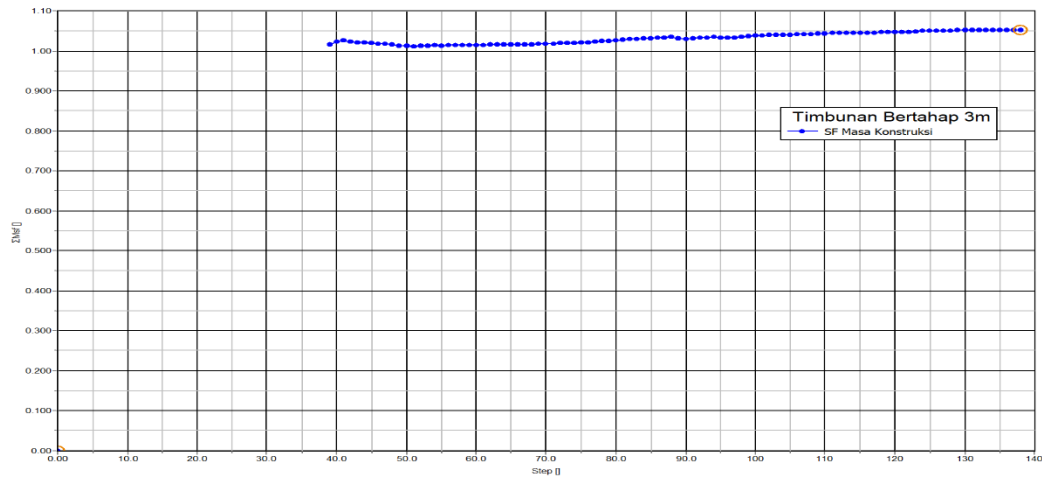
Gambar 5. 24 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur

Selanjutnya untuk nilai effective stresses pada lereng timbunan bertahap 3m akibat beban struktur masa konstruksi $5,329 \times 10^{-15} \text{ kN/m}^2$. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.25.



Gambar 5. 25 Nilai *Effective Stresses* Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur

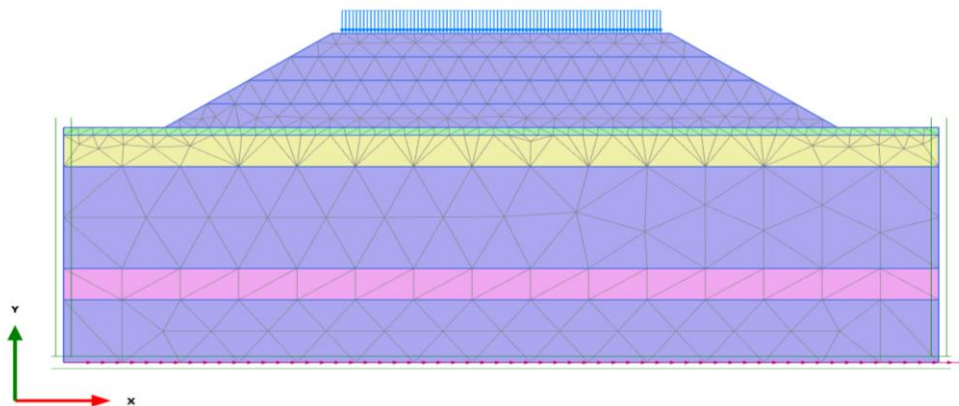
Selanjutnya untuk nilai angka aman (*SF*) untuk lereng timbunan bertahap 3m masa konstruksi akibat beban struktur sebesar 1,073. Adapun grafik bisa dilihat pada Gambar 5.26.



Gambar 5. 26 Nilai Angka Aman (SF) Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur

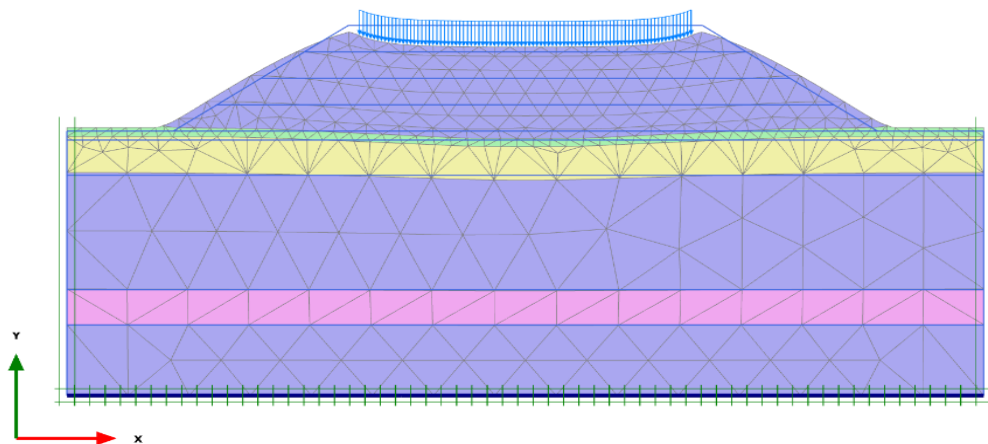
3. Kondisi Paska Konstruksi

Untuk tahapan masa paska konstruksi pada pembuatan timbunan lereng, pada tahapan ini timbunan dianggap bersifat *drained* karena untuk kemungkinan terburuk yang akan terjadi pada tanah. Sedang untuk beban yang bekerja pada masa paska konstruksi yaitu beban struktur perkerasan jalan sebesar 10 kN/m^2 ditambah dengan beban lalu lintas 15 kN/m^2 , jadi beban yang bekerja pada tahap masa paska konstruksi sebesar 25 kN/m^2 . Adapun hasil jaringan elemen (*meshing*) dapat dilihat pada gambar 5.27.



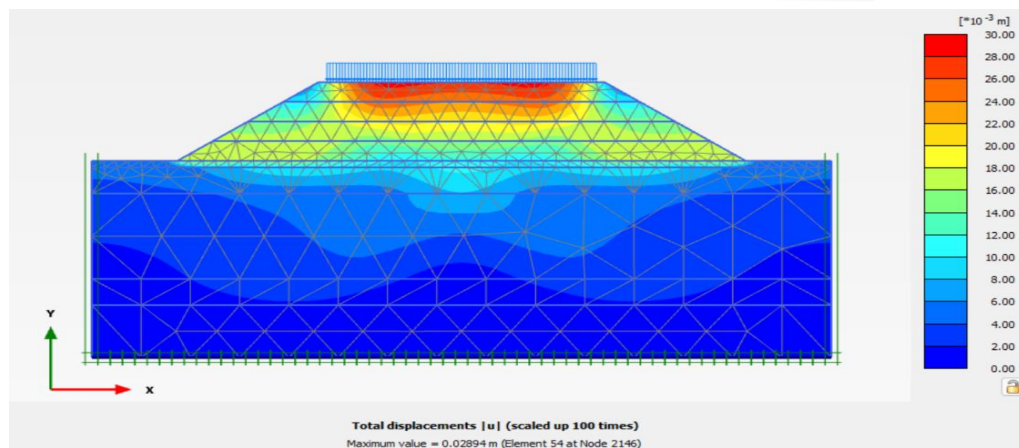
Gambar 5. 27 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan Lereng Bertahap 3m Paska Konstruksi

Setelah dilakukan *meshing* kemudian dilakukan tahap analisis (*calculation*) lereng timbunan bertahap 3m mempunyai beberapa tahap. Tahap pertama yaitu analisis timbunan 3m dengan konsolidasi 100 hari, 6m dengan konsolidasi 100 hari, 9m dengan konsolidasi 100 hari, dan 12m dengan konsolidasi 100 hari. Tahap kedua yaitu analisis perhitungan akibat beban struktur perkerasan jalan sebesar 25 kN/m^2 . Tahap ketiga yaitu analisis perhitungan angka aman (SF). Tahap keempat yaitu analisis perhitungan akibat beban gempa. Untuk hasil deformed mesh dapat dilihat pada gambar 5.28.



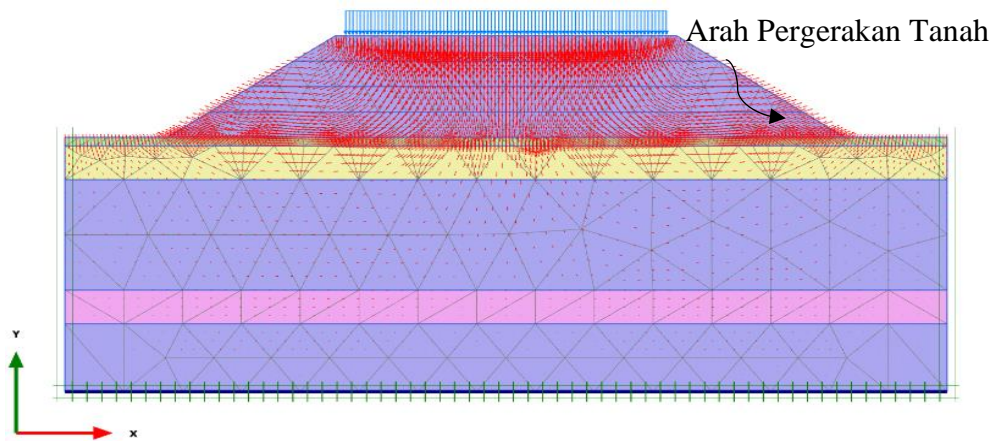
Gambar 5. 28 Deformed Mesh Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas

Selanjutnya untuk nilai *total displacement* pada lereng timbunan bertahap 3m akibat akibat beban struktur dan lalu lintas sebesar 0,02894 m. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.29.



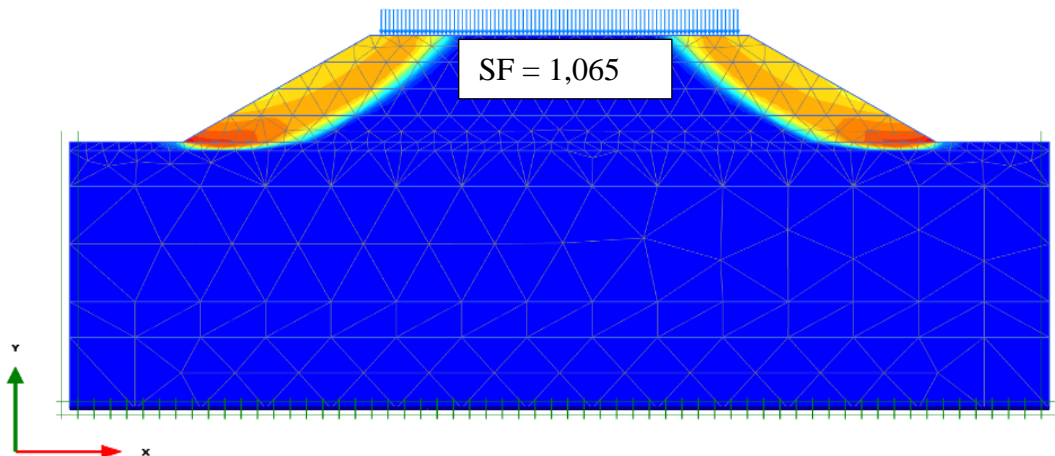
Gambar 5. 29 Total Displacement Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas

Selanjutnya untuk arah pergerakan lereng timbuan bertahap 3m pada paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.30.



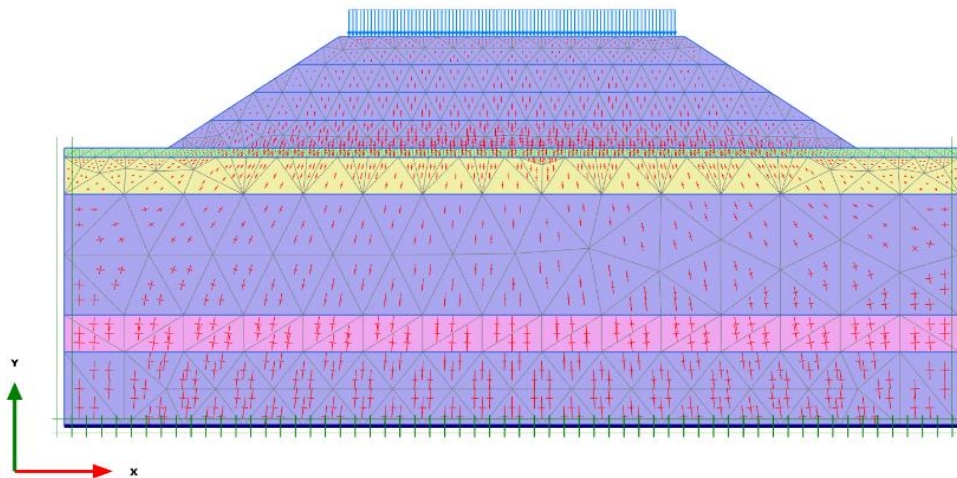
Gambar 5. 30 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbuan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas

Selanjutnya untuk potensi kelongsoran pada lereng timbuan bertahap 3m paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.31.



