

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN LERENG JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGUNAKAN PROGRAM PLAXIS 8.6 PADA PROYEK TOL CIBITUNG – CILINCING (*STABILITY ANALYSIS OF SLOPE ROAD EMBANKMENTS WITH GEOTEXTILE REINFORCEMENT USING PLAXIS 8.6 PROGRAM IN CIBITUNG – CILINCING HIGHWAY CONSTRUCTION PROJECT*)

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



**Alfian Ihsanul Qayyim
17511117**

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

TUGAS AKHIR

**ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN LERENG
JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL
MENGUNAKAN PROGRAM PLAXIS 8.6 PADA
PROYEK TOL CIBITUNG – CILINCING
(STABILITY ANALYSIS OF SLOPE ROAD
EMBANKMENTS WITH GEOTEXTILE
REINFORCEMENT USING PLAXIS 8.6 PROGRAM IN
CIBITUNG – CILINCING HIGHWAY CONSTRUCTION
PROJECT)**

Disusun oleh

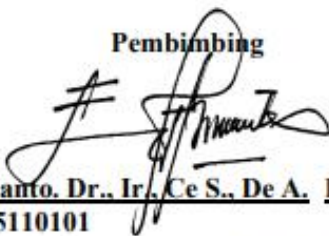
Alfian Ihsanul Qayyim
17511117

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

Diuji pada tanggal 1 September 2021

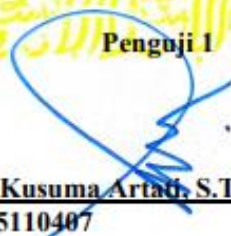
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



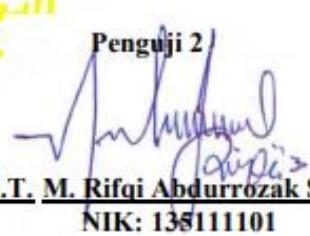
Edy Purwanto, Dr., Ir., Ce S., De A.
NIK: 885110101

Penguji 1



Hanindya Kusuma Arta, S.T., M.T.
NIK: 045110407

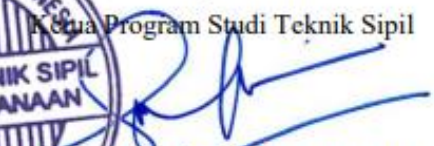
Penguji 2



M. Rifqi Abdurrozaq S.T., M.Eng.
NIK: 138111101

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 1 September 2021

Yang membuat pernyataan,



Alfian Ihsanul Qayyim

(17511117)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang Berjudul *Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis 8.6 Pada Proyek Tol Cibitung – Cilincing*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Edy Purwanto. Dr., Ir., CeS., DeA. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang diberikan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir maupun selama masa perkuliahan.
2. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku penguji 1 dan Bapak M. Rifqi Abdurrozaq, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji 2.
3. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Orang tua tercinta Bapak Agus Suharto dan Ibu Lutifi Setiarini dua orang terhebat dalam hidup saya yang tidak hentinya memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan di setiap langkah saya dalam menuntut ilmu.
5. Saudara Mega Zulfikar Akbar dan Zidan Maralfi Husein yang selalu mendukung dan memberi semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Sahabat – sahabat saya Rama, Arief, Yoga, Tara, Alfandy, Apil, Mile, Ayudaffary, Iwan, Goro dan Iqron yang selalu ada untuk memberi motivasi, semangat dan dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Abang dan Mba kampus saya Mahmud, Lexy, Nizar, Imam dan Mamus yang selalu membantu dan memberi masukan solusi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga penelitian yang telah dilakukan dan disajikan dalam bentuk laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi dunia Teknik Sipil dan dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian – penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, 1 September 2021

Alfian Ihsanul Qayyim

17511117

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Halaman Pengesahan	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xxii
ABSTRAK	xxiv
<i>ABSTRACT</i>	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Studi Kasus	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil	6
2.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil	7
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan	9
BAB III LANDASAN TEORI	12

3.1 Tanah	12
3.1.1 Pengertian Umum	12
3.1.2 Klasifikasi Tanah	12
3.1.3 Parameter Kuat Geser Tanah	15
3.1.4 Standard Penetration Test (SPT)	20
3.2 Lereng	22
3.2.1 Pengertian Umum	22
3.2.2 Penyebab Longsor	22
3.2.3 Pengaruh Kelongsoran	23
3.2.4 Jenis Longsor	25
3.3 Analisis Stabilitas Lereng	27
3.3.1 Pengertian Umum	27
3.3.2 Teori Analisis Stabilitas Lereng	28
3.3.3 Metode Analisis Stabilitas Lereng	30
3.4 Penurunan Tanah	35
3.4.1 Umum	35
3.4.2 Penurunan Konsolidasi Primer (<i>Consolidation Settlement</i>)	35
3.4.3 Parameter Perhitungan Penurunan	36
3.5 Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil	38
3.5.1 Perkuatan Tanah	38
3.5.2 Geotekstil	39
3.5.3 Prinsip Kerja Geotekstil	42
3.5.4 Perkuatan Menggunakan Geotekstil	43
3.6 Program Plaxis	48
BAB IV METODE PENELITIAN	50

4.1	Tinjauan Umum	50
4.2	Data Penelitian	50
4.3	Tahapan Penelitian	51
4.4	Analisis Data	51
4.4.1	Parameter Tanah	51
4.4.2	Geotekstil	52
4.4.3	Beban Perkerasan dan Lalu Lintas	53
4.4.4	Beban Gempa	54
4.5	Pengoperasian Program <i>Plaxis</i>	55
4.5.1	<i>Plaxis Input</i>	55
4.5.2	<i>Plaxis Calculation</i>	60
4.5.3	<i>Plaxis Output</i>	61
4.6	Bagan Alir Penelitian	61
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		64
5.1	Gambaran Umum Analisis	64
5.1.1	Data Analisis Program <i>Plaxis 8.6</i>	65
5.2	Lereng Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan	68
5.2.1	Analisis Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	68
5.2.2	Perhitungan Manual Dengan Metode <i>Fellenius</i>	82
5.3	Lereng Timbunan Tanah dengan <i>Replacement</i> Tanpa Perkuatan	86
5.3.1	Analisis Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	86
5.4	Perhitungan Kebutuhan Geotekstil	100
5.4.1	Data Perhitungan Geotekstil	100
5.4.2	Stabilitas Eksternal	102
5.4.3	Stabilitas Internal	108

5.4.4 Cek Gaya Tarik Tanah-Geotekstil	110
5.5 Lereng Timbunan Tanah Asli Dengan Perkuatan	112
5.6 Lereng Timbunan Tanah <i>Replacement</i> Dengan Perkuatan	125
5.7 Pembahasan	137
5.7.1 Hasil Analisis Lereng Tanpa Pekuatan	137
5.7.2 Hasil Analisis Lereng Dengan Perkuatan	139
5.7.3 Perbandingan Stabilitas Lereng dengan Variasi Tinggi Timbunan	141
5.7.4 Perbandingan Stabilitas Lereng Tanah Asli dengan Tanah yang Diberi Replacement	145
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	149
6.1 Kesimpulan	149
6.2 Saran	151
DAFTAR PUSTAKA	152
LAMPIRAN 155	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan yang Dilakukan	10
Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	11
Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS	14
Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO	15
Tabel 3.3 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng	29
Tabel 3.4 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor	29
Tabel 3.5 Nilai <i>Interface</i> Tanah Kohesif dengan Geotekstil	42
Tabel 4.1 Data Parameter Tanah Masa Konstruksi	52
Tabel 4.2 Data Parameter Tanah Pasca Konstruksi	52
Tabel 4.3 Data Parameter Geotekstil <i>Woven</i> UW-250	53
Tabel 4.4 Data Parameter Beban Lalu Lintas	53
Tabel 5.1 Parameter Tanah Masa Konstruksi	65
Tabel 5.2 Data Parameter Tanah Pasca Konstruksi	65
Tabel 5.3 Data Parameter Beban Lalu Lintas	66
Tabel 5.4 Parameter Geotekstil <i>Woven</i> UW 250	67
Tabel 5.5 Koordinat Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	69
Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Angka Aman Pada Kondisi Tanah Asli	81
Tabel 5.7 Hasil Konsolidasi pada Timbunan Lereng Tanah Asli	81
Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	85
Tabel 5.9 Koordinat Lereng	87
Tabel 5.10 Hasil Nilai Angka Aman pada Timbunan Lereng Tanah Asli dengan <i>Replacement</i>	99

Tabel 5.11 Hasil Konsolidasi pada Timbunan Lereng Tanah Asli dengan <i>Replacement</i>	100
Tabel 5.12 Data Geotekstil <i>Woven</i> UW-250	101
Tabel 5.13 Koefisien Daya Dukung Tanah	102
Tabel 5.13 Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil	108
Tabel 5.14 Koordinat Lereng	113
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Angka Aman Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	124
Tabel 5.16 Hasil Konsolidasi pada Timbunan Lereng Tanah Asli Dengan Pekuatan Geotekstil	124
Tabel 5.17 Koordinat Lereng	126
Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Angka Aman Lereng Timbunan <i>Replacement</i> Dengan Perkuatan	136
Tabel 5.19 Hasil Konsolidasi Lereng Timbunan <i>Replacement</i> Dengan Perkuatan	137
Tabel 5.20 Rekapitulasi <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan Asli Hasil Analisis	142
Tabel 5.21 Rekapitulasi Konsolidasi Penurunan Lereng Timbunan Asli Hasil Analisis	142
Tabel 5.22 Rekapitulasi <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan <i>Replacement</i> Hasil Analisis	146
Tabel 5.23 Rekapitulasi Konsolidasi Penurunan Lereng Timbunan <i>Replacement</i> Hasil Analisis	146

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Jalan Tol Cibitung – Cilincing	2
Gambar 1.2 Geometri Potongan Melintang	3
Gambar 3.1 Kriteria Kegagalan Mohr dan Coulomb	17
Gambar 3.2 Lingkaran Mohr Saat Kegagalan	18
Gambar 3.3 Penetrasi Dengan SPT	20
Gambar 3.4 Skema Pengujian <i>Standard Penetration Test</i> (SPT)	22
Gambar 3.5 Tampak Lereng Akibat Pengaruh Rangkak (<i>Creep</i>)	25
Gambar 3.6 Kelongsoran Lereng	26
Gambar 3.7 Longsoran Translasi	27
Gambar 3.8 Longsoran Rotasi	27
Gambar 3.9 Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Irisan	30
Gambar 3.10 Indeks Pemampatan, <i>C_c</i>	37
Gambar 3.11 (a) Tumpukan Pasir dengan Sudut Lereng Asli	39
(b) Tumpukan Pasir dengan Lereng yang Diperkuat	39
Gambar 3.12 Geotekstil <i>Woven</i>	40
Gambar 3.13 Geotekstil <i>Non Woven</i>	40
Gambar 3.14 Geotekstil Sebagai Pemisah (<i>Separator</i>)	41
Gambar 3.15 Geotekstil Sebagai Perkuatan (<i>Reinforcement</i>)	41
Gambar 3.16 Timbunan di Atas Tanah Lunak	43
Gambar 3.17 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral	44
Gambar 4.1 Peta Zonasi Gempa	54
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa	55
Gambar 4.3 Kotak Dialog <i>Create/Open Project</i>	55

Gambar 4.4 Tab Project dari Jendela General Setting	56
Gambar 4.5 Tab Dimension dari Jendela General Setting	57
Gambar 4.6 Lembar <i>Tab General</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	58
Gambar 4.7 Lembar <i>Tab Parameters</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	59
Gambar 4.8 Jaringan Elemen Hingga (<i>Meshing</i>)	59
Gambar 4.9 Tegangan Awal Pada Geometri	60
Gambar 4.10 Jendela <i>Calculations</i> dengan Lembar <i>Tab General</i>	60
Gambar 4.11 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau	61
Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian	62
Gambar 4.4 Bagan Alir Pemodelan Lereng	63
Gambar 5.1 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa Whittier Narrows	67
Gambar 5.3 Pemodelan Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	69
Gambar 5.4 <i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	70
Gambar 5.5 <i>Generate Water Pressures</i> pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi	70
Gambar 5.6 <i>Intial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi	71
Gambar 5.7 <i>Defrmed Mesh</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	71
Gambar 5.8 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	72
Gambar 5.9 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	72
Gambar 5.10 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	73

Gambar 5.11 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	73
Gambar 5.12 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	74
Gambar 5.13 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	74
Gambar 5.14 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	74
Gambar 5.15 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	75
Gambar 5.16 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	75
Gambar 5.17 Kurva SF Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi	75
Gambar 5.18 <i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pasca Konstruksi	76
Gambar 5.19 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi akibat Beban Struktur	77
Gambar 5.20 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi akibat Beban Struktur dan Gempa	77
Gambar 5.21 Nilai <i>Total Displacement</i> Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	77
Gambar 5.22 Nilai <i>Total Displacement</i> Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	78
Gambar 5.23 Arah Pergerakan Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi akibat Beban Lalu Lintas	78
Gambar 5.24 Arah Pergerakan Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	78

Gambar 5.25 Potensi Kelongsoran Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Kontruksi akibat Beban Lalu Lintas	79
Gambar 5.26 Potensi Kelongsoran Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	79
Gambar 5.27 Nilai <i>Effective Stresses</i> pada Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Kontruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	80
Gambar 5.28 Nilai <i>Effective Stresses</i> pada Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Kontruksi akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	80
Gambar 5.29 Nilai Angka Aman (<i>SF</i>) Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi	80
Gambar 5.31 Pemodelan Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Tanpa Perkuatan	87
Gambar 5.32 <i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Tanpa Perkutan	88
Gambar 5.33 <i>Generate Water Pressures</i> pada Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi	88
Gambar 5.34 <i>Intial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi	89
Gambar 5.35 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	89
Gambar 5.36 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	90
Gambar 5.37 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	90
Gambar 5.38 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	91
Gambar 5.39 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	91

Gambar 5.40 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	91
Gambar 5.41 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	92
Gambar 5.42 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	92
Gambar 5.43 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	93
Gambar 5.44 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	93
Gambar 5.45 Kurva SF Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi	94
Gambar 5.46 <i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Tanpa Perkuatan Pasca Konstruksi	94
Gambar 5.47 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan <i>Replacement</i> Paska Konstruksi akibat Beban Struktur	95
Gambar 5.48 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan <i>Replacement</i> Paska Konstruksi akibat Beban dan Gempa	95
Gambar 5.49 Nilai <i>Total Displacement</i> pada Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan <i>Replacement</i> Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	96
Gambar 5.50 Nilai <i>Total Displacement</i> pada Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan <i>Replacement</i> Paska Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	96
Gambar 5.51 Arah Pergerakan Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan <i>Replacement</i> Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	96
Gambar 5.52 Arah Pergerakan Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan <i>Replacement</i> Paska Konstruksi akibat Beban dan Gempa	97

Gambar 5.53 Potensi Kelongsoran Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan <i>Replacement</i> Paska Konstruksi akibat Beban Lalu Lintas	97
Gambar 5.54 Potensi Kelongsoran Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan <i>Replacement</i> Paska Konstruksi akibat Beban dan Gempa	97
Gambar 5.55 Nilai <i>Effective Stresses</i> Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan <i>Replacement</i> Paska Konstruksi akibat Beban Lalu Lintas	98
Gambar 5.56 Nilai <i>Effective Stresses</i> Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan <i>Replacement</i> Paska Konstruksi akibat Beban dan Gempa	98
Gambar 5.57 Nilai Angka Aman (SF) Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan <i>Replacement</i> Paska Konstruksi	99
Gambar 5.58 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Timbunan Lereng	103
Gambar 5.59 Transfer Gesekan Tanah-Geotekstil	111
Gambar 5.60 Pemodelan Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Dengan Perkuatan	113
Gambar 5.61 <i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Dengan Perkuatan	114
Gambar 5.62 <i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi	114
Gambar 5.63 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	115
Gambar 5.64 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	115
Gambar 5.65 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	116
Gambar 5.66 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	116
Gambar 5.67 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	116

Gambar 5.68 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	117
Gambar 5.69 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	117
Gambar 5.70 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	117
Gambar 5.71 <i>Effetive Stresses</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	118
Gambar 5.72 <i>Effetive Stresses</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	118
Gambar 5.73 Kurva SF Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi	119
Gambar 5.74 <i>Intial Soil Stresses</i> Pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Dengan Perkutan Pasca Konstruksi	119
Gambar 5.75 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	120
Gambar 5.76 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	120
Gambar 5.77 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	121
Gambar 5.78 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	121
Gambar 5.79 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	121
Gambar 5.80 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	122
Gambar 5.81 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	122

Gambar 5.82 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	122
Gambar 5.83 <i>Effetive Stresses</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	123
Gambar 5.84 <i>Effetive Stresses</i> Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	123
Gambar 5.85 Kurva SF Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi	124
Gambar 5.86 Pemodelan Lereng Timbunan 12,5m <i>Replacement</i> Dengan Perkuatan	126
Gambar 5.87 <i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Dengan Perkuatan	127
Gambar 5.88 <i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Dengan Perkuatan	127
Gambar 5.89 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	128
Gambar 5.90 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	128
Gambar 5.91 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	128
Gambar 5.92 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	129
Gambar 5.93 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	129
Gambar 5.94 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	129
Gambar 5.95 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	130

Gambar 5.96 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	130
Gambar 5.97 <i>Effetive Stresses</i> Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	130
Gambar 5.98 <i>Effetive Stresses</i> Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	131
Gambar 5.100 Kurva SF Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Masa Konstruksi	131
Gambar 5.101 <i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi	132
Gambar 5.102 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	132
Gambar 5.103 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	133
Gambar 5.104 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	133
Gambar 5.105 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	133
Gambar 5.106 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	134
Gambar 5.107 Arah Pergerakan Lereng Timbunan <i>Replacemnet</i> 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	134
Gambar 5.108 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	134
Gambar 5.109 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	135
Gambar 5.110 <i>Effetive Stresses</i> Lereng Timbunan <i>Replacemen</i> 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	135

Gambar 5.111 <i>Effetive Stresses</i> Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	135
Gambar 5.112 Kurva SF Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 12,5m Pasca Konstruksi	136
Gambar 5.113 Perbandingan <i>Safety Factor</i> dengan Tinggi Timbunan Masa Konstruksi	143
Gambar 5.114 Perbandingan <i>Safety Factor</i> dengan Tinggi Timbunan Pasca Konstruksi	143
Gambar 5.115 Perbandingan Konsolidasi Penurunan dengan Tinggi Timbunan	144
Gambar 5.116 Perbandingan <i>Safety Factor</i> dengan Tinggi Timbunan <i>Replacement</i> Masa Konstruksi	147
Gambar 5.117 Perbandingan <i>Safety Factor</i> dengan Tinggi Timbunan <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi	147
Gambar 5.118 Perbandingan Konsolidasi Penurunan dengan Tinggi Timbunan <i>Replacement</i>	148
Lampiran 6 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	161

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Geometri Potongan Melintang	156
Lampiran 2 Data Hasil Uji Lab Sampel Tanah	157
Lampiran 3 Data SPT pada Sta 3+550	158
Lampiran 4 Data <i>Technical Spesification Geotextile Woven</i>	159
Lampiran 5 Kurva S Masa Penelitian	160
Lampiran 6 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	161
Lampiran 7 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	169
Lampiran 8 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	177
Lampiran 9 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	185
Lampiran 10 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	193
Lampiran 11 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Dengan Perkuatan	201
Lampiran 12 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Dengan Perkuatan	209
Lampiran 13 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 8m Tanah Asli Dengan Perkuatan	217
Lampiran 14 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan <i>Replacement</i> 10m Tanah Asli Dengan Perkuatan	225

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

cm	= Centimeter
m	= Meter
mm	= Milimeter
C_u	= <i>Undrained shear strength</i>
γ_b	= Berat Volume Tanah
γ_{sat}	= Berat Volume Tanah jenuh
FK	= Faktor Keamanan
N	= Newton
kN	= Kilo Newton
Mpa	= Mega Pascal
%	= Persen
D	= Diameter
S	= Jarak
L	= Panjang
SF	= <i>Safety Factor</i>
τ_f	= Kuat Geser Tanah
τ_d	= Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh
m^2	= Meter persegi
c	= Kohesi
ϕ	= Sudut geser dalam
ν	= <i>Poissons ratio</i>
e	= Modulus young
ψ	= Sudut dilatasi
k	= Koefisien permeabilitas
g	= Modulus geser
σ	= Tegangan normal
σ'_f	= Tegangan normal efektif saat terjadi keruntuhan
τ'_f	= Tegangan geser efektif saat terjadi keruntuhan
u	= Tekanan air pori

R	= Jari-jari lingkaran bidang longsor
n	= Jumlah irisan
W_i	= Berat massa tanah irisan ke- i
N_i	= Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
θ_i	= Sudut yang didefinisikan
a_i	= Panjang lengkung lingkaran pada irisan
α	= Sudut geser singgung masing-masing irisan
N'	= Gaya normal efektif
σ_v	= Tegangan normal pada bidang kontak
T_a	= Gaya tarik pada tulangan
K_a	= Koefisien tanah aktif
σ_{hc}	= Tekanan horisontal rata-rata pada lipatan
S_v	= Jarak tulangan arah vertikal
H	= Tinggi lapisan tanah
q	= Beban merata
LO	= Panjang <i>overlapping</i>
Z_i	= Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah



ABSTRAK

Jalan tol Cibitung – Cilincing yang dibangun di Kota Bekasi bertujuan untuk meningkatkan aksesibilitas dan kapasitas dalam melayani lalu lintas di sektor industri yang berguna dalam meningkatkan produktivitas. Pada jalan tol ini terdapat banyak lereng yang terbuat dari timbunan tanah untuk jalan. Timbunan lereng yang dilakukan penelitian dikhususkan pada ruas tol Cibitung – Cilincing Sta 3+550 dengan tinggi lereng yang bervariasi mulai dari 2m sampai dengan 12,5m. Timbunan lereng kemudian dianalisis dengan dua kondisi, yaitu pada kondisi saat dilakukan masa konstruksi dan pada kondisi pasca konstruksi. Tanah *replacement* digunakan sebagai parameter untuk mengetahui pengaruh terhadap timbunan lereng. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan nilai angka aman (SF), dan konsolidasi yang terjadi selama satu tahun.

Analisis stabilitas lereng dilakukan perhitungan dengan metode elemen hingga menggunakan program Plaxis 8.6. Penelitian ini menggunakan variasi analisis tinggi timbunan lereng 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, dan 12,5m. Variasi kondisi pemodelan pada saat masa konstruksi dan pasca konstruksi dengan jenis timbunan tanah asli dan timbunan tanah *replacement*. Untuk perencanaan perkuatan pada timbunan lereng yang tidak aman digunakan perkuatan geotekstil *woven* UW-250 produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul.

Nilai angka aman untuk timbunan 2m pada saat masa konstruksi untuk tanah asli 2,1545 pada tanah *replacement* 2,3351 dan pasca konstruksi untuk tanah asli 1,5324 pada tanah *replacement* 2,2590. Untuk timbunan 4m didapatkan nilai angka aman pada saat masa konstruksi tanah asli 1,5590 pada tanah *replacement* 1,7124, saat pasca konstruksi pada tanah asli 1,2836 pada tanah *replacement* 1,7121. Pada timbunan 6m saat masa konstruksi tanah asli 1,3245 pada tanah *replacement* 1,4495 dan saat pasca konstruksi tanah asli 1,1807 pada tanah *replacement* 1,4975. Pada timbunan 8m masa konstruksi angka aman tanah asli 1,2751 pada tanah *replacement* 1,3866 dan saat pasca konstruksi tanah asli 1,1992 pada tanah *replacement* 1,4323. Untuk timbunan 10m angka aman pada masa konstruksi tanah asli 1,1928 pada tanah *replacement* 1,2935 dan saat pasca konstruksi pada tanah asli 1,1576 pada tanah *replacement* 1,2362. Pada timbunan 12,5m masa konstruksi didapatkan angka aman pada tanah asli 1,1162 pada tanah *replacement* 1,1987, sedangkan saat pasca konstruksi tanah asli 1,1138 pada tanah *replacement* 1,1781. Kemudian tanah timbunan 8m sampai 12,5m diperkuat menggunakan geotekstil. Hasil analisis dengan perkuatan pada semua timbunan 8m, 10m, dan 12,5m yang diperkuat menghasilkan angka aman yang lebih besar dari yang disyaratkan sebesar 1,3.

Kata Kunci : Timbunan Lereng, Angka Aman (SF), Konsolidasi, Geotekstil, Plaxis

ABSTRACT

The Cibitung – Cilincing toll road which was built in Bekasi aims to increase accessibility and capacity in serving traffic in the industrial sector which is useful to increase productivity. In this toll road, there are many slopes made from heaps of soil for roads. The embankment of the slopes carried out by the research is devoted to the Cibitung – Cilincing Sta 3+550 toll road section with slope heights that vary from 2m to 12.5m. The embankment of the slope is then analyzed under two conditions, the condition during the construction period and the post-construction condition. Replacement soil is used as a parameter to determine the effect on the embankment slope. The purpose of this research is to obtain the safety factor (SF), and the consolidation that occurs in the span of one year.

Slope stability analysis was calculated using the finite element method using the Plaxis 8.6 program. This research uses variation analysis of embankment heights of 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, and 12.5m. Modeling condition variations during construction and post-construction with the original soil embankment type and replacement soil embankment. To plan the reinforcement of unsafe slope embankments, the UW-250 woven geotextile reinforcement produced by PT. Teknindo Geosistem Unggul.

The safety factor for the 2m embankment during the construction period for the original land is 2.1545 on the replacement land 2.3351 and the construction cost for the original land is 1.5324 on the replacement land 2.2590. For the 4m embankment, the safety factor during the construction period for the original land was 1.5590 on the replacement land 1.7124, during post-construction on the original land 1.2836 on the replacement land 1.7121. On the 6m embankment during the construction period the original land was 1.3245 on the replacement land 1.4495 and during the post-construction period the original land was 1.1807 on the replacement land 1.4975. On the 8m embankment, the construction period of the original land is 1.2751 on the replacement land 1.3866 and the post-construction period of the original land is 1.1992 on the replacement land 1.4323. For the 10m embankment, the safety factor during the construction period for the original land was 1.1928 on the replacement land 1.2935 and during post-construction on the original land 1.1576 on the replacement land 1.2362. In the 12.5m embankment construction period, the safety factor for the original land was 1.1162 on the replacement land 1.1987, while post-construction the original land was 1.1138 on the replacement land 1.1781. Then the 8m to 12.5m embankment was reinforced using geotextiles. The results of the analysis with reinforcement on all 8m, 10m, and 12.5m reinforced embankments resulted in a safety factor that was greater than the required value of 1.3.

Keywords : *Slope Embankment, Safety Factor (SF), Consolidation, Geotextile, Plaxis*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang sedang gencar-gencarnya melakukan pembangunan di segala sektor seperti sektor transportasi. Transportasi di Indonesia memiliki peranan yang penting dalam perkembangan perekonomian, maka dari itu pembangunan di sektor transportasi sedang gencar dilakukan demi tercapainya tujuan pembangunan nasional. Salah satu pusat dari perekonomian yang ada di Indonesia berada di pulau Jawa, hampir sebagian besar perputarannya berada di kota-kota besar yang ada di pulau Jawa. Kota Bekasi merupakan salah satu kota yang berada di provinsi Jawa Barat yang menjadi destinasi utama dalam hal perekonomian maupun industri.

Untuk mempermudah akses perekonomian tersebut maka dibangun jalan Tol Cibitung – Cilincing dengan mempunyai maksud dan tujuan untuk meningkatkan aksesibilitas dan kapasitas jalan dalam melayani lalu lintas di sektor industri yang berguna untuk meningkatkan produktivitas ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Pembangunan ruas jalan Tol Cibitung – Cilincing merupakan bagian dari amanah pemerintah dalam rangka merealisasikan Program Pembangunan Jangka Menengah (RPJMN) 2015-2020 dimana salah satunya adalah penyediaan infrastruktur jalan dalam rangka mendukung strategi pertumbuhan ekonomi nasional. Ruas jalan Tol Cibitung – Cilincing memiliki panjang 34 km, menghubungkan ruas JORR II hingga jalan Tol Cimanggis – Cilincing dan ruas jalan Tol JORR I *east*.

Dalam pembangunan konstruksi khususnya pada konstruksi jalan, sering dijumpai peristiwa kelongsoran lereng yang kebanyakan terjadi pada saat musim penghujan. Hal ini terjadi akibat peningkatan air pori pada lereng yang berakibat terjadinya penurunan kuat geser tanah dan sudut geser dalam. Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng dapat menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah, dan suatu gerakan akan terjadi kecuali tahanan geser pada setiap

permukaan runtuh yang mungkin terjadi lebih besar dari tegangan geser yang bekerja (Bowles, 1991).

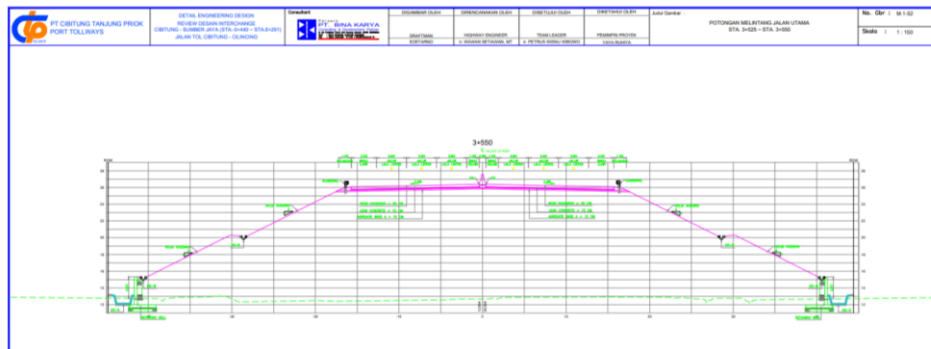
Pada kenyataan di lapangan, dibutuhkan suatu metode ataupun cara yang lebih efektif untuk memperbaiki dan memperkuat jenis tanah yang kurang baik pada lereng tersebut. Salah satu perbaikan yang dapat dilakukan yaitu dengan memberikan perkuatan sehingga dapat meningkatkan daya dukung tanah. Untuk mengatasi hal tersebut telah ditemukan suatu lapisan sintetis yang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap proses pelapukan yang diletakkan di atas tanah dasar sebelum dilakukan penimbunan tanah untuk badan jalan yang disebut geotekstil. Geotekstil sebagai suatu terobosan dalam rekayasa perbaikan dan perkuatan tanah yang diharapkan mampu meningkatkan daya dukung tanah.

Pada proses pembangunan jalan Tol Cibitung – Cilincing, dilakukan penimbunan dengan menggunakan perkuatan dinding penahan tanah (*retaining wall*). Penelitian ini melakukan analisis stabilitas timbunan tanah menggunakan perkuatan geotekstil dengan program komputer yaitu *Plaxis*. Analisis dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya angka aman dan bidang longsor potensial pada tanah agar upaya perkuatan dapat efektif dan ruas jalan tol yang telah dibangun dapat berfungsi secara optimal. Adapun lokasi penelitian dan geometri potongan melintang dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2 di bawah ini.



Gambar 1.1 Lokasi Jalan Tol Cibitung – Cilincing

(Sumber: PT CTP Tollways, 2020)



Gambar 1.2 Geometri Potongan Melintang

(Sumber: PT CTP Tollways, 2020)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang diteliti, adapun secara khusus pada penelitian ini dirumuskan sebagai berikut ini.

1. Bagaimana hubungan angka aman (SF) stabilitas lereng dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan tinggi timbunan bervariasi pada lereng asli tanpa perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis 8.6*?
2. Bagaimana hubungan angka aman (SF) stabilitas lereng dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan tinggi timbunan bervariasi pada lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis 8.6*?
3. Bagaimana perbandingan angka aman (SF) stabilitas lereng dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi antara lereng asli dengan tanah *replacement* dari tanah timbunan menggunakan program *Plaxis 8.6*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui angka aman (SF) stabilitas lereng timbunan dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan tinggi timbunan bervariasi pada lereng asli menggunakan program *Plaxis 8.6*.

2. Mengetahui angka aman (SF) stabilitas lereng dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan tinggi timbunan bervariasi pada lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis 8.6*.
3. Mengetahui perbandingan angka aman (SF) stabilitas lereng dan penurunan konsolidasi yang terjadi antara lereng asli dengan tanah *replacement* dari tanah timbunan menggunakan program *Plaxis 8.6*.

1.4 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan mengenai desain tinggi timbunan paling efektif dan aman dengan bahan perkuatan geotekstil pada proyek jalan Tol Cibitung – Cilincing.
2. Mengetahui dan dapat menoperasikan program *Plaxis* dalam menganalisis kestabilan lereng.
3. Menjembatani penelitian-penelitian sejenis sebagai bahan masukan dan inovasi teknologi dalam rekayasa geoteknik yang dapat mempengaruhi perkembangan konstruksi di Indonesia.

1.5 Batasan Penelitian

Permasalahan yang ada perlu dibatasi dengan beberapa batasan agar penelitian ini dapat berjalan secara sistematis, adapun batasan-batasan yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Timbunan lereng pada Jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta 3+550.
2. Data tanah asli yang digunakan dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta 3+550.
3. Tinggi lereng adalah bervariasi dari 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, dan 12,5m.
4. Perencanaan geosintetik yang digunakan adalah jenis geotekstil yang di tenun (*woven*) produksi PT. Teknindo Geosistem, dengan kuat tarik ultimit 52 kN/m².

5. Metode perhitunan menggunakan program bantu dengan Plaxis 8.6.
6. Tamah *replacement* yang digunakan adalah data tanah timbunan dengan ketebalan *replacement* 1 meter.
7. Beban merata yang digunakan adalah beban struktur dan beban lalu lintas standar untuk Jalan Tol.
8. Besar konsolidasi diperhitungkan pada timbunan lereng kondisi pasca konstruksi dengan asumsi wakt selama 365 hari (1 tahun).
9. Beban gempa dinamik diperhitungkan sesuai dengan kondisi gempa daerah Bekasi.

1.6 Studi Kasus

Adapun studi kasus yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi Proyek

Lokasi penelitian ini dilakukan yaitu pada Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing, Bekasi, Jawa Barat. Denah lokasi pelaksanaan pada STA 3+550.

2. Potongan Melintang

Potongan melintang pada lokasi penelitian yaitu STA 3+550 meupakan geometri tanah timbunan yang digunakan. Geometri potongan melintang akan dianalisis dengan variasi ketinggian timbunan mulai dari 2 m sampai 12,5 m. Pootongan melintang pada STA 3+550 dapat dilihat pada Lampiran 1.

3. Data Tanah

Data tanah yang digunakan yaitu hasil dari uji laboratorium dari sampel tanah untuk desain yang diperoleh dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing. Data tanah yang diambil pada titik BH-25 STA 3+550. Untuk lebih jelasna dapat dilihat pada Lampiran 2.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil

Kafikanda (2019) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas lereng menggunakan geotekstil dengan program *GEOSLOPE* pada studi kasus di Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta.1+975. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui nilai faktor keamanan (*safety factor*) pada lereng dengan diberikan perkuatan geotekstil. Kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut diantaranya adalah faktor keamanan (SF) dari hasil analisis menggunakan program *SLOPE/W* sebesar $1,159 < 1,5$ serta faktor keamanan (SF) menggunakan metode *Fellenius* dan hitungan manual pada kondisi asli tanah timbunan $0,95 < 1,5$ (tidak aman), sehingga perlu adanya perkuatan. Dari hasil analisa dengan menggunakan *SLOPE/W* diperoleh perbandingan antara nilai SF pada tanah timbunan yang diperkuat dengan perkuatan geotekstil dengan variasi geotekstil panjang per zona dan ditambahkan beban gempa menghasilkan nilai SF sebesar 1,681 dan untuk nilai SF pada lereng yang diperkuat geotekstil tanpa beban gempa sebesar 2.303. Kemudian pada zona 3 dan 2 menghasilkan nilai SF 2,128 dan dengan beban gempa pada zona 3 dan 2 menghasilkan nilai SF sebesar 1.511. sehingga, dari hasil perhitungan perangkat lunak terlihat bahwa hasilnya aman.

Arsy (2018) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas timbunan pada konstruksi badan jalan dengan perkuatan geotekstil menggunakan metode *Fellenius* pada proyek Jalan Tol Solo – Kertasono STA 4+175. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil analisis stabilitas timbunan pada badan jalan tanpa menggunakan geotekstil, menggunakan perkuatan geotekstil, hubungan antara panjang geotekstil terhadap angka aman, hubungan antara jarak vertikal antar geotekstil terhadap angka aman dan hubungan antara sudut kemiringan lereng terhadap angka aman. Kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut diantaranya adalah hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan tanpa menggunakan perkuatan dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual

diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,786. Sedangkan hasil analisis stabilitas timbunan jalan menggunakan perkuatan geotekstil dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual pada variasi panjang pertama, kedua dan ketiga dengan panjang geotekstil masing-masing 10m, 13m dan 15m yaitu 2,339, 2,347 dan 2,375. Hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan menggunakan perkuatan geotekstil dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual pada variasi jarak vertikal antar geotekstil pertama, kedua dan ketiga dengan S_v masing-masing 0,3m, 0,4m dan 0,6m yaitu 2,646, 2,347 dan 2,059. Kemudian hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan menggunakan perkuatan geotekstil dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual pada variasi sudut kemiringan lereng pertama, kedua dan ketiga dengan sudut masing-masing 19° , 25° dan 29° yaitu 2,440, 2,347 dan 2,355. Sehingga semakin panjang geotekstil yang digunakan, semakin rapat atau semakin kecil jarak vertikal geotekstil, dan semakin kecil sudut kemiringan lereng maka semakin besar nilai faktor keamanan yang dihasilkan.

2.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil

Hediyanto (2018) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding kantilever dan *sheetpile* pada Bantaran Sungai Code. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor aman (SF) dari lereng eksisting, perkuatan kantilever dan perkuatan *sheet pile* menggunakan program *Geoslope/w* dan mengetahui pergerakan tanah pada kedua variasi perkuatan tersebut dengan pembandingan pada saat terjadi gempa dan no gempa menggunakan program *Sigma/w*. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh faktor aman (SF) lereng eksisting akibat berat sendiri sebesar 1,118 akibat gempa sebesar 0,565. Faktor aman (SF) lereng dengan perkuatan kantilever akibat berat sendiri sebesar 2,639 akibat gempa sebesar 1,789. Faktor aman (SF) lereng dengan perkuatan *sheet pile* kantilever akibat berat sendiri sebesar 2,726 akibat gempa sebesar 1,846. Dari perencanaan dua variasi perkuatan tersebut faktor aman (SF) $> 1,5$ maka lereng

stabil. Diperoleh hasil terbesar pergerakan tanah perkuatan kantilever pada saat non gempa pada potongan A-A sebesar 0,7, potongan B-B sebesar 1,01m dan potongan C-C sebesar 0,1m. Hasil terbesar pergerakan tanah perkuatan *sheet pile* pada saat non gempa pada potongan A-A sebesar 0,44, potongan B-B sebesar 1,03m dan potongan C-C sebesar 0,088m.

Penelitian yang dilakukan oleh Utomo (2019) adalah mengenai analisis stabilitas lereng dengan perkuatan *soil nailing* dengan menggunakan program *Geoslope* pada studi kasus di bantaran Sungai Code, tepatnya di Padukuhan Gemawang, Desa Sinduadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui faktor keamanan lereng alami berdasarkan analisis kelongsoran metode perhitungan manual *fellenius* dan *bishop* yang disederhanakan. Kemudian untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan program *geoslope* dan mengetahui nilai faktor keamanan perkuatan *soil nailing* berdasarkan analisis kelongsoran metode perhitungan baji (*wedge*). Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah perhitungan manual metode *fellenius* didapatkan $SF = 0,929 < 1,3$ (tidak aman) dan metode *bishop* didapatkan $SF = 1,125 < 1,3$ (tidak aman). Sedangkan analisis program *geoslope* metode *fellenius* didapatkan $SF = 0,933 < 1,3$ (tidak aman) dan metode *bishop* didapatkan $SF = 1,125 < 1,3$ (tidak aman). Untuk perhitungan perkuatan *soil nailing* metode baji (*wedge*). Pada sudut *nail* 10° didapatkan $SF = 1,5391 > 1,3$ (aman) dan program *geoslope* didapatkan SF tanpa beban gempa $2,294 > 1,3$ (aman) dan SF dengan beban gempa $1,278 > 1,1$ (aman). Pada sudut *nail* 20° didapatkan $SF = 1,5977 > 3$ (aman) dan SF dengan beban gempa $1,503 > 1,3$ (aman). Pada sudut *nail* 30° didapatkan $SF = 1,6051 > 1,3$ (aman) dan untuk program *geoslope* didapatkan SF tanpa beban gempa $= 3,253 > 1,3$ (aman) dan SF dengan beban gempa $= 1,653 > 1,3$ (aman). Dari hasil analisis ditemukan perbedaan nilai SF antara metode baji (*wedge*) dengan program *geoslope*, disebabkan karena metode baji (*wedge*) menggunakan bidang gelincir longsor planar dan *geoslope* menggunakan bidang gelincir longsor lingkaran.

Sekarti (2018) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas timbunan di jalan Tol Semarang – Solo ruas Salatiga Kartasura. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui nilai faktor keamanan (SF) lereng timbunan dengan variasi penambahan trap berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan program *Slope/W* dengan metode *Fellenius*, *Janbu Simplified* dan *Morgenstern Price*. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan metode *Fellenius*, *Janbu Simplified* dan *Morgensterns Price* terjadi peningkatan SF berturut-turut sebesar 9,72%, 9,36% dan 10,8%, sedangkan dengan pengaruh beban gempa sebesar 1,86%, 1,94% dan 2%. Hasil SD yang paling kritis jika dibandingkan dengan metode mesetimbangan lainnya adalah pada metode *Janbu Simplified*. Beban gempa dapat mempengaruhi kestabilan timbunan secara signifikan dengan rata-rata sebesar 44,4062% menurunkan tingkat kestabilan suatu timbunan.

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan

Perbandingan penelitian atau tugas akhir ini dengan beberapa penelitian diatas disajikan dalam bentuk tabel, kemudian dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Sekarti (2018)	Arsy (2018)	Hediyanto (2018)	Kafikanda (2019)	Utomo (2019)	Qayyim (2020)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Timbunan di Jalan Tol Semarang – Solo ruas Salatiga Kartasura.	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode <i>Fellenius</i> Pada Proyek Jalan Tol Solo – Kertasono STA 4+175.	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Kantilever dan <i>Sheetpile</i> pada Bantaran Sungai Code.	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil dengan Program <i>GEOSLOPE</i> Pada Studi Kasus di Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta. 1+975.	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i> dengan Menggunakan Program <i>GEOSLOPE</i> Pada Studi Kasus Bantaran Sungai Code.	Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program <i>PLAXIS</i> Pada Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA 3+550.
Tujuan Penelitian	Mengetahui nilai faktor keamanan lereng timbunan dengan variasi penambahan trap berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan program <i>Slope/W</i> .	Mengetahui hasil analisis stabilitas timbunan pada badan jalan tanpa menggunakan geotekstil, dengan perkuatan, hubungan antara panjang geotekstil terhadap angka aman.	Mengetahui faktor aman (SF) dari lereng eksisting, perkuatan kantilever dan perkuatan <i>sheetpile</i> menggunakan program <i>Geoslope/W</i> .	Mengetahui nilai faktor keamanan pada lereng dengan diberikan perkuatan geotekstil dengan program <i>GEOSLOPE</i> .	Mengetahui faktor keamanan lereng alami berdasarkan analisis kelongsoran metode perhitungan manual <i>fallenius</i> dan Bishop yang disederhanakan.	Mengetahui hubungan analisis stabilitas lereng dengan variasi tinggi timbunan tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program <i>PLAXIS</i> .

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Sekarti (2018)	Arsy (2018)	Hediyatmo (2018)	Kafikanda (2019)	Utomo (2019)	Qayyim (2020)
Metode Penelitian	Analisa menggunakan pengujian tanah langsung dilaboratorium dan faktor aman dengan program <i>Slope/W</i> .	Analisa menggunakan perhitungan manual dengan Metode <i>Fellenius</i> dan faktor aman dengan program <i>GEOSLOPE</i> .	Analisa menggunakan program <i>Geoslope</i> untuk kestabilan lereng dengan perkuatan kantilever dan <i>Sheet pile</i> .	Analisa menggunakan <i>software Geoslope</i> untuk kestabilan lereng dan perhitungan manual.	Analisa menggunakan program <i>Geoslope</i> dan metode <i>Fellenius</i> dan Bishop untuk dibandingkan dengan perhitungan manual.	Analisa menggunakan program <i>Plaxis</i> untuk kestabilan angka aman lereng dan konsolidasi yang terjadi.
Hasil Penelitian	Timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan <i>Fellenius</i> terjadi peningkatan SF sebesar 9,72%.	Hasil analisis stabilitas jalan menggunakan perkuatan dengan metode <i>Fellenius</i> secara perhitungan manual diperoleh nilai (SF) sebesar 1,786.	Faktor aman (SF) lereng dengan perkuatan <i>Sheet pile</i> akibat berat sendiri sebesar 2,726 dan akibat beban gempa sebesar 1,846.	Faktor keamanan pada hasil analisis menggunakan program <i>Slope/W</i> diperkuat dengan geotekstil dan ditambahkan beban gempa sebesar 2.303.	Faktor aman pada sudut <i>nail</i> 10° sebesar 1,5391 dan dengan program <i>Geoslope</i> dengan beban gempar sebesar 1,278 > 1,1 (aman).	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Pengertian Umum

Dalam pandangan ilmu teknik sipil, tanah merupakan himpunan mineral dari berbagai bahan organik dan endapan – endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak pada bagian atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antar butiran yang relatif lemah bisa disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap antar partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Pada umumnya pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat misalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*) (Hardiyatmo, 2010).

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Ketika ingin merencanakan struktur sebuah bangunan gedung, jalan raya ataupun sebagainya, langkah awal yang harus dilakukan merupakan melakukan pemeriksaan kondisi tanah. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui apakah tanah tersebut sudah sesuai dengan klasifikasi yang telah ditentukan. Klasifikasi tanah merupakan penggolongan sistematis dari jenis-jenis tanah yang mempunyai sifat-

sifat yang sama dalam kelompok dan sub kelompok yang sesuai dengan pemakaiannya (Das, 1998).

Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem pengaturan dari beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok dan subkelompok sesuai pemakaiannya. Sistem klasifikasi tanah sangat membantu perancangan dalam memberikan pengarahannya melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah telah berkembang dan bertujuan agar rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran dan plastisitasnya.

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umumnya digunakan sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang ada. Sistem tersebut adalah sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS (*Unified Soil Classification System*) dan sistem klasifikasi berdasarkan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*).

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

Dalam sistem USCS, tanah di klasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200 dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Kemudian klasifikasi tanah menurut sistem USCS dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS

Prosedur Klasifikasi		Symbol	Nama Jenis	Identifikasi Lab	
Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 200 / ϕ 0.075 mm)	Kerikil (lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 4 / ϕ 4.75 mm)	Kerikil Murni (Tanpa - sedikit butir halus)	GW	Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa / tak ada butiran halus	CU = D60/D10 = 1 - 4 CC = D30 [#] /D10 = 1-3
			GP	Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butira halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW
		Kerikil Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butiran halus)	GM	Kerikil berlanau, kerikil mengandung pasir - lanau bergradasi buruk	Indek Plastisitas kurang dari 7
			GC	Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	Indek Plastisitas lebih dari 7
	Pasir (lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 4 / ϕ 4.75 mm)	Pasir Bersih (Tanpa / sedikit butiran halus)	SW	Pasir bergradasi baik, Pasir dengan sedikit pasir tanpa butiran halus	CU = D60/D10 \geq 6 CC = D30 [#] /D10 = 1-3
			SP	Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC SW
		Pasir Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butiran halus)	SM	Pasir berlanau, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk	Indeks Plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25
			SC	Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk	Indeks plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25

Sumber: Hardiyatmo (2010)

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

Sistem klasifikasi tanah AASHTO pada awalnya diperkenalkan oleh Hoentogler dan Tarzaghi yang akhirnya diambil oleh *Bureau Of Public Roads*. Pengklasifikasian sistem ini berdasarkan kriteria ukuran butir dan plastisitas. Maka dalam mengklasifikasikan tanah membutuhkan pengujian analisis saringan.

Sistem klasifikasi tanah ini dapat membagi tanah ke dalam ke 8 kelompok yang diberi nama dari A-1 sampai A-8. Tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan dapat diberi nama A-8, maka pada revisi terakhir oleh sistem AASHTO dapat diabaikan. Klasifikasi tanah sistem AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO

TABLE 3-6 Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures*

General Classification	Granular Materials (35% or less passing 0.075 mm)							Silt-Clay Materials (More than 35% passing 0.075 mm)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Sieve analysis, percent passing:											
2.00 mm (No. 10)	50 max.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.425 mm (No. 40)	30 max.	50 max.	51 min.	—	—	—	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40):											
Liquid limit	—	—	—	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.	—	NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel, and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand				Silty soils		Clayey soils	
General rating as subgrade				Excellent to good				Fair to Poor			

*© American Association of State Highway and Transportation Officials, 1978. Used by permission.
†Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30 (see Fig. 3.5).

Sumber: Hardiyatmo (2010)

3.1.3 Parameter Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah merupakan kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi ketika tanah tersebut terbebani. Keruntuhan geser tanah dapat terjadi bukan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut. Hal tersebut terjadi karena adanya gerak relatif antara butir-butir tanah tersebut.

Kuat geser tanah dapat diartikan sebagai gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pemikiran ini, dapat artikan bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

1. Gesekan antara butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tagangan normal pada bidang gesernya, dan
2. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung pada tegangan normal yang terjadi pada bidang geser.

Menurut teori Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis kapasitas dukungan tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah (Hardiyatmo, 2010). Hubungan fungsi dari kedua tegangan tersebut antara tegangan normal dan

tegangan geser pada bidang runtuhnya dapat dinyatakan oleh persamaan 3.1 berikut ini.

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.1)$$

Keterangan :

τ = Tegangan geser (kN/m²)

σ = Tegangan normal (kN/m²).

Nilai kekuatan geser tanah dapat diperlukan untuk menghitung tekanan tanah yang bekerja pada tembok penahan tanah atau untuk menghitung daya dukung tanah. Bila tegangan normal bekerja maka gaya geser bekerja pula pada permukaannya, maka harga τ akan membesar akibat deformasi dan mencapai harga batasnya.

Secara sederhana kekuatan geser tanah dapat dibagi dalam nilai yang tergantung pada tahanan geser antara butir-butir tanah dan kohesi pada permukaan butir-butir tanah itu sendiri. Sesuai dengan penjelasan sebelumnya, tanah dapat dibagi menjadi tanah kohesif dan tanah tidak kohesif. Tanah pasir yang memiliki nilai kohesi (c) = 0 merupakan contoh dari tanah tidak kohesif, sedangkan tanah lempung merupakan contoh dari tanah kohesif. Jika tanah berada pada keadaan tidak jenuh meskipun tanah tersebut tidak kohesif, maka sifat kohesi tersebut terkadang dapat terlihat sebagai tegangan permukaan air yang terdapat dalam pori-pori. Sehingga kekuatan geser tanah dapat berubah-ubah sesuai dengan jenis dan kondisi tanah itu sendiri.

Coulomb (1776) mendefinisikan dengan Persamaan 3.2 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.2)$$

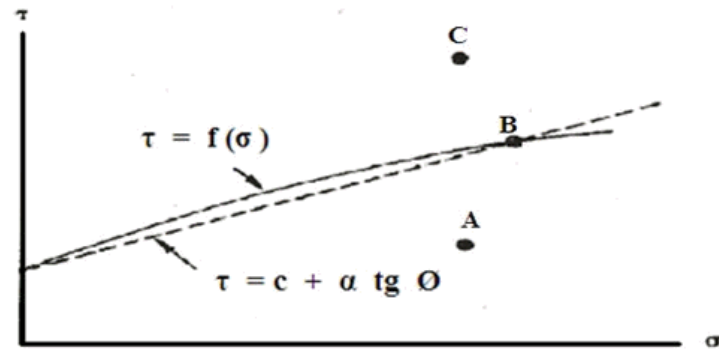
Keterangan:

τ = Kuat geser tanah (kN/m²)

c = Kohesi tanah (kN/m²)

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

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



Gambar 3.1 Kriteria Kegagalan Mohr dan Coulomb

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Kriteria keruntuhan atau kegagalan Mohr dan Coulomb digambarkan dalam bentuk garis lurus. Ketika kedudukan tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan tidak akan terjadi. Pada titik Q terjadi keruntuhan karena titik tersebut terletak tepat pada garis kegagalan. Titik R tidak akan dicapai, karena sebelum mencapai titik R tanah sudah terjadi keruntuhan.

Terzaghi (1925) mengubah persamaan Coulomb dalam bentuk efektif karena tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan air pori yang bias dilihat pada persamaan 3.3 dan 3.4 berikut ini.

$$\tau = c' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \phi' \quad (3.3)$$

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

$$\tau = c' + \sigma' \operatorname{tg} \phi' \quad (3.4)$$

Keterangan:

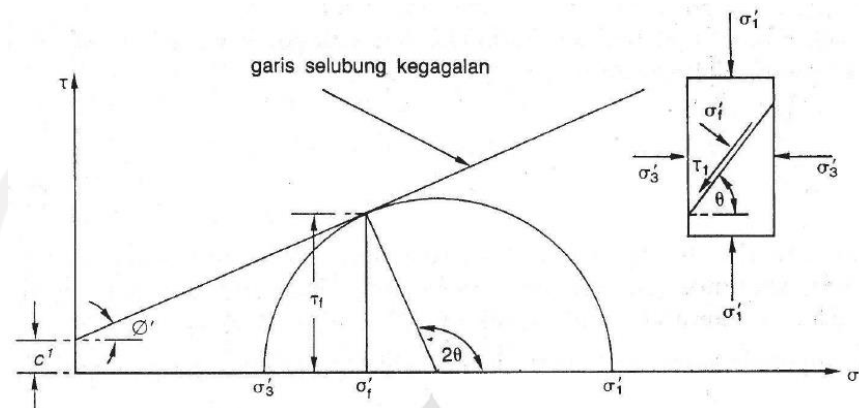
σ' = Tegangan normal efektif (kN/m²)

c' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)

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

u = Tekanan air pori (kN/m²)

Kuat geser tanah bisa dinyatakan dalam bentuk tegangan efektif σ'_1 dan σ'_3 pada saat keruntuhan terjadi. Lingkaran Mohr terbentuk setengah lingkaran dengan koordinat (τ) dan (σ') dilibatkan dalam Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Lingkaran Mohr Saat Kegagalan

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Dari lingkaran Mohr pada Gambar 3.2 tersebut dapat dilihat bahwa:

- c' = Kohesi (kN/m^2)
- φ = Sudut gesek dalam efektif ($^\circ$)
- σ'_1 = Tegangan utama mayor efektif (kN/m^2)
- σ'_3 = Tegangan utama minor efektif (kN/m^2)
- θ = Sudut keruntuhan ($^\circ$)
- τ'_f = Tegangan geser efektif pada saat terjadi keruntuhan
- σ'_f = Tegangan normal efektif pada saat terjadi keruntuhan

Dari lingkaran Mohr hubungan parameter-parameter tersebut dapat digunakan pada persamaan 3.5, 3.6 dan 3.7 dibawah ini.

$$\tau'_f = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \sin 2\theta \quad (3.5)$$

$$\sigma'_f = (\sigma'_1 + \sigma'_3) \cos 2\theta \quad (3.6)$$

$$\sin \varphi = \frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2}{(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2} \quad (3.7)$$

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

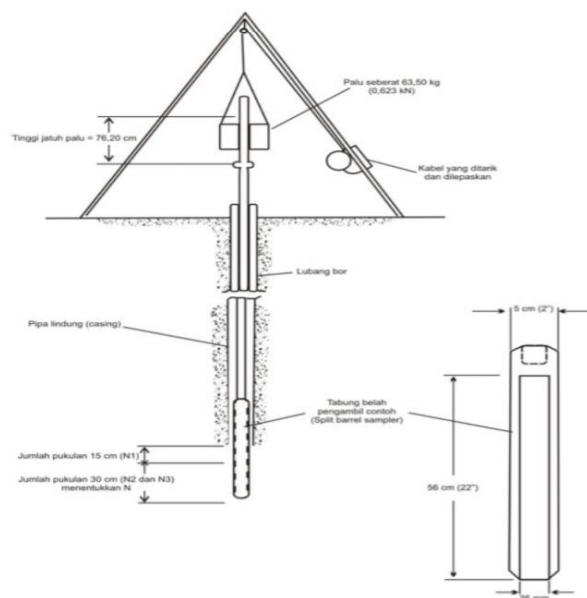
1. Kelebihan tekanan pori merupakan kelebihan tekanan air pori akibat dari tambahan tekanan yang mendadak.
2. Tekanan *overburden* efektif merupakan tekanan akibat beban tanah dan air di atasnya dikurangi tekanan air pori.
3. Tekanan *overburden* merupakan tekanan pada suatu titik didalam tanah akibat dari berat material tanah dan air yang ada diatas titik tersebut.
4. Tekanan prakonsolidasi merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah tersebut.
5. Tekanan *normally consolidated* merupakan tanah dimana tegangan efektif yang membebani pada waktu sekarang adalah nilai tegangan maksimum yang pernah dialaminya.
6. Tekanan *overconsolidated* adalah tanah dimana tegangan efektif yang pernah membebani pada waktu lampau lebih besar dari pada tegangan efektif yang bekerja pada waktu sekarang.
7. *Over consolidation ratio* (OCR) merupakan nilai banding antara tekanan prakonsolidasi dengan tekanan *overburden* efektif yang ada sekarang. Jadi jika $OCR = 1$ tanah dalam kondisi *normally consolidated*, dan jika $OCR > 1$ tanah dalam kondisi *overconsolidated*.

Parameter kuat geser tanah ditentukan dengan uji laboratorium terhadap sampel tanah asli (*undisturbed*), tanah tersebut diambil dengan hari-hati agar tidak berubah kondisinya (kadar air, susunan butiran), karena hal ini bisa berakibat fatal pada sampel. Ada beberapa cara menentukan kuat geser tanah yaitu sebagai berikut.

1. Uji kuat geser langsung (*direct shear test*)
2. Uji tekan bebas (*unconfined compression test*)
3. Uji triaksial (*triaxial test*)
4. Uji geser kipas (*vane shear test*)

3.1.4 Standard Penetration Test (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) merupakan suatu metode uji yang dilakukan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh tanah dengan teknik penumbukan. Uji pada metode *standard penetration test* (SPT) terdiri dari uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah dan disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 m vertikal. Dalam metode sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg dan dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian SPT dapat dibagi dalam tiga tahap pelaksanaan serta berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap pelaksanaan. Pada tahap pertama dilakukan pencatatan sebagai dudukan, sementara jumlah pada pukulan untuk memasukkan tahap kedua dan ketiga dijumlahkan agar memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m). Detail alat pada proses SPT dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.

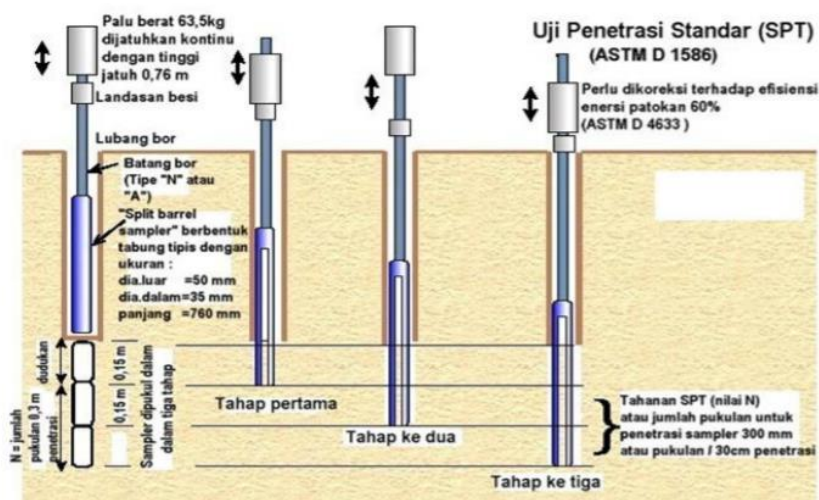


Gambar 3.3 Penetrasi Dengan SPT

(Sumber : SNI 4153-2008)

Standard pada penetrasi ini menetapkan cara uji tanah dilapangan dengan metode *standard penetration test* (SPT) yang bertujuan untuk memperoleh parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan dengan metode ini. Parameter pengujian tersebut diperoleh dari jumlah pukulan terhadap penetrasi konus yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi perlapisan tanah dilapangan yang merupakan bagian dari desain pondasi. Standar yang digunakan ini dapat menguraikan tentang prinsip-prinsip cara uji penetrasi lapangan dengan metode SPT meliputi: sistem peralatan uji penetrasi dilapangan yang terdiri atas peralatan konus dengan metode SPT dan perlengkapan lainnya, persyaratan peralatan pengujian, cara uji, laporan pengujian dan contoh pengujian. Cara uji ini berlaku untuk jenis tanah pada umumnya (SNI 4153, 2008).

Nilai SPT dapat diperoleh dengan contoh cara yang digunakan pada tabung belah standar dipukul sedalam 15 cm (6"). Kemudian dilanjutkan pada pemukulan tahap kedua sedalam 30 cm (12"). Jumlah pukulan pada tahap kedua ini yaitu jumlah pukulan yang dibuthkan untuk penetrasi tabung belah standar sedalam 30 cm dan didefinisikan sebagai nilai-N. Pengujian yang lebih baik dilakukan dengan menghitung pukulan pada tiap penembusan pukulan sedalam 7,62 cm (3 inci) atau setiap 15 cm (6 inci). Dengan metode cara ini kedalaman sembarang jenis tanah pada dasar lubang bor dapat ditaksir dan elevasi dimana gangguan dapat terjadi dalam usaha menembus lapisan yang keras seperti batu, dapat tetap dicatat. Hitung jumlah pada pukulan atau tumbukan N pada penetrasi yang pertama, penetrasi 15 cm yang kedua dan ketiga serta catat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm. Jumlah pada pukulan yang dihitung adalah $N_2 + N_3$. Kemudian nilai N_1 tidak diperhitungkan karena masih dalam keadaan kotor hasil dari pengeboran. Jika nilai N lebih besar daripada 50 pukulan, maka hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter. Catat kembali jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan tersebut. Skema pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Skema Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)

(Sumber : SNI 4253-2008)

3.2 Lereng

3.2.1 Pengertian Umum

Lereng merupakan suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Lereng atau talud dapat terbentuk secara alami karena dari proses geologi atau juga terbentuk karena dibuat oleh manusia karena tujuan tertentu. Pada suatu tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor.

3.2.2 Penyebab Longsor

Menurut Hardiyatmo (2010) kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut ini.

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru dan tambahan beban air yang masuk ke pori-pori tanah

maupun yang menggantung di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuhan-tumbuhan yang tertiuap angin dan lain-lain.

2. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
3. Penggalian atau pemotong tanah pada kaki lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) pada bendung, sungai dan lain-lain.
5. Gempa bumi.
6. Kenaikan tekanan tanah lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral).
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 Pengaruh Kelongsoran

Berdasarkan Hardiyatmo (2010) ada beberapa hal yang mempengaruhi kelongsoran sebagai berikut ini.

1. Pengaruh Iklim

Menurut Hardiyatmo (2010) di dekat permukaan tanah, kuat geser tanah berubah dari waktu ke waktu bergantung pada iklim. Beberapa jenis tanah mengembang saat musim hujan, dan menyusut pada musim kemarau. Pada musim hujan kuat geser tanah ini menjadi sangat rendah di bandingkan dengan musim kemarau. Oleh karena itu, kuat geser tanah yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng harus berdasarkan pada kuat geser tanah yang terendah yaitu pada musim hujan, atau kuat geser pada saat tanah jenuh air.

2. Pengaruh air

Berdasarkan Hardiyatmo (2010) pengaruh pada aliran air atau rembesan menjadi faktor yang sangat penting dalam stabilitas lereng, namun pengaruh ini sulit diidentifikasi dengan baik. Telah dipelajari bahwa rembesan air

yang terjadi di dalam tanah akan menyebabkan gaya rembesan yang sangat berpengaruh pada stabilitas lereng.

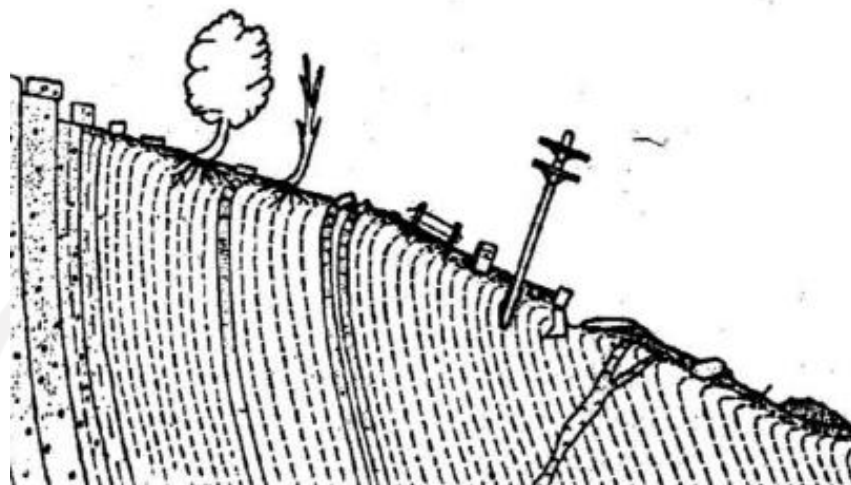
Erosi pada permukaan lereng dapat menyebabkan terkikisnya tanah permukaan yang dapat mengurangi tinggi lereng, sehingga jadi menambah stabilitas lereng. Sebaliknya, erosi yang memotong kaki lereng dapat menambah tinggi lereng dan menjadi mengurangi stabilitas lereng.

Jika pada lereng terjadi penurunan muka air mendadak pada saluran atau di dekat lereng, contohnya penurunan muka air mendadak pada saluran atau sungai, maka akan terjadi pengurangan gaya angkat air pada massa tanah dan mendambah beban lereng. Kenaikan beban menyebabkan naiknya tegangan geser, yang jika tahanan geser tanah terlampaui maka akan mengakibatkan longsor lereng. Hal ini banyak terjadi pada lereng tanah yang berpermeabilitas rendah.

3. Pengaruh Rangkak (*Creep*)

Menurut Hardiyatmo (2010) di dekat permukaan tanah yang miring, tanah dipengaruhi siklus kembang-susut. Siklus ini dapat terjadi oleh akibat perubahan temperatur, perubahan dari musim kemarau ke musim hujan, dan di daerah dingin dapat diakibatkan oleh pengaruh pembekuan air. Saat tanah mengembang, tanah naik sehingga melawan gaya-gaya gravitasi. Sedangkan saat tanah menyusut, tanah turun dibantu oleh gravitasi. Hasil dari gerakan keduanya adalah gerakan perlahan lereng turun ke arah bawah.

Ke dalam zona rangkak bervariasi dari beberapa sentimeter sampai beberapa meter dapat bergantung pada sifat tanah dan kondisi iklim. Kenampakan gerakan lereng akibat rangkak (*creep*) diilustrasikan oleh Taylor (1962) dalam Gambar 3.5 berikut ini.



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

(Sumber : Taylor, 1962)

Seperti ditunjukkan dalam gambar diatas, rangkak dapat menyebabkan hal-hal sebagai berikut ini.

- a. Blok batuan bergerak.
- b. Pohon-pohon melengkung ke atas.
- c. Bagian bawah lereng melengkung dan menarik batuan.
- d. Bangunan menara, monumen, dan lain-lain miring.
- e. Dinding penahan tanah dan pondasi bergerak dan retak.
- f. Jalan raya dan jalan rel keluar dari alurnya.
- g. Batu-batu besar menggelinding dan lain.lain.

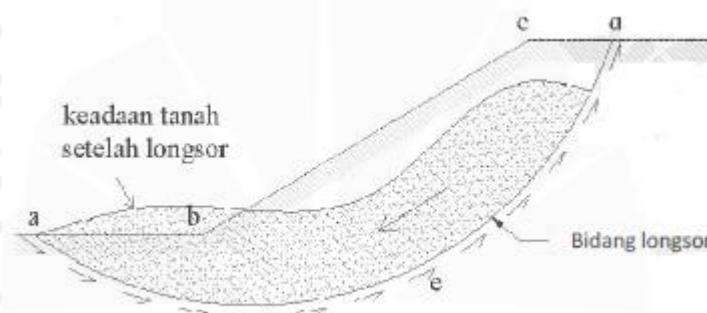
3.2.4 Jenis Longsor

Longsoran adalah gerakan material pembentuk lereng yang diakibatkan oleh terjadinya kegagalan geser, di sepanjang satu atau lebih bidang longsor yang terjadi. Massa tanah yang bergerak dapat menyatu atau terpecah-pecah menjadi butiran. Perpindahan material total sebelum longsoran bergantung pada besarnya regangan untuk mencapai kuat geser pada puncaknya dan pada tebal zona longsonya (Hardiyatmo, 2010).

Gerakan tanah berupa longsor (*landslide*) adalah bencana alam yang sering terjadi dan membahayakan khususnya pada saat musim hujan. Longsor seringkali

terjadi akibat adanya pergerakan tanah pada kondisi daerah lereng yang curam, kondisi tanah yang tidak homogen, dan tidak memiliki lekatan antara lapisan pada tanah. Faktor lain yang menyebabkan longsor adalah rembesan, aktifitas geologi seperti patahan lempeng bumi, rekahan dan liniasi. Kondisi lingkungan setempat seperti bentuk dan kemiringan lereng, kekuatan material, kedudukan muka air tanah dan kondisi aliran drainase setempat juga menjadi faktor yang cukup penting untuk menjadi penyebab terjadinya longsor (Verhoef, 1985).

Longsoran dapat dicegah apabila gaya dorong (gaya penyebab longsor) tidak melebihi gaya perlawanan yang berasal dari tahanan geser tanah sepanjang bidang longsor seperti pada Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Kelongsoran Lereng

(Sumber: Hardiyatmo 2010)

Berdasarkan Hardiyatmo (2010), longsor yang sering terjadi selama ini dibagi menjadi beberapa jenis kelongsoran, yaitu :

1. Longsoran Translasi

Longsorannya ini terjadi karena bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau mengelombang landai. Longsoran translasi adalah gerakan di sepanjang diskontinuitas atau bidang lemah yang secara pendekatan sejajar dengan permukaan lereng, sehingga gerakan tanah secara translasi seperti pada Gambar 3.7. Dalam kondisi tanah lempung, translasi terjadi di sepanjang lapisan tipis pasir atau lanau, khususnya jika bidang lemah tersebut sejajar dengan lereng yang ada. Longsoran translasi

lempung yang mengandung lapisan pasir atau lanau, dapat disebabkan oleh tekanan air pori yang cukup tinggi dalam pasir atau lanau tersebut.

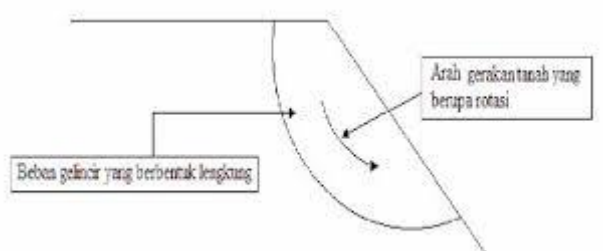


Gambar 3.7 Longsoran Translasi

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

2. Longsoran Rotasi

Longsoran ini dapat terjadi ketika bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung seperti pada Gambar 3.8. Longsoran rotasi mempunyai suatu bidang longsor yang melengkung ke atas, dan sering terjadi pada massa tanah yang bergerak dalam satu kesatuan. Longsoran rotasi murni (*shump*) terjadi pada material yang relatif homogen seperti timbunan buatan (tanggul).



Gambar 3.8 Longsoran Rotasi

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

3.3 Analisis Stabilitas Lereng

3.3.1 Pengertian Umum

Pada posisi permukaan tanah yang tidak horizontal, 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 dapat terlampaui, maka akan terjadi suatu kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring yang disebut dengan analisis stabilitas lereng (Hardiyatmo, 2010).

Faktor yang dapat mempengaruhi stabilitas suatu lereng dibagi menjadi dua yaitu pengaruh luar berupa pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah. Sementara pengaruh dalam berupa longsoran yang terjadi tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi (Hardiyatmo, 2010).

3.3.2 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Berdasarkan Hardiyatmo (2010) tujuan dari analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng, beberapa gagasan dibuat, yaitu sebagai berikut ini.

1. Kelongsoran lereng terjadi pada sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
2. Massa 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 memperlihatkan terganggan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor.

Analisis stabilitas lereng umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas. Adapun parameter dalam analisis stabilitas suatu lereng adalah faktor keamanan (*safety factor*) dari bidang longsor yang berpotensi terjadi kelongsoran.

Faktor keamanan suatu lereng dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng.

Tabel 3.3 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 3.4 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor

Nilai Faktor Keamanan	Kemungkinan Longsor
$F < 1,07$	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
$1,07 < F < 1,25$	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
$F > 1,25$	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Sumber : Bowles (1989)

Stabilitas suatu lereng bergantung pada nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam tanah (ϕ). Tanah dengan kondisi semakin kering umumnya memiliki faktor aman yang tinggi. Sebaliknya pada kondisi tanah yang semakin jenuh umumnya nilai faktor aman semakin kecil. Hal yang menyebabkan ketidakstabilan lereng salah satunya disebabkan oleh muka air tanah yang naik sehingga menambah derajat kejenuhan dan tekanan air pori sehingga mengurangi tegangan efektif dan kuat geser tanah.

Pengaruh stabilitas suatu lereng dibagi menjadi dua oleh Terzaghi pada buku (Hardiyatmo, 2010) yaitu pengaruh luar berupa pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah. Sementara pengaruh dalam berupa longsor yang terjadi tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi.

Faktor aman stabilitas lereng didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan seperti pada Persamaan 3.8 berikut.

$$F = \frac{\tau}{\tau d} \quad (3.8)$$

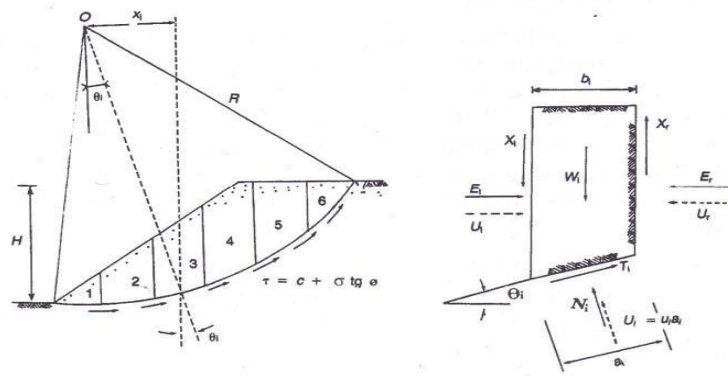
Dengan τ adalah tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah, τd adalah tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor, dan F adalah faktor aman. Menurut Mohr Coloumb tahanan geser maksimum adalah tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang longsor. Sementara nilai tegangan geser yang terjadi dapat didefinisikan akibat dari beban tanah dan beban lain pada bidang longsor.

