

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG TIMBUNAN PADA BADAN JALAN DENGAN MENGGUNAKAN PERKUATAN GEOTEKSTIL (*ANALYSIS OF THE ROAD EMBANKMENT SLOPE STABILITY USING GEOTEXTILE*)

**(Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi
Prabumulih- Muara Enim, Sumatera Selatan, Sta. 97+100)**

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



**Yogi Kurniawan
14511103**

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

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG TIMBUNAN PADA BADAN JALAN DENGAN MENGGUNAKAN PERKUATAN GEOTEKSTIL (ANALYSIS OF THE ROAD EMBANKMENT SLOPE STABILITY USING GEOTEXTILE)

(Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi
Prabumulih- Muara Enim, Sumatera Selatan, Sta. 97+100)

Disusun Oleh



Yogi Kurniawan
14511103

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

Diuji pada tanggal

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Dr., Ir. Edy Purwanto, CES., DEA.
NIK: 855110101

Penguji I

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

Penguji II

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



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

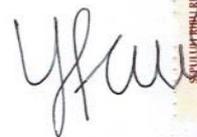
Dr., Ir. Sri Amiri Yuni Astuti, M. T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk menyelesaikan program strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah tertuliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Laporan Tugas Akhir ini bukan 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, 20 Juli 2021

Yang membuat pernyataan,



Yogi Kurniawan

(14511103)

DEDIKASI

Dengan Rahmat Allah SWT yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang serta atas izin-NYA untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, saya dedikasikan Tugas Akhir ini kepada:

1. Ayah Toto dan Ibu Khomsyati tercinta yang selalu mendo'akan dan memberikan semangat serta dukungan yang tak henti-hentinya kepada penulis Tugas Akhir ini dapat selesai dengan baik.
2. Bapak Dr., Ir., Edy Purwanto, CES., DEA., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, atas ilmu pengetahuan, pemahaman, dan waktu yang telah diberikan kepada penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Kakak dr. Rully Azis Nufika, Adik Ade Novrandy dan Muhammad Ali Sya'ban yang telah memberikan dukungan sehingga memudahkan penulis dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.
4. Saudara-saudara seperjuangan Teknik Sipil 2014 yang selalu membantu dan telah berkontribusi banyak sehingga dapat memperlancar penulisan Tugas Akhir ini.
5. Keluarga besar Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang telah berkontribusi sehingga dapat memperlancar penulisan Tugas Akhir ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah Robbil'alamin penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-NYA penulis diberi kekuatan, kesehatan, kelancaran, dan ilmu yang bermanfaat sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Pada Badan Jalan Dengan Menggunakan Perkuatan Geotekstil. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini tidak lepas dari do'a, dukungan, kerjasama, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr., Ir., Edy Purwanto, CES., DEA., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, atas ilmu pengetahuan, pemahaman, dan waktu yang telah diberikan kepada penulis dalam penulisan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I Tugas Akhir, atas ilmu pengetahuan, pemahaman, dan waktu yang telah diberikan kepada penulis dalam penulisan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir, atas ilmu pengetahuan, pemahaman, dan waktu yang telah diberikan kepada penulis dalam penulisan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Sri Amini Yuni Astuti, Dr., Ir., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Seluruh Bapak/ Ibu Dosen dan civitas akademika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama masa menjalankan perkuliahan.

Tidak ada satupun yang dapat menggantikan seluruh do'a, dukungan, kerjasama, waktu, kesempatan, dan bimbingan dari semua pihak yang telah disebutkan diatas kecuali do'a yang penulis haturkan agar kiranya Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang berkenan membalas semua yang telah diberikan kepada penulis.

Yogyakarta, 20 Juli 2021
Yang membuat pernyataan,

Yogi Kurniawan
(14511103)



DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
ABSTRAKSI	xxii
<i>ABSTRACT</i>	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Keaslian Penelitian Yang Dilakukan	11
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Tanah	13
3.1.1 Pengertian Tanah	13
3.1.2 Klasifikasi Tanah	14
3.1.3 Parameter Tanah	19
3.2 Lereng	24
3.2.1 Penyebab Longsor	25
3.2.2 Macam- Macam Kelongsoran	26

3.2.3	Analisa Stabilitas Lereng	27
3.3	Perkuatan Lereng Dengan Geotekstil	34
3.3.1	Sifat- Sifat Geotekstil	35
3.3.2	Prinsip Kerja Geotekstil	41
3.3.3	Stabilitas Eksternal	42
3.3.4	Stabilitas Internal	45
3.4	Konsolidasi	46
3.5	<i>Plaxis</i>	48
3.5.1	Parameter Input Untuk Program <i>Plaxis</i> Versi 8.6	49
3.5.2	Analisis Data Program <i>Plaxis</i> Versi 8.6	52
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		53
4.1	Tinjauan Umum	53
4.2	Data Penelitian	53
4.3	Tahapan Penelitian	54
4.4	Permodelan <i>Plaxis</i> Versi 8.6	54
4.4.1	Parameter Tanah	54
4.4.2	Geotekstil	56
4.4.3	Beban Struktur	57
4.4.4	Beban Lalu Lintas	57
4.4.5	Beban Gempa	58
4.5	Pengoperasian Program <i>Plaxis</i> Versi 8.6	59
4.5.1	<i>Plaxis Input</i>	60
4.5.2	<i>Plaxis Calculation</i>	65
4.5.3	<i>Plaxis Output</i>	67
4.6	Bagan Alir Penelitian	67
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		69
5.1	Gambaran Umum Analisis	69
5.1.1	Data Analisis Program <i>Plaxis</i> Versi 8.6	70
5.2	Lereng Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan	72
5.2.1	Analisis Menggunakan Program <i>Plaxis</i> Versi 8.6	72

5.2.2	Perhitungan Manual dengan Metode Irisan Lereng Timbunan 12 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	81
5.2.3	Perhitungan Manual dengan Metode Irisan Lereng Timbunan 12 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur	83
5.3	Lereng Timbunan Tanah dengan <i>Replacement</i> Tanpa Perkuatan	85
5.3.1	Analisis Menggunakan Program <i>Plaxis</i> Versi 8.6	85
5.3.2	Perhitungan Manual dengan Metode Irisan Lereng Timbunan 12 Meter Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	101
5.3.3	Perhitungan Manual dengan Metode Irisan Lereng Timbunan 12 Meter Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur	103
5.4	Perhitungan Kebutuhan Geotekstil	105
5.4.1	Data Perhitungan Geotekstil	105
5.4.2	Stabilitas Eksternal	107
5.4.3	Stabilitas Internal	112
5.5	Lereng Timbunan Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	115
5.6	Lereng Timbunan Tanah <i>Replacement</i> dengan Perkuatan Geotekstil	131
5.7	Pembahasan	148
5.7.1	Hasil Analisis Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil	148
5.7.2	Hasil Analisis Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil	150
5.7.3	Perbandingan Analisis Stabilitas antara Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil dan Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Berdasarkan Variasi Tinggi Timbunan	152
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		158
6.1	Kesimpulan	158
6.2	Saran	159
DAFTAR PUSTAKA		161
LAMPIRAN		163
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sekarang dengan Penelitian Terdahulu	12
Tabel 3. 1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS	16
Tabel 3. 2 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO	18
Tabel 3. 3 Perkiraan Modulus Elastis	21
Tabel 3. 4 Perkiraan <i>Rasio Poisson</i>	22
Tabel 3. 5 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah	24
Tabel 3. 6 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng	30
Tabel 3. 7 Hubungan Nilai Faktor Keamanan Dengan Intensitas Longsor	30
Tabel 4. 1 Data Parameter Tanah	55
Tabel 4. 2 Data Parameter Tanah Pasca Konstruksi	56
Tabel 4. 3 Data Parameter Geotekstil <i>Woven UW-250</i>	57
Tabel 4. 4 Data Parameter Beban Lalu Lintas	58
Tabel 5. 1 Koordinat Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	73
Tabel 5. 2 Rekapitulasi <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan Tanah Asli	81
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Besar Konsolidasi yang Terjadi pada Lereng Timbunan Tanah Asli	81
Tabel 5. 4 Perhitungan Gaya Berat Metode Irisan	82
Tabel 5. 5 Perhitungan Gaya Berat Metode Irisan	84
Tabel 5. 6 Koordinat Lereng	86
Tabel 5. 7 Rekapitulasi <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan Tanah <i>Replacement</i>	100
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Besar Konsolidasi yang Terjadi pada Lereng Timbunan Tanah <i>Replacement</i>	101
Tabel 5. 9 Perhitungan Gaya Berat Metode Irisan	102
Tabel 5. 10 Perhitungan Gaya Berat Metode Irisan	104
Tabel 5. 11 Data Geotekstil <i>Woven UW-250</i>	106
Tabel 5. 12 Koefisien Daya Dukung Tanah	107
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil	112

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Stabilitas Internal	114
Tabel 5. 15 Koordinat Lereng	116
Tabel 5. 16 Rekapitulasi <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil	130
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Besar Konsolidasi yang Terjadi pada Lereng Timbunan Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil	131
Tabel 5. 18 Koordinat Lereng	132
Tabel 5. 19 Rekapitulasi <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan Tanah <i>Replacement</i> dengan Perkuatan Geotekstil	147
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Besar Konsolidasi yang Terjadi pada Lereng Timbunan Tanah <i>Replacement</i> dengan Perkuatan Geotekstil	147
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Keseluruhan Nilai <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan	156
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Keseluruhan Nilai Angka Konsolidasi Lereng Timbunan	157