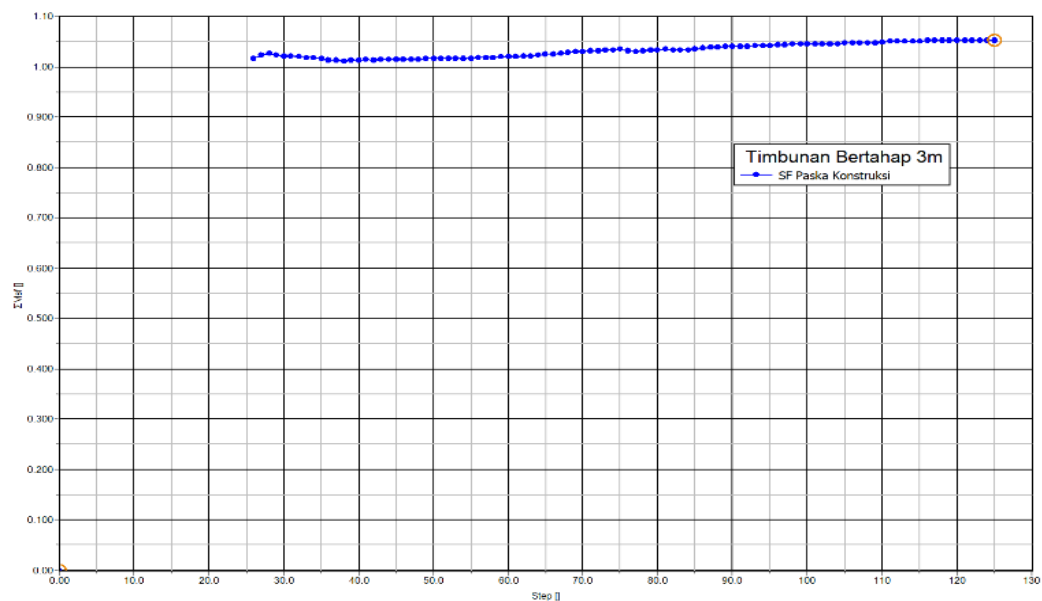
Gambar 5. 31 Potensi Kelongsoran Lereng Timbuan Bertahap 3m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas

Selanjutnya untuk nilai *effective stresses* pada lereng timbuan bertahap masa paska konstruksi sebesar $7,105 \times 10^{-15} \text{ kN/m}^2$. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.32.



Gambar 5. 32 Nilai *Effective Stresses* Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas

Selanjutnya untuk nilai angka aman (SF) untuk lereng timbunan bertahap 3m masa paska konstruksi sebesar 1,065. Adapun grafik bisa dilihat pada Gambar 5.33.



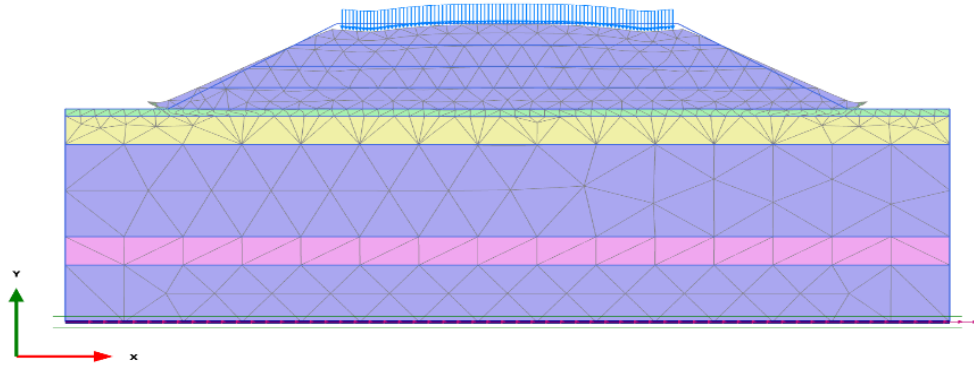
Gambar 5. 33 Nilai Angka Aman (SF) Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Struktur dan Lalu Lintas

4. Dengan Beban Gempa

a. Masa Konstruksi

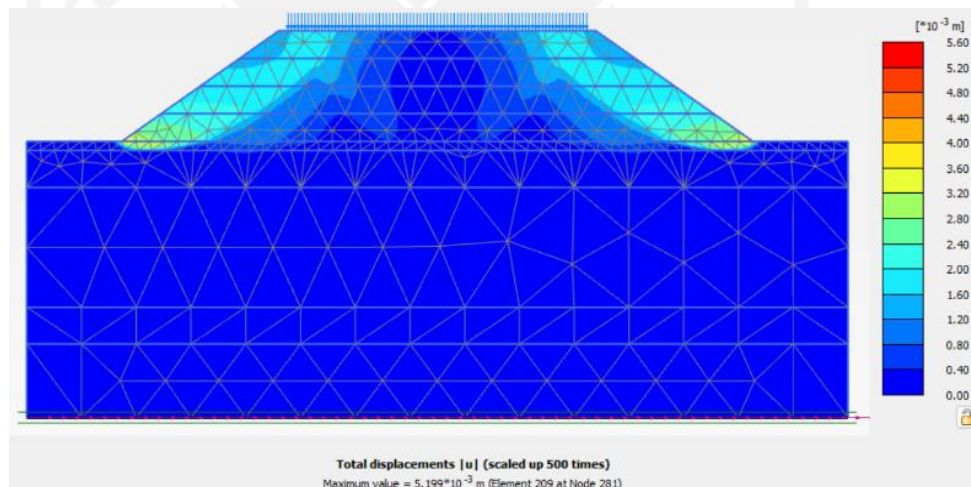
Hasil analisis lereng timbunan bertahap 3m dengan konsolidasi masa konstruksi akibat beban gempa, setelah dilakukan tahap analisis (*calculation*)

sama seperti pada tahap konstruksi diaawal. Untuk hasil deformed mesh dapat dilihat pada gambar 5.34.



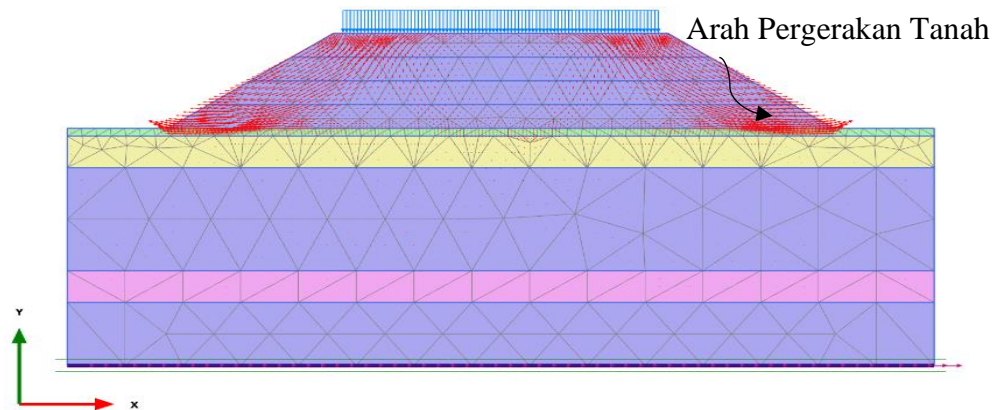
Gambar 5. 34 Deformed Mesh Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk nilai total displacement pada lereng timbunan bertahap 3m dengan konsolidasi akibat beban gempa masa konstruksi sebesar $0,005199$ m. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.35.



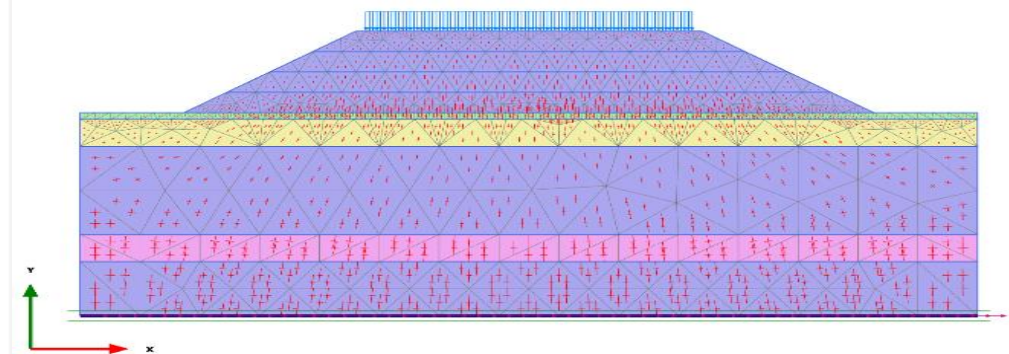
Gambar 5. 35 Total Displacement Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk arah pergerakan tanah lereng timbunan bertahap 3m masa konstruksi akibat beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.36.



Gambar 5. 36 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Gempa

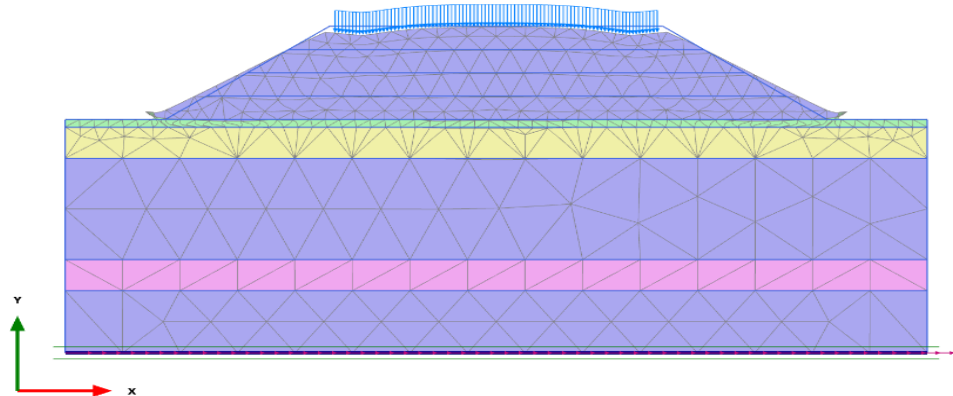
Selanjutnya nilai *effective stresses* pada lereng timbunan bertahap 3m dengan konsolidasi akibat beban gempa masa konstruksi sebesar $-0,06030 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.37.



Gambar 5. 37 Nilai *Effective Stresses* Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Konstruksi akibat Beban Gempa

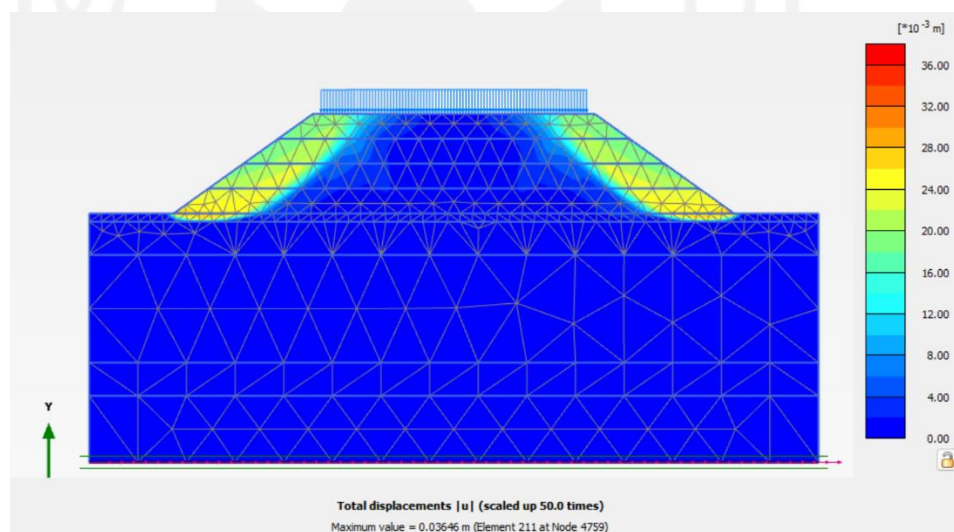
b. Paska Konstruksi

Hasil analisis lereng timbunan bertahap 3m dengan konsolidasi paska konstruksi akibat beban gempa, setelah dilakukan tahap analisis (*calculation*) sama seperti pada tahap konstruksi di awal. Untuk hasil deformed mesh dapat dilihat pada gambar 5.38



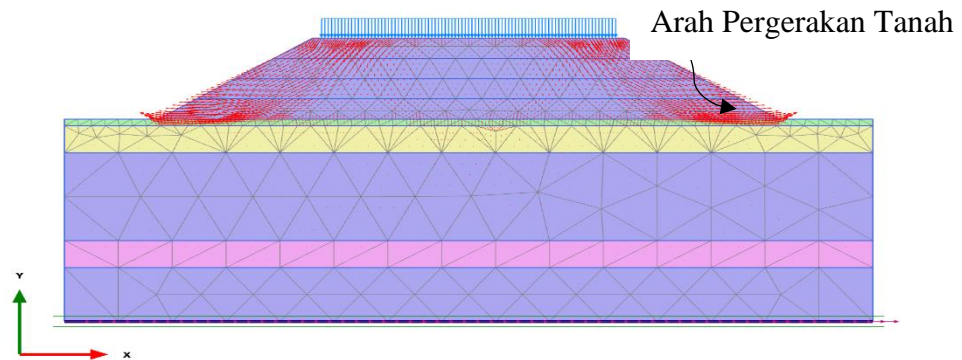
Gambar 5. 38 Deformed Mesh Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk nilai total displacement pada lereng timbunan bertahap 3m dengan konsolidasi akibat beban gempa paska konstruksi 0,03636 m. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.39.