3.3.3 Metode Analisis Stabilitas Lereng

Untuk menganalisis stabilitas lereng ini ada beberapa metode, yang sering digunakan diantara lainnya adalah sebagai berikut.

1. Metode Irisan (*Method of Slice*)

Analisis stabilitas dengan menggunakan metode irisan lebih cocok digunakan pada kondisi tanah yang tidak homogen dan ada aliran air tidak menentu. Gaya normal suatu titik di lingkaran bidang longsor dipengaruhi oleh berat tanah di atas titik tersebut. Pada metode ini, tanah yang kemungkinan akan mengalami kelongsoran dipecah-pecah menjadi beberapa irisan vertikal. Kemudian untuk keseimbangan pada tiap irisan diperhatikan.



Gambar 3.9 Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Keterangan :

X_1, X_r = Gaya geser efektif di sepanjang irisan

E_1, E_r = Gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

T_i = Resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

N_i = Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

U_i, U_r = Tekanan air pori yang bekerja di kedua sisi irisan

U_i = Tekanan air pori di dasar irisan

Faktor keamanan merupakan rasio kekuatan geser yang ada (τ) terhadap kekuatan geser (τ_m) yang harus dikerahkan untuk mempertahankan syarat batas keseimbangan. Untuk menghitung faktor keamanan dapat digunakan Persamaan 3.9 berikut ini.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_m} \quad (3.9)$$

Dengan meninjau momen terhadap titik O, jumlah momen akibat gaya-gaya geser pada busur keruntuhan AC harus sama dengan momen akibat massa tanah ABCD. Untuk setiap irisan, lengan momen $W = r \cdot \sin \alpha$ sehingga dapat dibentuk Persamaan 3.10, Persamaan 3.11, dan Persamaan 3.12 berikut ini.

$$\Sigma Tr = \Sigma W \cdot r \cdot \sin \alpha \quad (3.10)$$

$$T = \frac{\tau}{SF} \cdot l \quad (3.11)$$

$$SF = \frac{\Sigma \tau \cdot l}{\Sigma W \cdot \sin \alpha} \quad (3.12)$$

Untuk menganalisis pada yang menggunakan tegangan efektif dapat digunakan Persamaan 3.13 berikut.

$$SF = \frac{c' \cdot La - \tan \phi \Sigma N'}{\Sigma W \cdot \sin \alpha} \quad (3.13)$$

2. Metode *Fellenius*

Metode *Fellenius* (*Ordinary Method of Slice*) diperkenalkan pertama kali oleh Fellenius (1927, 1936) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi

kanan-kiri dari sembarang irisan memiliki resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor.

Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja di tengah-tengah *slice*. Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisannya adalah sama dengan nol, atau bias juga disebutkan bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan.

Jadi total asumsi yang dibuat oleh metode ini adalah :

- a. Posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan : n
- b. Resultan gaya antar irisan sama dengan nol : n – 1

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

Dengan anggapan-anggapan tersebut maka dapat diuji persamaan keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi dan diperoleh suatu nilai Faktor Keamanan. Dengan anggapan seperti ini maka keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya bekerja adalah:

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i$$

Atau,

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\ &= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \end{aligned} \quad (3.14)$$

Faktor aman didefinisikan sebagai,

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

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

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

Keterangan:

R = Jari-jari lingkaran bidang longsor.

n = Jumlah irisan.

W_i = Berat massa tanah irisan ke- i .

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

θ_i = Sudut yang didefinisikan.

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah akan longsor adalah:

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

Maka persamaan untuk faktor aman menjadi,

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

Apabila terdapat air pada lereng, maka tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (M_d), karena resultan gaya akibat tekanan air pori titik pusat lingkaran.

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

Keterangan:

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)
 u_i = tekanan air pori pada irisan ke- i (kN/m²)
 θ_i = Sudut yang didefinisikan

Apabila ketika terdapat gaya-gaya selain dari berat tanahnya sendiri, seperti bangunan yang ada diatas lereng, maka akibat beban ini diperhitungkan sebagai M_d .

3. Metode Bishop

Bishop mengasumsikan bahwa resultan gaya pada sisi irisan merupakan horizontal, yaitu $X_1 - X_2 = 0$. Dengan menyelesaikan kembali gaya-gaya ke arah vertikal didapatkan Persamaan 3.19 berikut ini.

$$W = N' \cdot \cos \alpha + u \cdot \cos \alpha - \frac{c'}{SF} \cdot \sin \alpha - \frac{N'}{SF} \cdot \tan \varphi' \cdot \sin \alpha \quad (3.19)$$

Dengan substitusi nilai $l = b \cdot \sec \alpha$, maka didapatkan Persamaan 3.20 untuk Faktor Keamanan sebagai berikut.

$$SF = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha} \sum \left[(c' \cdot b + (W - u \cdot b) \cdot \tan \varphi') \cdot \frac{\sec \alpha}{1 - \frac{\tan \alpha \cdot \tan \varphi'}{SF}} \right] \quad (3.20)$$

Keterangan:

- N' = Gaya normal efektif
 W = Berat total irisan
 α = Sudut geser singgung masing-masing irisan
 u = Tekanan air pori pada pusat dasar
 l = Panjang dasar
 φ = Sudut gesek dalam
 c' = Kohesi tanah efektif

3.4 Penurunan Tanah

3.4.1 Umum

Ketika suatu lapisan tanah diberikan beban di atasnya, maka partikel tanah akan mengalami penambahan tegangan, sehingga pada tanah terjadi penurunan (*settlement*). Penurunan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan yang lainnya. Salah satu permasalahan utama pada tanah lunak dalam suatu pekerjaan konstruksi adalah penurunan tanah yang sangat besar. Penurunan yang besar tersebut disebabkan oleh penurunan konsolidasi pada tanah ketika tanah dibebani.

3.4.2 Penurunan Konsolidasi Primer (*Consolidation Settlement*)

Penambahan beban di atas suatu lapisan tanah jenuh air menyebabkan tekanan air pori meningkat dan mengakibatkan air berusaha mengalir keluar dari pori-pori tanah sehingga volumenya akan berkurang. Penurunan tanah tersebut disebut sebagai penurunan konsolidasi atau penurunan primer. Besar penurunan konsolidasi untuk jenis tanah lunak sangat bergantung pada sejarah geologis tanah. Tanah pada kedalaman tertentu telah mengalami tegangan efektif pra-konsolidasi, yakni tegangan efektif terbesar yang pernah dialami sebelumnya. Tegangan efektif pra-konsolidasi dapat lebih kecil atau sama dengan tegangan *overburden* efektif saat ini. *Normally consolidated* merupakan keadaan pada tegangan *overburden* efektif saat ini merupakan tegangan terbesar (maksimum) yang pernah dialami tanah tersebut. Perhitungan untuk mencari nilai penurunan *normally consolidated* dapat dilakukan dengan Persamaan 3.21 berikut ini.

$$S_c = H \frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \quad (3.21)$$

dengan :

S_c = Penurunan primer (m)

C_c = Indeks kompresi tanah

P_o = Tekanan overbunden efektif (kN/m^2)

Δp = Perubahan tegangan vertikal (kN/m^2)

- e_o = Angka pori
 H = Tebal lapisan tanah (m)

3.4.3 Parameter Perhitungan Penurunan

Dalam menghitung besarnya penurunan suatu lapisan tanah, maka diperlukan beberapa parameter. Berikut ini parameter-parameter perhitungan penurunan konsolidasi primer sebagai berikut.

1. Indeks kompresi tanah (C_c)

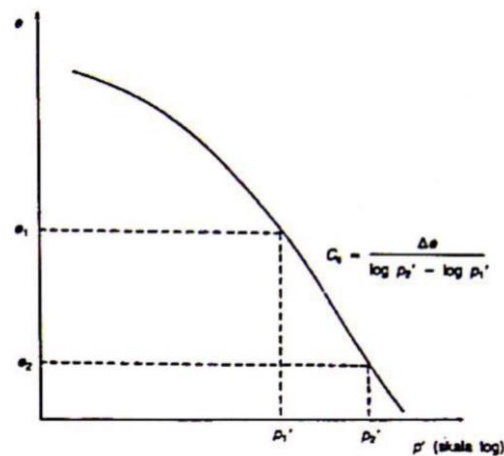
Terzaghi dan Peck (1967) dalam Barimbing (2017) menyarankan pemakaian persamaan empiris untuk menghitung indeks pemampatan pada lempung yang stuktur tanahnya tidak terganggu atau belum rusak (*undisturbed*). Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.22 berikut ini

$$C_c = 0,009 (LL - 10) \quad (3.22)$$

Dengan LL merupakan batas cair (*liquid limit*). Persamaan ini digunakan untuk tanah lempung anorganik yang mempunyai sensitivitas rendah sampai sedang dengan kesalahan 30% (persamaan ini sebaiknya tidak digunakan ada sensitivitas lebih besar dari 4).

Terzaghi dan Peck juga mengusulkan hubungan yang sama dengan tanah lempung dibentuk kembali (*remolded*) seperti pada Persamaan 3.23 dan gambar hubungan grafik indeks pemampatan C_c dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut ini.

$$C_c = 0,007 (LL - 100) \quad (3.23)$$



Gambar 3.10 Indeks Pemampatan, C_c

(Sumber: Hardiyatmo, 2003)

Beberapa nilai C_c yang didasarkan pada sifat-sifat tanah pada tempat-tempat tertentu yang diberikan oleh Azzous (1976) dapat dilihat pada Persamaan 3.24 sampai 3.27 berikut.

$$C_c = 0,01 w_N \text{ (untuk lempung Chicago)} \quad (3.24)$$

$$C_c = 0,0046 (LL - 9) \text{ (untuk lempung Brasilia)} \quad (3.25)$$

$$C_c = 0,208e_o + 0,0083 \text{ (untuk lempung Chicago)} \quad (3.26)$$

$$C_c = 0,0115 w_N \text{ (untuk tanah organik, gambut)} \quad (3.27)$$

Dengan w_N merupakan kadar air asli di lapangan dalam (%) dan e_o merupakan angka pori.

2. Tegangan *Overburden* Efektif (P_o)

Winner (2017) dalam Satindra (2018) menyatakan bahwa tegangan *overburden* efektif adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli akibat beban atau lapisan tanah di atas titik tanah asli yang ditinjau. Tegangan *overburden* efektif dapat dihitung dengan Persamaan 3.28 berikut.

$$P_o = \gamma' x H \quad (3.28)$$

Dengan :

P_o = Tegangan *overburden* efektif

γ' = Berat volume tanah efektif

H = Tebal lapisan tanah

3. Distribusi tegangan tanah (Δp)

Penambahan tegangan tanah akibat pengaruh beban diatas tanah yang ditinjau dari titik tengah setiap lapis tanah. Perhitungan penambahan tegangan didefinisikan seperti pada Persamaan 3.29 berikut.

$$\Delta p = q \times l \quad (3.29)$$

dengan nilai q didefinisikan pada Persamaan 3.30 berikut.

$$q = \gamma_{\text{timbunan}} \times H \quad (3.30)$$

dengan :

Δp = Perubahan tegangan vertikal

q = Beban timbunan

H = Tebal lapisan tanah

γ_{timbunan} = Berat volume tanah timbunan

l = Faktor pengaruh

3.5 Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil

3.5.1 Perkuatan Tanah

Seorang ahli teknik asal perancis Henri Vidal pada tahun 1966 mengadakan suatu penelitian. Dari hasil penelitannya Henri dapat menyimpulkan bahwa, tumpukan pasir alam yang mempunya sudut lereng asli tertentu, dapat stabil dengan sudut kemiringan yang lebih besar dan jika diberi material fleksibel yang mampu menahan tarikan di dalam tumpukan pasir tersebut. Perbedaan pada tanah

dengan sudut lereng asli dengan tanah yang sudah diperkuat dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut ini.



Gambar 3.11 (a) Tumpukan Pasir dengan Sudut Lereng Asli
(b) Tumpukan Pasir dengan Lereng yang Diperkuat

Tanah di lapangan umumnya bersifat lepas, mudah tertekan, mempunyai permeabilitas yang tinggi dan sifat-sifat lain yang tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus diberi perkuatan. Teknik perkuatan tanah yang berkembang hingga saat ini menggunakan material yang mempunyai sifat fleksibilitas relative tinggi (Purwanto, 2012).

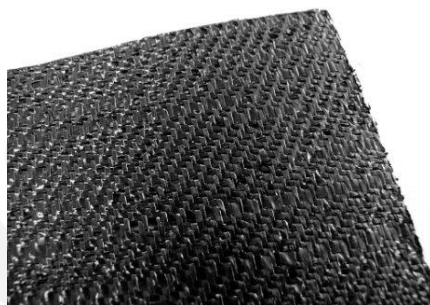
Keruntuhan atau kelongsoran yang terjadi bukan karena tarikan atau tekanan antar butiran-butiran tanah. Namun disebabkan oleh tergulingnya atau tergelincirnya butiran-butiran tanah. Dengan mengetahui tipe keruntuhan yang terjadi, maka perkuatan tanah dapat diterapkan pada bidang longsor dengan cara meletakkan material perkuatan tanah, penjangkaran (*soil nailing*) dan sebagainya.

3.5.2 Geotekstil

Pada tugas akhir ini, jenis perkuatan tanah yang digunakan adalah geotekstil, dimana geotekstil merupakan salah satu jenis dari geosintetik yang berbahan sintetik dan umumnya lolos terhadap air serta dipasang bersama pondasi, tanah, batuan atau material geoteknik lainnya. Dalam proses pembuatan geotekstil, elemen pada tekstil kemudian dikombinasikan menjadi struktur tekstil lembaran. Elemen tersebut dapat berupa filamen (serat menerus) berbentuk benang polimer tipis dan panjang atau serabut serat (*stable fiber*) yang berbentuk filamen pendek. Berdasarkan cara pembuatannya, geotekstil dibedakan menjadi dua jenis yaitu :

1. Geotekstil anyam (*woven*)

Geotekstil anyam (*woven*) dibuat dengan cara dianyam seperti yang dilihat pada Gambar 3.12, geotekstil jenis ini mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi sehingga pada aplikasinya di lapangan banyak digunakan sebagai lapisan perkuatan dan sebagai palisan pemisah. Sebagai perkuatan, geotekstil *woven* berfungsi sebagai tulangan pada tanah. Sedangkan sebagai pemisah, geotekstil *woven* berfungsi memisahkan antara tanah lunak dengan tanah keras.



Gambar 3.12 Geotekstil Woven

(Sumber: Isparmo, 2010)

2. Geotekstil nir-anyam (*non woven*)

Geotekstil nir-anyam (*non woven*) pembuatannya tidak dengan cara dianyam, tetapi jaringan atau serat-serat pembentukannya dilekatkan atau sama lain dengan cara diikat atau dengan bahan perekat seperti yang dilihat pada Gambar 3.13 berikut.

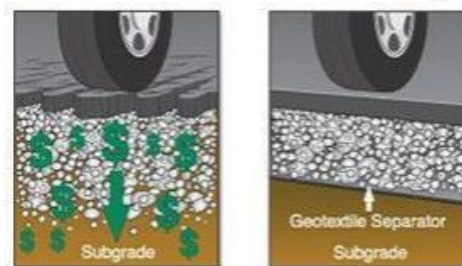


Gambar 3.13 Geotekstil Non Woven

(Sumber: Isparmo, 2010)

Berdasarkan Isparmo (2010) fungsi dari geotekstil terdiri dari fungsi sebagai bahan pemisah dan fungsi sebagai bahan perkuatan geoteknik sebagai berikut.

1. Fungsi pemisah dibutuhkan pada saat diletakkan diantara dua jenis material yang berbeda, untuk menghindari terjadinya kontaminasi dan pencampuran yang mungkin terjadi di antara kedua material tersebut. Contohnya pada penggunaan geotekstil didalam konstruksi jalan untuk memisahkan agregat dengan lapisan tanah dasar yang mempunyai daya dukung lemah seperti Gambar 3.14 berikut.



Gambar 3.14 Geotekstil Sebagai Pemisah (*Separator*)

(Sumber : Isparmo, 2010)

2. Fungsi berikutnya sebagai perkuatan tanah dikarenakan tanah mempunyai kekuatan untuk menahan tekan, tetapi tidak dapat menahan tarik. Kelemahan terhadap tarik ini yang dipenuhi oleh geotekstil. Geotekstil memiliki kemampuan menahan tarik yang kuat, sehingga fungsi geotekstil pada geoteknik ini sama seperti fungsi tulangan dalam beton. Material ini dapat diletakkan dibawah tanah timbunan yang dibangun diatas tanah lunak, juga dapat digunakan untuk membangun dinding penahan tanah, dan dapat juga digunakan untuk perkuatan bahan susun perkerasan jalan beserta tanah dasarnya seperti pada Gambar 3.15 berikut.



Gambar 3.15 Geotekstil Sebagai Perkuatan (*Reinforcement*)

(Sumber : Isparmo, 2010)

Berdasarkan Hardiyatmo (2010) sifat-sifat tanah menjadi kuat menahan tarik ini merupakan hasil dari adanya interaksi antara tanah dan tulangnya. Dengan gesekan ini, tanah mentransfer gaya-gaya yang bekerja padanya ke tulang-tulangan. Interaksi tanah dengan geotekstil dipengaruhi oleh *interface*. Nilai *interface* dapat diperoleh dari uji geser dan uji tarik. Beberapa nilai *interface* telah banyak diusulkan oleh beberapa peneliti dan juga turut dicantumkan dalam penawaran teknis produk geotekstil. Berikut ini nilai *interface* untuk jenis tanah kohesif dengan geotekstil yang diusulkan disertai dengan keterangan asumsi dan jenis bahan yang ditinjau dalam Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Nilai *Interface* Tanah Kohesif dengan Geotekstil

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

Sumber: Ismanti (2012)

3.5.3 Prinsip Kerja Geotekstil

Tegangan geser yang terjadi oleh gesekan pada bidang kontak dinyatakan pada Persamaan 3.32 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma_v \operatorname{tg} \varphi \quad (3.32)$$

Keterangan :

τ = Tegangan geser yang bekerja di permukaan bidang kontak antara tulangan dan butiran-butiran tanah (kN/m²).

c = Kohesi (kN/m²).

σ_v = Tegangan normal pada bidang kontak (*interface*) tanah-tulangan (kN/m²).

ϕ = Sudut gesek antara tanah dan tulangan ($^{\circ}$).

Gaya- gaya tarik yang akan bekerja pada geotekstil dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.33 berikut ini.

$$T_a = \tau \times b \times L \times \text{tg } \phi \quad (3.33)$$

Keterangan :

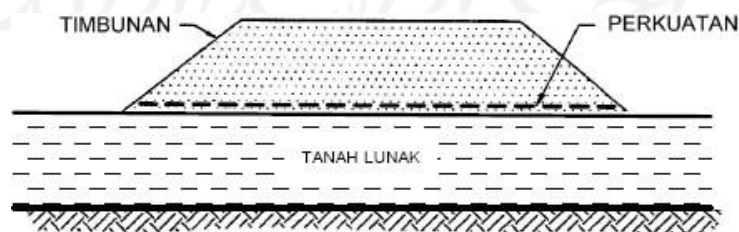
T_a = Gaya tarik pada tulangan (kN/m).

B = Lebar tulangan (m).

L = Panjang tulangan (m).

3.5.4 Perkuatan Menggunakan Geotekstil

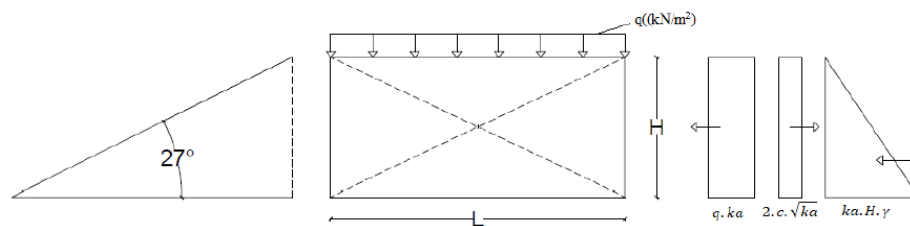
Pengaruh penting pemakaian geotekstil untuk perkuatan timbunan adalah berfungsi utama sebagai pemisah dan juga berfungsi sebagai tulangan atau perkuatan yang menaikkan kapasitas dukung tanah dasar oleh kekuatan komposit tanah dengan geotekstil. Timbunan yang dibangun pada tanah lunak mempunyai kecenderungan bergerak ke arah lateral, karena akibat dari tekanan tanah horizontal yang bekerja pada timbunan tersebut. Tekanan ini menyebabkan timbulnya tegangan geser pada dasar timbunan yang harus ditahan oleh tanah pondasi yang lunak tersebut agar tidak mengalami keruntuhan. Oleh karena itu, pada dasar timbunan dapat dipasang geotekstil dengan kuat tarik tinggi yang berguna untuk menambah nilai stabilitas timbunan tersebut seperti pada Gambar 3.16 berikut.



Gambar 3.16 Timbunan di Atas Tanah Lunak

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

Perencanaan untuk perkuatan dengan geotekstil memiliki gaya-gaya stabilitas yang perlu diperhitungkan. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan terdiri dari beberapa analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Stabilitas eksternal terdiri dari stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas, dan kapasitas dukung tanah. Stabilitas internal berupa stabilitas terhadap gaya-gaya dan panjang efektif geotekstil. Adapun diagram distribusi tekanan tanah lateral pada lereng dapat dilihat pada Gambar 3.17 berikut ini.



Gambar 3.17 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral

(Sumber: Purwanto, 2012)

Untuk mendapatkan jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (S_v) dapat dilakukan dengan Persamaan 3.34 sampai dengan Persamaan 3.36 berikut ini.

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \left(\frac{\phi}{2} \right) \right) \quad (3.34)$$

$$\sigma_{hc} = q \cdot k_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_a} + k_a \cdot H \cdot \gamma \quad (3.35)$$

$$S_v = \frac{T_a}{\sigma_{hc} \cdot S_f} \quad (3.36)$$

Keterangan:

K_a = Koefisien tanah aktif.

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

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

SF = Faktor aman.

S_v = Jarak tulangan arah vertikal (m).

γ = Berat volume tanah (kN/m^3).

c = Kohesi (kN/m^2)

Ta = Kuat tarik geotekstil *allowable*.

1. Stabilitas Eksternal

a. Stabilitas Terhadap Geser

Faktor aman terhadap geser dinyatakan pada Persamaan 3.37.

$$SF = \frac{L \cdot (1 + \gamma b) \cdot \tan \varphi}{(q \cdot ka \cdot H + ka \cdot H^2 \cdot \gamma b - 2 \cdot c \cdot \sqrt{ka} \cdot H)} \quad (3.37)$$

Keterangan:

SF = Faktor aman.

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

L = Panjang geotekstil (m).

H = Tinggi lapisan tanah (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m^3).

Ka = Koefisien tanah aktif.

C = Kohesi (kN/m^2).

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

b. Stabilitas Terhadap Guling

Faktor aman terhadap guling dapat dinyatakan pada Persamaan 3.38 berikut ini.

$$SF = \frac{L^2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot q + \frac{1}{2} \cdot \gamma b \cdot H\right)}{\frac{1}{2} \cdot q \cdot ka \cdot H^2 + \frac{1}{6} \cdot Ka \cdot H^2 \cdot \gamma b - c \cdot \sqrt{Ka} \cdot H^2} \quad (3.38)$$

Keterangan:

SF = Faktor aman.

L = Panjang geotekstil (m).

H = Tinggi lapisan tanah (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m^3).

c = Kohesi (kN/m^2).

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

c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Nilai $\frac{1}{6} L$ harus lebih besar dari nilai eksentrisitas yang dinyatakan pada Persamaan 3.39 dan Persamaan 3.40 berikut ini.

$$\frac{1}{6} L \geq e \quad (3.39)$$

$$\frac{1}{6} \geq \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot q \cdot ka \cdot H^2 + \frac{1}{6} \cdot ka \cdot H^3 \cdot \gamma b - c \cdot \sqrt{ka} \cdot H^2\right)}{(q \cdot L + \gamma b \cdot H \cdot L)} \quad (3.40)$$

Keterangan:

e = Nilai eksentrisitas tanah (m).

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

Ka = Koefisien tanah aktif.

H = Tinggi lapisan tanah (m).

c = Kohesi (kN/m^2).

L = Panjang geotekstil (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m^3)

d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Faktor keamanan terhadap kapasitas dukung tanah dinyatakan pada Persamaan 3.41 sampa dengan Persamaan 3.43 berikut ini.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{q_{ult}} \quad (3.41)$$

$$q_{ult} = c \cdot N_c + 0,5 \cdot L \cdot \gamma b \cdot N_\gamma \quad (3.42)$$

$$\sigma_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot L \cdot \gamma b \cdot N_\gamma \quad (3.43)$$

2. Stabilitas Internal

a. Panjang Geotekstil *Overlapping*

Panjang geotekstil *overlapping* dapat dinyatakan pada Persamaan 3.44 berikut ini.

$$L0 = \frac{\sigma_{hc} \times S_v \times SF}{2 \times Z_i \times \gamma_b \times \tan \varphi} \quad (3.44)$$

Keterangan:

- $L0$ = Panjang *overlapping* (m).
 σ_{hc} = Tegangan ultimit (kN/m²).
 S_v = Jarak tulangan arah vertikal (m).
 Z_i = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m).
 γ_b = Berat volume tanah (kN/m³).
 SF = Faktor aman.
 φ = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil (°).

b. Panjang Efektif Geotekstil

Panjang tulangan di belakang bidang longsor (L_{ef}) pada ujung geotekstil dapat dihitung pada Persamaan 3.45 berikut ini.

$$L_{ef} = \frac{SF \times S_v \times K_a \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \tan \varphi} \geq 0,5m \quad (3.45)$$

Keterangan:

- L_{ef} = Panjang efektif geotekstil (m).
 K_a = Koefisien tanah aktif .
 S_v = Jarak tulangan arah vertikal (m).
 Z_i = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m).
 γ_b = Berat volume tanah (kN/m³).
 SF = Faktor aman.
 φ = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil (°).

3.6 Program Plaxis

Plaxis merupakan salah satu program *software* komputer yang dapat digunakan untuk mempermudah dalam menganalisis di bidang geoteknik. Program Plaxis dirancang berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang dapat digunakan secara khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan (*plane-strain*) maupun secara *axisymmetric*. Program ini menerapkan model antarmuka grafis yang cukup mudah untuk digunakan, pengguna dapat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukkan perhitungan, keluaran, dan kurva.

Model yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu model Mohr-Coulomb. Model ini merupakan model elastis – plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu E dan μ untuk memodelkan elastisitas tanah, ϕ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah, dan ψ sebagai sudut dilatasi. Model Mohr-Coulomb merupakan suatu pendekatan “ordo pertama” dari perilaku tanah atau batuan. Model ini disarankan digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi. Setiap lapisan akan dimodelkan dengan sebuah nilai kekakuan rata-rata yang konstan. Karena kekakuan yang konstan, maka perhitungan cenderung cepat dan dapat diperoleh perkiraan awal dari bentuk deformasi dari model. Disamping kelima parameter dari model tersebut, kondisi tegangan awal dari tanah memegang peranan yang penting dalam hampir seluruh masalah deformasi tanah. Tegangan horizontal awal tanah harus ditentukan terlebih dahulu dengan menentukan nilai σ_0 yang tepat (Brinkgreve, 2007).

Kondisi dilapangan yang disimulasikan ke dalam program Plaxis ini bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan dilapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program, dengan harapan pelaksanaan dilapangan dapat sedekat mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi dilapangan.

Pada tahap analisis menggunakan program Plaxis terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *Input data*

Pada tahapan *input data* yang dilakukan ialah pemodelan berupa data geometri dinding penahan tanah dan lereng yang akan dianalisis, material tanah, pembebanan, *meshing*, dan *initial condition*. Sehingga model yang dihasilkan dapat menggambarkan kondisi nyata yang ada dilapangan.

2. *Calculation*

Ketika telah dilakukan permodelan pada tahap input, tahap berikutnya adalah tahap *calculation*. Pada tahap ini, analisis dilakukan sesuai dengan kebutuhan terhadap model yang telah didefinisikan dalam input data. Terdapat beberapa *type calculation* yang disediakan, yaitu *type plastic*, *consolidation*, *phi/c reduction*, dan *dynamic analysis*.

3. *Output*

Setelah selesai menganalisis, hasil dari analisis pada tahap *calculation* sebelumnya dapat dilihat pada tahap *output*. Hasil analisis pada tahap *output* dapat ditampilkan dalam bentuk angka, gambar, dan kurva. *Output* yang dihasilkan dan akan ditinjau dalam penelitian ini berupa *total displacement*, potensi kelongsoran, *safety factor*, dan *total stresses*.

4. *Curve*

Selain dapat dilihat dari *output* hasil dari analisis juga dapat berupa *curve*. *Curve* menggambarkan hasil dari semua tahapan perhitungan, dan menampilkan 2 parameter untuk melihat perbandingan dari masing-masing tahap perhitungan. *Curve* yang akan diambil sebagai perbandingan dalam penelitian ini adalah *curve* dari *safety factor* dan *curve vertical displacement*.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Penelitian dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta 3+550. Penelitian ini meliputi analisis stabilitas lereng dengan kondisi tanah asli dan tanah dengan *replacement* menggunakan program *Plaxis*, kemudian didapatkan *output* berupa nilai *Safety Factor*. Parameter analisis menggunakan variasi ketinggian timbunan lereng, sehingga didapatkan tinggi timbunan yang berpotensi mengalami kelongsoran dan akan diperkuat menggunakan perkuatan dengan geosintetik jenis geotekstil woven. Penggunaan perkuatan geotekstil ini akan dilakukan pada lereng dengan $SF < 1,30$ yang biasa digunakan dalam perencanaan keamanan lereng pada timbunan jalan tol. Dari analisis tersebut, diharapkan dapat ditentukan kondisi mana yang menghasilkan faktor keamanan (*safety factor*) yang paling baik, sehingga pada perencanaan kekuatan stabilitas lereng dapat dijadikan sebagai acuan untuk kondisi tanah yang direkomendasikan.

4.2 Data Penelitian

Data penelitian ini merupakan data sekunder Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing. Data sekunder yang diperlukan meliputi :

1. Data tanah, yang meliputi: data tanah uji lapangan dan data tanah uji laboratorium. Data tanah uji lapangan yaitu data dari hasil pengujian *SPT* (*Standard Penetration Test*) dalam bentuk tabel dan grafik. Data tanah uji laboratorium yaitu data hasil pengujian di laboratorium yang meliputi.
 - a. Berat volume tanah (γ)
 - b. Kohesi (c), dan
 - c. Sudut geser dalam (ϕ).
2. Data lapisan tanah.

3. Data gempa.
4. Data lereng.

4.3 Tahapan Penelitian

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

1. Tahap pengumpulan data, dimana tahap ini meliputi tahap pengambilan data tanah (data uji lapangan dan laboratorium) yang dibutuhkan untuk keperluan analisis dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing.
2. Tahap analisis dan pengolahan data , pada tahap ini data yang telah diambil (data uji lapangan dan data laboratorium), kemudian diolah dengan logika dan teori yang berlaku sebagai koreksi (analisis dengan program *Plaxis*), selanjutnya dapat ditentukan tindak lanjut dari hasil program *Plaxis*.
3. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan, tahap ini akan dilakukan penulisan kedalam laporan yang dimana berisi hasil-hasil yang telah didapatkan dari tahapan analisis, kemudian akan dihasilkan solusi dari masalah-masalah yang timbul dan diambil kesimpulan berdasarkan teori yang ada.

4.4 Analisis Data

Metode analisis data merupakan metode yang digunakan untuk menyederhanakan dan mempermudah dalam memahami data yang diperoleh. Data yang didapatkan kemudian dianalisis berdasarkan tahap pengerjaannya. Adapun data diperoleh sebagai berikut.

4.4.1 Parameter Tanah

Dalam analisis stabilitas lereng, parameter tanah merupakan input yang sangat penting, parameter tanah didapatkan berdasarkan data sekunder dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing. Adapun input parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Data Parameter Tanah Masa Konstruksi

Nama	Satuan	<i>Silty Clay</i>	<i>Sandy Silt</i>	<i>Sandy Silt</i>	<i>Clayey Sand (Timbunan)</i>
Model	-	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>
Jenis	-	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>
γ_{unsat}	kN/m ³	14	18	20	16
γ_{sat}	kN/m ³	16	20	22	19
K_x	m/hari	4,500E-03	4,300E-05	4,300E-05	0,1
K_y	m/hari	4,500E-03	4,300E-05	4,300E-05	0,1
E	kN/m ³	4000	20000	24000	11000
ν	-	0,25	0,3	0,334	0,3
Kohesi (C)	kN/m ³	10,1043	79,37	85	10
Sudut geser (ϕ)	°	8	30	30	25
Sudut dilatasi (ψ)	°	0	0	0	0

Sumber: PT. Carina Griya Mandiri (2017)

Tabel 4.2 Data Parameter Tanah Pasca Konstruksi

Nama	Satuan	<i>Silty Clay</i>	<i>Sandy Silt</i>	<i>Sandy Silt</i>	<i>Clayey Sand (Timbunan)</i>
Model	-	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>
Jenis	-	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>UNDRAINED</i>
γ_{unsat}	kN/m ³	14	18	20	16
γ_{sat}	kN/m ³	16	20	22	19
K_x	m/hari	4,500E-03	4,300E-05	4,300E-05	0,1
K_y	m/hari	4,500E-03	4,300E-05	4,300E-05	0,1
E	kN/m ³	4000	20000	24000	11000
ν	-	0,25	0,3	0,334	0,3
Kohesi (C)	kN/m ³	10,1043	79,37	85	10
Sudut geser (ϕ)	°	8	30	30	25
Sudut dilatasi (ψ)	°	0	0	0	0

Sumber: PT. Carina Griya Mandiri (2017)

4.4.2 Geotekstil

Nilai geotekstil sebagai *input* untuk program *Plaxis* yaitu berupa nilai *normal stiffness (EA)* yang dapat dihitung dengan Persamaan 4.1 berikut ini.

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

Keterangan:

F_g = Kuat tarik ijin geotekstil (kN/m), dan

$\Delta l/l$ = Regangan pada geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan produksi dari PT. Tekindo Geosistem. Geotekstil yang digunakan merupakan jenis *woven* atau geotekstil teranyam. Adapun data geotekstil dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.3 Data Parameter Geotekstil Woven UW-250

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

Sumber: PT. Teknindo Geosistem (2020)

4.4.3 Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Beban perkerasan yang digunakan sebesar 10 kN/m² dari data sekunder, sedangkan untuk beban lalu lintas yang bekerja sebesar 15 kN/m². Beban lalu lintas dapat dilihat berdasarkan fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 4.3 berikut ini.

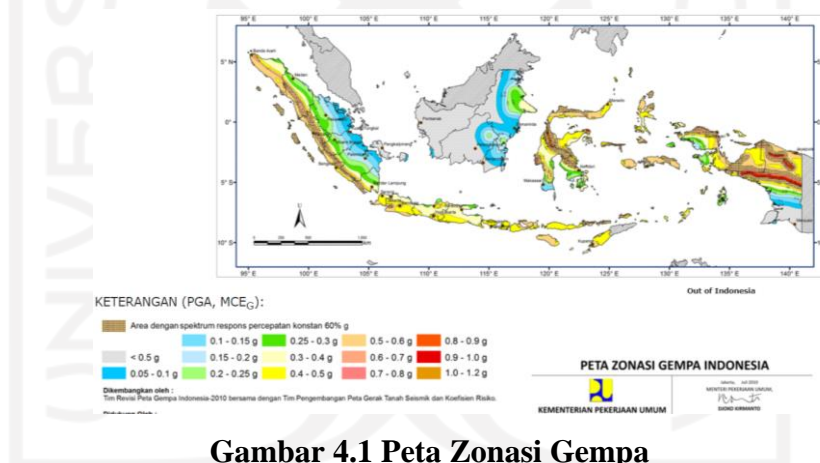
Tabel 4.4 Data Parameter Beban Lalu Lintas

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
	Sekunder	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

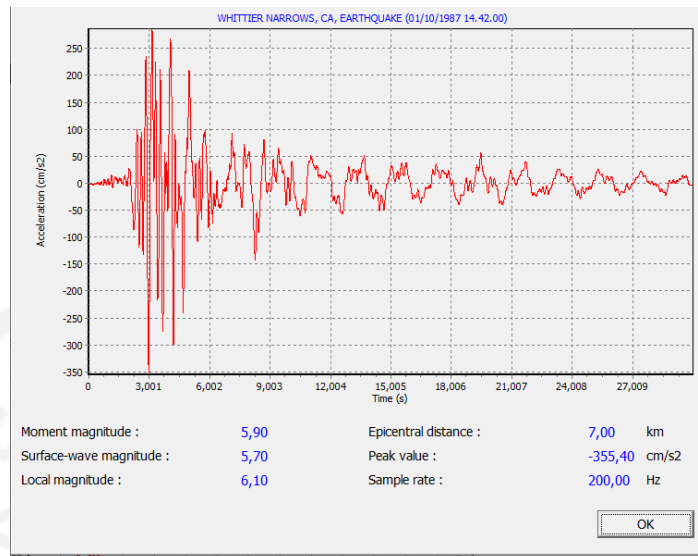
4.4.4 Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan dalam analisa stabilitas lereng ini merupakan beban gempa dinamik. Pada wilayah Bekasi memiliki percepatan puncak gempa (PGA) antara 0,3 – 0,4 g. Data yang sesuai dengan durasi gempa tersebut adalah data pada kawan American Canyon California pada tahun 2014 akhir yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,3938 g. Untuk waktu interval digunakan waktu 3,2 detik, wakt tersebut dianggap sudah melewati percepatan puncak gempa. Peta zonasi serta grafik hubungan antara percepatan gempa dan waktu gempa dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2 berikut ini.



Gambar 4.1 Peta Zonasi Gempa

(Sumber: puskim.pu.go.id, 2018)



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa

(Sumber: usgus.gov, 2018)

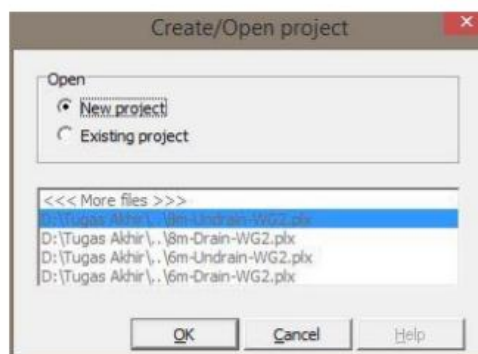
4.5 Pengoperasian Program *Plaxis*

Analisis pada penelitian ini menggunakan program *Plaxis* dilakukan dengan 3 tahapan, yaitu *Plaxis input*, *Plaxis calculation* dan *Plaxis Output*.

4.5.1 *Plaxis Input*

1. Buka Program *Plaxis*

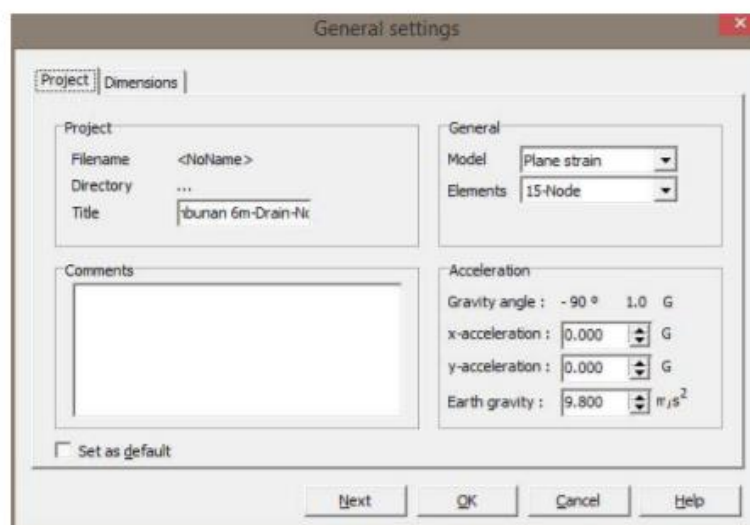
Operasikan aplikasi *Plaxis* dengan klik-ganda pada *icon* program *Plaxis input*. Kemudian akan muncul kotak dengan pilihan *create/open project*, lalu pilih *new project* dan klik OK untuk membuat pekerjaan baru seperti pada Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3 Kotak Dialog *Create/Open Project*

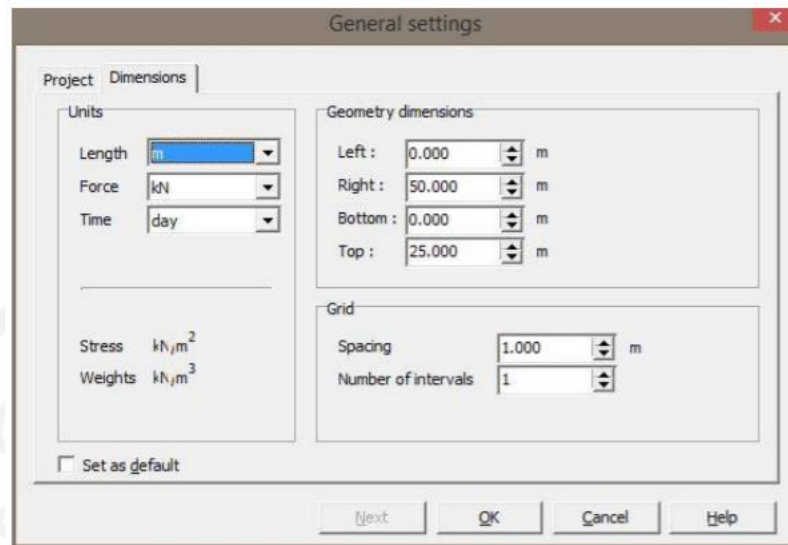
2. General Setting

Pada pengaturan global (*general setting*) terdapat dua tab dialog, yaitu tab *project* dan *dimensions*. Pilihan lembar tab *project*, masukkan nama proyek yang akan dimodelkan pada kotak dialog *title*. Kemudian pilih analisis model *plane strain* (regangan bidang) pada kotak *general* dan pilih jenis elemen dasar *15-Node* untuk analisis dengan menghasilkan tegangan dan beban runtuh yang akurat.



Gambar 4.4 Tab Project dari Jendela General Setting




Dalam pilihan tab *geometry dimensions*, gunakan satuan pra-pilih dalam kotak *unit* ($Lenght = m$, $Force = kN$, $Time = day$). Dalam kotak *geometry dimensions*, ukuran dari bidang gambar harus diinput, saat menginput koordinat teratas dan terbawah dari geometri yang akan dibuat. *Plaxis* akan menambahkan sebuah margin kecil sehingga geometri akan berada pada bidang gambar. Kemudian masukkan 0,0; 50,0; 0,0; 25,0 masing-masing pada kotak isian *left*, *right*, *bottom*, dan *top* dalam kotak dialog. Kotak *Grid* berisikan nilai-nilai untuk mengatu spasi *grid*. *Grid* ini akan membentuk matriks titik-titik yang digunakan untuk memasukkan penggambaran tepat pada *grid* yang telah ada saat pembuatan model. Jarak antara titik ditentukan oleh nilai spasi. Kemudian untuk *specing* masukkan nilai 1,0 dan 1 untuk *number of intervals*.



Gambar 4.5 Tab Dimension dari Jendela General Setting

3. Pemodelan Geometri

Dalam penggambaran model geometri dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut ini.

- a.  Pilih opsi *Geometry line* (telah diaktifkan)
Posisikan kursor pada pusat koordinat. Letakkan kursor pada koordinat 0,0; 0,0 ini sebagai titik awal dalam penggambaran *geometry* setelah itu gambar geometri sesuai koordinat yang sudah ditentukan.
- b.  Klik tombol *standard fixities* pada *toolbar*.
- c.  Klik tombol *Distributed load-load system A* pada *toolbar*.
Kemudian klik pada titik awal dan titik akhir pada geometri yang menerima beban, lalu klik kanan *mouse* untuk mengakhiri masukan beban merata. Masukkan nilai beban merata (10kN/m²)

4. Input Parameter Material

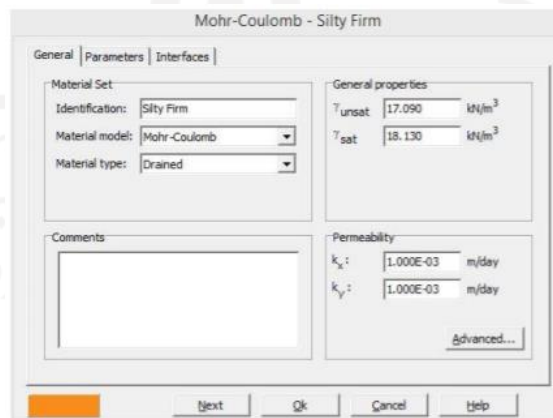
Untuk memasukkan data material pada program ini dapat dilakukan dengan menggunakan tombol *material sets* pada *toolbar* atau dapat melalui pilihan yang tersedia dalam menu *materials*.



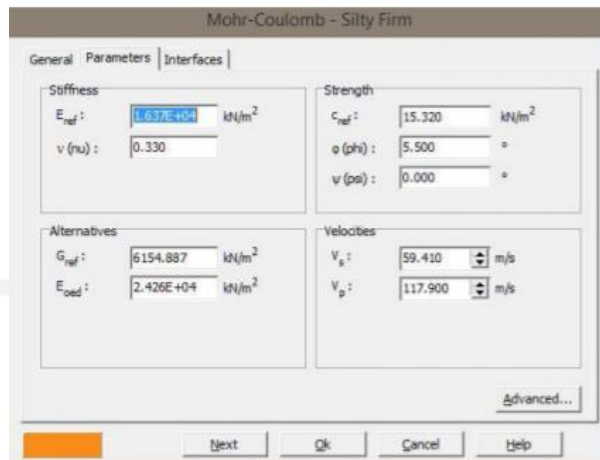
Pilih tombol *material sets*

pada *toolbar*.

- a. Klik pilihan (*new*) di sisi bawah dari jendela *material sets*. Sebuah kotak dialog akan muncul dengan tiga buah lembar-tab, yaitu *general*, *parameters*, *interface* (Lihat gambar 4.6 dan Gambar 4.7)
- b. Dalam kotak dialog *material sets* dalam lembar-tabs *general*, tuliskan “Silty Firm” dalam kotak *identification*.
- c. Kemudian pilih *Mohr-coulomb* pada *combo box material model* dan *drained* pada *combo box material type*.
- d. Masukkan nilai yang akan diinput pada *general properties* dan pada kotak *permeability* sesuai dengan sifat material yang digunakan.
- e. Klik pada tab menu *parameters* ada empat lembar-tab dan masukkan nilai sesuai sifat material yang digunakan. Karena model geometri tidak menggunakan *interface*, maka lembar-tab ketiga dapat dilewati lalu klik OK untuk menyimpan material.
- f. Klik dan seret (*drag*) kumpulan data dari jendela *material sets* ke kluster tanah pada bidang gambar dan lepas di atasnya. Maka material sudah masuk dalam bidang gambar apabila bidang gambar berubah warna.
- g. Kemudian klik tombol OK pada jendela *material sets* untuk menutup basis data.




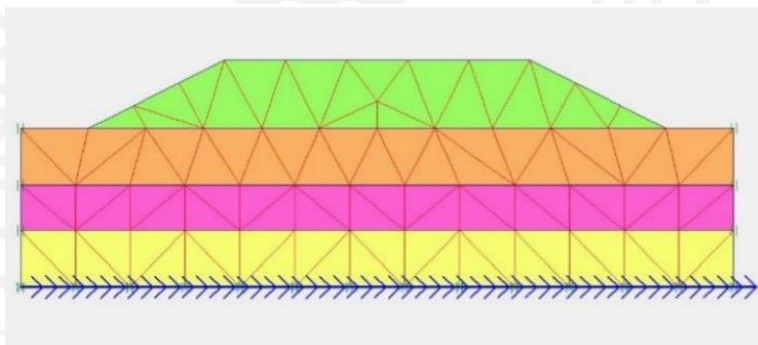
Gambar 4.6 Lembar Tab General dari Jendela Material Sets



Gambar 4.7 Lembar Tab Parameters dari Jendela Material Sets

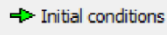

5. Mesh Generation


 Klik pilihan *Generate Mesh* pada *toolbar* atau pilih susunan dari menu *mesh*. Setelah penyusunan jaringan elemen maka setelah itu sebuah jendela baru akan terbuka dimana ditunjukkan jaringan elemen hingga yang terbentuk seperti Gambar 4.8. Kemudian klik tombol <perbarui> untuk kembali ke modus masukkan geometri.

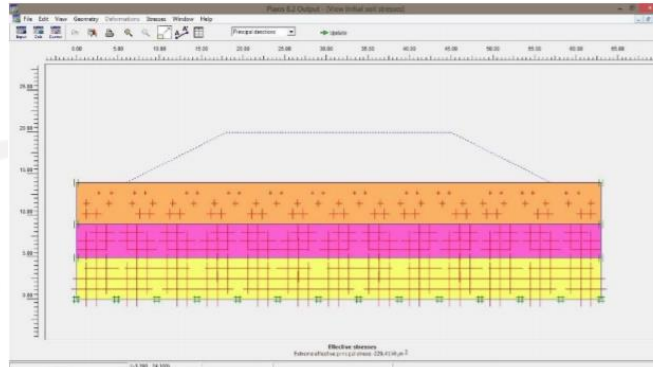


Gambar 4.8 Jaringan Elemen Hingga (Meshing)


6. Intial Condition

- a. Klik tombol  *initial conditions* pada *toolbar*.
- b.  Karena proyek ini tidak mengikuti sertakan tekanan air, maka lanjutkan modus konfigurasi geometri awal dengan mengklik tombol sebelah kanan dari “*switch*”. Garis freatik secara otomatis akan terletak pada dasar geometri.

- c.  Klik pilihan *General initial stresses* pada *toolbar*. Kotak dialog *Ko-procedure* akan muncul pilih OK seperti pada Gambar 4.9 berikut.

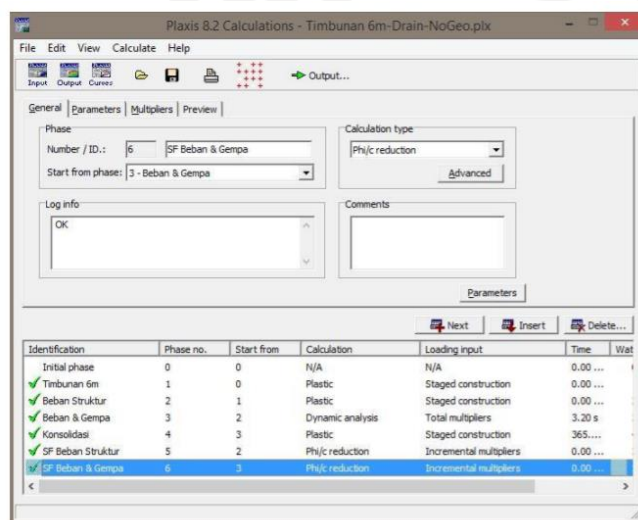


Gambar 4.9 Tegangan Awal Pada Geometri


- d.  *Calculate* Kemudian klik *Calculate*.

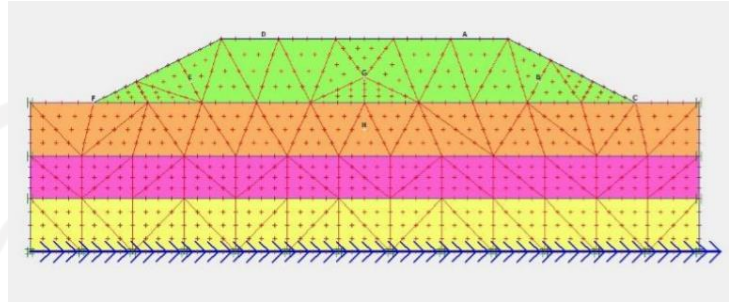
4.5.2 *Plaxis Calculation*

Pada bagian *calculation* (Gambar 4.10) terdapat empat lembar tab yaitu *generate*, *parameters*, *multipliers* dan *preview*. Dalam lembar tab *general*, pada *calculation type* dipilih *plastic analysis* yang digunakan untuk mengetahui besar *displacement* dari kondisi yang ditinjau, dipilih *phi/c reduction* untuk mengetahui pengaruh dari akibat gempa sedangkan pada lembar tab *parameters* dipilih *staged construction* untuk *loading input*.



Gambar 4.10 Jendela *Calculations* dengan Lembar Tab *General*

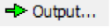
 Langkah berikutnya yaitu menentukan titik yang akan ditinjau untuk menggambarkan dalam tampilan kurva yaitu dengan mengklik tombol *select point for curve* seperti Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.11 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau

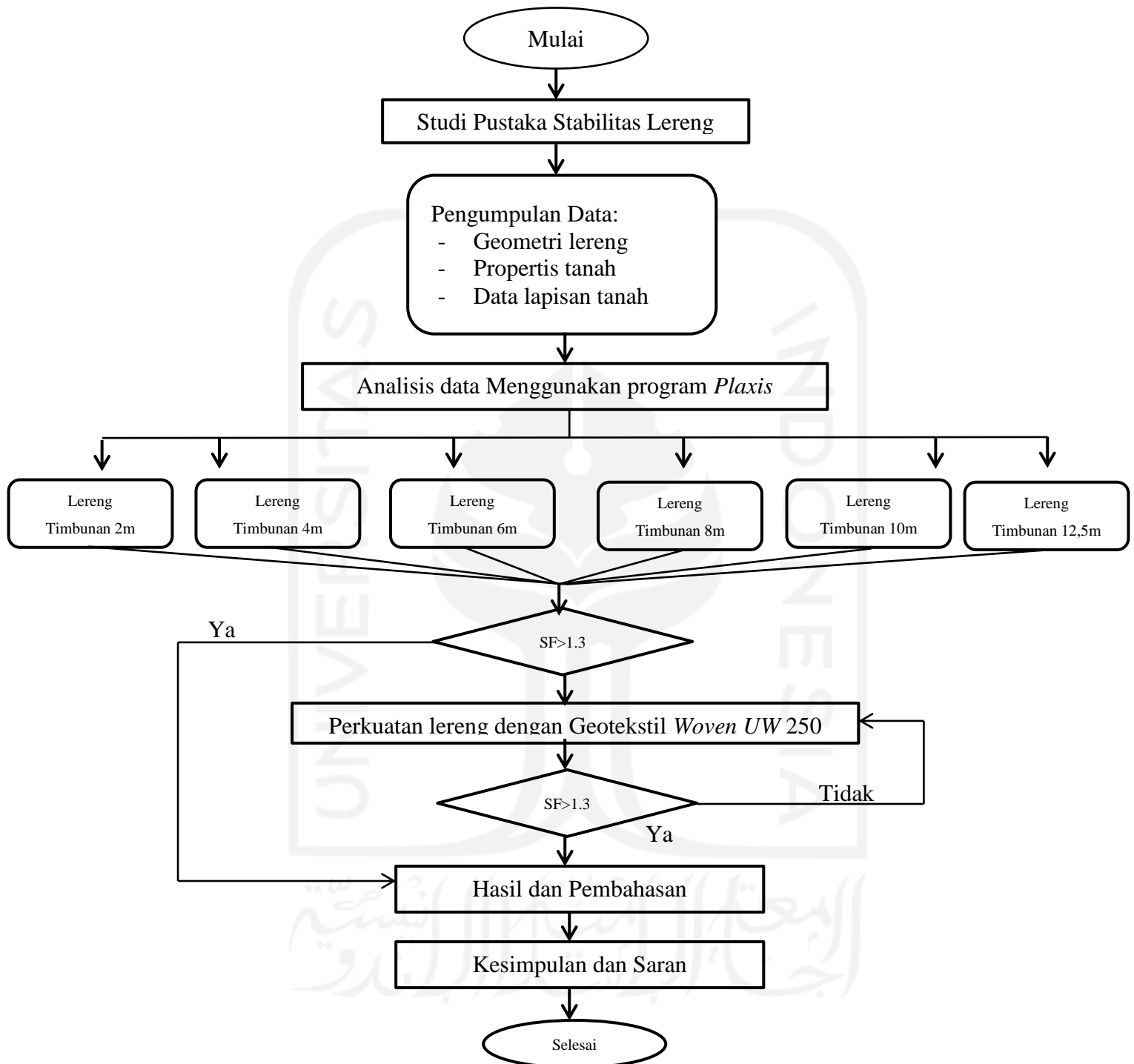
Kemudian langkah berikutnya yaitu klik tombol *calculation* untuk menjalankan analisis perhitungan.

4.5.3 *Plaxis Output*

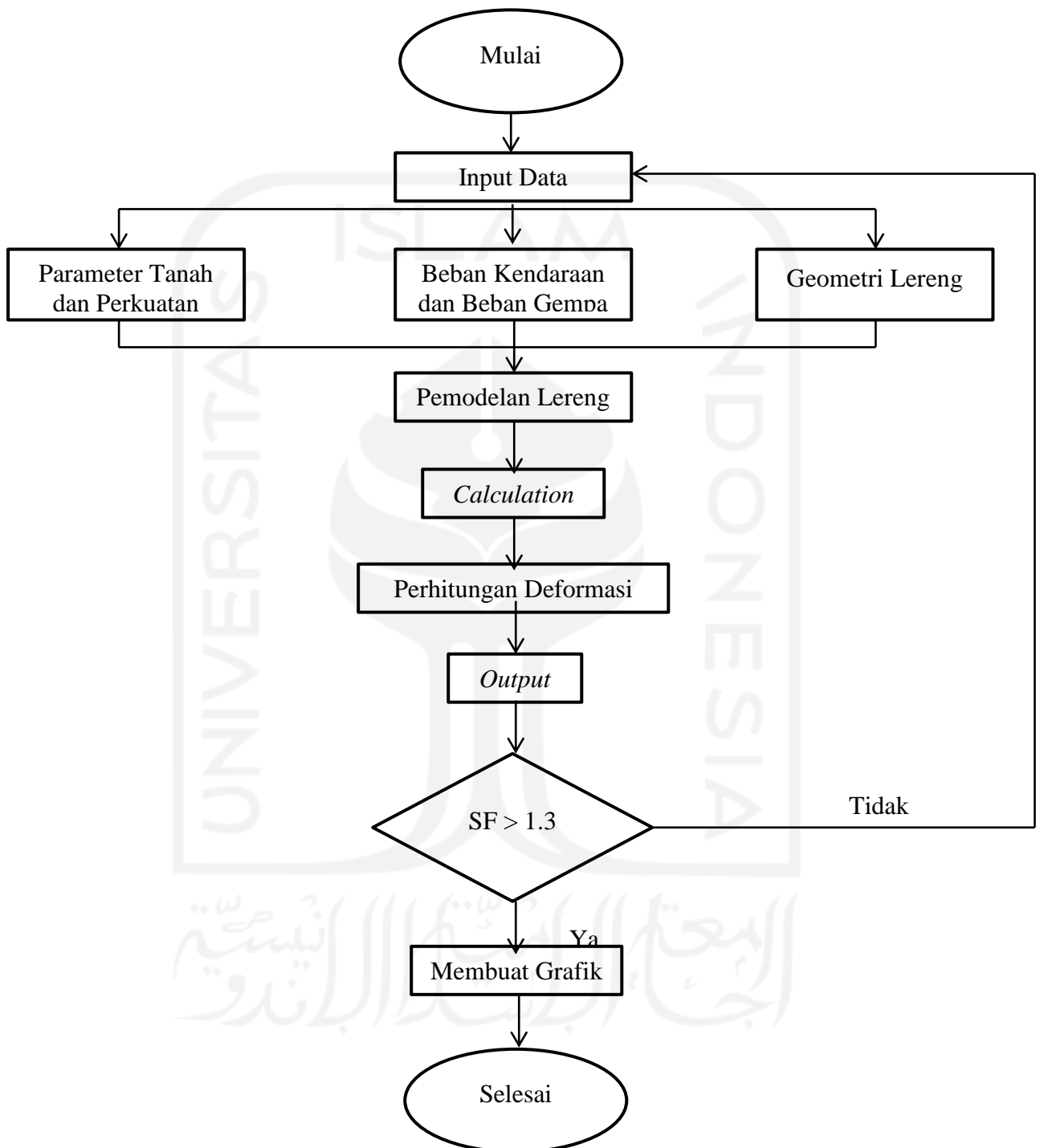
Setelah tahap analisis perhitungan selesai, selanjutnya klik tombol  *Output...* untuk menampilkan hasil dari tahap perhitungan yang telah dilakukan.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Adapun Bagan Alir Penelitian atau *flowchart* penelitian dan Bagan Alir Pemodelan Lereng dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4 berikut ini.



Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.4 Bagan Alir Pemodelan Lereng

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum Analisis

Kondisi lereng timbunan pada proyek jalan tol Cibitung – Cilincing di Sta 3+550 adalah tempat sebagai tempat studi kasus yang akan dilakukan penelitian ini. Lapisan tanah pada lokasi didominasi oleh tanah lempung dan lanau, dan lapisan tanah yang digunakan sampai lapisan ketiga pada kedalaman 16 meter. Sedangkan tanah yang digunakan untuk timbunan berupa tanah lempung berpasir yang dipadatkan. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pada ketinggian timbunan yang sudah ditentukan apakah mengalami kelongsoran pada lereng. Keruntuhan yang terjadi dapat disebabkan karena tanah timbunan sudah tidak mampu menahan gaya-gaya yang terjadi akibat beban pada saat timbunan sudah akan digunakan maupun saat pembuatan timbunan.

Analisis dilakukan menggunakan variasi tinggi timbunan mulai dari 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, dan 12,5m. Tinggi timbunan bervariasi dianalisis digunakan untuk mengetahui setiap lapisan timbunan yang aman terhadap beban-beban yang akan terjadi. Kondisi timbunan akan dianalisis dalam dua kondisi saat masa konstruksi dan pasca-konstruksi dengan parameter beban yang berbeda.

Parameter beban yang digunakan adalah beban struktur dari perkerasan jalan pada saat kondisi masa konstruksi dan beban lalu lintas pada saat pasca konstruksi. Pada lereng timbunan dengan angka aman yang belum memenuhi syarat angka aman, maka akan dilakukan perkuatan menggunakan tambahan geotekstil. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis dengan menggunakan perkuatan pada lereng timbunan yang tidak aman, sehingga dapat diketahui apakah tambahan geotekstil mampu menahan kelongsoran yang dapat terjadi dan meningkatkan nilai angka aman dari timbunan lereng jalan.

5.1.1 Data Analisis Program *Plaxis 8.6*

Kondisi timbunan lereng sesuai dengan proyek tol Cibitung-Cilincing pada Sta. 3+550. Parameter tanah yang digunakan berdasarkan hasil laboratorium data tanah pada lokasi Sta. 3+550. Berikut adalah parameter tanah, beban-beban yang bekerja, perkuatan lereng yang digunakan, dan kondisi eksisting lereng.

1. Data parameter tanah

Tabel 5.1 Parameter Tanah Masa Konstruksi

Nama	Satuan	Silty Clay	Sandy Silt	Sandy Silt	Clayey Sand (Timbunan)
Model	-	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>
Jenis	-	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>
γ_{unsat}	kN/m ³	14	18	20	16
γ_{sat}	kN/m ³	16	20	22	19
<i>K_x</i>	m/hari	4,500E-03	4,300E-05	4,300E-05	0,1
<i>K_y</i>	m/hari	4,500E-03	4,300E-05	4,300E-05	0,1
<i>E</i>	kN/m ³	4000	20000	24000	11000
ν	-	0,25	0,3	0,334	0,3
Kohesi (C)	kN/m ³	10,1043	79,37	85	10
Sudut geser (ϕ)	°	8	30	30	25
Sudut dilantasi (ψ)	°	0	0	0	0

Sumber: PT. Carina Griya Mandiri (2017)

Tabel 5.2 Data Parameter Tanah Pasca Konstruksi

Nama	Satuan	Silty Clay	Sandy Silt	Sandy Silt	Clayey Sand (Timbunan)
Model	-	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>
Jenis	-	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>UNDRAINED</i>
γ_{unsat}	kN/m ³	14	18	20	16
γ_{sat}	kN/m ³	16	20	22	19
<i>K_x</i>	m/hari	4,500E-03	4,300E-05	4,300E-05	0,1
<i>K_y</i>	m/hari	4,500E-03	4,300E-05	4,300E-05	0,1
<i>E</i>	kN/m ³	4000	20000	24000	11000
ν	-	0,25	0,3	0,334	0,3
Kohesi (C)	kN/m ³	10,1043	79,37	85	10
Sudut geser (ϕ)	°	8	30	30	25
Sudut dilantasi (ψ)	°	0	0	0	0

Sumber: PT. Carina Griya Mandiri (2017)

2. Data beban struktur

Parameter beban yang digunakan pada perhitungan analisis selama masa konstruksi dianggap memiliki beban merata akibat adanya beban struktur dari perkerasan jalan. Beban struktur yang dimasukkan merupakan beban dari perkerasan jalan. Berdasarkan data yang digunakan sebagai perhitungan analisis pada proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing, beban dari struktur lapis perkerasan sebesar 10 kN/m^2 .

3. Data beban lalu lintas

Pada bagian *input* dalam program *Plaxis* besar beban lalu lintas untuk stabilitas digunakan sebesar 15 kN/m^2 , beban tersebut sesuai dengan data beban lalu lintas untuk stabilitas seperti disajikan pada Tabel 5.3. Kemudian pada saat kondisi pasca konstruksi beban yang digunakan adalah dari struktur dan beban lalu lintas, maka digunakan beban sebesar 25 kN/m^2 .

Tabel 5.3 Data Parameter Beban Lalu Lintas

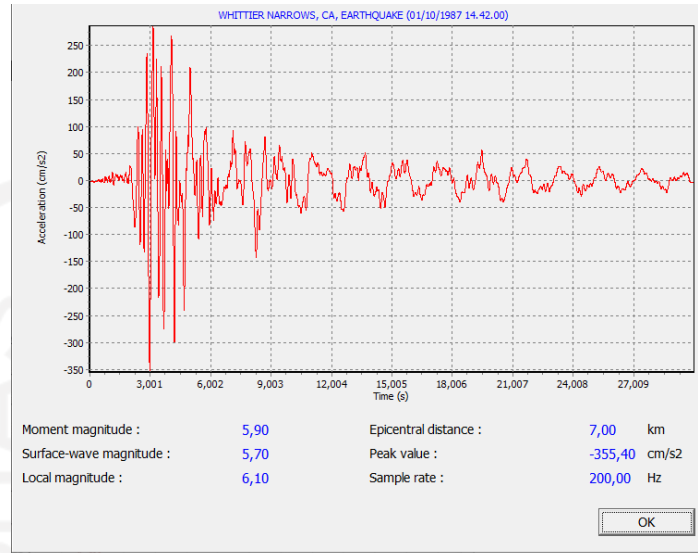
Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m^2)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Sekunder	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

Sumber: Panduan Geoteknik 4 No. Pt T-10-2002-B (2002)

4. Data beban gempa

Wilayah Bekasi memiliki percepatan puncak gempa (PGA) sebesar $0,3 - 0,4g$. Data gempa yang sesuai dengan nilai tersebut adalah data gempa di kawasan American Canyon California pada tahun 2014 akhir yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar $0,3938 g$. Waktu interval gempa yang

dimasukkan kedalam *Plaxis* diambil sebesar 3,2 detik dengan anggapan telah melewati puncak.



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa Whittier Narrows

(Sumber: www.usgs.gov, 2018)

5. Data geotekstil

Geotekstil yang digunakan adalah produksi dari PT. Tekindo Geosistem Unggul dengan jenis *woven* UW 250. Nilai kuat tarik ijin dan regangannya yang diperoleh dari brosur produksinya, yaitu sebesar 52 kN/m^2 dan 20%. Maka nilai geotekstil yang dijadikan *input* ke dalam program *Plaxis* 8.6 dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

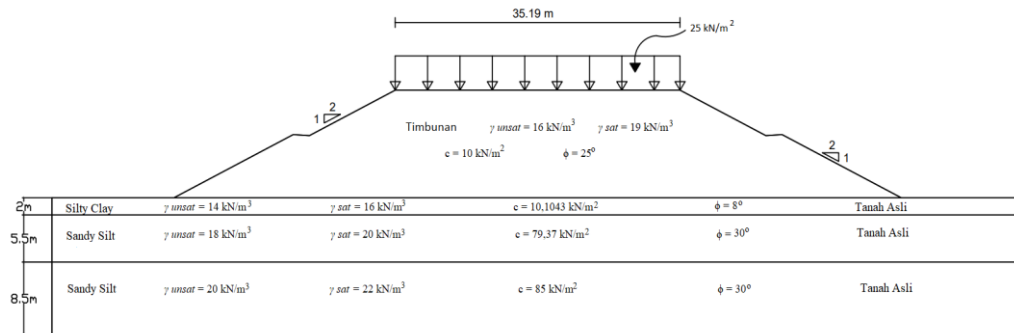
Tabel 5.4 Parameter Geotekstil Woven UW 250

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

Sumber: PT. Tekindo Geosistem Unggul (2020)

6. Kondisi eksisting lereng

Timbunan dan data tanah yang sudah didapatkan datanya dapat diilustrasikan menjadi bentuk gambar. Kondisi eksisting timbunan dan jenis tanah asli setiap lapisan dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.2 Geometri Kondisi Eksisting Lereng Tanah Asli

5.2 Lereng Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan

5.2.1 Analisis Menggunakan Program Plaxis

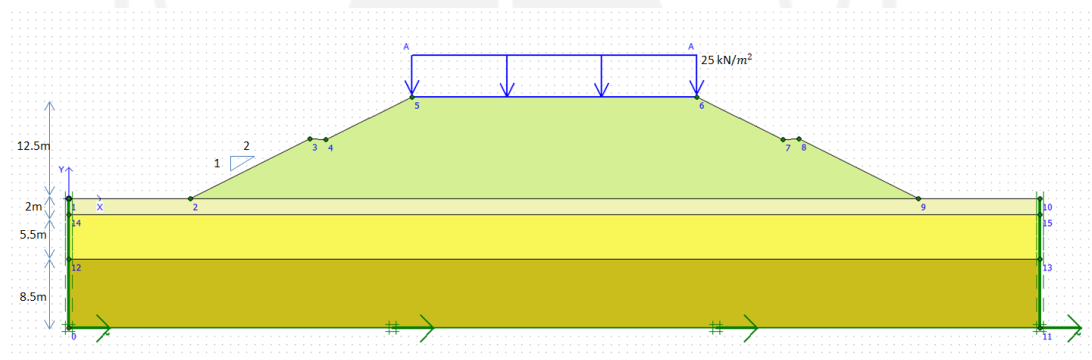
Hasil analisis dari program Plaxis 8.6 yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng tanah timbunan dengan tinggi 12,5m. Timbunan tanah berada diatas tanah asli yang terdiri dari 3 lapisan tanah dengan kedalaman 16m. Penjabaran analisis meliputi pemodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi paska konstruksi.

1. Pemodelan awal lereng

Pemodelan lereng menggunakan tanah asli yang ada pada lokasi proyek, serta pemodelan beban gempa dinamik dan beban merata. Lebar lereng sepanjang 89,87 meter yang akan difungsikan sebagai jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta. 3+550. Titik koordinat yang akan di *input* kedalam *Plaxis* 8.6 disajikan pada Tabel 5.5 dan untuk pemodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.3.

Tabel 5.5 Koordinat Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan

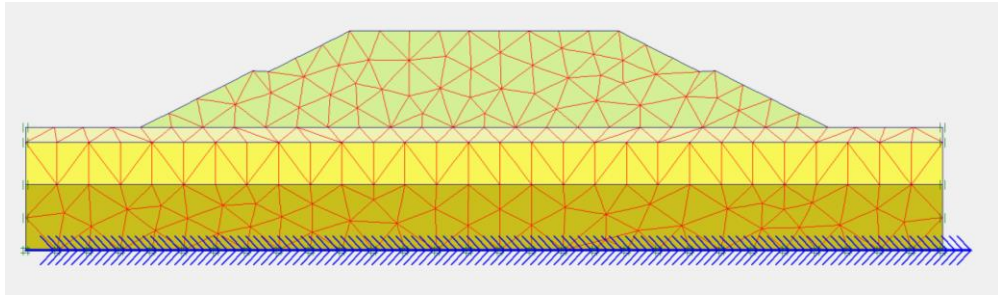
No.	X (m)	Y (m)	No.	X (m)	Y (m)
1	0	0	10	0	-7,5
2	120	0	11	15	0
3	120	-2	12	29,804	7,369
4	0	-2	13	31,804	7,369
5	0	-7,5	14	42,404	12,549
6	120	-7,5	15	77,596	12,549
7	120	-2	16	88,196	7,369
8	120	-16	17	90,196	7,369
9	0	-16	18	104,934	0



Gambar 5.3 Pemodelan Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan

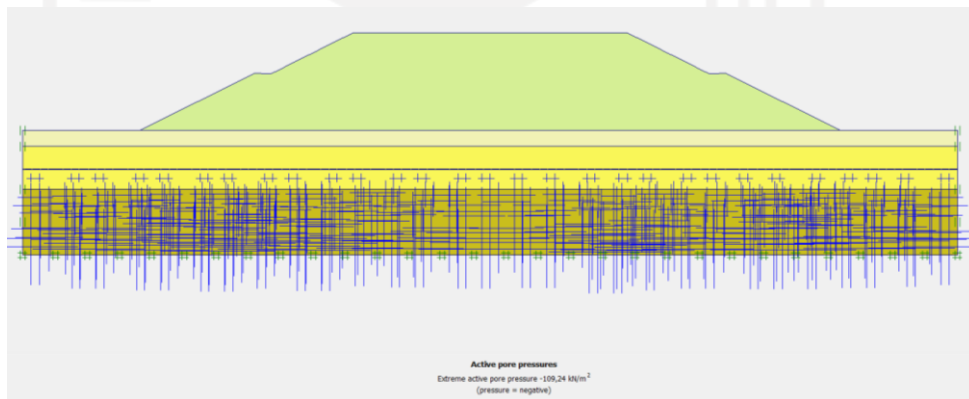
2. Kondisi masa konstruksi

Kondisi masa konstruksi terjadi saat awal pembuatan timbunan lereng, tanah timbunan pada masa konstruksi masih bersifat *drained* karena struktur pada tanah masih dapat terdrainase dengan baik. Beban merata yang di *input* pada saat masa konstruksi sebesar 10 kN/m^2 akibat beban dari struktur perkerasan pada jalan. Kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*), setelah dilakukan input parameter tanah dan bahan pada pemodelan timbunan lereng. Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini.