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim	3
Gambar 3. 1	Diagram Fase Tanah	19
Gambar 3. 2	Gaya Yang Bekerja Pada Irisan	31
Gambar 3. 3	Geotekstil <i>NonWoven</i>	35
Gambar 3. 4	Geotekstil <i>Woven</i>	35
Gambar 3. 5	Geotekstil Mengalami Tegangan Tarik Ketika Beban Bekerja di Permukaan Lapis Pondasi	38
Gambar 3. 6	Analisis Stablitas Lereng	42
Gambar 3. 7	Gaya- Gaya Yang Bekerja Pada Analisis Stabilitas Lereng	43
Gambar 4. 1	Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa Whittier Narrows, 1 Oktober 1987	59
Gambar 4. 2	Peta Zonasi Gempa Indonesia	59
Gambar 4. 3	Kotak <i>Dialog Create/ Open Project</i>	60
Gambar 4. 4	<i>Tab Project</i> dari Jendela <i>General Setting</i>	61
Gambar 4. 5	<i>Tab Dimension</i> dari Jendela <i>General Setting</i>	62
Gambar 4. 6	Lembar <i>Tab General</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	63
Gambar 4. 7	Lembar <i>Tab Parameters</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	64
Gambar 4. 8	Jaringan Elemen Hingga (<i>Meshing</i>)	64
Gambar 4. 9	Tegangan Awal Pada Geometri	65
Gambar 4. 10	Jendela <i>Calculations</i> dengan Lembar <i>Tab General</i>	66
Gambar 4. 11	Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau	66
Gambar 4. 12	Bagan Alir Penelitian	68
Gambar 5. 1	Geometri Kondisi Eksisting Lereng Tanah Asli	71
Gambar 5. 2	Geometri Kondisi Eksisting Lereng Tanah <i>Replacement</i>	72
Gambar 5. 3	Permodelan Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	73
Gambar 5. 4	<i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	74

Gambar 5. 5	<i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi	74
Gambar 5. 6	Informasi Soil Body Collapse Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	75
Gambar 5. 7	<i>Total Displacement</i> Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	76
Gambar 5. 8	Arah Pergerakan Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	76
Gambar 5. 9	<i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	77
Gambar 5. 10	<i>Initial Soil Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pasca Konstruksi	78
Gambar 5. 11	Informasi Soil Body Collapse Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	78
Gambar 5. 12	<i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	79
Gambar 5. 13	Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	79
Gambar 5. 14	<i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	80
Gambar 5. 15	Gaya- Gaya yang Bekerja pada Irisan	82
Gambar 5. 16	Gaya- Gaya yang Bekerja pada Irisan	84
Gambar 5. 17	Permodelan Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Tanpa Perkuatan	86
Gambar 5. 18	<i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Tanpa Perkuatan	87
Gambar 5. 19	<i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi	88
Gambar 5. 20	<i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	88

Gambar 5. 21 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa	89
Gambar 5. 22 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	89
Gambar 5. 23 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	90
Gambar 5. 24 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	90
Gambar 5. 25 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	91
Gambar 5. 26 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	91
Gambar 5. 27 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	92
Gambar 5. 28 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	92
Gambar 5. 29 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	93
Gambar 5. 30 Kurva SF Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi	93
Gambar 5. 31 <i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Tanpa Perkuatan Pasca Konstruksi	94
Gambar 5. 32 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur	95
Gambar 5. 33 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	95
Gambar 5. 34 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur	96
Gambar 5. 35 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	96
Gambar 5. 36 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur	97

Gambar 5. 37 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	97
Gambar 5. 38 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur	98
Gambar 5. 39 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	98
Gambar 5. 40 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	99
Gambar 5. 41 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	99
Gambar 5. 42 Kurva SF Lereng Timbunan 12 m <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi	100
Gambar 5. 43 Gaya- Gaya yang Bekerja pada Irisan	102
Gambar 5. 44 Gaya- Gaya yang Bekerja pada Irisan	104
Gambar 5. 45 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Timbunan Lereng	108
Gambar 5. 46 Stabilitas Internal Lereng Timbunan	114
Gambar 5. 47 Permodelan Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi	116
Gambar 5. 48 <i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi	117
Gambar 5. 49 <i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi	118
Gambar 5. 50 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur	118
Gambar 5. 51 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa	119
Gambar 5. 52 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur	119

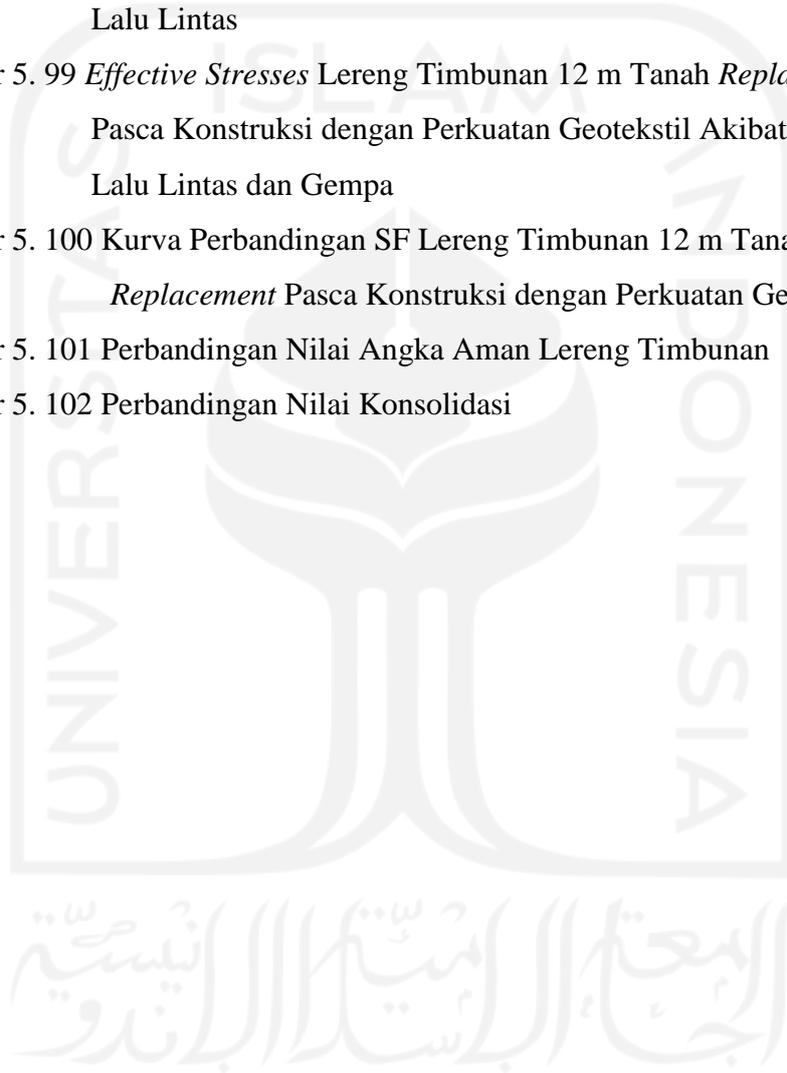
Gambar 5. 53	<i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa	120
Gambar 5. 54	Arah Pergerakan Lereng Tanah Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur	120
Gambar 5. 55	Arah Pergerakan Lereng Tanah Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa	121
Gambar 5. 56	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur	121
Gambar 5. 57	Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa	122
Gambar 5. 58	<i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur	122
Gambar 5. 59	<i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa	123
Gambar 5. 60	Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil	123
Gambar 5. 61	<i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil	124
Gambar 5. 62	<i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil	125
Gambar 5. 63	<i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas	125
Gambar 5. 64	<i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	125

Gambar 5. 65 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas	126
Gambar 5. 66 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	126
Gambar 5. 67 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas	127
Gambar 5. 68 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	127
Gambar 5. 69 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas	128
Gambar 5. 70 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	128
Gambar 5. 71 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas	129
Gambar 5. 72 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	129
Gambar 5. 73 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil	130
Gambar 5. 74 Permodelan Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> dengan Perkuatan Geotekstil	132
Gambar 5. 75 <i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil	133

Gambar 5. 76 <i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil	134
Gambar 5. 77 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur	134
Gambar 5. 78 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa	135
Gambar 5. 79 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur	135
Gambar 5. 80 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa	136
Gambar 5. 81 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur	136
Gambar 5. 82 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa	137
Gambar 5. 83 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur	137
Gambar 5. 84 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa	138
Gambar 5. 85 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur	138

Gambar 5. 86 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa	139
Gambar 5. 87 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil	139
Gambar 5. 88 <i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil	140
Gambar 5. 89 <i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil	141
Gambar 5. 90 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas	141
Gambar 5. 91 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	142
Gambar 5. 92 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas	142
Gambar 5. 93 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	143
Gambar 5. 94 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas	143
Gambar 5. 95 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	144
Gambar 5. 96 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas	144

Gambar 5. 97 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	145
Gambar 5. 98 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas	145
Gambar 5. 99 <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	146
Gambar 5. 100 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 12 m Tanah <i>Replacement</i> Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil	146
Gambar 5. 101 Perbandingan Nilai Angka Aman Lereng Timbunan	154
Gambar 5. 102 Perbandingan Nilai Konsolidasi	155



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Potongan Melintang Proyek
- Lampiran 2 Potongan Memanjang Proyek
- Lampiran 3 Stratigrafi *Main Road* Proyek
- Lampiran 4 Stratigrafi Sondir Proyek
- Lampiran 5 Zona Pelapisan Tanah
- Lampiran 6 Data *Technical Spesification Geotextile Woven*
- Lampiran 7 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Tanpa Perkuatan
- Lampiran 8 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Tanpa Perkuatan
- Lampiran 9 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Tanpa Perkuatan
- Lampiran 10 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 3 Meter Tanah *Replacement* Tanpa Perkuatan
- Lampiran 11 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* Tanpa Perkuatan
- Lampiran 12 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* Tanpa Perkuatan
- Lampiran 13 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil
- Lampiran 14 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil
- Lampiran 15 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil
- Lampiran 16 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil

ABSTRAKSI

Pembangunan Jalan Tol Ruas Indralaya-Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan adalah pembangunan jalan tol lanjutan dari beberapa jalan tol sebelumnya yang telah dibangun di Pulau Sumatera yang berguna untuk meningkatkan integritas di seluruh Provinsi yang ada di Pulau Sumatera. Pada jalan tol ini mempunyai beragam lereng yang terbuat dari galian dan timbunan tanah untuk jalan. Pada penelitian ini lereng timbunan yang ditinjau dikhususkan pada Stasiun 97+100 dengan ketinggian lereng yang beragam dan bervariasi yaitu 3 meter sampai 12 meter. Lereng timbunan dilakukan analisis dengan dua kondisi, yaitu pada saat kondisi masa konstruksi dan pada saat pasca konstruksi. Parameter yang ditambahkan pada penelitian ini adalah tanah *Replacement* yang digunakan untuk mengetahui seberapa berpengaruh terhadap lereng timbunan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai angka aman (*SF*) dan seberapa besarnya nilai angka konsolidasi yang terjadi selama 365 hari atau satu tahun.