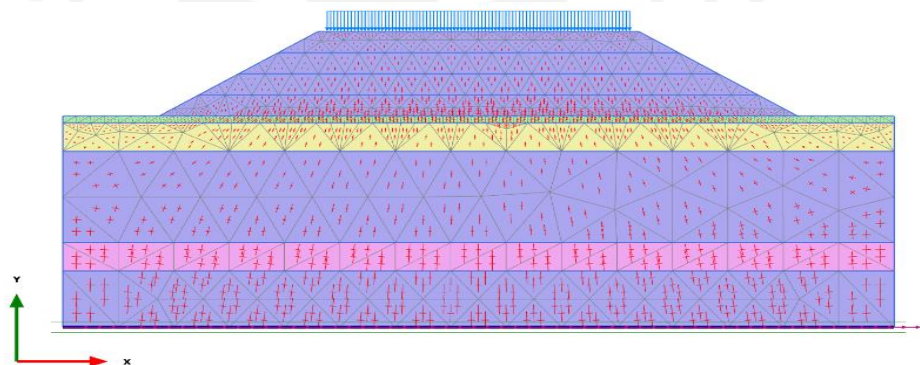
Gambar 5. 39 Total Displacement Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk arah pergerakan tanah lereng timbunan bertahap 3m paska konstruksi akibat beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.40.



Gambar 5. 40 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya nilai *effective stresses* pada lereng timbunan bertahap 3m dengan konsolidasi akibat beban gempa paska konstruksi sebesar $-0,01857 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.41.



Gambar 5. 41 Nilai *Effective Stresses* Lereng Timbunan Bertahap 3m Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa

5.5 Perhitungan Kebutuhan Geotekstil

5.4.1 Data Perhitungan Geotekstil

1. Parameter Tanah Timbunan

Perkuatan geotekstil akan dilakukan pada tanah timbunan, karena bidang longsor paling besar terjadi pada bagian tanah timbunan. Untuk jenis tanah yang digunakan sebagai parameter tanah dalam perhitungan kebutuhan geotekstil adalah sebagai berikut.

- c. Berat volume tanah (γ_b) = 15 kN/m^3
- d. Sudut gesek dalam (ϕ) = 24°

- e. Kohesi (c) = 15 kN/m³
2. Data geotekstil
- a. Jenis Geotekstil = Geotekstil *woven* UW-250
- b. Kuat Tarik = 52 kN/m
3. Koefisien daya dukung tanah

Untuk nilai koefisien kapasitas daya dukung tanah didapatkan dari sudut geser dalam timbunan sebesar 18,52°, maka nilai $N_c = 13,1$ dan nilai $N_q = 5,26$. Tabel bisa pada Tabel 5.4

Tabel 5. 4 Koefisien Daya Dukung tanah

ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ
7	7,16	1,88	0,71	26	22,25	11,85	12,54
8	7,53	2,06	0,86	27	23,94	13,20	14,47
9	7,92	2,23	1,03	28	25,80	14,72	16,72
10	8,85	2,47	1,22	29	27,86	16,44	19,34
11	8,80	2,71	1,44	30	30,14	18,40	22,40
12	9,28	2,97	1,69	31	32,67	20,63	25,90
13	9,81	3,26	1,97	32	35,49	23,18	30,22
14	10,37	3,59	2,29	33	38,64	26,09	35,19
15	10,98	3,94	2,65	34	42,16	29,44	41,06
16	11,63	4,34	3,06	35	46,12	33,30	48,03
17	12,34	4,77	3,53	36	50,59	37,75	56,31
18	13,10	5,26	4,07	37	55,63	42,92	66,19
19	13,93	5,80	4,68	38	61,35	48,93	78,03
20	14,83	6,40	5,39	39	67,87	55,96	92,25
21	15,82	7,07	6,20	40	75,31	64,20	109,41
22	16,88	7,82	7,13	41	83,86	73,90	130,22
23	18,05	8,66	8,20	42	93,71	85,38	155,55
24	19,32	9,60	9,44	43	105,11	99,02	186,54
25	20,72	10,66	10,80	44	118,37	115,31	224,64

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

5.4.2 Stabilitas Eksternal

Untuk perkuatan geotekstil dalam perencanaan lereng, dimana harus ada kestabilan terhadap pengaruh gaya dalam dan gaya luar terhadap lereng. Untuk menentukan jarak arah vertical minimal lapisan geotekstil (SV) dan Panjang total minimum geotekstil (L) dengan menggunakan perhitungan stabilitas eksternal.

1. Menentukan jarak vertikal antar geotekstil (SV)

Digunakan nilai angka aman (SF) sebesar 1,5. Adapaun perhitungan koefisien aktif tanah sebagai berikut.

$$K_a = \tan \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)^2$$

$$\begin{aligned} K_a &= \tan \left(45 - \frac{24}{2} \right)^2 \\ &= 0,422 \end{aligned}$$

a. Jarak vertical minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 12 meter

$$\begin{aligned} \sigma_{hc} &= (q \times K_a) + (K_a \times H_1 \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{K_a}) \\ &= (25 \times 0,422) + (0,422 \times 12 \times 15) - (2 \times 15 \times \sqrt{0,422}) \\ &= 67,022 \text{ kN/m}^2 \\ SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{26}{67,022 \times 1,5} \\ &= 0,258 \text{ m} \end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = $12/0,5 = 24$ lapis

2. Menentukan Panjang geotekstil

a. Stabilitas terhadap guling

$$SF = \frac{\sum MR}{\sum MD} = \frac{\text{Momen menahan}}{\text{Momen menggulingkan}} \geq 1,5$$

$$\sum MD = \left(q \times K_a \times \frac{1}{2} \times H^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times K_a \times \gamma b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H \right) - \left(2 \times c \times \sqrt{K_a} \times \frac{1}{2} \times H^2 \right)$$

$$\sum MR = \left(q \times \frac{1}{2} \times L^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times \gamma b \times L^2 \times H \right)$$

$$SF = \frac{(25 \times \frac{1}{2} \times L^2) + (\frac{1}{2} \times 15 \times L^2 \times 12)}{(25 \times 0,422 \times \frac{1}{2} \times 12^2) + (\frac{1}{2} \times 0,422 \times 15 \times 12^2 \times \frac{1}{3} \times 12) - (2 \times 15 \times \sqrt{0,422} \times \frac{1}{2} \times 12^2)}$$

$$SF = \frac{102,5 \times L^2}{1179,471}$$

$$L^2 = \frac{1179,471 \times 1,5}{102,5} = 17,261 \text{ m}$$

$$L = 4,16 \text{ m}$$

Panjang geotekstil menahan guling diambil sepanjang 5 m.

b. Stabilitas terhadap geser

$$SF = \frac{(q \times \tan \delta \times L) + (H \times \gamma b \times \tan \delta \times L)}{(q \times K_a \times H) + (0,5 \times K_a \times \gamma b \times H^2) - (2 \times c \times \sqrt{K_a} \times H)}$$

Tahanan geser pada dasar perkuatan ($\delta = 2/3 \times 24^\circ = 16$)

$$SF = \frac{(25 \times \tan(16) \times L) + (12 \times 15 \times \tan(16) \times L)}{(25 \times 0,422 \times 12) + (0,5 \times 0,422 \times 15 \times 12^2) - (2 \times 15 \times \sqrt{0,422} \times 12)}$$

$$1,5 = \frac{58,783 \times L}{348,499}$$

$$L = 8,89 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan geser diambil sepanjang 9 m.

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

$$\frac{1}{6} \times L \geq e$$

$$e = \frac{\sum MD}{Rv} = \frac{(q \times Ka \times \frac{1}{2} \times H^2) + (\frac{1}{2} \times Ka \times \gamma b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H) - (2 \times c \times \sqrt{Ka} \times \frac{1}{2} \times H^2)}{(H \times \gamma b \times L) + (q \times L)}$$

$$\frac{L}{6} \geq \frac{1179,471}{(12 \times 15 \times L) + (25 \times L)}$$

$$\frac{L}{6} \geq \frac{1179,471}{205 + L}$$

$$205 L^2 = 7076,826$$

$$L^2 = 34,521$$

$$L = 5,9 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan eksentrisitas diambil 6 m.

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

$$Nc = 19,32$$

$$N\gamma = 9,44$$

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{(H \times \gamma b) + q}$$

$$\sigma_{ult} = [(c \times Nc) + (0,5 \times L \times \gamma b \times N\gamma)] \times SF$$

$$\sigma_{ult} = [(15 \times 19,32) + (0,5 \times L \times 15 \times 9,44)] \times 1,5$$

$$\sigma_{ult} = 289,8 + (70,8 \times L)$$

$$L \leq \frac{289,8 + (106,2 \times L)}{(12 \times 15) + 25}$$

$$205 L \leq 289,8 + (106,2 L)$$

$$L = \frac{289,8}{98,8} = 2,934 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan daya dukung tanah diambil sepanjang 3 m.

Untuk Panjang geotekstil yang digunakan yaitu 9 meter, dari keempat jenis parameter stabilitas lereng diatas. Untuk Panjang kebutuhan geotekstil lereng dengan tinggi timbunan yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Tabel Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil

Tinggi Timbunan (H)	Stabilitas guling	Stabilitas geser	Stabilitas eksentrisitas	Stabilitas daya dukung tanah	Panjang minimum (L)
12 m	4,16 m	8,89 m	5,9 m	2,934 m	9 m

5.4.3 Stabilitas Internal

1. Panjang *overlapping* geotekstil

a. Timbunan 12 meter

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times SV \times SF}{2 \times \gamma b \times H \times \tan \varphi}$$

$$L_o = \frac{67,022 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 15 \times 12 \times \tan(24)} = 0,31 \text{ m}$$

Karena Panjang *overlapping* minimum 1 meter, maka panjang diambil 1 m.

2. Panjang efektif geotekstil

a. Timbunan 12 meter

$$L_e = \frac{SF \times SV \times K_a \times \gamma b \times H}{2 \times \gamma b \times H \times \tan \varphi}$$

$$L_e = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,518 \times 20,24 \times 12}{2 \times 20,24 \times 12 \times \tan(18,52)} = 0,58 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,6 m.

5.4.4 Cek Gaya Tarik Geotekstil

Untuk pengecekan geotekstil apakah dapat menahan gaya tarik yang terjadi dengan nilai SV 0,5 m, maka dilakukan perhitungan geser yang bekerja. Pada saat geotekstil menerima beban dari atas (tanah) maka geotekstil akan menegang dan mentransfer tegangan tersebut ke zona pasif. Sehingga geotekstil harus mampu menahan gaya tarik yang bekerja padanya. Untuk itu keperluan perencanaan/pemilihan jenis geotekstil yang mampu menahan gaya Tarik tersebut,

maka perlu dilakukan pengecekan terhadap gaya Tarik. Gaya Tarik yang bekerja pada geotekstil dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$T = \tan\varphi \times 2 \times \sigma_n \times b \times L$$

$$T = \tan(24) \times 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 0,5 \times 15\right) \times 1 \times 9$$

$$= 31,476 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan diatas gaya tarik yang bekerja pada geotekstil 31, 476 kN, sedangkan jenis geotekstil yang digunakan memiliki kuat tarik 52 kN/m. Maka kekuatan geotekstil kuat menahan gaya tarik yang bekerja.

5.5 Lereng Timbunan Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil

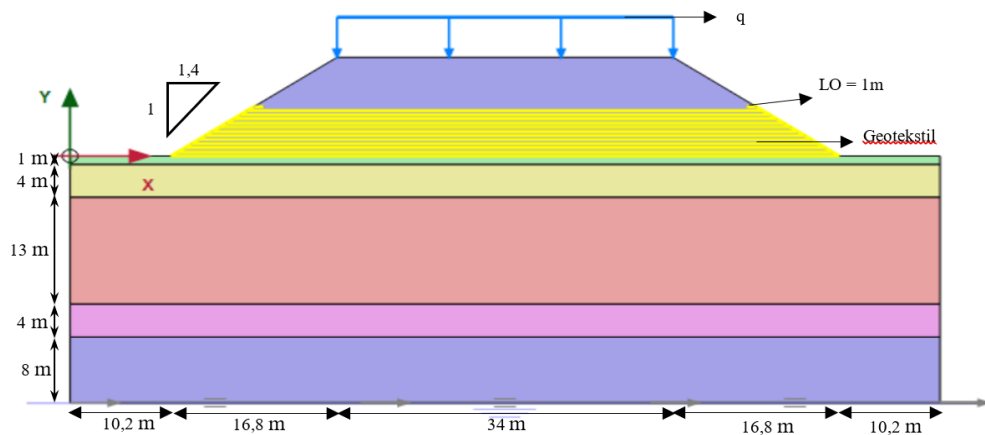
Pada hasil analisis lereng timbunan tanah asli 12 meter tanpa perkuatan dan timbunan bertahap 3m dengan konsolidasi pada masa konstruksi dan paska konstruksi belum ada nilai angka aman (SF) yang memenuhi kriteria yang direncanakan, maka dilakukan kembali analisis lereng timbunan tanah asli pada masa paska konstruksi dengan tambahan perkuatan geotekstil dengan geometri yang sama dan data parameter tanah yang sama. Untuk hasil analisis lereng timbunan tanah asli 12 meter masa paska konstruksi dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat berikut ini.