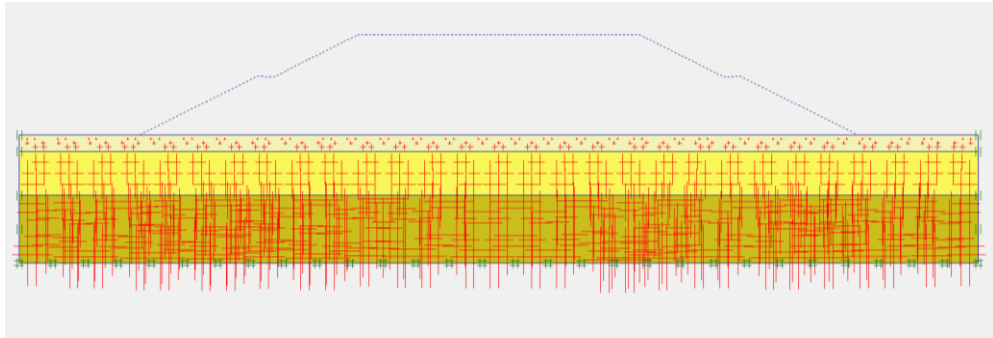


Gambar 5.4 Meshing pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan

Setelah *meshing* selesai dilakukan maka akan dilanjutkan dengan kondisi (*initial condition*). Pada data proyek yang didapatkan muka air tanah berada di kedalaman 5m dari permukaan tanah asli, maka dilakukan proses tekanan air (*generate water pressures*) sesuai dengan muka air tanah. Kemudian dilanjutkan dengan konfigurasi geometri awal langsung dengan perhitungan *general intial stresses*. Hasil dari *generate water pressures* dan *intial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 berikut.

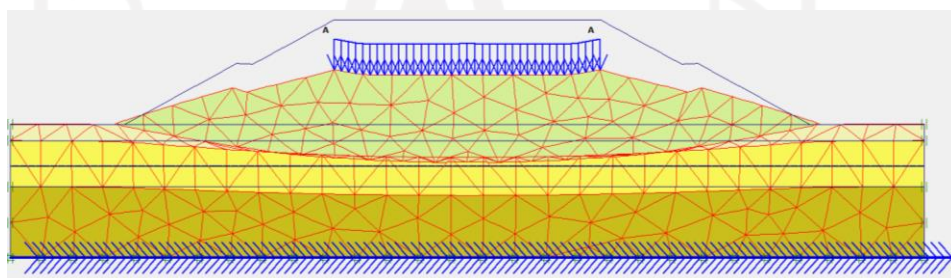


Gambar 5.5 Generate Water Pressures pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi

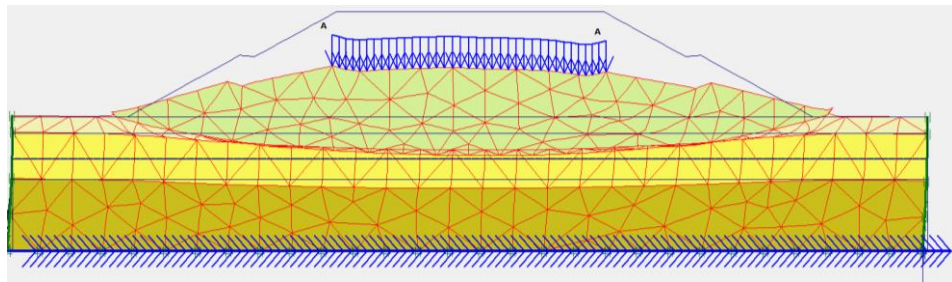


Gambar 5.6 *Intial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi

Pada tahap selanjutnya masuk ke tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan 12,5m tanah asli tanpa perkuatan dengan enam tahap. Tahap pertama yaitu analisis perhitungan akibat diberi timbunan tanah 12,5m. Tahap kedua yaitu analisis perhitungan akibat diberi beban struktur pada permukaan lereng timbunan. Tahap ketiga yaitu perhitungan akibat beban gempa yang ada. Tahap keempat yaitu perhitungan nilai angka aman akibat beban struktur, dan tahap kelima perhitungan nilai angka aman akibat beban dan gempa. Kemudian tahap keenam yaitu perhitungan konsolidasi penurunannya. Hasil *deformed mesh* pada timbunan lereng 12,5m dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 berikut ini.

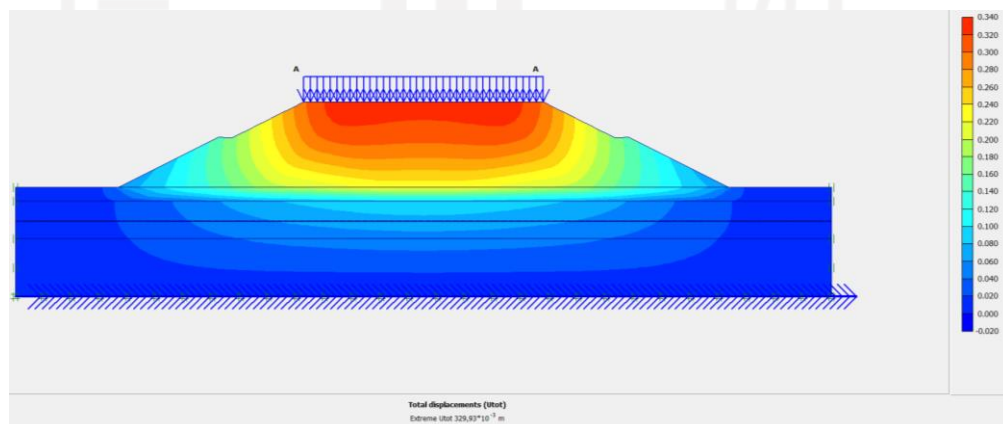


Gambar 5.7 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

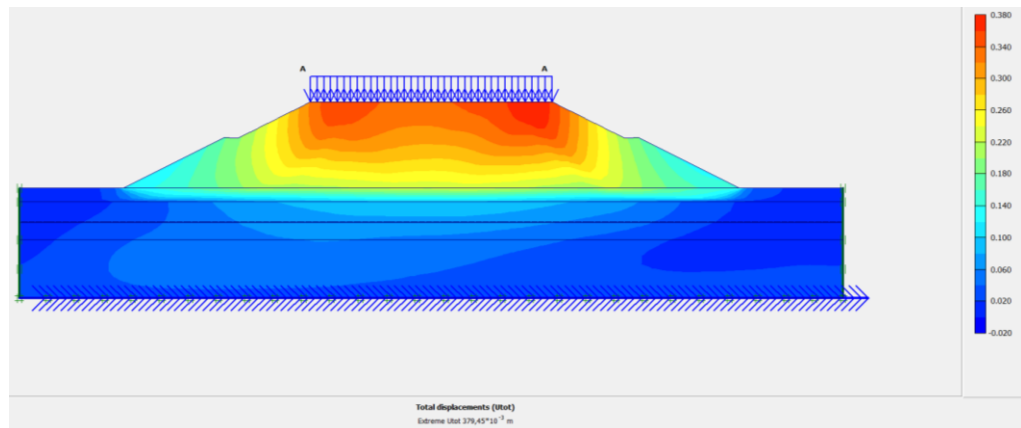


**Gambar 5.8 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

Pada timbunan yang diberi beban struktur perkerasan terjadi *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada tanah timunan bagian tengah, bagian ini ditandai dengan warna merah. Sedangkan pada timbunan yang diberi beban struktur dan gempa, *displacement* terbesar terjadi pada bagian kanan lereng. Besarnya nilai total *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban struktur sebesar $329,93 \times 10^{-3}$ m, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban struktur dan gempa sebesar $379,45 \times 10^{-3}$ m. Total *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 berikut.

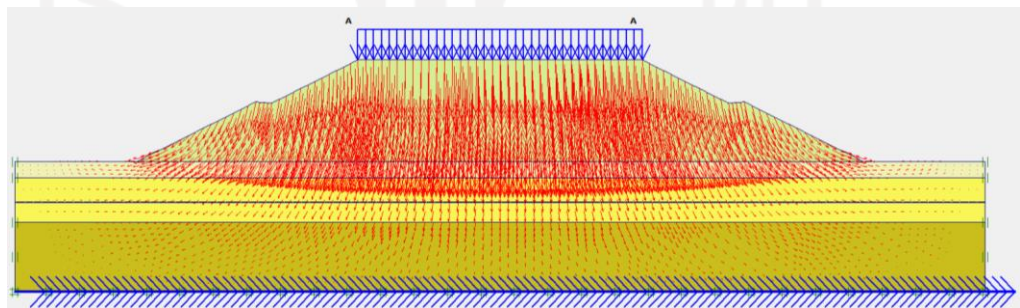


**Gambar 5.9 Total Displacement Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur**

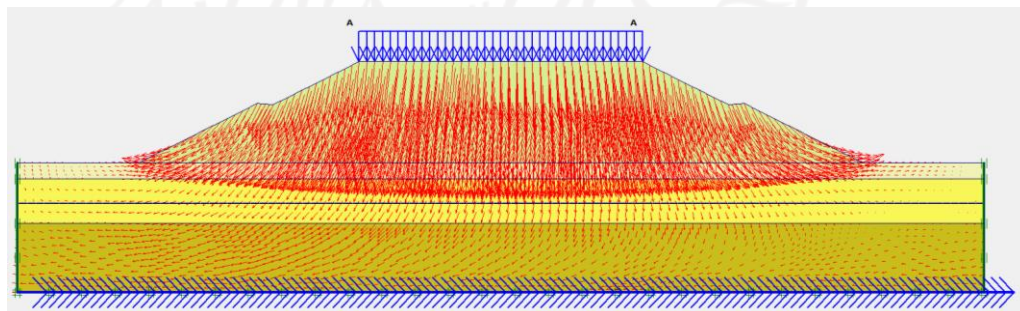


Gambar 5.10 Total Displacement Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Arah pergerakan tanah akibat beban struktur didominasi oleh pergerakan secara vertikal, sedangkan pergerakan akibat beban dan gempa terjadi gerakan memutar dikarenakan adanya gaya gempa. Arah pergerakan pada timbunan lereng 12,5m dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 berikut.

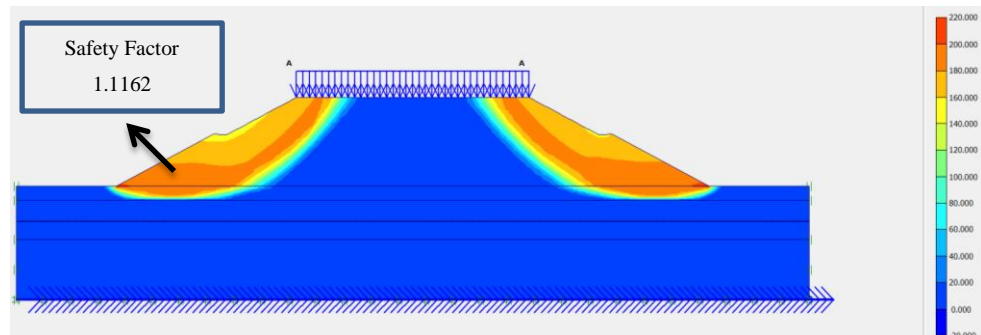


Gambar 5.11 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

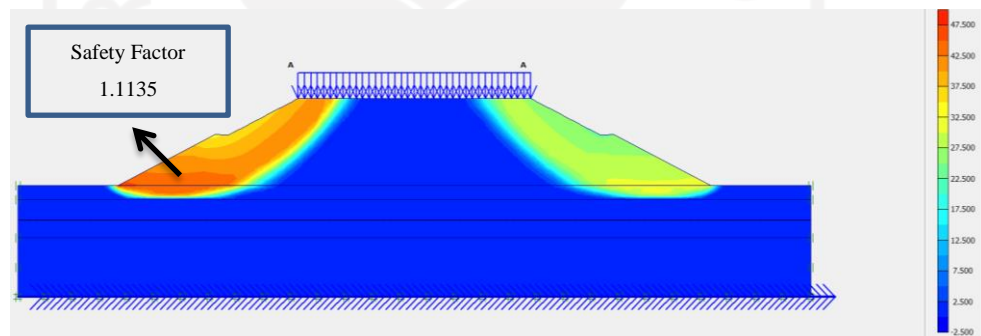


**Gambar 5.12 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

Potensi kelongsoran akibat beban struktur dan beban dengan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan Gambar 5.14 berikut.

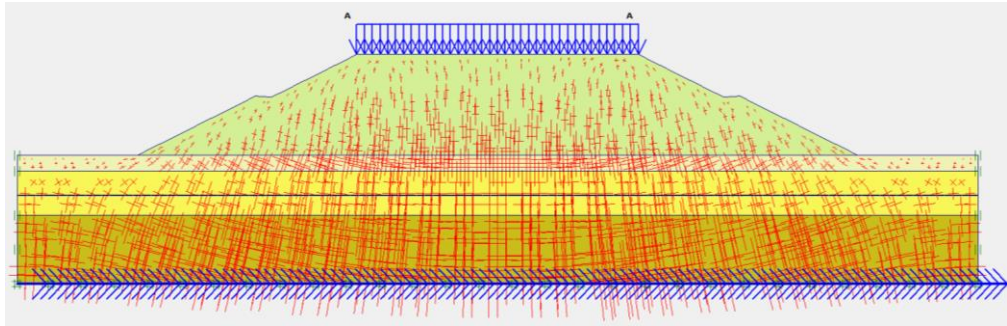


**Gambar 5.13 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**

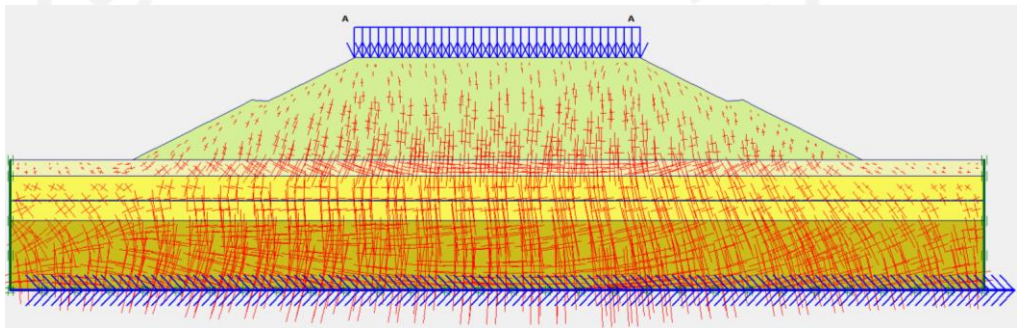


**Gambar 5.14 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

Besarnya nilai *effective stresses* pada lereng timbunan 12,5m akibat beban struktur sebesar $-514,94 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-517,33 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 berikut.

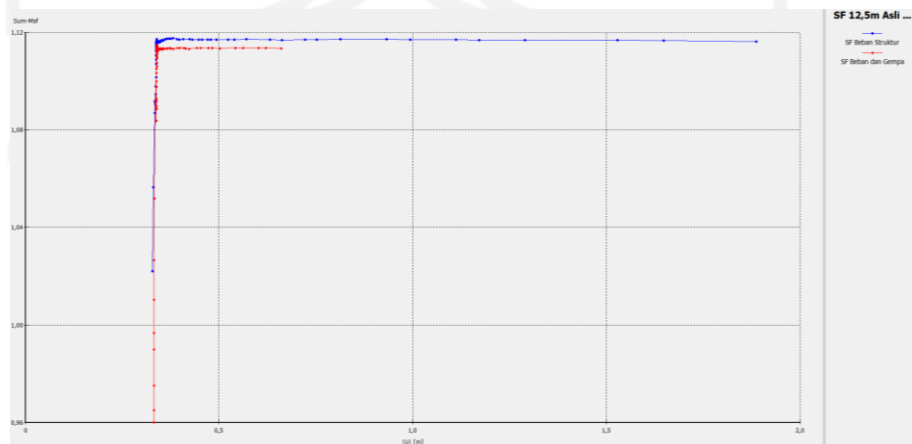


Gambar 5.15 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5.16 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

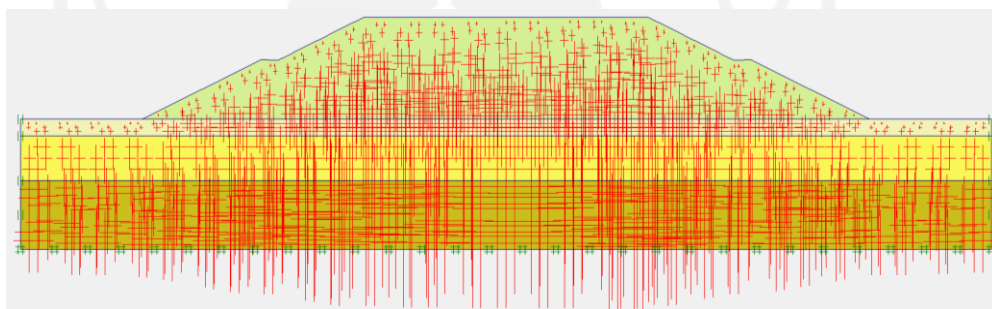
Nilai angka aman lereng timbunan 12,5m yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur sebesar 1,1162 sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,1135. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Kurva SF Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa
Konstruksi

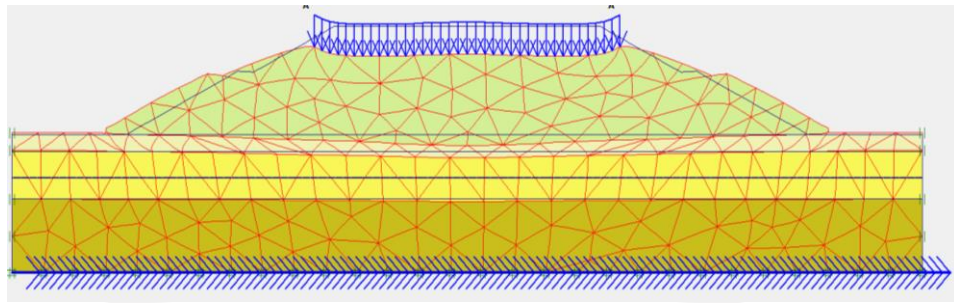
3. Kondisi pasca konstruksi

Kondisi pasca konstruksi yaitu saat timbunan lereng sudah dapat difungsikan. Pada kondisi pasca konstruksi tanah timbunan menjadi bersifat *undrainded* karena tanah sudah tak terdrainasi lagi akibat adanya struktur jalan. Pada kondisi ini juga beban lalu lintas menjadi parameter beban tambahan untuk analisis. Jaringan elemen hingga (*meshing*) kondisi pasca konstruksi sama dengan saat masa konstruksi pada Gambar 5.5. *Initial soil stresses* dilakukan *generate* kembali karena kondisi tanah awal untuk pasca konstruksi telah selesai penimbunan setinggi 12,5m. Hasil *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.

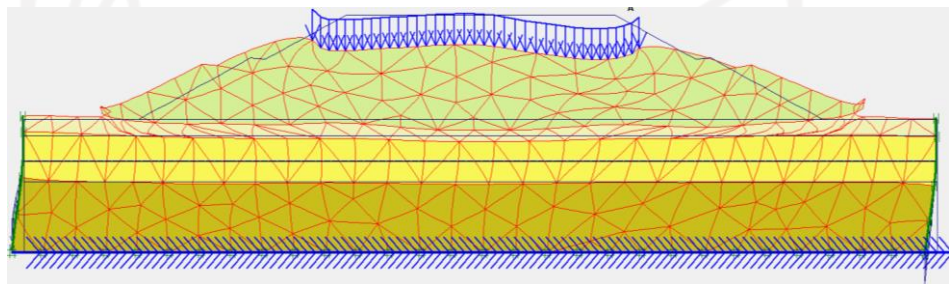


Gambar 5.18 *Initial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pasca Konstruksi

Kemudian untuk analisis selanjut yaitu analisis perhitungan (*calculation*) pasca konstruksi tanah asli tanpa perkuatan mempunyai lima tahapan. Tahap pertama yaitu analisis berat timbunan setinggi 12,5m. Tahap kedua yaitu analisis akibat beban struktur perkerasan jalan. Tahap ketiga yaitu analisis akibat beban struktur jalan dan gempa. Tahap keempat yaitu analisis akibat beban struktur jalan dan gempa. Tahap keempat yaitu analisis faktor keamanan (*SF*) akibat beban struktur perkerasan jalan dan lalu lintas. Tahap kelima yaitu analisis faktor keamanan (*SF*) akibat beban struktur dan gempa. Adapun hasilnya dapat dilihat dalam Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 sebagai berikut.

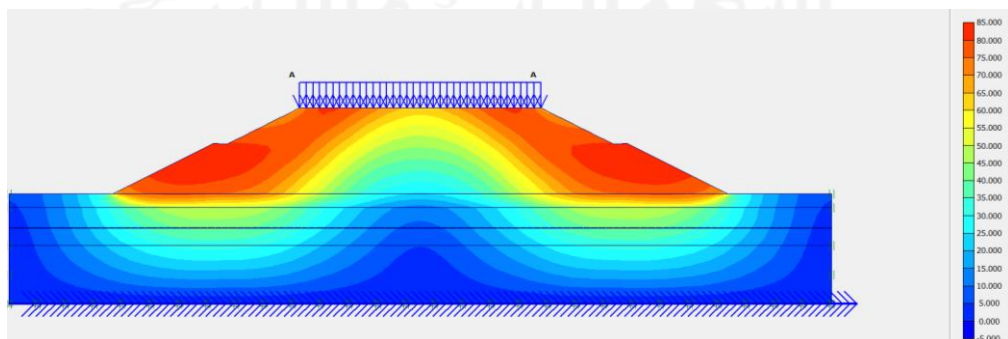


Gambar 5.19 Deformed Mesh Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi akibat Beban Struktur

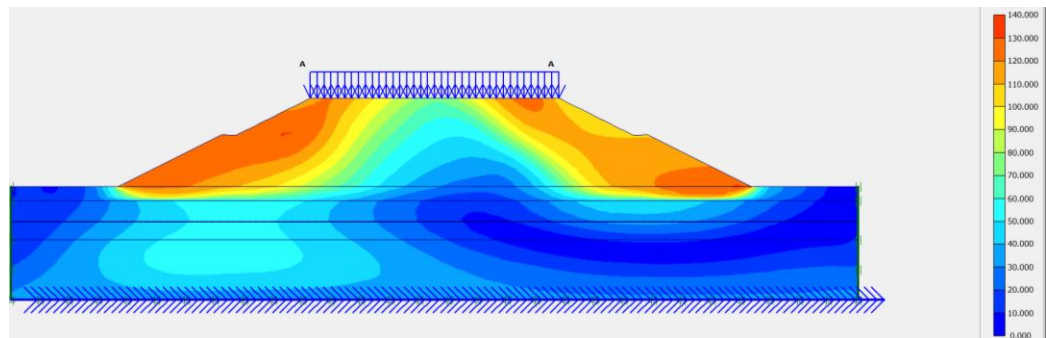


Gambar 5.20 Deformed Mesh Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi akibat Beban Struktur dan Gempa

Kemudian untuk besarnya nilai total *displacement* pada timbunan lereng tanah asli 12,5m paska konstruksi akibat beban struktur perkerasan lalu lintas mempunyai nilai sebesar $83,33 \times 10^{-3}$ m, sedangkan akibat beban dan gempa didapatkan nilai sebesar $131,55 \times 10^{-3}$ m. Adapun nilai dari hasil nilai total *displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 sebagai berikut.

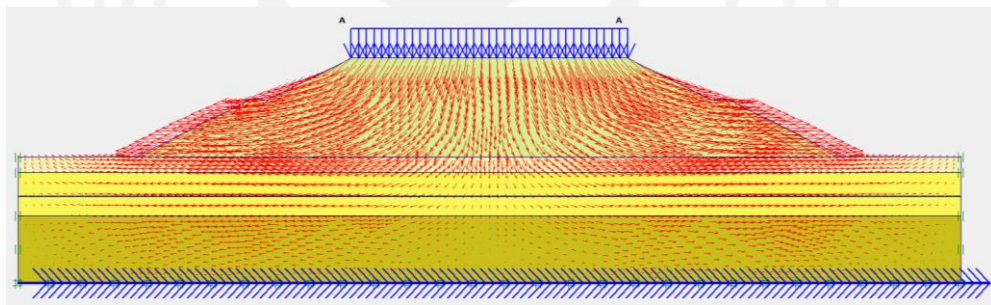


Gambar 5.21 Nilai Total Displacement Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Kontruksi Akibat Beban Lalu Lintas

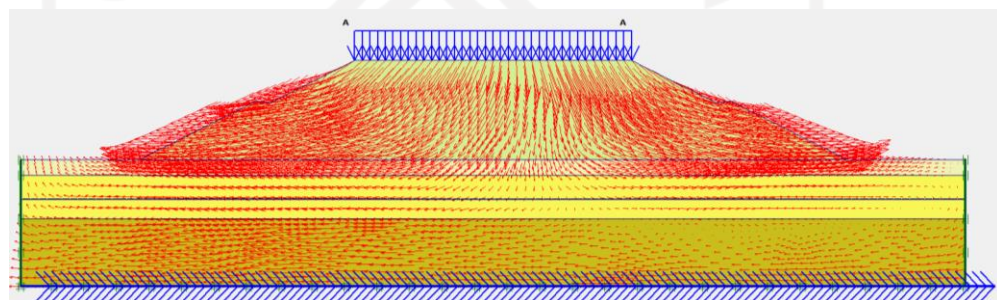


Gambar 5.22 Nilai *Total Displacement* Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Kontruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Adapun hasil dari arah pergerakan timbunan tanah asli 12,5m paska konstruksi pada saat dimasukan beban struktur lalu lintas dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.23 dan Gambar 5.24 sebagai berikut.

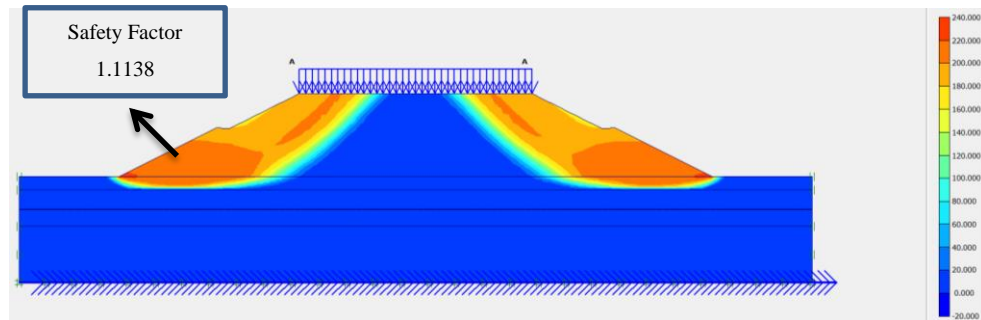


Gambar 5.23 Arah Pergerakan Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi akibat Beban Lalu Lintas

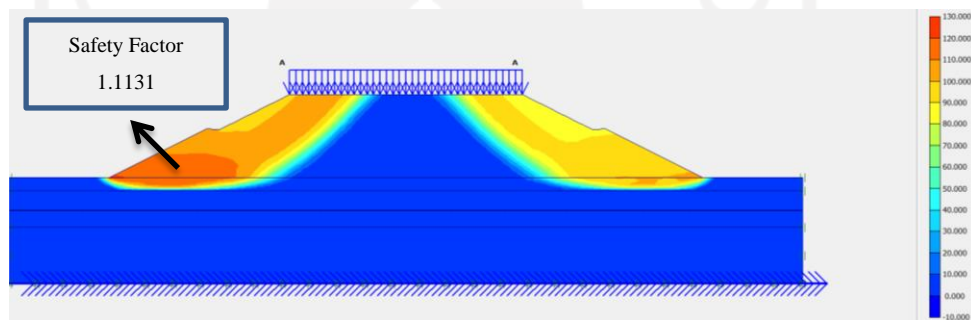


Gambar 5.24 Arah Pergerakan Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Kemudian untuk potensi kelongsoran pada timbunan lereng tanah asli 12,5m paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26 sebagai berikut.

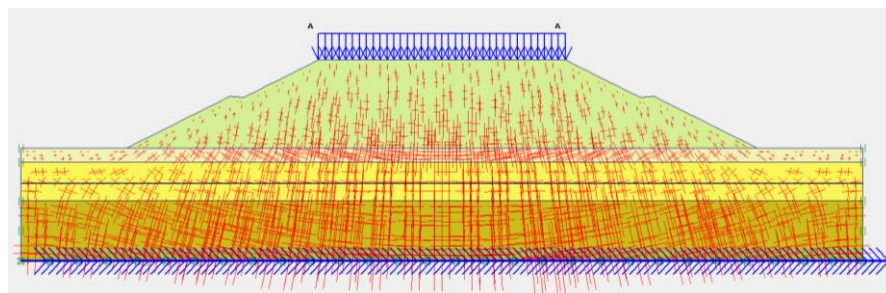


Gambar 5.25 Potensi Kelongsoran Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Kontruksi akibat Beban Lalu Lintas

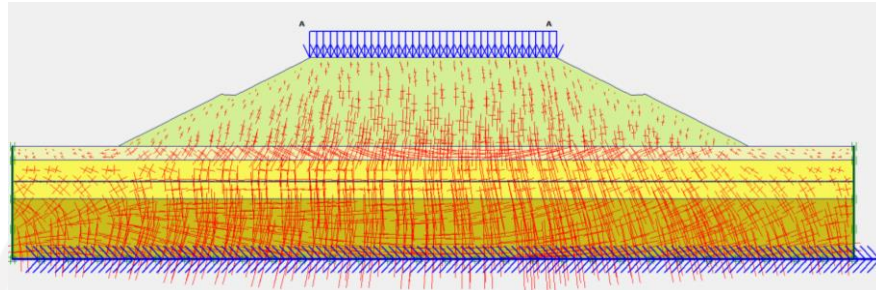


Gambar 5.26 Potensi Kelongsoran Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Kemudian untuk nilai *effective stresses* pada timbunan lereng tanah asli 12,5m paska kontruksi akibat beban struktur lalu lintas mempunyai nilai sebesar $-517,48 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban struktur lalu lintas dan beban gempa mempunyai nilai sebesar $-515,92 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasil yang di dapat pada Gambar 5.27 dan Gambar 5.28 sebagai berikut.

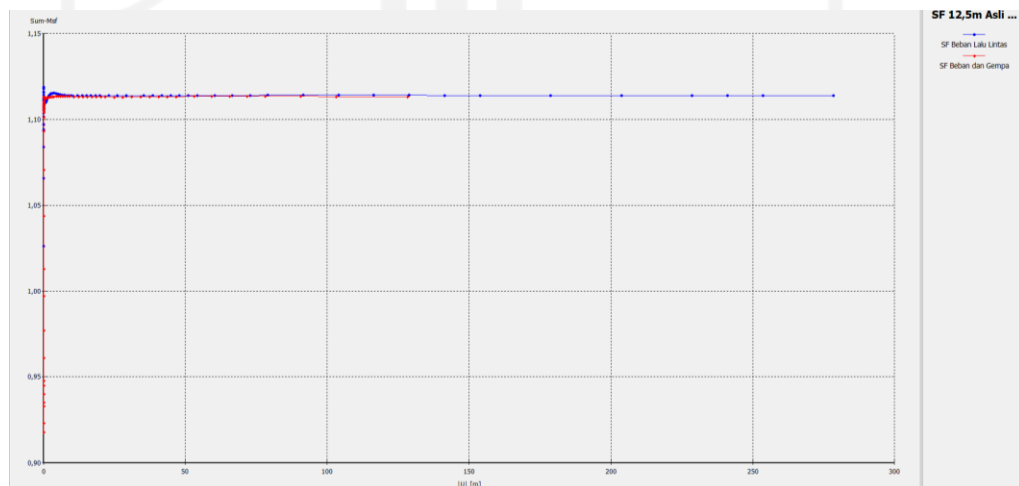


Gambar 5.27 Nilai *Effective Stresses* pada Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Kontruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas



Gambar 5.28 Nilai *Effective Stresses* pada Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Kontruksi akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Untuk nilai angka aman (SF) pada timbunan lereng tanah asli 12,5m meter tanpa perkuatan akibat beban struktur lalu lintas mempunyai nilai sebesar 1,1138 sedangkan akibat beban dan gempa mempunyai nilai sebesar 1,1135. Adapun hasil dari nilai angka aman (SF) dapat dilihat dalam Gambar 5.29 berikut.



Gambar 5.29 Nilai Angka Aman (SF) Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m Paska Konstruksi

4. Rekapitulasi Hasil Angka Aman (SF) dan konsolidasi

Adapun rekapitulasi dari hasil analisis angka aman (SF) dan konsolidasi pada timbunan lereng asli dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Angka Aman Pada Kondisi Tanah Asli

Angka Aman (SF)	Kondisi Tanah Asli			
	Masa Konstruksi		Pasca Konstruksi	
	Beban Struktur	Beban & Gempa	Beban Struktur	Beban & Gempa
Timbunan 2m	2,1545	2,1342	1,5324	1,5147
Timbunan 4m	1,5590	1,5553	1,2836	1,2720
Timbunan 6m	1,3245	1,3242	1,1992	1,1937
Timbunan 8m	1,2752	1,2750	1,1807	1,1781
Timbunan 10m	1,1928	1,1925	1,1576	1,1549
Timbunan 12,5m	1,1161	1,1135	1,1138	1,1131

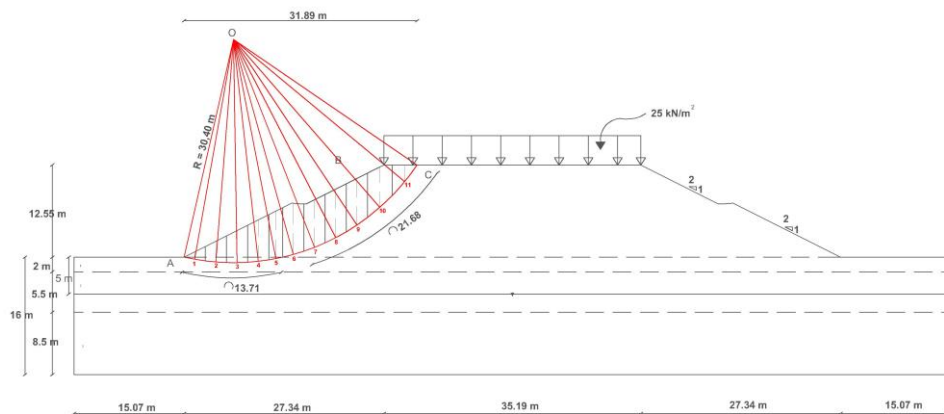
Dapat dilihat pada Tabel 5.6 angka aman (SF) pada timbunan m dan m memiliki nilai *safety factor* yang lebih dari yang batas aman yang ditentukan sebesar 1,3, tetapi pada timbunan m dan m masih belum memenuhi syarat $SF > 1,3$. Pada tinggi timbunan yang belum memenuhi syarat, maka dilakukan analisis kembali dengan menambahkan perbaikan tanah pada muka tanah yang digali sedalam 1m untuk dilakukan perbaikan (*replacement*). Kemudian hasil konsolidasi pada timbunan lereng tanah asli dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Hasil Konsolidasi pada Timbunan Lereng Tanah Asli

Konsolidasi Tanah Asli		
Timbunan	Penurunan	Satuan
2m	0,05331	m
4m	0,07578	m
6m	0,09666	m
8m	0,10366	m
10m	0,12202	m
12,5m	0,14473	m

5.2.2 Perhitungan Manual Dengan Metode *Fellenius*

Karena dalam analisis dengan program Plaxis 8.6 pada tanah asli dengan tinggi timbunan 12,5m tidak menunjukkan nilai angka aman sesuai syarat aman pada timbunan lereng jalan, maka digunakan perhitungan manual dengan metode *fellenius* untuk membandingkan dan mengkonfirmasi nilai angka aman lereng tersebut. Dari program plaxis didapatkan garis potensi kelongsoran pada Gambar 5. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa garis potensi kelongsorannya terbentuk hingga kaki lereng dengan R (jari-jari) 30,40m dan pada perhitungan ini akan dibagi menjadi 11 pias irisan. Gambar potongan tiap pias pada lereng dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut.



Gambar 5.30 Analisis Stabilitas Sta. 3+550 dengan Metode *Fellenius*

Bidang longsor pada perhitungan ini akan dibagi menjadi 11 irisan. Panjang total dari bidang longsor arah horizontal adalah 31,89 m, maka di setiap piasnya akan mempunyai panjang horizontal $31,89/11 = 2,9$ m. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan stabilitas lereng menggunakan metode *fellenius*.

1. Mengukur panjang bidang longsor yang terjadi pada setiap pias (L). Rekapitulasi bidang longsor untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5.
2. Perhitungan berat irisan tanah

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Untuk irisan yang terdapat beban di atasnya, maka berat dari irisan dapat diperhitungkan dengan rumus berikut.

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

Dimana nilai q merupakan besarnya beban jalan (kN/m^2) dan nilai L merupakan lebar irisan yang terkena beban (m).

Kemudian dibawah ini merupakan contoh perhitungan mencari berat irisan tanah dari irisan 1 dan irisan 11 untuk badan jalan tanpa perkuatan. Untuk hasil perhitungan berat irisan 1 sampai 11 dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

$$W_1 = \gamma \times A_1 = ((16 \times 2,103) + (14 \times 0,815)) = 45,058 \text{ kN}$$

$$W_{11} = (\gamma \times A_1) + (q \times L) = (16 \times 7,484) + (25 \times 3,4) = 204,744 \text{ kN}$$

3. Mengukur besar sudut (α) dan radians setiap pias irisan pada bidang longsor. Rekapitulasi besar sudut pada bidang longsor untuk setiap pias irisan dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

$$\begin{aligned} Rad_1 &= \alpha \times \frac{\pi}{180} \\ &= -10 \times \frac{\pi}{180} \\ &= -0,17453 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rad_{11} &= \alpha \times \frac{\pi}{180} \\ &= 50 \times \frac{\pi}{180} \\ &= 0,87266 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai $W \sin \alpha$ untuk setiap pias.

$$\begin{aligned} \text{Pias 1} &= W \times \sin \alpha \\ &= 45,058 \times \sin (-10) \\ &= -7,824 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pias 11} &= W \times \sin \alpha \\ &= 204,744 \times \sin (50) \\ &= 156,843 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan $W \sin \alpha$ untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

5. Menghitung nilai $W \cos \alpha$ untuk setiap pias.

$$\begin{aligned} \text{Pias 1} &= W \times \cos \alpha \\ &= 45,058 \times \cos (-10) \\ &= 44,373 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pias 11} &= W \times \cos \alpha \\
 &= 204,744 \times \cos (50) \\
 &= 131,607 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan $W \cos \alpha$ untuk setiap pias arisan dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Berdasarkan hasil pengukuran dari geometri timbunan yang ada didapatkan panjang garis lengkung pada tanah lapis 1 (A-B) sebesar 22,72 m, dan panjang garis lengkung pada tanah lapis 2 (B-C) sebesar 13,71 m. Setelah panjang garis lengkung diketahui, maka dilanjutkan dengan menghitung nilai tahanan kelongsoran yang dikerahkan oleh komponen kohesi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \sum c_{iai} &= (10 \times 22,72) + (10,1043 \times 13,71) \\
 &= 365,72995 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nilai tahanan longsoran oleh komponen gesekan pada kedua lapisan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 W_i \cos \theta - U_i \times \tan \varphi &= (1471,4125 \times \tan(25)) + (812,36326 \times \tan(8)) \\
 &= 800,3012 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Pada lereng timbunan jalan terdapat beban merata yang dihasilkan dari beban lalu lintas dan beban perkerasan sebesar 25 kN/m^2 . Maka momen yang dihasilkan dari beban merata tersebut diperhitungkan sebagai momen yang menggerakkan tanah. Perhitungan momen tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 M_q &= (q \times A) \\
 &= (25 \times 11,392) \\
 &= 284,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi dari hasil perhitungan manual tanpa nilai muka air tanah dengan metode Fellenius dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Menggunakan Metode *Fellenius*

irisan no	Lapisan Tanah	A (m ²)	Berat Wi (kN)	θ (°)	Radian	Wi.cos θ_i (kN)	Wi.sin θ_i (kN)	Wi cos θ - Ui= ui. ai (kN)
1	1	2,103	29,442	-10	-0,17453	43,442	-7,6599	43,4428
	2	0,815	14,67					
2	1	6,305	88,27	-5	-0,08727	121,825	-10,658	121,8246
	2	1,89	34,02					
3	1	10,507	168,112	1	0,01745	198,238	3,4602	198,2378
	2	2,154	30,156					
4	1	14,709	235,344	6	0,10472	256,513	26,961	256,5131
	2	1,613	22,582					
5	1	11,922	190,752	11	0,19198	192,346	37,388	192,3459
	2	0,371	5,194					
6	1	19,748	315,968	16	0,27925	303,728	87,093	303,7279
7	1	18,726	299,616	21	0,36652	279,716	107,373	279,7156
8	1	19,078	305,248	27	0,47124	271,978	138,5796	271,9779
9	1	18,303	292,848	34	0,59341	242,782	163,758	242,7819
10	1	18,211	291,376	41	0,71558	241,602	210,021	241,6021
11	1	7,484	119,744	50	0,87266	131,607	156,843	131,6069
JUMLAH						2283,775	913,159	

6. Menghitung nilai *safety factor* (SF) pada Sta. 3+550

Nilai *safety factor* atau angka keamanan pada lereng timbunan asli dengan perhitungan manual menggunakan Metode *Fellenius* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{SF} &= \frac{(\sum c_{ial}) + ((W_i \cos \theta - U_i) \times \tan \varphi)}{(W_i \sin \alpha) + (\text{Beban} \times \text{Luas})} \\ &= \frac{(365,7299 + 800,3012)}{(913,159001 + 284,8)} \\ &= 1,0147 \end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan badan jalan tanpa perkuatan dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual, dimana tidak memperhitungkan pengaruh beban gempa yaitu sebesar 1,0147. Hasil tersebut tidak berbeda jauh dengan hasil analisis badan jalan tanpa perkuatan dan tanpa beban gempa dengan menggunakan program Plaxis 8.6 yaitu sebesar 1,116.

5.3 Lereng Timbunan Tanah dengan *Replacement* Tanpa Perkuatan

5.3.1 Analisis Menggunakan Program Plaxis

Hasil dari analisis perhitungan menggunakan program Plaxis 8.6 yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng tanah *replacement* timbunan dengan tinggi 12,5m. Penjelasan analisis meliputi pemodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi paska konstruksi. Hasil analisis pada timbunan lereng tanah *replacement* pada tinggi timbunan 2m dapat dilihat pada Lampiran 10, lereng tanah *replacement* pada tinggi timbunan 4m dapat dilihat pada Lampiran 11, lereng tanah *replacement* pada tinggi timbunan 6m dapat dilihat pada Lampiran 12, lereng tanah *replacement* pada tinggi timbunan 8m dapat dilihat pada Lampiran 13, dan lereng tanah *replacement* pada tinggi timbunan 10m dapat dilihat pada Lampiran 14m.

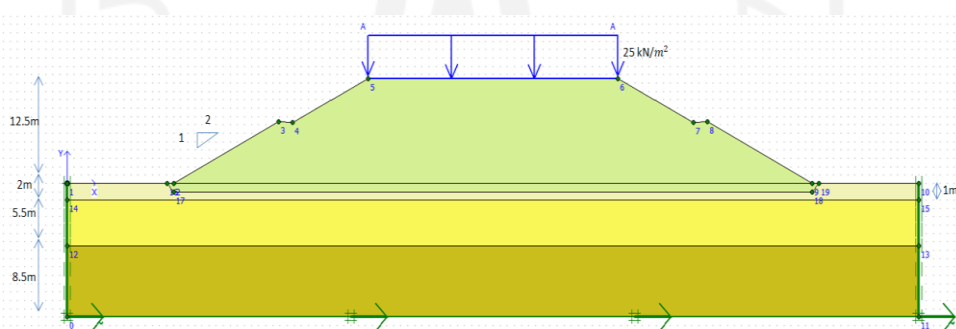
1. Pemodelan awal lereng

Pemodelan lereng dengan *replacement* pada tanah dasar menggunakan jenis tanah yang sesuai dengan data parameter tanah pada proyek jalan tol Cibitung – Cilincing. *Replacement* tanah dibuat dengan melakukan galian sedalam satu

meter dibawah tanah asli, kemudian ditimbun menggunakan timbunan tanah. Beban yang diinpuy ke dalam progam Plaxis adalah beban struktur perkerasan pada kondisi masa konstruksi dan beban lalu lintas untuk kondisi pada paca konstruksi. Beban gempa yang digunakan adalah data SMC berupa grafik percepatan dan waktu gempa yang sesuai dengan gempa pada daerah Bekasi. Titik koordinat yang dimasukkan kedalam program Plaxis 8.6 dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan untuk pemodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut.

Tabel 5.9 Koordinat Lereng

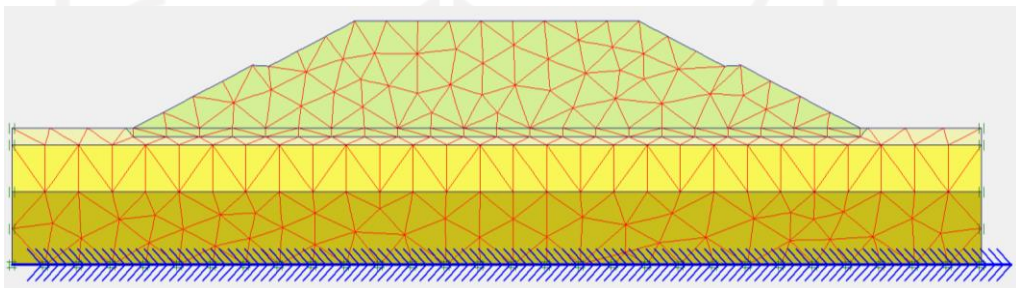
No.	X (m)	Y (m)	No.	X (m)	Y (m)
1	0	0	12	0	-7,5
2	120	0	13	15	0
3	120	-2	14	29,804	7,369
4	0	-2	15	31,804	7,369
5	0	-7,5	16	42,404	12,549
6	120	-7,5	17	77,596	12,549
7	120	-2	18	88,196	7,369
8	120	-16	19	90,196	7,369
9	0	-16	20	104,2	0
10	14	0	21	104,2	-1
11	15	-1	22	105,2	0



Gambar 5.31 Pemodelan Lereng Timbunan 12,5m Replacement Tanpa Perkuatan

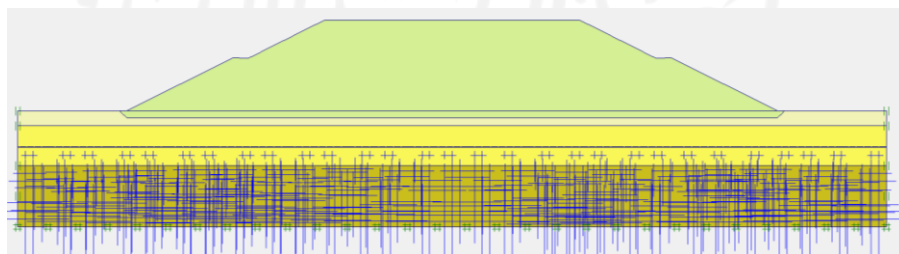
2. Kondisi masa konstruksi

Kondisi masa konstruksi terlaksana saat pembuatan timbunan lereng, pada masa konstruksi tanah timbunan yang di *input* masih bersifat *drained* karena tanah masih dapat terdrainase dengan baik. Beban merata yang terjadi pada kondisi masa konstruksi sebesar 10 kN/m^2 akibat dari beban struktur perkerasan. Kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*) setelah dimasukan parameter tanah dan bahan. Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.32 berikut.

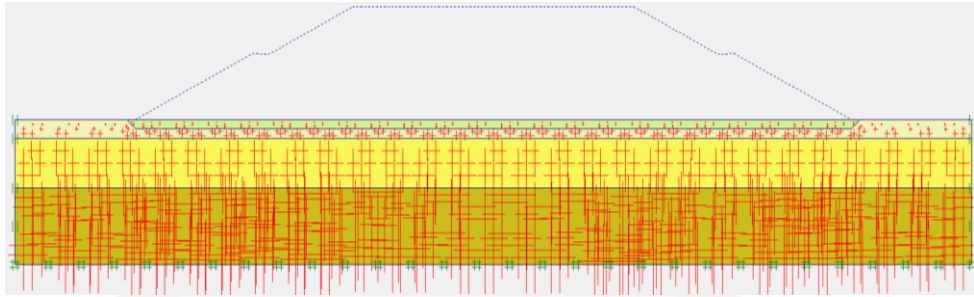


Gambar 5.32 Meshing pada Lereng Timbunan 12,5m Replacement Tanpa Perkutan

Kemudian setelah dilakukan *meshing* maka dilanjutkan dengan kondisi awal (*intial condition*). Pada analisis ini dilakukan proses tekanan air (*generate water pressures*) sesuai dengan data muka air tanah. Kemudian dilanjutkan dengan konfigurasi geometri awal langsung dengan perhitungan *general intial stresses*. Hasil dari *generate water pressures* dan *Initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 berikut.

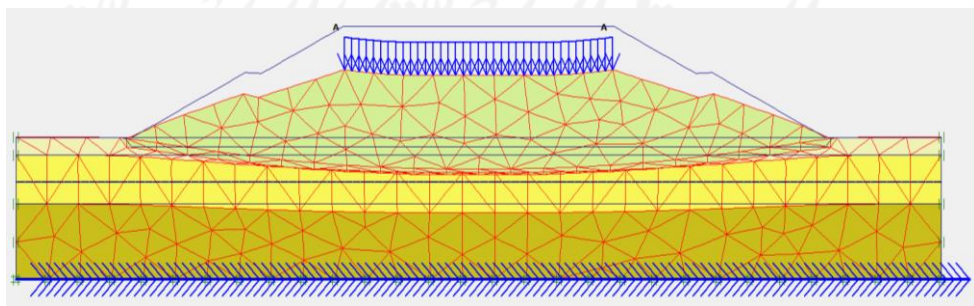


Gambar 5.33 Generate Water Pressures pada Lereng Timbunan 12,5m Replacement Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi

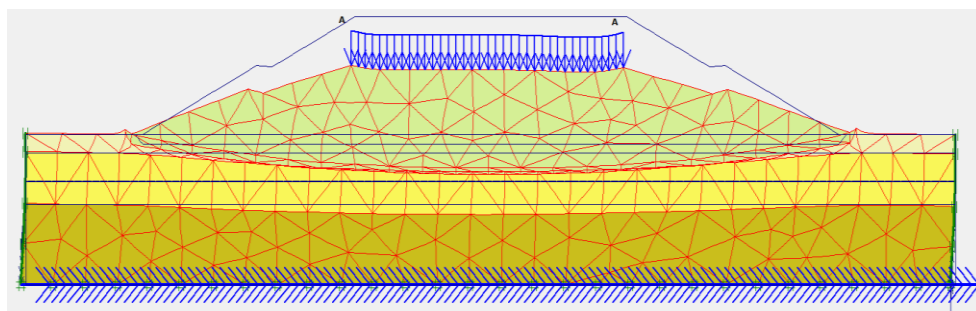


Gambar 5.34 *Intial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 12,5m *Replacement* Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi

Dilanjutkan dengan tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan 12,5m tanah *replacement* tanpa perkuatan dengan delapan tahap. Tahap pertama merupakan analisis perhitungan galian *base* sedalam 1m. Tahap kedua merupakan analisis kondisi diberi timbunan *base* menggunakan tanah timbunan. Tahap ketiga merupakan analisis perhitungan akibat adanya timbunan setinggi 12,5m. Tahap keempat merupakan analisis perhitungan akibat diberi beban struktur pada permukaan lereng timbunan. Tahap kelima merupakan perhitungan analisis akibat beban gempa. Tahap keenam merupakan perhitungan nilai angka aman akibat beban struktur. Selanjutnya tahap ketujuh merupakan perhitungan nilai angka aman akibat beban gempa, dan tahap kedelapan merupakan perhitungan konsolidasi penurunan, hasil *deformed mesh* pada timbunan lereng 12,5m dapat dilihat pada Gambar 5.35 dan Gambar 5.36 berikut ini.

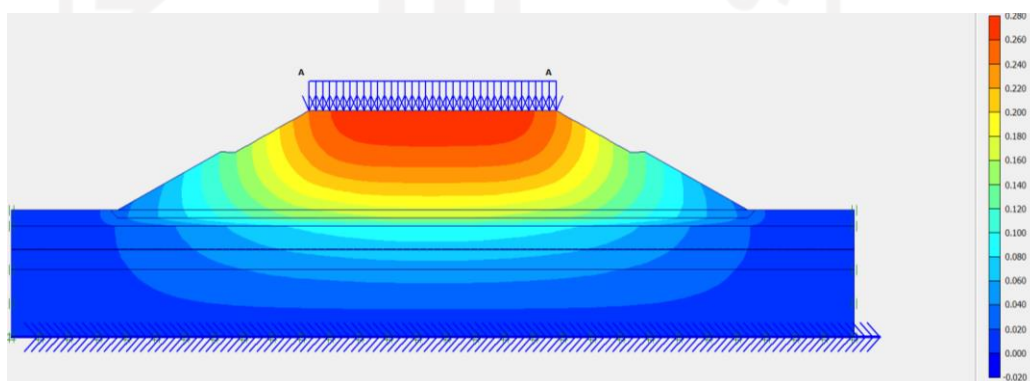


Gambar 5.35 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12,5m *Replacement* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

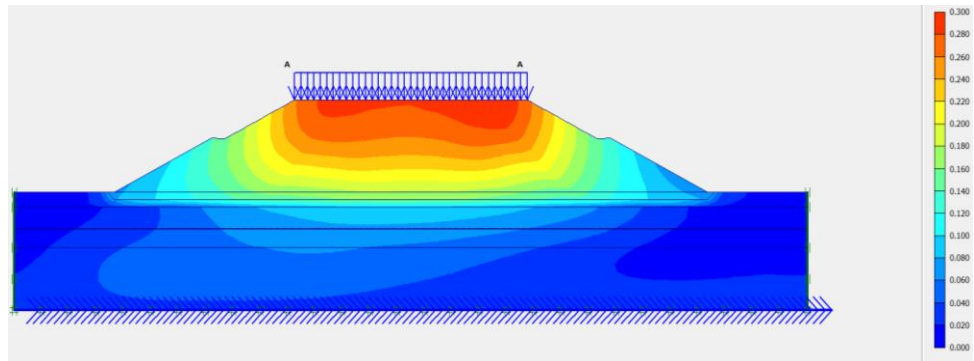


**Gambar 5.36 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12,5m Replacement Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

Timbunan yang diberi beban struktur terjadi *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada tanah timbunan bagian tengah, bagian ini diilustrasikan dengan warna merah yang berada ditengah. Sedangkan pada timbunan yang diberi beban struktur dan gempa, *displacement* terbesar terjadi pada bagian tengah mengarah ke kanan lereng. Besarnya nilai total *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban struktur sebesar $275,43 \times 10^{-3}$ m, sedangkan pada timbunan lereng yang diberi beban struktur dan gempa sebesar $294,49 \times 10^{-3}$ m. Total *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.37 dan Gambar 5.38 berikut ini.

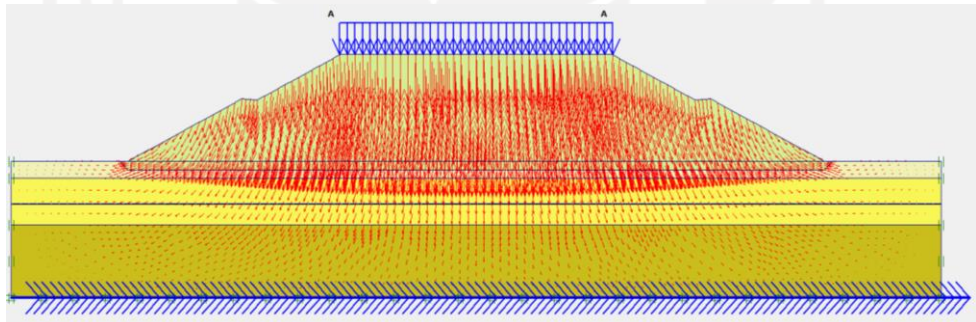


**Gambar 5.37 Total Displacement Lereng Timbunan 12,5m Replacement Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur**

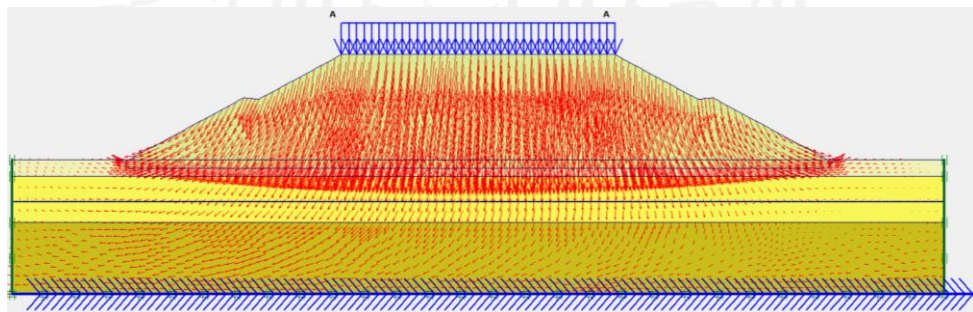


**Gambar 5.38 Total Displacement Lereng Timbunan 12,5m Replacement
Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

Pergerakan tanah terjadi akibat beban struktur didominasi oleh pergerakan secara vertikal, sedangkan pergerakan akibat beban dan gempa terjadi gerak memutar dikarenakan adanya beban gempa. Arah pergerakan pada timbunan lereng 12,5m dapat dilihat pada Gambar 5.39 dan Gambar 5.40 berikut.

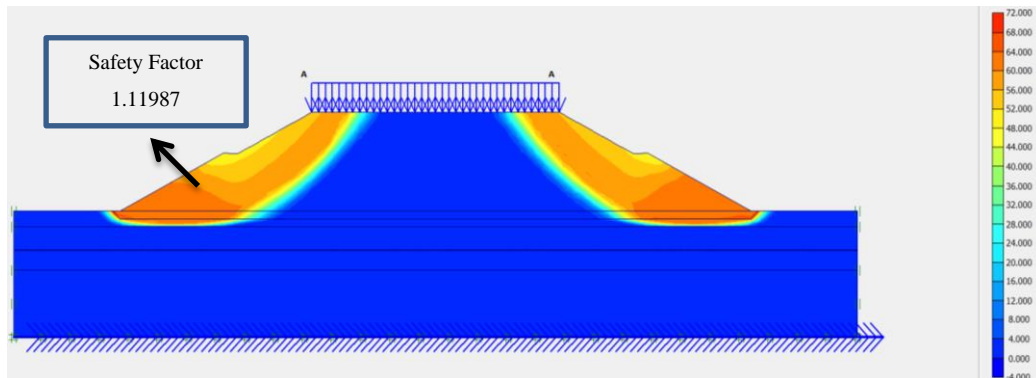


**Gambar 5.39 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Replacement
Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**

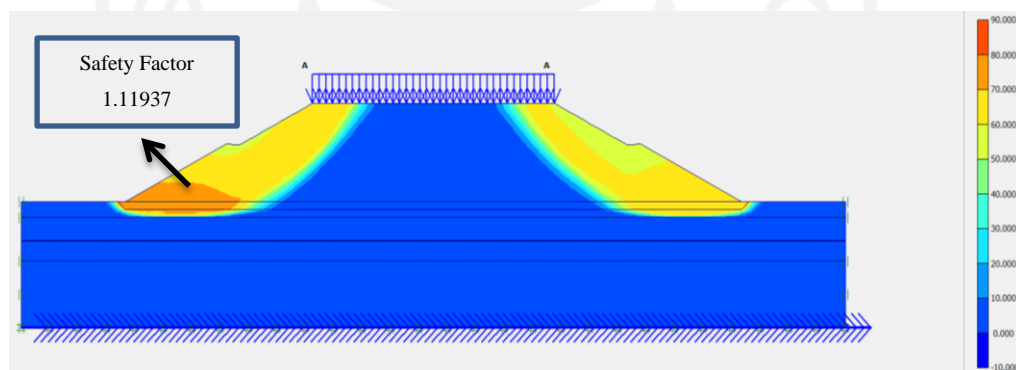


**Gambar 5.40 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Replacement
Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

Pemodelan timbunan mengalami potensi kelongsoran akibat beban struktur dan beban dengan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.41 dan Gambar 5.42 berikut.

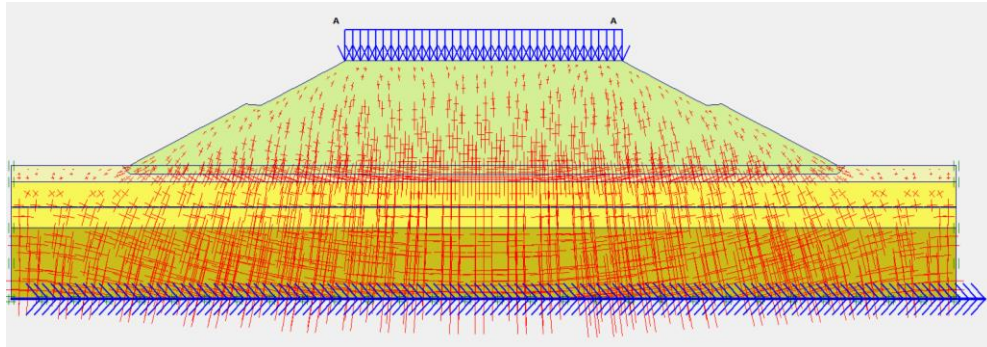


Gambar 5.41 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

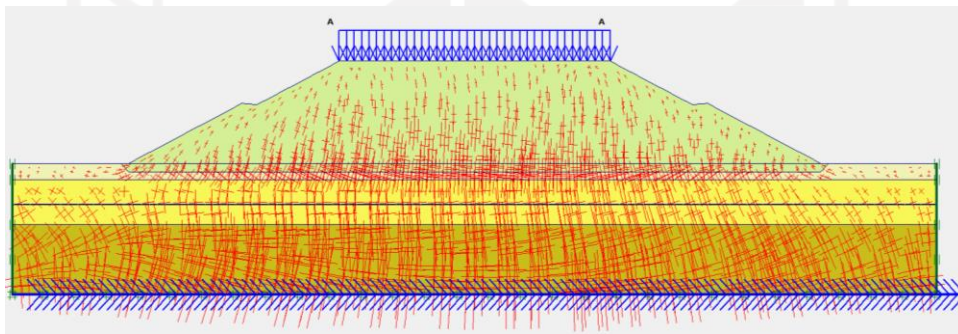


Gambar 5.42 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m *Replacement* Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Hasil pada analisis perhitungan program Plaxis menunjukkan bahwa garis-garis yang menunjukkan arah dan besarnya tegangan efektif semakin ke bawah garis-garis itu semakin terlihat banyak. Besarnya nilai *effective stresses* pada lereng timbunan 12,5m akibat beban struktur sebesar $-520,26 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-522,74 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.43 dan Gambar 5.44 berikut.

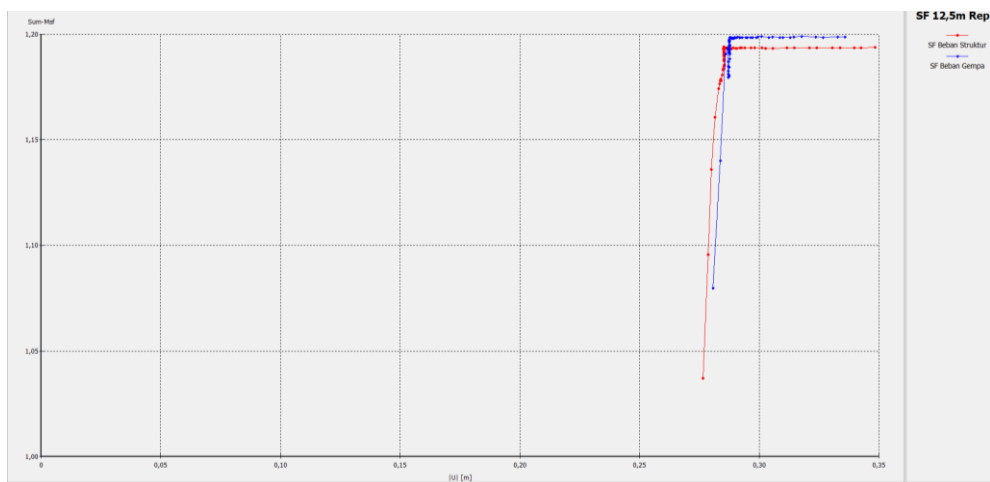


**Gambar 5.43 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12,5m Replacement Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur**



**Gambar 5.44 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12,5m Replacement Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

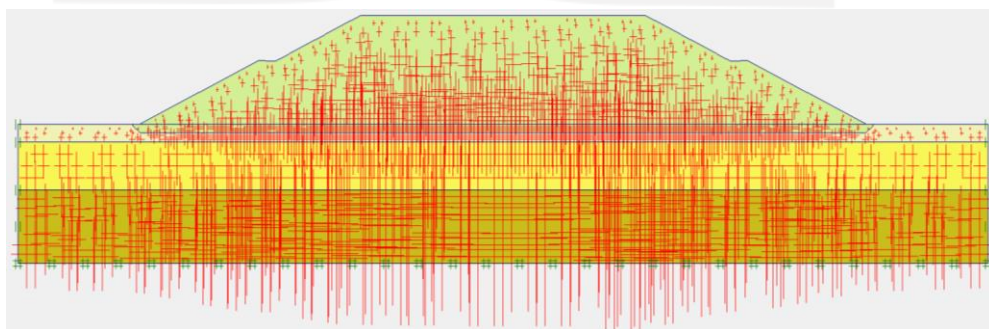
Nilai angka aman lereng timbunan 12,5m yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur sebesar 1,1987 sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,1937. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.45 berikut.



Gambar 5.45 Kurva SF Lereng Timbunan 12,5m Replacement Masa Konstruksi

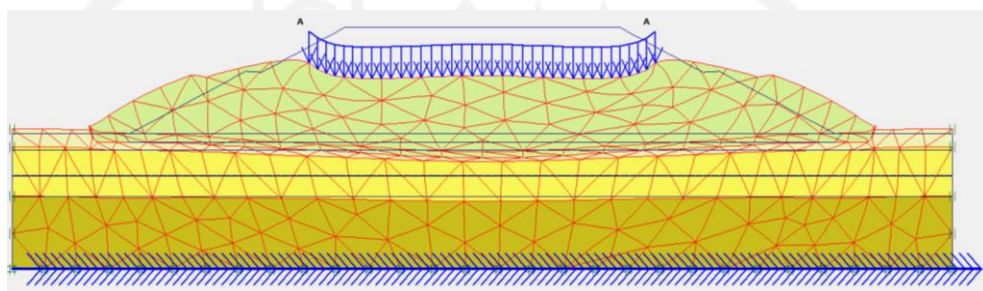
3. Kondisi pasca konstruksi

Kondisi pasca konstruksi merupakan saat timbunan lereng sudah selesai dan dapat difungsikan. Pada kondisi pasca konstruksi tanah timbunan menjadi berifat *undrained* karena tanah sudah tak terdrainasi lagi akibat adanya struktur jalan. Pada kondisi ini beban lalu lintas juga menjadi parameter beban tambahan pada analisis. *Initial soil stresses* dilakukan kembali karena kondisi tanah awal untuk pasca konstruksi telah selesai penimbunan setinggi 12,5m. Adapun hasil dari *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.46 sebagai berikut.

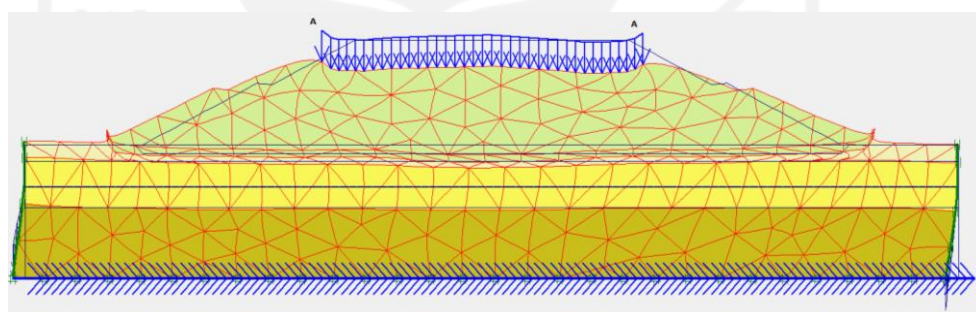


Gambar 5.46 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 12,5m Replacement Tanpa Perkuatan Pasca Konstruksi

Untuk analisis selanjutnya yaitu analisis perhitungan (*calculation*) paska konstruksi tanah asli dengan *replacement* tanpa perkuatan. Tahapan perhitungan pada kondisi ini umumnya sama seperti pada tahapan masa konstruksi, hanya saja tidak ada tahapan memasukan kondisi timbunan 12,5m karena sudah dianggap ada. Hasil dari analisis perhitungan kondisi ini dapat dilihat dalam Gambar 5.47 dan Gambar 5.48 sebagai berikut.

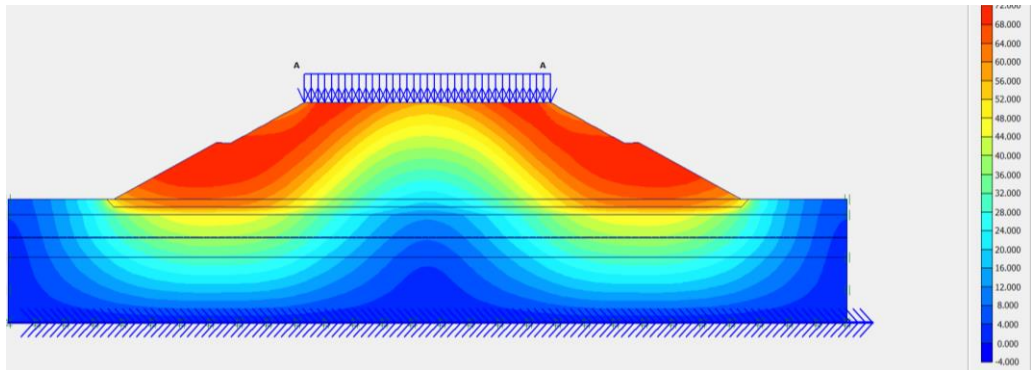


Gambar 5.47 Deformed Mesh Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan Replacement Paska Konstruksi akibat Beban Struktur

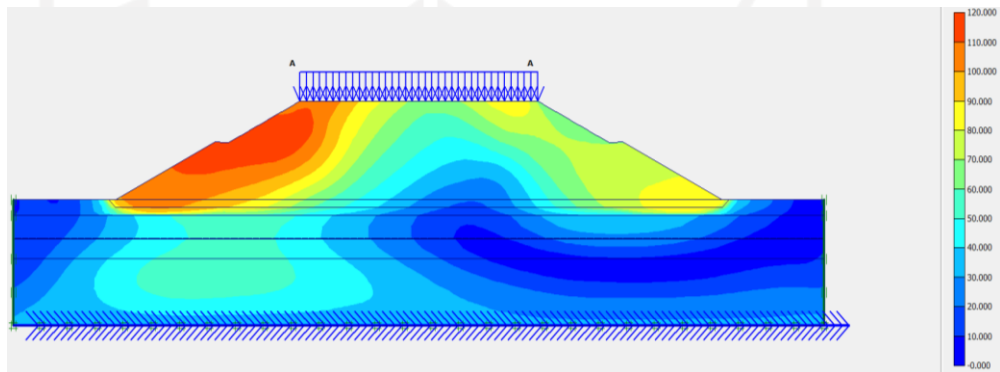


Gambar 5.48 Deformed Mesh Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan Replacement Paska Konstruksi akibat Beban dan Gempa

Kemudian untuk nilai total dari *displacement* pada timbunan lereng tanah asli 12,5m pada kondisi paska konstruksi akibat beban perkerasan lalu lintas mempunyai nilai sebesar $71,66 \times 10^{-3}$ m, sedangkan nilai total akibat beban struktur dan gempa didapatkan nilai sebesar $117,17 \times 10^{-3}$ m. Adapun nilai dari hasil nilai total *displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.49 dan Gambar 5.50 sebagai berikut.

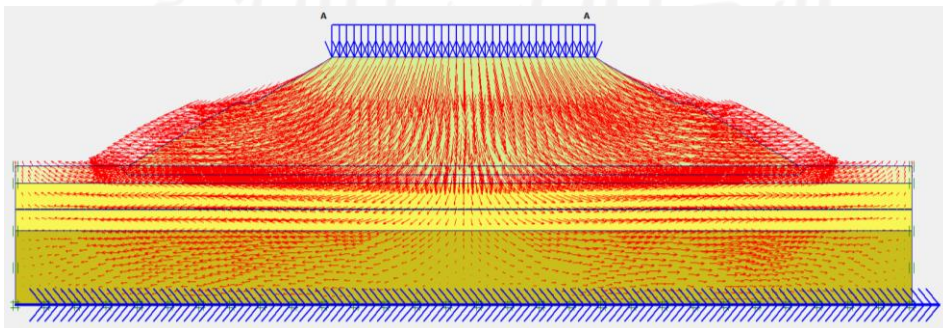


Gambar 5.49 Nilai *Total Displacement* pada Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan *Replacement* Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

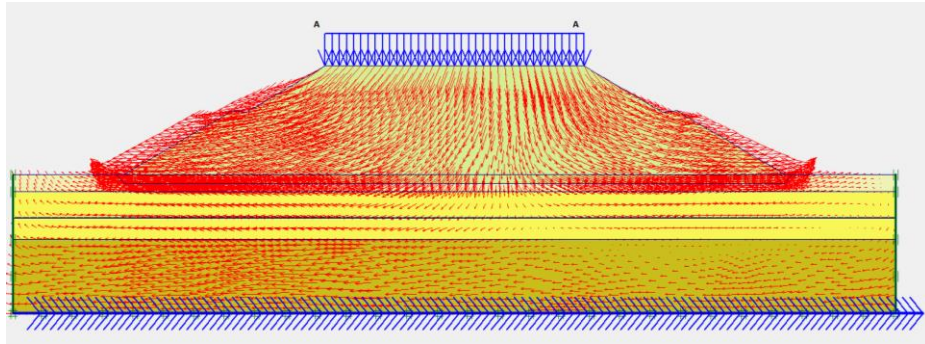


Gambar 5.50 Nilai *Total Displacement* pada Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan *Replacement* Paska Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Kemudian untuk arah pergerakan timbunan tanah asli paska konstruksi pada saat diberikan beban struktur lalu lintas dan beban gempa. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.51 dan Gambar 5.52 sebagai berikut.