Pada penelitian ini analisis stabilitas lereng dilakukan dengan metode elemen hingga dengan program *plaxis* 8.6. Pada penelitian ini menggunakan variasi ketinggian lereng timbunan 3 meter, 6 meter, 9 meter, dan 12 meter. Permodelan lereng timbunan yaitu pada saat masa konstruksi dan pada saat pasca konstruksi dengan jenis tanah asli dan tanah *Replacement*, sedangkan untuk perencanaan perkuatan pada lereng timbunan yang tidak mencapai nilai angka aman digunakan perkuatan geotekstil *woven* UW-250 yang diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul.

Nilai angka aman untuk lereng timbunan 3 meter tanah asli pada saat masa konstruksi sebesar 1,5257 dan 1,3345 pada saat pasca konstruksi, sedangkan untuk tanah *Replacement* pada saat masa konstruksi sebesar 2,0143 dan 1,7181 pada saat pasca konstruksi. Pada lereng timbunan 6 meter tanah asli dihasilkan nilai angka aman pada saat masa konstruksi sebesar 1,2564 dan 1,2556 pada saat pasca konstruksi, sedangkan untuk tanah *Replacement* pada saat masa konstruksi sebesar 1,4479 dan 1,3387 pada saat pasca konstruksi. Pada lereng timbunan 9 meter tanah asli dihasilkan nilai angka aman pada saat masa konstruksi sebesar 1,1046 dan 1,1030 pada saat pasca konstruksi, sedangkan untuk tanah *Replacement* pada saat masa konstruksi sebesar 1,2338 dan 1,1716 pada saat pasca konstruksi. Pada lereng timbunan 12 meter tanah asli dihasilkan nilai angka aman pada saat masa konstruksi sebesar 1,0154 dan terjadi *collapse* pada saat pasca konstruksi, sedangkan untuk tanah *Replacement* pada saat masa konstruksi sebesar 1,0892 dan 1,0488 pada saat pasca konstruksi. Kemudian pada lereng timbunan 6 meter sampai 12 meter untuk tanah asli dan tanah *Replacement* yang diperkuat geotekstil menunjukkan peningkatan nilai angka aman yang signifikan dan telah mencapai nilai angka aman lebih dari 1,3 yang disyaratkan.

Kata Kunci: Lereng Timbunan, Nilai Angka Aman (*Safety Factor*), *Plaxis*, Geotekstil, Konsolidasi.

ABSTRACT

Construction of the Indralaya-Muara Enim Toll Road Section Prabumulih-Muara Enim, South Sumatra Province is the next toll road from several previous toll roads that have been built on the island of Sumatra which is useful for improving integrity in all provinces on the island of Sumatra. This toll road has various slopes made from excavations and embankment for roads. In this study, the embankment slopes that were reviewed were devoted to Station 97+075- Station 97+900 with various and varied slope heights ranging from 3 meters to 12 meters. The embankment slope is analyzed under two conditions, namely during the construction period and during the post construction period. The parameter added to this research is soil Replacement which is used to determine how much influence it has on the embankment slope. The purpose of this study is to obtain the value of the safety (SF) and how large the value of the consolidation rate that occurs for 365 days or one year.

In this study, slope stability analysis was carried out using the finite element method using the program Plaxis 8.6. In this study using variations in the height of the embankment slopes of 3 meters, 6 meters, 9 meters, and 12 meters. The embankment slope modeling is during the construction period and during post-construction with the original soil type and soil Replacement, while for the planning of reinforcement on embankment slopes that do not reach the safe value value, the geotextile reinforcement woven UW-250 produced by PT. Teknindo Superior Geosystems.

The safe value for the 3 meter embankment slope of the original soil during the construction period was 1.5257 and 1.3345 at the time of post construction, while for soil Replacement during the construction period it was 2.0143 and 1.7181 at the time of post construction. On the 6 meter embankment slope of the original soil, the safe value during the construction period was 1.2564 and 1.2556 at the time of post construction, while for soil Replacement during the construction period it was 1.4479 and 1.3387 at the time of post construction. On the 9 meter embankment slope of the original soil, the safe values during the construction period were 1.1046 and 1.1030 at the time of post construction, while for soil Replacement during the construction period it was 1.2338 and 1.1716 at the time of post construction. On the 12 meter embankment slope the original soil yielded a safe value during the construction period of 1.0154 and occurred collapse during post construction, while for soil Replacement during the construction period it was 1.0892 and 1.0488 during post construction. Then the embankment slopes of 6 meters to 12 meters for the original soil and soil Replacement reinforced with geotextiles showed a significant increase in the safety value and has reached the required safety value of more than 1.3.

Keywords: *Embankment Slope, Safety Factor, Plaxis, Geotextile, Consolidation.*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang mempunyai beragam daerah atau wilayah yang rawan bencana salah satunya tanah longsor, ini dikarenakan Indonesia memiliki banyak area dataran tinggi seperti wilayah pegunungan dan tanah perbukitan yang menyebabkan banyak membentuk lereng yang tajam dan landai.

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Pada sebuah area tempat yang terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan adanya gaya- gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak kearah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya tanah longsor.

Tanah longsor adalah suatu jenis gerakan tanah, umumnya gerakan tanah yang terjadinya adalah longsor bahan rombakan (*debris avalanches*) dan nendatan (*slumps/ rotational slides*). Gaya-gaya gravitasi dan rembesan (*seepages*) merupakan penyebab utama tidak stabilnya (*instability*) lereng alami maupun lereng yang direkayasa dengan metode penggalian atau penimbunan, kemudian penyebab terjadinya tanah longsor pada lereng juga disebabkan pada jenis batuan, tanah pembentuk lereng, curah hujan, struktur geologi, vegetasi penutup dan penggunaan lahan pada lereng, namun secara garis besar dapat dibedakan sebagai faktor alami dan manusia. Bencana longsor rentan untuk terjadi karena pengepresan bukit yang membuat kondisi tanah dan batuan menjadi labil.

Kasus tanah longsor di Indonesia sangat sering terjadi karena wilayah Indonesia terletak di daerah iklim tropis dengan dua musim yaitu panas dan hujan dengan ciri- ciri adanya perubahan cuaca, suhu dan arah angin yang cukup ekstirm. Kondisi iklim seperti ini digabungkan dengan kondisi topografi permukaan dan batuan yang relatif beragam, baik secara fisik maupun kimiawi, menghasilkan

kondisi tanah yang subur. Sebaliknya, kondisi itu dapat menimbulkan beberapa akibat buruk bagi manusia seperti terjadinya tanah longsor. Tidak hanya pada lereng-lereng di Indonesia juga banyak terjadi tanah longsor pada jaringan jalan, jaringan pengairan, lahan pertambangan, dan daerah pemukiman. Prasarana tersebut diatas cukup vital, sehingga diperlukan penanggulangan dengan tepat, cepat, dan ekonomis untuk menanggulangi kerugian- kerugian dalam pemanfaatan prasarana tersebut oleh masyarakat.

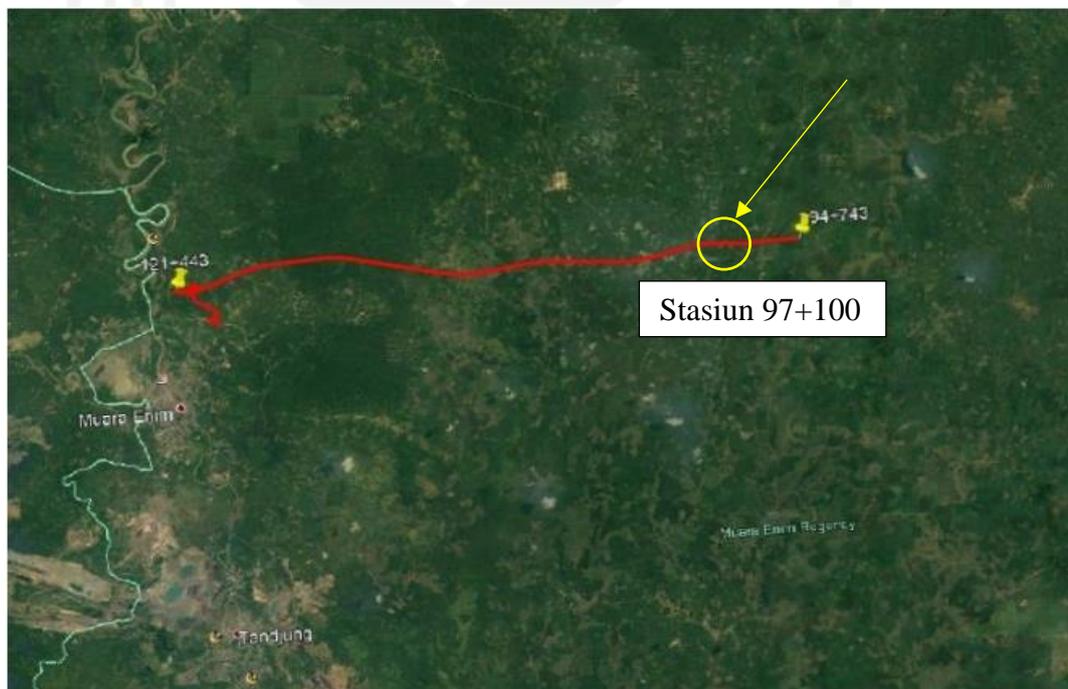
Pembangunan suatu konstruksi khususnya pada konstruksi jalan sering dijumpai peristiwa kelongsoran lereng yang terjadi pada musim penghujan. Hal tersebut disebabkan peningkatan tekanan air pori pada lereng yang menyebabkan penurunan kuat geser tanah dan sudut geser dalam. Faktor- faktor inilah yang mempengaruhi kestabilan suatu lereng dapat menghasilkan tegangan geser pada keseluruhan massa tanah dan suatu gerakan akan terjadi kecuali tahanan geser pada setiap permukaan tanah runtuh yang mungkin terjadi lebih besar dari tegangan geser yang bekerja (Bowles, 1991).