5.5.1 Lereng Timbunan 12 meter masa paska konstruksi dengan perkuatan

Geotekstil Dengan Nilai Angka Aman $\geq 1,3$.

1. Pemodelan awal lereng

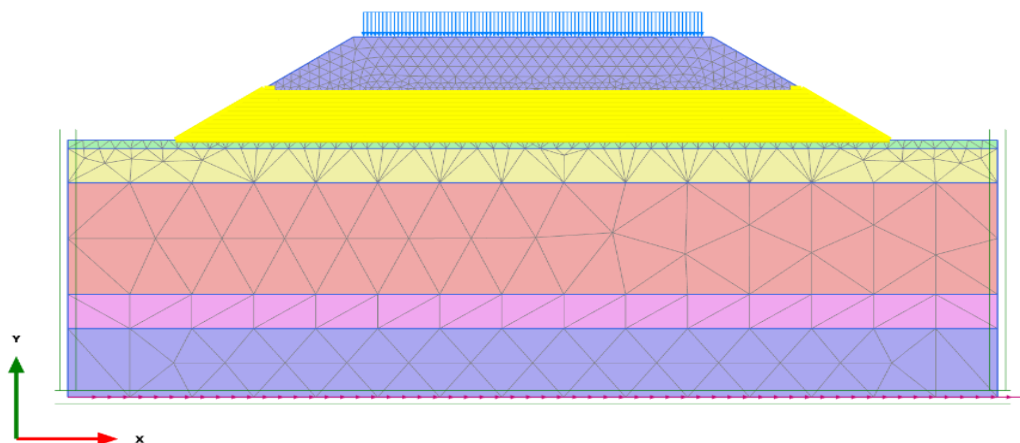
Untuk pemodelan awal lereng timbunan lereng tanah asli 12 meter masa paska konstruksi dengan perkuatan geotekstil ini pada dasarnya sama seperti pemodelan tanpa perkuatan geotekstil, hanya pada pemodelan ini ditambahkan dengan pemasangan perkuatan geotekstil dengan nilai (S_v) 0,5 meter dan untuk penanahan tanah (*overlapping*) 1 meter yang dipasang secara mendatar. Untuk Panjang total geotekstil yang dipasang pada lereng bagian tanah dasar, dengan asumsi Panjang tersebut telah mencapai Panjang total minimum dari perhitungan kebutuhan geotekstil. Untuk pemodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.42.



Gambar 5. 42 Pemodelan Lereng Timbunan Tanah Asli 12m Dengan Perkuatan

2. Kondisi Masa Paska Konstruksi

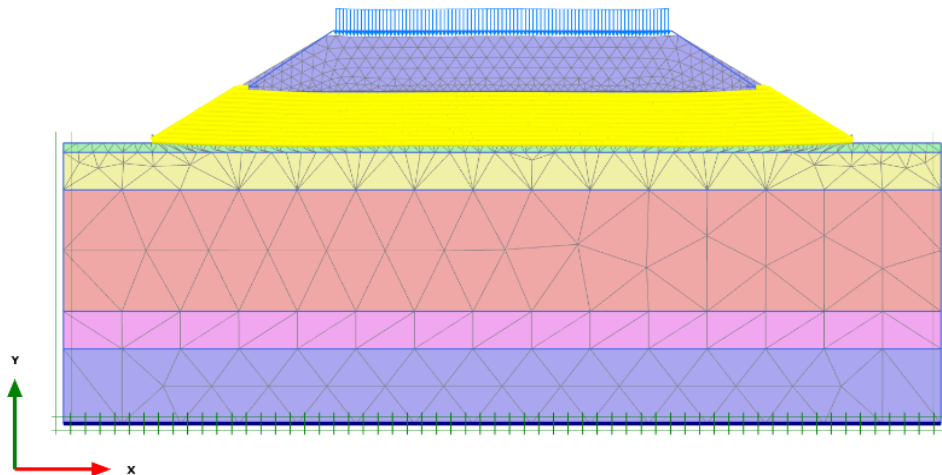
Pada kondisi masa konstruksi lereng timbunan 12 meter dengan perkuatan geotekstil memiliki parameter beban dan gempa yang sama dengan lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil. Untuk hasil jaringan elemen (meshing) dapat dilihat pada Gambar 5.43.



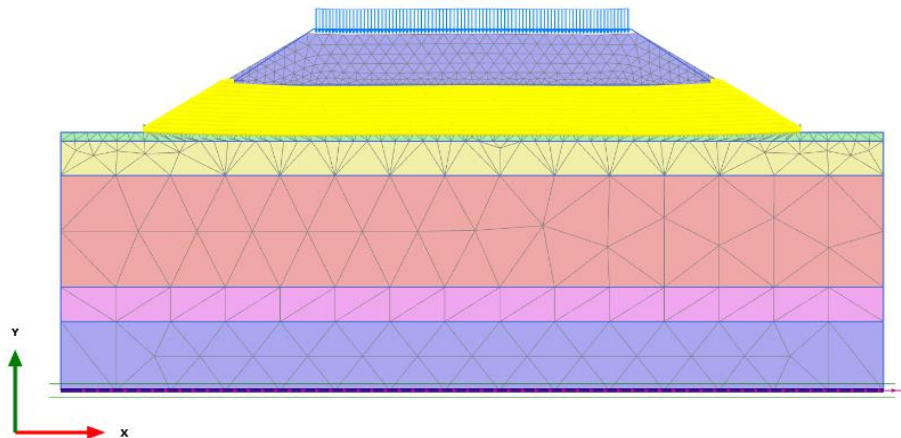
Gambar 5. 43 Jaringan Elemen (*Meshing*) Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Geotekstil

Setelah dilakukan *meshing* kemudian dilakukan tahap analisis (*calculation*) lereng timbunan tanah asli setinggi 12 meter masa paska konstruksi mempunyai 4 tahap. Tahap pertama yaitu analisis perhitungan akibat beban struktur perkerasan jalan lalu lintas sebesar 25 kN/m^2 . Tahap kedua yaitu analisis perhitungan angka aman (*SF*). Tahap ketiga analisis akibat beban gempa. Untuk hasil deformed mesh pada

lereng tanah asli 12 meter masa paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.44 dan Gambar 5.45.

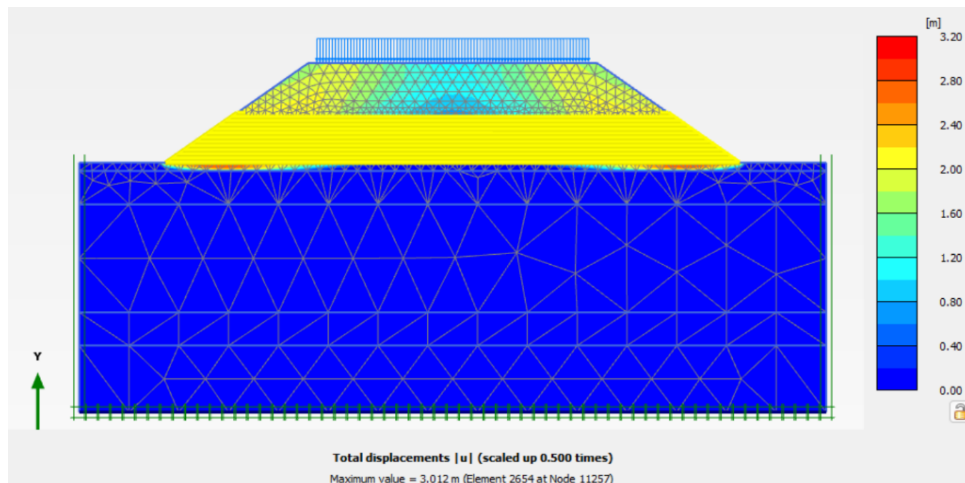


Gambar 5. 44 Deformed Mesh Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas

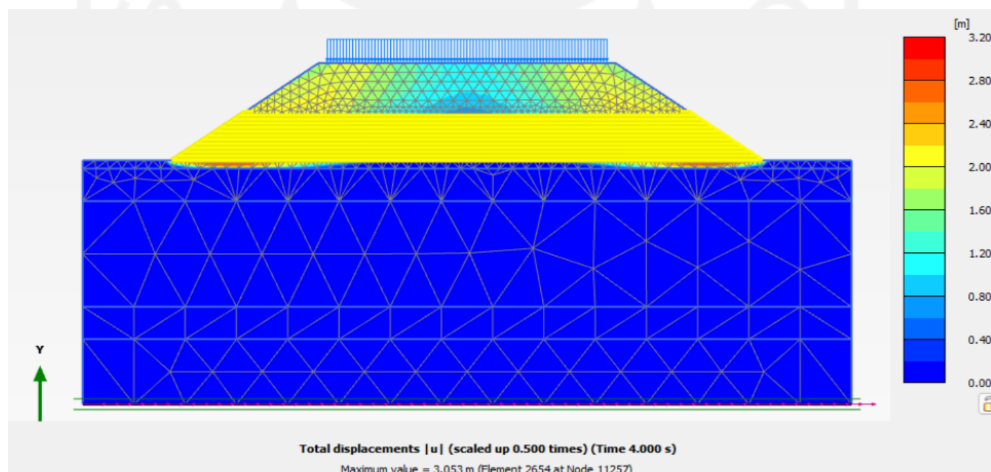


Gambar 5. 45 Deformed Mesh Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk nilai total displacement pada lereng timbunan tanah asli 12 meter dengan perkuatan masa paska konstruksi akibat beban struktur lalu lintas sebesar 3,010 m, sedangkan akibat beban gempa sebesar 3,053 m. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.46 dan Gambar 5.47.

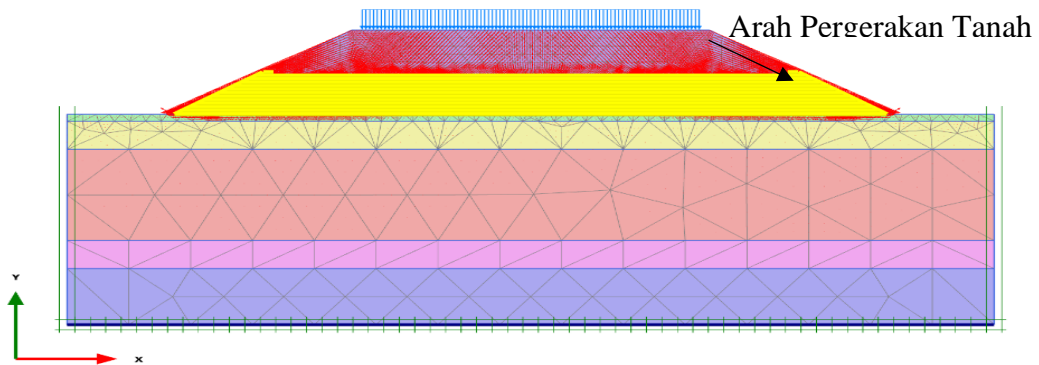


Gambar 5. 46 Total Displacement pada Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas

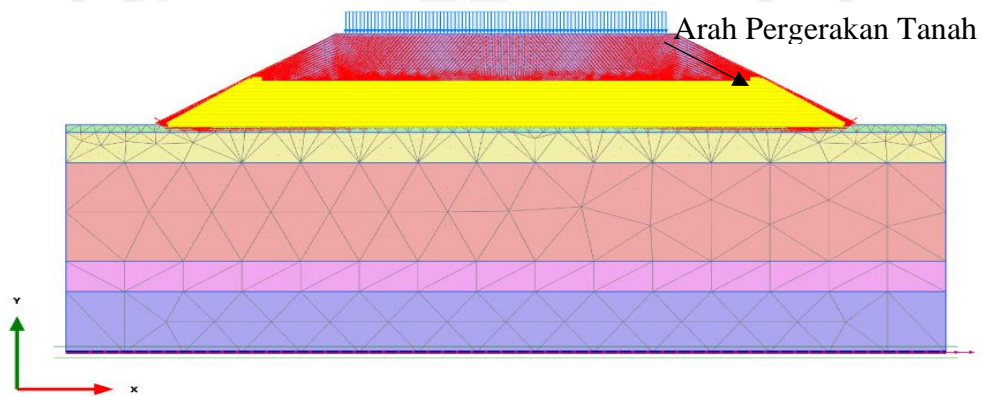


Gambar 5. 47 Total Displacement pada Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk arah pergerakan lereng tanah asli timbuan 12 meter dengan perkuatan masa paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.48 dan Gambar 5.49.