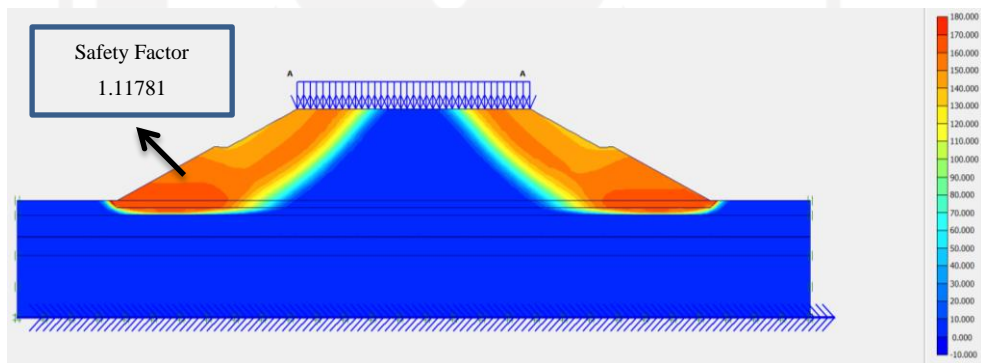


Gambar 5.51 Arah Pergerakan Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan *Replacement* Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

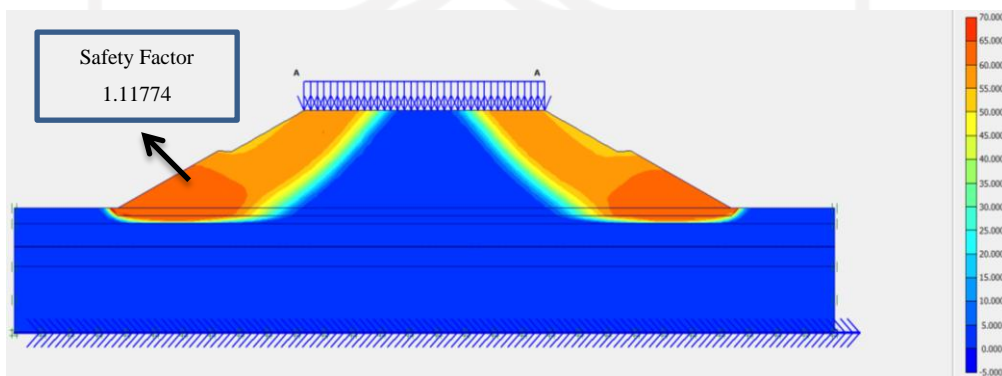


Gambar 5.52 Arah Pergerakan Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan *Replacement* Paska Konstruksi akibat Beban dan Gempa

Untuk potensi kelongsoran pada timbunan lereng tanah asli 12,5m paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.53 dan Gambar 5.54 sebagai berikut.

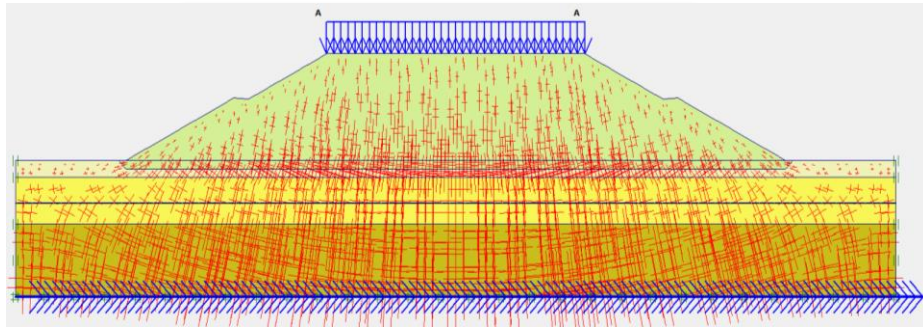


Gambar 5.53 Potensi Kelongsoran Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan *Replacement* Paska Konstruksi akibat Beban Lalu Lintas

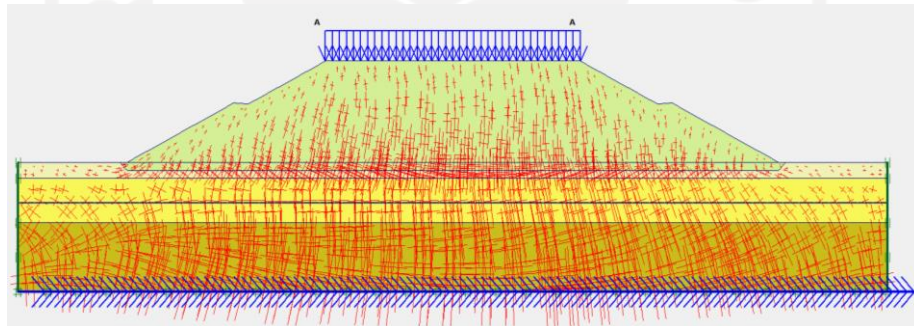


Gambar 5.54 Potensi Kelongsoran Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan *Replacement* Paska Konstruksi akibat Beban dan Gempa

Kemudian untuk nilai dari *effective stresses* pada timbunan lereng tanah asli 12,5m paska konstruksi akibat beban struktur lalu lintas mempunyai nilai sebesar $-520,26 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban struktur lalu lintas dan beban gempa mempunyai nilai sebesar $-522,74 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.55 dan Gambar 5.56 sebagai berikut.

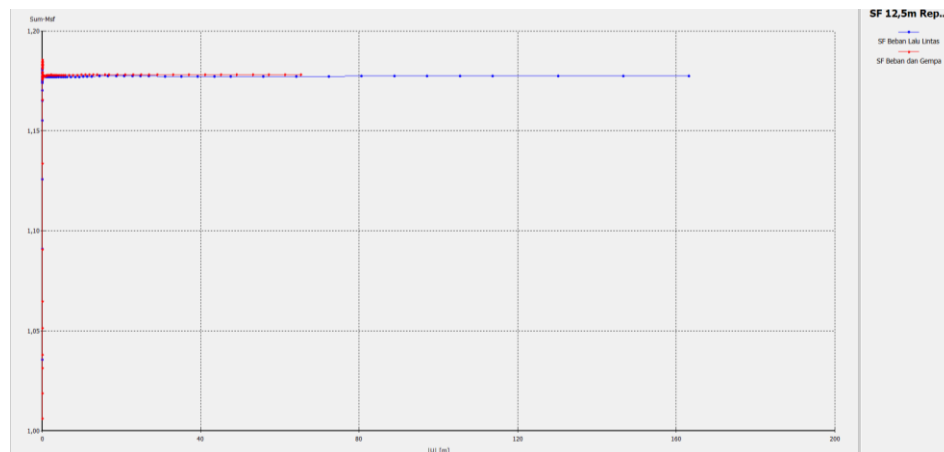


Gambar 5.55 Nilai *Effective Stresses* Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan *Replacement* Paska Konstruksi akibat Beban Lalu Lintas



Gambar 5.56 Nilai *Effective Stresses* Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan *Replacement* Paska Konstruksi akibat Beban dan Gempa

Untuk nilai angka aman (SF) pada timbunan lereng tanah asli 12,5m tanpa perkuatan akibat beban lalu lintas mempunyai nilai sebesar 1,1781, sedangkan akibat beban lalu lintas dan beban gempa mempunyai nilai sebesar 1,1774. Adapun hasil dari nilai angka aman (SF) dapat dilihat dalam Gambar 5.57 sebagai berikut.



Gambar 5.57 Nilai Angka Aman (SF) Timbunan Lereng Tanah Asli 12,5m dengan Replacement Paska Konstruksi

4. Hasil angka aman (SF) dan konsolidasi

Untuk hasil dari angka aman (SF) dan nilai konsolidasi dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.10 Hasil Nilai Angka Aman pada Timbunan Lereng Tanah Asli dengan Replacement

Angka Aman (SF)	Kondisi Lereng Timbunan Replacement			
	Masa Konstruksi		Pasca Konstruksi	
	Beban Struktur	Beban & Gempa	Beban Struktur	Beban & Gempa
Timbunan 2m	2,3351	2,3317	2,259	2,249
Timbunan 4m	1,7124	1,7112	1,7194	1,7121
Timbunan 6m	1,4495	1,4492	1,4975	1,4898
Timbunan 8m	1,3866	1,3820	1,4323	1,4245
Timbunan 10m	1,2935	1,2883	1,2362	1,2354
Timbunan 12,5m	1,1987	1,1937	1,1781	1,1774

Dapat dilihat pada Tabel 5.10 memiliki nilai angka aman pada timbunan 2m hingga timbunan 8m sudah mencapai nilai angka aman (SF) yang diijinkan sebesar 1,3. Kemudian pada timbunan 10m dan 12,5m belum mencapai pada batas nilai yang diijinkan maka dari itu perlu diberikan perkuatan pada timbunan tanah tersebut. Adapun hasil konsolidasi dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Hasil Konsolidasi pada Timbunan Lereng Tanah Asli dengan Replacement

Konsolidasi Lereng Timbunan Replacement		
Timbunan	Penurunan	Satuan
2m	0,04375	m
4m	0,05463	m
6m	0,07052	m
8m	0,08008	m
10m	0,10518	m
12,5m	0,12540	m

5.4 Perhitungan Kebutuhan Geotekstil

5.4.1 Data Perhitungan Geotekstil

1. Parameter Tanah Timbunan

Parameter tanah yang digunakan dan akan diperkuat oleh geotekstil adalah pada bagian tanah timbunan karena bidang longsor paling besar terdapat pada bagian timbunan tanah. Untuk jenis tanah timbunan yang digunakan sebagai parameter tanah dalam perhitungan kebutuhan geotekstil adalah sebagai berikut.

- a. Berat volume tanah (γ_b) = 16 kN/m³
- b. Kohesi (c) = 10 kN/m²
- c. Sudut gesek dalam (ϕ) = 25°

2. Data Geotekstil

Pada analisis perhitungan ini menggunakan jenis geotekstil *woven* yang digunakan sebagai perkuatan pada timbunan tanah. Data geotekstil yang digunakan berasal dari produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan jenis geotekstil yang digunakan adalah *woven UW-250*. Nilai kuat tarik pada geotekstil yang digunakan sebesar 52 kN/m dan nilai regangannya yang digunakan adalah sebesar 20%. Data geotekstil yang akan diinput kedalam aplikasi *Plaxis* yaitu berupa nilai *normal stiffness* (EA) yang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 EA &= \frac{Fg}{\Delta l/l} \\
 &= \frac{52}{0,2} \\
 &= 260 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan kebutuhan geotekstil yang akan digunakan adalah nilai SF sebagai pembagi nilai kuat tarik ijin dari geotekstil sebesar 2. Angka yang digunakan sudah dianggap aman karena lebih besar atau sama dengan nilai 1,5. Perhitungan kuat tarik *allowable* geotekstil sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T_{all} &= \frac{T_{ult}}{SF_{geo}} \\
 &= \frac{52}{2} \\
 &= 26 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Data parameter geotekstil yang digunakan sebagai perhitungan dan *input* kedalam program *Plaxis* dapat dilihat Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Data Geotekstil Woven UW-250

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tarik Ultimit	T_{ult}	52	kN/m
Regangan	ϵ	20	%
Kekakuan normal	EA	260	kN/m
Kuat tarik <i>allowable</i>	T_{all}	26	kN/m

3. Koefisien daya dukung tanah

Pada analisis perhitungan kebutuhan geotekstil dibutuhkan data koefisien daya dukung tanah. Data koefisien daya dukung tanah pada penelitian ini menggunakan data yang didapatkan dari departemen pekerjaan umum (2009). Untuk nilai koefisien daya dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.13 Koefisien Daya Dukung Tanah

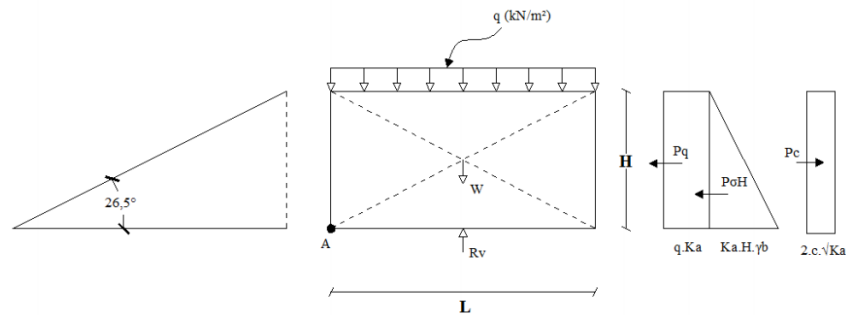
ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ
10	8,85	2,47	1,22	26	22,25	11,85	12,54
11	8,80	2,71	1,44	27	23,94	13,20	14,47
12	9,28	2,97	1,69	28	25,80	14,72	16,72
13	9,81	3,26	1,97	29	27,86	16,44	19,34
14	10,37	3,59	2,29	30	30,14	18,40	22,40
15	10,98	3,94	2,65	31	32,67	20,63	25,90
16	11,63	4,34	3,06	32	35,49	23,18	30,22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

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

5.4.2 Stabilitas Eksternal

Dalam merencanakan timbunan lereng dengan perkuatan geotekstil, lereng harus stabil terhadap pengaruh gaya dalam dan gaya luar. Stabilitas yang akan ditinjau adalah stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Pada perhitungan stabilitas eksternal akan digunakan untuk menentukan jarak arah vertikal minimal lapisan geotekstil (SV) dan panjang total minimum geotekstil (L).

Beban merata yang dimasukkan adalah beban maksimal pada kondisi pasca konstruksi sebesar 25 kN/m^2 . Nilai *safety factor* (SF) sebagai acuan dalam perhitungan kebutuhan geotekstil digunakan 1,5. Gaya-gaya yang akan bekerja pada tanah timbunan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.58 berikut.



Gambar 5.58 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Timbunan Lereng

1. Menentukan jarak arah vertikal minimal antar lapis geotekstil (SV)
Perhitungan koefisien aktif tanah sebagai berikut.

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

$$Ka = \tan \left(45 - \frac{25}{2} \right)$$

$$= 0,40586$$

- a. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 2m

$$\sigma_{hc} = (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka})$$

$$= (25 \times 0,40586) + (0,40586 \times 2 \times 16) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,40586})$$

$$= 10,3925 \text{ kN/m}^2$$

$$SV = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF}$$

$$= \frac{26}{10,3925 \times 1,5}$$

$$= 1,668 \text{ m}$$

Dilapangan dipasang SV = 1 m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 2m / 1m = 2 lapis

Pada penelitian untuk timbunan lereng 2m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

- b. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 4m

$$\sigma_{hc} = (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka})$$

$$\begin{aligned}
 &= (25 \times 0,40586) + (0,40586 \times 4 \times 16) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,40586}) \\
 &= 23,38 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\
 &= \frac{26}{23,38 \times 1,5} \\
 &= 0,741 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 4m / 0,5m = 8 lapis

Pada penelitian untuk timbunan lereng 4m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

- c. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 6m

$$\begin{aligned}
 \sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\
 &= (25 \times 0,40586) + (0,40586 \times 6 \times 16) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,40586}) \\
 &= 36,3675 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\
 &= \frac{26}{36,3675 \times 1,5} \\
 &= 0,477 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 6m / 0,5m = 12 lapis

Pada penelitian untuk timbunan lereng 6m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

- d. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 8m

$$\begin{aligned}
 \sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\
 &= (25 \times 0,40586) + (0,40586 \times 8 \times 16) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,40586}) \\
 &= 49,355 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\
 &= \frac{26}{49,355 \times 1,5} \\
 &= 0,351 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 8m / 0,5m = 16 lapis

Pada penelitian untuk timbunan lereng 8m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

- e. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 10m

$$\begin{aligned}
 \sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\
 &= (25 \times 0,40586) + (0,40586 \times 10 \times 16) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,40586}) \\
 &= 62,342 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\
 &= \frac{26}{62,342 \times 1,5} \\
 &= 0,278 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 10m / 0,5m = 20 lapis

Pada penelitian untuk timbunan lereng 4m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

- f. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 12,5m

$$\begin{aligned}
 \sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\
 &= (25 \times 0,40586) + (0,40586 \times 12,5 \times 16) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,40586}) \\
 &= 78,577 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\
 &= \frac{26}{78,577 \times 1,5}
 \end{aligned}$$

$$= 0,221 \text{ m}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 12,5m / 0,5m = 25 lapis

Pada penelitian untuk timbunan lereng 4m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

2. Menentukan panjang geotekstil

a. Stabilitas terhadap guling

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

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

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

$$SF = \frac{\left(\frac{1}{2} x 25 x L^2 \right) + \left(\frac{1}{2} x 16 x 12,5 x L^2 \right)}{(25 x 0,4058 x 12,5^2) + \left(\frac{1}{2} x 0,4058 x 16 x 12,5^2 x \frac{1}{3} x 12,5 \right) - (2 x 10 x \sqrt{0,4058} x \frac{1}{2} x 12,5^2)}$$

$$SF = \left(\frac{112,5 x L^2}{1911,12} \right)$$

$$L^2 = \frac{1911,12 x 1,5}{112,4 \sqrt{5}} = 25,4816 \text{ m}$$

$$L = 5,04793 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan guling pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 5 m.

b. Stabilitas terhadap geser

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

Tahanan geser pada dasar perkuatan ($\delta = \frac{2}{3} x 25 = 16,667$)

$$SF = \frac{(25 x \tan(16,667) x L) + (12,5 x 16 x \tan(16,667) x L)}{(25 x 0,4058 x 12,5) + (0,5 x 0,4058 x 16 x 12,5^2) - (2 x 10 x \sqrt{0,4058} x 12,5)}$$

$$SF = \frac{67,3606 x L}{474,886}$$

$$L = \frac{474,886 x 1,5}{67,3606} = 10,5749 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan geser pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 11 m.

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

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

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

$$\frac{L}{6} \geq \frac{1911,12}{(12,5 x 16 x L) + (25 x L)}$$

$$\frac{L}{6} \geq \frac{1911,12}{225 x L}$$

$$L^2 = 50,9631 m$$

$$L = 7,13885 m$$

Panjang geotekstil untuk menahan eksentrisitas pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 7 m.

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

$$Nc = 20,72$$

$$N\gamma = 10,8$$

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

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

$$\sigma_{ult} = [(10 x 20,72) + (0,5 x L x 16 x 10 x 10,8)] x 1,5$$

$$\sigma_{ult} = 310,8 + (129,6 x L)$$

$$L \leq \frac{310,8 + (129,6 x L)}{(12,5 x 16) + 25}$$

$$225,8 L \leq 310,8 + (129,6 x L)$$

$$L = \frac{310,8}{225,8 - 129,6}$$

$$L = 3,23077 m$$

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

Dari keempat jenis parameter stabilitas lereng tanah diatas, panjang geotekstil yang digunakan secara maksimum sebesar 11 m. Untuk panjang kebutuhan geotekstil lereng dengan tinggi timbunan yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil

Tinggi Timbunan (H)	Stabilitas Guling	Stabilitas Geser	Stabalitas Eksentrisitas	Stabilitas Daya Dukung Tanah	Panjang Minimum (L)
2 m	0,427	0,685	0,604	-4,28	1
4 m	1,278	2,340	1,808	-7,655	3
6 m	2,153	4,195	3,045	-36,1	5
8 m	3,039	6,125	4,298	13,282	7
10 m	3,930	8,091	5,558	5,610	9
12,5 m	5,047	10,57	7,138	3,230	11

5.4.3 Stabilitas Internal

1. Panjang *overlapping* geotekstil

a. Timbunan 2m

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

$$L_o = \frac{10,393 \times 1 \times 1,5}{2 \times 16 \times 2 \times \tan 25} = 0,522 \text{ m}$$

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

b. Timbunan 4m

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

$$L_o = \frac{10,393 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 16 \times 4 \times \tan 25} = 0,293 \text{ m}$$

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

c. Timbunan 6m

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

$$L_o = \frac{10,393 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 16 \times 6 \times \tan 25} = 0,3046 \text{ m}$$

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

d. Timbunan 8m

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

$$L_o = \frac{10,393 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 16 \times 8 \times \tan 25} = 0,3100 \text{ m}$$

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

e. Timbunan 10m

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

$$L_o = \frac{10,393 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 16 \times 10 \times \tan 25} = 0,3133 \text{ m}$$

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

f. Timbunan 12,5m

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

$$L_o = \frac{10,393 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 16 \times 12,5 \times \tan 25} = 0,3160 \text{ m}$$

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

2. Panjang efektif geotekstil

a. Timbunan 2m

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

$$L_e = \frac{1,5 \times 1 \times 0,4058 \times 16 \times 2}{2 \times 16 \times 2 \times \tan 25} = 0,6 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

b. Timbunan 4m

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

$$L_e = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,4058 \times 16 \times 4}{2 \times 16 \times 4 \times \tan 25} = 0,33 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

c. Timbunan 6m

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

$$L_e = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,4058 \times 16 \times 6}{2 \times 16 \times 4 \times \tan 25} = 0,33 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

d. Timbunan 8m

$$Le = \frac{SF \times SV \times Ka \times \gamma b \times H}{2 \times \gamma b \times H \times \tan \varphi}$$

$$Le = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,4058 \times 16 \times 8}{2 \times 16 \times 4 \times \tan 25} = 0,33 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

e. Timbunan 10m

$$Le = \frac{SF \times SV \times Ka \times \gamma b \times H}{2 \times \gamma b \times H \times \tan \varphi}$$

$$Le = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,4058 \times 16 \times 10}{2 \times 16 \times 4 \times \tan 25} = 0,33 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

f. Timbunan 12,5m

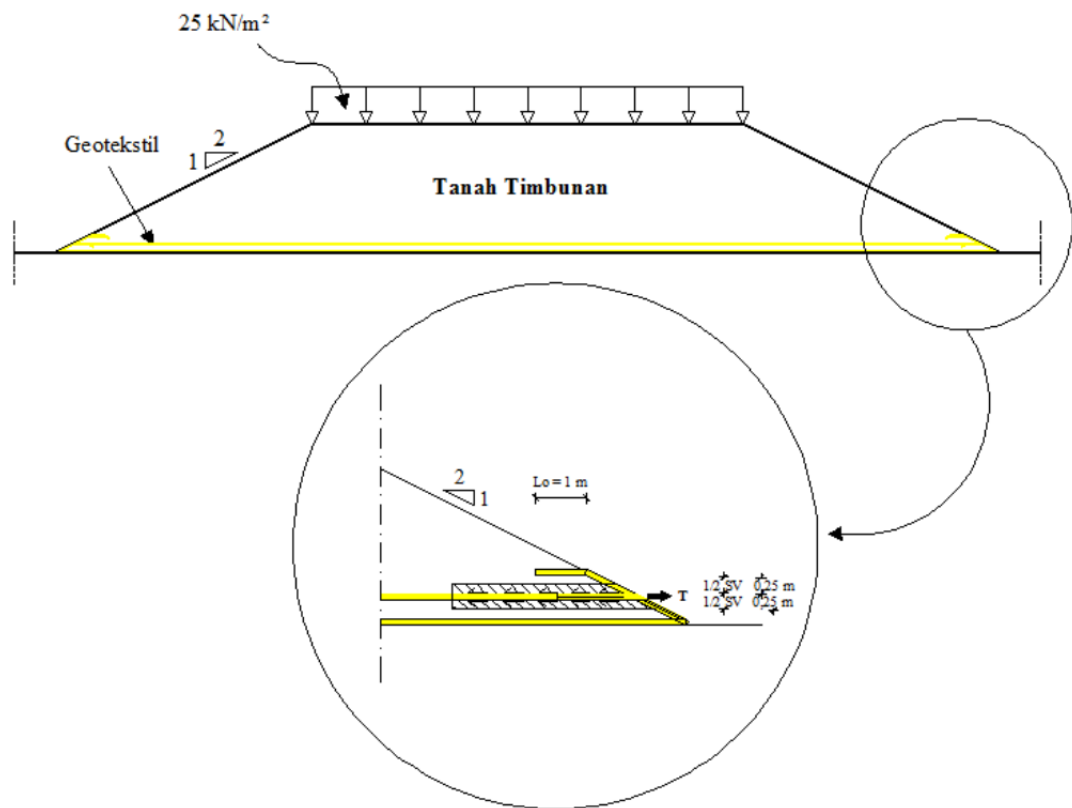
$$Le = \frac{SF \times SV \times Ka \times \gamma b \times H}{2 \times \gamma b \times H \times \tan \varphi}$$

$$Le = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,4058 \times 16 \times 12,5}{2 \times 16 \times 4 \times \tan 25} = 0,33 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

5.4.4 Cek Gaya Tarik Tanah-Geotekstil

Untuk memastikan apakah geotekstil yang digunakan mampu menahan gaya tarik yang terjadi dengan nilai SV 0,5 m, maka dilakukan perhitungan tegangan geser yang bekerja. Untuk gambar tranfer gesekan tanah-geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.59 berikut.



Gambar 5.59 Transfer Gesekan Tanah-Geotekstil

Ketika geotekstil menerima beban dari atas (tanah) maka geotekstil akan menegang dan mentransfer tegangan tersebut ke daerah pasif. Sehingga geotekstil harus mampu menahan gaya tarik yang bekerja padanya. Oleh karena itu keperluan perencanaan jenis geotekstil yang mampu menahan gaya tarik tersebut, maka diperlukan pengecekan terhadap gaya tarik. Gaya tarik yang bekerja pada geotekstil dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 T &= \tan \varphi \times 2 \times \sigma_n \times b \times L \\
 &= \tan(25) \times 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 0,5 \times 16 \right) \times 1 \times 11 \\
 &= 41,035 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan gaya tarik yang bekerja diatas pada geotekstil sebesar 41,035 kN, sedangkan jenis geotekstil yang digunakan memiliki kuat tarik sebesar 52 kN/m. Maka kekuatan geotekstil kuat menahan gaya tarik yang akan bekerja karena $52 \text{ kN/m} > 41,035 \text{ kN}$ (aman).

5.5 Lereng Timbunan Tanah Asli Dengan Perkuatan

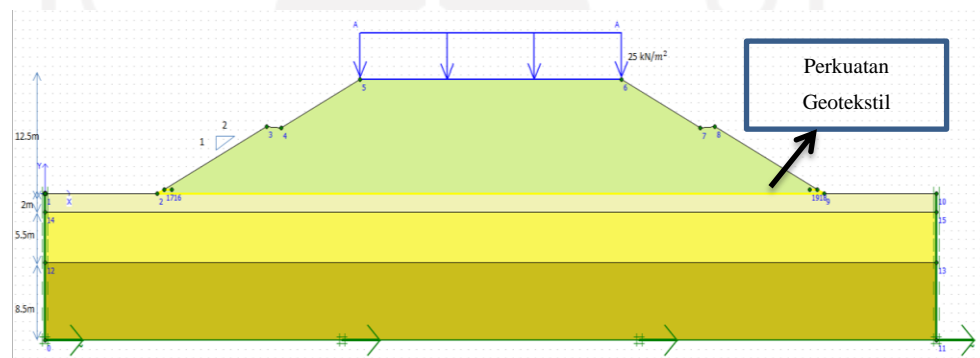
Dari hasil perhitungan pada analisis yang telah dilakukan dengan timbunan lereng tanah asli tanpa adanya perkuatan, maka ditemukan timbunan lereng yang masih belum memenuhi kriteria angka aman yaitu pada timbunan lereng 8m sampai dengan timbunan lereng 12,5m. Maka dari itu perlu dilakukan kembali analisis timbunan lereng tanah asli dengan tambahan perkuatan geotekstil dengan analisis kondisi geometri yang sama dan sesuai dengan perhitungan kebutuhan geotekstil. Hasil analisis perhitungan menggunakan program Plaxis 8.6 yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng tanah asli dengan tinggi 12,5m dengan perkuatan geotekstil. Penjelasan analisis meliputi pemodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi pasca konstruksi. Untuk hasil pada analisis lereng tanah asli dengan tinggi timbunan 8m, dapat dilihat pada Lampiran 1, dan lereng tanah asli dengan tinggi timbunan 10m dapat dilihat pada Lampiran 1.

1. Pemodelan awal lereng

Pemodelan awal lereng timbunan tanah asli dengan geometri yang sama pada timbunan 12,5m tanpa perkuatan. Pemasangan geotekstil secara mendatar dengan SV 0,5m dan panjang *overlapping* 1m. Untuk panjang total dari geotekstil digunakan sepanjang lereng pada bagian bawah, dengan asumsi panjang tersebut telah mencapai panjang total minimum dari perhitungan kebutuhan geotekstil. Titik koordinat yang di *input* pada Plaxis 8.6 dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan untuk permodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.61 berikut.

Tabel 5.14 Koordinat Lereng

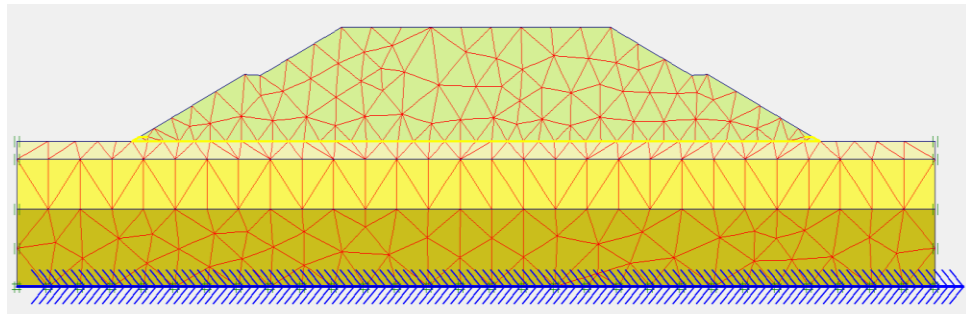
No.	X (m)	Y (m)	No.	X (m)	Y (m)
1	0	0	11	0	-7,5
2	120	0	12	15	0
3	120	-2	13	29,804	7,369
4	0	-2	14	31,804	7,369
5	0	-7,5	15	42,404	12,549
6	120	-7,5	16	77,596	12,549
7	120	-2	17	88,196	7,369
8	120	-16	18	90,196	7,369
9	0	-16	19	104,20	0
10	15	0	20	102,20	0,5
11	16	0,5	21	103,20	0,5
12	17	0,5	22	104,20	0



Gambar 5.60 Pemodelan Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Dengan Perkuatan

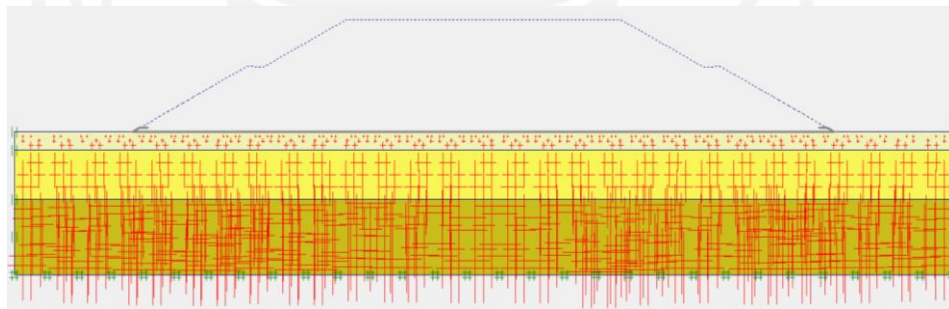
2. Kondisi masa konstruksi

Kondisi masa konstruksi pada lereng timbunan tanah dengan perkuatan geotekstil memiliki parameter beban dan gempa yang sama dengan lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil. Beban merata yang akan dimasukkan pada saat masa konstruksi sebesar 10 kN/m^2 akibat adanya beban dari struktur perkerasan. Setelah dilakukan pemasukan parameter tanah dan bahan, kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Untuk semua tahapan proses analisis selanjutnya sama dengan analisis pada lereng timbunan tanpa perkuatan yang dijelaskan sebelumnya. Hasil pada jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.61 berikut.



Gambar 5.61 Meshing pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Dengan Perkuatan

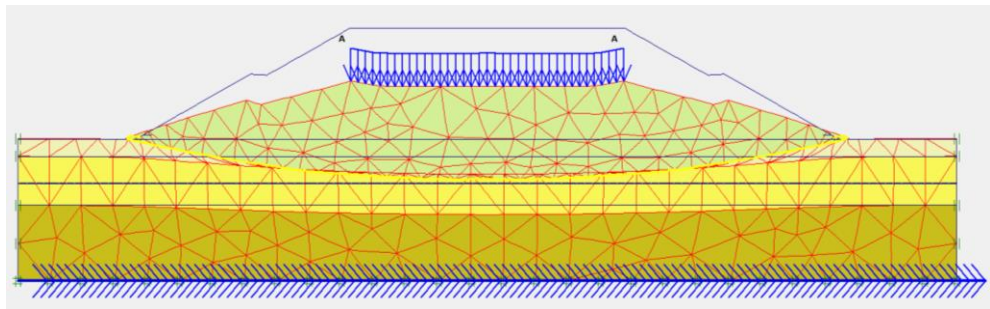
Setelah dilakukan *meshing* dilanjutkan dengan kondisi awal (*initial condition*). Pada saat proses *generater soil stresses* geotekstil belum diaktifkan karena tanah timbunan belum ada. Hasil dari *intial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.62 berikut.



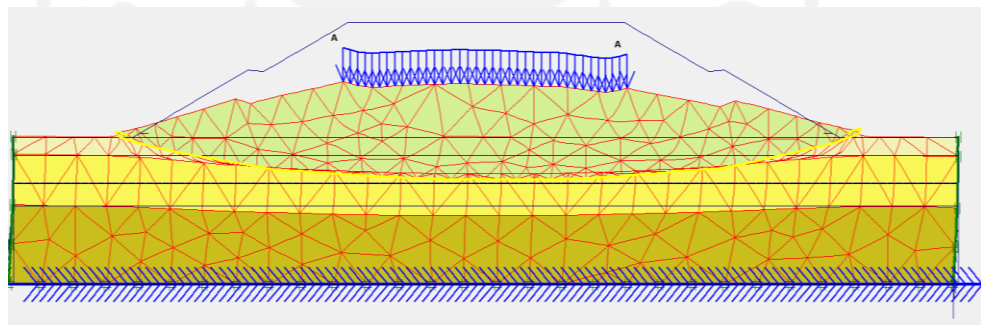
Gambar 5.62 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi

Kemudian tahap selanjutnya masuk ke analisis perhitungan (*calcuation*) lereng timbunan 12,5m tanah asli dengan perkuatan saa seperti *calculation* tanpa perkuatan mempunyai enam tahapan. Tahap pertama merupakan analisis perhitungan akibat beban diberikan timbunan setinggi 12,5m. Tahap kedua merupakan analisis perhitungan akibat beban struktur perkerasan jalan sebesar 10 kN/m^2 . Tahap ketiga merupakan analisis perhitungan akibat beban gempa. Tahap keempat merupakan analisis perhitungan faktor keamanan (*SF*) akibat beban struktur perkerasan jalan dan tahap kelima yaitu perhitungan

dari faktor keamanan (SF) akibat beban dan gempa. Tahap keenam merupakan konsolidasi (penurunan) tanah dengan interval waktu selama 1 tahun. Untuk hasil dari *deformed mesh* pada timbunan lereng tanah asli 12,5m dapat dilihat pada Gambar 5.63 dan Gambar 5.64 sebagai berikut.

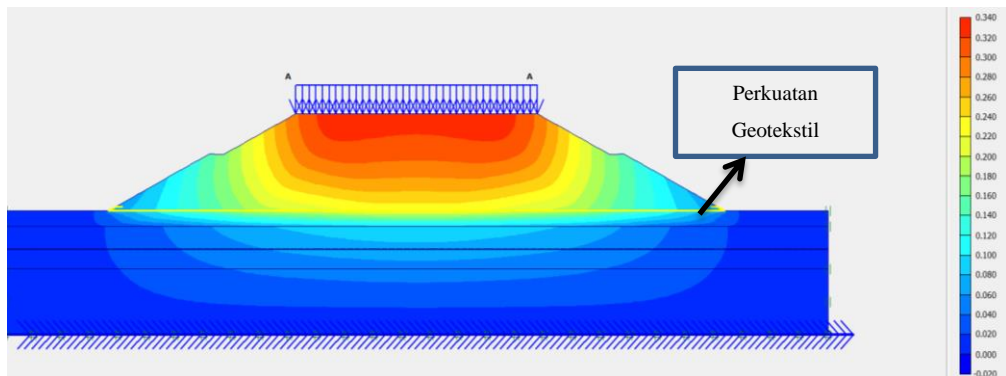


Gambar 5.63 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

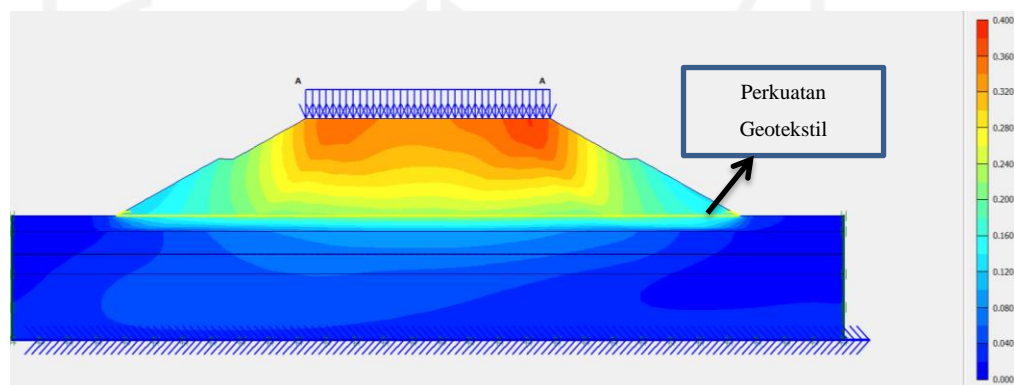


Gambar 5.64 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai total dari *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban struktur sebesar $329,87 \times 10^{-3} \text{m}$, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban struktur dan gempa sebesar $380,69 \times 10^{-3} \text{m}$. Besarnya total *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.65 dan Gambar 5.66 berikut.

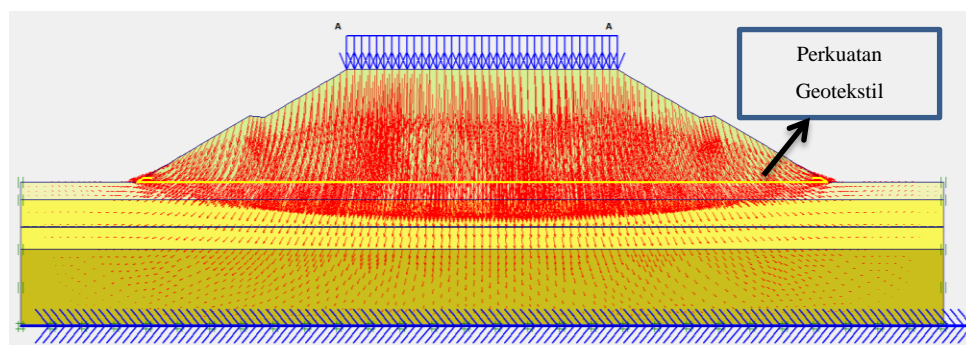


Gambar 5.65 Total Displacement Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

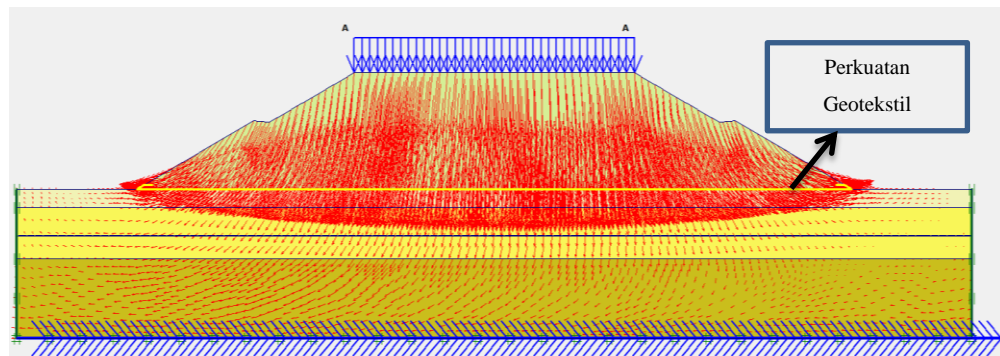


Gambar 5.66 Total Displacement Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Arah pergerakan dari hasil analisis perhitungan pada timbunan lereng 12,5m dapat dilihat pada Gambar 5.67 dan Gambar 5.68 berikut.

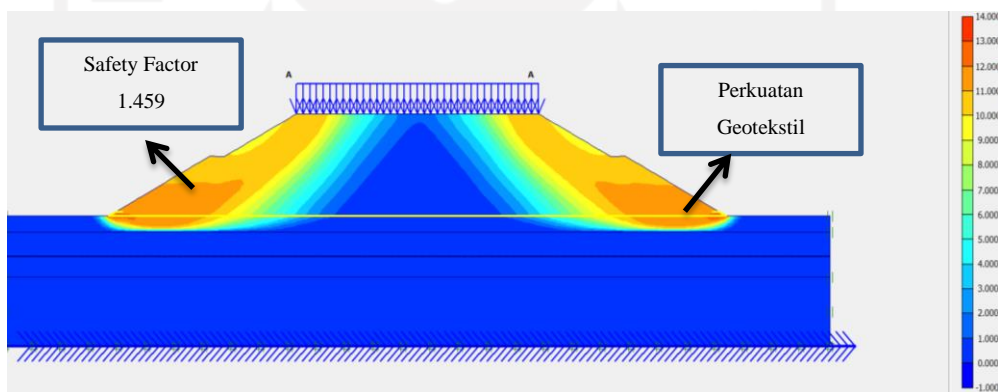


Gambar 5.67 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

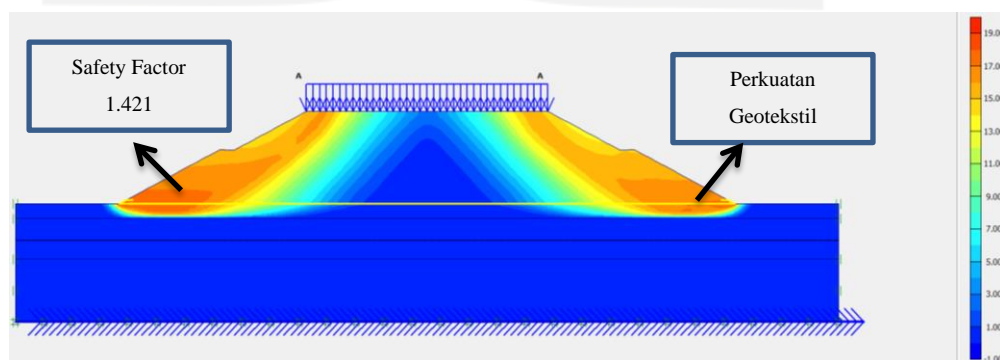


**Gambar 5.68 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

Hasil potensi kelongsoran yang terjadi akibat beban struktur dan beban dengan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.69 dan Gambar 5.70 berikut.

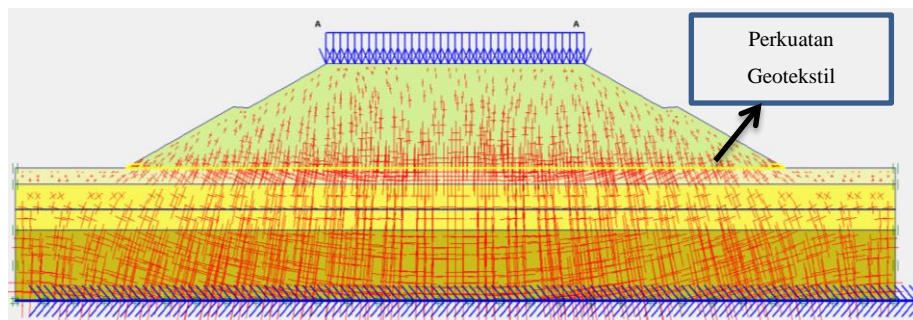


**Gambar 5.69 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**

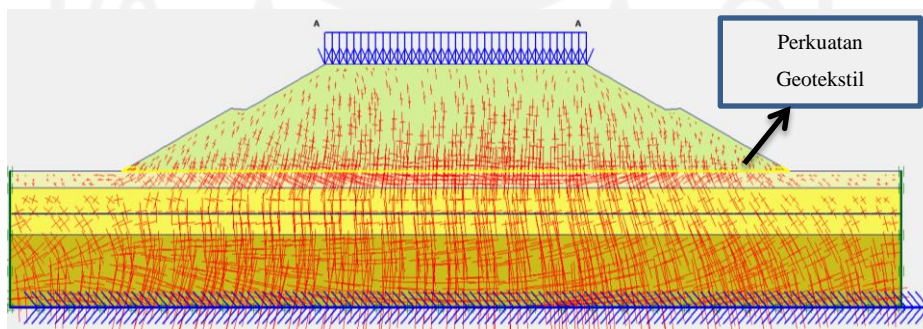


**Gambar 5.70 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

Kemudian nilai hasil *effective stresses* pada lereng timbunan 12,5m akibat beban struktur sebesar $-514,91 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-517,87 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.71 dan Gambar 5.72 berikut.

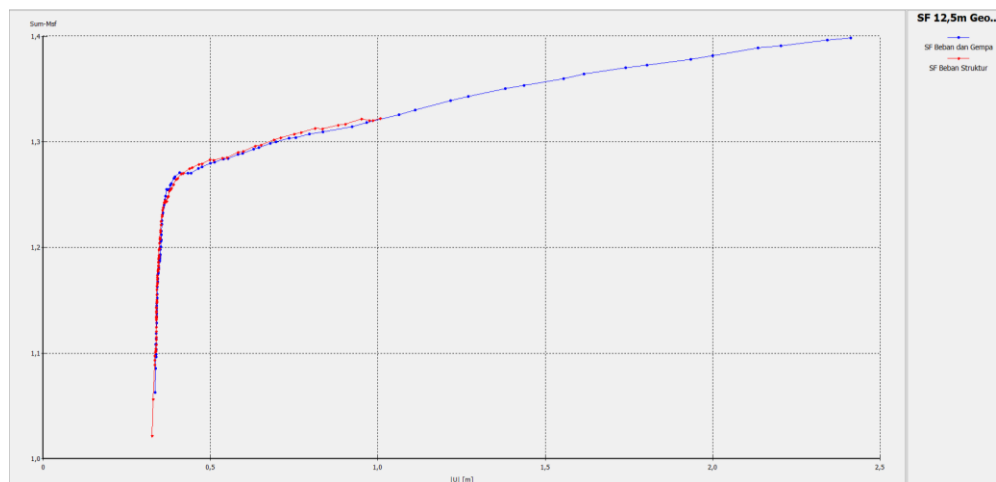


Gambar 5.71 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5.72 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

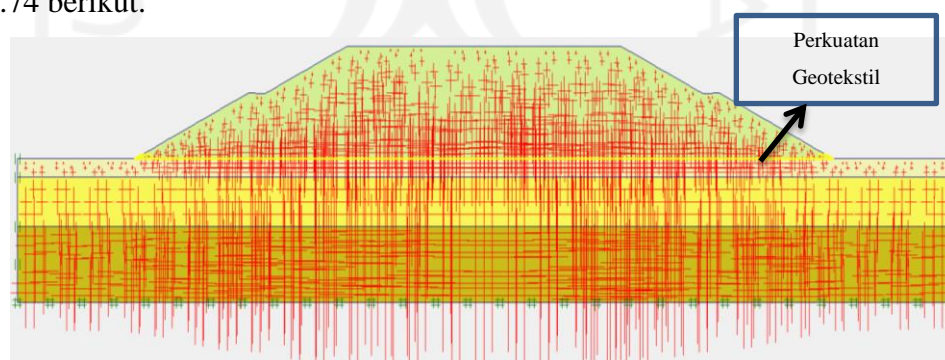
Hasil dari analisis dapat berupa nilai angka aman lereng timbunan 12,5m akibat beban struktur sebesar 1,459 sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,421. Hasil dari nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.73 berikut.



Gambar 5.73 Kurva SF Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Masa Konstruksi

3. Kondisi pasca konstruksi

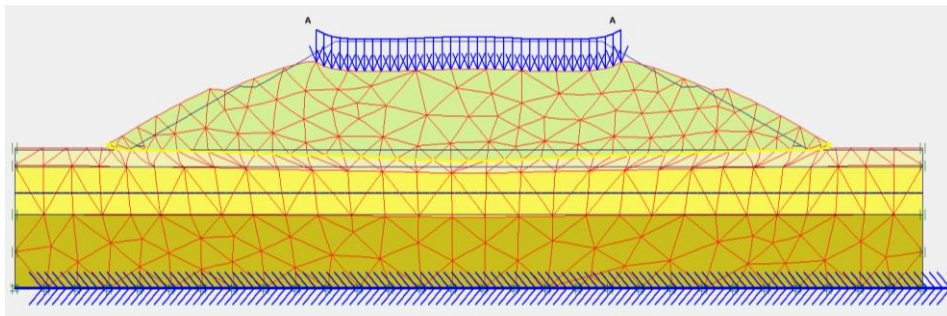
Pada kondisi pasca konstruksi beban lalu lintas menjadi parameter beban tambahan untuk proses analisis. Jaringan elemen hingga (*meshing*) kondisi pasca konstruksi sama dengan saat masa konstruksi. Proses *intial soil stresses* dilakukan dengan *generate* kembali karena kondisi tanah awal untuk pasca konstruksi telah selesai ditimbun setinggi 12,5m dan perkuatan geotekstil telah aktif dipasang. Hasil dari proses *intial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.74 berikut.



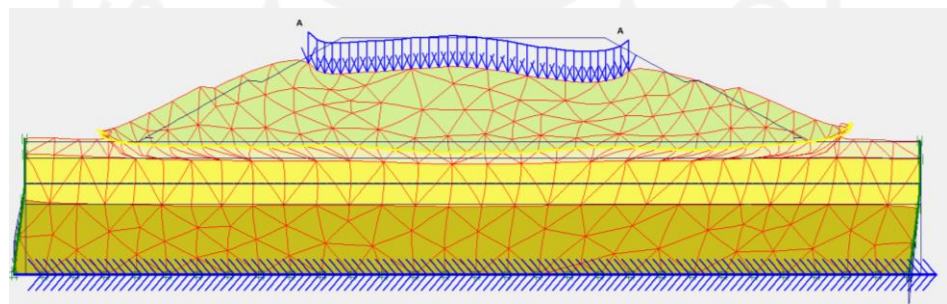
Gambar 5.74 Intial Soil Stresses Pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi

Kemudian untuk analisis berikutnya merupakan analisis perhitungan (*calculation*) pasca konstruksi tanah asli dengan perkuatan. Sama seperti

dengan tahapan saat masa konstruksi, hanya saja yang berbeda adalah tidak ada tahapan memasukan kondisi timbunan 12,5m karena kondisi ini sudah dianggap tertimbun. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.75 dan Gambar 5.76 berikut.

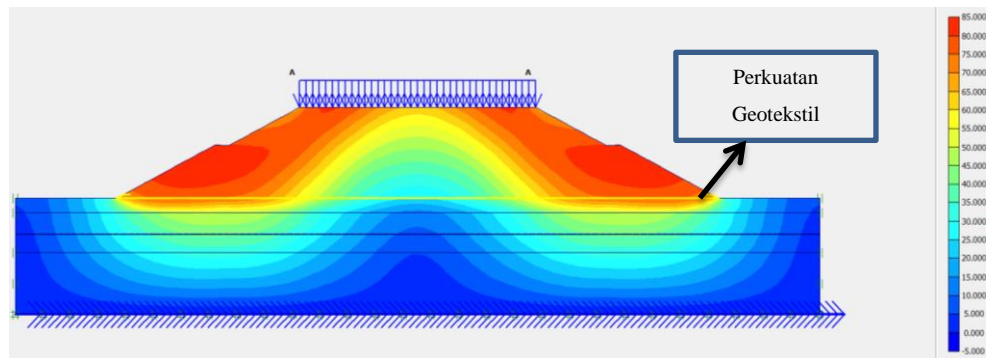


Gambar 5.75 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

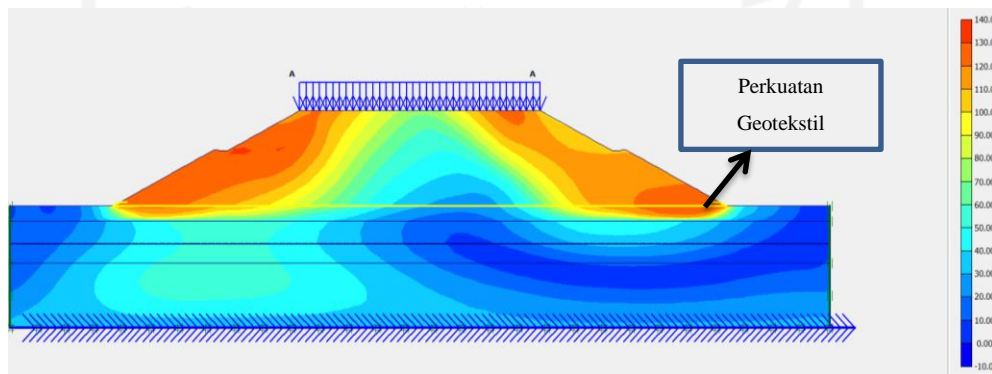


Gambar 5.76 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Hasil dari nilai total *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban lalu lintas sebesar $83,25 \times 10^{-3} \text{m}$, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban dan gempa sebesar $132,94 \times 10^{-3} \text{m}$. Hasil dari total *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.77 dan Gambar 5.78 berikut.

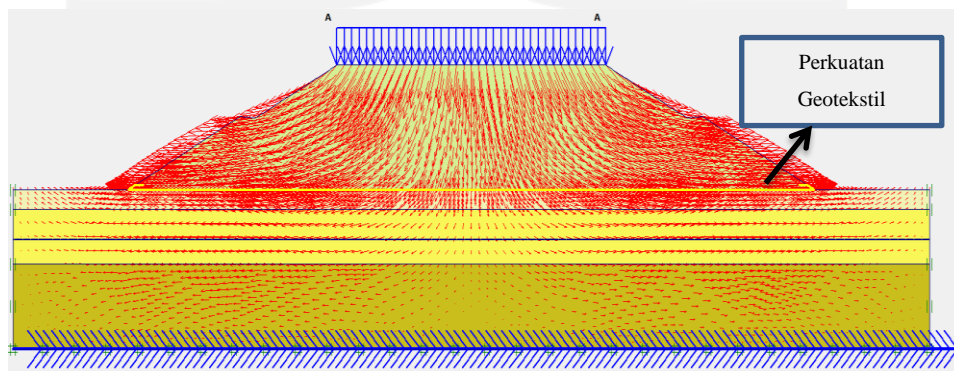


Gambar 5.77 Total Displacement Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

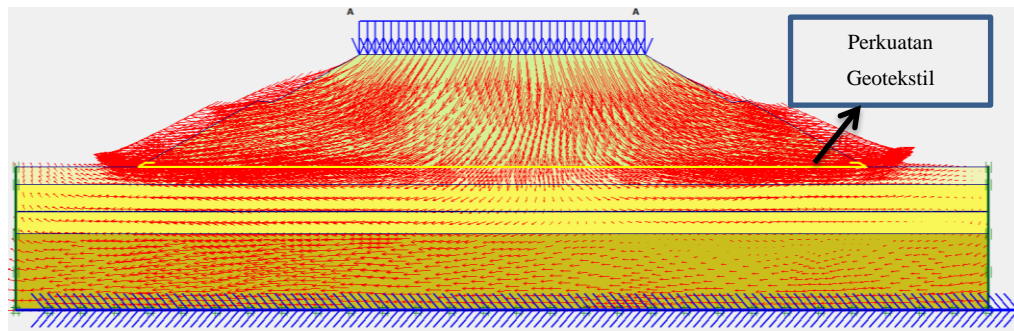


Gambar 5.78 Total Displacement Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Untuk arah pergerakan yang terjadi pada timbunan lereng 12,5m saat kondisi pasca konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.79 dan Gambar 5.80 berikut.

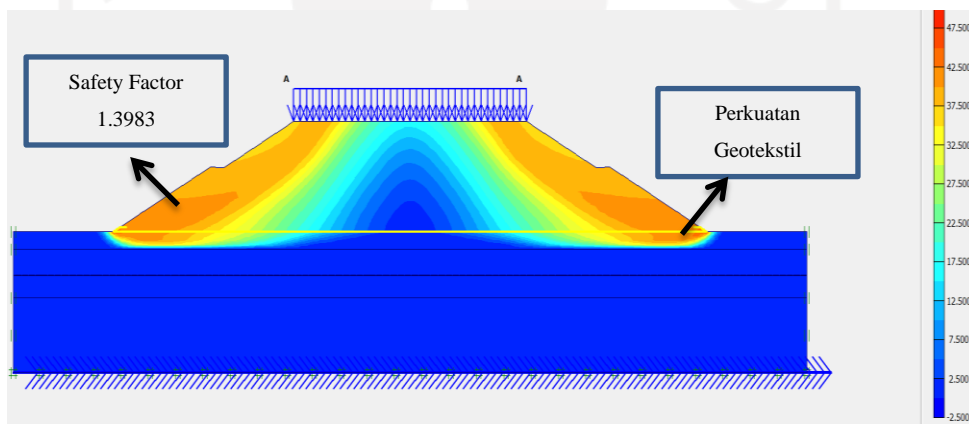


Gambar 5.79 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

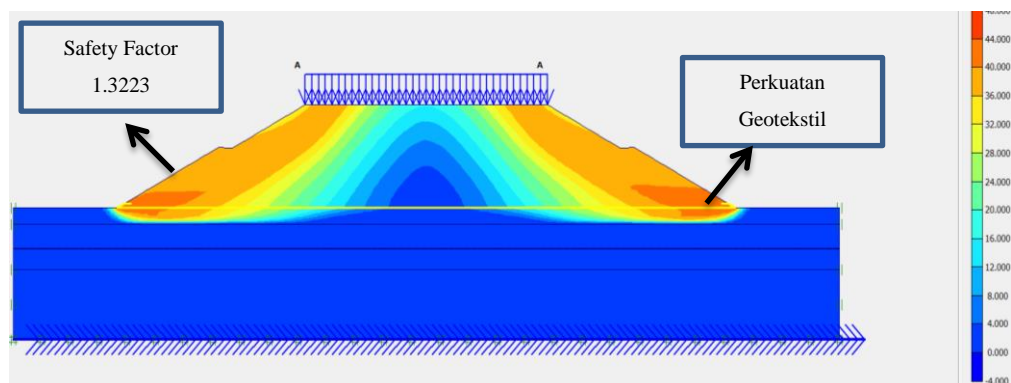


**Gambar 5.80 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

Terjadinya kelongsoran akibat beban lalu lintas dan beban gempa yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.81 dan Gambar 5.82 berikut.

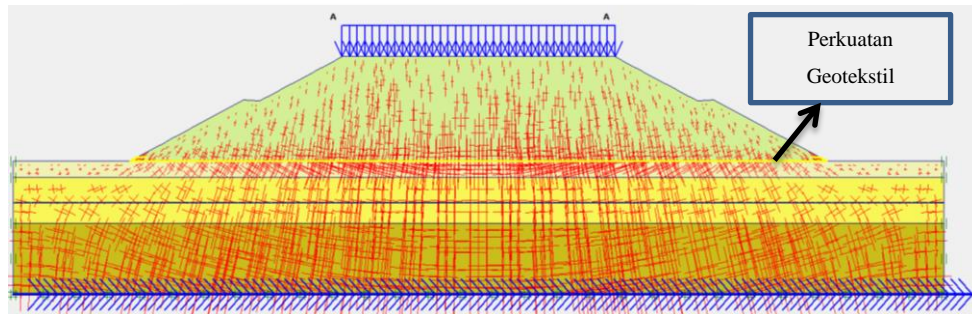


**Gambar 5.81 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**

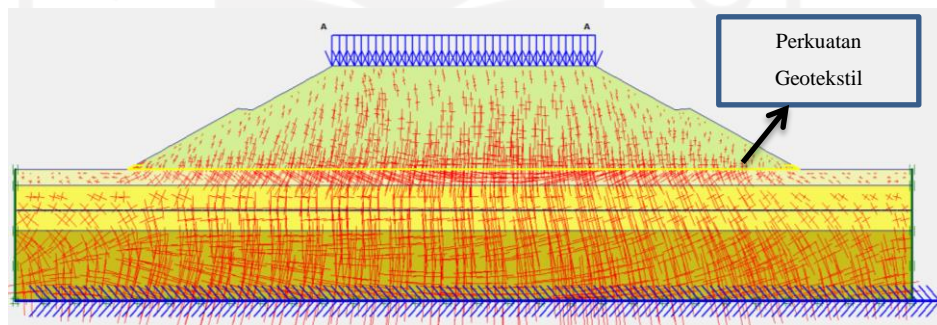


**Gambar 5.82 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

Kemudian nilai *effective stresses* yang terjadi pada lereng timbunan 12,5m akibat beban lalu lintas sebesar $-515,53 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-515,93 \text{ kN/m}^2$. Hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.83 dan Gambar 5.84 berikut.

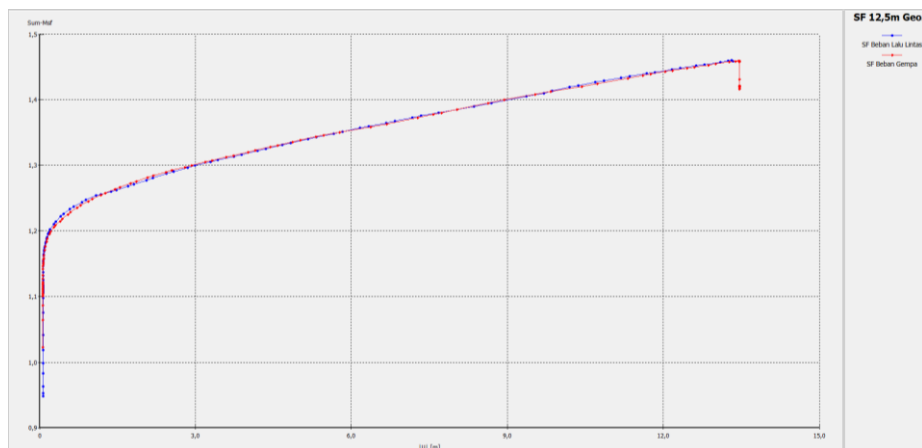


Gambar 5.83 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



Gambar 5.84 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Hasil nilai angka aman dari lereng timbunan 12,5m pasca konstruksi didapatkan dari hasil analisis akibat beban lalu lintas sebesar 1,3983 sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,3223. Nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.85 berikut.



Gambar 5.85 Kurva SF Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Pasca Konstruksi

4. Rekapitulasi hasil angka aman (SF) dan konsolidasi

Hasil dari analisis perhitungan pada timbunan lereng dengan perkuatan geotekstil untuk rekapitulasi angka aman dan konsolidasi dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan Tabel 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Angka Aman Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil

Angka Aman (SF)	Kondisi Tanah Asli			
	Masa Konstruksi		Pasca Konstruksi	
	Beban Struktur	Beban & Gempa	Beban Struktur	Beban & Gempa
Timbunan 8m	2,0448	1,9985	1,6146	1,5975
Timbunan 10m	1,7803	1,7511	1,5077	1,5070
Timbunan 12,5m	1,459	1,421	1,3983	1,3223

Tabel 5.16 Hasil Konsolidasi pada Timbunan Lereng Tanah Asli Dengan Pekuatan Geotekstil

Konsolidasi Lereng Timbunan Asli		
Timbunan	Penurunan	Satuan
8m	0,05649	m
10m	0,06722	m
12,5m	0,09271	m

5.6 Lereng Timbunan Tanah *Replacement* Dengan Perkuatan

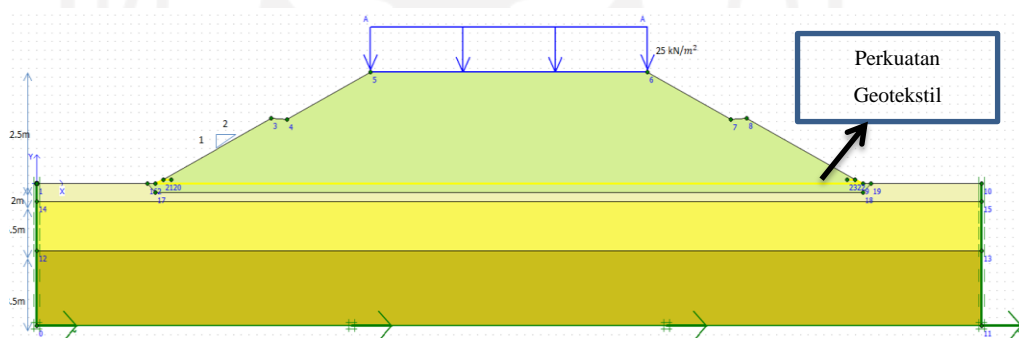
Pada hasil analisis lereng timbunan tanah *replacement* tanpa perkuatan sebelumnya, lereng timbunan yang perlu diberi perkuatan geotekstil adalah timbunan dengan ketinggian 8m, 10m dan 12,5m. Maka dari itu pada analisis lereng timbunan *replacement* dengan perkuatan tanah akan dilakukan analisis perhitungan dengan kondisi geometri yang sama dan ditambah dengan perkuatan geotekstil sesuai dengan perhitungan kebutuhannya. Lereng timbunan tanah *replacement* 12,5m yang akan ditampilkan pada analisis ini dengan bantuan dari hasil analisis menggunakan program Plaxis 8.6. Penjabaran analisis dilakukan seperti biasa meliputi pemodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, kondisi pasca konstruksi dan rekapitulasi hasil analisis. Untuk hasil analisis lereng timbunan tanah *replacement* dengan tinggi timbunan 10m dapat dilihat pada Lampiran 1.

1. Pemodelan awal lereng

Pemodelan lereng timbunan tanah yang digunakan merupakan *replacement* dengan geometri yang sama pada timbunan 12,5m tanpa perkuatan. Pemasangan perkuatan geotekstil dimasukkan secara mendatar dengan SC 0,5m dan panjang *overlapping* 1m. Untuk panjang total dari perkuatan geotekstil digunakan sepanjang lereng pada bagian bawah, dengan asumsi panjang tersebut telah mencapai panjang total minimum dari perhitungan kebutuhan geotekstil. Kemudian titik koordinat yang akan dimasukkan ke dalam Plaxis 8.6 ditampilkan pada Tabel 5.17 dan untuk pemodelan lereng timbunan tanah *replacement* dapat dilihat pada Gambar 5.86 berikut.

Tabel 5.17 Koordinat Lereng

No.	X (m)	Y (m)	No.	X (m)	Y (m)
1	0	0	15	0	-7,5
2	120	0	16	15	0
3	120	-2	17	29,804	7,369
4	0	-2	18	31,804	7,369
5	0	-7,5	19	42,404	12,549
6	120	-7,5	20	77,596	12,549
7	120	-2	21	88,196	7,369
8	120	-16	22	90,196	7,369
9	0	-16	23	104,20	0
10	14	0	24	104,20	-1
11	15	-1	25	105,20	0
12	17	0,5	26	104,20	0
13	16	0,5	27	103,20	0,5
14	15	0	28	102,20	0,5

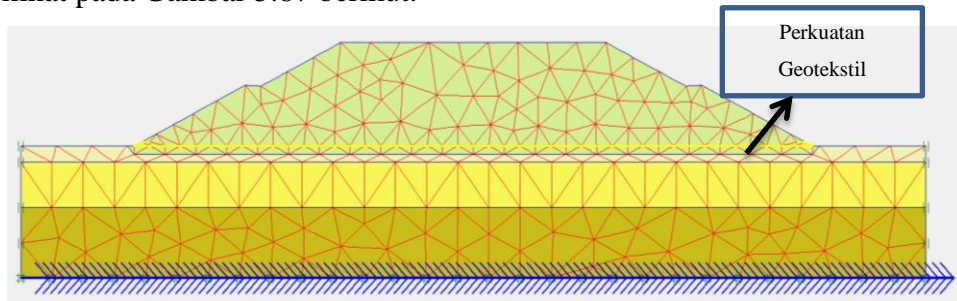


Gambar 5.86 Pemodelan Lereng Timbunan 12,5m Replacement Dengan Perkuatan

2. Kondisi masa konstruksi

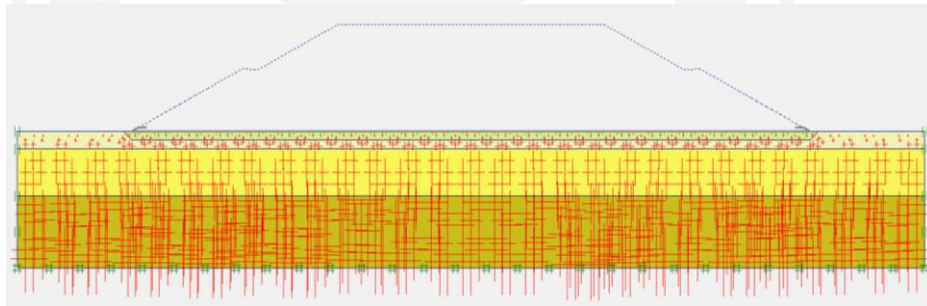
Kondisi pada masa konstruksi pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil memiliki parameter beban dan gempa yang sama dengan pada lereng timbunan tanah tanpa perkuatan geotekstil. Beban merata yang digunakan pada saat masa konstruksi sebesar 10 kN/m^2 akibat beban dari struktur perkerasan. Setelah dilakukan *input* parameter tanah dan bahan yang digunakan, kemudian dilakukan proses penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Semua tahapan pada proses analisis selanjutnya sama dengan lereng timbunan tanpa perkuatan yang telah dijelaskan sebelumnya. Hasil dari

proses jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.87 berikut.



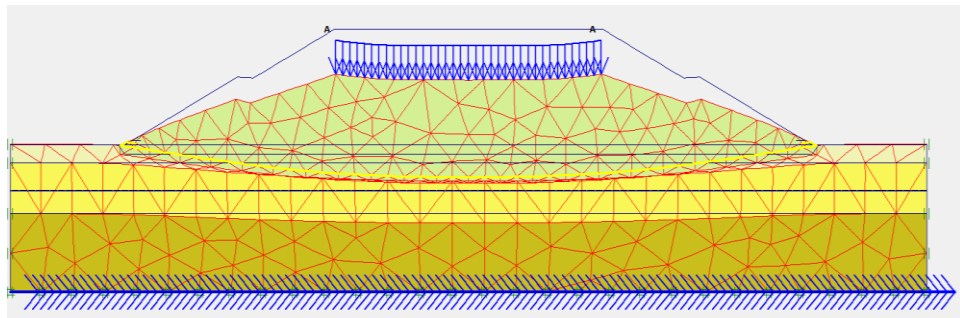
Gambar 5.87 Meshing pada Lereng Timbunan Replacement 12,5m Dengan Perkuatan

Kemudian setelah dilakukan proses *meshing* maka dilanjutkan dengan kondisi awal (*initial condition*). pada saat menjalankan proses *generated soil stresses* perkuatan geotekstil belum diaktifkan karena tanah timbunan belum dikerjakan. Hasil dari *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.88 berikut.

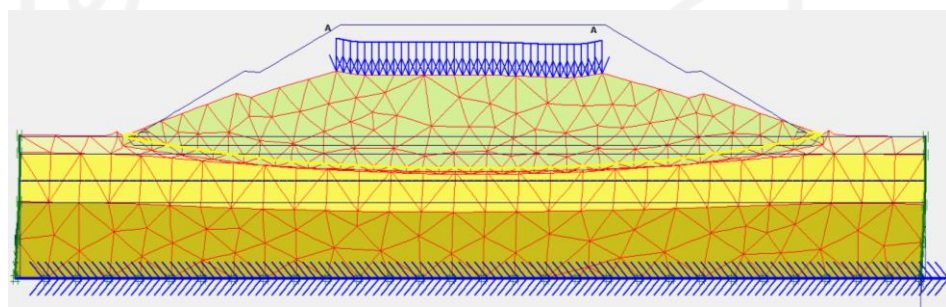


Gambar 5.88 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan Replacement 12,5m Dengan Perkuatan

Setelah masuk ke tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan tanah *replacement* 12,5m tanah asli dengan perkuatan geotekstil sama seperti proses *calculation* pada tahap tanpa perkuatan delapan tahap. Hasil dari *deformed mesh* pada timbunan lereng 12,5m dapat dilihat pada Gambar 5.89 dan Gambar 5.90 berikut.

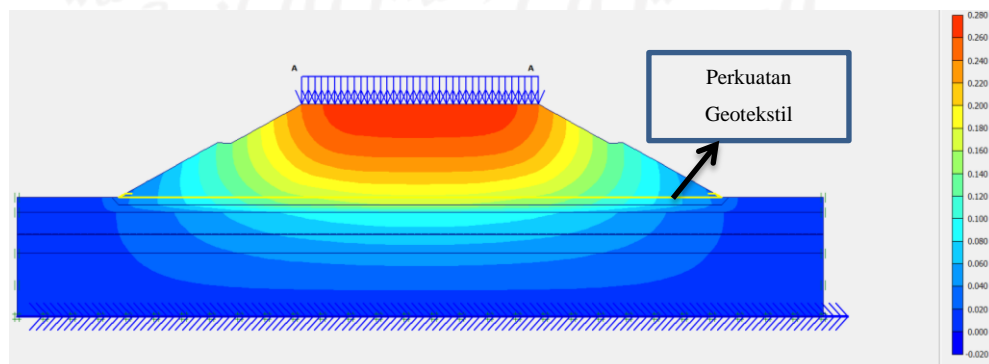


**Gambar 5.89 Deformed Mesh Lereng Timbunan Replacement 12,5m Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur**

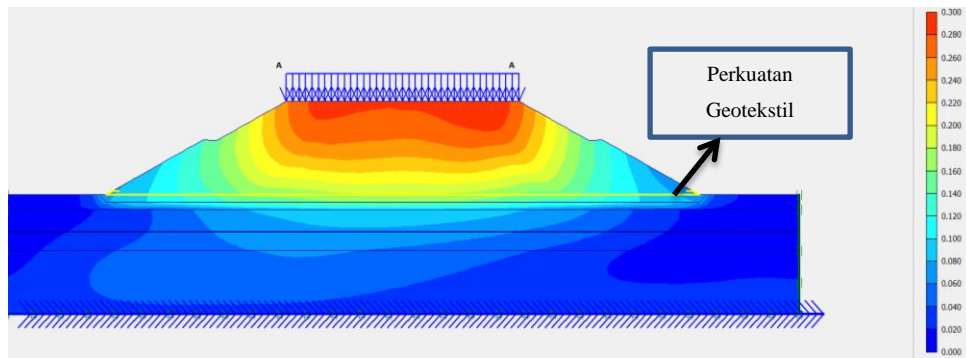


**Gambar 5.90 Deformed Mesh Lereng Timbunan Replacement Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

Hasil dari total *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan akibat beban struktur sebesar $275,44 \times 10^{-3} \text{m}$, sedangkan pada timbunan lereng dengan akibat beban struktur dan gempa sebesar $295,19 \times 10^{-3} \text{m}$. Total *displacement* yang terjadi pada lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.91 dan Gambar 5.92 berikut.

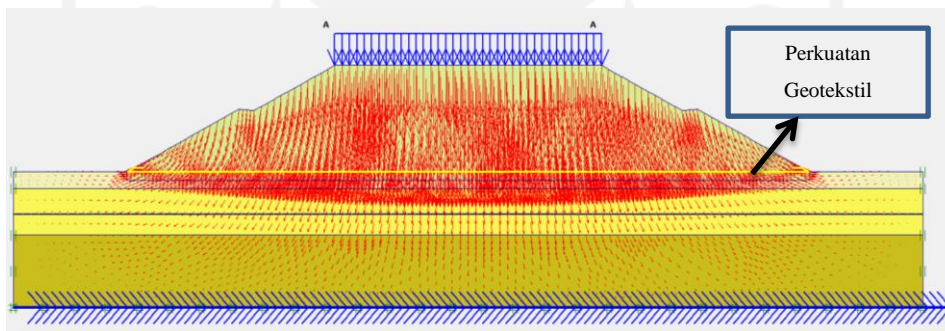


**Gambar 5.91 Total Displacement Lereng Timbunan Replacement 12,5m Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur**

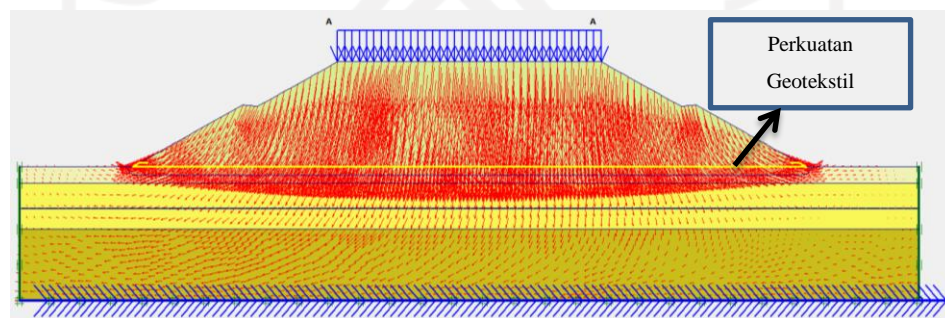


Gambar 5.92 Total Displacement Lereng Timbunan Replacement 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Kemudian arah pergerakan yang terjadi pada timbunan lereng 12,5m dapat dilihat pada Gambar 5.93 dan Gambar 5.94 berikut.