Langkah awal sebelum dibangun suatu konstruksi memerlukan suatu pekerjaan timbunan pada beberapa area yang mempunyai kontur yang kurang merata dan kondisi tanah yang kurang baik. Perubahan tegangan didalam tanah terjadi dikarenakan oleh adanya pekerjaan sehingga tanah terdeformasi yang menyebabkan kestabilan tanah. Pada beberapa bentuk pekerjaan timbunan dilakukan dengan tinggi dan elevasi yang beragam tergantung pada kondisi tanah, karena semakin tinggi elevasi timbunan tanah, maka semakin besar beban yang wajib ditahan oleh tanah aslinya, inilah yang mengakibatkan kestabilan pada tanah berkurang pada suatu konstruksi tersebut.

Langkah selanjutnya untuk mengatasi permasalahan timbunan, terutama untuk timbunan tinggi tersebut digunakan bahan sintesis polimer yaitu geosintetik. Geosintetik berfungsi sebagai penahan longsor yang sewaktu-waktu dapat terjadi pada lereng timbunan. Geosintetik diperkenalkan sebagai bahan perkuatan lereng suatu timbunan yang dimana terdapat fungsi lain sebagai dinding penahan tanah (*retaining wall*).

Permasalahan yang akan dilakukan penelitian oleh penulis yaitu Pembangunan Jalan Tol Ruas Indralaya-Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan yang memiliki panjang sekitar 64 kilometer (km). Lokasi yang ditinjau adalah pada Stasiun 97+100, di area tersebut terdapat pekerjaan timbunan untuk memperbaiki kontur tanah asli sebelumnya. Pada daerah tersebut agar mencapai *finish grade* pada permukaan jalan maka dikerjakan proses penimbunan jalan yang tinggi dengan ketinggian sampai 12 meter dari permukaan tanah asli setempat.

Pekerjaan timbunan membentuk suatu lereng baru, maka dari itu perlu adanya analisis kestabilan lereng dengan menggunakan *software* geoteknik yang berbasis pada analisis metode elemen hingga yaitu *Plaxis*. Kestabilan lereng dihasilkan dari nilai angka aman melalui analisis *software Plaxis*. Lokasi daerah Jalan Tol Indralaya- Muara Enim seksi Prabumulih- Muara Enim Stasiun 97+100 dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut ini.



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

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas didapatkan beberapa rumusan masalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana kestabilan lereng tanah timbunan badan jalan dengan variasi ketinggian timbunan yaitu 3 meter, 6 meter, 9 meter dan 12 meter?
2. Bagaimana stabilitas lereng tanah timbunan badan jalan dengan variasi ketinggian yaitu 3 meter, 6 meter, 9 meter dan 12 meter yang dilakukan dengan *Replacement*?
3. Bagaimana stabilitas lereng tanah timbunan badan jalan dengan variasi ketinggian yaitu 3 meter, 6 meter, 9 meter dan 12 meter yang dilakukan dengan perkuatan geotekstil?
4. Bagaimana stabilitas lereng tanah timbunan badan jalan dengan variasi ketinggian yaitu 3 meter, 6 meter, 9 meter dan 12 meter yang dilakukan dengan *Replacement* dan perkuatan geotekstil?
5. Bagaimana besar penurunan (konsolidasi) pada tanah dengan variasi ketinggian timbunan 3 meter, 6 meter, 9 meter dan 12 meter?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui angka aman (*Safety Factor*) lereng pada tanah timbunan badan jalan dengan variasi ketinggian timbunan yaitu 3 meter, 6 meter, 9 meter dan 12 meter,
2. Mengetahui angka aman (*Safety Factor*) lereng pada tanah timbunan badan jalan dengan variasi ketinggian timbunan yaitu 3 meter, 6 meter, 9 meter dan 12 meter yang dilakukan dengan *Replacement*.
3. Mengetahui angka aman (*Safety Factor*) lereng pada tanah timbunan badan jalan dengan variasi ketinggian timbunan yaitu 3 meter, 6 meter, 9 meter dan 12 meter yang dilakukan dengan perkuatan geotekstil.
4. Mengetahui angka aman (*Safety Factor*) lereng pada tanah timbunan badan jalan dengan variasi ketinggian timbunan yaitu 3 meter, 6 meter, 9 meter, dan 12 meter yang dilakukan dengan *Replacement* dan perkuatan geotekstil.

5. Mengetahui besar penurunan (konsolidasi) lereng pada tanah timbunan dengan variasi ketinggian timbunan 3 meter, 6 meter, 9 meter dan 12 meter.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah menambah pengetahuan bagi pembaca mengenai perhitungan stabilitas lereng pada tanah timbunan dengan menggunakan program *Plaxis* versi 8.6, menambah pengetahuan bagi pembaca tentang stabilitas tanah timbunan dengan metode *Replacement*, menambah pengetahuan bagi pembaca tentang stabilitas tanah timbunan dengan perkuatan geotekstil, dan memberikan referensi sebagai acuan dalam perencanaan geoteknik di lapangan.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi studi kasus pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Indalaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim Stasiun 97+100.
2. Analisis stabilitas lereng timbunan dihitung dengan menggunakan Program *Plaxis* Versi 8.6 dengan model 2D.
3. Bahan yang digunakan untuk stabilitas tanah timbunan dan perkuatan lereng tanah timbunan adalah *Replacement* dan geotekstil.
4. Data parameter tanah yang digunakan berasal dari hasil uji di laboratorium dan lapangan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Indalaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim Stasiun 97+100.
5. Data gempa yang diperhitungkan untuk wilayah Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan.
6. Kemiringan Lereng adalah 1V : 1,6H atau kemiringan lereng 32° .
7. Besar konsolidasi dihitung pada tanah timbunan lereng kondisi pasca konstruksi dengan asumsi waktu selama 365 hari.
8. Perencanaan geotekstil menggunakan data dari PT. Teknindo Geosistem Unggul, 2015.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka adalah salah satu dari kerangka teoritis yang memuat penelitian terkait yang digunakan untuk menyusun konsep dan langkah- langkah dalam penelitian. Tinjauan pustaka dalam penelitian ini menggunakan pustaka dari referensi dan penelitian- penelitian sebelumnya dengan topik yang sesuai.

2.1 Penelitian Terdahulu

2.1.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil

1. Putri (2013) melakukan penelitian tentang Perbandingan Stabilitas Lereng Tanpa Dan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program *Plaxis* Versi 8.5 (Studi Kasus Pada Lereng Sta.2+225, Proyek Jalan Tol Semarang Solo). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui angka aman lereng asli, lereng dengan geometri baru tanpa diperkuat geotekstil dan lereng dengan geometri baru yang diperkuat geotekstil dengan dan tanpa beban gempa. Hasil penelitian ini didapatkan nilai angka aman lereng asli tanpa dan dengan gempa secara berturut- turut sebesar 2,628 dan 2,626. Nilai angka aman lereng dengan geometri baru tanpa diperkuat geotekstil untuk sudut 76^0 sebesar 1,649 tanpa beban gempa dan sebesar 1,649 dengan beban gempa, nilai ini sudah memnuhi syarat yang disepakati proyek, sednagkan untuk sudut 90^0 sebesar 1,109 tanpa beban gempa dan 0,676 dengan beban gempa, nilai ini sudah memenuhi syarat yang disepakati proyek, sedangkan untuk sudut 90^0 sebesar 1,109 tanpa beban gempa dan 0,676 dengan beban gempa, nilai ini tidak memenuhi syarat yang disepakati di proyek. Nilai angka aman lereng dengan geometri baru yang diperkuat geotekstil untuk sudut 76^0 sebesar 2,806 tanpa beban gempa dan sebesar 2,805 dengan beban gempa, nilai ini telah memenuhi syarat yang disepakati diproyek, sedangkan untuk sudut 90^0 sebesar 2,743 tanpa beban gempa dan sebesar 2,816 dengan beban gempa, nilai ini telah memenuhi syarat yang disepakati proyek.