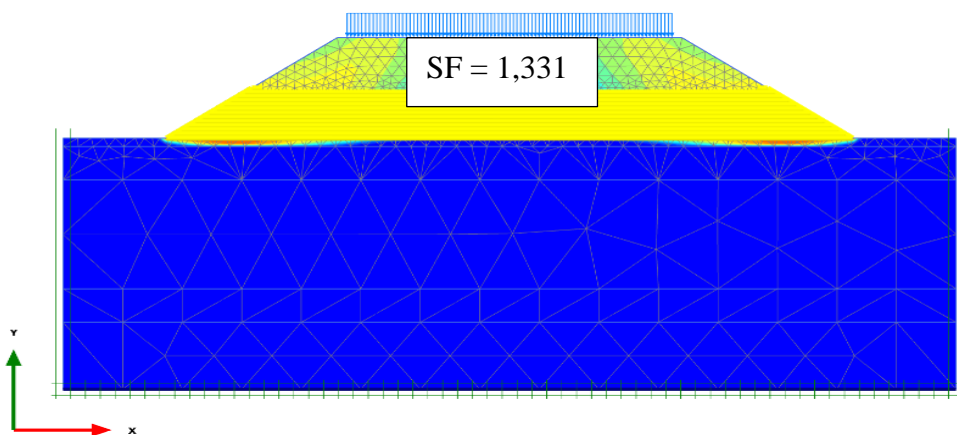


Gambar 5. 48 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas

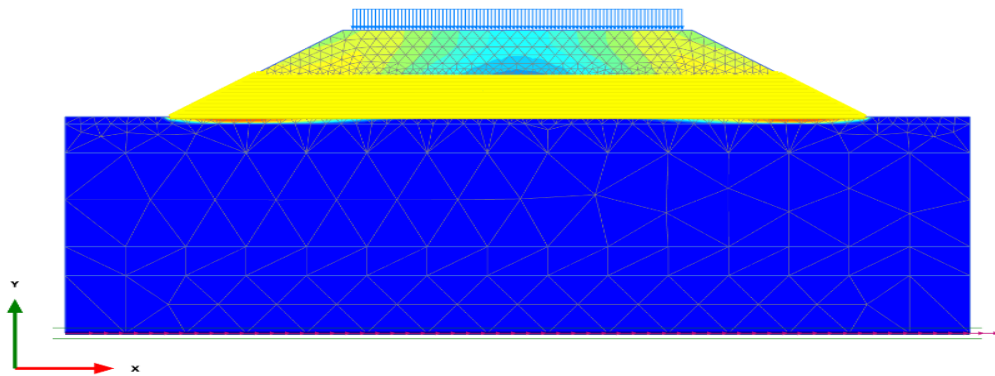


Gambar 5. 49 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk potensi kelongsoran pada lereng timbunan 12 meter masa paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.50 dan Gambar 5.51.

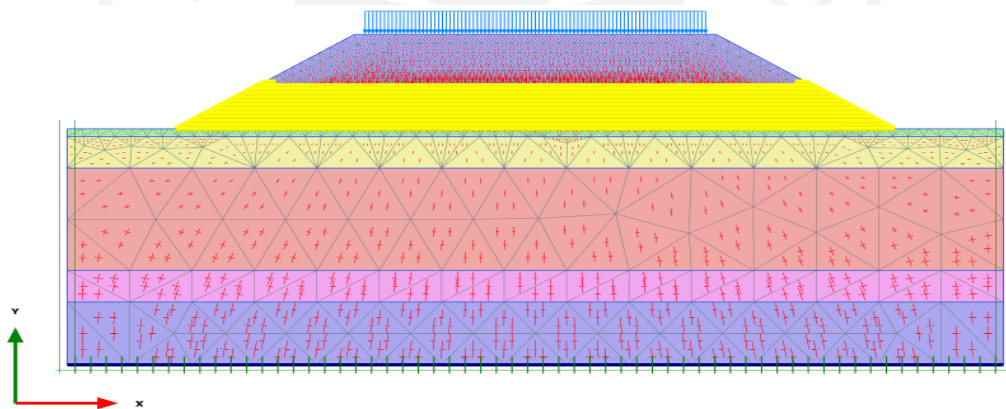


Gambar 5. 50 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas

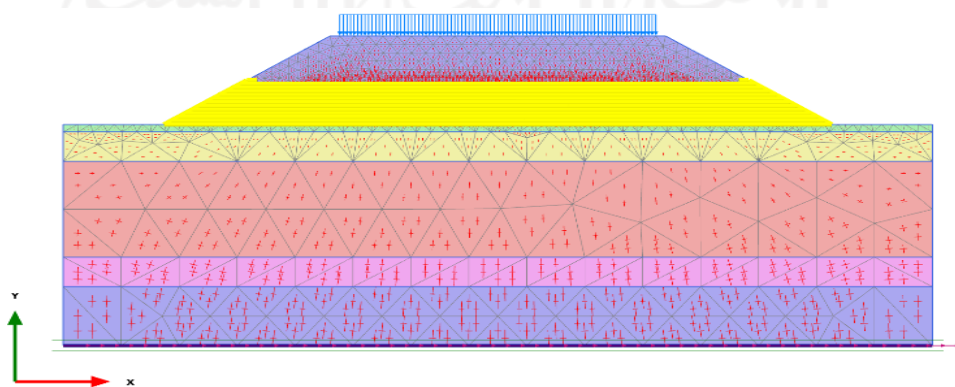


Gambar 5. 51 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk nilai *effective stresses* pada lereng timbunan tanah asli 12 meter masa paska konstruksi akibat beban struktur lalu lintas sebesar $0,02842 \times 10^{-12}$ kN/m², dan akibat beban gempa sebesar $0,4441 \times 10^{-15}$ kN/m². Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.52 dan Gambar 5.53.

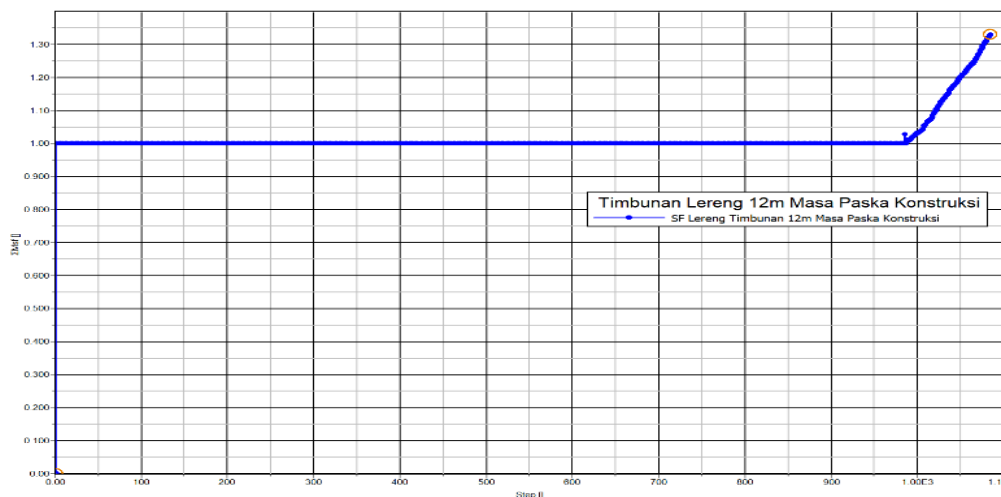


Gambar 5. 52 Nilai *Effective Stresses* Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas



Gambar 5. 53 Nilai *Effective Stresses* Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk nilai angka aman (SF) untuk lereng timbunan tanah asli 12 meter masa paska konstruksi akibat beban struktur sebesar 1,331, hasil konsolidasi dengan waktu 200 hari mempunyai nilai 0,116 m. untuk hasil angka aman (SF) dapat dilihat pada Gambar 5.54.

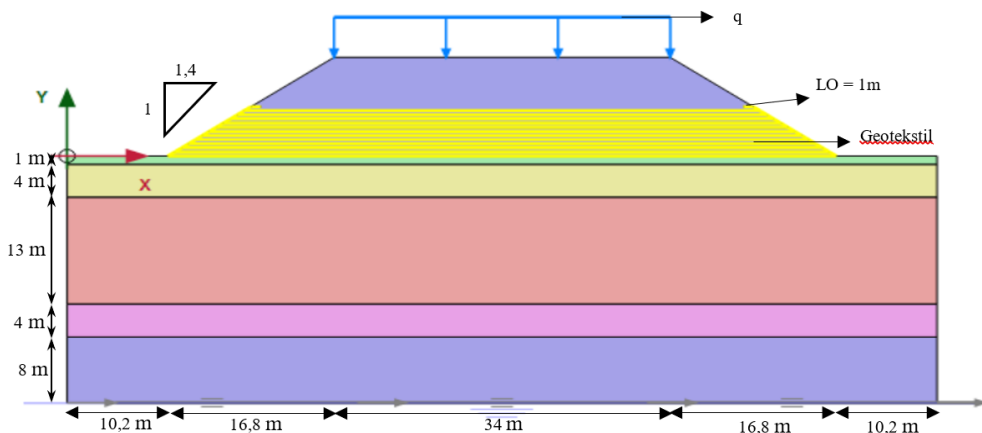


Gambar 5. 54 Kurva Angka Aman (SF) pada Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi

5.5.2 Lereng Timbunan 12 meter masa paska konstruksi dengan perkuatan Geotekstil Dengan Nilai Angka Aman $\geq 1,5$.

1. Pemodelan Lereng

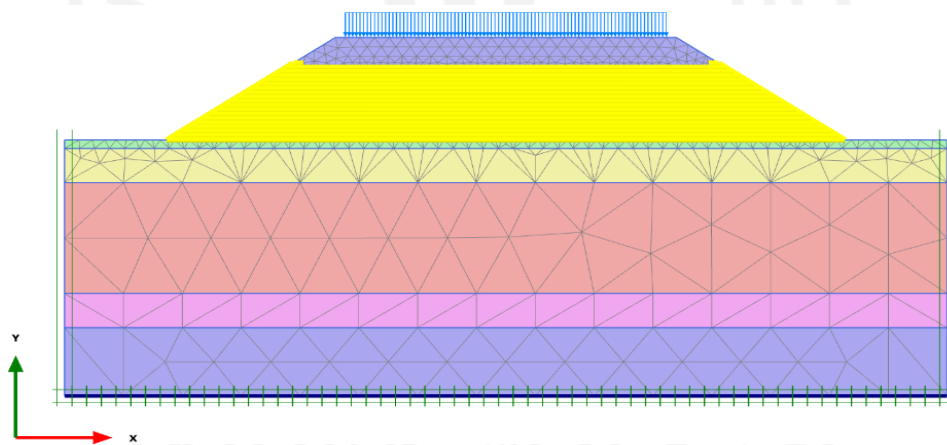
Untuk pemodelan awal lereng timbunan lereng tanah asli 12 meter masa paska konstruksi menggunakan perkuatan geotekstil dengan nilai angka aman $\geq 1,5$ ini pada dasarnya sama seperti pemodelan sebelumnya. Untuk Panjang total geotekstil yang dipasang pada lereng bagian tanah dasar, dengan asumsi Panjang tersebut telah mencapai Panjang total minimum dari perhitungan kebutuhan geotekstil. Untuk pemodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.55.



Gambar 5. 55 Pemodelan Lereng Timbunan Tanah Asli 12m Dengan Perkuatan Geotekstil

2. Kondisi Masa Paska Konstruksi

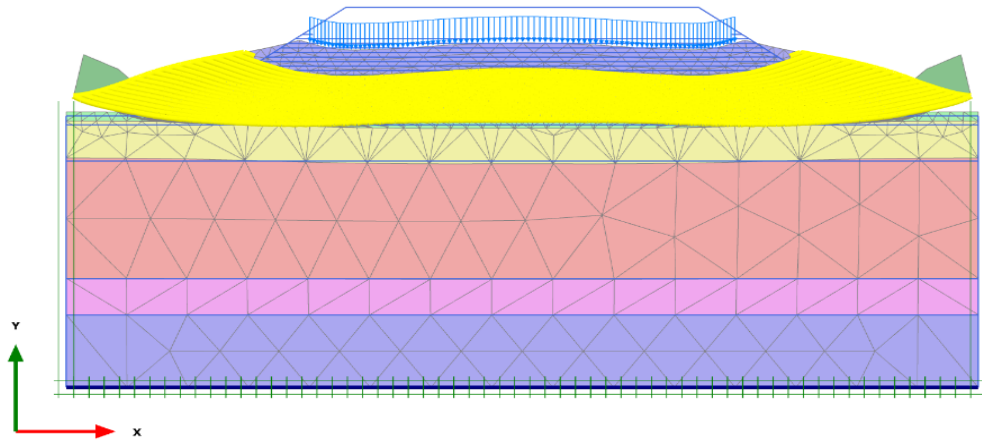
Pada kondisi masa konstruksi lereng timbunan 12 meter menggunakan perkuatan geotekstil dengan nilai angka aman $\geq 1,5$ memiliki parameter beban dan gempa yang sama dengan lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil. Untuk hasil jaringan elemen (*meshing*) dapat dilihat pada Gambar 5.56.