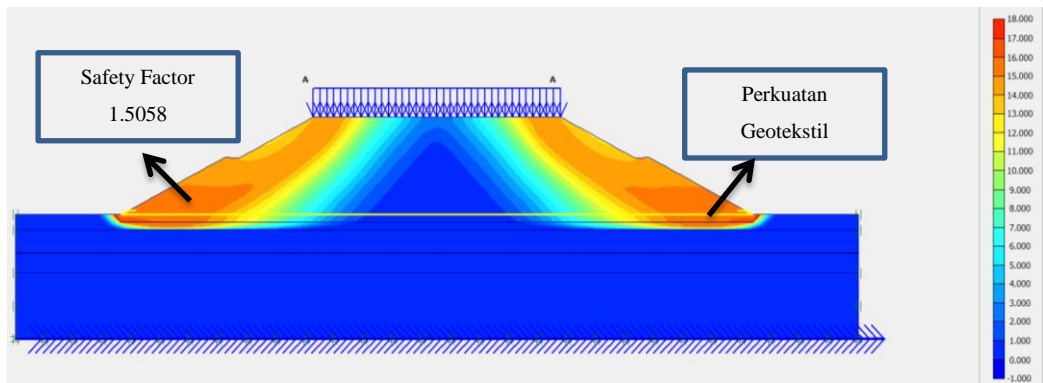


Gambar 5.93 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Replacement 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

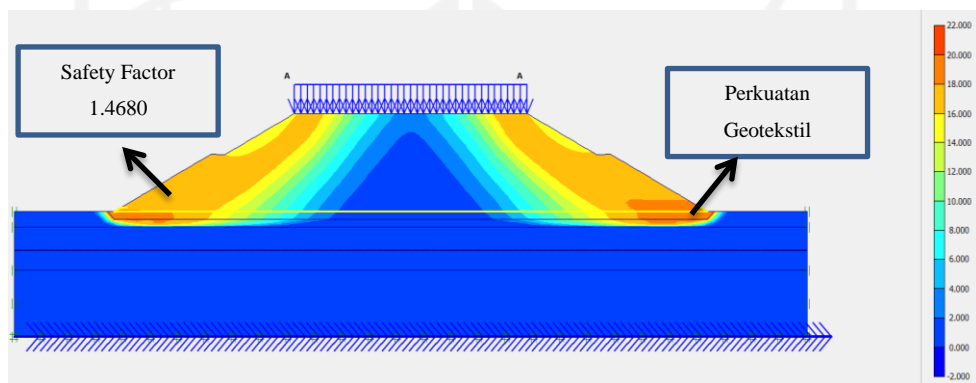


Gambar 5.94 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Replacement 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Potensi kelongsoran yang terjadi akibat beban struktur dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.95 dan Gambar 5.96 berikut.

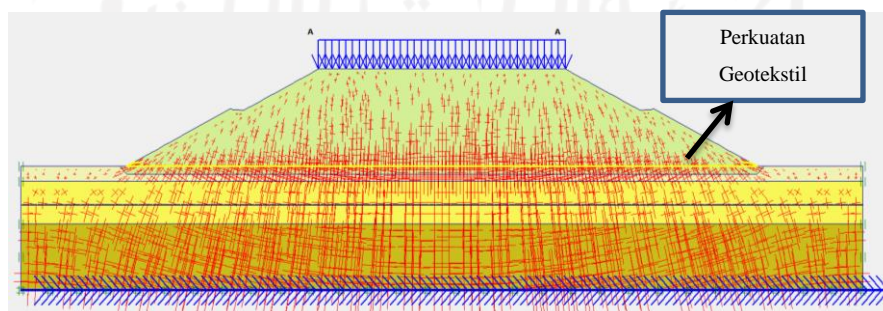


Gambar 5.95 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

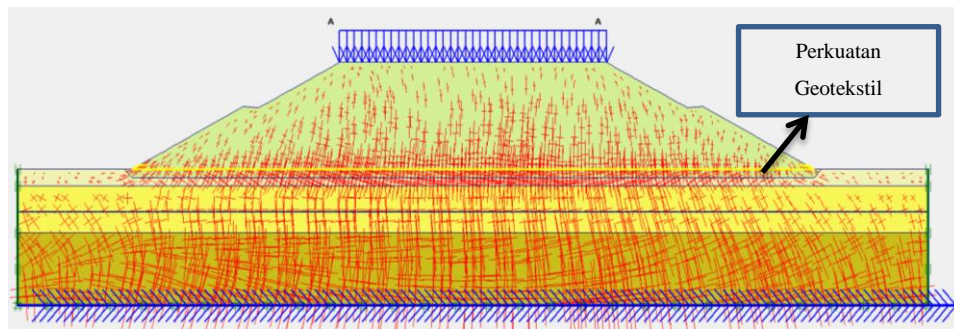


Gambar 5.96 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Hasil dari nilai *effective stresses* pada lereng timbunan 12,5m akibat beban struktur sebesar $-516,39 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-520,51 \text{ kN/m}^2$. Hasil dari analisis tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.97 dan Gambar 5.98 berikut.

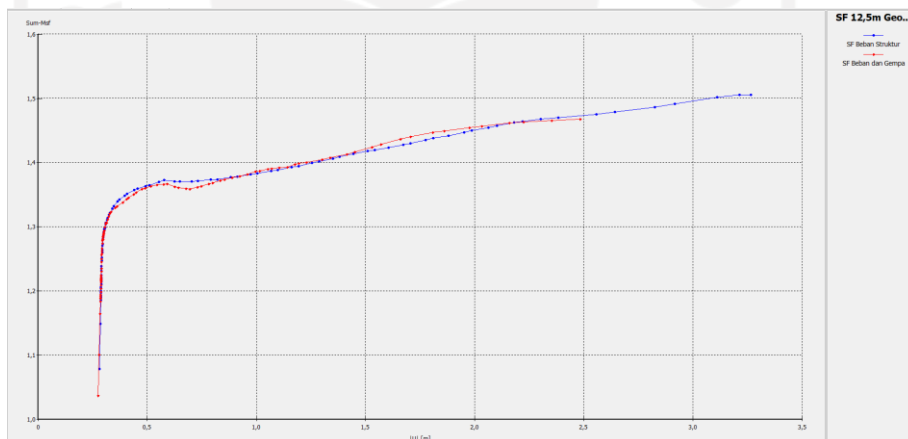


Gambar 5.97 *Effective Stresses* Lereng Timbunan *Replacement* 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5.98 Effective Stresses Lereng Timbunan Replacement 12,5m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai dari angka aman lereng timbunan 12,5m dengan perkuatan geotekstil didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur sebesar 1,5058 sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,4680. Hasil dari nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.100 berikut.

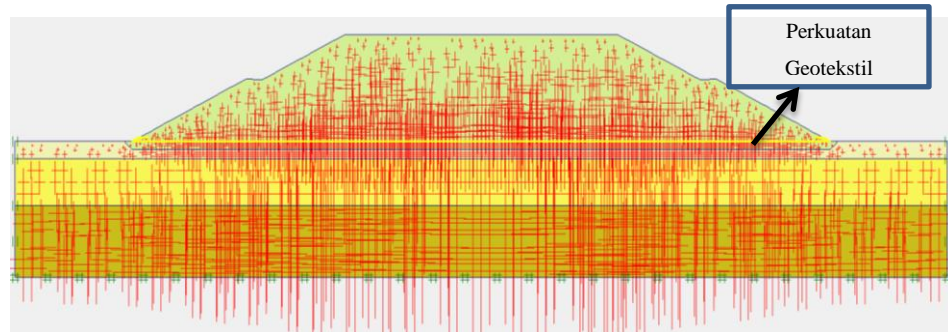


Gambar 5.100 Kurva SF Lereng Timbunan Replacement 12,5m Masa Konstruksi

3. Kondisi pasca konstruksi

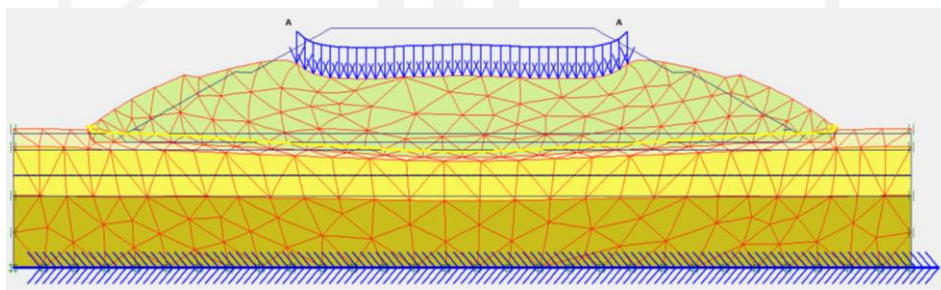
Pada saat kondisi pasca konstruksi beban tambahan yang menjadi parameter adalah beban lalu lintas yang memiliki nilai sebesar 15 kN/m^2 . Proses jaringan elemen hingga (*meshing*) pada kondisi pasca konstruksi sama dengan saat mas konstruksi. Kemudian proses *initial soil stresses* dilakukan *generate* kembali karena kondisi tanah awal untuk pasca konstruksi telah

selesai ditimbun setinggi 12,5m dan perkuatan geotekstil telah aktif dipasang. Hasil dari *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.101 berikut.

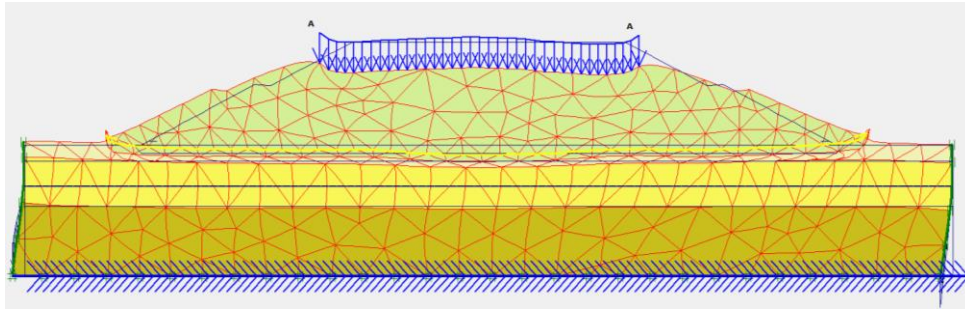


Gambar 5.101 *Initial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan *Replacement* 12,5m Dengan Perkuatan Pasca Konstruksi

Kemudian dilanjutkan pada tahap analisis perhitungan (*calculation*) pasca konstruksi tanah asli yang memiliki enam tahap. Sama dengan pada saat masa konstruksi, hanya saja tidak ada tahap memasukan kondisi galian *base*, timbunan *base*, dan timbunan 12,5m karena kondisi sudah ada tanah timbunan. Hasil dari *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.102 dan Gambar 5.103 berikut.

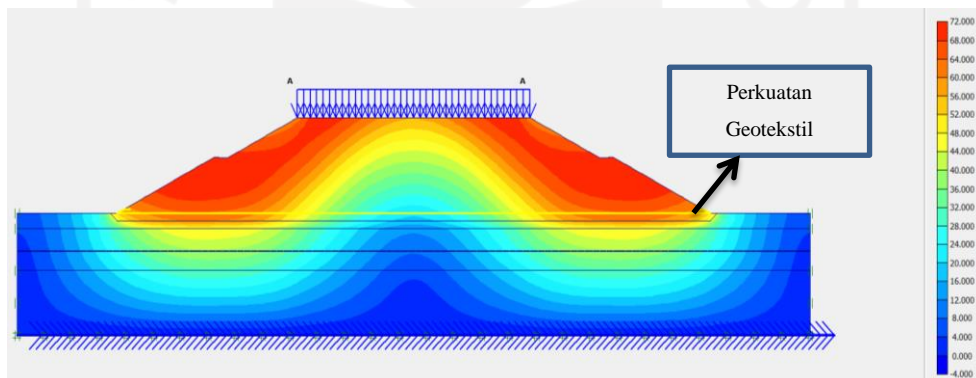


Gambar 5.102 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan *Replacement* 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

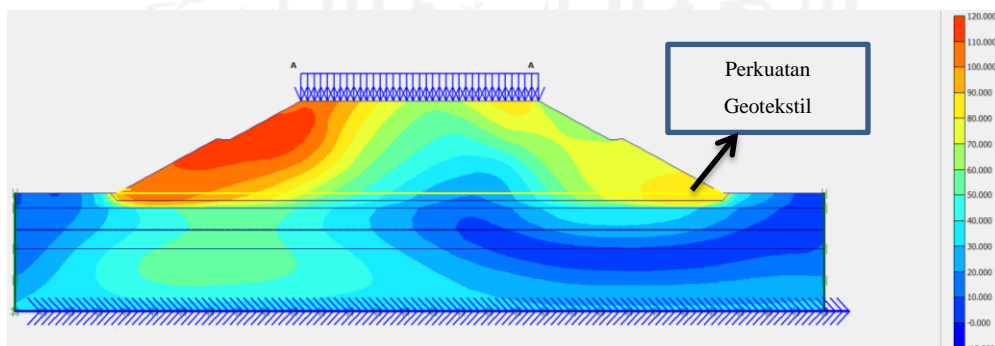


Gambar 5.103 Deformed Mesh Lereng Timbunan Replacement 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Hasil dari total *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban lalu lintas sebesar $71,43 \times 10^{-3}$ m, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban dan gempa sebesar $117,24 \times 10^{-3}$ m. Total *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.104 dan Gambar 5.105 berikut.

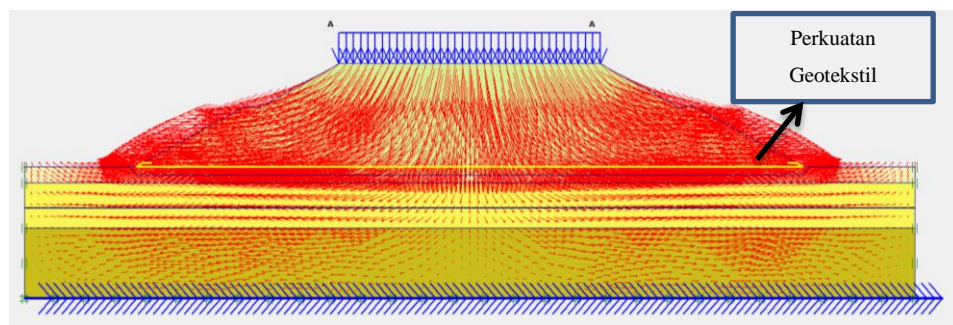


Gambar 5.104 Total Displacement Lereng Timbunan Replacement 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

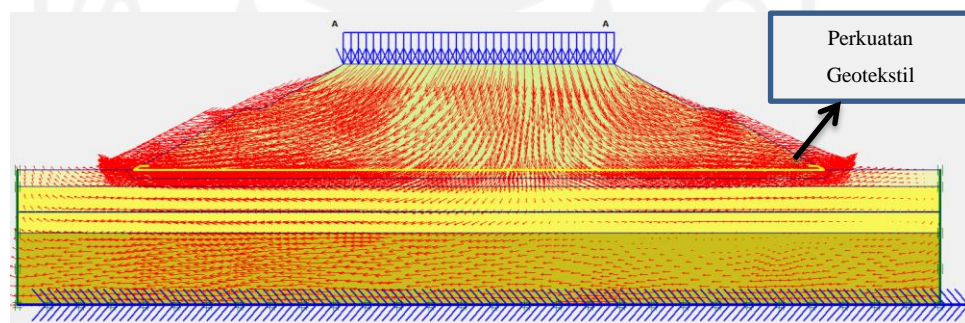


Gambar 5.105 Total Displacement Lereng Timbunan Replacement 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Kemudian arah pergerakan pada timbunan lereng 12,5m yang terjadi pada kondisi pasca konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.106 dan Gambar 5.107 berikut.

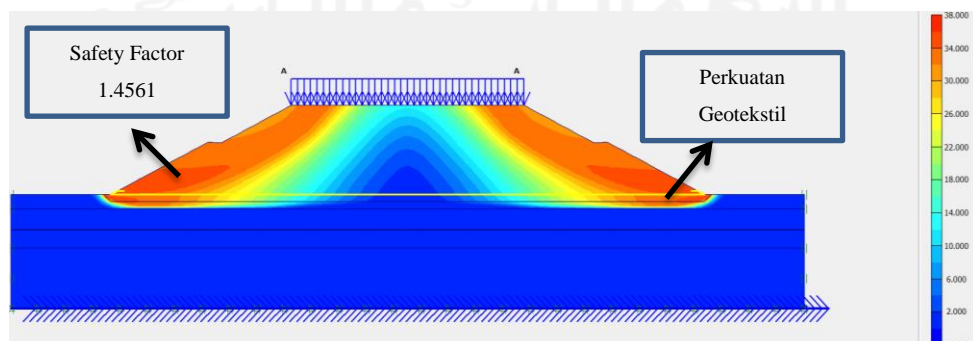


Gambar 5.106 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan *Replacement* 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

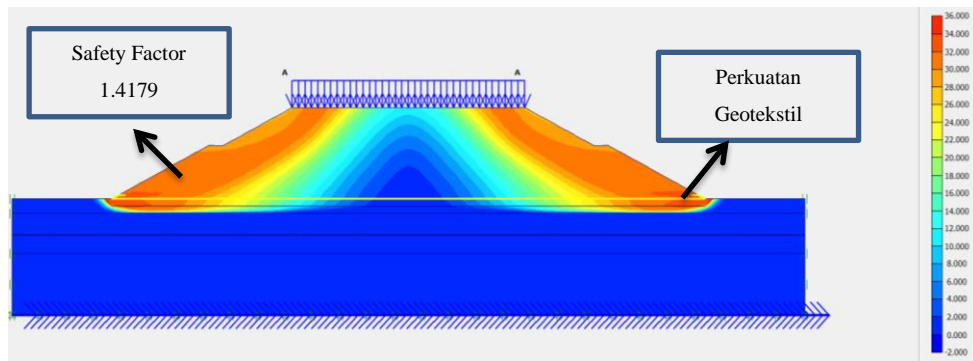


Gambar 5.107 Arah Pergerakan Lereng Timbunan *Replacemnet* 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Potensi yang mengakibatkan kelongsoran akibat beban lalu lintas dan beban dengan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.108 dan Gambar 5.109 berikut.

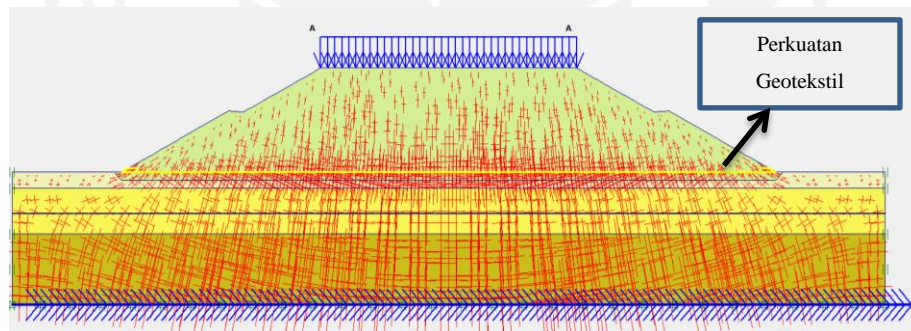


Gambar 5.108 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

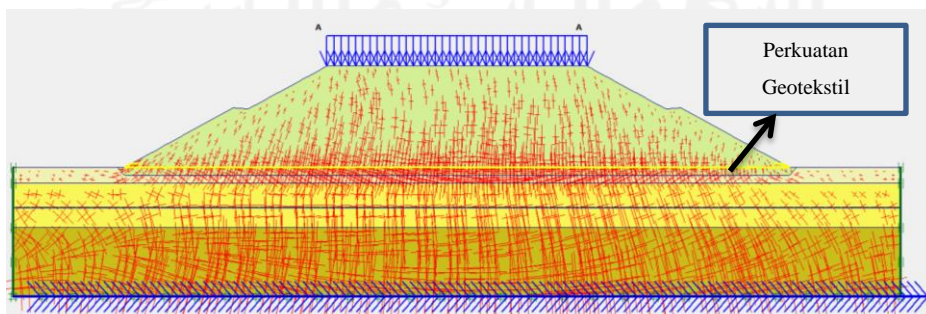


Gambar 5.109 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai dari *effective stresses* pada lereng timbunan 12,5m akibat beban lalu lintas sebesar $-520,33 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-522,55 \text{ kN/m}^2$. Hasil dari analisis tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.110 dan Gambar 5.111 berikut.

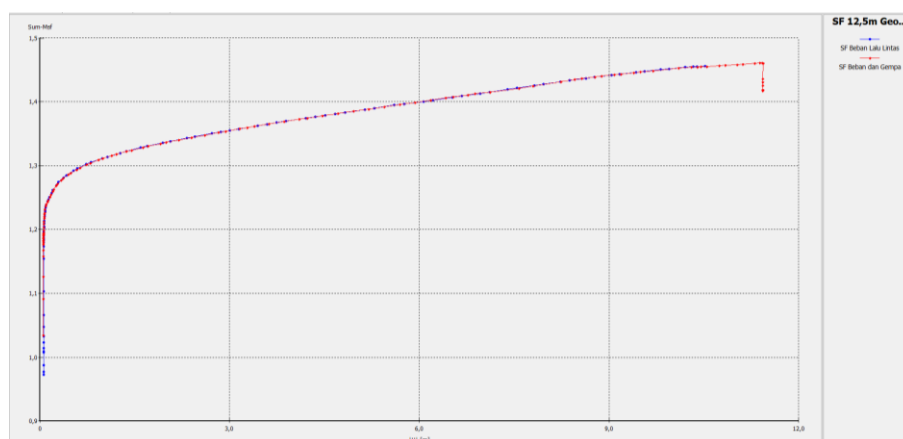


Gambar 5.110 *Effective Stresses* Lereng Timbunan *Replacemen* 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



Gambar 5.111 *Effective Stresses* Lereng Timbunan *Replacement* 12,5m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai angka aman yang didapat pada lereng timbunan 12,5m saat kondisi pasca konstruksi didapatkan dari ahasil analisis akibat beban lalu lintas sebesar 1,4561, sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,4179. Hasil dari angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.112 berikut.



Gambar 5.112 Kurva SF Lereng Timbunan *Replacement* 12,5m Pasca Konstruksi

4. Rekapitulasi hasil angka aman (SF) dan konsolidasi

Hasil dari rekapitulasi pada lereng timbunan *replacement* dengan perkuatan geotekstil untuk angka aman dan konsolidasi dapat dilihat pada Tabel 5.18 dan Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Angka Aman Lereng Timbunan *Replacement* Dengan Perkuatan

Angka Aman (SF)	Kondisi Lereng Timbunan <i>Replacement</i>			
	Masa Konstruksi		Pasca Konstruksi	
	Beban Struktur	Beban & Gempa	Beban Struktur	Beban & Gempa
Timbunan 8m	2,0643	2,0238	1,6156	1,611
Timbunan 10m	1,8754	1,8288	1,5035	1,5030
Timbunan 12,5m	1,5058	1,4680	1,4561	1,4179

Tabel 5.19 Hasil Konsolidasi Lereng Timbunan *Replacement* Dengan Perkuatan

Konsolidasi Lereng Timbunan <i>Replacement</i>		
Timbunan	Penurunan	Satuan
8m	0,04308	m
10m	0,05808	m
12,5m	0,07606	m

Dari hasil analisis perhitungan tersebut, timbunan 8m sampai 12,5m yang diberi perkuatan sudah mejadi aman karena lebih besar dari angka aman yang sudah disyaratkan sebesar 1,3. Selisih dari *safety factor* antara lereng timbunan *replacement* pada kondisi masa konstruksi dan pasca konstruksi setelah diberi perkuatan geotekstil semakin sedikit. Akan tetapi selisih konsolidasi tanah asli dengan tanah *replacement* semakin besar.

5.7 Pembahasan

5.7.1 Hasil Analisis Lereng Tanpa Pekuatan

Penelitian mengenai analisis stabilitas lereng timbunan jalan pada proyek tol Cibitung – Cilincing ini dilakukan untuk mengetahui nilai angka aman pada lereng timbunan jalan tersebut. Perhitungan analisis dilakukan dengan bantuan program Plaxis 8.6 dengan variasi tinggi timbunan, yaitu tinggi timbunan 2m, tinggi timbunan 4m, tinggi timbunan 6m, tinggi timbunan 8m, tinggi timbunan 10m, dan tinggi timbunan 12,5m. Kemudian analisis stabilitas lereng ini juga memperhitungkan akibat kondisi pada saat dilakukan masa konstruksi, maupun kondisi saat timbunan sudah siap digunakan atau kondisi pasca konstruksi. Parameter yang dimasukkan pada analisis ini merupakan beban merata akibat beban struktur jalan dan beban lalu lintas kendaraan, serta beban gempa yang sesuai dengan zonasi gempa pada daerah Bekasi.

Berdasarkan hasil dari analisis perhitungan pada Tabel 5.6, didapatkan nilai angka aman pada setiap timbunan. Pada timbunan 2m dalam kondisi aman saat masa konstruksi maupun kondisi pasca konstruksi, karena nilai angka aman masih lebih besar dari syarat angka aman lereng untuk spesifikasi jalan tol yaitu sebesar

1,3. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 4m angka aman pada kondisi saat masa konstruksinya masih aman yaitu sebesar 1,5590 untuk beban struktur dan 1,5553 untuk beban gempa, tetapi pada saat kondisi pasca konstruksi sudah berada dibawah dari syarat angka aman yang ditentukan yaitu sebesar 1,2836 untuk beban lalu lintas dan 1,2720 untuk beban gempa. Sama dengan timbunan sebelumnya, pada timbunan 6m angka aman ada kondisi saat masa konstruksinya masih aman yaitu sebesar 1,3245 untuk beban struktur dan 1,3243 untuk beban gempa, sedangkan pada saat kondisi pasca konstruksi sudah berada dibawah dari syarat angka aman yaitu sebesar 1,1807 untuk beban lalu lintas dan 1,1781 untuk beban gempa. Pada timbunan 8m baik pada saat masa konstruksi maupun pasca konstruksi nilai angka aman sudah lebih kecil dari syarat angka aman yang ditentukan untuk jalan tol. Sama seperti timbunan 8m, pada timbunan 10m dan 12,5m baik pada masa konstruksi dan pasca konstruksi nilai angka amannya sudah lebih kecil dari syarat angka aman. Pada timbunan 12,5m yang memiliki nilai angka aman yang lebih kecil dari syarat aman dilakukan perhitungan manual dengan metode *fellenius* yang menghasilkan nilai angka aman 1,0147 dan membuktikan bahwa hasil tersebut lebih kecil dari syarat aman yang artinya sudah tidak aman.

Selain menganalisis angka aman, pada penelitian ini juga membandingkan nilai konsolidasi yang terjadi pada lereng selama satu tahun (365 hari). Konsolidasi merupakan penurunan yang terjadi akibat adanya beban pada lereng dan keluarnya air melalui pori tanah selama waktu tertentu. Konsolidasi lereng timbunan tanpa perkuatan yang terjadi pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.11. Pada timbunan 2m konsolidasi yang terjadi sebesar 0,053m untuk tanah asli dan 0,043m pada tanah dengan *replacement*. Pada timbunan 4m konsolidasi yang terjadi sebesar 0,076m untuk tanah asli dan 0,055m untuk tanah dengan *replacement*. Untuk timbunan 6m konsolidasi yang terjadi sebesar 0,096m untuk tanah asli dan 0,070 untuk tanah dengan *replacement*. Pada timbunan 8m konsolidasi yang terjadi sebesar 0,103m untuk tanah asli dan 0,080m untuk tanah dengan *replacement*. Untuk timbunan 10m konsolidasi yang terjadi sebesar 0,122m untuk tanah asli dan 0,105m untuk tanah dengan *replacement*. Kemudian

untuk timbunan 12,5m konsolidasi yang terjadi pada tanah asli sebesar 0,144m dan untuk tanah dengan *replacement* sebesar 0,125m.

Oleh karena adanya beberapa lereng timbunan yang belum memenuhi syarat aman untuk spesifikasi jalan tol, maka dari itu harus diberi perkuatan yang dapat menambah kekuatan pada tanah timbunan sehingga lereng timbunan dapat difungsikan sebagai jalan tol pada proyek Cibitung – Cilincing. Lereng timbunan yang perlu diberi perkuatan adalah lereng timbunan dengan tanah timbunan 4m sampai 12,5m yang angka amannya masih dibawah dari ketentuan angka aman yang disyaratkan.

5.7.2 Hasil Analisis Lereng Dengan Perkuatan

Pada penelitian ini untuk mengatasi permasalahan pada lereng timbunan yang memiliki angka aman lebih rendah dari angka aman yang disyaratkan, maka digunakan perkuatan menggunakan bahan geosintetik jenis geotekstil *woven* UW-250 yang diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul. Kekuatan tarik ultimit yang dimiliki geotekstil jenis ini sebesar 52 kN/m^2 dengan regangan 20%. Sebelum dilakukan analisis lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil, maka perlu dilakukan perhitungan berapa jumlah kebutuhan geotekstil yang akan digunakan. Pemasangan geotekstil dipasang secara mendatar diatas tanah kemudian ditutup dengan tanah timbunan yang dipadatkan. Bagian luar geotekstil ditekuk kedalam (*overlapping*) yang berfungsi sebagai permukaan dinding penahan.

Hasil dari analisis lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil menghasilkan angka aman yang sudah lebih besar dari syarat angka aman yang ditentukan untuk spesifikasi jalan tol. Rekapitulasi angka aman lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.15. Pada lereng timbunan dengan tinggi 4m pada saat pasca konstruksi kurang dari angka aman yang disyaratkan setelah diperkuat dengan geotekstil sudah lebih besar dari 1,3 dengan hasil 1,6964 untuk beban lalu lintas dan 1,6558 untuk beban gempa. Pada lereng timbunan 6m saat kondisi pasca konstruksi sudah aman dengan hasil 1,5574 untuk beban lalu lintas dan 1,5540 untuk beban gempa. Untuk lereng tanah timbunan 8m

baik saat kondisi masa konstruksi maupun pasca konstruksi sudah menjadi aman setelah diberi perkuatan, hasil untuk tanah asli saat masa konstruksi dengan beban struktur yaitu 2,0448 dan beban gempa sebesar 1,9985, saat pasca konstruksi dengan beban lalu lintas yaitu 1,6146 dan beban gempa sebesar 1,5975. Pada timbunan lereng tanah timbunan 10m baik saat kondisi masa konstruksi maupun pasca konstruksi sudah menjadi aman setelah diberi perkuatan, hasil untuk tanah asli saat masa konstruksi dengan beban struktur yaitu 1,7803 dan beban gempa sebesar 1,7511, saat pasca konstruksi dengan beban lalu lintas yaitu 1,5077 dan beban gempa sebesar 1,570. Kemudian angka aman lereng timbunan 12,5m dengan diperkuat geotekstil pada tanah asli saat kondisi masa konstruksi dengan beban struktur sebesar 1,4590 dan beban gempa sebesar 1,421. Untuk pasca konstruksi lereng timbunan 12,5m setelah diberi perkuatan angka amannya menjadi 1,3983 untuk beban lalu lintas dan 1,3223 untuk beban gempa, angka aman ini telah menjadi lebih besar dari angka aman yang disyaratkan untuk spesifikasi jalan tol. Dari hasil analisis tersebut semua lereng timbunan yang telah diperkuat dengan geotekstil telah dapat difungsikan sebagai jalan tol pada proyek jalan tol Cibitung – Cilincing.

Hasil dari konsolidasi analisis lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil lebih aman dibandingkan dengan lereng timbunan tanpa perkuatan. Konsolidasi pada timbunan 4m tanah asli sebesar 0,033m dan tanah dengan *replacement* sebesar 0,0m. Tanah timbunan 6m konsolidasi yang terjadi pada tanah asli sebesar 0,042 m dan tanah dengan *replacement* sebesar 0,0m. Pada timbunan 8m konsolidasi yang terjadi pada tanah asli sebesar 0,056m dan tanah dengan *replacement* sebesar 0,0m. Tanah timbunan 10m konsolidasi yang terjadi pada tanah asli sebesar 0,067 dan tanah dengan *replacement* sebesar 0,0m. Sedangkan konsolidasi pada tanah timbunan 12,5m tanah asli sebesar 0,092m dan tanah dengan *replacement* sebesar 0,076m. Untuk hasil rekapitulasi konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan dengan perkuatan dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.19.

5.7.3 Perbandingan Stabilitas Lereng dengan Variasi Tinggi Timbunan

Hasil analisis menggunakan bantuan program Plaxis 8.6 memiliki hasil bahwa perbandingan stabilitas lereng dengan variasi tinggi timbunan, semakin tinggi timbunan maka semakin besar juga potensi terjadinya kelongsoran pada lereng timbunan tersebut. Oleh karena itu penelitian kali ini menggunakan tambahan geotekstil sebagai perkuatan untuk tinggi timbunan yang memiliki hasil angka aman yang belum memenuhi syarat spesifikasi untuk jalan tol.

Pada studi kasus penelitian ini terdapat lereng timbunan yang aman dengan ketinggian timbunan 2m baik pada kondisi masa konstruksi dan pasca konstruksi sehingga tidak perlu diberi perkuatan oleh geotekstil. Akan tetapi masih terdapat beberapa timbunan dengan nilai angka aman yang belum aman dan memenuhi syarat minimum sebesar 1,3. Seperti pada tinggi timbunan 4m dan 6m saat pasca konstruksi, serta tinggi timbunan 8m sampai 12,5m saat kondisi masa konstruksi dan pasca konstruksi.

Perkuatan geotekstil yang digunakan berfungsi untuk meningkatkan nilai angka aman lereng dengan tinggi timbunan yang belum aman. Pada lereng timbunan dengan perkuatan juga didapatkan hasil bahwa tinggi timbunan 12,5m sudah mencapai batas aman yang diperbolehkan untuk difungsikan sebagai jalan tol, karena nilai aman lereng pada lereng timbunan 12,5m sudah hampir senilai dengan angka aman yang disyaratkan. Berikut adalah rekapitulasi dari hasil analisis pada kondisi masa konstruksi dan pasca konstruksi baik tanpa perkuatan serta dengan perkuatan geotekstil yang disajikan pada Tabel 5.20, dan pada Tabel 5.21 rekapitulasi besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan asumsi waktu selama satu tahun sebagai berikut.

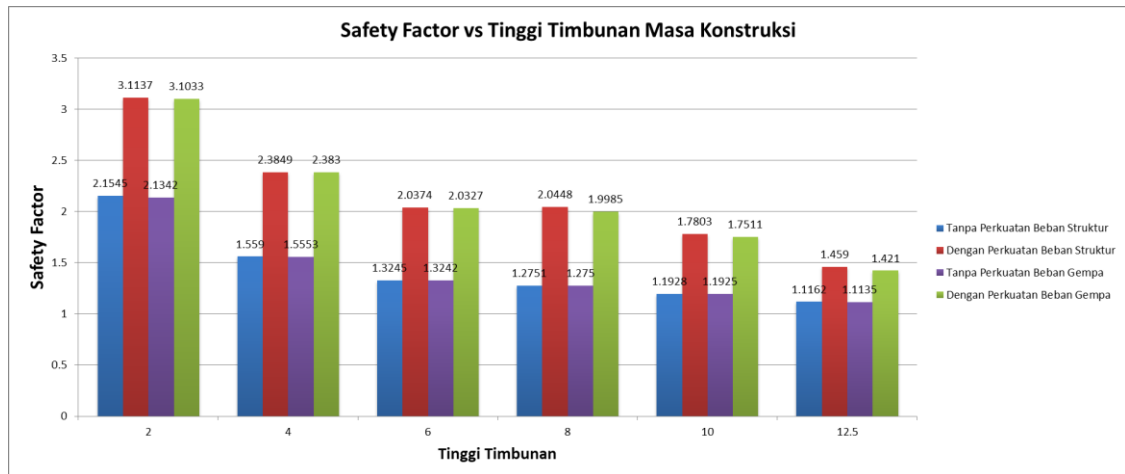
Tabel 5.20 Rekapitulasi *Safety Factor* Lereng Timbunan Asli Hasil Analisis

Kondisi Lereng Timbunan			Nilai SF Timbunan Sebelum diberi Geotekstil					Nilai SF Timbunan diberi Geotekstil			
			2m	4m	6m	8m	10m	12,5m	8m	10m	12,5m
Kondisi Tanah Asli	Masa Konstruksi	Beban Struktur	2,1545	1,5590	1,3245	1,2751	1,1928	1,1162	2,0448	1,7803	1,4590
		Beban & Gempa	2,1342	1,5553	1,3242	1,2750	1,1925	1,1135	1,9985	1,7511	1,4210
	Pasca Konstruksi	Beban Lalu Lintas	1,5324	1,2836	1,1807	1,1992	1,1576	1,1138	1,6146	1,5077	1,3983
		Beban & Gempa	1,5147	1,2720	1,1781	1,1937	1,1549	1,1131	1,5975	1,5070	1,3223

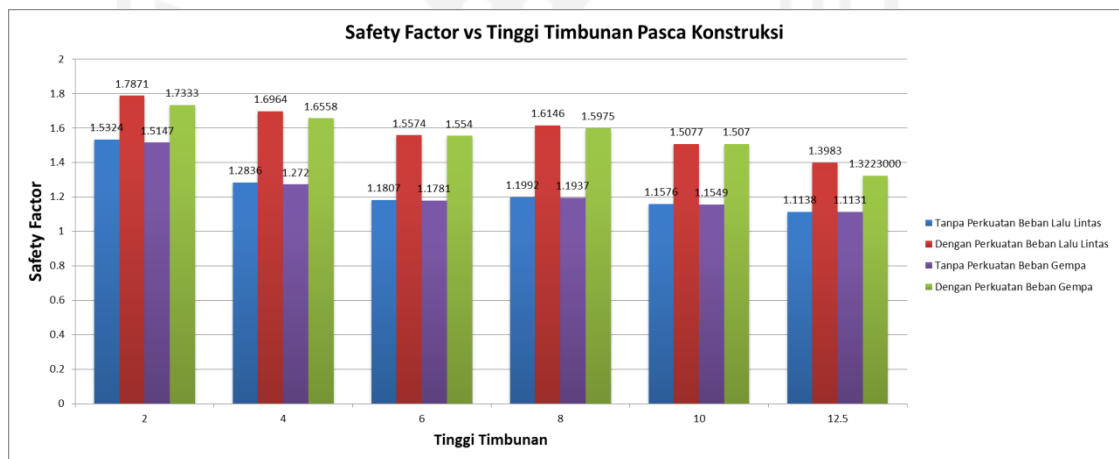
Tabel 5.21 Rekapitulasi Konsolidasi Penurunan Lereng Timbunan Asli Hasil Analisis

Timbunan	Konsolidasi Penurunan Sebelum diberi Geotekstil	Konsolidasi Penurunan Setelah diberi Geotekstil
	(m)	(m)
8m	0,10366	0,05649
10m	0,12202	0,06722
12,5m	0,14473	0,09271

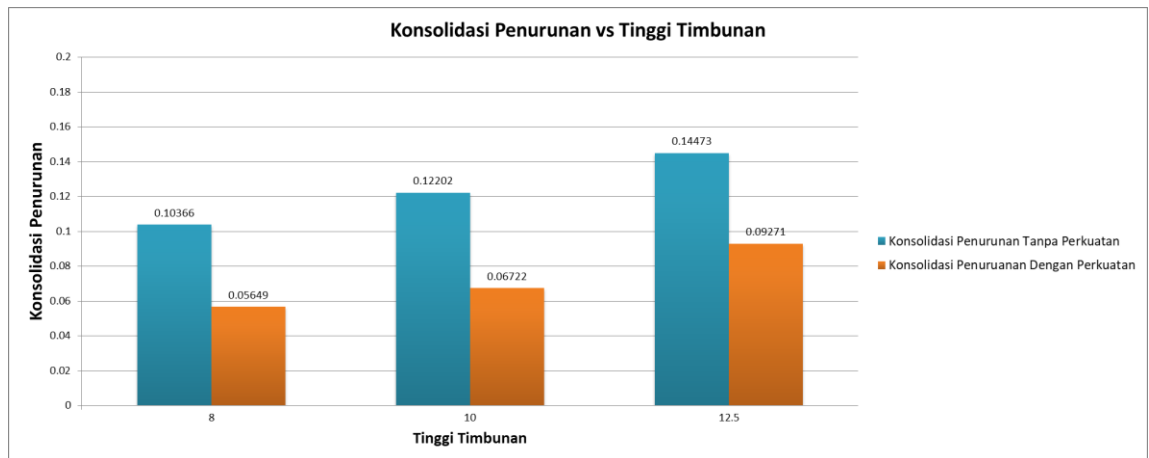
Grafik hasil rekapitulasi analisis stabilitas lereng timbunan asli pada kondisi masa konstruksi dan pasca konstruksi menggunakan tanpa dan dengan perkuatan geotekstil dan grafik hasil rekapitulasi konsolidasi penurunan lereng timbunan asli dapat dilihat pada Gambar 5.113, Gambar 5.114 dan Gambar 5.115 berikut.



Gambar 5.113 Perbandingan *Safety Factor* dengan Tinggi Timbunan Masa Konstruksi



Gambar 5.114 Perbandingan *Safety Factor* dengan Tinggi Timbunan Pasca Konstruksi



Gambar 5.115 Perbandingan Konsolidasi Penurunan dengan Tinggi Timbunan

Dari grafik tersebut dapat dijelaskan bahwa pada lereng timbunan dengan tinggi 12,5m sudah mencapai batas angka aman pada saat diberi perkuatan geotekstil. Sedangkan pada timbunan 2m sudah tidak perlu diberi perkuatan karena sudah melewati batas aman dari syarat angka aman untuk spesifikasi jalan tol. Peningkatan yang dihasilkan oleh geotekstil pada penelitian ini cukup besar yaitu sekitar 0,3 *safety factor*. Kemudian nilai konsolidasi penurunan yang dihasilkan selama permodelan di estimasikan dalam satu tahun pada kondisi lereng timbunan dengan perkuatan memiliki nilai yang lebih kecil dan aman daripada lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil.

5.7.4 Perbandingan Stabilitas Lereng Tanah Asli dengan Tanah yang Diberi Replacement

Pada penelitian ini juga membandingkan pengaruh dari tanah yang diberi *replacement* oleh tanah timbunan. Dari hasil analisis lereng timbunan tanpa diberi perkuatan didapatkan hasil yang tidak berbeda jauh antara tanah asli dan tanah yang diberi *replacement*. Untuk hasil angka aman dengan tanah yang diberi *replacement* lebih besar dibandingkan dengan lereng timbunan tanah asli, akan tetapi setelah diberi perkuatan geotekstil perbedaan pada angka aman antara tanah asli dan tanah yang diberi *replacement* semakin kecil selisihnya. Hal ini dikarenakan kekuatan dari tanah timbunan menggantikan tanah asli sudah tidak begitu berpengaruh setelah adanya perkuatan dari geotekstil.

Perbandingan stabilitas lereng tanah asli dengan tanah yang diberi *replacement* juga terdapat pada hasil konsolidasi yang terjadi. Dari hasil konsolidasi tersebut tanah dengan *replacement* memiliki nilai konsolidasi yang lebih kecil dibandingkan tanah asli. Hal ini terjadi dimungkinkan karena jenis pada tanah timbunan yang dijadikan sebagai tanah *replacement* memiliki nilai angka pori yang lebih kecil dibandingkan tanah asli, sehingga menghasilkan konsolidasi yang lebih kecil.

Berikut adalah rekapitulasi dari hasil analisis pada kondisi masa konstruksi dan pasca konstruksi baik tanpa perkuatan serta dengan perkuatan geotekstil yang disajikan pada Tabel 5.22, dan pada Tabel 5.23 rekapitulasi besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan asumsi waktu selama satu tahun sebagai berikut.

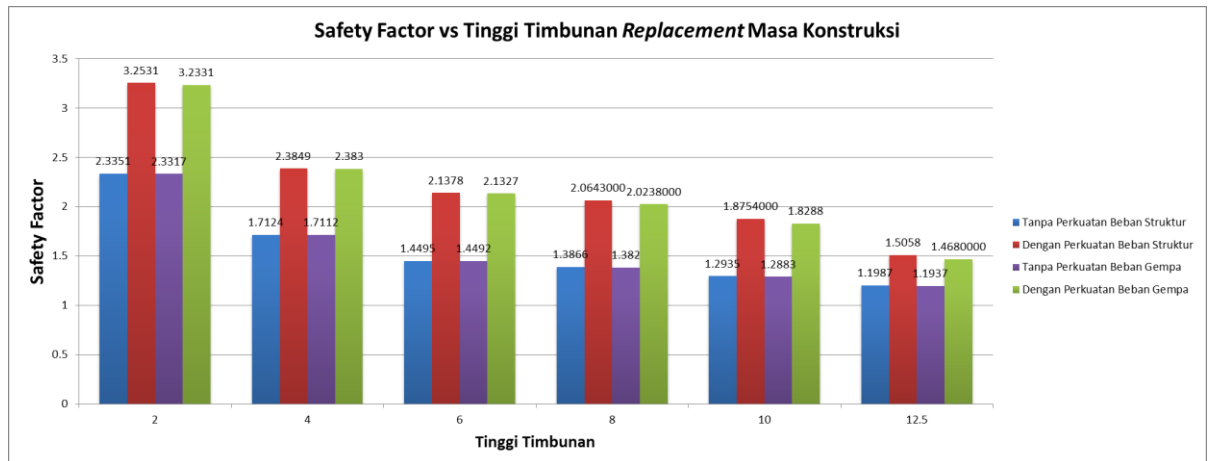
Tabel 5.22 Rekapitulasi *Safety Factor* Lereng Timbunan *Replacement* Hasil Analisis

Kondisi Lereng Timbunan			Nilai SF Timbunan Sebelum diberi Geotekstil					Nilai SF Timbunan diberi Geotekstil			
			2m	4m	6m	8m	10m	12,5m	8m	10m	12,5m
Kondisi Tanah <i>Replacement</i>	Masa Konstruksi	Beban Struktur	2,3351	1,7124	1,4495	1,3866	1,2935	1,1987	2,0643	1,8754	1,5058
		Beban & Gempa	2,3317	1,7112	1,4492	1,3820	1,2883	1,1937	2,0238	1,8288	1,4680
	Pasca Konstruksi	Beban Lalu Lintas	2,2590	1,7194	1,4975	1,4323	1,2362	1,1781	1,6156	1,5035	1,4561
		Beban & Gempa	2,2420	1,7121	1,4898	1,4245	1,2354	1,1774	1,611	1,5030	1,4179

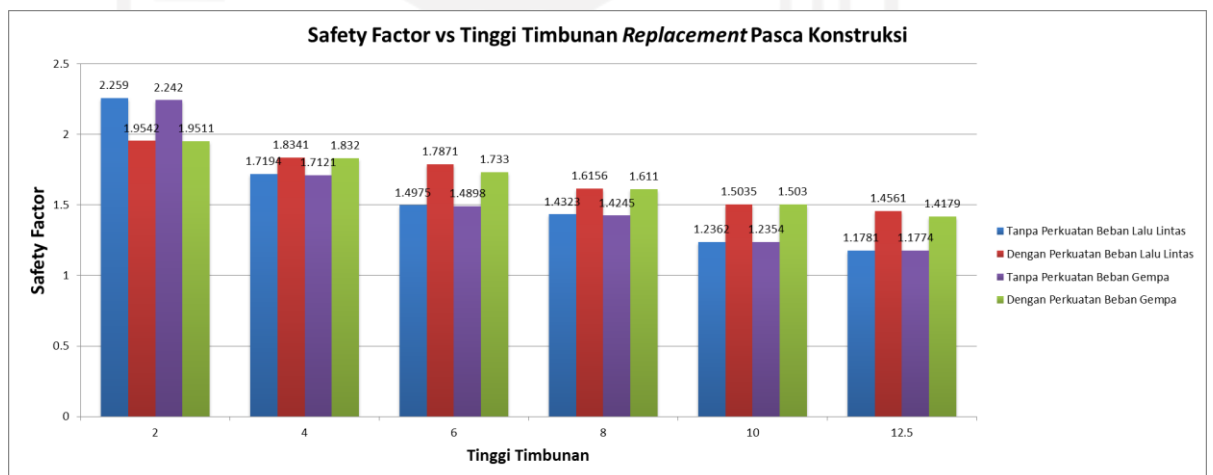
Tabel 5.23 Rekapitulasi Konsolidasi Penurunan Lereng Timbunan *Replacement* Hasil Analisis

Timbunan	Konsolidasi Penurunan Sebelum diberi Geotekstil	Konsolidasi Penurunan Setelah diberi Geotekstil
	(m)	(m)
8m	0,08008	0,04608
10m	0,10518	0,05808
12,5m	0,12540	0,07606

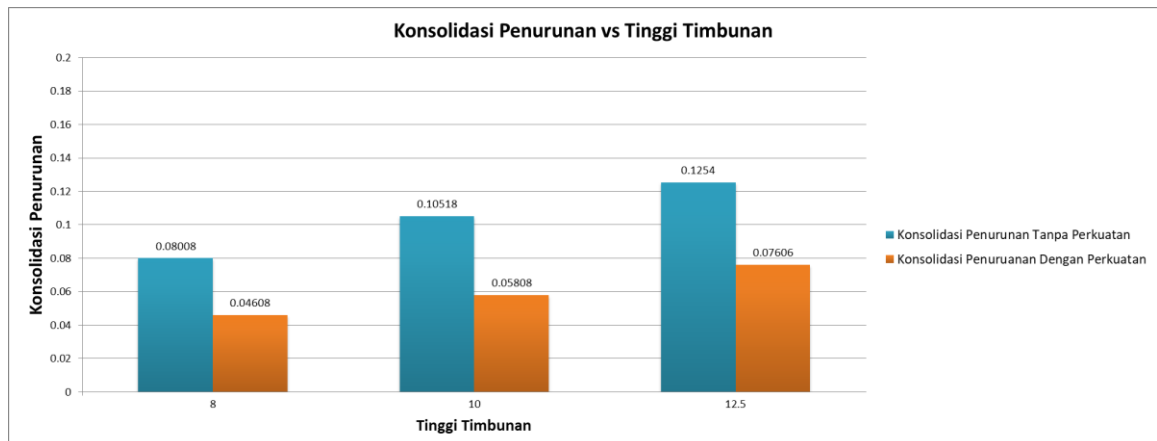
Untuk rekapitulasi keseluruhan dari hasil rekapitulasi analisis stabilitas lereng timbunan *replacement* pada kondisi masa konstruksi dan pasca konstruksi menggunakan tanpa dan dengan perkuatan geotekstil dan grafik hasil rekapitulasi konsolidasi penurunan lereng timbunan *replacement* dapat dilihat pada Gambar 5.116, Gambar 5.117 dan Gambar 5.118 berikut.



Gambar 5.116 Perbandingan *Safety Factor* dengan Tinggi Timbunan *Replacement* Masa Konstruksi



Gambar 5.117 Perbandingan *Safety Factor* dengan Tinggi Timbunan *Replacement* Pasca Konstruksi



Gambar 5.118 Perbandingan Konsolidasi Penurunan dengan Tinggi Timbunan *Replacement*

Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa tanah timbunan yang digunakan sebagai *replacement* tanah asli memiliki dampak pada keamanan stabilitas lereng, meskipun tidak terlalu signifikan dampak yang dihasilkan oleh tanah *replacement*. Tanah yang diberi *replacement* dapat menjadi pertimbangan dalam perencanaan sebagai bahan tambah untuk perkuatan stabilitas lereng. Perbandingan stabilitas lereng tanah asli dengan tanah yang diberi *replacement* juga terdapat pada hasil konsolidasi yang terjadi. Dari hasil konsolidasi tersebut tanah dengan *replacement* memiliki nilai konsolidasi yang lebih kecil dibandingkan tanah asli.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa sebagai berikut.

1. Hasil analisis stabilitas lereng pada masa konstruksi menunjukkan bahwa angka aman untuk lereng timbunan asli dengan ketinggian 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, dan 12,5m akibat beban struktur secara berturut didapat angka aman sebesar 2,154; 1,559; 1,324; 1,2751; 1,1928; dan 1,116. Sedangkan akibat beban gempa sebesar 2,134; 1,555; 1,324; 1,275; 1,1925; dan 1,113.

Pada kondisi pasca konstruksi lereng timbunan asli didapat nilai angka aman akibat beban lalu lintas secara berturut sebesar 1,532; 1,283; 1,180; 1,199; 1,157; dan 1,1138. Sedangkan akibat beban gempa sebesar 1,514; 1,272; 1,178; 1,193; 1,154; dan 1,1131. Kemudian nilai penurunan konsolidasi yang dihasilkan selama permodelan yang di estimasikan dalam satu tahun pada tinggi timbunan 8m, 10m, dan 12,5m sebesar 0,10366 m; 0,12202 m; 0,14473 m.

2. Angka aman yang didapat pada analisis stabilitas lereng masa konstruksi dengan perkuatan geotekstil satu lapis pada timbunan 8m, 10m, dan 12,5m akibat beban struktur secara berturut sebesar 2,044; 1,780; dan 1,459. Sedangkan akibat beban gempa sebesar 1,998; 1,751; dan 1,421.

Hasil analisis stabilitas lereng pada pasca konstruksi dengan perkuatan geotekstil akibat beban lalu lintas didapat angka aman sebesar 1,614; 1,5077; dan 1,398. Sedangkan akibat beban gempa sebesar 1,597; 1,5070; dan 1,3223. Nilai penurunan konsolidasi yang dihasilkan selama permodelan yang di estimasikan dalam satu tahun memiliki nilai sebesar 0,0564; 0,0672; dan 0,0927. Nilai ini relatif lebih kecil daripada lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil. Maka lereng timbunan 12,5m adalah batas tinggi yang dapat

ditimbun pada kondisi tanah pada proyek jalan tol Cibitung – Cilincing di Sta 3+550.

3. Perbandingan angka aman lereng timbunan untuk tinggi timbunan 2m, 4m, 6m, 8m, 10, dan 12,5m:

- a. Masa konstruksi

Nilai angka aman *replacement* tanah akibat beban struktur secara berturut sebesar 2,335; 1,712; 1,4495; 1,3866; 1,293; dan 1,198. Sedangkan akibat beban gempa sebesar 2,331; 1,711; 1,4492; 1,382; 1,2883; dan 1,193. Kemudian setelah diberi perkuatan geotekstil akibat beban struktur sebesar 2,064; 1,875; dan 1,505. Akibat beban gempa sebesar 2,023; 1,828; dan 1,468.

- b. Pasca konstruksi

Hasil angka aman *replacement* tanah akibat beban lalu lintas secara berturut sebesar 2,259; 1,719; 1,497; 1,432; 1,236; dan 1,178. Sedangkan akibat beban gempa sebesar 2,242; 1,712; 1,489; 1,424; 1,235; dan 1,177. Nilai penurunan konsolidasi pada timbunan 8m, 10m, dan 12,5m sebesar 0,08m; 0,105m; dan 0,125m. Kemudian setelah diberi perkuatan geotekstil akibat beban lalu lintas sebesar 1,615; 1,5035; dan 1,456. Akibat beban gempa sebesar 1,611; 1,503; dan 1,417. Dengan nilai penurunan konsolidasi dengan estimasi satu tahun sebesar 0,046m; 0,058m; dan 0,076m.

Hasil analisis stabilitas lereng dengan tanah yang diberi *replacement* menghasilkan angka aman yang lebih besar dibandingkan lereng dengan tanah asli. Selisih perbedaan angka aman tidak terlalu jauh yaitu sebesar 0,2, dan pada saat menggunakan tambahan perkuatan geotekstil selisih antara lereng tanah asli dengan tanah yang diberi *replacement* semakin kecil. Sedangkan pada konsolidasi yang telah dilakukan analisis dengan hasil pada tanah yang diberi *replacement* lebih kecil dibandingkan dengan lereng tanah asli.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil studi kasus dari penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut ini.

1. Parameter tanah lereng timbunan dapat dilakukan analisis dengan menggunakan variasi jenis tanah dengan variasi nilai berat jenis tanah (γ_b), kohesi (c), atau kuat geser tanah (ϕ), untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter tanah pada stabilitas lereng.
2. Pada penelitian ini saat melakukan analisis hanya menggunakan satu parameter kekuatan menggunakan kekuatan jenis geotekstil, untuk penelitian lebih lanjut dapat dipertimbangkan dengan perbandingan apabila menggunakan parameter kekuatan tambahan atau pengganti seperti *sheet pile*, *borepile* maupun cerucuk bambu karena dari hasil analisis masih terdapat potensi kelongsoran yang sampai kedalam tanah.
3. Bagi peneliti yang akan melakukan penelitian lebih lanjut selain memberikan kekuatan pada timbunan dapat dipertimbangkan juga penggunaan alternatif bahan tambah stabilitas tanah, seperti dengan stabilitas kimia dengan tanah pada lereng asli dicampurkan dengan bahan kimia seperti kapur, semen dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

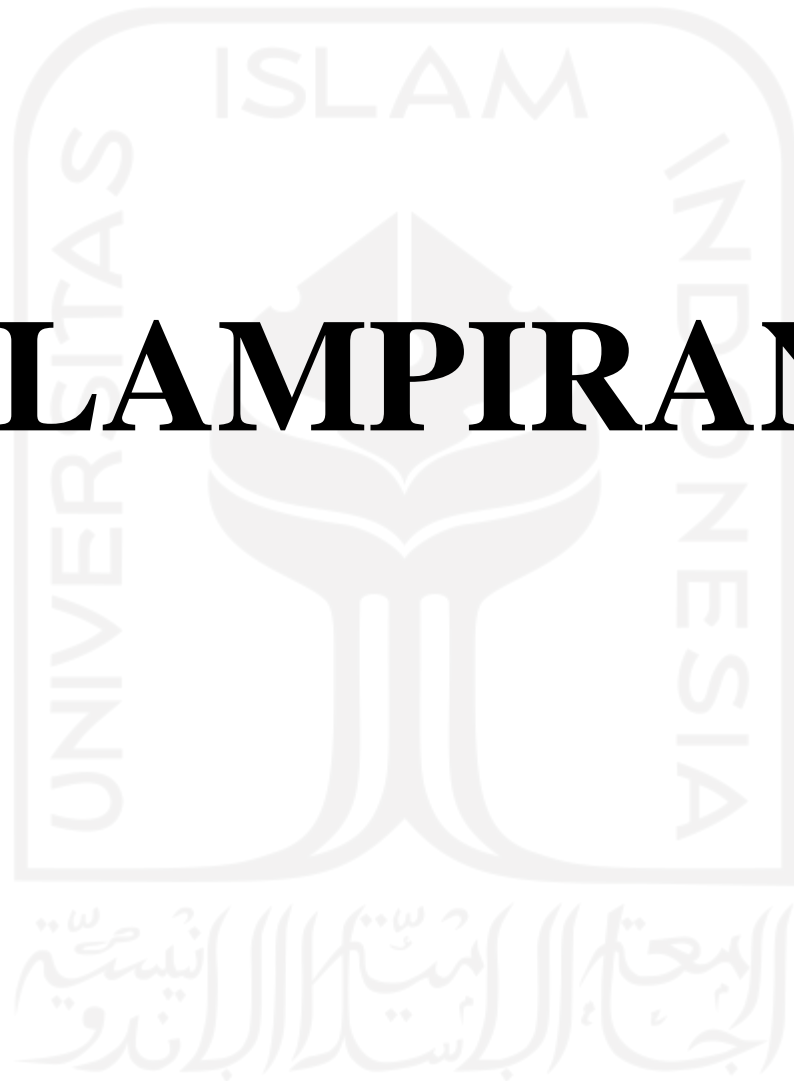
- 1726:2019, S. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. In *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.
- Arsy, Aisyah. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius (Study Kasus: Proyek Jalan Tol Solo-Kertasono STA 4+175). dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.
- Bowles, J.E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Terjemahan. Erlangga. Jakarta.
- Das, B.M. (1988). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Edisi Pertama. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Das, B.M. (1995). *Mekanika Tanah I*. Erlangga. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (1994). *Mekanika Tanah 2*. Edisi Pertama. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (1996). *Mekanika Tanah I*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2006). *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2008). *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya*. Edisi Pertama. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2003). *Mekanika Tanah II*. Edisi Ke III Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C. (2011). *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hediyanto, Rizaldi. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Kantilever dan *Sheetpile* Pada Bantaran Sungai Code. dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- Isparmo, 2010. Geotextile Woven, Definisi dan Fungsi. (<http://geotextile.web.id/geotextile-woven-definisi-dan-fungsi.html>. Diakses 15 November 2020)
- Kafilanda, D.W. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil Dengan Program *Geoslope* Studi Kasus Jalan Tol Balikpapan-Samarinda, Pada Sta. 1+975. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Purwanto, Edy. (2012). *Hand Out Mata Kuliah Perkuatan Tanah*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- PT. Teknindo Geosistem Unggul. (Tanpa Tahun). Technical Spesification. Geotextile Woven. Surabaya.
- PUSKIM. 2014. Peta Zonasi Gempa. (<http://puskim.pu.go.id/peta-zonasi-gempa/>). Diakses 17 November 2020.
- Sekarti, D.N.A. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan di Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Salatiga Kartasura. dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- Sosrodarsono, Sunyono, Ir. dan Nakazawa , K. (2000). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT Pradnya Paramitha, Jakarta.

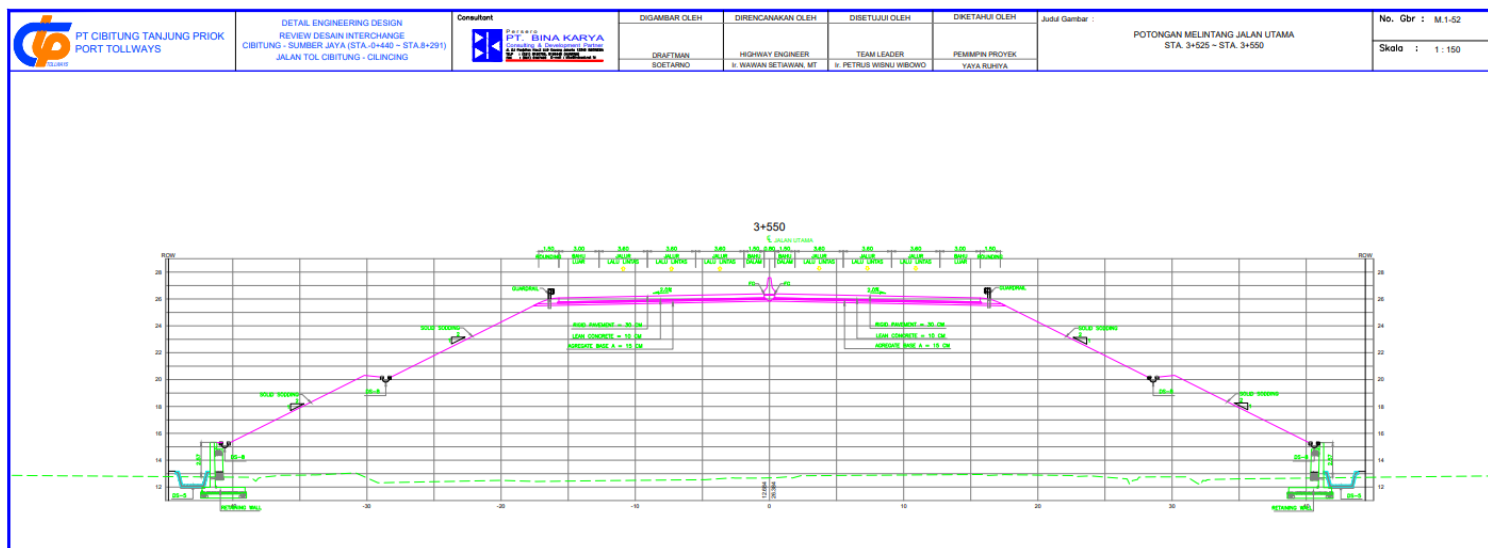
Utomo, B.P. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing* Dengan Menggunakan Program *Geoslope* Pada Bantaran Sungai Code. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.



LAMPIRAN



Lampiran 1 Geometri Potongan Melintang



Gambar L-1.1 Geometri Potongan Melintang

Lampiran 2 Data Hasil Uji Lab Sampel Tanah

DATA LABORATORIUM DAN QUARRY

PROYEK JALAN TOLL CIBITUNG – CILICING SEKSI 1



Persero
PT. BINA KARYA
Consulting & Development Partner
Jl. D.I. Panjaitan Kav.2 Lt.9 Cawang Jakarta 13340 INDONESIA
TELP : (021) 8190705, 8198445 (HURTING)
FAX : (021) 8197490 E-mail : bika@indosat.net.id

DATA LABORATORIUM

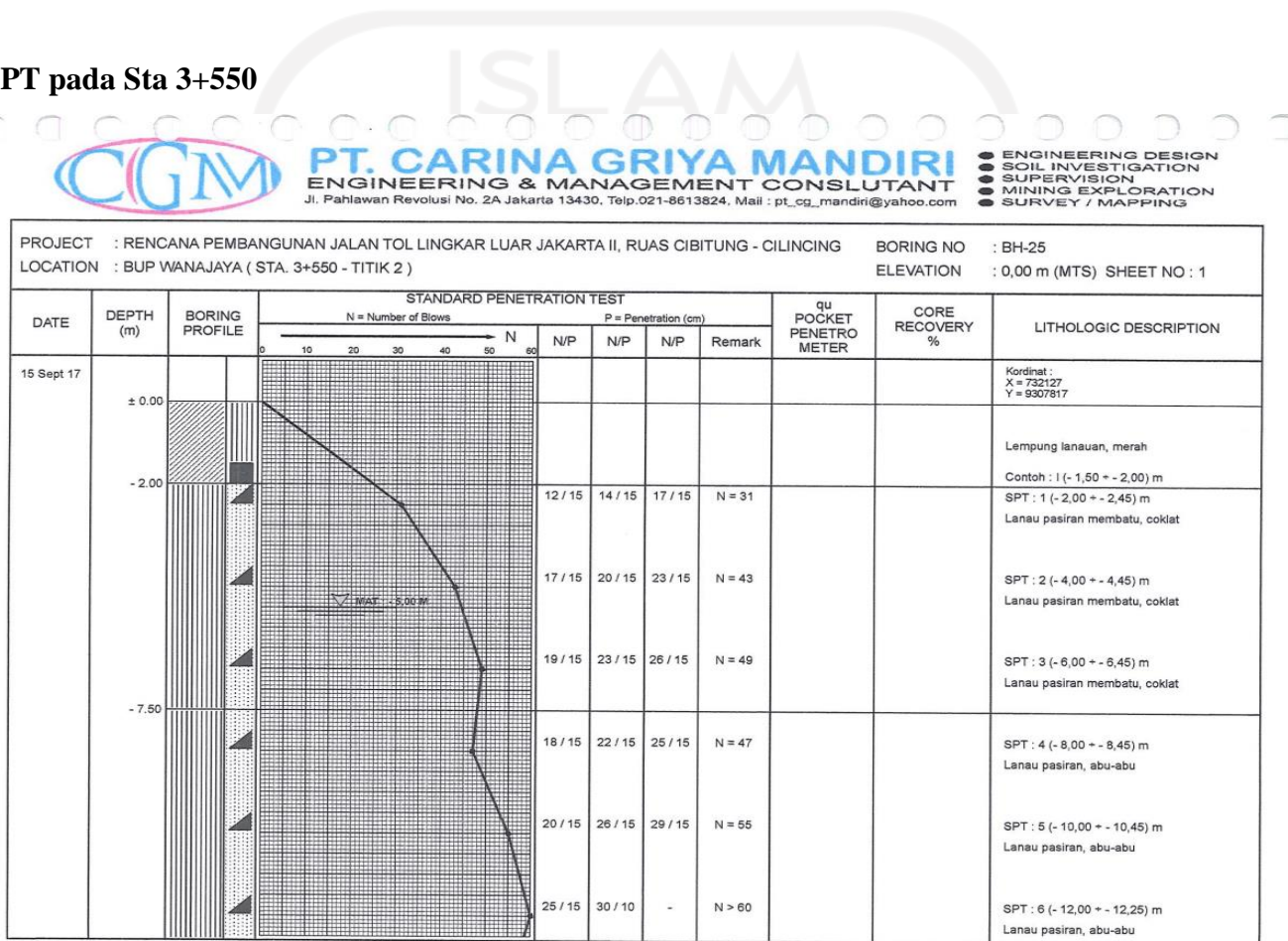
No	Depth m	STA	Borlog	LL %	PL %	PI %	Clay %	Activity	Ysat kN/m ³	c kN/m ²	φ degree
1	2	3+400	BH-27	81.72	31.62	50.1	49	1.022	16.71	21	15
2	2	3+550	BH-25	79.9	37.71	42.19	50	0.844	16.3	10.3	8
3	2	3+550	BH-26	80.5	31.94	48.56	52	0.934	16.36	10.9	8
4	2	7+500	BH-28	81.18	31.88	49.3	52	0.948	16.73	19.7	15
5	4	7+500	BH-28	81.54	31.9	49.64	50	0.993	16.81	21.9	16
6	6	7+500	BH-28	81.41	31.82	49.59	48	1.033	16.86	23.7	18



Persero
PT. BINA KARYA
Consulting & Development Partner
Jl. D.I. Panjaitan Kav.2 Lt.9 Cawang Jakarta 13340 INDONESIA
TELP : (021) 8190705, 8198445 (HURTING)
FAX : (021) 8197490 E-mail : bika@indosat.net.id

Gambar L-1.2 Data Hasil Uji Lab Sampel Tanah

Lampiran 3 Data SPT pada Sta 3+550



Gambar L-1.3 Data SPT pada Sta 3+550

Lampiran 4 Data *Technical Specification Geotextile Woven*

UnggulTex
POLYPROPYLENE WOVEN GEOTEXTILES

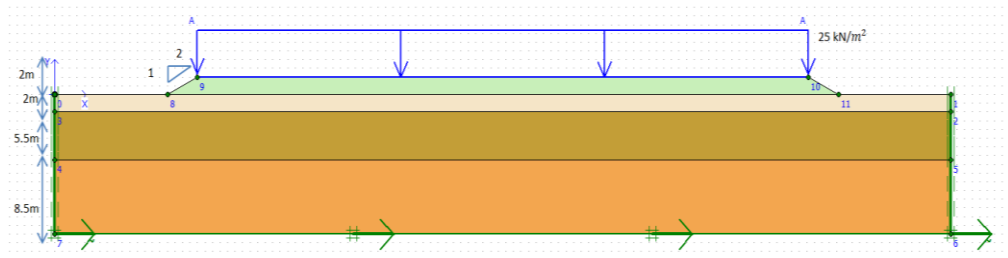
TECHNICAL SPESIFICATIONS

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 5189-91	0.5	0.6	0.7
Colour	-	-	Black	Black	Black
Mechanical Properties					
Strip Tensile Strength (Wrab/Wefit)	kN/m	ASTM D 4595-94	37/35	42/39	52/52
Elongation at Max. Load (Wrab/Wefit)	%	ASTM D 4595-94	19/18	20/20	20/20
Grap Tensile Strength (Wrab/Wefit)	N	ASTM D 4632-91	1210/1200	1600/1600	1750/1750
Elongation at Max. Load (Wrab/Wefit)	%	ASTM D 4632-91	14/13	22/22	22/22
Trapezoidal Tear Strength (Wrab/Wefit)	N	ASTM D 4533-91	615/615	700/700	800/800
Hydraulic Properties					
Pore Size O ₃₅	µm	ASTM D 4751-95	320	275	250
Water Permeability	l/m ² /sec	100 mm water head	28	16	7.5
Environmental Properties					
Effect of soil Alkalinity	-	-	nil	nil	nil
Effect of soil Acidity	-	-	nil	nil	nil
Effect of Bacteria	-	-	nil	nil	nil
Effect of U.V. Light	-	-	Stabilized	Stabilized	Stabilized
Packaging					
Roll Length	m	-	150 - 200	150 - 200	150 - 200
Roll Width	m	-	3 - 4	3 - 4	3 - 4
Roll Area	m ²	-	640 - 760	640 - 760	640 - 760
Roll Diameter (Approx)	m	-	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5
Roll Weight (Approx)	kg	-	96 - 114	128 - 152	160 - 190

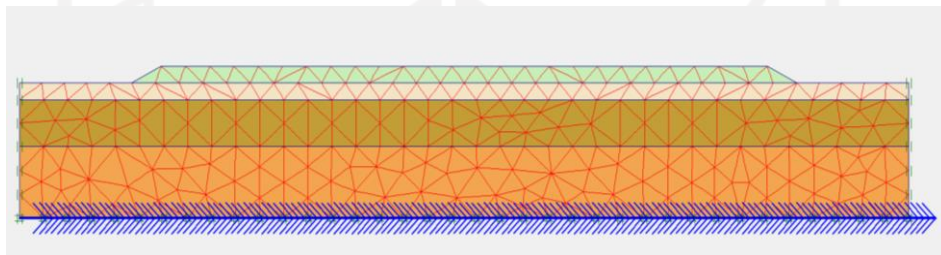
All information, illustration and specification are based on the latest product information available at the time of printing. The right is reserved to make changes at any time without notice.