2. Bahalwan A.H (2018) melakukan penelitian tentang Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Pada Lereng pada Studi Kasus Jalan Tol Semarang Solo Sta. 2+200). Penelitian ini bertujuan mengetahui angka aman lereng asli, lereng dengan perkuatan geotekstil dan menganalisa stabilitas lereng dengan dan tanpa beban gempa. Hasil penelitian ini didapatkan stabilitas lereng asli tanpa perkuatan geotekstil menggunakan Program *Plaxis* versi 8.2 didapat nilai angka aman akibat beban sendiri sebesar 1,383, beban kendaraan sebesar 1,345 dan beban gempa sebesar 1,231. Nilai angka aman ini tidak memenuhi syarat angka aman $< 1,5$, selanjutnya analisis stabilitas lereng asli dengan perkuatan geotekstil menggunakan Program *Plaxis* versi 8.2 didapat nilai angka aman akibat beban sendiri sebesar 1,793, akibat beban sendiri dan beban kendaraan sebesar 1,79, akibat beban sendiri dan beban gempa sebesar 1,789, nilai aman ini memenuhi syarat angka aman $> 1,5$, sedangkan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan Program *Plaxis* versi 8.2 didapat nilai angka aman, akibat beban sendiri sebesar 1,873, akibat beban sendiri dan beban kendaraan sebesar 1,81, akibat beban sendiri, beban kendaraan dan beban gempa sebesar 1,792, nilai ini aman dan memenuhi syarat angka aman $> 1,5$.
3. Gati, B.M (2018) melakukan penelitian tentang Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan Dan Prediksi Timbunan Yang Terjadi Menggunakan Program *Plaxis* (Sta.36+200-Sta.37+700, Proyek Jalan Tol Cimanggis-Cibitung, Depok, Jawa Barat). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui angka aman (*Safety Factor*) tanah timbunan badan jalan dengan tinggi timbunan bervariasi yaitu 3 meter, 5 meter, dan 8 meter. Hasil penelitian ini didapatkan kesimpulan untuk stabilitas lereng pada timbunan badan jalan dengan kondisi tanah asli mengalami *collapse*. Pada timbunan 3 meter, 5 meter, dan 8 meter didapatkan *Safety Factor* sebesar 0,203, 0,1608, dan 0,1383. Untuk stabilitas lereng pada tanah timbunan badan jalan dengan *Replacement* pada saat konstruksi tanpa beban gempa pada timbunan 3 meter, 5 meter, dan 8 meter

didapatkan *Safety Factor* sebesar 1,0507 dengan beban gempa sebesar 1,0503 dan pada pasca konstruksi mengalami *collapse*. Pada timbunan 5 meter 8 meter mengalami *collapse*. Untuk stabilitas lereng pada tanah timbunan badan jalan dengan geotekstil 1 lapis pada saat konstruksi tanpa beban gempa pada timbunan 3 meter mendapatkan *Safety Factor* sebesar 1,2408 dengan beban gempa sebesar 1,2364 dan pada pasca konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,0294 dengan gempa sebesar 1,0256. Pada timbunan 5 meter dan timbunan 8 meter mengalami *collapse*. Tanah timbunan badan jalan dengan geotekstil 2 lapis pada saat konstruksi tanpa beban gempa pada timbunan 3 meter mendapatkan *Safety Factor* sebesar 1,2392 dengan beban gempa sebesar 1,2388 dan pada pasca konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,0326 dengan gempa sebesar 1,0297. Pada timbunan 5 meter pada saat konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,1038 dengan beban gempa sebesar 1,1022 dan timbunan 8 meter mengalami *collapse*. Stabilitas lereng pada tanah timbunan badan jalan dengan perkuatan geotekstil mendapatkan *Safety Factor* yang aman tetapi dengan *Replacement* dan lapisan geotekstil penuh saat konstruksi tanpa beban gempa pada timbunan 3 meter sebesar 1,5573 dengan beban gempa sebesar 1,5276 dan pada pasca konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,3251 dengan beban gempa 1,3198. Timbunan 5 meter saat konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,4280 dengan beban gempa sebesar 1,4278 dan pada pasca konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,2631 dengan beban gempa sebesar 1,2618. Timbunan 8 meter mendapatkan *Safety Factor* pada saat konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,4045 dengan beban gempa sebesar 1,3251 dan pasca konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,2943 dengan beban gempa sebesar 1,2893 timbunan ini termasuk dalam kategori aman dengan *Replacement*, geotekstil penuh dan penambahan counterweight ukuran 3x1 untuk menunjang keamanan ketika kondisi pada pasca konstruksi walaupun pengaruh beban gempa terhadap timbunan tidak terlalu tinggi untuk mengurangi angka keamanan pada timbunan badan jalan. Untuk besar penurunan pada timbunan didapatkan bahwa semakin baik variasi permodelan,

maka penurunan yang terjadi selama 200 hari semakin kecil dan juga semakin tinggi timbunan maka penurunan yang terjadi akan semakin besar.

2.1.2 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil dan Turap Beton

Fitradi, N.I. (2019) melakukan penelitian tentang Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dan Turap Beton Menggunakan Program Plaxis. (Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta.23 + 600, Jawa Timur). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kemiringan lereng terhadap nilai angka aman lereng dan mengkaji pengaruh penambahan geotekstil pada lereng. Hasil penelitian ini didapatkan hasil analisis pada lereng asli Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta.23 + 600 menggunakan program *Plaxis* 8.6, dengan permodelan lereng asli tanpa beban gempa didapatkan *Safety Factor* 1,1789, sedangkan pada lereng asli dengan beban gempa didapatkan *Safety Factor* 1,1436, kedua nilai tersebut $<1,25$, maka lereng dianggap labil dan mudah longsor. Hasil analisis pada lereng geometri baru pada Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta. 23+60 menggunakan program *Plaxis* 8.6, dengan permodelan lereng geometri baru tanpa beban gempa didapatkan *Safety Factor* 1,5709, sedangkan pada lereng geometri baru dengan beban gempa didapatkan *Safety Factor* 1,5156. Kedua nilai tersebut $>1,25$, maka lereng dianggap aman, selanjutnya hasil analisis pada lereng geometri baru dengan perkuatan geotekstil pada Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta. 23+600 menggunakan program *Plaxis* 8.6, dengan permodelan lereng tanpa beban gempa didapatkan *Safety Factor* 2,379, sedangkan pada lereng dengan beban gempa didapatkan *Safety Factor* 2,3467. Kedua hasil tersebut $>1,25$, maka lereng dianggap aman, dan hasil analisis pada lereng dengan perkuatan turap pada Jalan Ponorogo- Trenggalek Sta. 23+600 menggunakan program *Plaxis* 8.6, dengan permodelan lereng tanpa beban gempa didapatkan *Safety Factor* 1,7831, sedangkan pada lereng dengan beban gempa didapatkan *Safety Factor* 1,7776. Kedua nilai tersebut $>1,25$, maka lereng dianggap aman.

2.1.3 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dan Counterweight

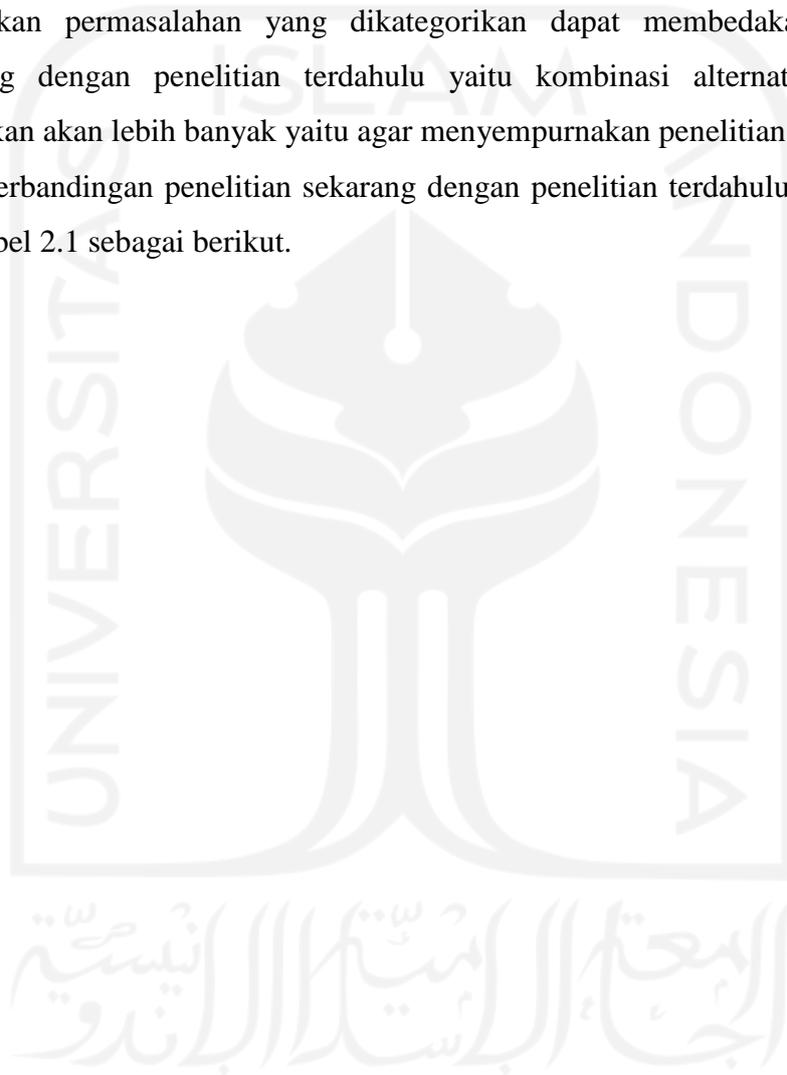
Budiasto, A. (2018) melakukan penelitian tentang Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Pada Jalan Tol Solo-Kertosono Tahap III, Sta. 118+700-139+760). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji angka keamanan dan penurunan selama 200 hari pada variasi tinggi timbunan 2 m, 4 m, 6 m, dan 8 m dengan variasi permodelan. Hasil penelitian ini didapatkan hasil analisis stabilitas lereng dengan program *Plaxis* didapatkan nilai angka aman yang lebih besar dari angka aman yang disyaratkan 1,4 yaitu pada timbunan 2 m kondisi tanah asli dengan geotekstil 1,785 saat konstruksi dan 1,452 saat pasca konstruksi, tanah asli *Replacement* 0,5 m dengan geotekstil 1,859 saat konstruksi dan 1,529 saat pasca konstruksi, tanah asli *Replacement* 1 m dengan geotekstil 2,065 saat konstruksi dan 1,716 saat pasca konstruksi. Pada timbunan 4 m kondisi tanah asli *Replacement* 1 m dengan geotekstil 1,645 saat konstruksi dan 1,512 saat pasca konstruksi. Pada timbunan 6 m kondisi tanah asli *Replacement* 1 m dengan geotekstil 1,457 saat konstruksi dan 1,410 saat pasca konstruksi. Pada timbunan 8 m kondisi tanah asli *Replacement* 1 m dengan geotekstil dan *counterweight* 1,504 saat konstruksi dan 1,501 saat pasca konstruksi, selanjutnya hasil analisis stabilitas lereng dengan program *Plaxis* diperoleh hasil penurunan dalam waktu 200 hari pada timbunan 2 m kondisi tanah asli 0,009 m, tanah asli *Replacement* -0,0038, tanah asli dengan geotekstil -0,038 m, tanah asli *Replacement* 0,5 m dengan geotekstil -0,038 m, tanah asli *Replacement* 1 m dengan geotekstil -0,043 m. Pada timbunan 4 m kondisi tanah asli dengan geotekstil 0,150 m, tanah asli *Replacement* 0,5 m dengan geotekstil 0,094 m, tanah asli *Replacement* 1 m dengan geotekstil -0,005 m. Pada timbunan 6 m kondisi tanah asli dengan geotekstil 1,749 m, tanah asli *Replacement* 0,5 m dengan geotekstil 0,756 m, tanah asli *Replacement* 1 m dengan geotekstil 0,045 m. Pada timbunan 8 m kondisi tanah asli dengan geotekstil 4,285 m, tanah asli *Replacement* 0,5 m dengan geotekstil 1,856 m, tanah asli *Replacement* 1 m dengan geotekstil