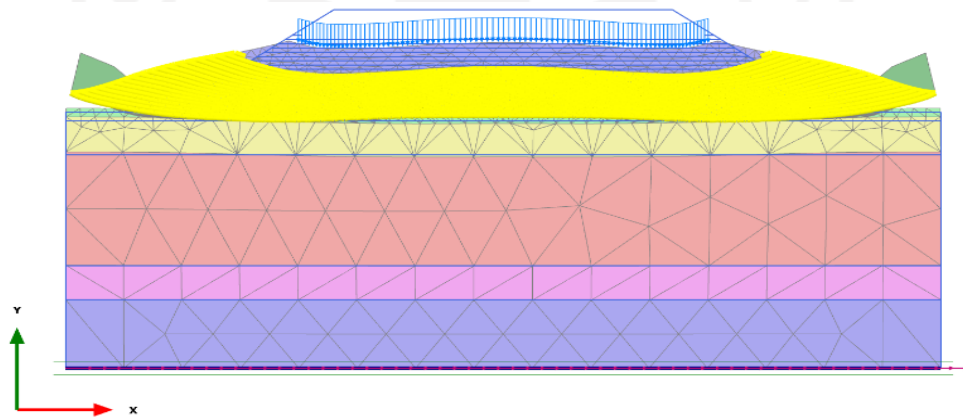
Gambar 5. 56 Jaringan Elemen (*Meshing*) Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Konstruksi akibat Beban Struktur

Setelah dilakukan *meshing* kemudian dilakukan tahap analisis (*calculation*) lereng timbunan tanah asli setinggi 12 meter masa paska konstruksi mempunyai 4 tahap. Tahap pertama yaitu analisis perhitungan akibat beban struktur perkerasan jalan lalu lintas sebesar 25 kN/m^2 . Tahap kedua yaitu analisis perhitungan angka aman (*SF*) dengan target angka aman $\geq 1,5$. Tahap ketiga analisis akibat beban gempa.

Untuk hasil deformed mesh pada lereng tanah asli 12 meter masa paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.57 dan Gambar 5.58.

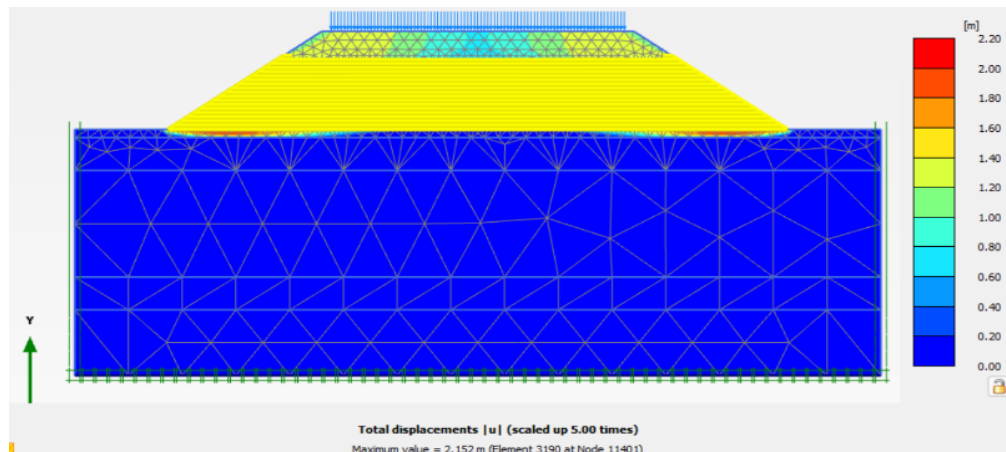


Gambar 5. 57 Deformed Mesh Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas

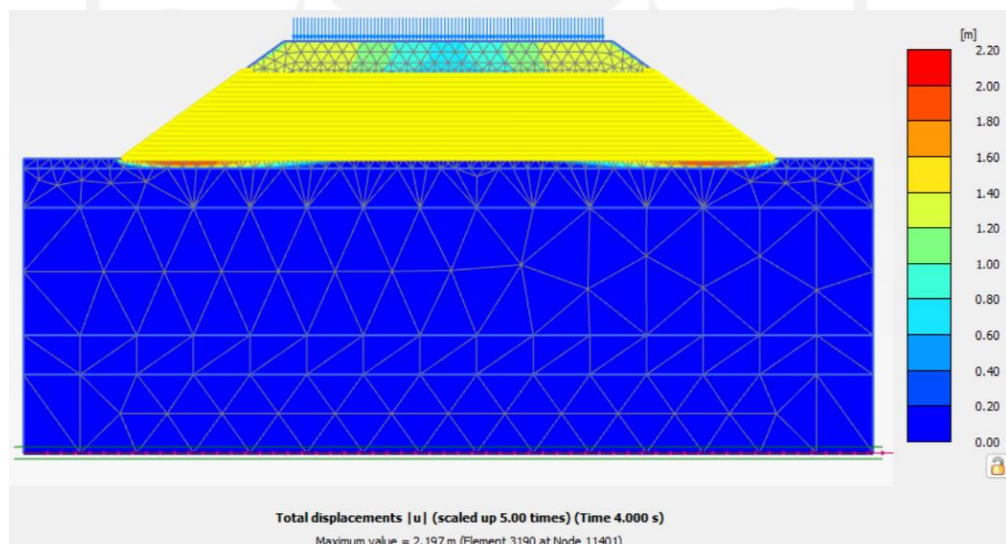


Gambar 5. 58 Deformed Mesh Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk nilai total displacement pada lereng timbunan tanah asli 12 meter menggunakan perkuatan geotekstil dengan nilai angka aman $\geq 1,5$ masa paska konstruksi akibat beban struktur lalu lintas sebesar 2,152 m, sedangkan akibat beban gempa sebesar 2,197 m. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.59 dan Gambar 5.60.

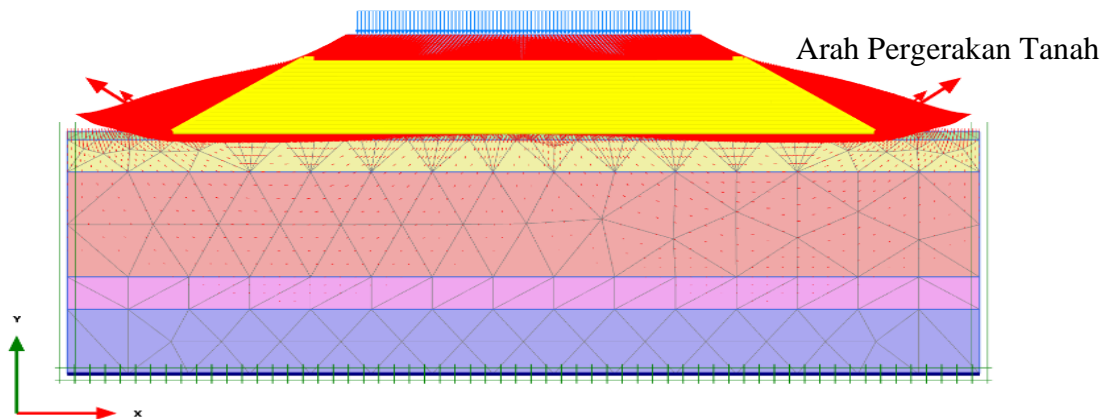


Gambar 5. 59 *Total Displacement* pada Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas

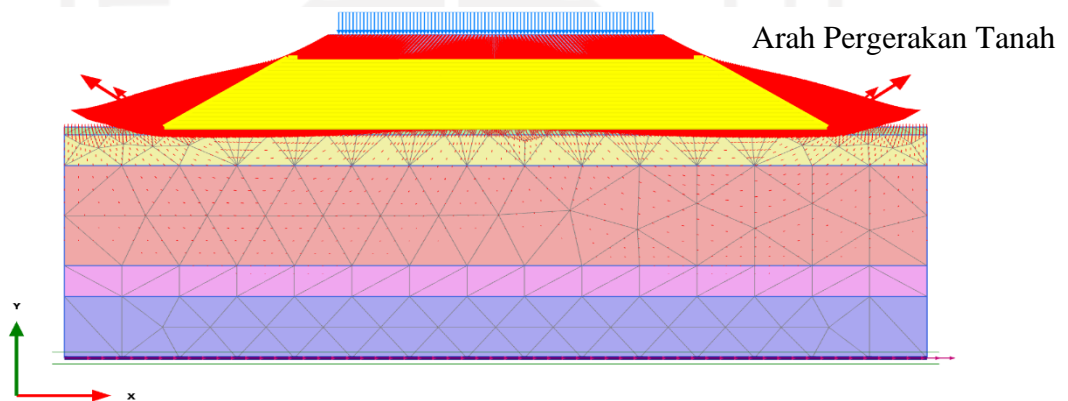


Gambar 5. 60 *Total Displacement* pada Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk arah pergerakan lereng tanah asli timbunan 12 meter menggunakan perkuatan dengan nilai angka aman $\geq 1,5$ masa paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.61 dan Gambar 5.62.

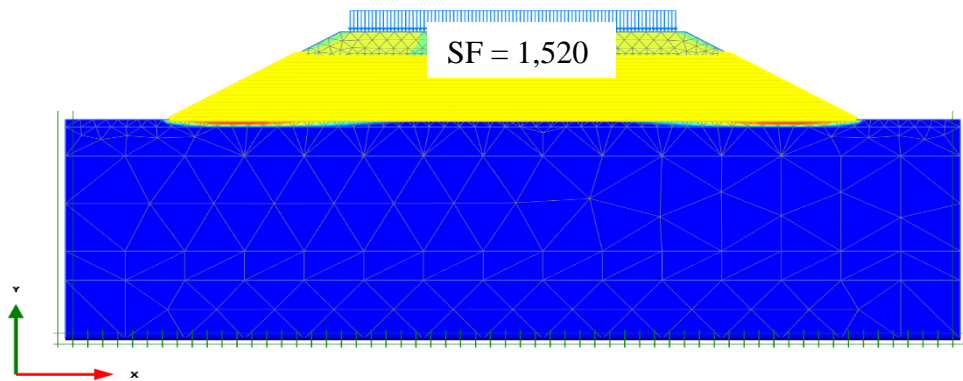


Gambar 5. 61 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas

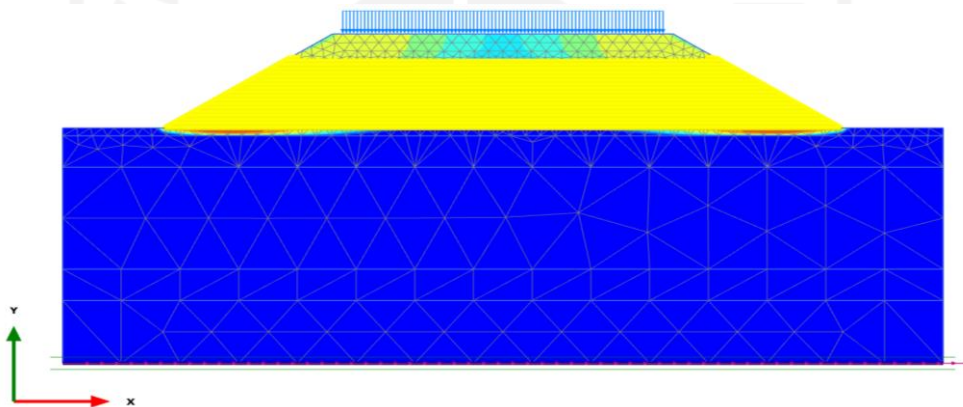


Gambar 5. 62 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk potensi kelongsoran pada lereng timbunan 12 meter menggunakan perkuatan dengan nilai angka aman $\geq 1,5$ masa paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.63 dan Gambar 5.64.