Gambar L-1.4 Data *Technical Specification Geotextile Woven*

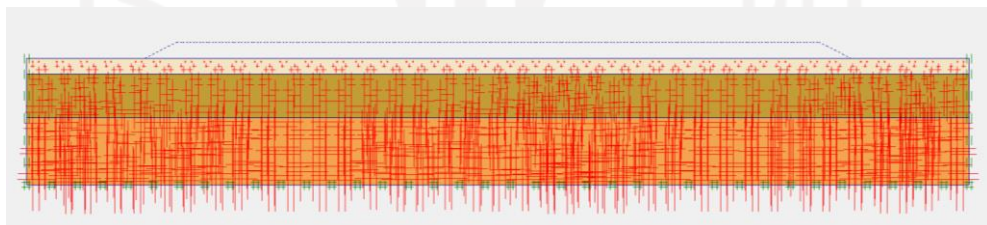
Lampiran 6 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Tanpa Perkuatan



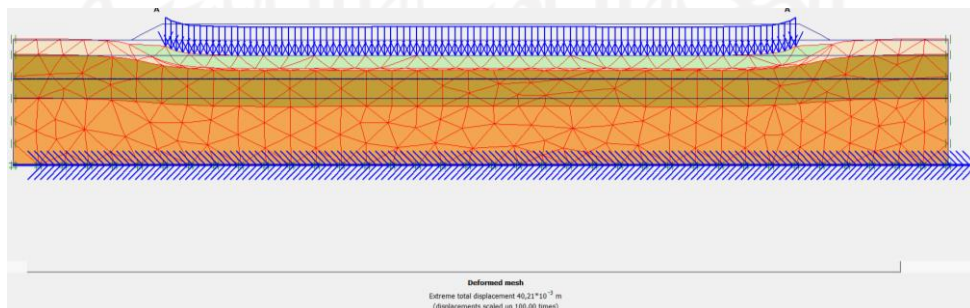
Gambar L-6.1 Pemodelan Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



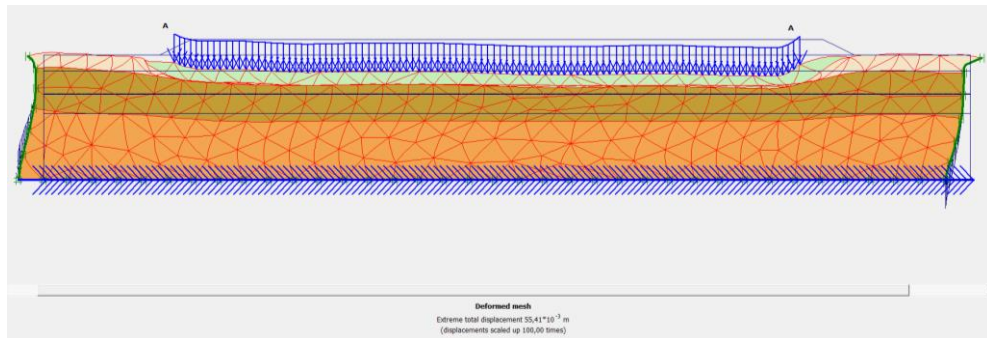
Gambar L-6.2 Meshing pada Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



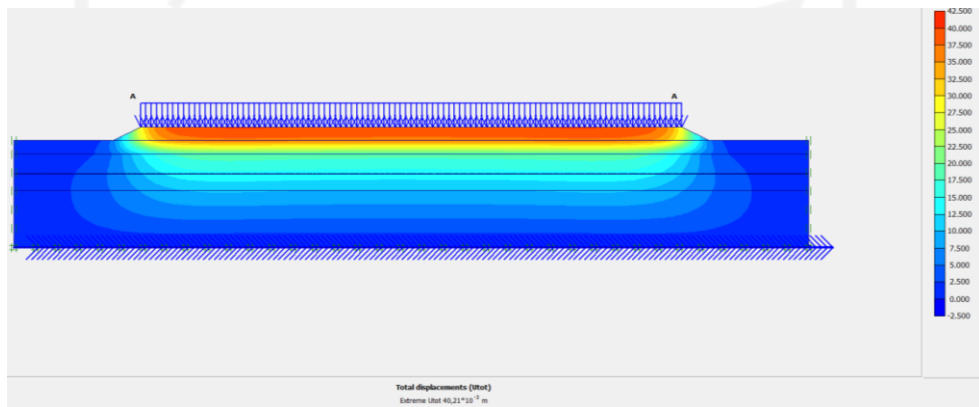
Gambar L-6.3 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



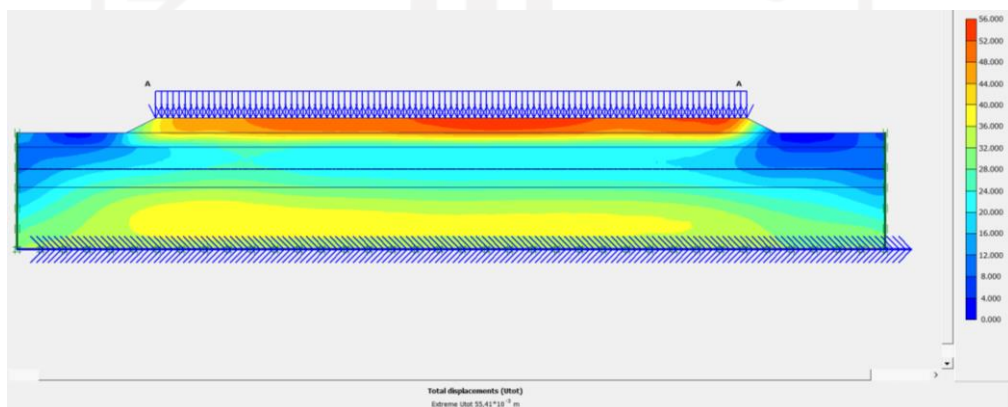
Gambar L-6.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



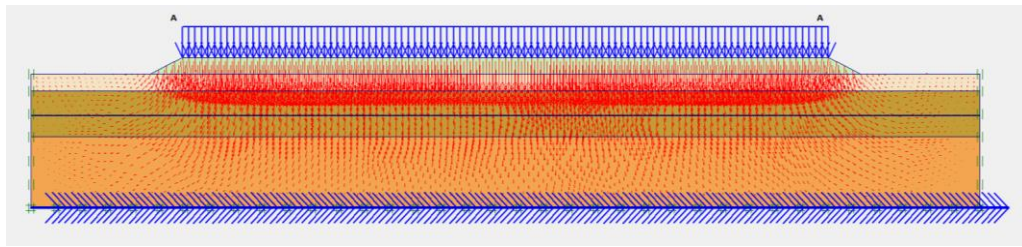
Gambar L-6.5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



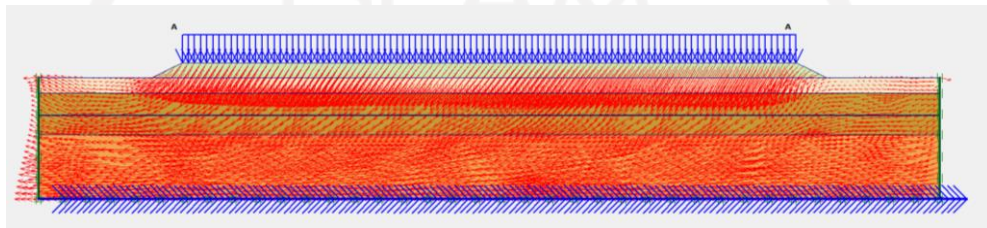
Gambar L-6.6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur



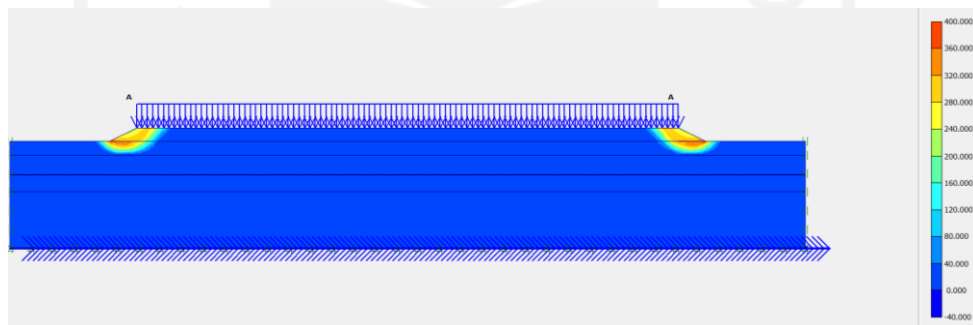
Gambar L-6.7 *Total Displacement* Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



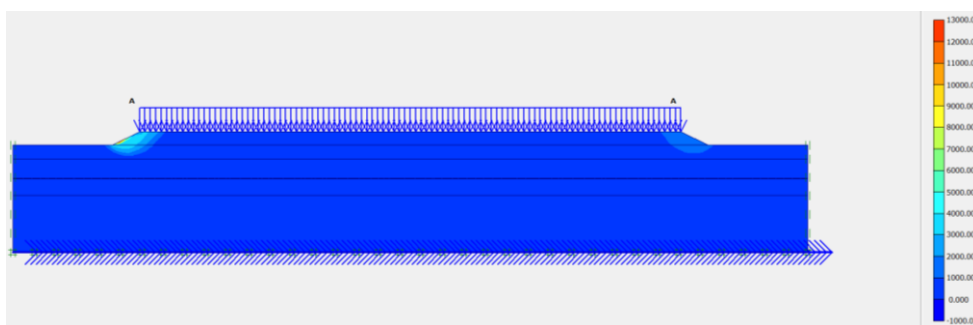
Gambar L-6.8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



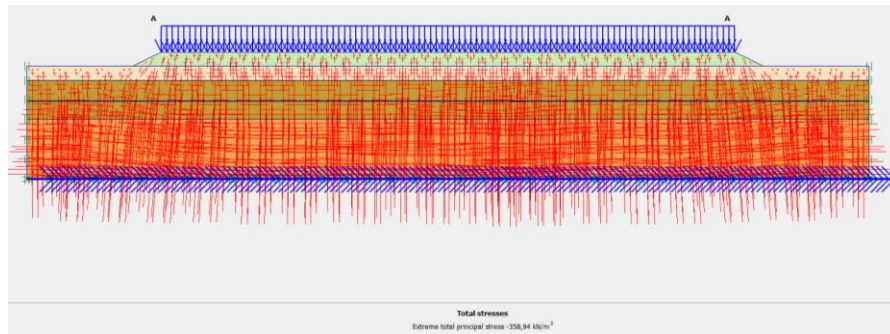
Gambar L-6.9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



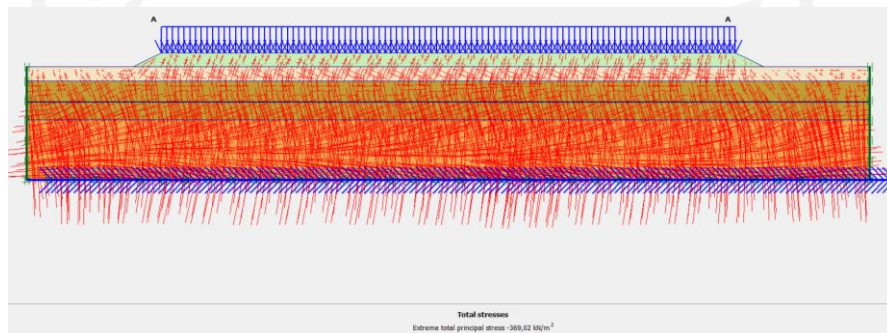
Gambar L-6.10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



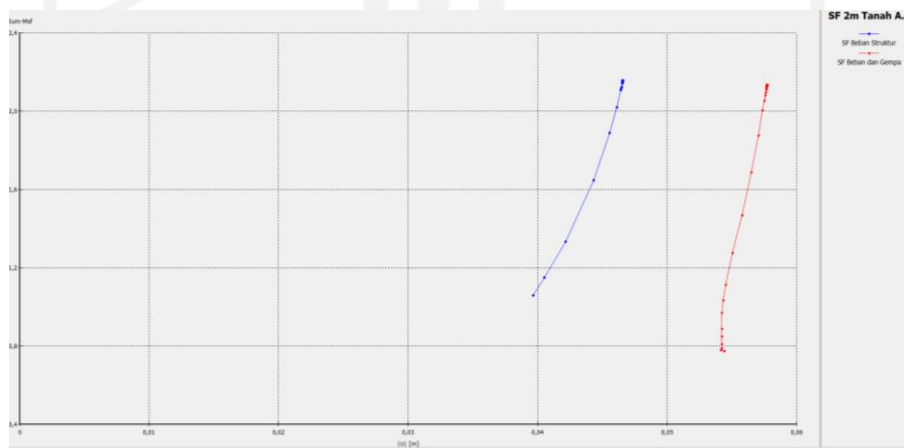
Gambar L-6.11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



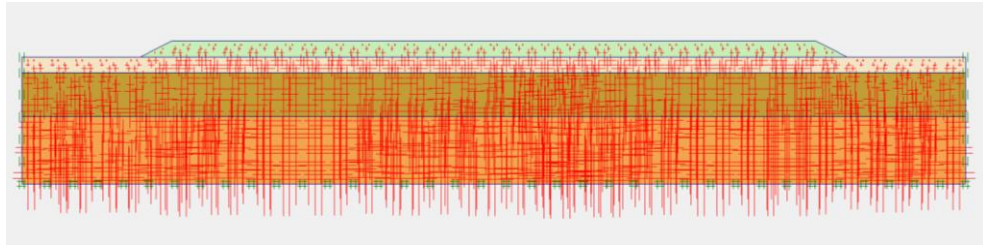
Gambar L-6.12 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



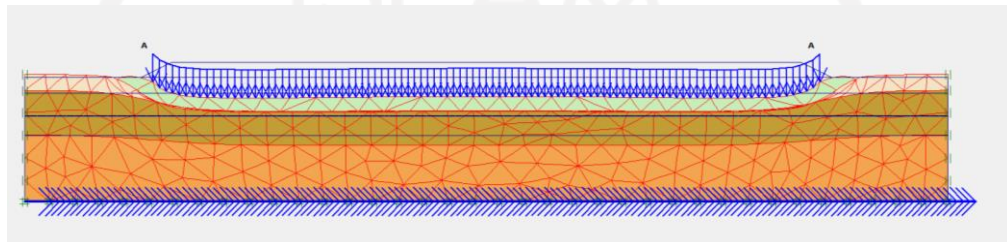
Gambar L-6.13 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



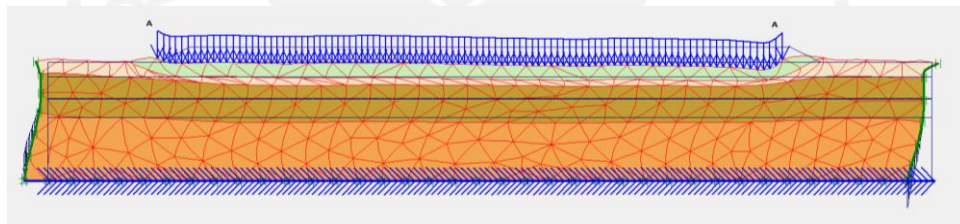
Gambar L-6.14 Kurva SF Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Masa Konstruksi



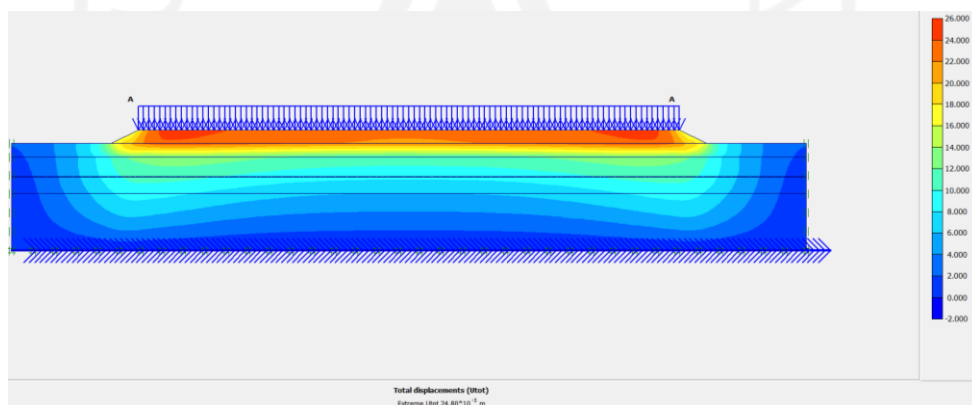
Gambar L-6.15 *Intial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Pasca Konstruksi Tanpa Perkuatan



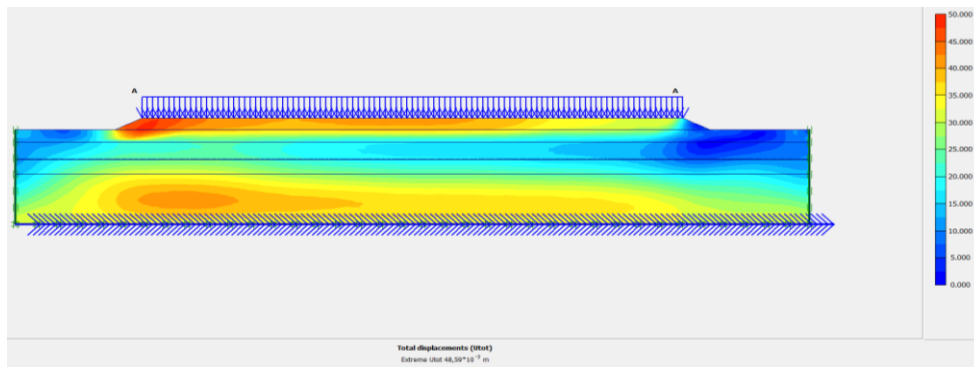
Gambar L-6.16 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



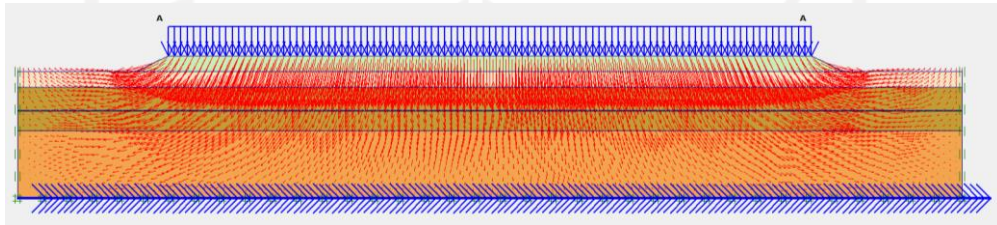
Gambar L-6.17 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa



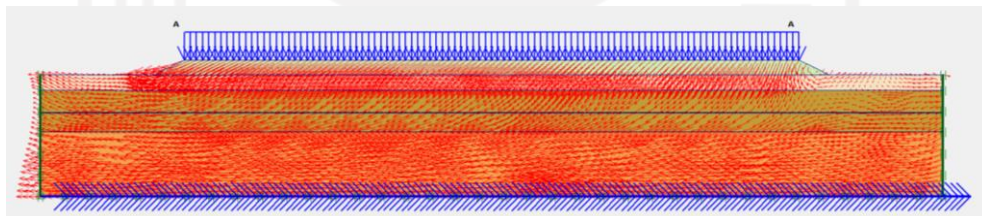
Gambar L-6.18 *Total Displacement* Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



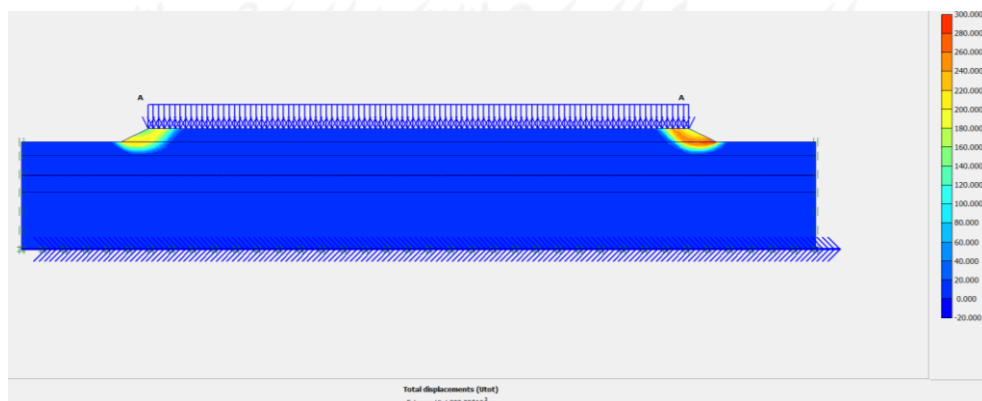
Gambar L-6.19 Total Displacement Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



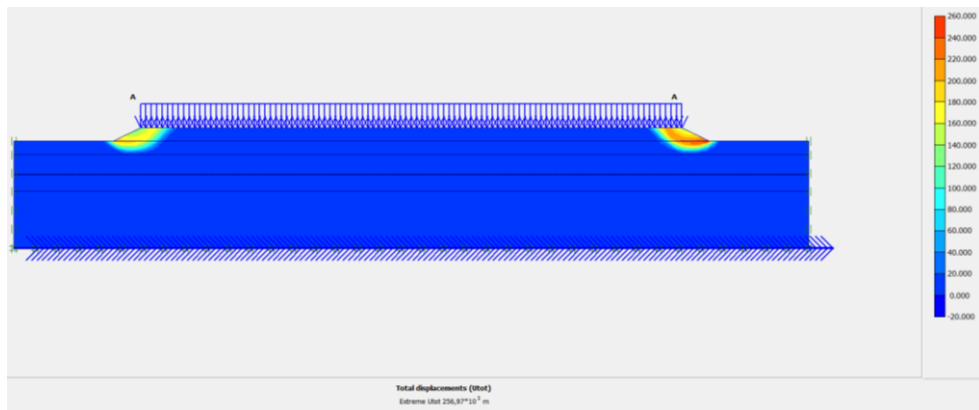
Gambar L-6.20 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



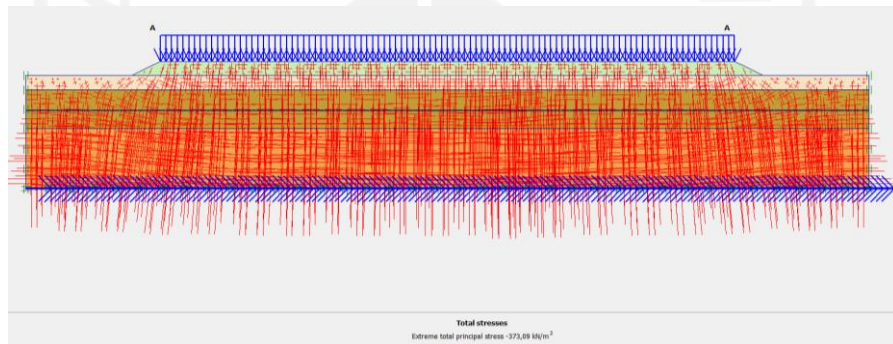
Gambar L-6.21 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



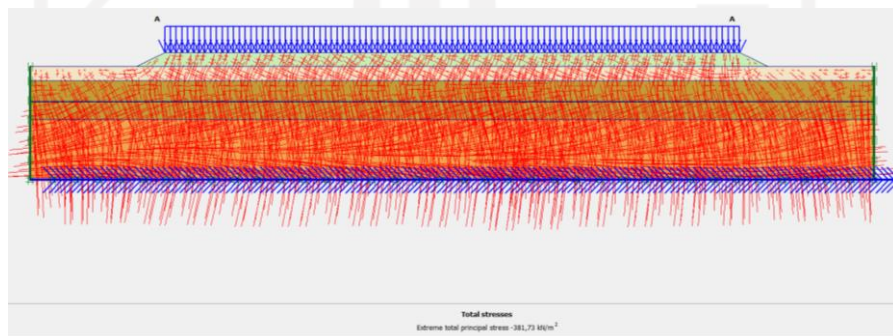
Gambar L-6.22 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



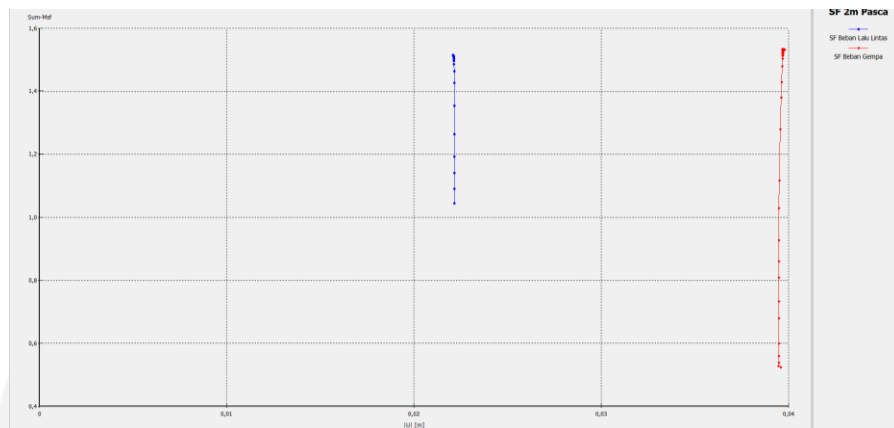
**Gambar L-6.23 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Pasca
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



**Gambar L-6.24 Effective Stresses Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Pasca
Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**

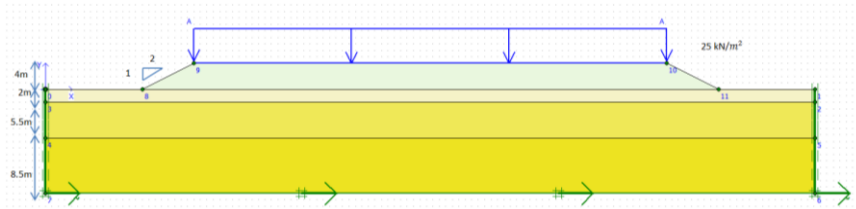


**Gambar L-6.25 Effective Stresses Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Pasca
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

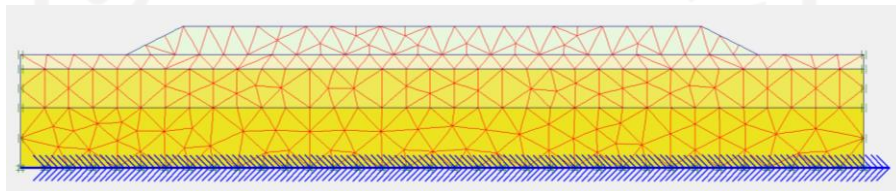


**Gambar L-6.26 Kurva SF Lereng Timbunan 2m Tanah Asli Pasca
Konstruksi**

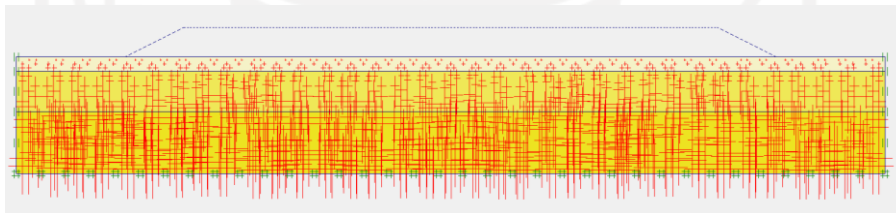
Lampiran 7 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Tanpa Perkuatan



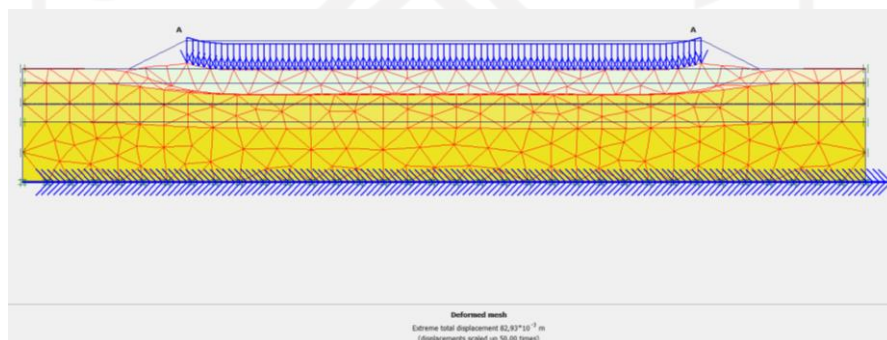
Gambar L-7.1 Pemodelan Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



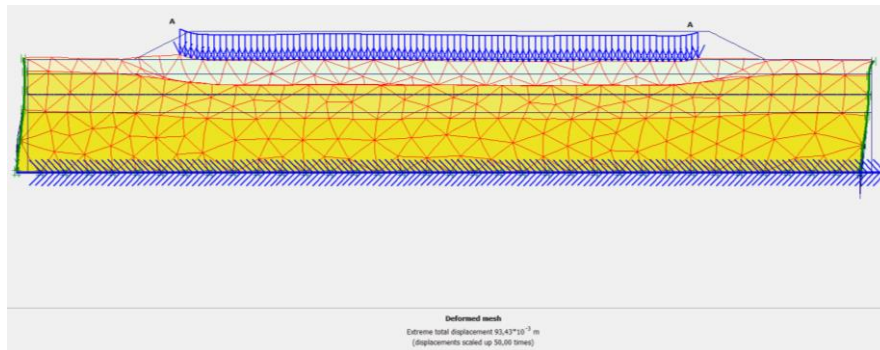
Gambar L-7.2 Meshing pada Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



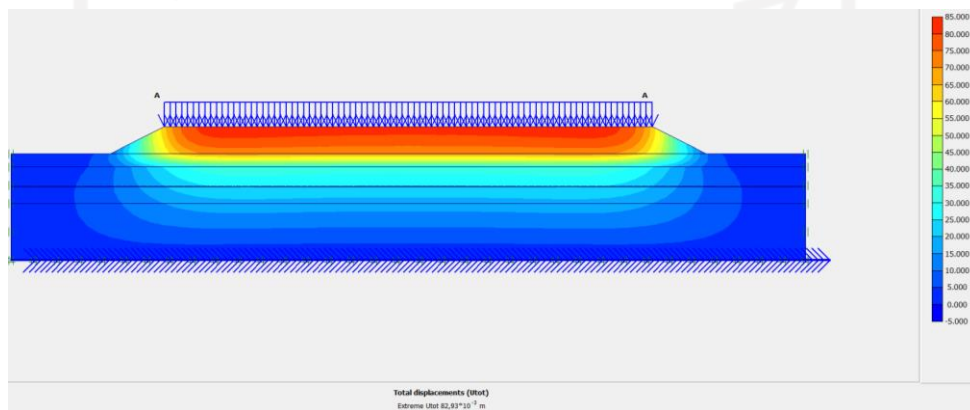
Gambar L-7.3 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



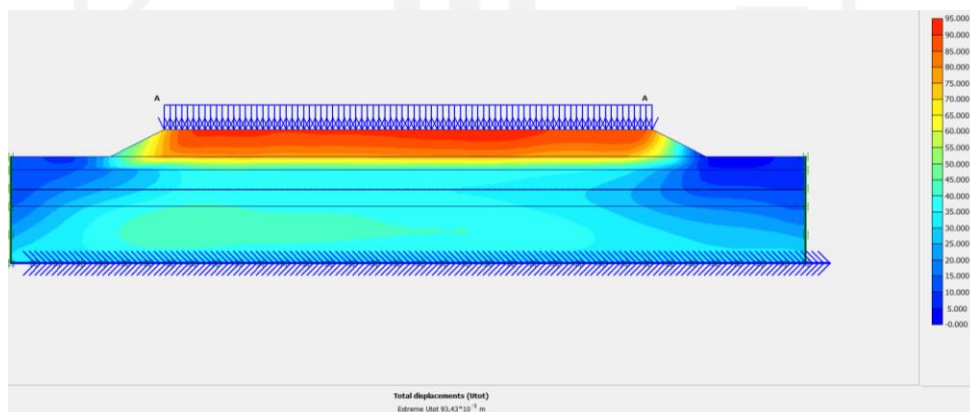
Gambar L-7.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



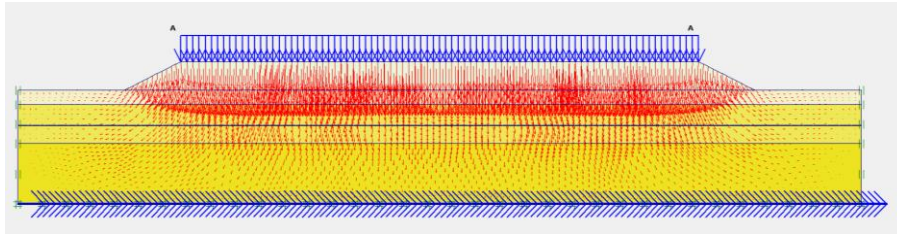
Gambar L-7.5 Deformed Mesh Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



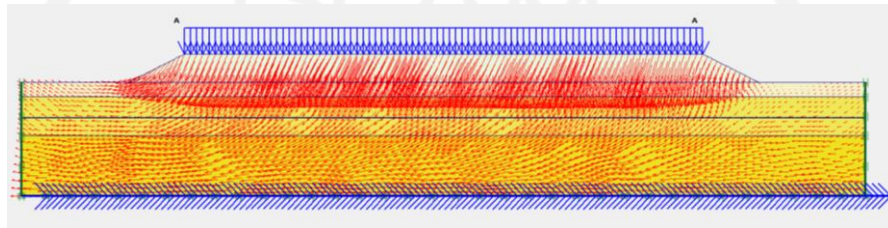
Gambar L-7.6 Total Displacement Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



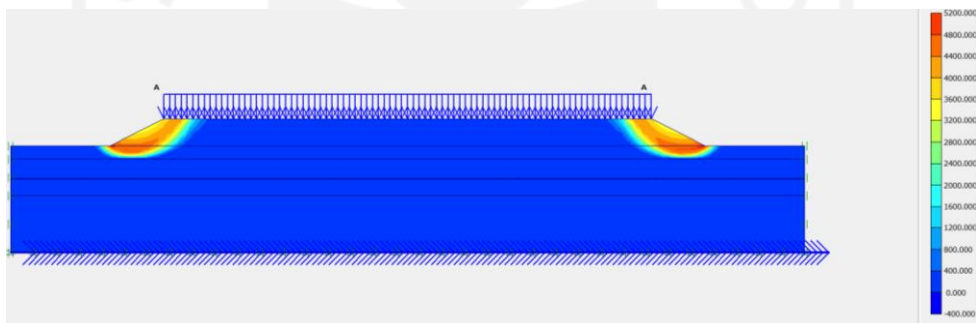
Gambar L-7.7 Total Displacement Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



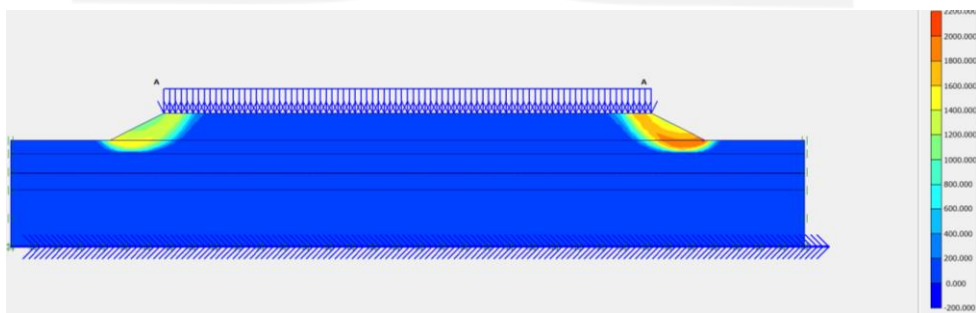
Gambar L-7.8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



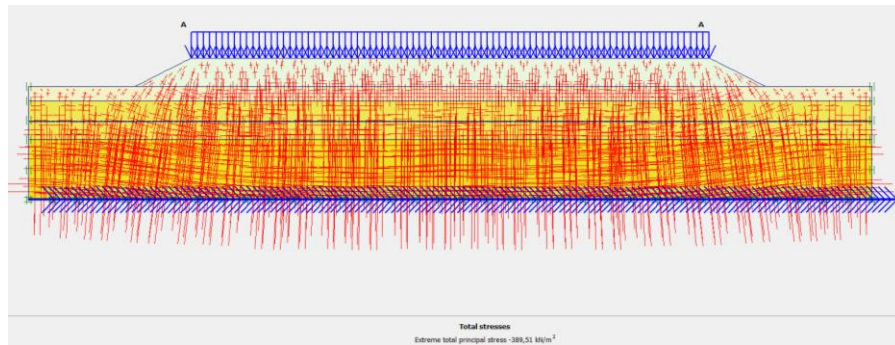
Gambar L-7.9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



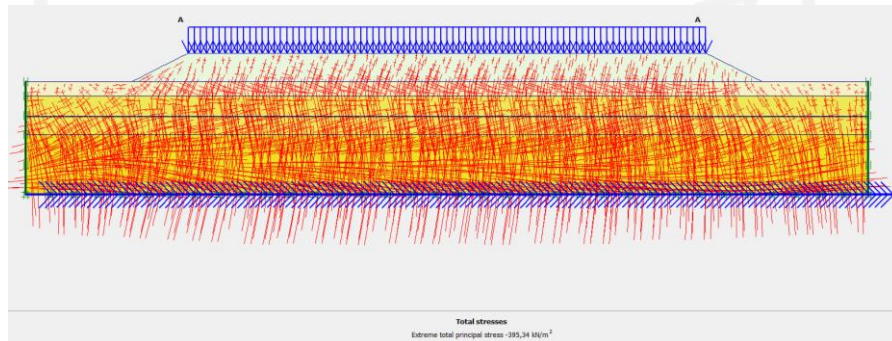
Gambar L-7.10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



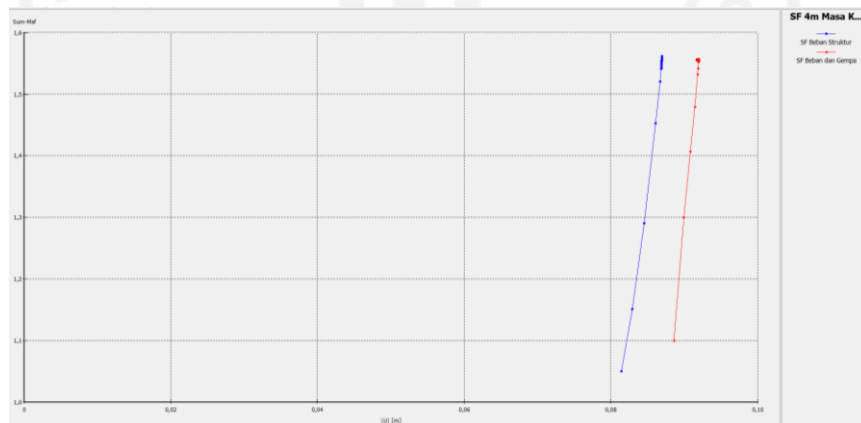
Gambar L-7.11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



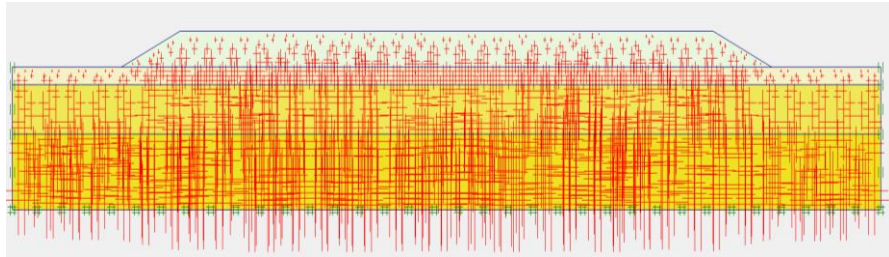
Gambar L-7.12 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur



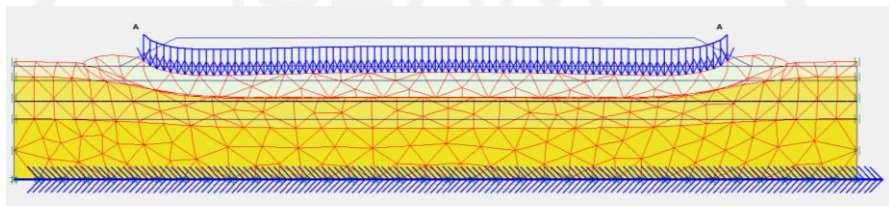
Gambar L-7.13 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



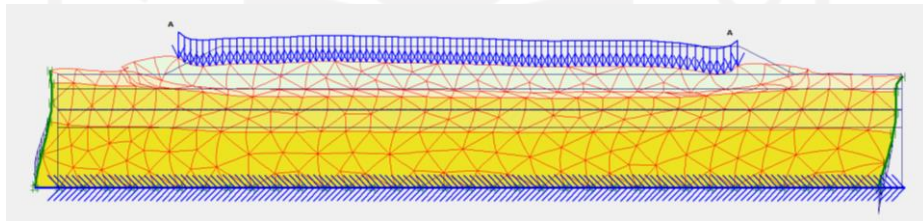
Gambar L-7.14 Kurva SF Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Masa
Konstruksi



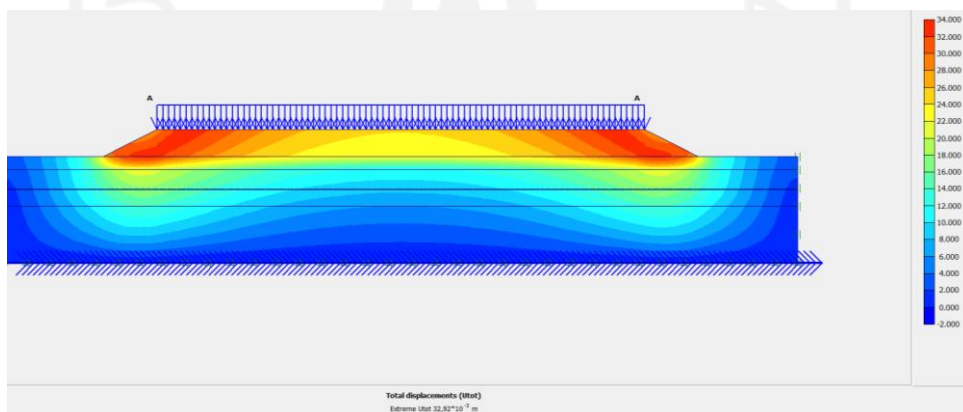
Gambar L-7.15 *Intial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Pasca Konstruksi Tanpa Perkuatan



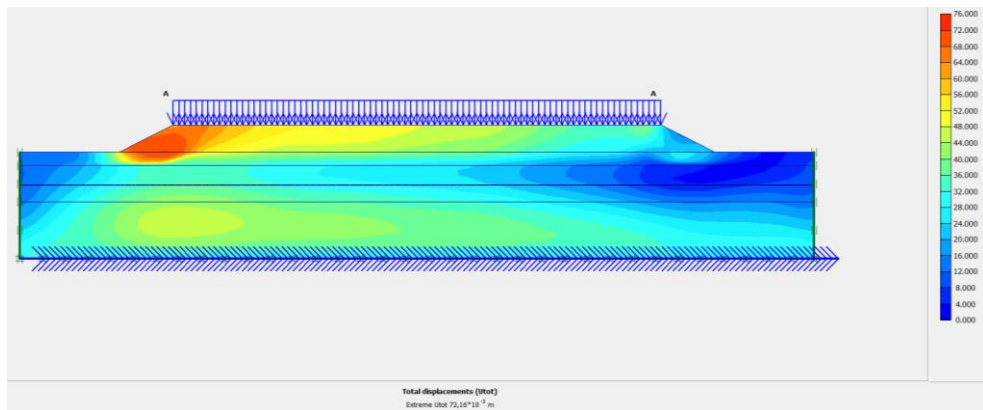
Gambar L-7.16 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



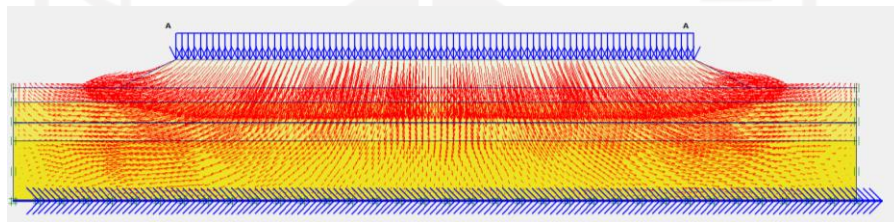
Gambar L-7.17 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa



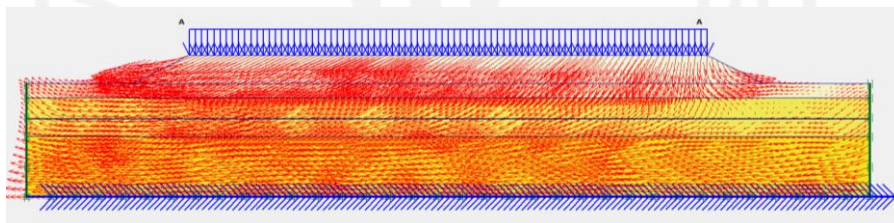
Gambar L-7.18 *Total Displacement* Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



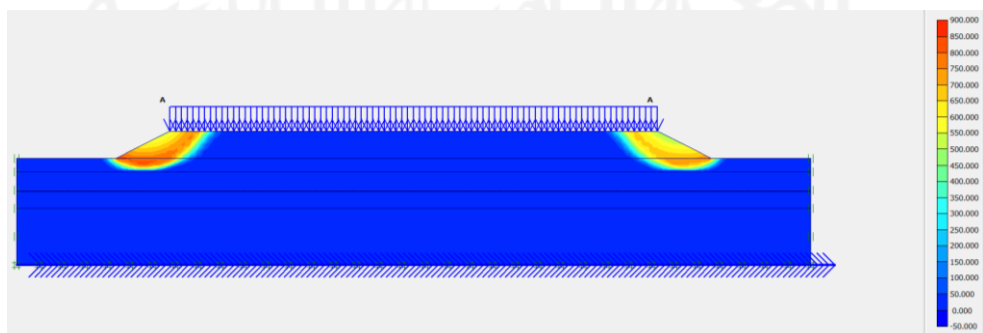
Gambar L-7.19 Total Displacement Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



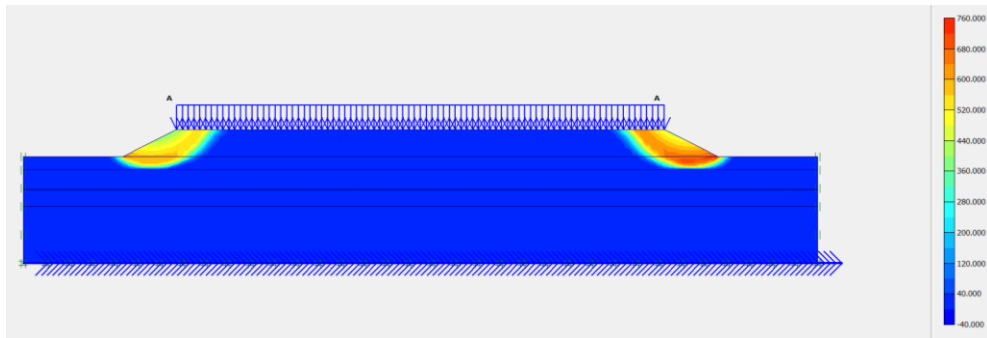
Gambar L-7.20 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



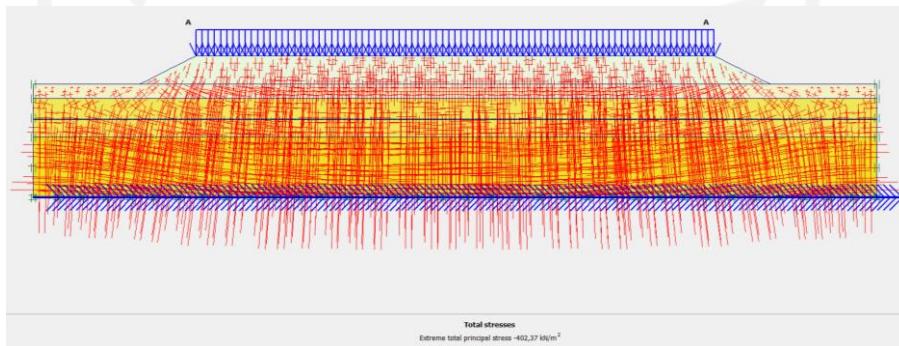
Gambar L-7.21 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



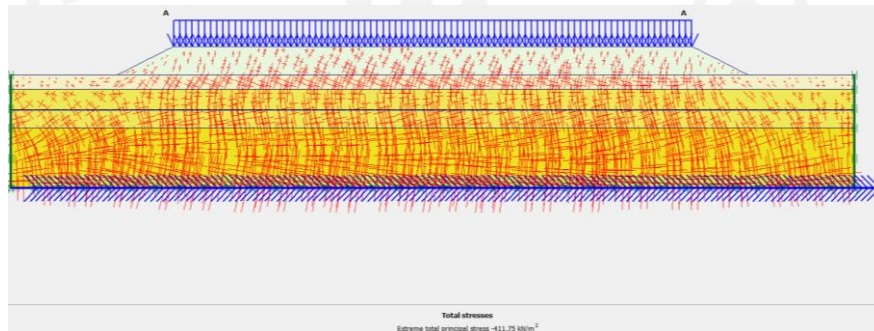
Gambar L-7.22 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



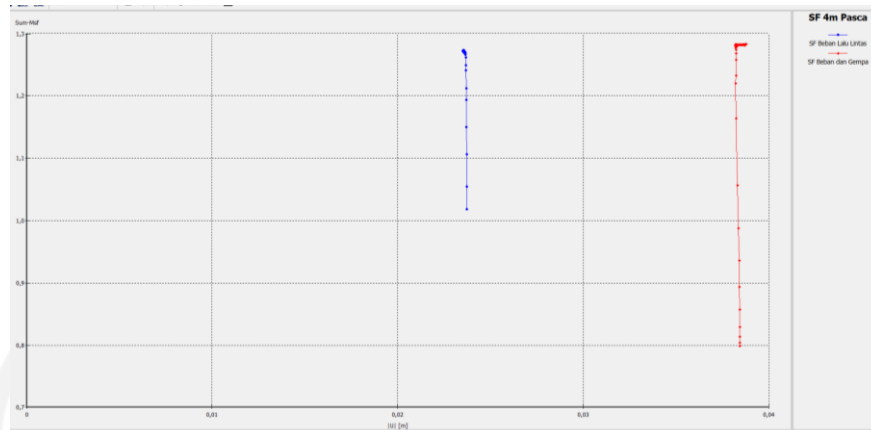
**Gambar L-7.23 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Pasca
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



**Gambar L-7.24 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Pasca
Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**

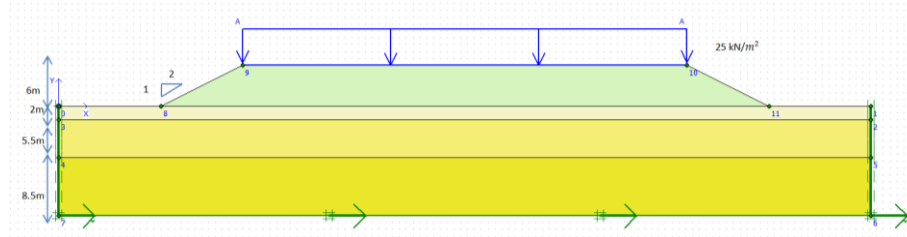


**Gambar L-7.25 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Pasca
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**

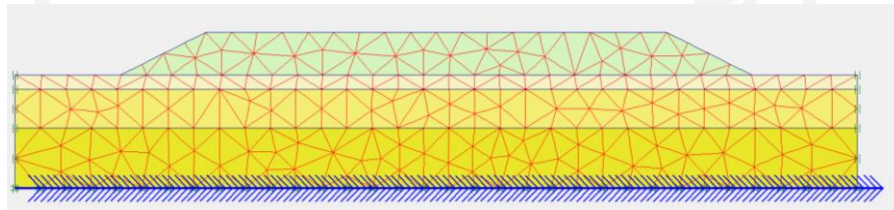


**Gambar L-7.26 Kurva SF Lereng Timbunan 4m Tanah Asli Pasca
Konstruksi**

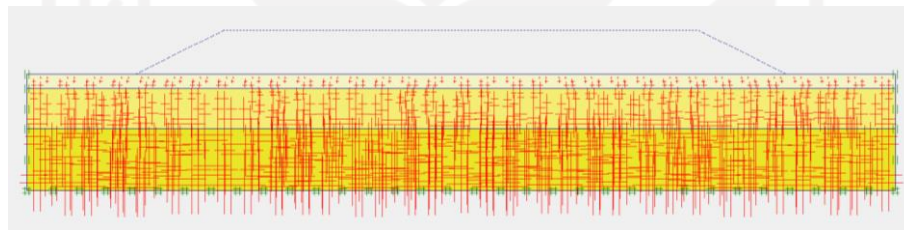
Lampiran 8 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Tanpa Perkuatan



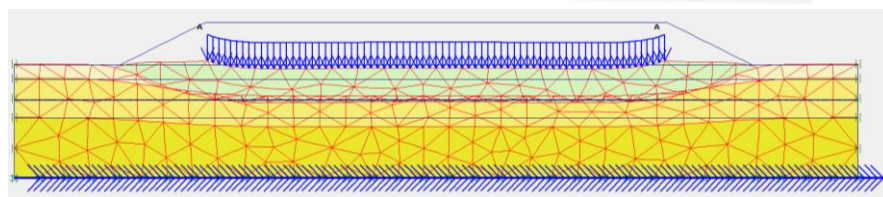
Gambar L-8.1 Pemodelan Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



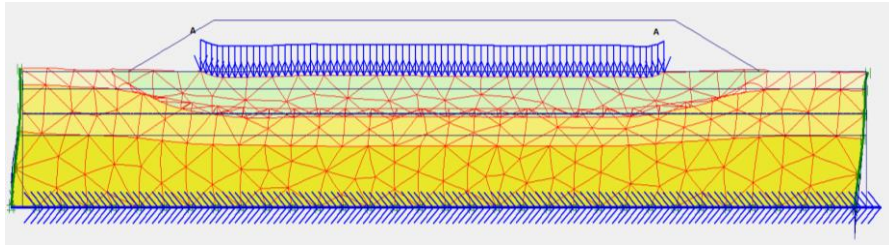
Gambar L-8.2 Meshing pada Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



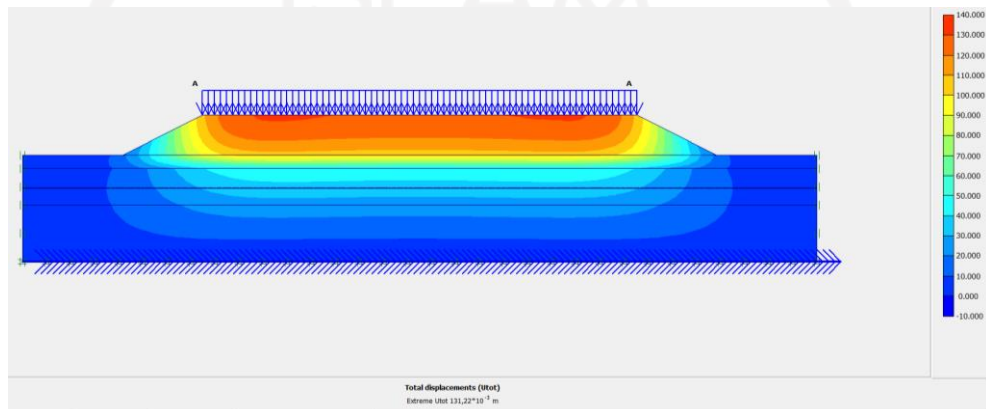
Gambar L-8.3 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



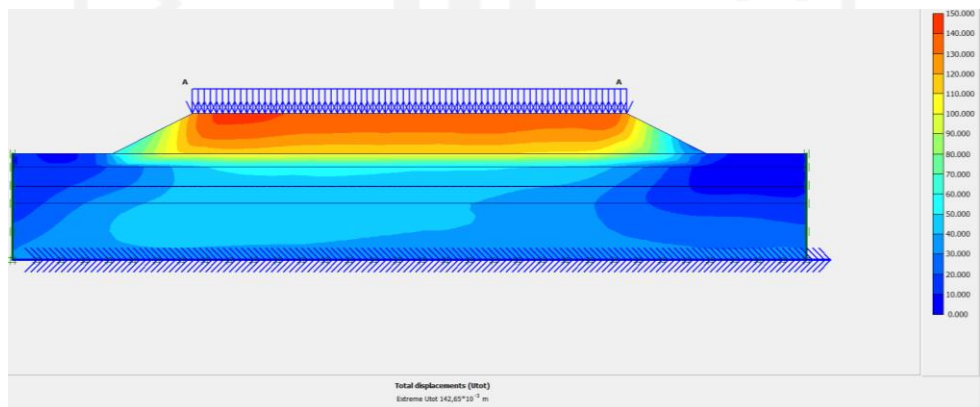
Gambar L-8.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



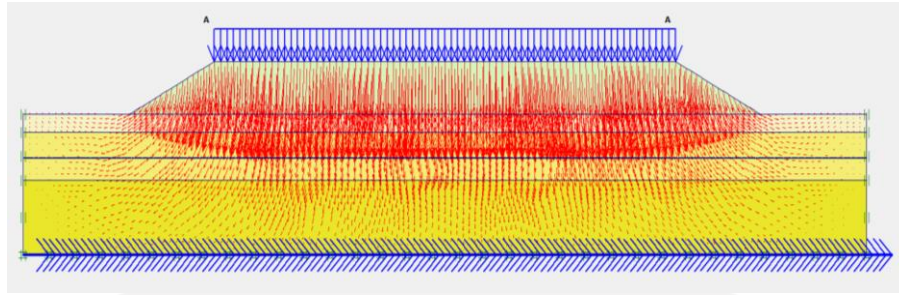
**Gambar L-8.5 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



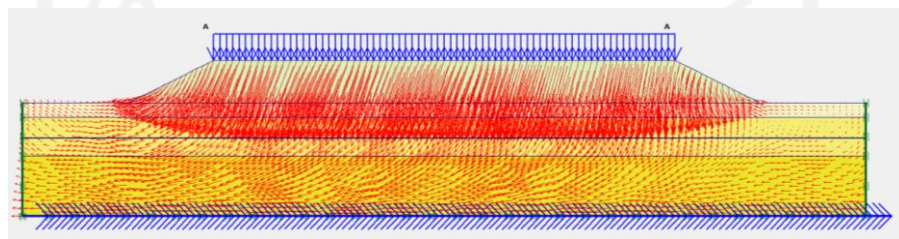
**Gambar L-8.6 Total Displacement Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur**



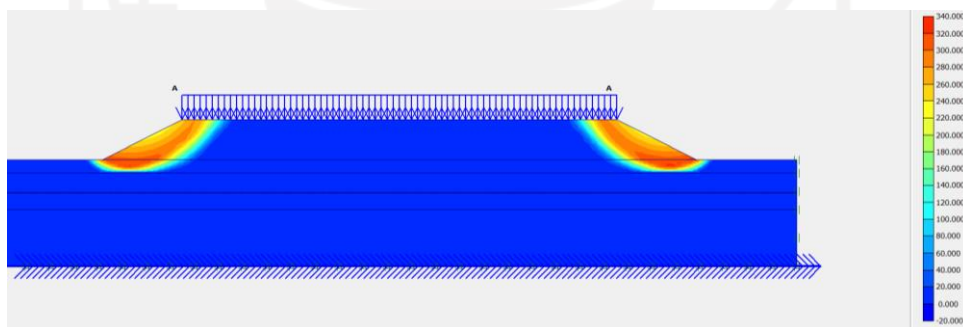
**Gambar L-8.7 Total Displacement Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



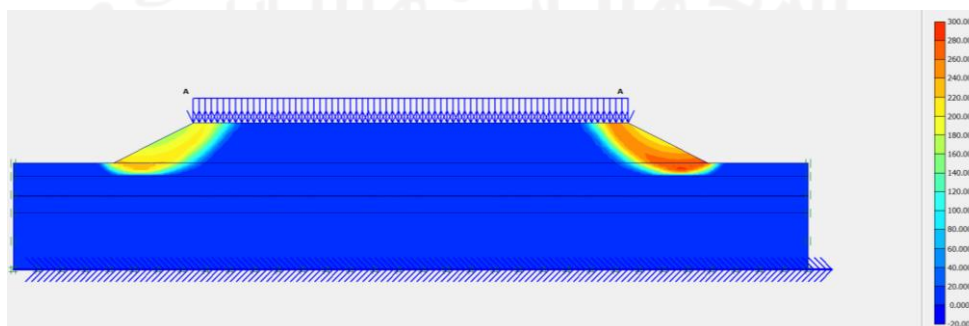
Gambar L-8.8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



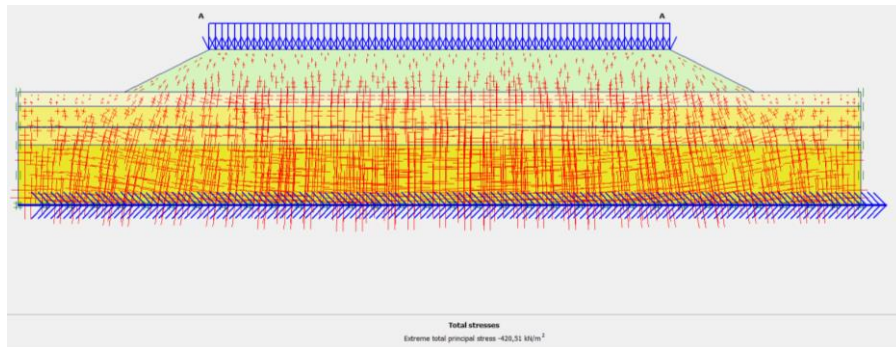
Gambar L-8.9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



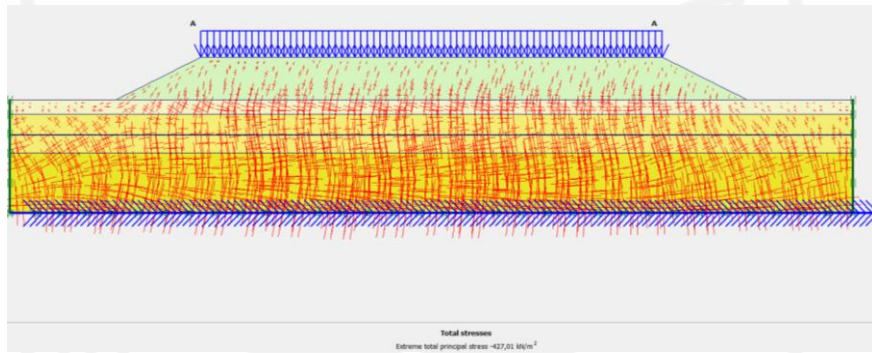
Gambar L-8.10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



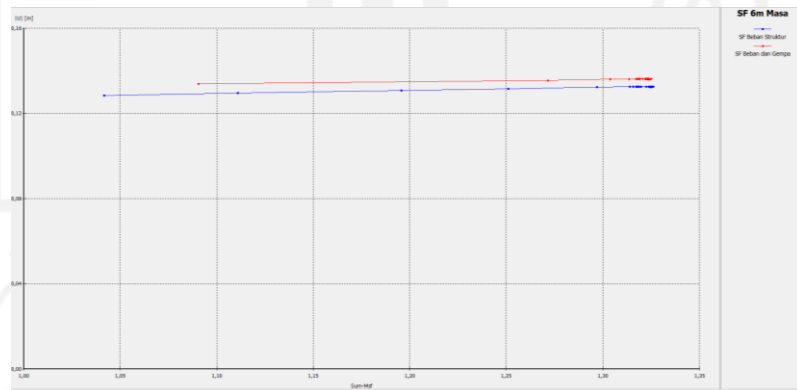
Gambar L-8.11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



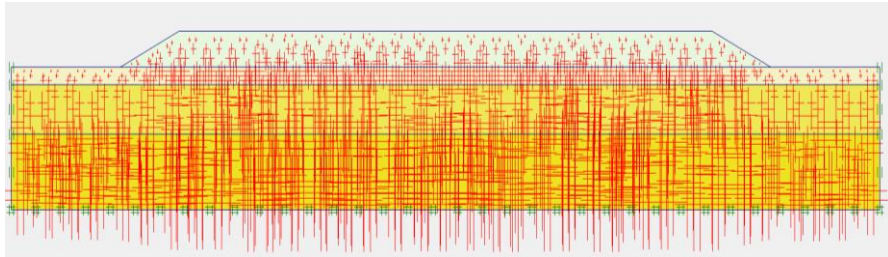
Gambar L-8.12 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur



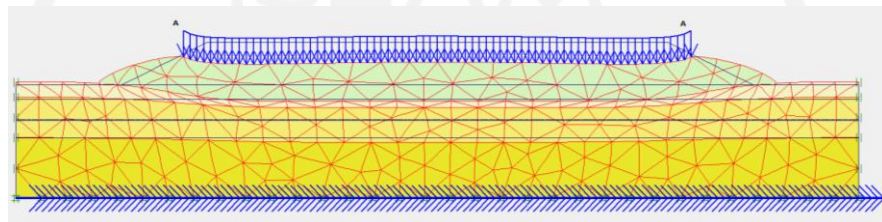
Gambar L-8.13 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



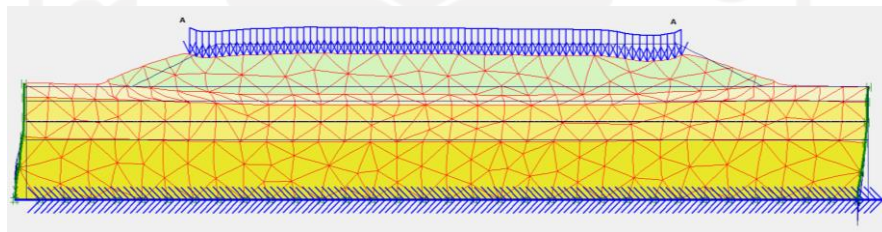
Gambar L-8.14 Kurva SF Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Masa
Konstruksi



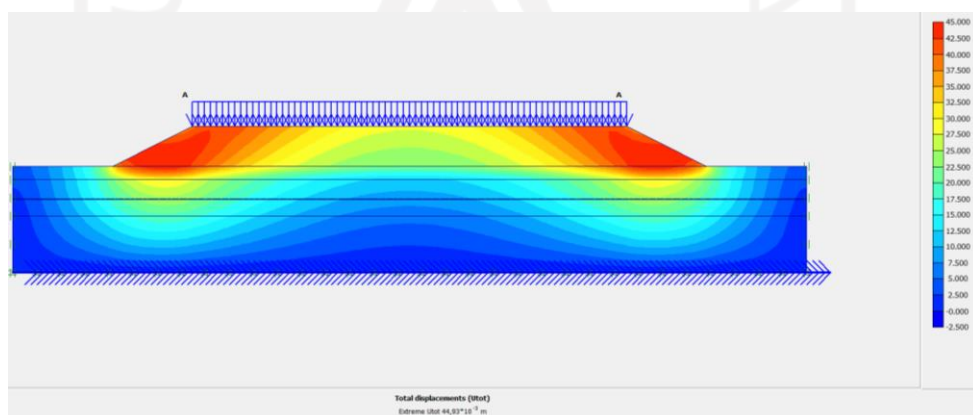
Gambar L-8.15 *Intial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Pasca Konstruksi Tanpa Perkuatan



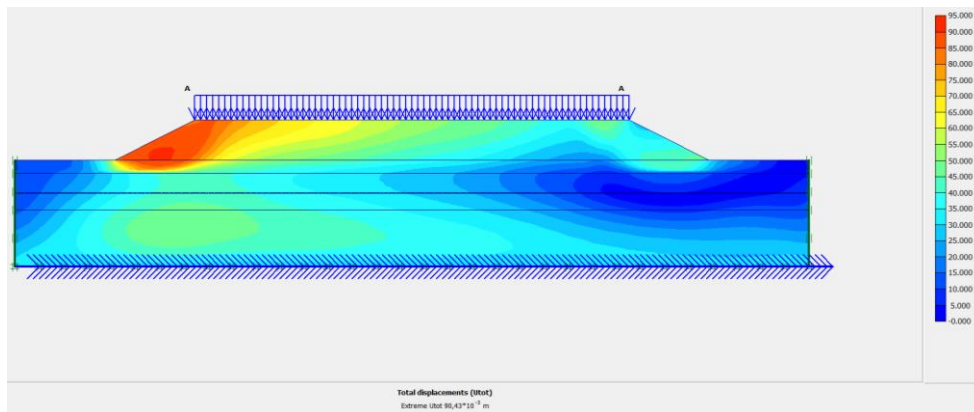
Gambar L-8.16 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



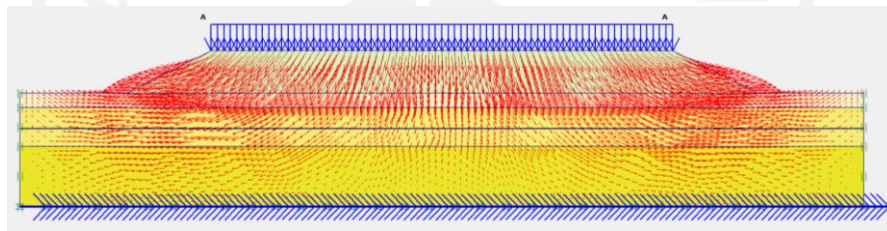
Gambar L-8.17 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa



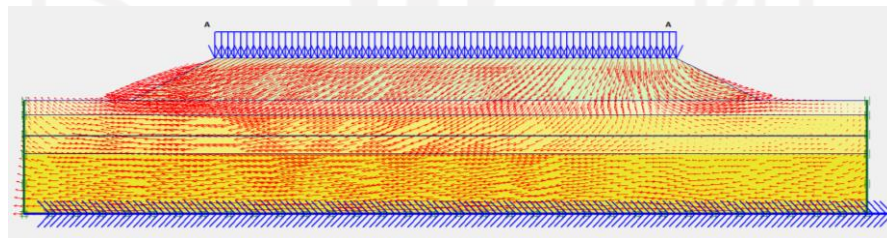
Gambar L-8.18 *Total Displacement* Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



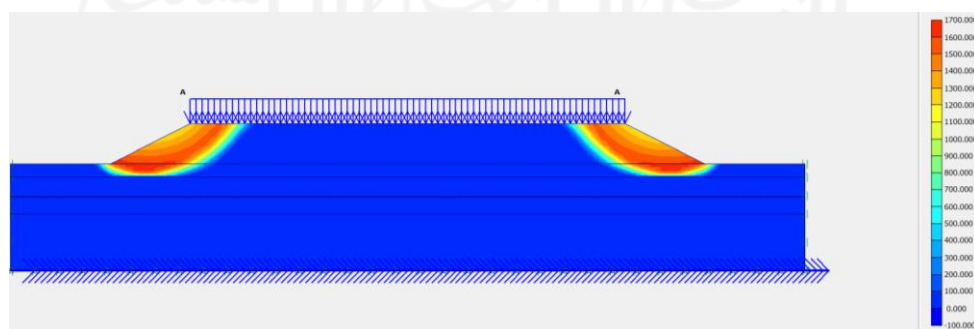
Gambar L-8.19 Total Displacement Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



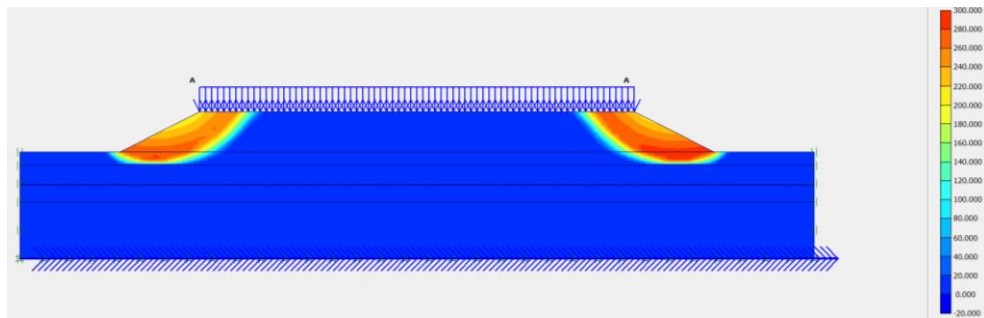
Gambar L-8.20 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



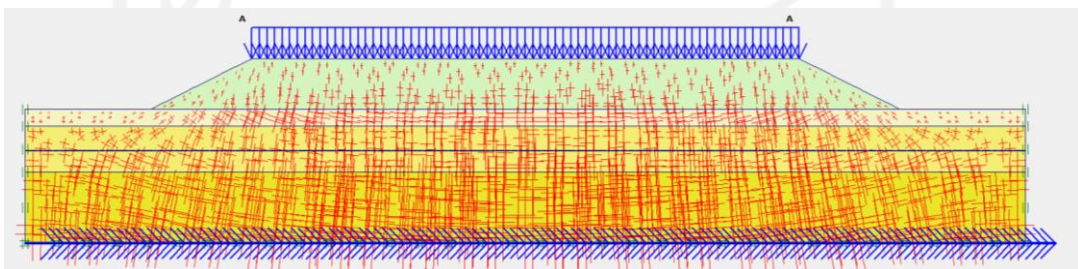
Gambar L-8.21 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



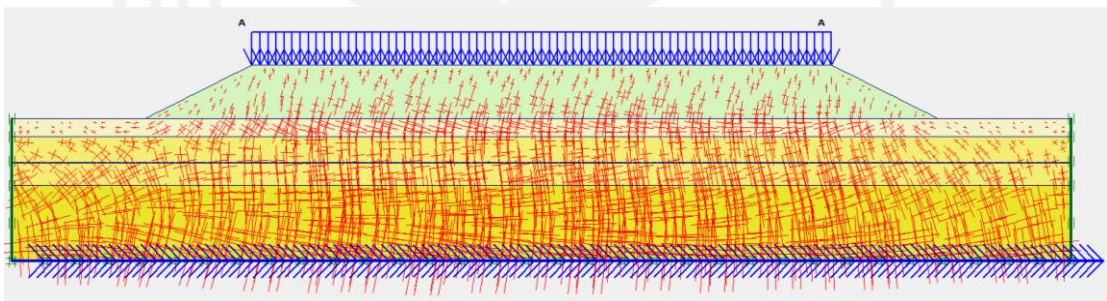
Gambar L-8.22 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



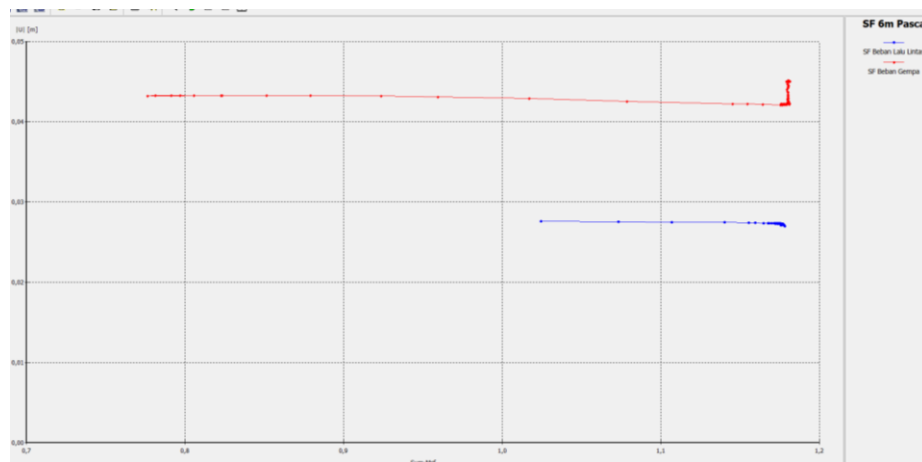
**Gambar L-8.23 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Pasca
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



**Gambar L-8.24 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Pasca
Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



**Gambar L-8.25 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Pasca
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



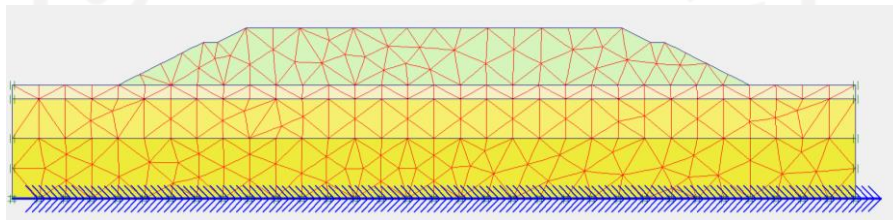
**Gambar L-8.26 Kurva SF Lereng Timbunan 6m Tanah Asli Pasca
Konstruksi**