0,500 m, tanah asli *Replacement* 0,5 m dengan geotekstil dan *conterweight* 0,375 m, tanah asli *Replacement* 1 m dengan geotekstil dan *counterweight* 0,471 m.

2.2 Keaslian Penelitian Yang Dilakukan

Berdasarkan pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya didapatkan permasalahan yang dikategorikan dapat membedakan penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu yaitu kombinasi alternatif alat yang digunakan akan lebih banyak yaitu agar menyempurnakan penelitian sebelumnya.

Perbandingan penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada tabel 2.1 sebagai berikut.



Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sekarang dengan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Putri	Bahalwan, A.H.	Gati, B.M.	Fitradi, N.I.	Budiasto, A.	Penulis
Tahun	2013	2018	2018	2018	2018	2021
Judul Penelitian	Perbandingan Stabilitas Lereng Tanpa Dan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Versi 8.5 (Studi Kasus Pada Lereng Sta.2+225, Proyek Jalan Tol Semarang Solo).	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Pada Lereng pada Studi Kasus Jalan Tol Semarang Solo Sta. 2+200).	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan Dan Prediksi Timbunan Yang Terjadi Menggunakan Program Plaxis. (Sta.36+200- Sta.37+700, Proyek Jalan Tol Cimanggis-Cibitung, Depok, Jawa Barat).	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dan Turap Beton Menggunakan Program Plaxis. (Jalan Ponorogo-Trenggalek Sta.23 + 600, Jawa Timur).	Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis. (Jalan Tol Solo-Kertosono Tahap III, Sta. 118+700-139+760).	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Pada Badan Jalan Dengan Menggunakan Perkuatan Geotekstil. (Jalan Tol Indralaya-Muara Enim Seksi Prabumulih-Muara Enim, Sumatera Selatan Sta. 97+100)
Metode Penelitian	Analisis menggunakan metode Fellinius dan program Plaxis versi 8.5.	Analisis menggunakan metode Fellinius dan program Plaxis versi 8.2.	Analisis menggunakan metode Fellinius dan program Plaxis versi 8.6.	Analisis menggunakan metode Fellinius dan program Plaxis versi 8.6.	Analisis menggunakan metode Fellinius dan program Plaxis versi 8.6.	Analisis menggunakan metode Fellinius dan program Plaxis versi 8.6.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sekarang dengan Penelitian Terdahulu

<p>Tujuan Penelitian</p>	<p>Mengetahui angka aman lereng asli, lereng dengan geometri baru tanpa diperkuat geotekstil dan lereng dengan geometri baru yang diperkuat geotekstil dengan dan tanpa beban gempa.</p>	<p>Mengetahui angka aman lereng asli, lereng dengan perkuatan geotekstil dan menganalisa stabilitas lereng dengan dan tanpa beban gempa.</p>	<p>Mengetahui angka aman (<i>Safety Factor</i>) tanah timbunan badan jalan dengan tinggi timbunan bervariasi yaitu 3 meter, 5 meter, dan 8 meter.</p>	<p>Mengkaji pengaruh kemiringan lereng terhadap nilai angka aman lereng, mengkaji pengaruh penambahan geotekstil pada lereng, dan mengkaji penggunaan variasi pembebanan berupa beban gempa dan kendaraan.</p>	<p>Mengkaji nilai angka aman tanah asli, tanah <i>Replacement</i> 0,5 m dan 1 m dengan perkuatan geotekstil dan counterweight dan mengkaji angka keamanan dan penurunan selama 200 hari pada variasi tinggi timbunan 2 m, 4 m, 6 m, dan 8 m dengan variasi permodelan.</p>	<p>Mengetahui nilai angka aman lereng tanah timbunan tanah asli dan tanah <i>Replacement</i> dengan ketinggian 3 meter, 6 meter, 9 meter, dan 12 meter dan mengetahui besarnya nilai konsolidasi lereng timbunan tinggi 3 meter, 6 meter, 9 meter, dan 12 meter.</p>
--------------------------	--	--	---	--	--	--

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sekarang dengan Penelitian Terdahulu

<p>Hasil Penelitian</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Nilai angka aman lereng asli tanpa dan dengan gempa secara berturut-turut sebesar 2,628 dan 2,626. - Nilai angka aman dengan geometri baru tanpa diperkuat geotekstil sudut 76⁰ sebesar 1,649 dan 1,649. - Nilai angka aman sudut 90⁰ sebesar 1,109 dan 0,676. - Nilai angka aman geometri baru yang diperkuat geotekstil untuk sudut 76⁰ sebesar 2,806 dan 2,805. - Nilai angka aman untuk sudut 90⁰ sebesar 2,743 dan 2,816. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nilai angka aman akibat beban sendiri sebesar 1,383, beban kendaraan sebesar 1,345 dan beban gempa sebesar 1,231. - Nilai angka aman akibat beban sendiri sebesar 1,793, akibat beban sendiri dan beban kendaraan sebesar 1,79, akibat beban sendiri dan beban gempa sebesar 1,789. - Nilai angka aman, akibat beban sendiri sebesar 1,873, akibat beban kendaraan sebesar 1,81, akibat beban sendiri, beban kendaraan dan beban gempa sebesar 1,792. 	<ul style="list-style-type: none"> - Stabilitas lereng pada timbunan tanah asli mengalami <i>collapse</i>. - Nilai angka aman tanah <i>Replacement</i> tinggi 3 m sebesar 1,0507 dan 1,0503, tinggi 5 m dan 8 m mengalami <i>collapse</i>. - Nilai angka aman lereng geotekstil 1 lapis tinggi 3 m sebesar 1,2048 dan 1,0294, tinggi 5 m dan 8 m mengalami <i>collapse</i>. - Nilai angka aman lereng geotekstil 2 lapis masing-masing tinggi 3 m sebesar 1,2392, 5 m sebesar 1,1038, dan 8 m mengalami <i>collapse</i> - Nilai angka aman untuk tanah <i>Replacement</i> dan kekuatan geotekstil adalah masing-masing 1,5573, 1,4280, dan 1,4045. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lereng asli tanpa beban gempa didapatkan <i>Safety Factor</i> 1,1789, sedangkan pada lereng asli dengan beban gempa didapatkan <i>Safety Factor</i> 1,1436. - Lereng geometri baru tanpa beban gempa didapatkan <i>Safety Factor</i> 1,5709, sedangkan pada lereng geometri baru dengan beban gempa didapatkan <i>Safety Factor</i> 1,5156. -Lereng dengan kekuatan geotekstil tanpa beban gempa didapatkan <i>Safety Factor</i> 2,379, sedangkan pada lereng dengan beban gempa didapatkan <i>Safety Factor</i> 2,3467. -Lereng dengan kekuatan turap tanpa beban gempa didapatkan <i>Safety Factor</i> 1,7831, sedangkan pada lereng dengan beban gempa didapatkan <i>Safety Factor</i> 1,7776. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nilai angka aman tinggi 2 m tanah asli dengan geotekstil sebesar 1,785, tanah <i>Replacement</i> 0,5 m dan geotekstil sebesar 1,859, dan tanah <i>Replacement</i> 1m dan geotekstil sebesar 2,065. - Nilai angka aman tinggi 4 m tanah <i>Replacement</i> 1 m dan geotekstil sebesar 1,645. - Nilai angka aman tinggi 6 m tanah <i>Replacement</i> dan geotekstil sebesar 1,457. - Nilai angka aman tinggi 8 m tanah <i>Replacement</i>, geotekstil, dan counterweight sebesar 1,504. 	
-------------------------	--	---	---	--	--	--

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Pengertian Tanah

Tanah dari pandangan ilmu Teknik Sipil merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap diantara partikel- partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi didekat 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. 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 asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*) (Hardiyatmo, 2002).

Sedangkan Bowles (1989) menyatakan tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut.

1. Berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm dan untuk ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).
2. Kerikil (*gravel*) adalah partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, yang berkisar dari kasar dengan ukuran 3 mm sampai 5 mm sampai bahan halus yang berukuran < 1 mm.

4. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,0074 mm. Lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
5. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Sistem Klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda- beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok- subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat- sifat umum tanah yang bervariasi tanpa penjelasan yang terperinci. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat- sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas, walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat- sifat tanah yang bervariasi (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah sangat membantu perancangan dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Tetapi, perancangan harus berhati-hati dalam penetapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe, 1979).

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu Unified Soil Classification System dan AASHTO (*American Association Of State Highway and Transporting Official*). Sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari Sistem Unified mula pertama diusulkan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau*

of Reclamation). Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik (Hardiyatmo, 2014).

1. Sistem USCS (*Unified Soil Clasification System*)

Dalam sistem USCS, tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (Kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomer 200 dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Klasifikasi tanah sistem USCS akan disajikan pada Tabel 3.1 berikut.



Tabel 3. 1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

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

(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

2. Sistem AASHTO (*American Association Of State Highway and Transporting Official*)

Sistem klasifikasi tanah AASHTO pertama kali diperkenalkan oleh Hoentogler dan Tarzaghi yang akhirnya diambil oleh Bureau Of Public Roads. Pengklasifikasikan sistem ini berdasarkan kriteria ukuran butir dan plastisitas. Maka dalam mengklasifikasikan tanah membutuhkan pengujian analisis saringan dan batas-batas atterberg. Sistem ini membagi tanah ke dalam 8 kelompok yang diberi nama dari A-1 sampai A-8. A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan raya, maka pada revisi terakhir oleh AASTHO diabaikan. Berikut adalah klasifikasi tanah berdasarkan klasifikasi AASHTO yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.



Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

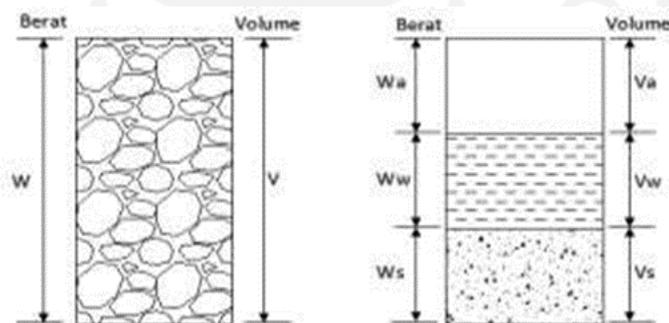
Klasifikasi umum	Material granuler ($< 35\%$ lolos saringan no.200)						Tanah-tanah lanau-lempung ($< 35\%$ lolos saringan no.200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				A-2-7	A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no.10) 0,425 mm (no.40)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

(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

3.1.3 Parameter Tanah

Parameter tanah yang dimaksudkan disini meliputi berat volume basah, berat volume jenuh air, *modulus young*, *posson ratio*, sudut geser dalam, dan kohesi.

Segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, maka tanah hanya terdiri dari dua bagian, yaitu butiran-buturan tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Bagian-bagian tanah dapat digambar dalam bentuk diagram fase yang memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume V dan berat total W (Hardiyatmo, 2002). Diagram fase tanah dapat ditampilkan pada Gambar 3.1 berikut.



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

Dari memperhatikan gambar tersebut dapat dibentuk Persamaan 3.1, Persamaan 3.2, dan Persamaan 3.3 berikut ini.

$$W = W_s + W_w \quad (3.1)$$

Dan

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (3.2)$$

$$V_v = V_s + V_a \quad (3.3)$$

Dengan,

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

1. Berat Volume Lembab atau Basah (γ_b)

Berat volume lembab atau basah (γ_b), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W), dengan volume total tanah (V) yang dapat dilihat pada Persamaan 3.4 dibawah ini.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (3.4)$$

Dengan $W = W_w + W_s + W_a$ ($W_a = 0$), bila ruang udara terisi oleh air seluruhnya ($V_a = 0$), maka tanah menjadi jenuh.

2. Berat volume jenuh air (γ_{sat})

Berat volume jenuh air (γ_{sat}), ($S = 100\%$) (lihat Persamaan 3.5).

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s + e)}{1 + e} \quad (3.5)$$

3. Modulus Young

Nilai modulus young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *triaxial test*. Umumnya modulus elastisitas (E) ditentukan dari uji triaksial kondisi *undrained*, dan nilai E ditentukan dari pendekatan kemiringan kurva tegangan-regangan yang diambil pada setengah dari beban ultimit aksial. Angka *poisson* (ν) dapat dihitung dari pengukuran regangan kompresi aksial dan regangan lateral selama uji triaksial.

Nilai Modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Perkiraan Modulus Elastis

Macam Tanah	E(kN/m ²)
Lempung	
Sangat lunak	300-3000
Lunak	2000-4000
Sedang	4500-5000
Keras	7000-20000
Berpasir	30000-42500
Pasir	
Berlanau	5000-20000
Tidak padat	10000-25000
Padat	50000-100000
Pasir dan Kerikil	
Padat	80000-200000
Tidak padat	50000-140000
Lanau	2000-20000
Loess	15000-60000
Serpih (<i>Shales</i>)	140000-1400000

(Sumber: Bowles, 1977)

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

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

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

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

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

Nilai perkiraan modulus elastis dapat pula diperoleh dari uji SPT, Mitchell dan Gardner (1975) mengusulkan nilai modulus elastis yang dihubungkan dengan nilai SPT seperti dalam Persamaan 3.9 dan Persamaan 3.10 sebagai berikut.

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

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

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

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

1. Poisson Ratio

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Nilai *poisson ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Perkiraan Rasio Poisson

Macam Tanah	ν
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,50
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasar padat	0,20 – 0,40
Pasar kasar ($e= 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasar halus ($e= 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu	0,10 – 0,40
Loesss	0,10 – 0,30
Beton	0.15

(Sumber: Bowles, 1977)

2. Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Nilai ini didapat dari pengujian *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*.

3. Kuat Geser Tanah

Menurut Hardiyatmo (2014) menyatakan parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis kapasitas dukungan tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada

dinding penahan tanah. Menurut teori Mohr (1910) menyatakan kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan oleh Persamaan 3.12 dibawah ini.

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.12)$$

Dengan τ adalah tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan (*failure*), dan σ adalah tegangan normal pada saat kondisi tersebut. Garis kegagalan yang didefinisikan dalam Persamaan 3.13.

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

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

Berdasarkan Columb (1776) dalam Hardiyamo (2002) mendefinisikan τ yang dapat dilihat pada Persamaan 3.13 berikut.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (3.13)$$

dengan,

τ = Kuat geser tanah (kN/m²)

c = Kohesi tanah (kN/m²)

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

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

Kekuatan geser dalam memiliki variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapat dari pengukuran *engineering properties* tanah berupa *Triaxial Test* dan *Direct Sher Test*. Untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3. 5 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah

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

(Sumber: Das, 1994)

3.2 Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Pada 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 kearah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor.

1. Lereng Alam

Lereng alam yang telah stabil beberapa tahun mungkin tiba-tiba longsor akibat perubahan topografi, aliran air tanah, gempa, kehilangan kuat geser, perubahan tegangan dan pelapukan. Peck (1967) dalam Hardiyatmo (2012) menyebutkan bahwa prediksi stabilitas lereng alam mungkin dapat dilakukan dengan baik, hanya jika area yang diteliti adalah zona longsor lama yang telah dipelajari sebelumnya, yang mungkin telah berubah kondisinya oleh kegiatan manusia, seperti penggalian di kaki lereng. Dengan mengetahui keberadaan bidang longsor lama pada lereng alam, maka lereng akan lebih mudah dipahami dan diprediksi kelakuannya.

2. Lereng Buatan

Lereng buatan manusia umumnya terdiri dari struktur galian atau timbunan yang banyak digunakan untuk bangunan- bangunan gedung, jalan raya, tanggul sungai, lereng bendungan, lereng pertambangan, dan lain- lain.

a. Galian

Maksud dari perancangan lereng galian adalah untuk menentukan tinggi dan kemiringan lereng yang ekonomis dan stabil. Perancangan kedalaman dan kemiringan lereng galian akan dipengaruhi oleh kondisi geologi, sifat-sifat material di tempat, kedudukan air tanah, tekanan rembesan, dan lain-lain (Hardiyatmo, 2012).

b. Timbunan

Timbunan umumnya dibangun dengan menggunakan tanah-tanah yang dipadatkan. Timbunan tersebut misalnya timbunan badan jalan raya, timbunan jalan rel, tanah urug, bendungan urugan dan tanggul. Sifat-sifat material dari lokasi bahan pengambilannya (misalnya: distribusi butiran, kepadatan, kuat geser dan sebagainya). Analisis stabilitas timbunan umumnya lebih mudah dibandingkan dengan analisis stabilitas lereng alam dan galian. Hal ini, karena material timbunan berupa tanah yang relatif homogen dengan sifat-sifat mekanis yang sudah diketahui dari uji laboratorium (Hardiyatmo, 2012).

3.2.1 Penyebab Longsor

Hardiyatmo (2014) menyatakan kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut ini.

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

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

3.2.2 Macam- Macam Kelongsoran

Hardiyatmo (2006) menyatakan karakteristik kegagalan lereng dapat dibagi beberapa macam jenis longsoran berikut ini.

1. Longsoran rotasional

Longsoran rotasional umumnya terjadi pada lereng yang tanahnya homogen. Bidang longsor berbentuk lingkaran dan dalam, dan massa tanah yang longsor cenderung menyatu, walaupun kadang-kadang tampak adanya scarp di bagian atas longsoran, longsoran rotasional dapat terjadi pada timbunan atau galian.

2. Longsoran translasional

Longsoran translasional terjadi dengan bidang longsor datar dan massa tanah yang longsor berbentuk baji. Bidang longsor dapat terjadi mengikuti lapisan tanah lempung lunak dengan kuat geser rendah, atau lapisan lanau tersisip di antara dua lapisan lempung. Sering pula bidang longsor mengikuti arah permukaan batuan dasar (*bed rock*).