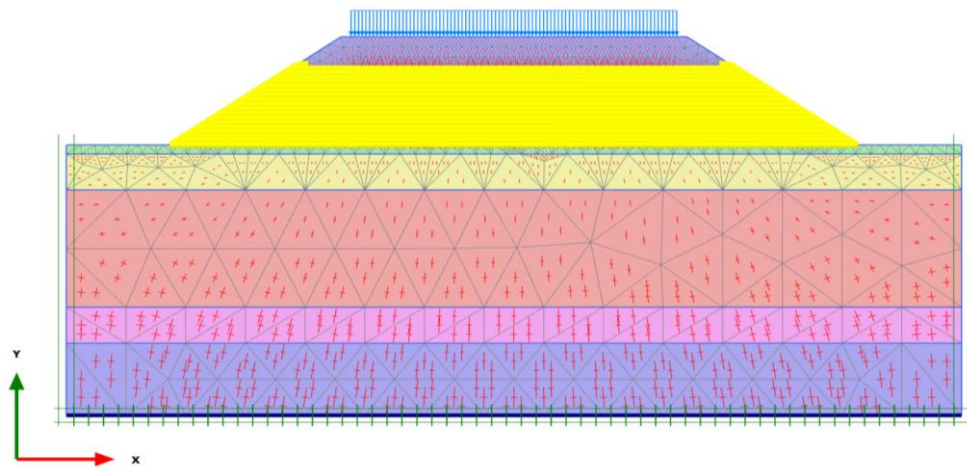


Gambar 5. 63 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas

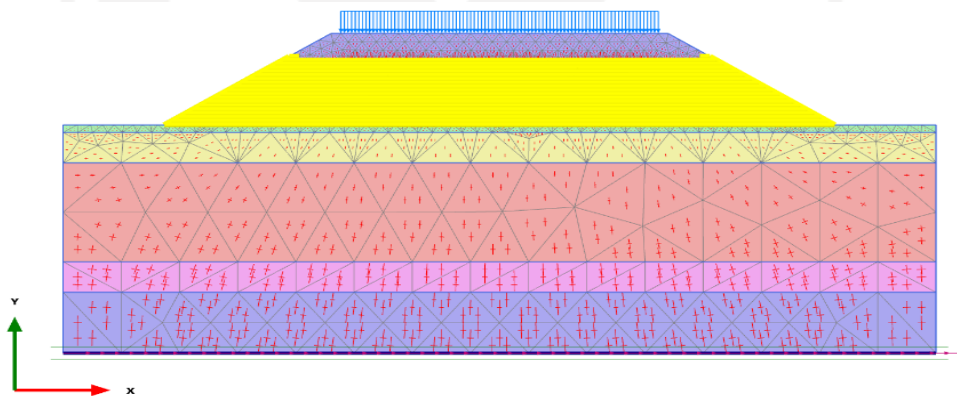


Gambar 5. 64 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk nilai *effective stresses* pada lereng timbunan tanah asli 12 meter menggunakan perkuatan dengan nilai angka aman $\geq 1,5$ masa paska konstruksi akibat beban struktur lalu lintas sebesar $0,02842 \times 10^{-12} \text{ kN/m}^2$, dan akibat beban gempa sebesar $1,776 \times 10^{-15} \text{ kN/m}^2$. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.65 dan Gambar 5.66.

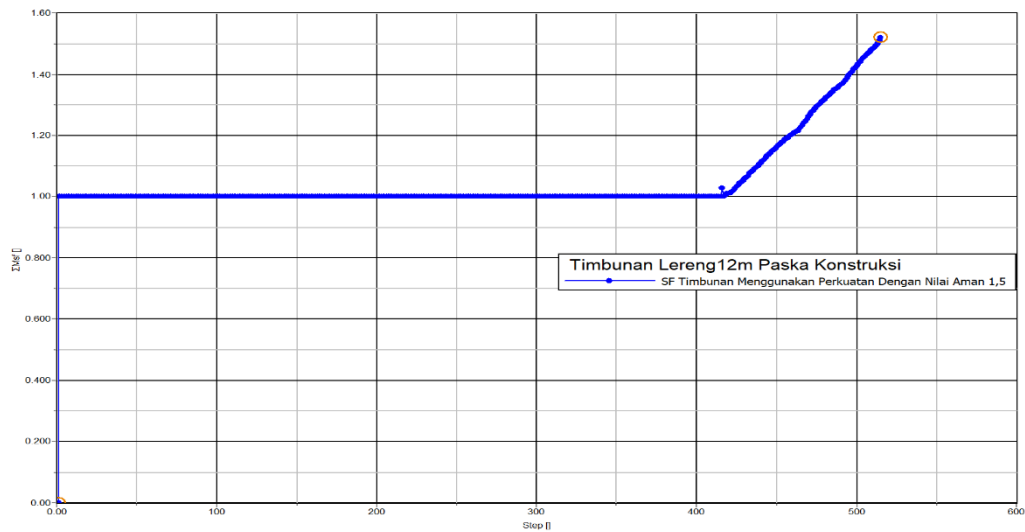


Gambar 5. 65 Nilai *Effective Stresses* Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu



Gambar 5. 66 Nilai *Effective Stresses* Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi akibat Beban Gempa

Selanjutnya untuk nilai angka aman (SF) untuk lereng timbunan tanah asli 12 meter masa paska konstruksi akibat beban struktur sebesar 1,331. untuk hasil angka aman (SF) dapat dilihat pada Gambar 5.67.



Gambar 5. 67 Kurva Angka Aman (SF) pada Lereng Timbunan Tanah Asli 12m dengan Perkuatan Masa Paska Konstruksi

5.6 Rekapitulasi Hasil Angka Aman Lereng Timbunan 12m

Hasil rekapitulasi hasil analisis dengan program *plaxis V20* untuk lereng timbunan tanah asli masa konstruksi dan paska konstruksi, timbunan bertahap 3m dengan konsolidasi masa konstruksi dan paska konstruksi, dan dengan perkuatan geotekstil paska konstruksi dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Angka Aman Lereng Timbunan 12m

Tinggi Timbunan	Nilai Angka Aman (SF)					
	Lereng Tanah Asli		Lereng Timbunan Bertahap 3m		Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil	
	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi	Paska Konstruksi	Paska Konstruksi (SF \geq 1,5)
12m	0,9135	0,7368	1,073	1,065	1,331	1,520

5.6 Pembahasan

5.6.1 Hasil Analisis Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan

Untuk analisis stabilitas lereng timbunan pada badan jalan tol Indralaya-Muara Enim di daerah Sumatera Selatan ini dilakukan untuk mengetahui nilai angka aman pada lereng timbunan, analisis dilakukan menggunakan program Plaxis V20 pada lereng timbunan 12m. Analisis lereng timbunan ini juga memperhitungkan akibat penerimaan beban pada kondisi saat dilakukan masa konstruksi dan masa paska konstruksi. Untuk parameter yang digunakan pada analisis ini ialah beban merata akibat beban struktur jalan dan beban lalu lintas kendaraan, dan beban gempa sesuai zona gempa di daerah Sumatera Selatan.

Bisa disimpulkan nilai angka aman pada lereng timbunan tanah asli pada masa konstruksi maupun paska konstruksi yang dianalisis, tidak ada hasil nilai angka aman yang memenuhi dengan nilai faktor keamanan (SF) yang telah direncanakan. Pada kondisi masa konstruksi timbunan 12m masa konstruksi mengalami *collapse* (runtuh) dilakukan perhitungan manual dengan metode *fellinius* yang menghasilkan nilai angka aman 0,9135 dan masa paska konstruksi memiliki nilai angka aman 0,7368 yang berarti nilai tersebut dibawah 1,0 dan dapat diartikan sudah tidak aman dan terjadi kelongsoran.

Karena hasil nilai angka aman lereng timbunan tanah asli tanpa perkuatan belum ada yang memenuhi nilai faktor keamanan (SF) baik pada kondisi masa konstruksi maupun paska konstruksi, maka lereng timbunan harus diberi perkuatan yang dapat menambah kekuatan pada tanah lereng timbunan sehingga dapat difungsikan sebagai jalan tol.

5.6.2 Hasil Analisa Lereng Timbunan Bertahap dengan Konsolidasi

Pada hasil analisa lereng timbunan bertahap 3m dilakukan menggunakan program Plaxis V20 pada lereng timbunan 12m. Analisis lereng timbunan ini juga memperhitungkan akibat penerimaan beban pada kondisi saat dilakukan masa konstruksi dan masa paska konstruksi. Untuk parameter yang digunakan pada analisis ini ialah beban merata akibat beban struktur jalan dan beban lalu lintas kendaraan, dan beban gempa sesuai zona gempa di daerah Sumatera Selatan.

Nilai angka aman pada timbunan bertahap 3m pada masa konstruksi maupun paska konstruksi yang dianalisis, menghasilkan nilai angka aman yang belum memenuhi dengan nilai faktor keamanan (SF) yang telah direncanakan. Pada kondisi masa konstruksi mempunyai nilai angka aman 1,073 dan masa paska konstruksi memiliki nilai angka aman 1,065 berarti nilai tersebut dibawah 1,3 dan dapat diartikan belum aman dan berpotensi terjadi kelongsoran.

Karena hasil nilai angka aman lereng timbunan bertahap 3m belum ada yang memenuhi nilai faktor keamanan (SF) baik pada kondisi masa konstruksi maupun paska konstruksi, maka lereng timbunan harus diberi perkuatan yang dapat menambah kekuatan pada tanah lereng timbunan sehingga dapat difungsikan sebagai jalan tol.

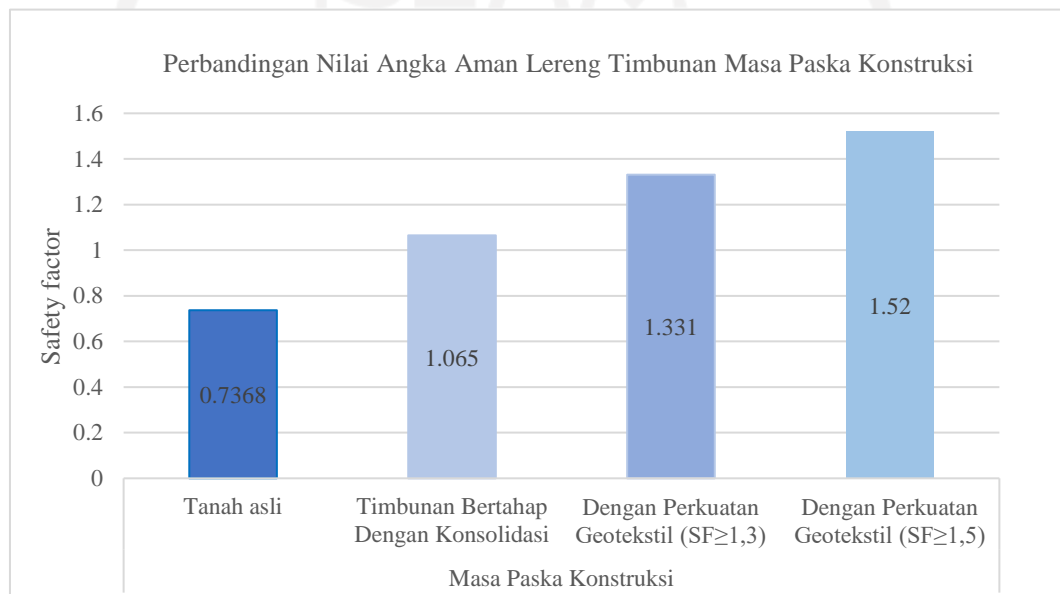
5.6.3 Hasil Analisis Lereng Dengan Perkuatan

Pada permasalahan lereng timbunan yang memiliki nilai angka aman belum memenuhi dengan nilai faktor aman yang telah direncanakan, maka digunakan perkuatan menggunakan bahan geosintetik jenis geotekstil *woven* UW-250 yang diproduksi oleh PT. Tekindo Geosistem Unggul. Geotekstil tersebut memiliki kekuatan tarik ultimit sebesar 52 kN/m². Sebelum pemasangan perkuatan lereng timbunan dilakukan analisis untuk perhitungan dan kebutuhan geotekstil yang akan digunakan. Pemasangan geotekstil dilakukan secara mendatar, untuk bagian luar geotekstil ditekuk kedalam (*overlapping*) berfungsi sebagai permukaan dinding penahan.

Didapatkan nilai angka aman pada timbunan paska konstruksi yang diperkuat dengan geotekstil sudah memenuhi faktor kemanan (SF) yang telah direncanakan. Pada kondisi masa paska konstruksi timbunan 12m memiliki hasil angka aman sebesar 1,331 dengan menggunakan 12 lapis geotekstil. Karena untuk mencapai lereng dalam kondisi mantap (lereng stabil) yaitu dengan nilai angka aman $\geq 1,5$, maka ditambahkan 6 lapis menjadi 18 lapis geotekstil untuk mendapatkan nilai angka aman timbunan 12m sebesar 1,520.

5.6.3 Perbandingan Nilai Angka Aman Lereng Timbunan Masa Paska Konstruksi

Dari hasil analisis menggunakan program *Plaxis V20* menunjukkan bahwa perbandingan antara stabilitas lereng timbunan pada masa paska konstruksi tanpa perkuatan, timbunan bertahap dengan konsolidasi, dan timbunan dengan perkuatan geotekstil. Dengan adanya perkuatan geotekstil dapat menambah nilai angka aman pada lereng timbunan tanah asli sampai pada nilai faktor aman (SF) yang telah direncanakan yaitu 1,3.