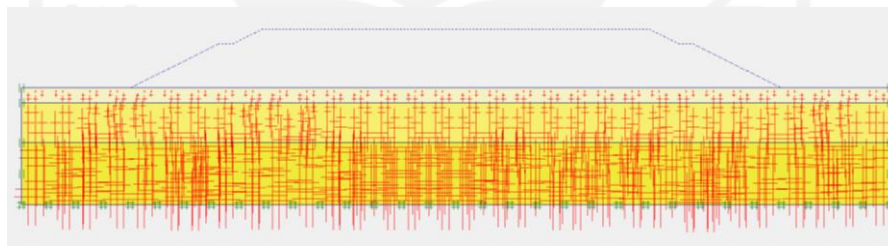
Lampiran 9 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Tanpa Perkuatan



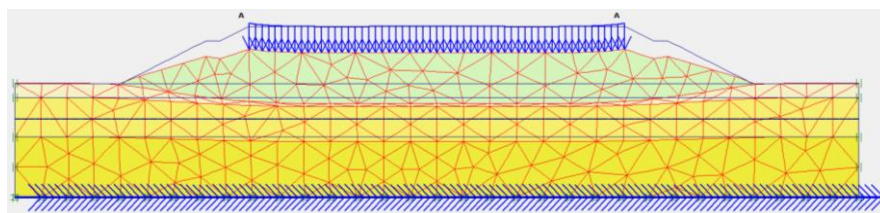
Gambar L-9.1 Pemodelan Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



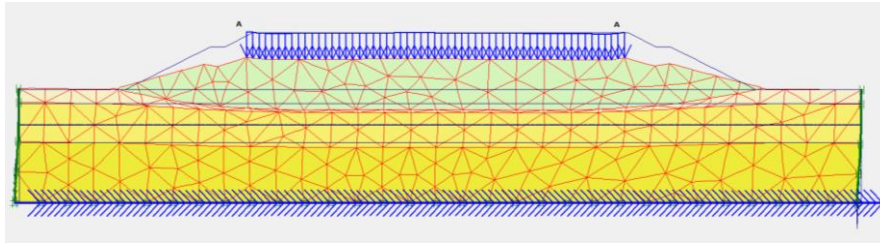
Gambar L-9.2 Meshing pada Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



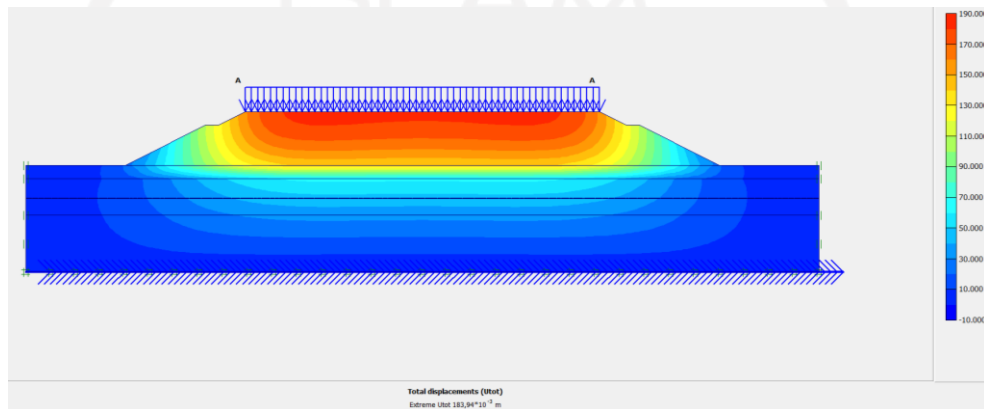
Gambar L-9.3 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



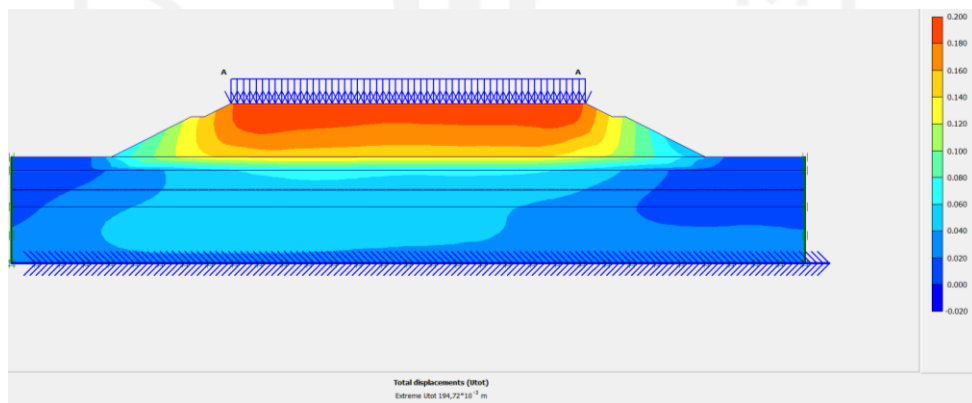
Gambar L-9.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



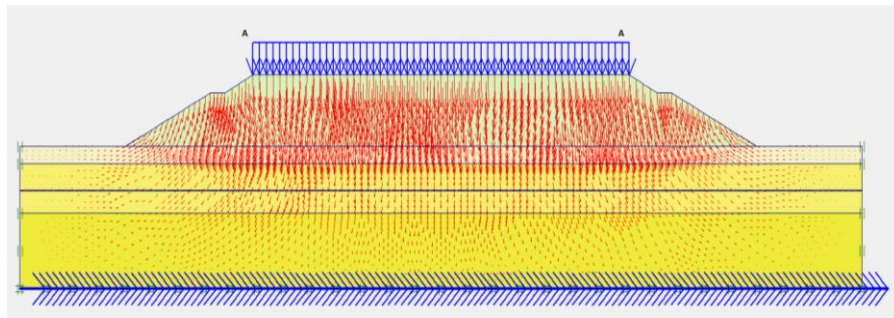
**Gambar L-9.5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



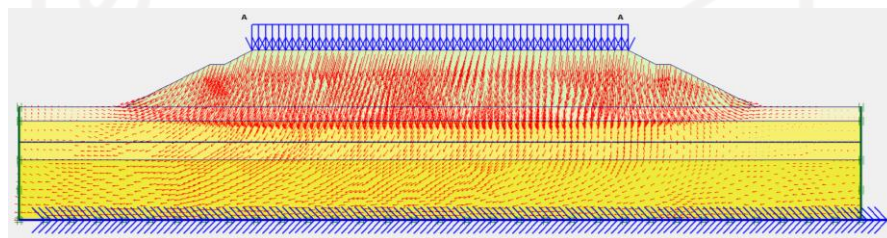
**Gambar L-9.6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur**



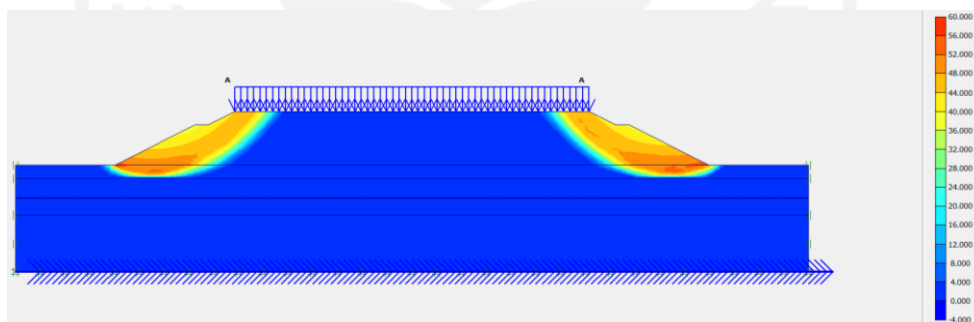
**Gambar L-9.7 *Total Displacement* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



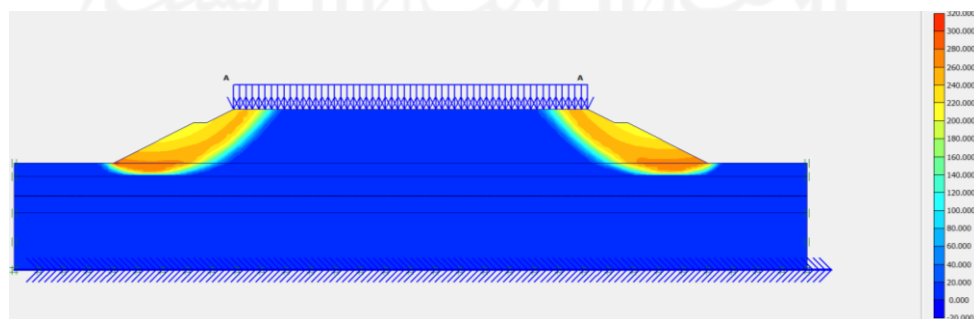
Gambar L-9.8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



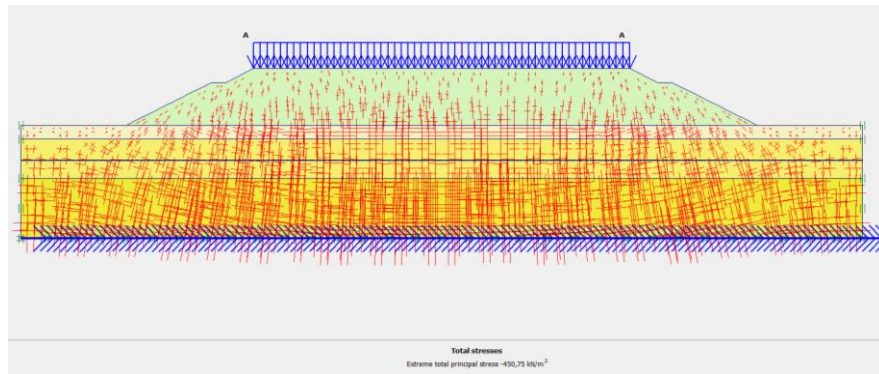
Gambar L-9.9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



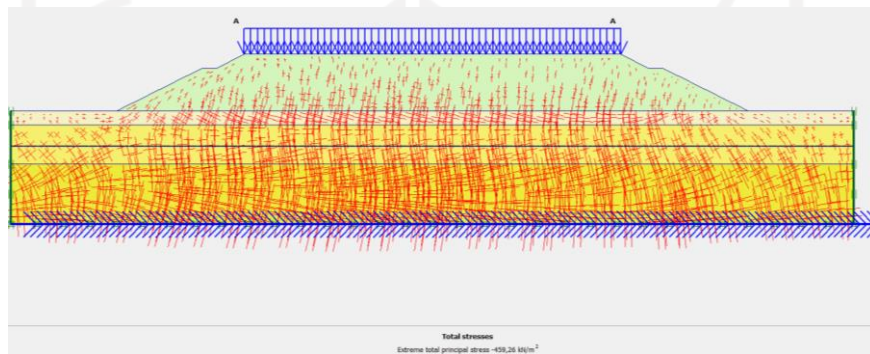
Gambar L-9.10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



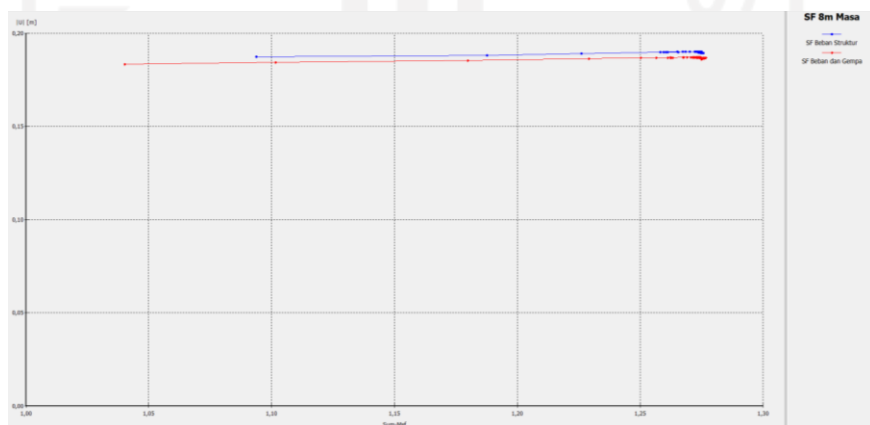
Gambar L-9.11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



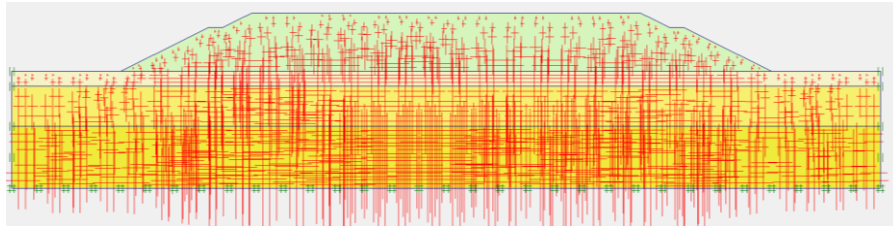
**Gambar L-9.12 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur**



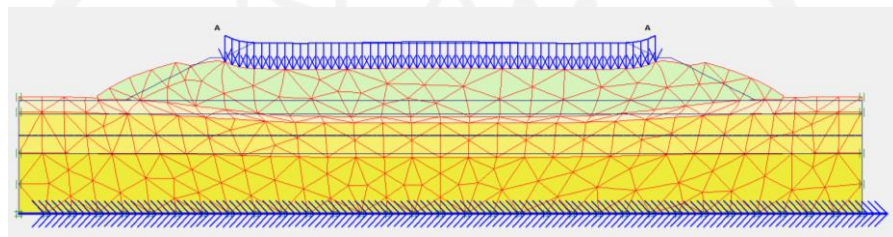
**Gambar L-9.13 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



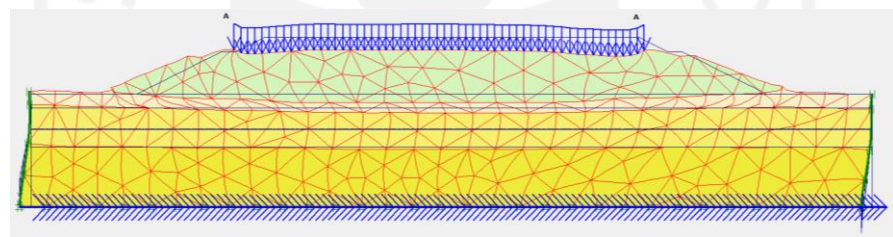
**Gambar L-9.14 Kurva SF Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa
Konstruksi**



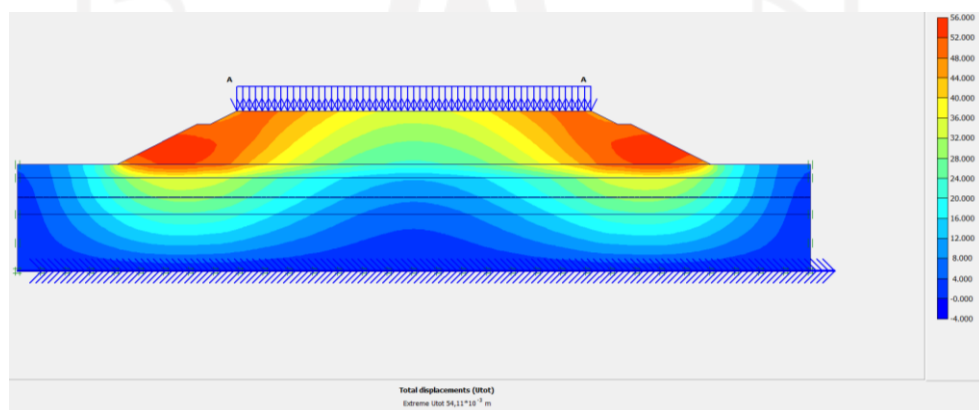
Gambar L-9.15 *Intial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Tanpa Perkuatan



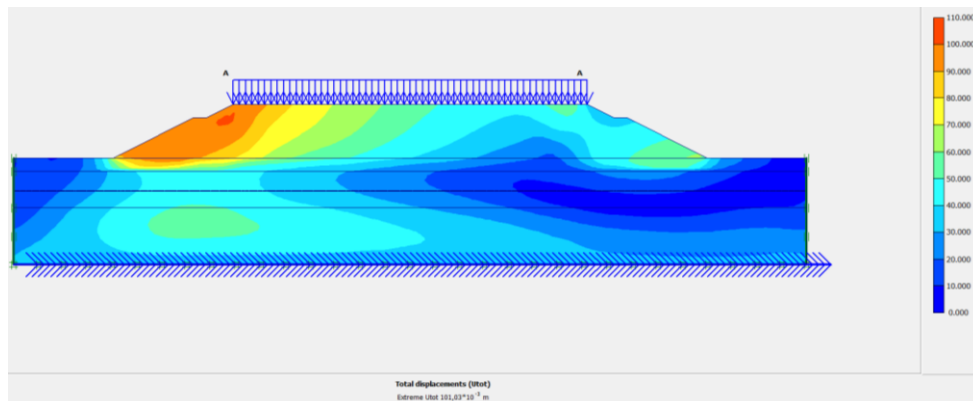
Gambar L-9.16 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



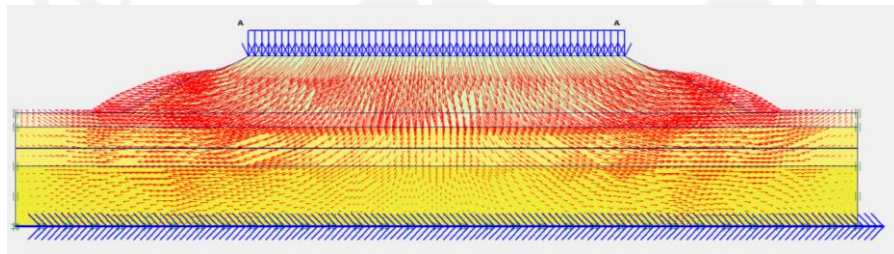
Gambar L-9.17 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa



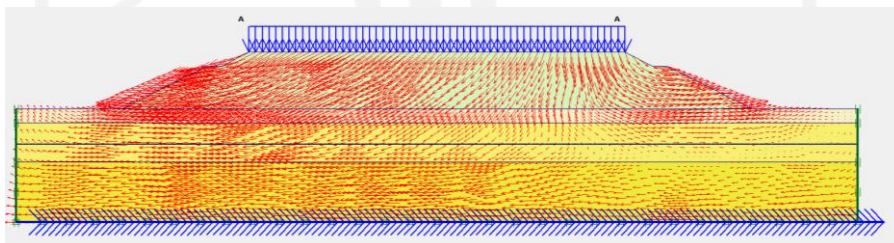
Gambar L-9.18 *Total Displacement* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



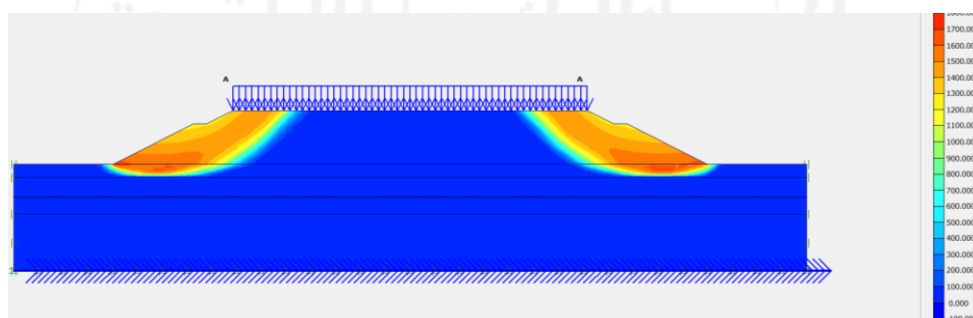
Gambar L-9.19 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



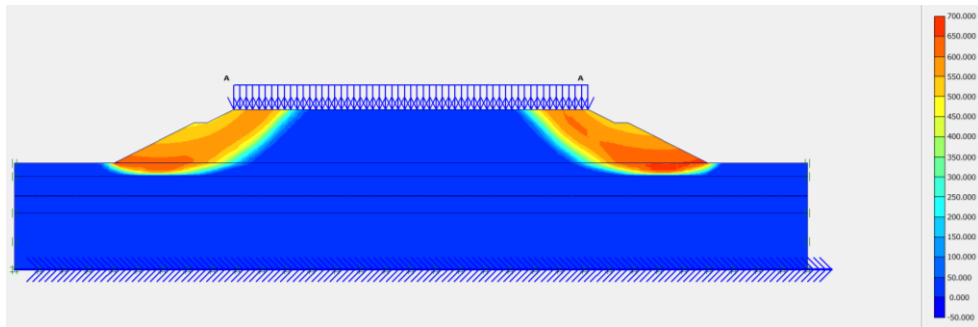
Gambar L-9.20 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



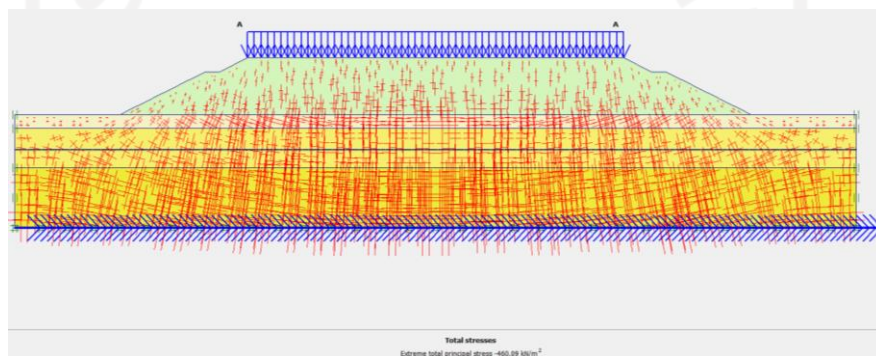
Gambar L-9.21 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



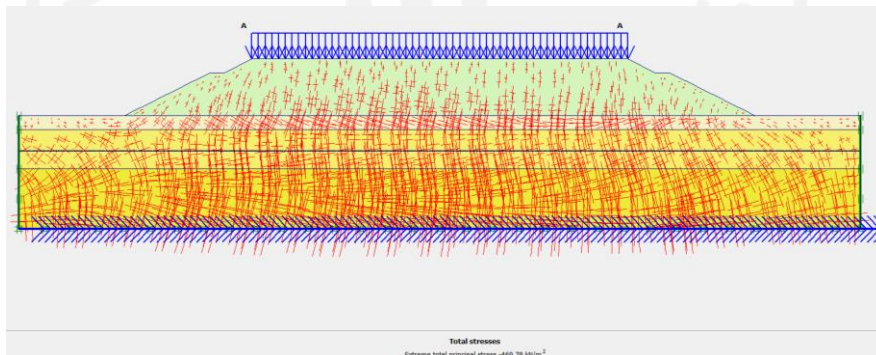
Gambar L-9.22 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



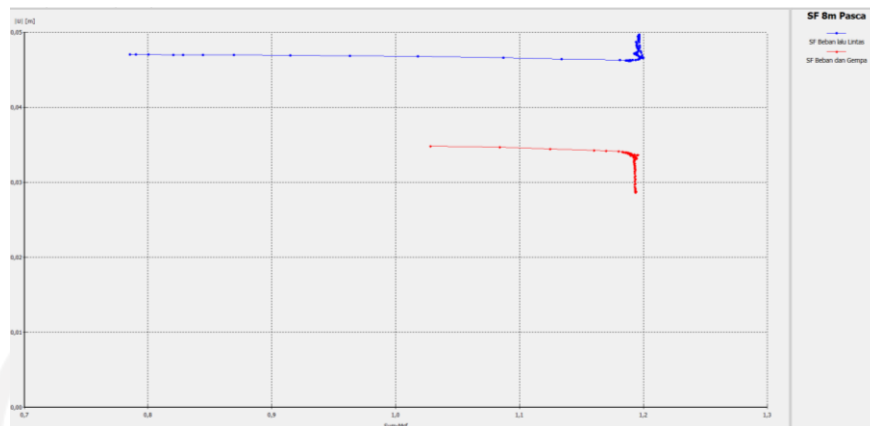
Gambar L-9.23 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



Gambar L-9.24 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



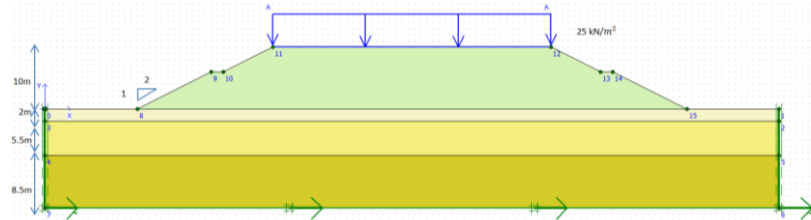
Gambar L-9.25 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



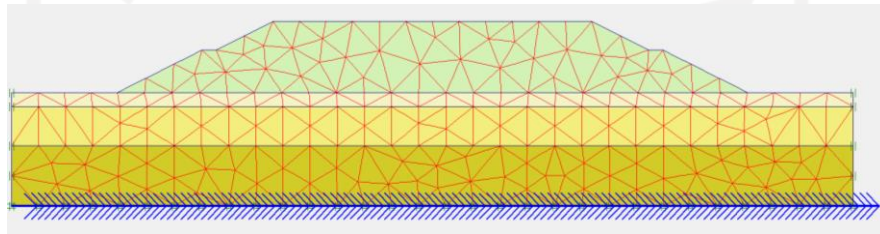
**Gambar L-9.26 Kurva SF Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca
Konstruksi**

UNIVERSITAS
INDONESIA
الجمهورية الإسلامية
الاندونيسية

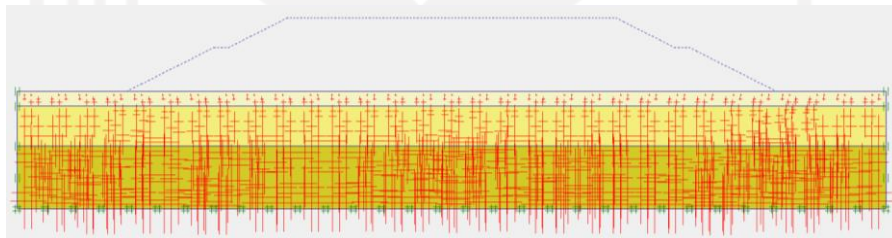
Lampiran 10 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Tanpa Perkuatan



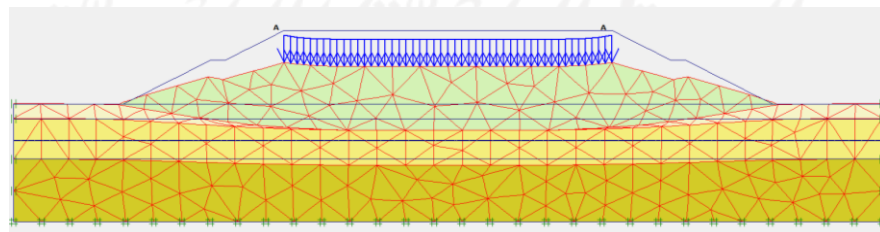
Gambar L-10.1 Pemodelan Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



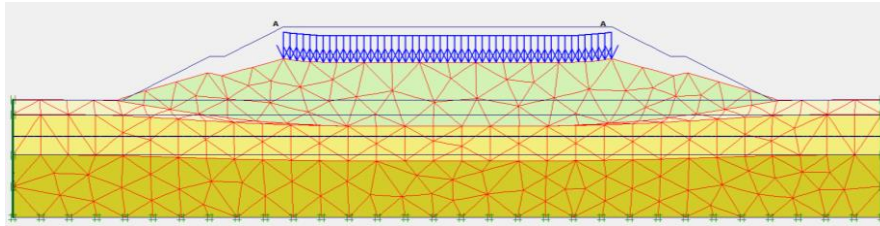
Gambar L-10.2 Meshing pada Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



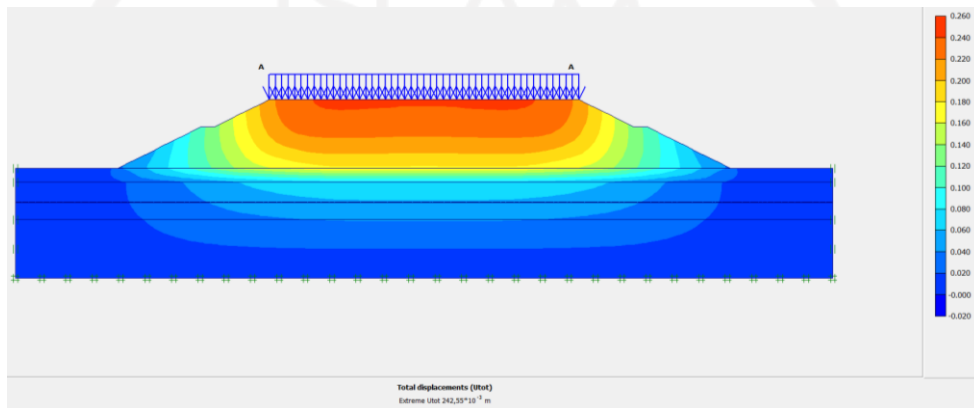
Gambar L-10.3 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



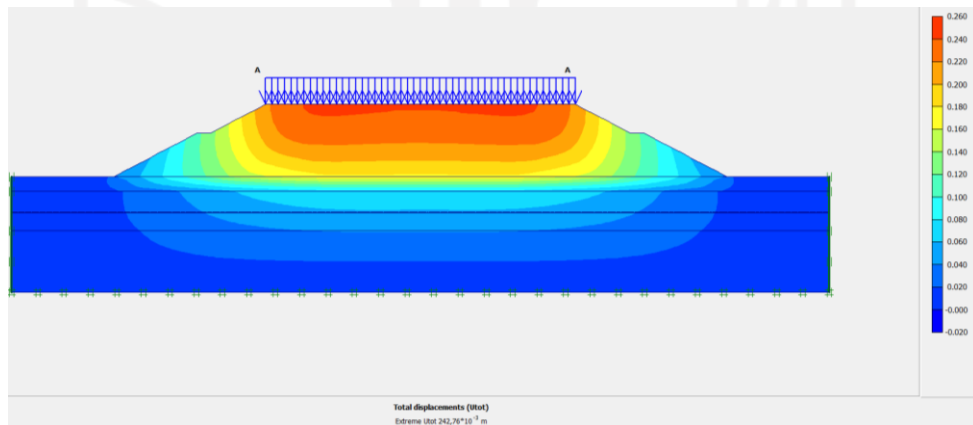
Gambar L-10.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



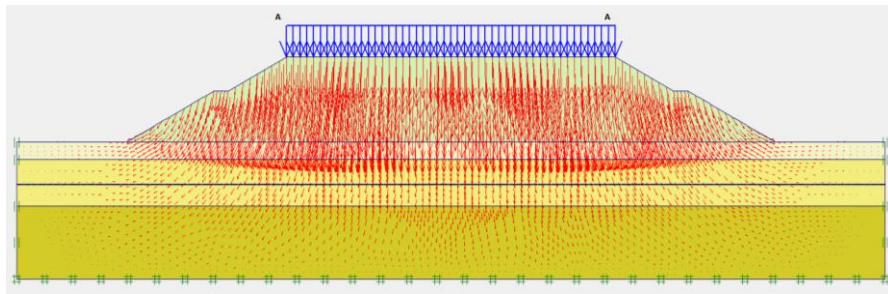
Gambar L-10.5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



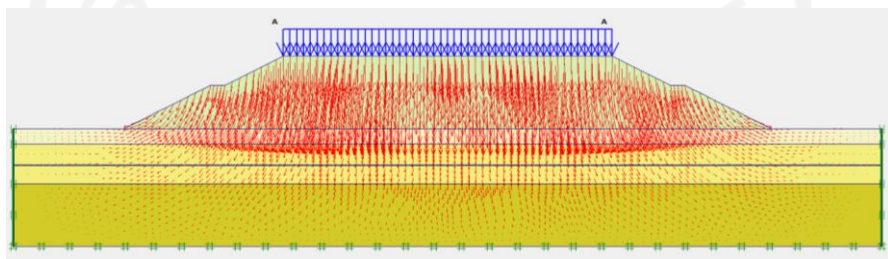
Gambar L-10.6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur



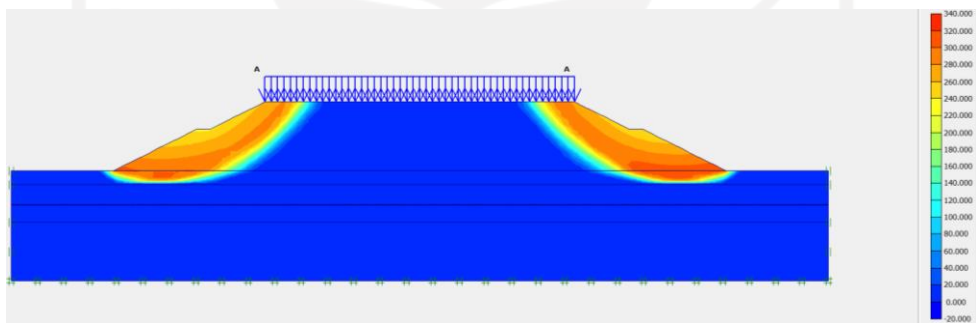
Gambar L-10.7 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



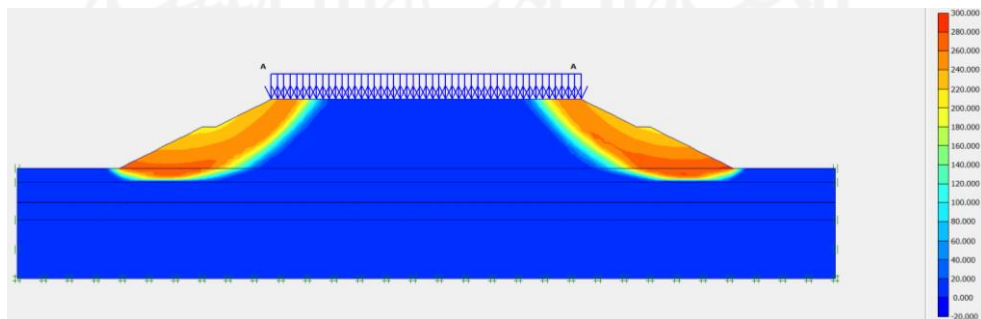
**Gambar L-10.8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



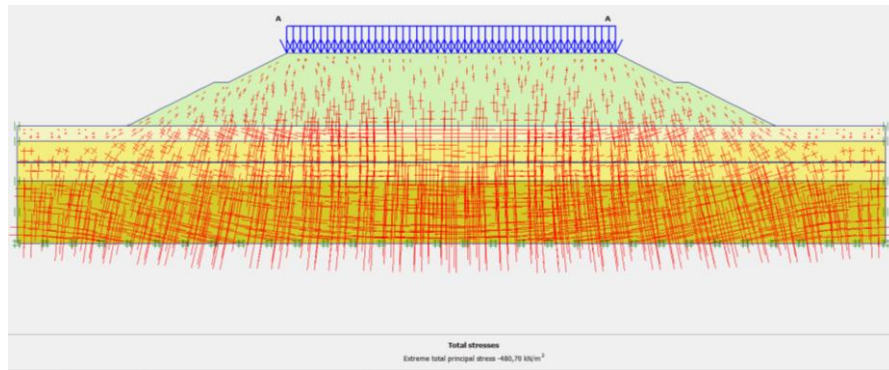
**Gambar L-10.9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



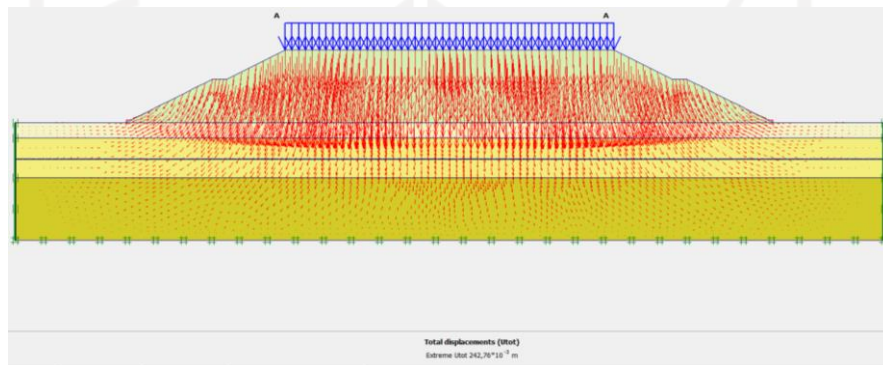
**Gambar L-10.10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



**Gambar L-10.11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



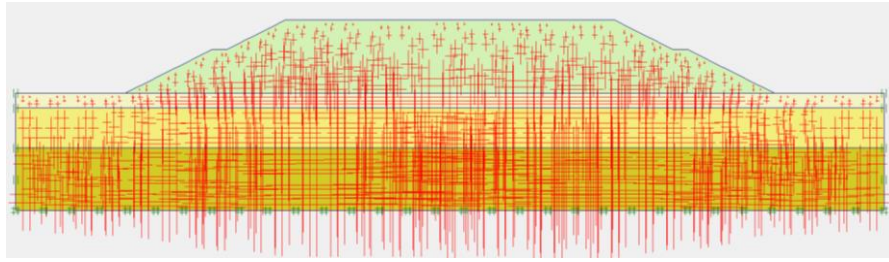
**Gambar L-10.12 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur**



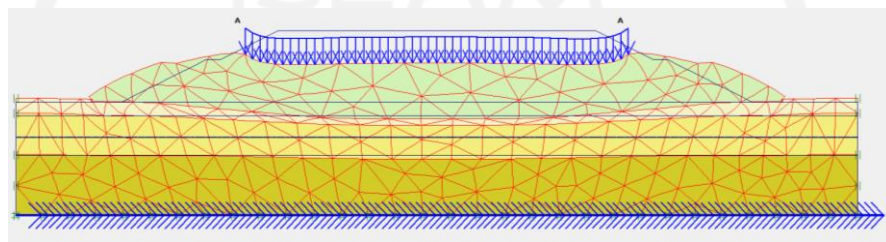
**Gambar L-10.13 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



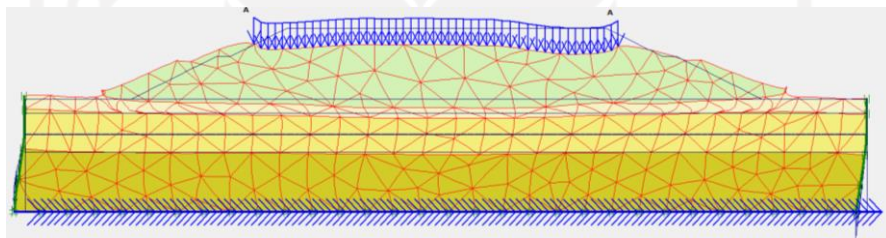
**Gambar L-10.14 Kurva SF Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa
Konstruksi**



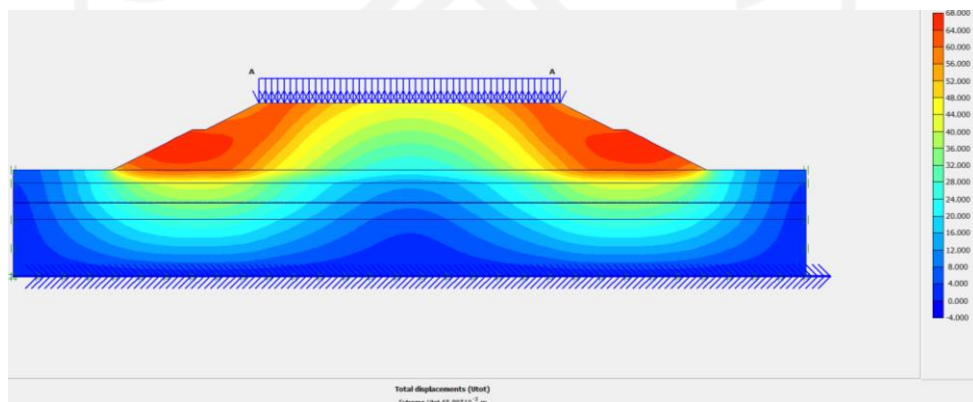
Gambar L-10.15 *Intial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Tanpa Perkuatan



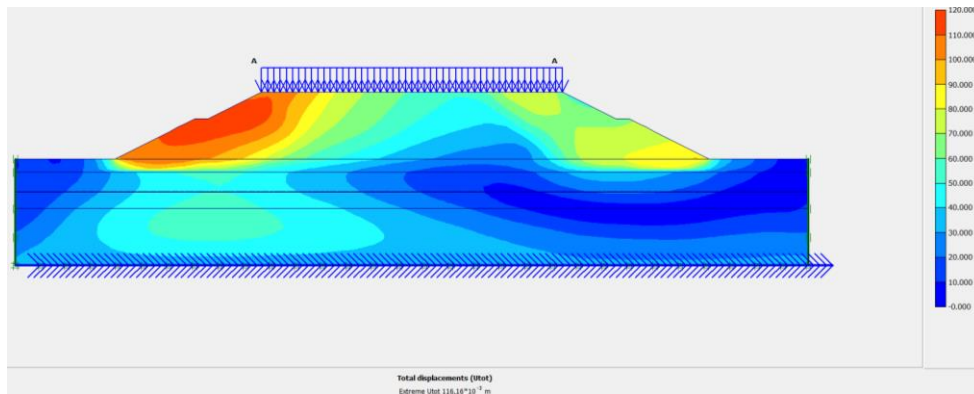
Gambar L-10.16 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Pasca
Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



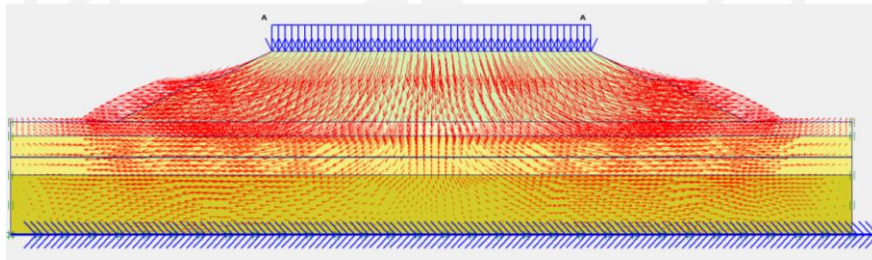
Gambar L-10.17 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Pasca
Konstruksi Akibat Beton dan Gempa



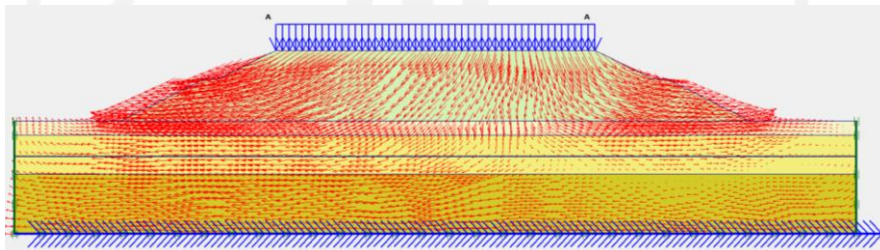
Gambar L-10.18 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



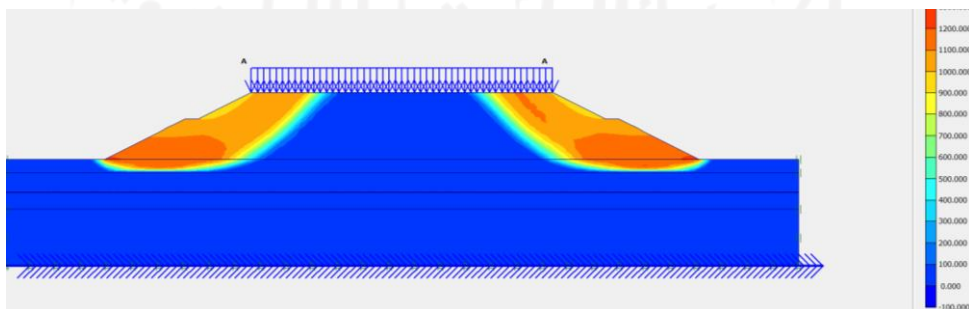
**Gambar L-10.19 Total Displacement Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



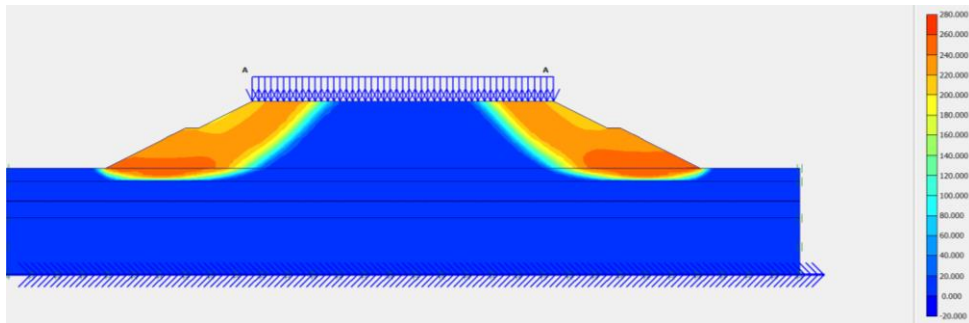
**Gambar L-10.20 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



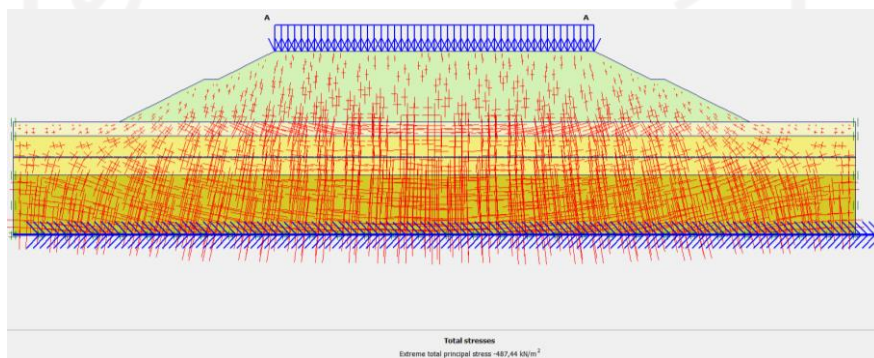
**Gambar L-10.21 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



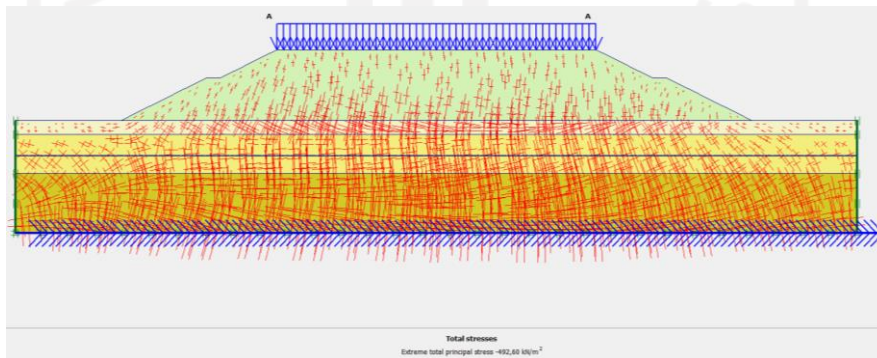
**Gambar L-10.22 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



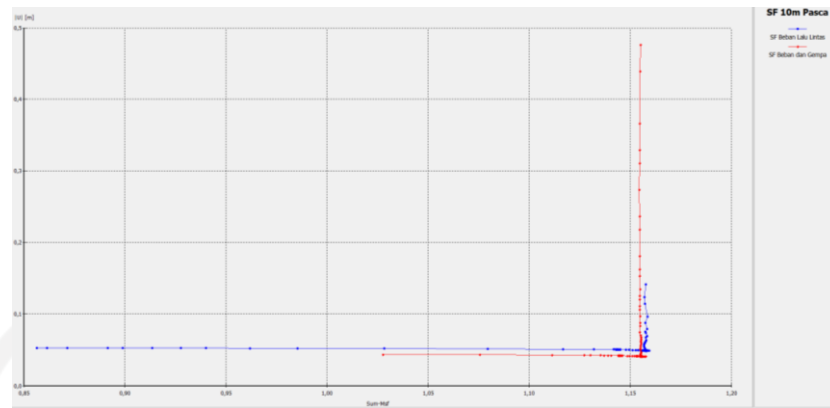
Gambar L-10.23 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



Gambar L-10.24 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



Gambar L-10.25 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

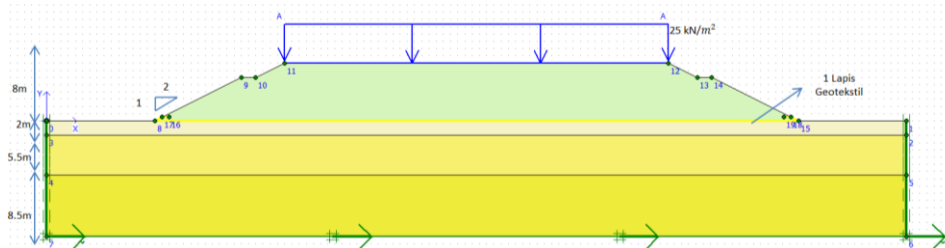


Gambar L-10.26 Kurva SF Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Pasca

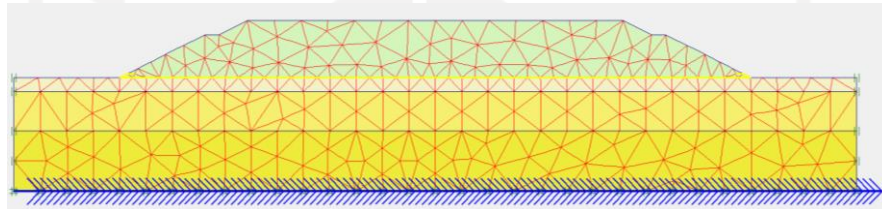
Konstruksi



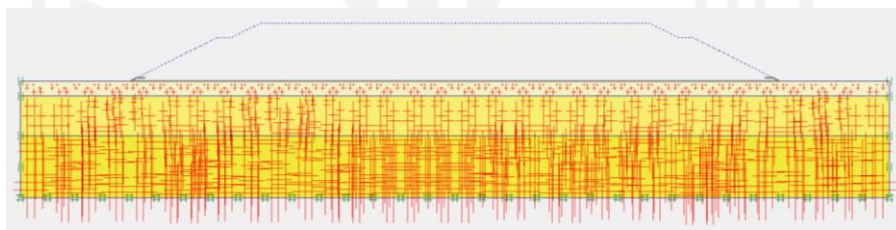
Lampiran 11 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Dengan Perkuatan



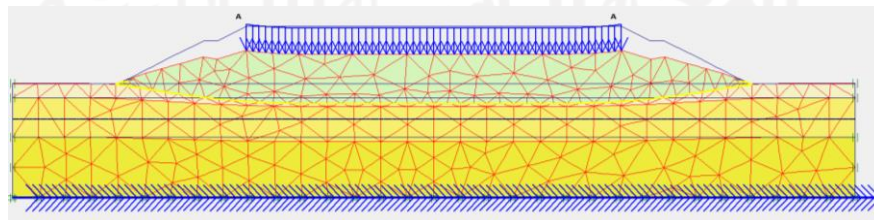
Gambar L-11.1 Pemodelan Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Dengan Perkuatan



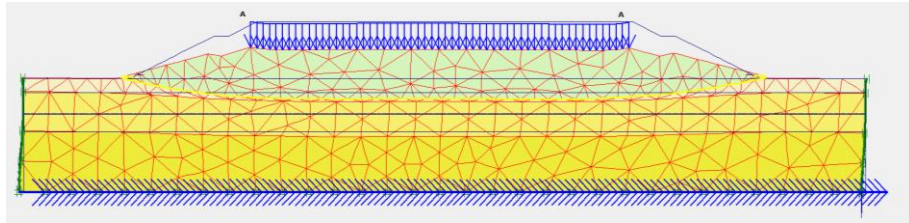
Gambar L-11.2 Meshing pada Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Dengan Perkuatan



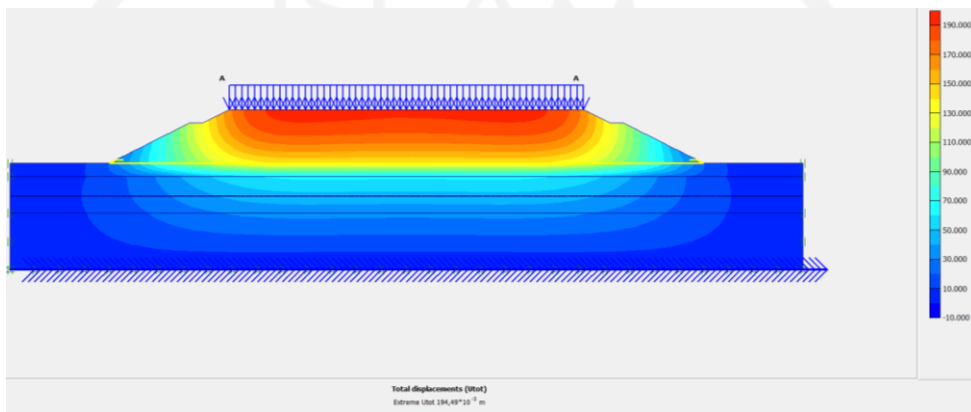
Gambar L-11.3 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Dengan Perkuatan



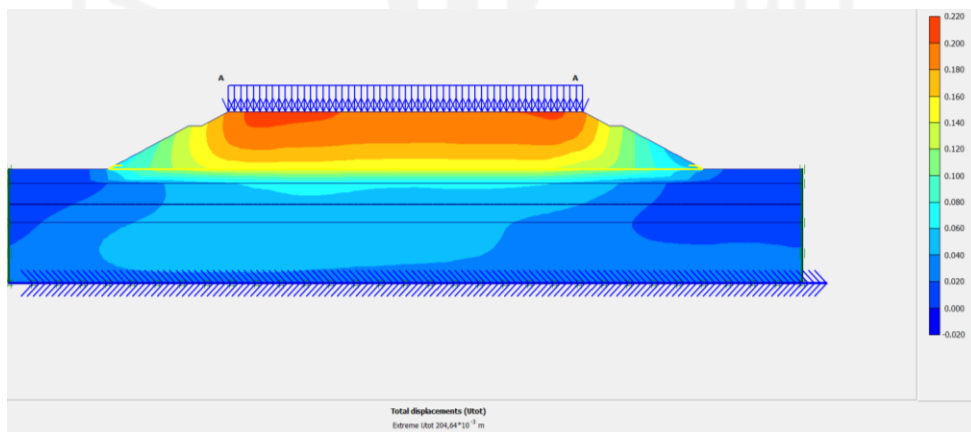
Gambar L-11.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



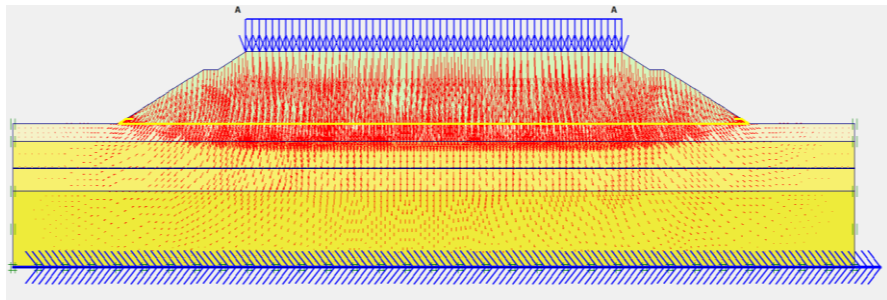
Gambar L-11.5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



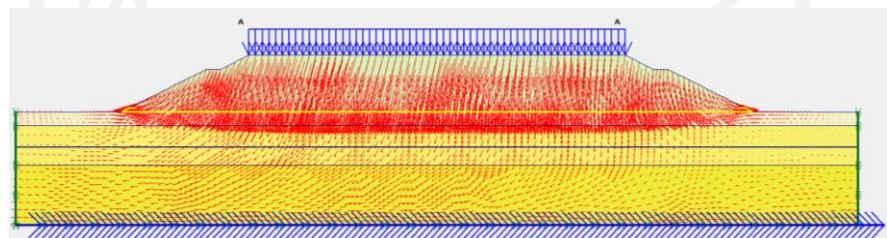
Gambar L-11.6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur



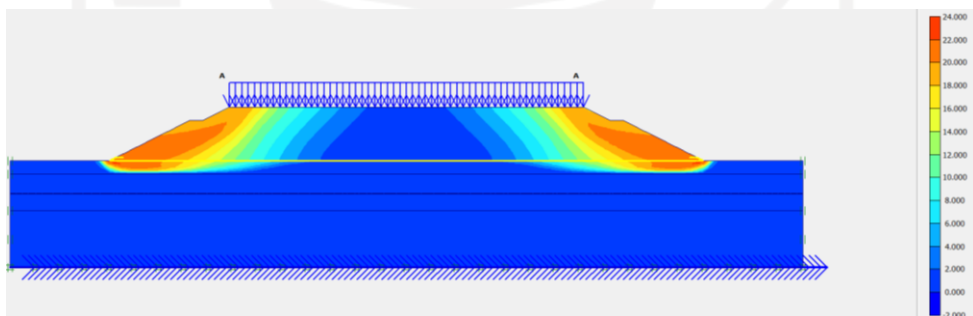
Gambar L-11.7 *Total Displacement* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



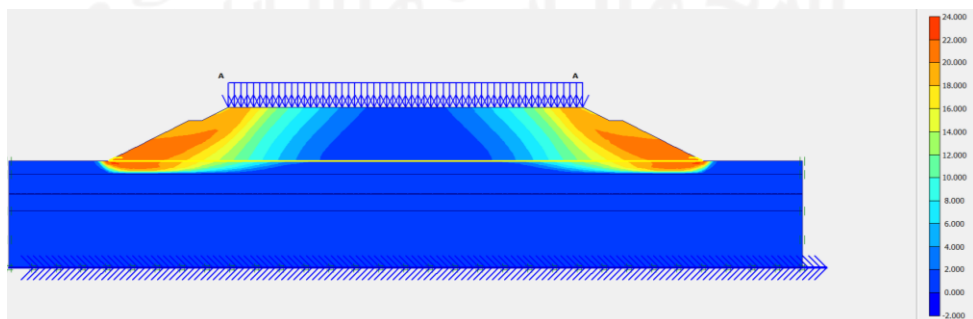
**Gambar L-11.8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



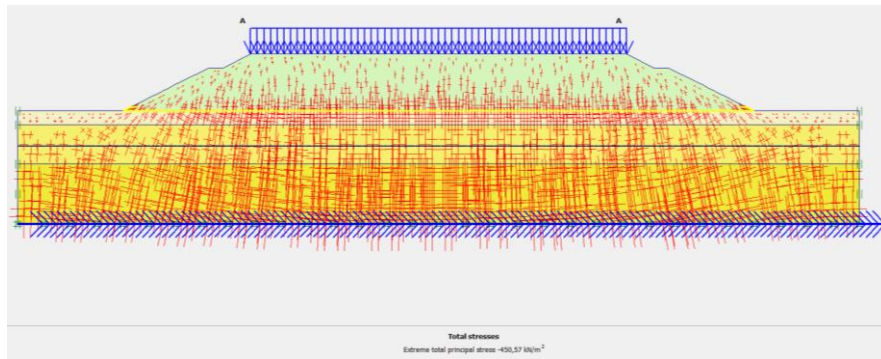
**Gambar L-11.9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



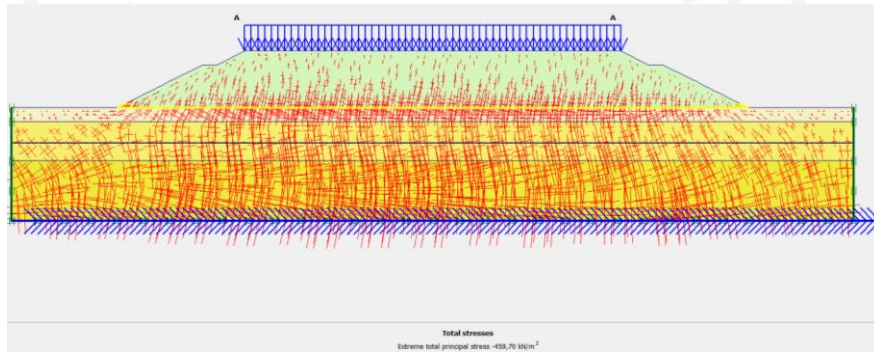
**Gambar L-11.10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



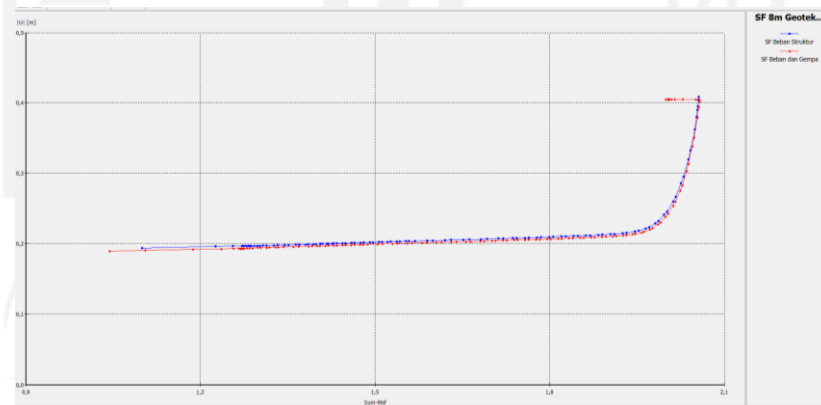
**Gambar L-11.11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



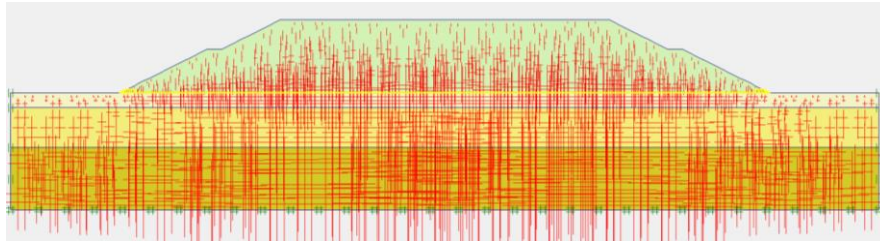
Gambar L-11.12 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur



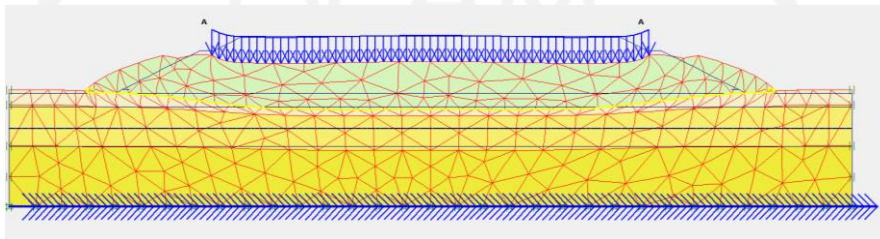
Gambar L-11.13 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



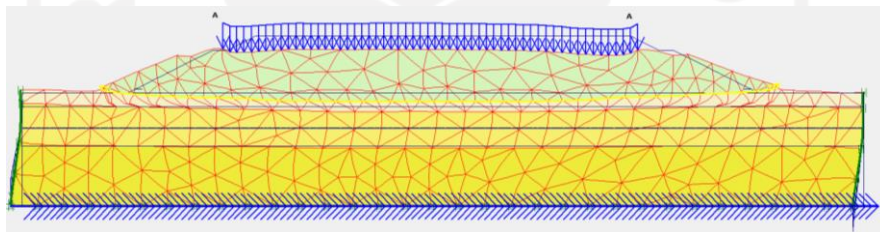
Gambar L-11.14 Kurva SF Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Masa
Konstruksi



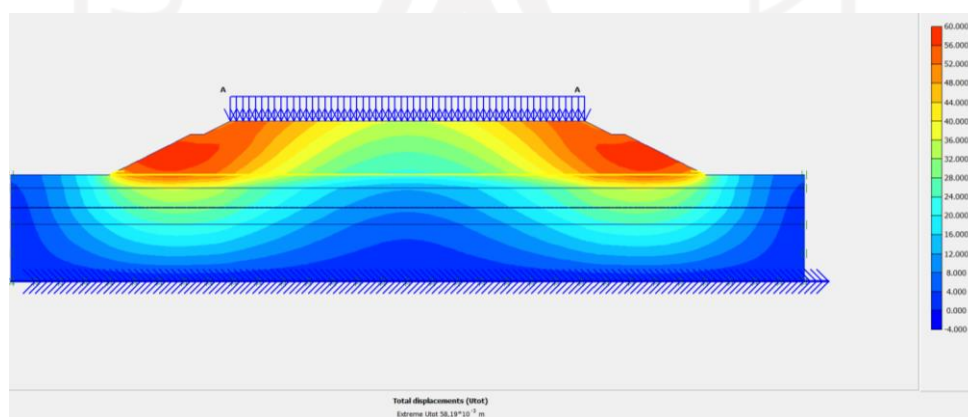
Gambar L-11.15 *Intial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Dengan Perkuatan



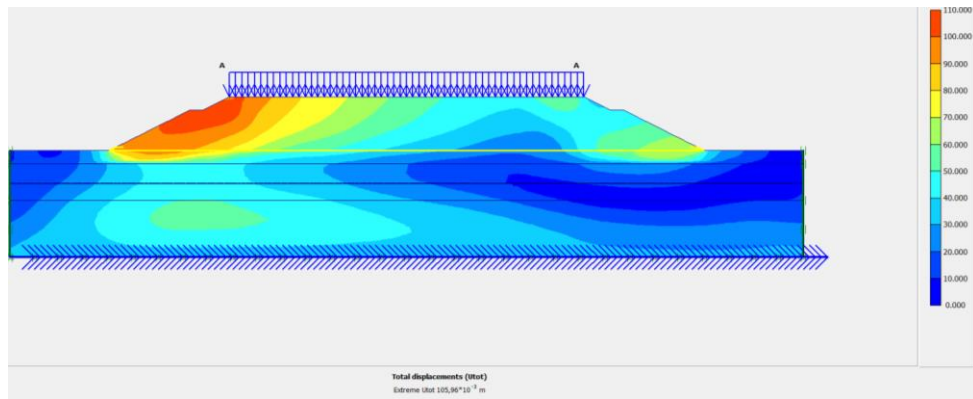
Gambar L-11.16 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



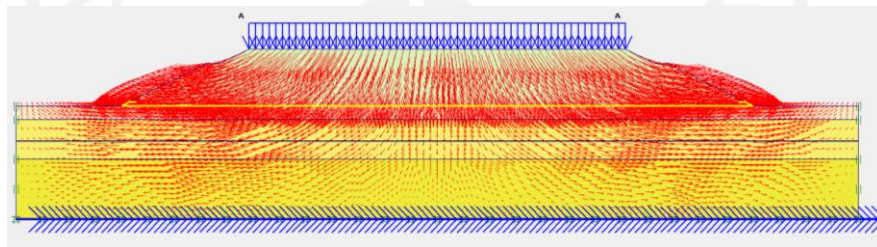
Gambar L-11.17 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa



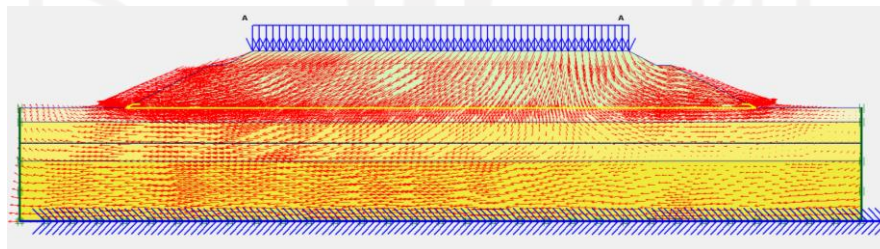
Gambar L-11.18 *Total Displacement* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



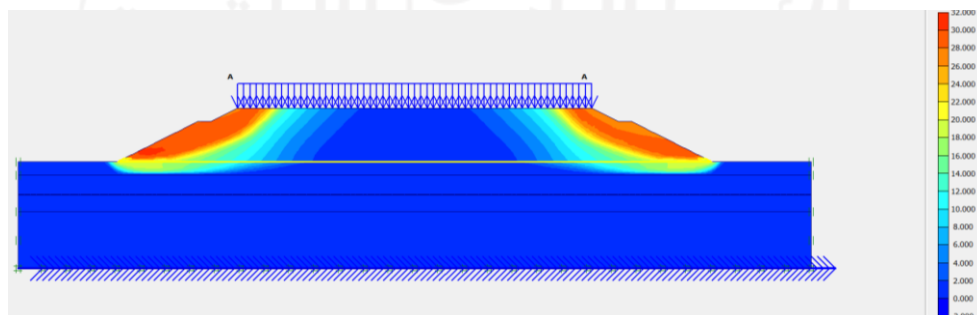
Gambar L-11.19 Total Displacement Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



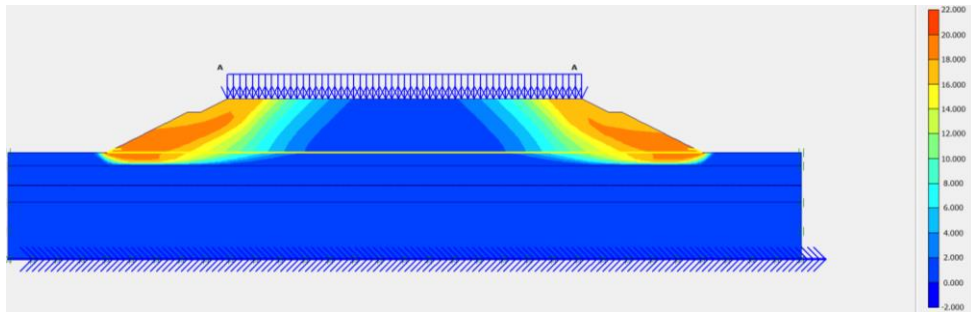
Gambar L-11.20 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



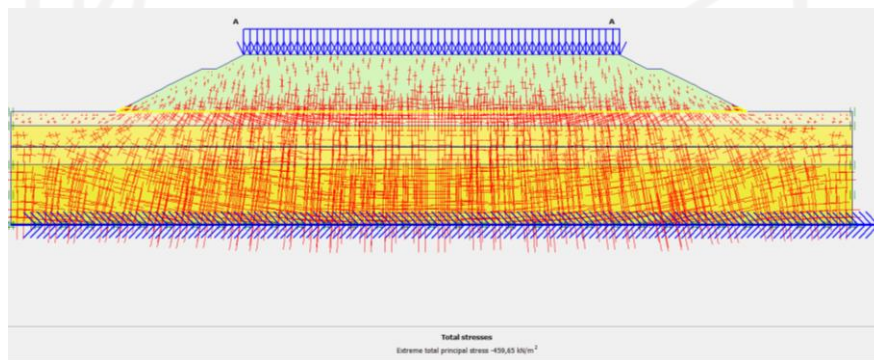
Gambar L-11.21 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



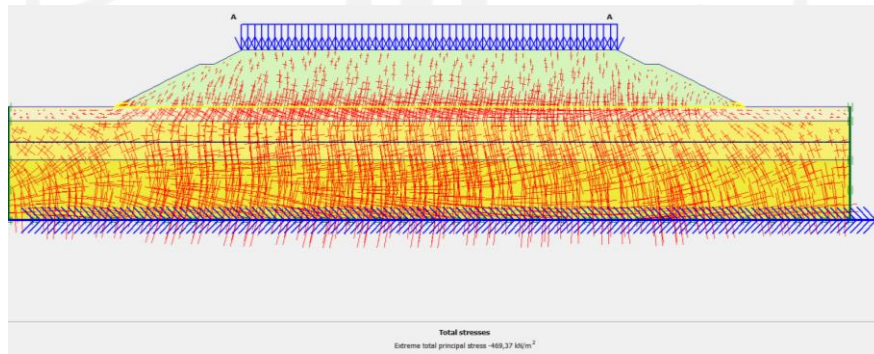
Gambar L-11.22 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



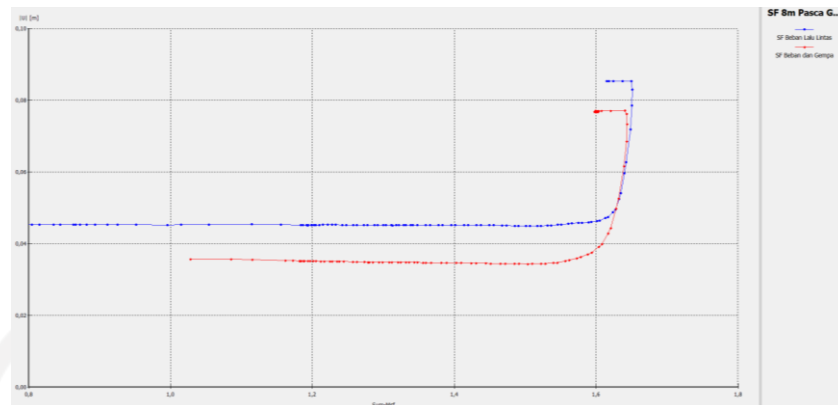
Gambar L-11.23 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



Gambar L-11.24 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



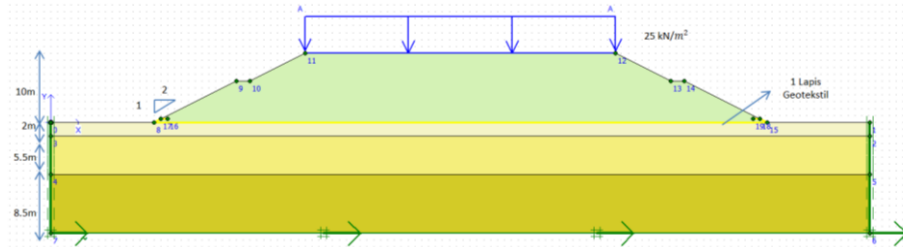
Gambar L-11.25 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



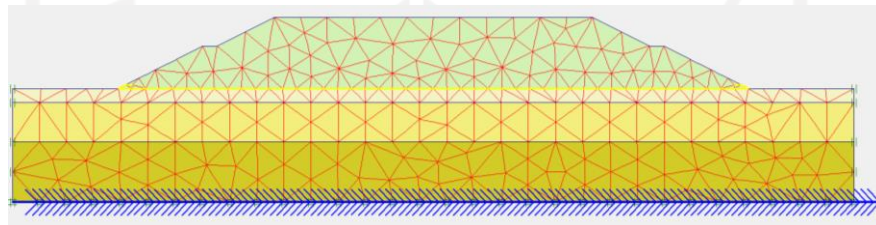
**Gambar L-11.26 Kurva SF Lereng Timbunan 8m Tanah Asli Pasca
Konstruksi**

UNIVERSITAS
INDONESIA
الجمهورية الإسلامية
الاندونيسية

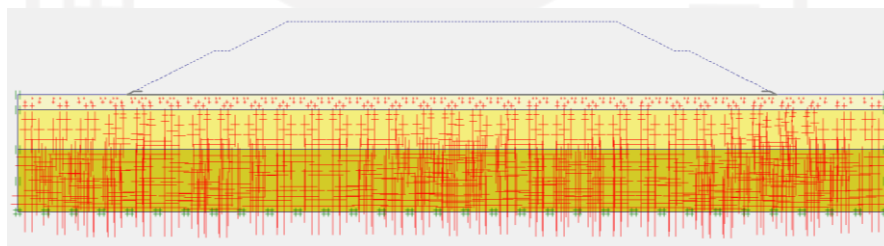
Lampiran 12 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Dengan Perkuatan



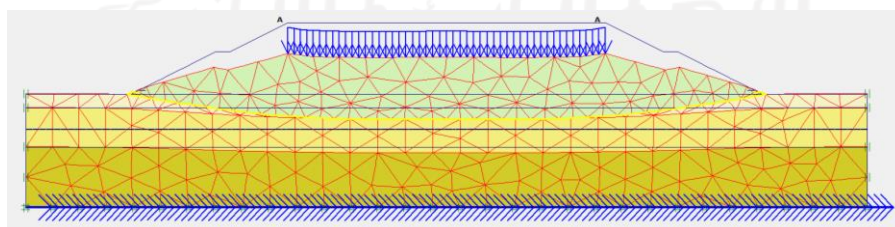
Gambar L-12.1 Pemodelan Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Dengan Perkuatan



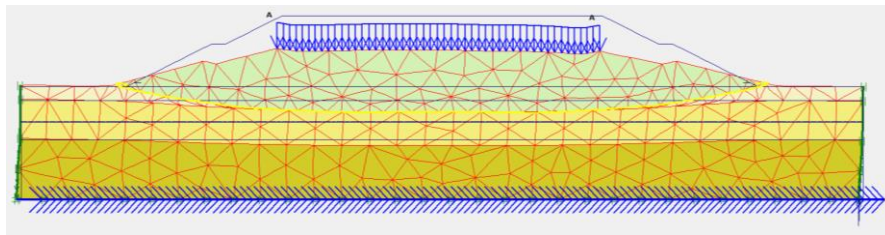
Gambar L-12.2 Meshing pada Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Dengan Perkuatan



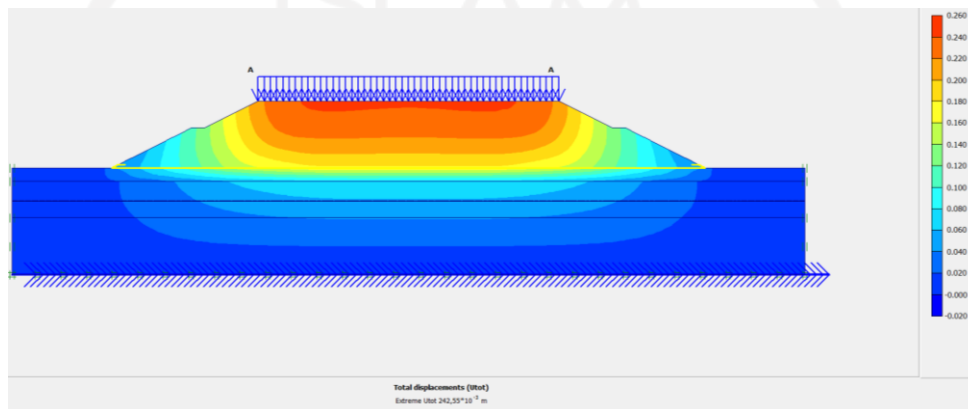
Gambar L-12.3 Intial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Dengan Perkuatan



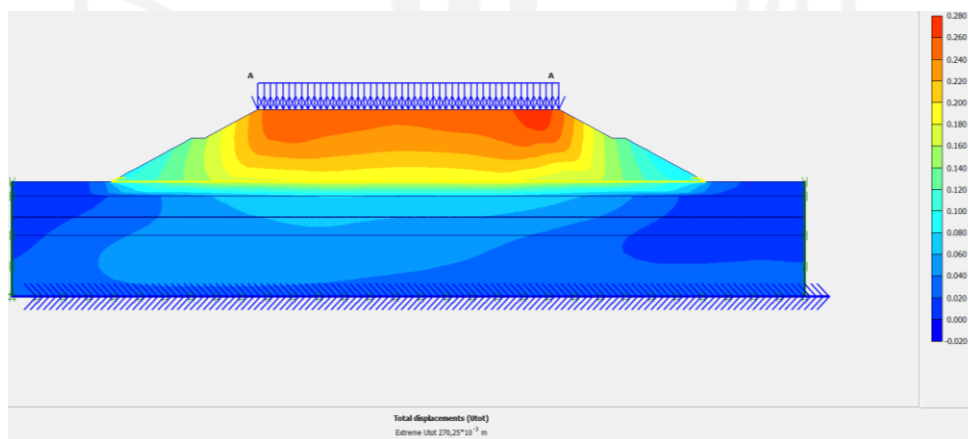
Gambar L-12.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



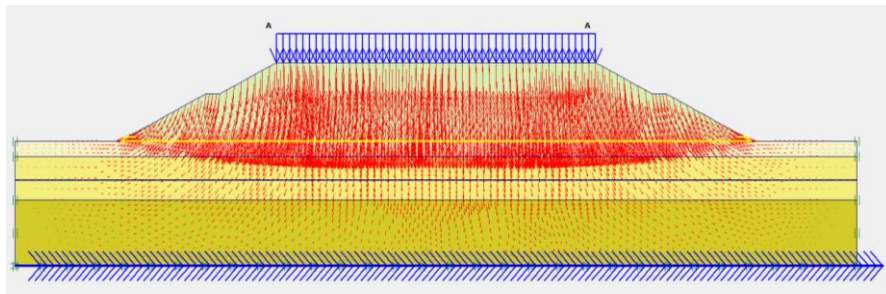
Gambar L-12.5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



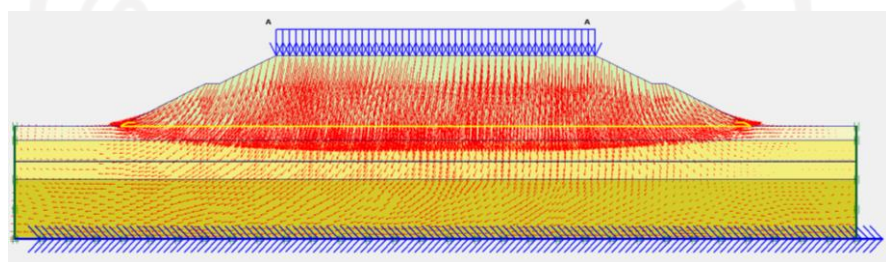
Gambar L-12.6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur



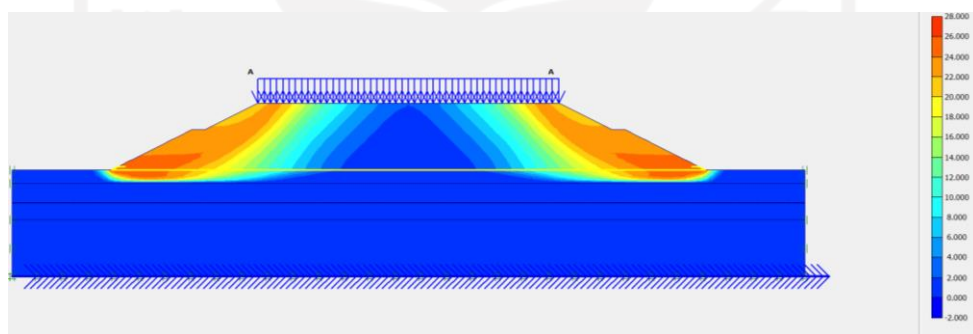
Gambar L-12.7 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



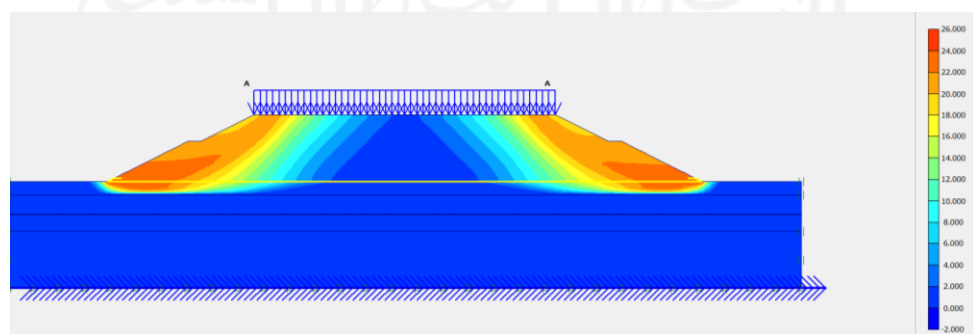
**Gambar L-12.8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



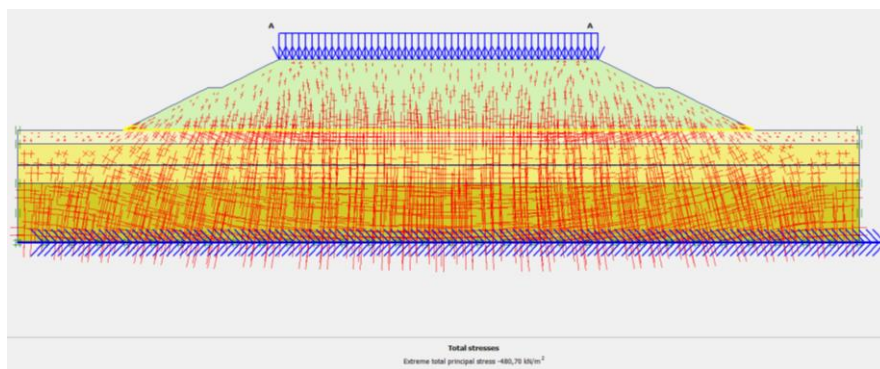
**Gambar L-12.9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



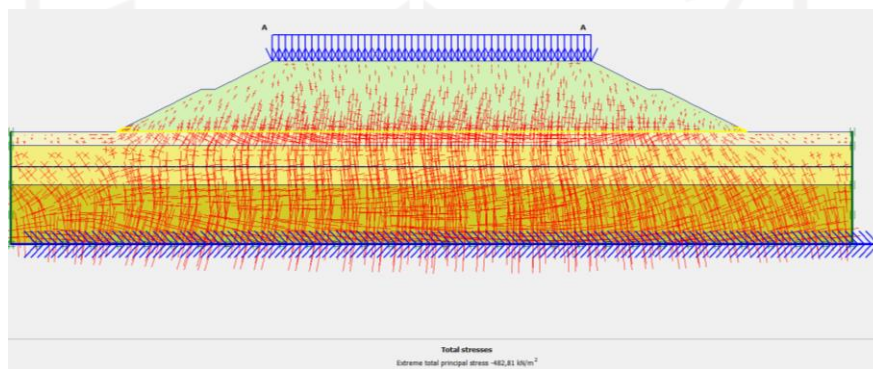
**Gambar L-12.10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



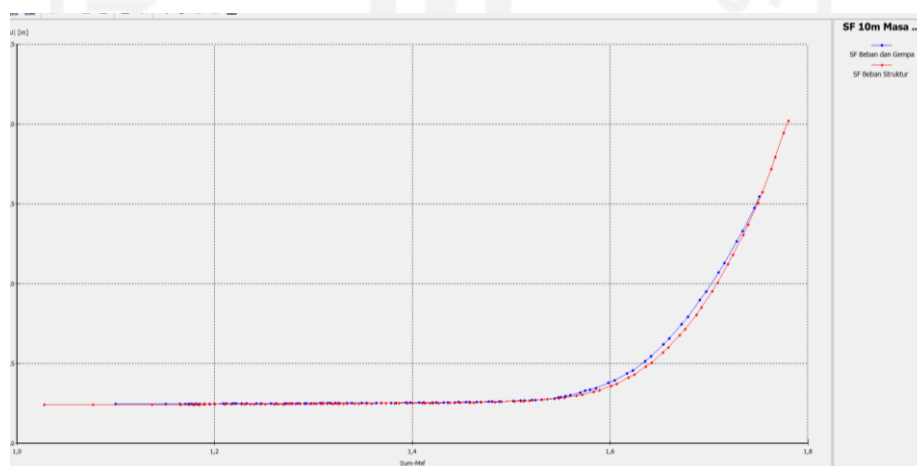
**Gambar L-12.11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



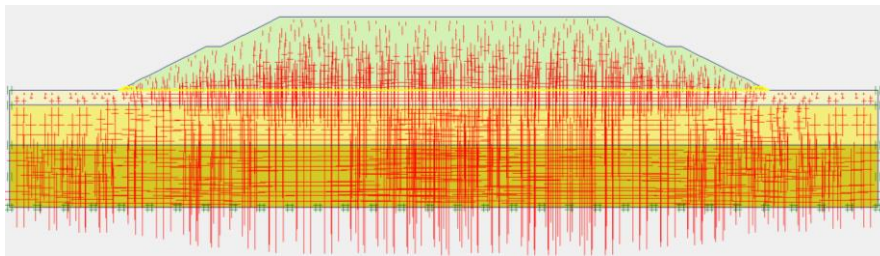
Gambar L-12.12 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur



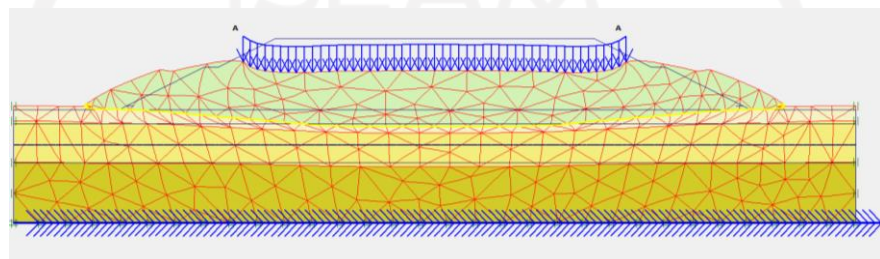
Gambar L-12.13 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



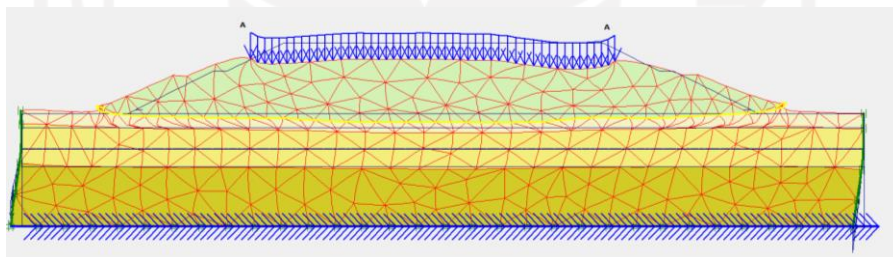
Gambar L-12.14 Kurva SF Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Masa
Konstruksi



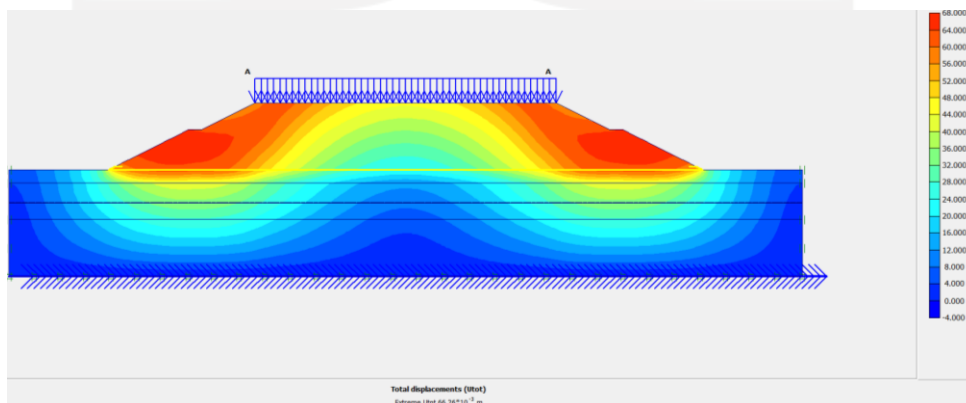
Gambar L-12.15 *Intial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Dengan Perkuatan



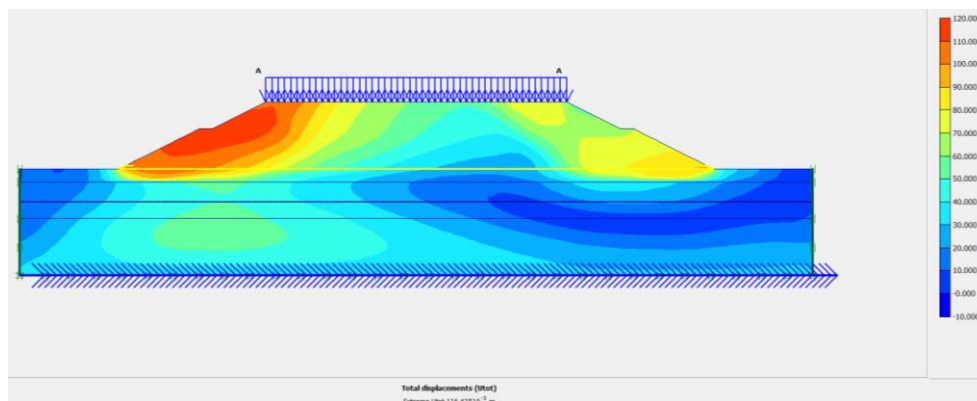
Gambar L-12.16 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Pasca
Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



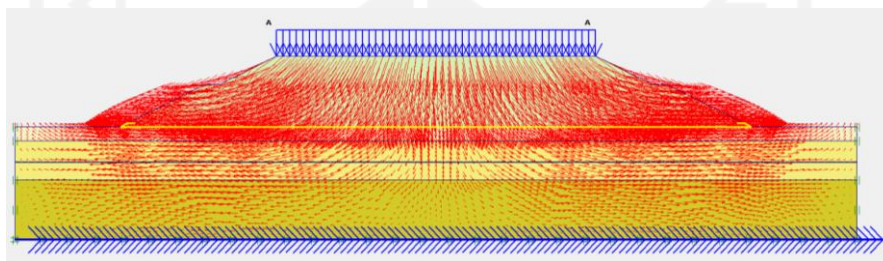
Gambar L-12.17 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Pasca
Konstruksi Akibat Beton dan Gempa



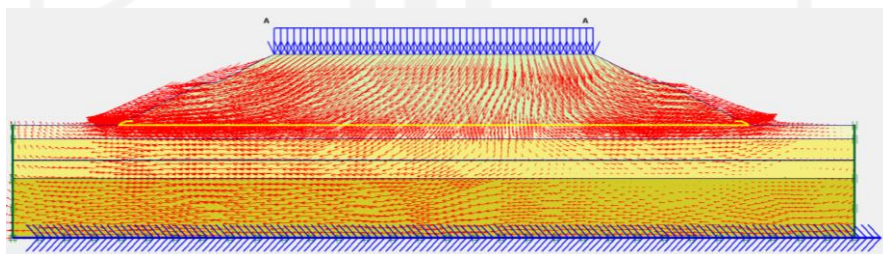
Gambar L-12.18 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



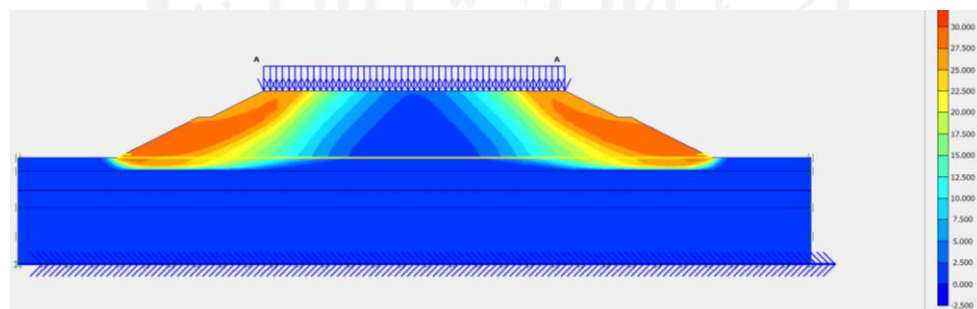
**Gambar L-12.19 Total Displacement Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



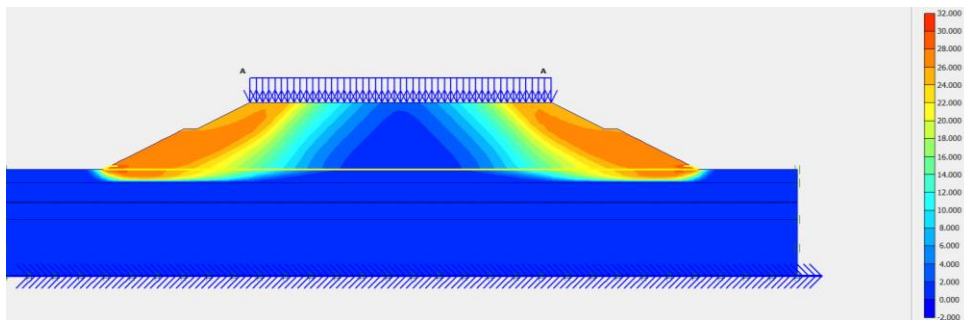
**Gambar L-12.20 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



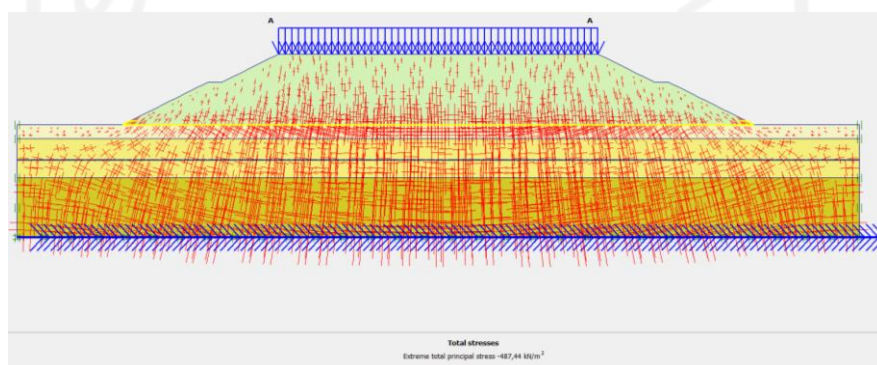
**Gambar L-12.21 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa**



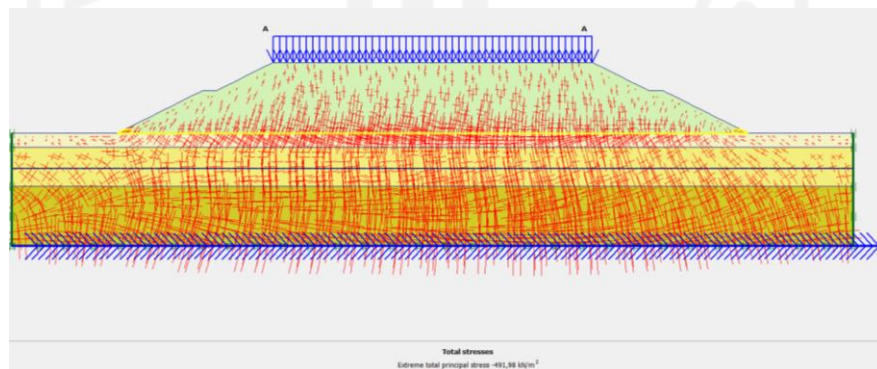
**Gambar L-12.22 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



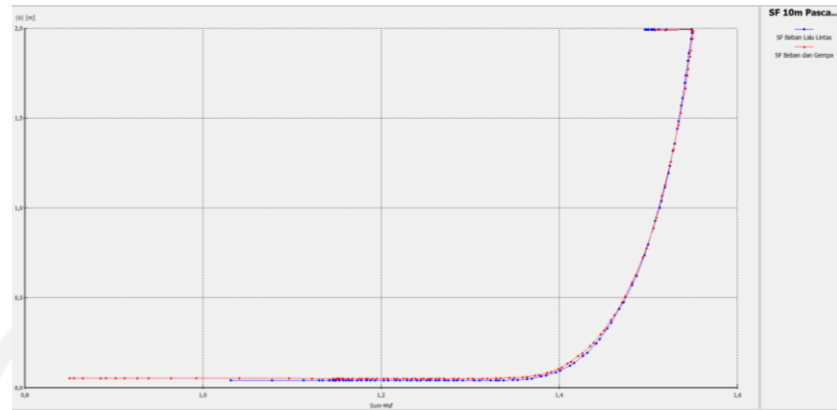
Gambar L-12.23 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



Gambar L-12.24 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



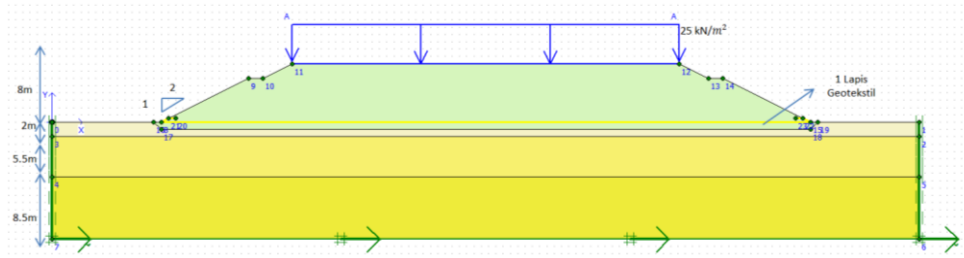
Gambar L-12.25 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



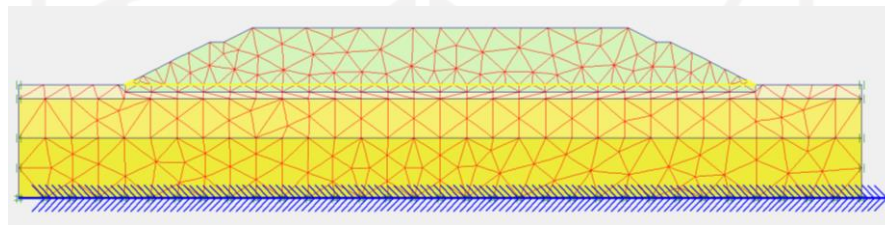
**Gambar L-12.26 Kurva SF Lereng Timbunan 10m Tanah Asli Pasca
Konstruksi**

UNIVERSITAS
INDONESIA
الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

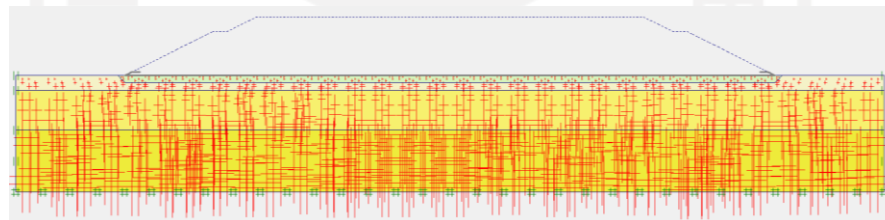
Lampiran 13 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Dengan Perkuatan



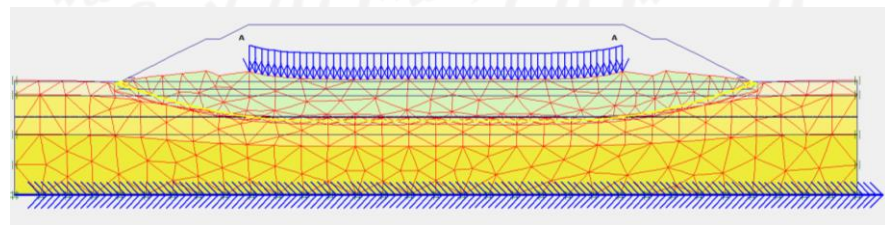
Gambar L-13.1 Pemodelan Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Dengan Perkuatan



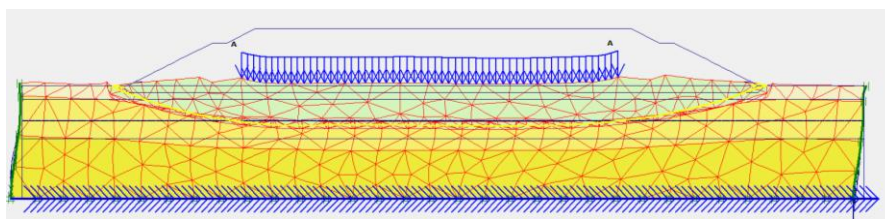
Gambar L-13.2 Meshing pada Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Dengan Perkuatan



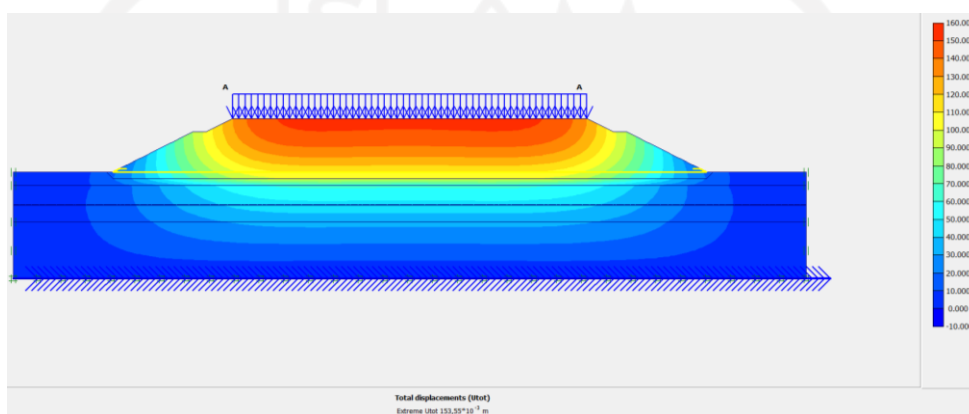
Gambar L-13.3 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Dengan Perkuatan



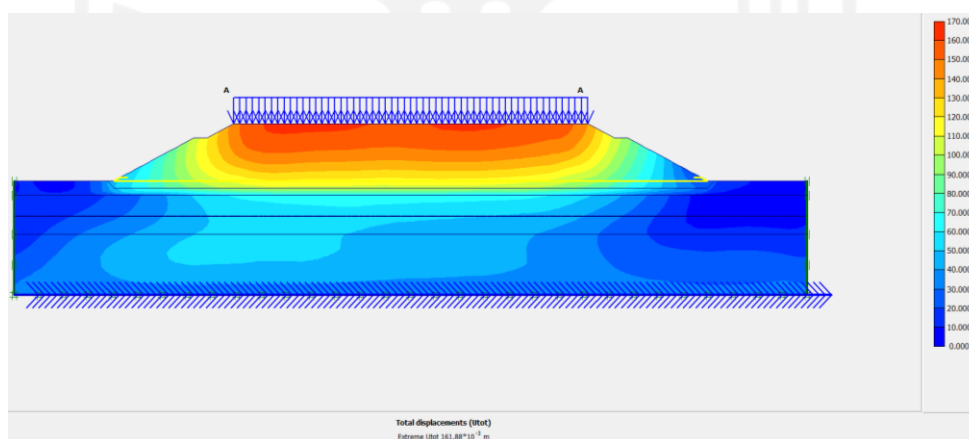
Gambar L-13.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



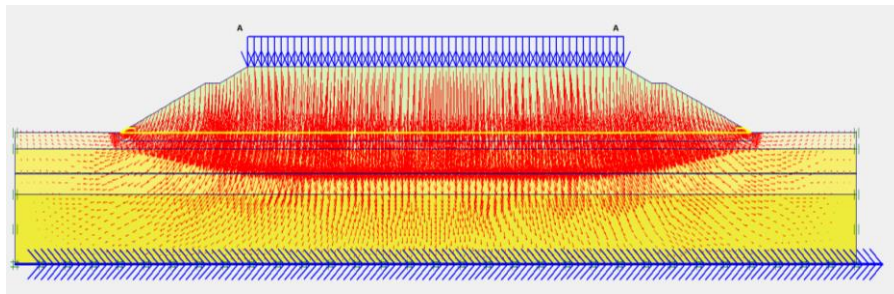
Gambar L-13.5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



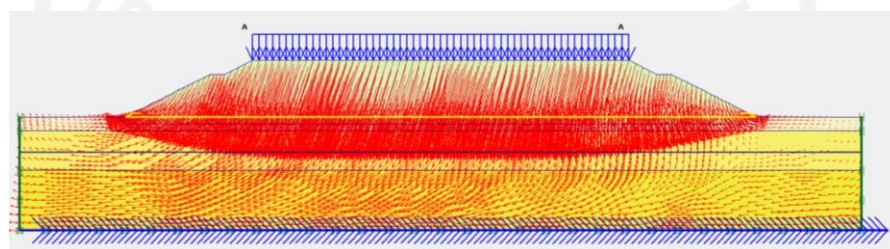
Gambar L-13.6 *Total Displacement* Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



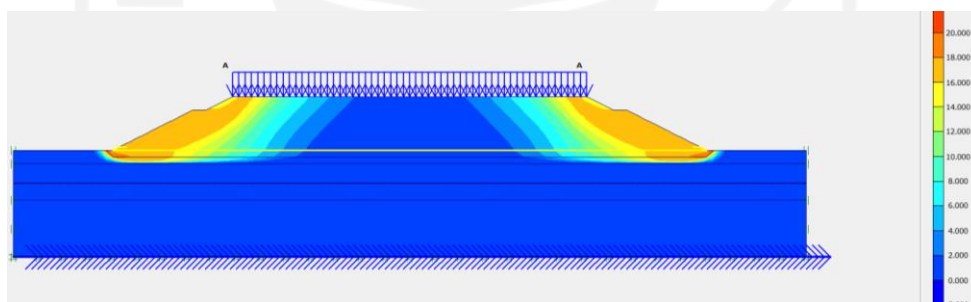
Gambar L-13.7 *Total Displacement* Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



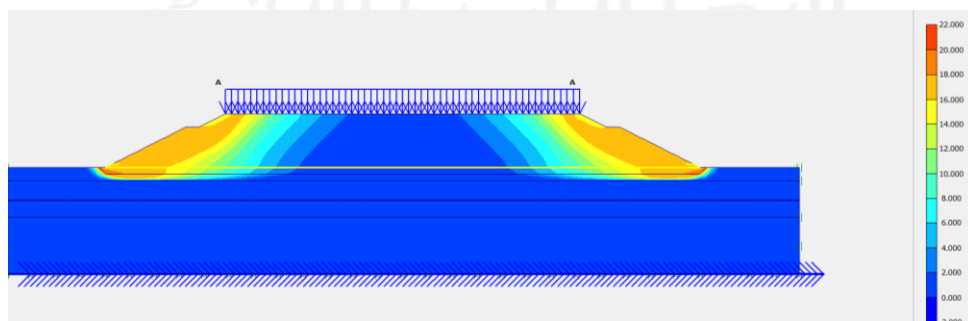
Gambar L-13.8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



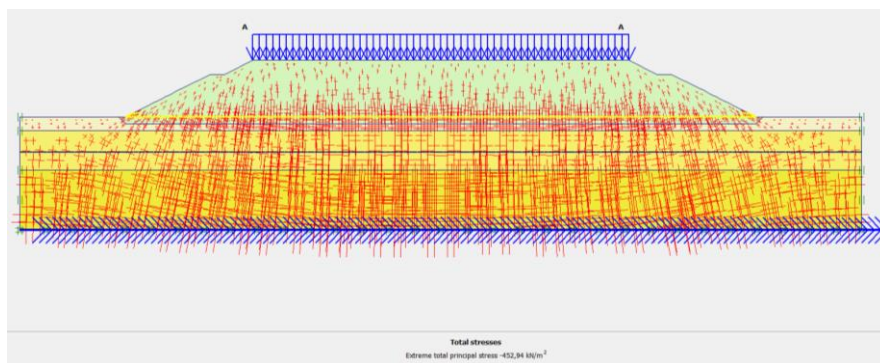
Gambar L-13.9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



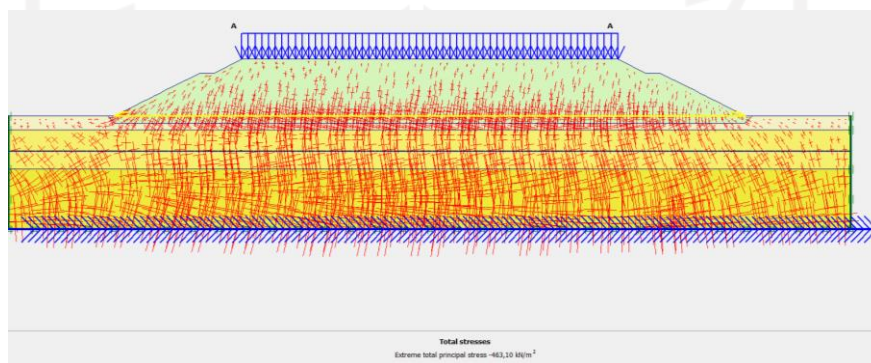
Gambar L-13.10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



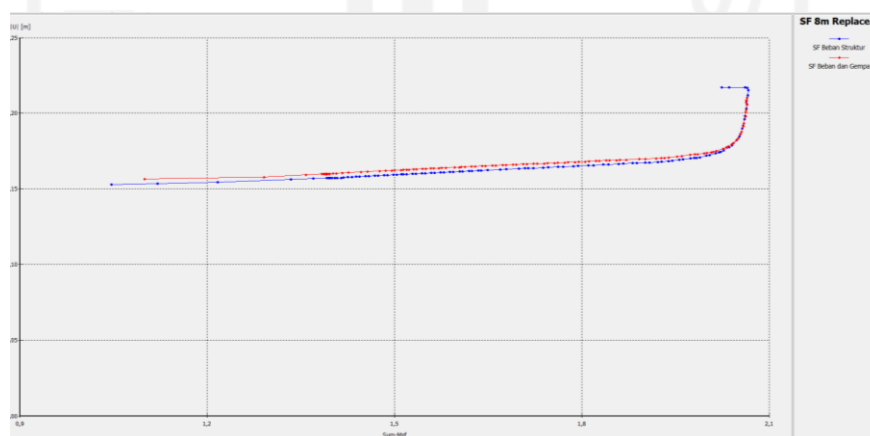
Gambar L-13.11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



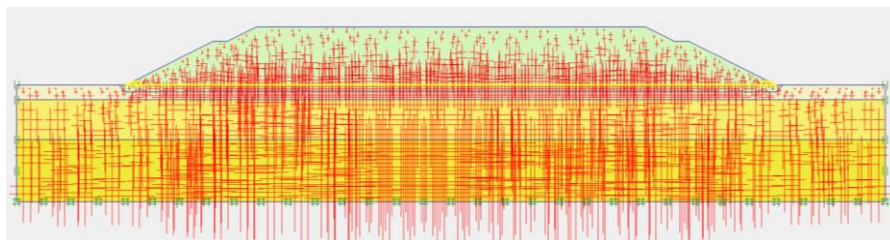
Gambar L-13.12 *Effective Stresses* Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



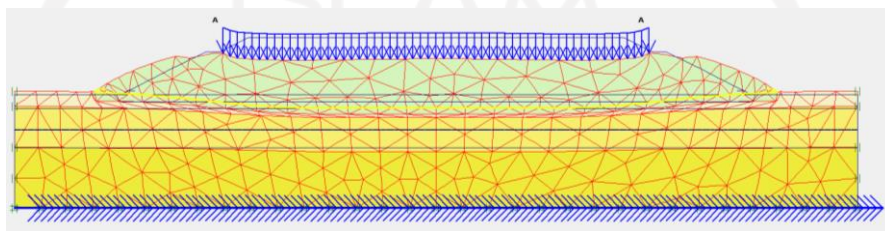
Gambar L-13.13 *Effective Stresses* Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



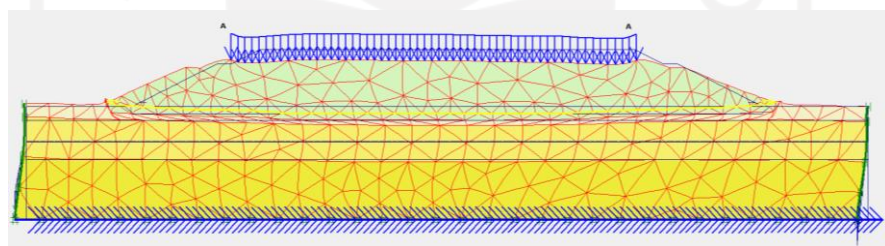
Gambar L-13.14 Kurva SF Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Masa Konstruksi



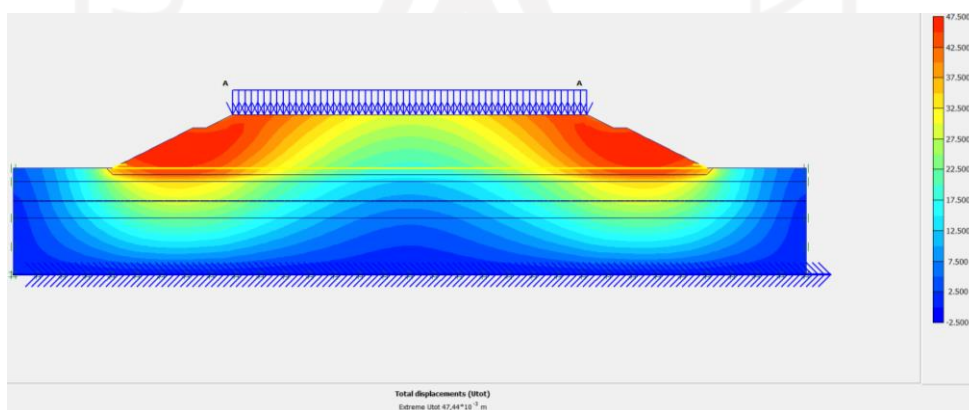
Gambar L-13.15 *Intial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Dengan Perkuatan



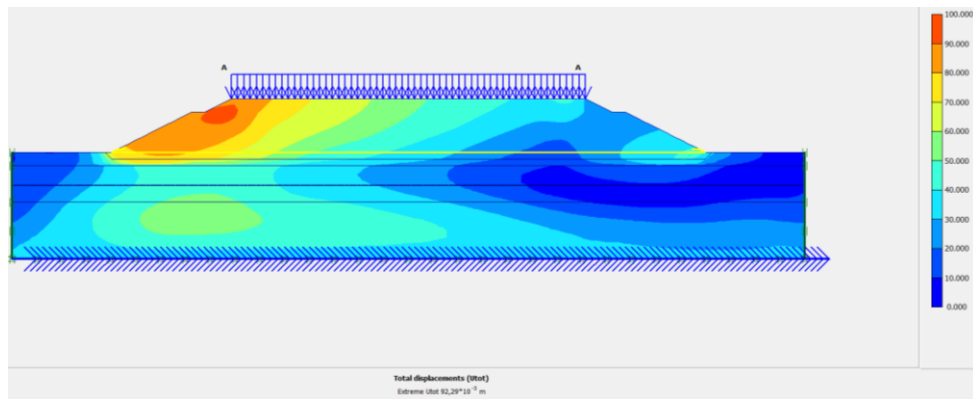
Gambar L-13.16 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



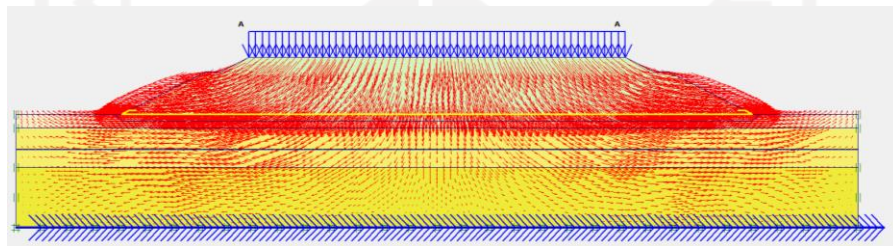
Gambar L-13.17 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa



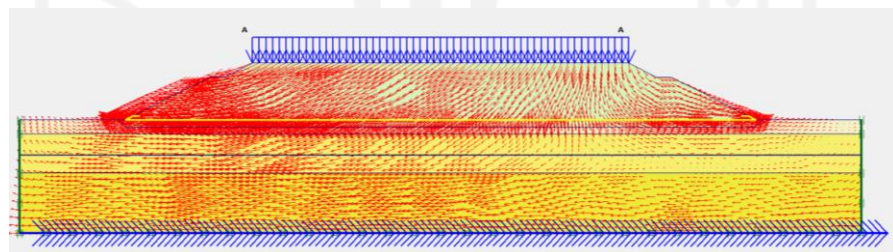
Gambar L-13.18 *Total Displacement* Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



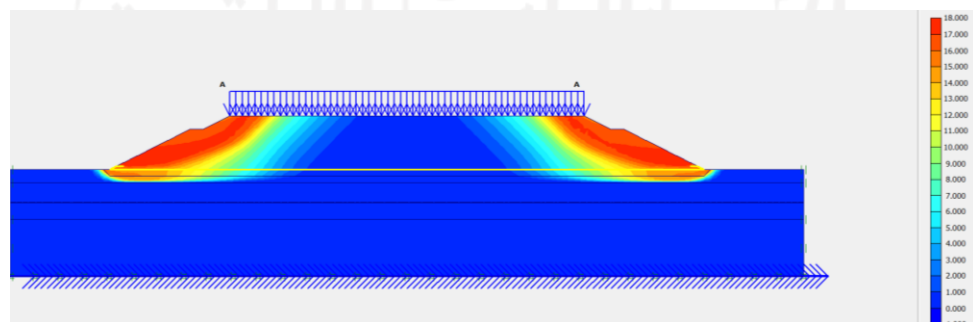
Gambar L-13.19 Total Displacement Lereng Timbunan Replacement 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



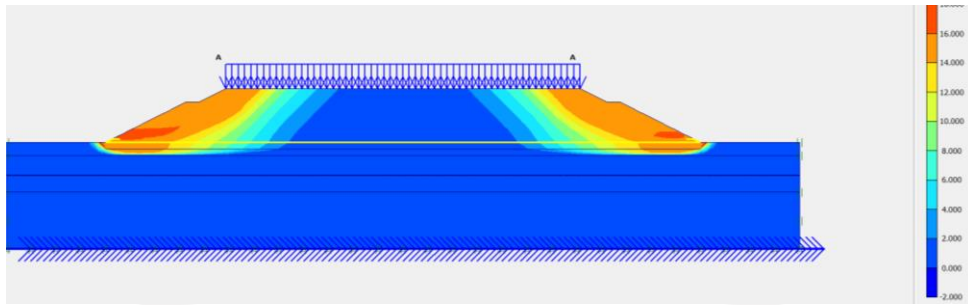
Gambar L-13.20 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Replacement 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



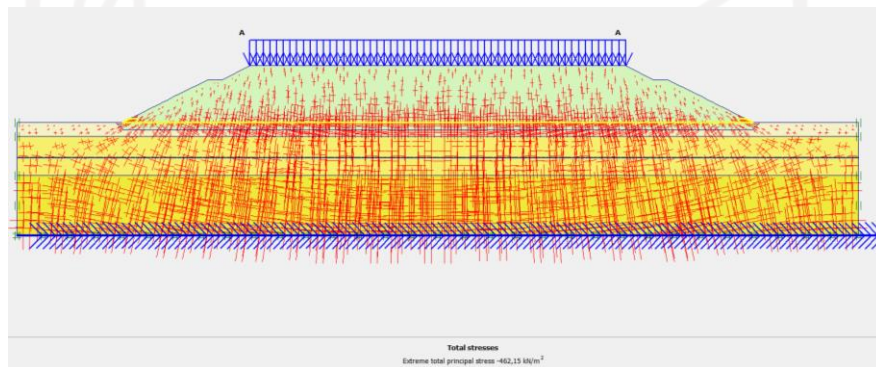
Gambar L-13.21 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Replacement 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



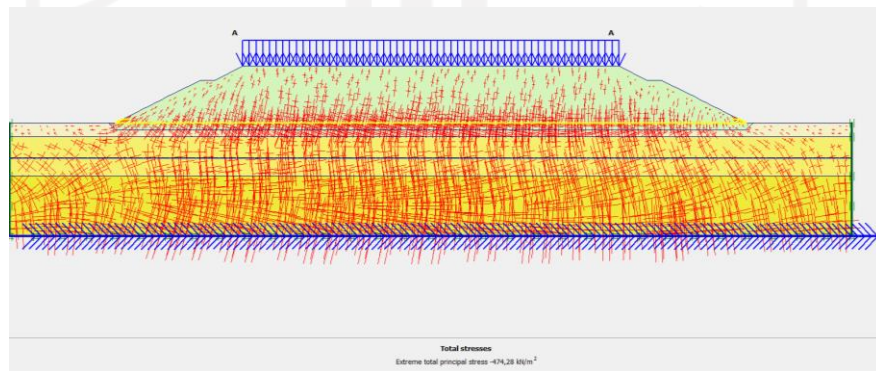
Gambar L-13.22 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Replacement 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



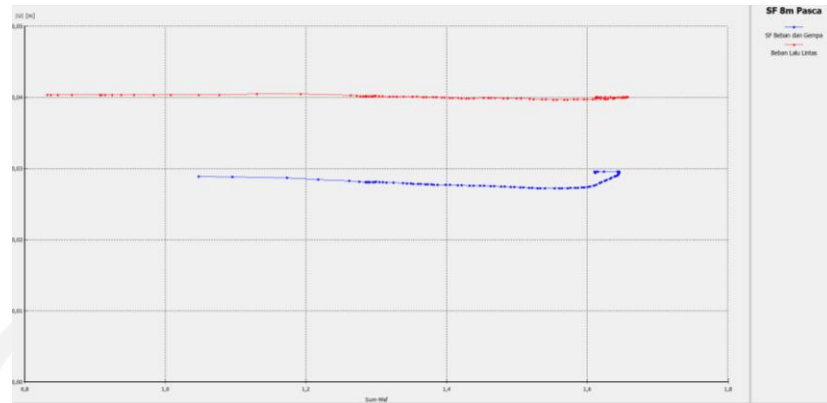
Gambar L-13.23 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



Gambar L-13.24 *Effective Stresses* Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



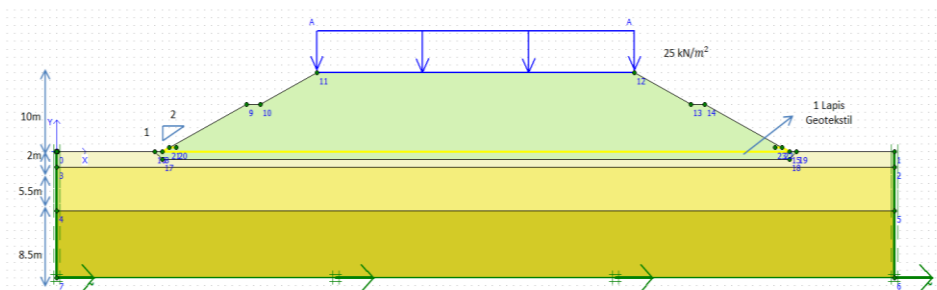
Gambar L-13.25 *Effective Stresses* Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



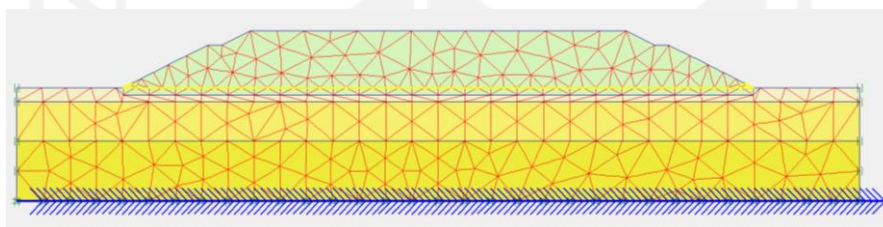
**Gambar L-13.26 Kurva SF Lereng Timbunan *Replacement* 8m Tanah Asli
Pasca Konstruksi**

UNIVERSITAS
INDONESIA
الجمهورية الإسلامية
الاندونيسية

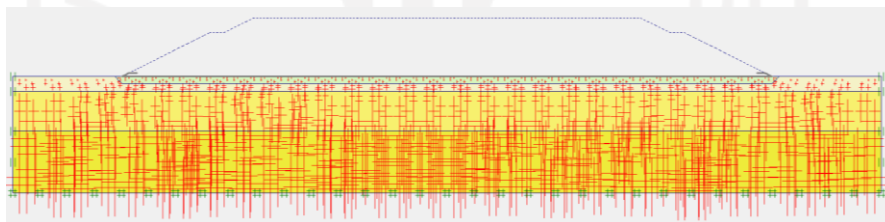
Lampiran 14 Hasil Pemodelan Plaxis Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Dengan Perkuatan



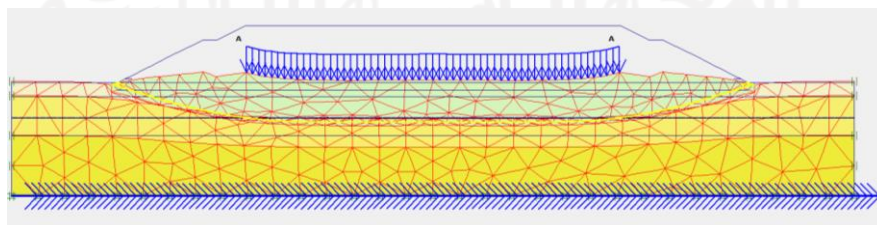
Gambar L-14.1 Pemodelan Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Dengan Perkuatan



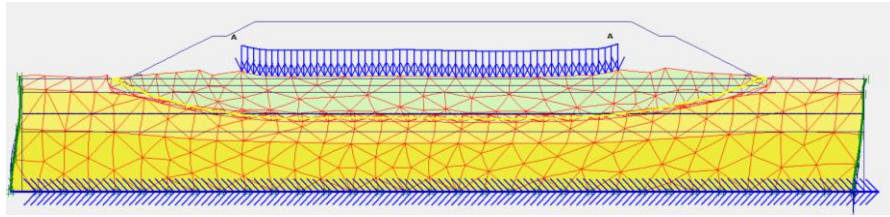
Gambar L-14.2 Meshing pada Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Dengan Perkuatan



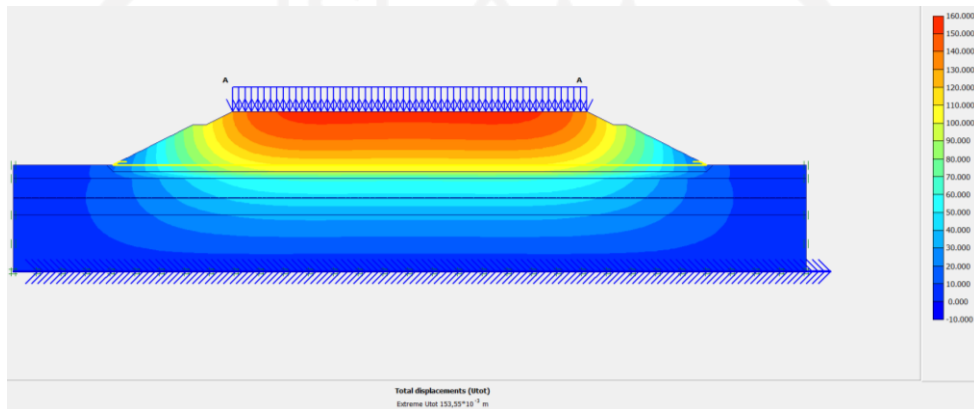
Gambar L-14.3 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Dengan Perkuatan



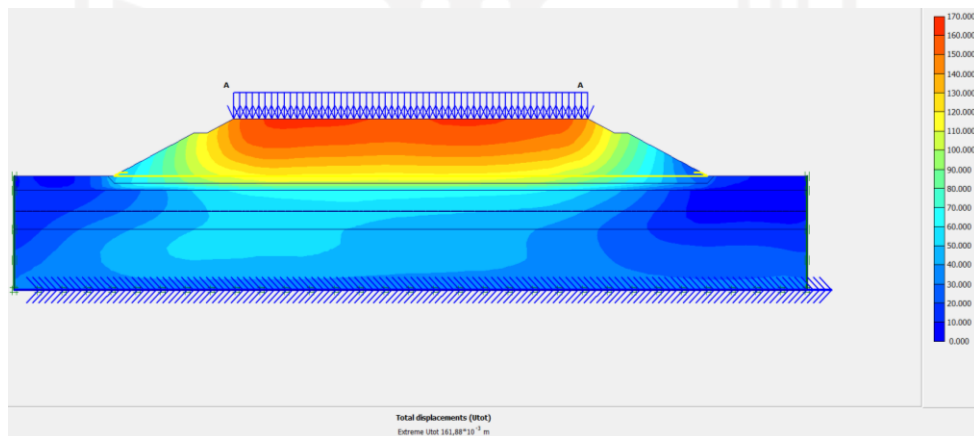
Gambar L-14.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



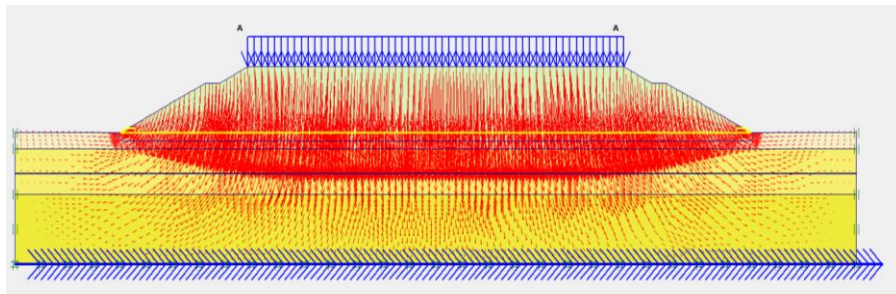
Gambar L-14.5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



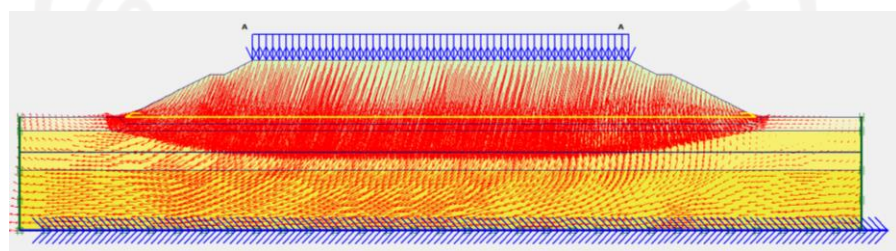
Gambar L-14.6 *Total Displacement* Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



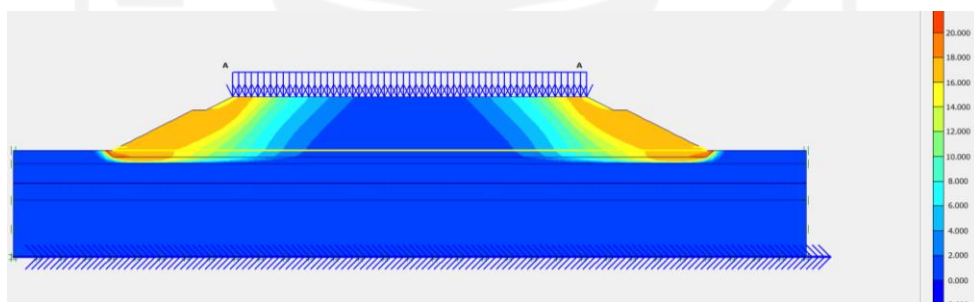
Gambar L-14.7 *Total Displacement* Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



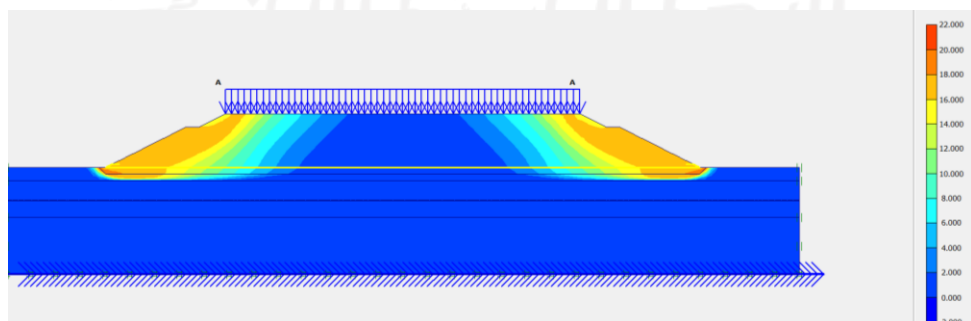
Gambar L-14.8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



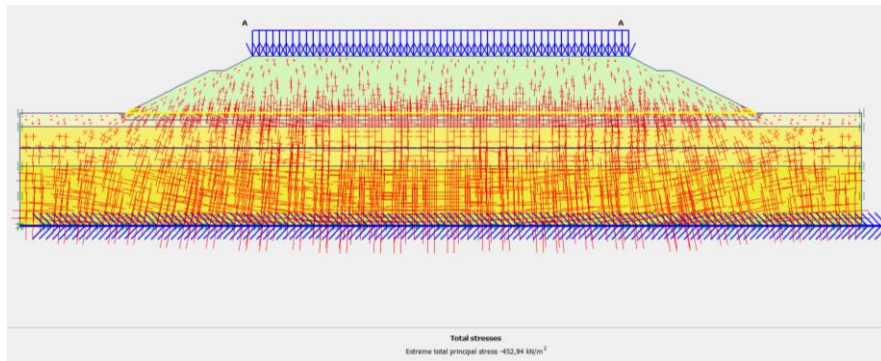
Gambar L-14.9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



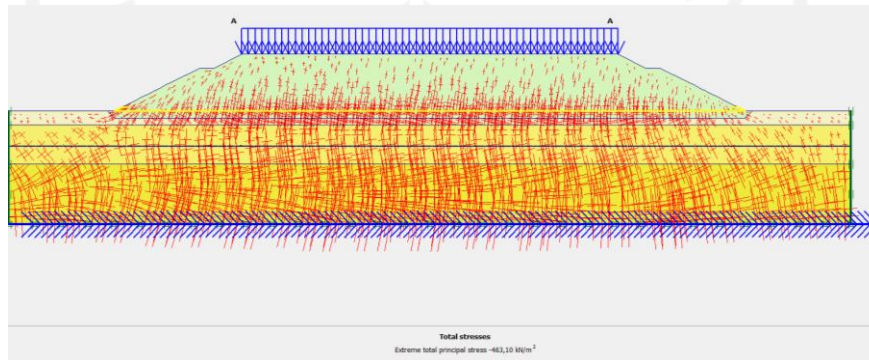
Gambar L-14.10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



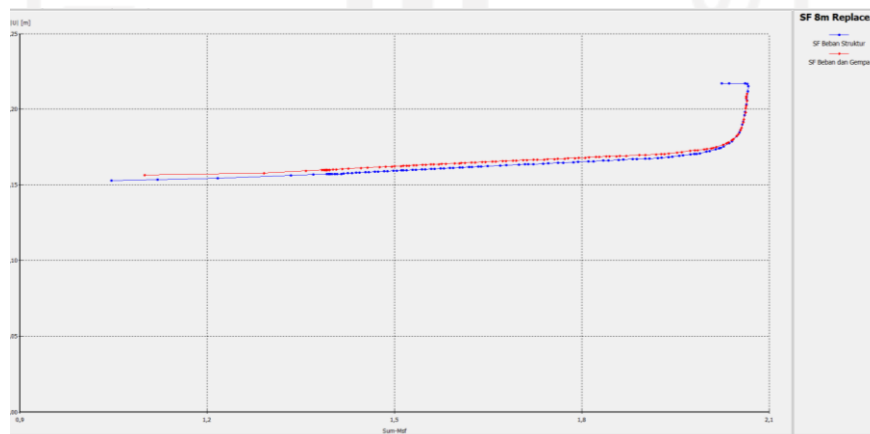
Gambar L-14.11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



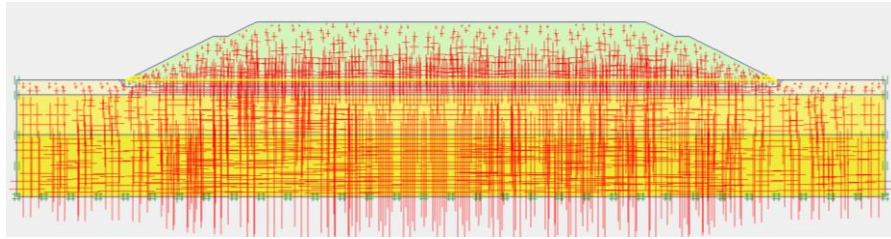
Gambar L-14.12 *Effective Stresses* Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



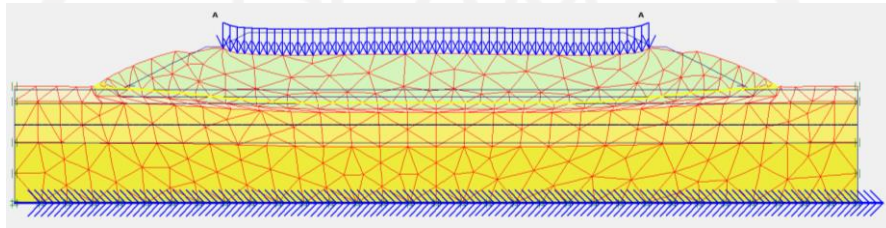
Gambar L-14.13 *Effective Stresses* Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



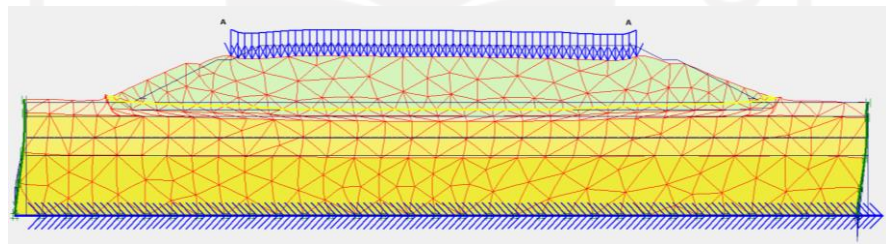
Gambar L-14.14 Kurva SF Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Masa Konstruksi



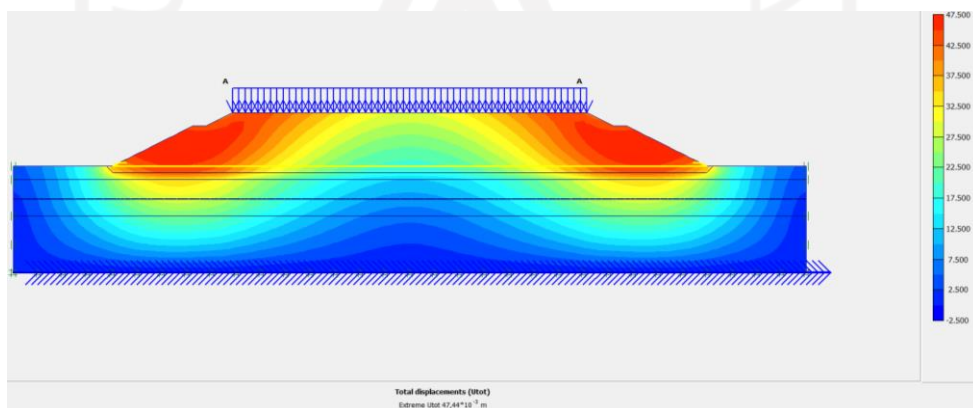
Gambar L-14.15 *Initial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Dengan Perkuatan



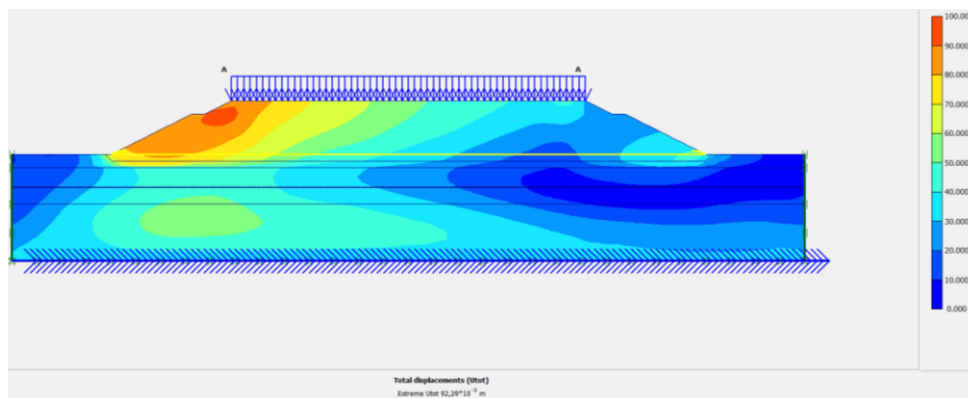
Gambar L-14.16 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



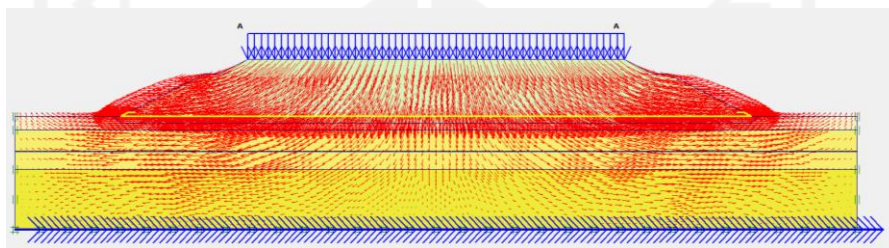
Gambar L-14.17 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa



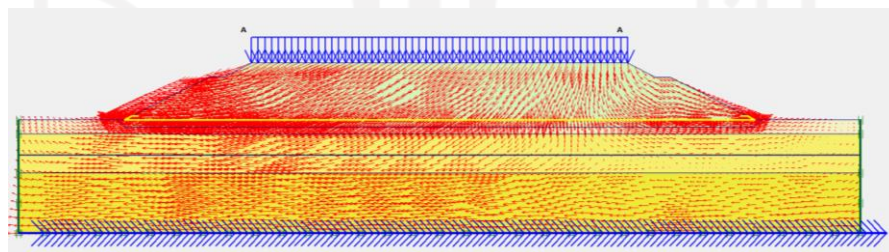
Gambar L-14.18 *Total Displacement* Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



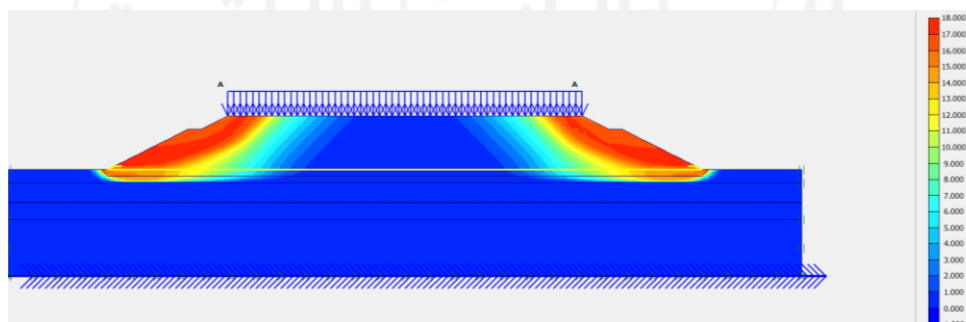
Gambar L-14.19 Total Displacement Lereng Timbunan Replacement 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



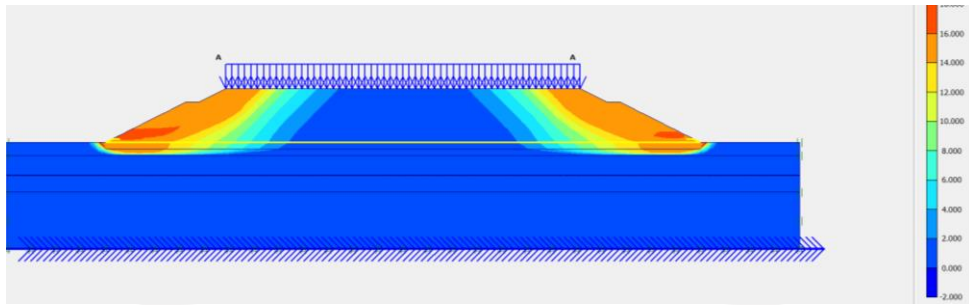
Gambar L-14.20 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Replacement 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



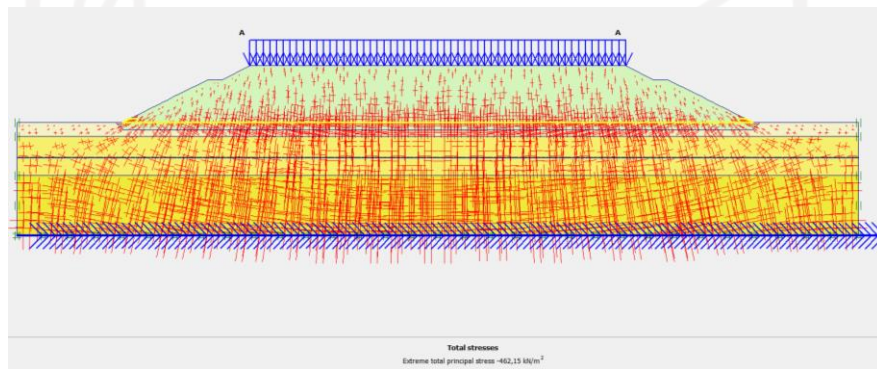
Gambar L-14.21 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Replacement 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



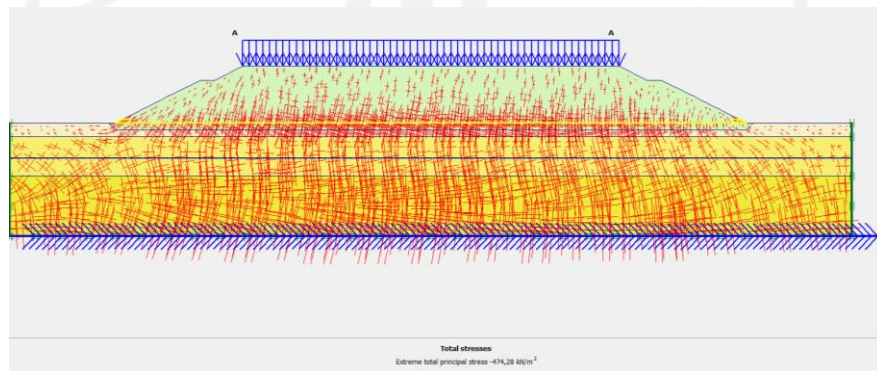
Gambar L-14.22 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Replacement 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



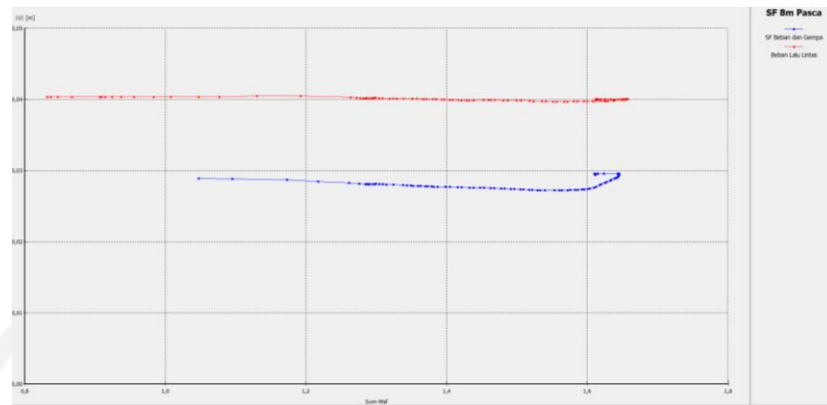
Gambar L-14.23 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



Gambar L-14.24 *Effective Stresses* Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



Gambar L-14.25 *Effective Stresses* Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



**Gambar L-14.26 Kurva SF Lereng Timbunan *Replacement* 10m Tanah Asli
Pasca Konstruksi**