Gambar 5. 68 Grafik Perbandingan Angka Aman Lereng Timbunan Masa Paska Konstruksi

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari analisis dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Untuk hasil nilai angka aman lereng timbunan dengan analisis menggunakan program *Plaxis V20* didapatkan nilai angka aman pada saat masa konstruksi dan paska konstruksi tanah asli timbunan 12m mengalami *collapse* (runtuh) dan dilakukan perhitungan manual metode *fellinius* yang menghasilkan nilai angka aman masa konstruksi 0,9135 dan paska konstruksi 0,7368 yang berarti nilai tersebut dibawah 1,0 dan dapat diartikan sudah tidak aman dan berpotensi terjadi kelongsoran. Berdasarkan hasil analisis nilai angka aman yang didapat diatas bisa disimpulkan nilai angka aman timbunan pada masa konstruksi maupun paska konstruksi tidak ada nilai angka aman yang memenuhi dengan nilai faktor keamanan (*SF*) yang telah direncanakan yaitu 1,3.
2. Untuk hasil analisis nilai angka aman lereng timbunan bertahap 3m dengan konsolidasi didapatkan nilai angka aman pada saat masa konstruksi akibat beban struktur 1,073 dan paska konstruksi akibat beban struktur dan beban lalu lintas 1,065 yang berarti nilai tersebut masih dibawah 1,3 dan dapat diartikan sudah belum aman dan berpotensi terjadi kelongsoran. Berdasarkan hasil analisis nilai angka aman yang didapat diatas bisa disimpulkan nilai angka aman timbunan bertahap 3m pada masa konstruksi dan paska konstruksi tidak ada nilai angka aman yang memenuhi dengan nilai faktor keamanan (*SF*) yang telah direncanakan yaitu 1,3.
3. Untuk hasil analisis lereng timbunan yang diperkuat menggunakan geotekstil pada paska konstruksi yaitu dipakai 12 lapis menghasilkan angka aman 1,331 yang lebih besar sama dengan yang direncanakan yaitu 1,3. Namun perkuatan geotekstil ditambah 6 lapis menjadi 18 lapis geotekstil dan menghasilkan nilai

angka aman 1,520 untuk mencapai angka aman 1,5 agar lereng dalam kondisi stabil.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil yang didapat dalam penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa saran sebagai berikut.

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan perlu adanya penambahan parameter muka air tanah pada tanah asli untuk mengetahui pengaruh dari adanya konsolidasi.
2. Pada penelitian stabilitas lereng ini hanya menggunakan perkuatan geotekstil, untuk penelitian lebih lanjut bisa dipertimbangkan dengan perbandingan dengan perkuatan menggunakan *sheet pile* atau dengan dinding penahan tanah baja.
3. Untuk penelitian disarankan menggunakan karakteristik material tanah pada timbunan yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- 1762:2012, S. N. (2012). Peta Zonasi Gempa. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- Bowles, J. E. (1993). Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- Brinkgreve R. B. J, E. a. (2007). Plaxis 2D-Versi 8. Belanda: Delft University of Technology.
- Budiasto, A. (2018). Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Pada Jalan Tol Solo-Kertosono Tahap Iii Sta 118+700 - 139+760. Yogyakarta: DSpaceuii.
- Craig, R. F. (1997). Mekanika Tanah Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis): Jilid 1. Surabaya: Erlangga.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- Fitradi, N. I. (2019). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dan Turap Beton Menggunakan Program Plaxis. Yogyakarta: Dspaceuii.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). Teknik Fondasi 2 Edisi ke-4. Yogyakarta: Beta Offset.
- Hardiyatmo, H. C. (2009). Mekanika Tanah 1. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). Mekanika Tanah 2. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kurniawan, D. (2019). Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Dan Sheet Pile Baja Pada Lereng Jalan Tol Balikpapan-Samarinda Sta 2+850 - 3+050. Yogyakarta: DSpaceUII.
- Marga, B. (2009). Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

- Pradhana, R. (2018). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus: Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis, Daerah Istimewa Yogyakarta). Yogyakarta: DSapceuii.
- Santoso, B., Suprpto, H., & Suryadi, H. (n.d.). Mekanika Tanah Lanjut. Jakarta: Gunadarma.
- Setiawan, I. (2019). Analisis Penurunan Dan Waktu Konsolidasi Pada Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain Dengan Permodelan Mohr Coulomb. Yogyakarta: DSpaceUII.
- Umum, D. P. (2009). Modul Pelatihan Geosintetik Volume 3: Perencanaan Geosintetik Untuk Perkuatan Lereng. Jakarta: Dinas Pekerjaan Umum.
- Unggul, P. T. (2015). Technical Spesification Geotextile. Surabaya.
- Whittaker, B. N., & Reddish, D. J. (1989). Subsidence Occurance, Prediction and Control. New York : ELSEVIER SCIENCE PUBLISHING COMPANY INC.



LAMPIRAN

الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

Lampiran 1 Data Parameter Tanah

Zona	STA		Kedalaman			Jenis Tanah	NSPT Rata Rata	Material Model	Jangka Pendek							
									γ_{unsat}	γ_{sat}	E'	μ	C	ϕ	C'	ϕ
									(kN/m^3)	(kN/m^3)	(kN/m^2)		(kN/m^2)	($^\circ$)	(kN/m^2)	($^\circ$)
9	115+900	116+350	0	-	1	TOP SOIL	4	Mohr - Coulomb	15	16	3000	0.33	20	0	2	22
	117+725	118+725	1	-	5	STIFF CLAY	12	Mohr - Coulomb	15	16	9000	0.33	60	0	25	27
			5	-	18	VERY STIFF CLAY	17	Mohr - Coulomb	15	16	12750	0.33	85	0	28	29
			18	-	22	HARD SILTY CLAY	43	Mohr - Coulomb	15	16	32250	0.33	215	0	30	32
			22	-	30	VERY DENSE SAND	60	Mohr - Coulomb	17	18	45600	0.33	0	42	0	42

Gambar L-1. 1 Data Parameter Tanah Asli



Lampiran 2 Data Spesifikasi Geotekstil

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/Weft)	kN/m	ASTM D 4595-94	37/35	42/39	52/52
Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)	%	ASTM D 4595-94	19/18	20/20	20/20
Grap Tensile Strength (Wrab/Weft)	N	ASTM D 4632-91	1210/1200	1600/1600	1750/1750
Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)	%	ASTM D 4632-91	14/13	22/22	22/22
Trapezoidal Tear Strength (Wrab/Weft)	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	26	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 :

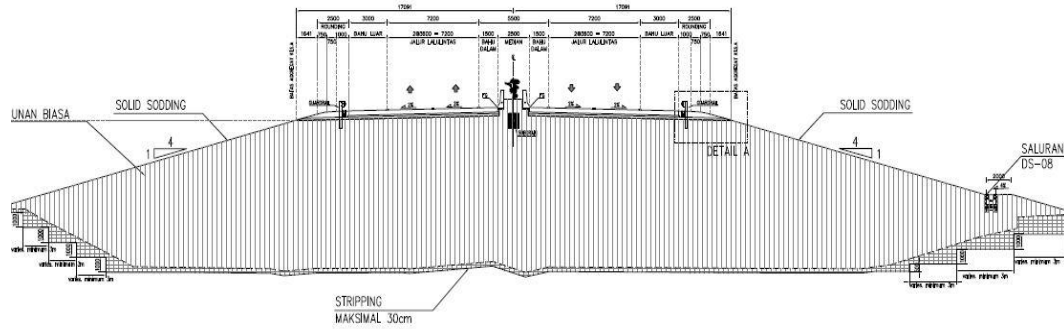


PT. TEKNINDO GEOSISTEM UNGGUL

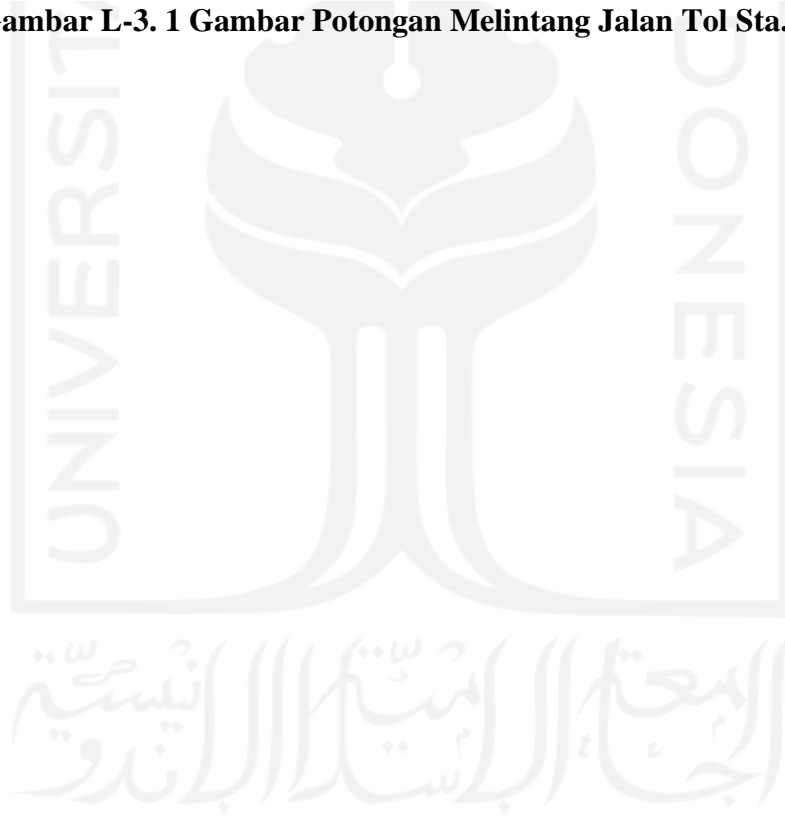
Wisma SIER Building, 1st Floor, Jl. Rungkut Industri Raya 10, Surabaya 60253
Tel. 031-8475062 Fax. 031-8475063

Gambar L-2. 1 Data Spesifikasi Geotekstil yang Dipakai

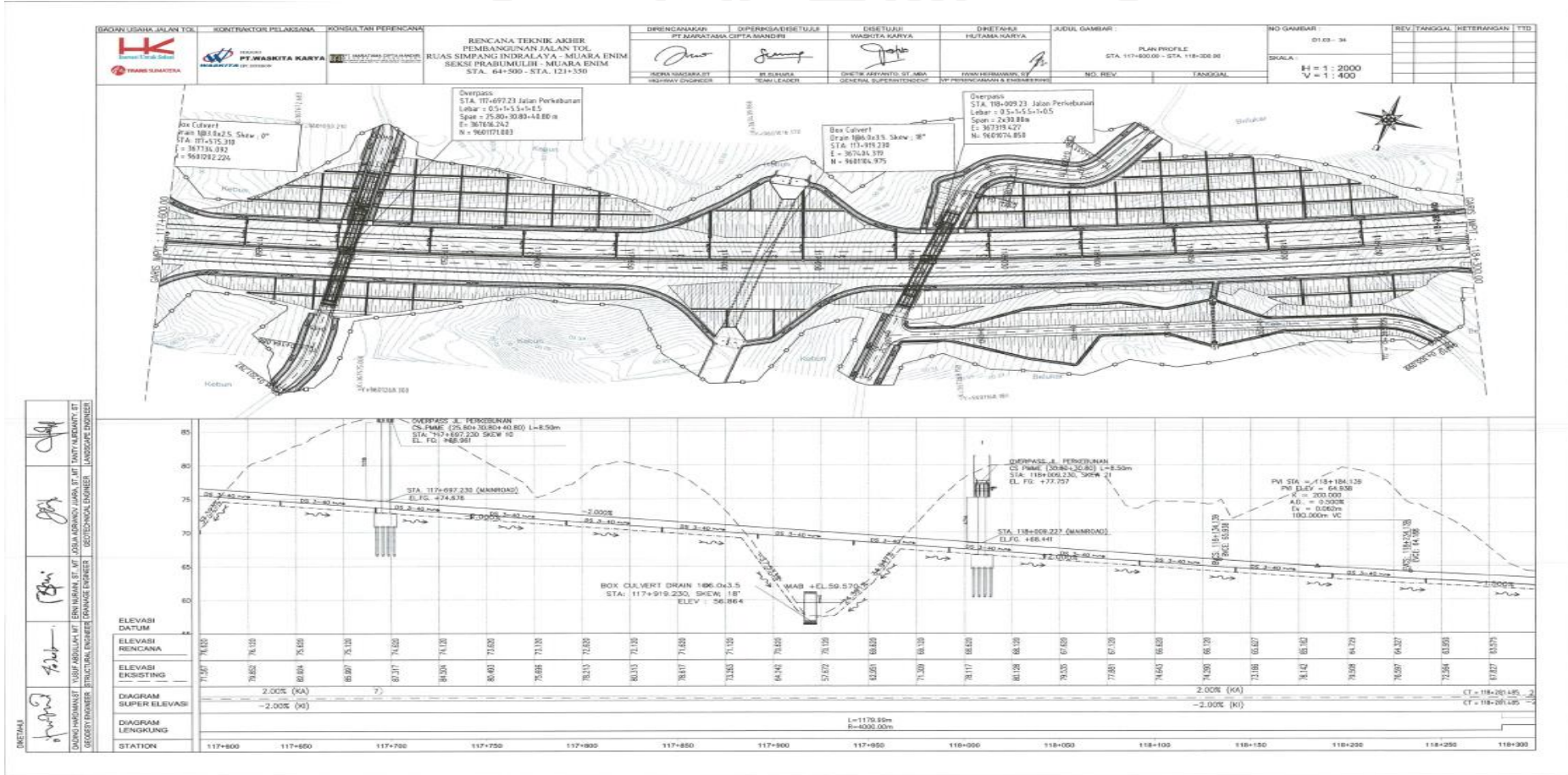
Lampiran 3 Gambar Potongan Jalan Tol Sta 117+925.



Gambar L-3. 1 Gambar Potongan Melintang Jalan Tol Sta.117+92



Lampiran 4 Potongan Memanjang Proyek



Gambar L-4. 1 Potongan Memanjang Sta 117+925