3. Aliran

Longsoran yang berupa aliran lanau atau lumpur berupa gerakan material tanah dangkal di dekat permukaan. Aliran lumpur terdiri dari aliran tanah lembek jenuh yang bergerak ke bawah seperti air. Kelongsoran sering terjadi tanpa tanda-tanda selama atau sesudah hujan lebat, atau kalua di negara barat ketika salju mencair. Aliran lumpur ini, sering terjadi pada lereng tajam yang tanah pembentukannya berupa pasir atau lanau dengan atau sedikit kandungan lempung.

4. Longsoran blok

Longsoran blok terjadi dalam bentuk blok massif dari material tanah atau batuan yang bergerak dalam satu kesatuan dan terjadi disepanjang bidang longsor tertentu, atau di sepanjang kekar (*joint*) batuan. Bidang longsor umumnya terdiri

dari material lemah atau kekar. Longsoran balok dapat terdiri dari unit tunggal maupun banyak yang bergerak pada waktu yang berbeda. Longsoran tipe ini sangat berbahaya, Karena terjadi sangat cepat dan tanpa tanda-tanda awal.

5. Runtuhan Batuan

Runtuhan batuan terjadi dalam bentuk jatuhnya batu-batuan ke permukaan jalan. Batu jatuh oleh akibat pelapukan lapisan batuan yang berada di bawahnya. Runtuhan batuan massif bisa sering terjadi oleh akibat pelapukan, hujan, mencairnya es, pembekuan dan sebagainya. Di alam, batuan masif sering mengandung kekar-kekar (*joint*).

6. Rayapan (*Creep*)

Rayapan atau rangkak (*creep*) adalah gerakan tanah atau batuan pembentuk lereng yang kurang lebih kontinyu dalam arah tertentu. Rayapan ini, bisa terjadi pada tanah di dekat permukaan maupun pada kedalaman tertentu. Umumnya, besarnya gerakan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kuat geser lempung, sudut lereng, tinggi lereng, waktu, kondisi kelembaban dan ketebalan zona rayapan efektif. Lereng yang mengalami rayapan, bergerak sangat perlahan. Rayapan menerus dapat terjadi pada tegangan geser yang rendah dan terjadi pada waktu yang lama dengan tanpa penyebab keruntuhan lereng. Rayapan menerus sering terjadi pada tanah-tanah lempung dan batuan yang kelebihan beban. Seperti contoh, di area permukiman penduduk, terdapat kecenderungan tempat tinggal yang kecil, karena harga tanah yang mahal (Lytton dan Dyke ,1980).

3.2.3 Analisa Stabilitas Lereng

Pada 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 terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng ini tidak mudah, karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungan, faktor-faktor tersebut misalnya kondisi tanah

yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lain (Hardiyatmo, 2014).

1. Teori Analisis Stabilitas Lereng

Hardiyatmo (2014) menyatakan bahwa maksud dari analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng, beberapa anggapan dibuat, yaitu:

- a. kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi,
- b. massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif,
- c. 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, dan
- d. faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor.

Berdasarkan Hardiyatmo (2014), faktor keamanan didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, atau dapat dilihat pada Persamaan 3.14 berikut ini.

$$SF = \frac{\tau}{\tau d} \quad (3.14)$$

Keterangan :

τ = tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah (kN/m^2)

τd = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m^2)

SF = faktor aman

Menurut teori Mohr-Coulomb dalam Hardiyatmo (2014) menyebutkan tahanan terhadap tegangan geser (τ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, di sepanjang bidang longsornya yang dapat dilihat di Persamaan 3.15 berikut.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (3.15)$$

Keterangan :

τ = tegangan geser (kN/m^2).

c = kohesi (kN/m^2).

ϕ = sudut gesek dalam tanah (derajat), dan

σ = tegangan normal (kN/m^2).

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi (τ_d) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsornya, dapat dilihat di Persamaan 3.16 berikut.

$$\tau_d = cd + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (3.16)$$

Keterangan :

τ_d = tegangan geser (kN/m^2).

cd = kohesi (kN/m^2).

ϕ = sudut gesek dalam tanah (derajat).

σ = tegangan normal (kN/m^2).

Substitusi dari Persamaan 3.15 dan Persamaan 3.16 ke Persamaan 3.17 diperoleh faktor aman,

$$SF = \frac{c + \sigma \operatorname{tg} \phi}{\sigma_d + \sigma \operatorname{tg} \phi} \quad (3.17)$$

$$Cd + \sigma \operatorname{tg} \phi d = \frac{c}{SF} + \sigma \frac{\operatorname{tg} \phi}{SF} \quad (3.18)$$

Untuk maksud memberikan faktor aman terhadap masing-masing komponen kuat geser, faktor aman dapat dinyatakan pada Persamaan 3.19 a dan 3.19 b.

$$SF = \frac{c}{cd} \quad (3.19a)$$

$$SF = \frac{\operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \phi d} \quad (3.19b)$$

Keterangan:

SF = Faktor aman pada komponen kohesi, dan

$SF\phi$ = Faktor aman pada komponen gesekan.

Faktor keamanan suatu lereng dapat dilihat dari Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng berikut ini.

Tabel 3. 6 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. 7 Hubungan Nilai Faktor Keamanan Dengan Intensitas Longsor

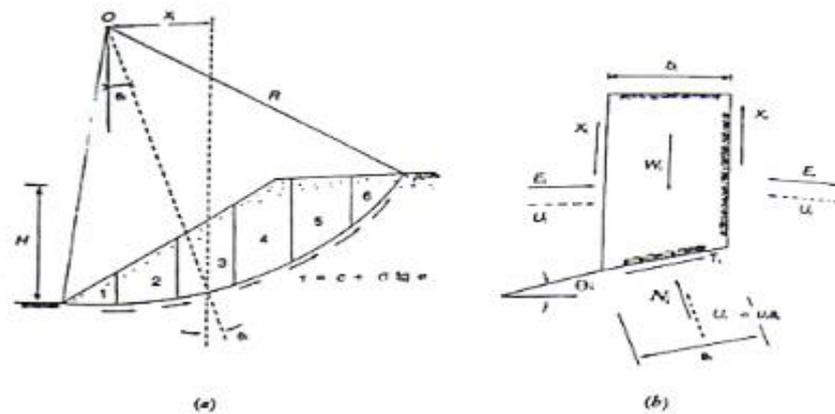
Nilai Faktor Keamanan	Kemungkinan Longsor
$F < 1,07$	Longsor terjadi biasa/ sering (lereng labil)
$1,07 < F < 1,25$	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
$F > 1,25$	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

(Sumber: Bowles, 1989)

Pada Tugas Akhir ini untuk merencanakan lereng yang stabil penulis menggunakan faktor aman (SF) > 1.3.

2. Stabilitas Lereng Metode Fellenius (*Method of Slice*)

Analisis stabilitas yang dibahas bila tanah tidak homogen dan aliran rembesan terjadi didalam tanah tidak menentu, cara yang lebih cocok adalah dengan metode irisan (*method of slice*). Gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah diatas titik tersebut. Dalam metode irisan, massa tanah yang longsor dipecah- pecah tiap irisan yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3. 2 Gaya Yang Bekerja Pada Irisan
(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

Pada Gambar diatas, memperlihatkan satu irisan dengan gaya-gaya yang bekerja. Gaya- gaya ini terdiri dari gaya geser (X_r dan X_1) dan gaya normal efektif (E_r dan E_1) di sepanjang sisi irisannya, dan juga resultan gaya normal efektif (T_i) dan resultan gaya normal efektif (N_i) yang bekerja di sepanjang dasar irisan. Tekanan air pori (U_i dan U_r) bekerja di kedua sisi irisan, dan tekanan air pori (U_i) bekerja pada dasarnya. Dianggap tekanan air pori sudah diketahui sebelumnya. Analisis stabilitas lereng cara Fellenius (1936) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori terdapat pada Persamaan 3.20, Persamaan 3.21, dan Persamaan 3.22 berikut ini.

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (3.20)$$

Atau

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i \quad (3.21)$$

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_{i\alpha} \quad (3.22)$$

Faktor aman didefinisikan seperti Persamaan 3.23 dan Persamaan 3.24 berikut.

$$F = \frac{\text{Jumlah momen dari tahan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \quad (3.23)$$

$$F = \frac{\Sigma Mr}{\Sigma Md} \quad (3.24)$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, maka dinyatakan dengan Persamaan 3.25 berikut.

$$\Sigma Md = R \sum_{i=1}^{i=n} Wi \sin \theta_i \quad (3.25)$$

Dengan,

R = jari-jari lingkaran bidang longsor.

n = jumlah irisan.

Wi = berat massa tanah irisan ke-I.

θ_i = sudut yang didefinisikan.

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah akan longsor, dinyatakan dengan Persamaan 3.26 berikut.

$$\Sigma Mr = R \sum_{i=1}^{i=n} (c ai + Hi \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.26)$$

Sehingga persamaan untuk faktor aman, sesuai dengan Persamaan 3.27 berikut.

$$\Sigma Mr = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c ai + Hi \operatorname{tg} \varphi)}{\sum_{i=1}^{i=n} Wi \sin \theta_i} \quad (3.27)$$

Bila terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (Md), karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi Persamaan 3.26 ke Persamaan 3.27 dan didapatkan Persamaan 3.28 berikut ini.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c ai + (Wi \cos \theta_i - U_i ai) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} Wi \sin \theta_i} \quad (3.28)$$

Dengan,

F = faktor aman

C = kohesi tanah (kN/M^2)

φ = sudut gesek dalam tanah (derajat)

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

Wi = berat irisan tanah ke-I (meter)

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

θ_i = sudut yang didefinisikan dalam Gambar 3.2

Metode Fellenius menghasilkan faktor aman yang lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Besarnya nilai kesalahan dapat tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori. Walaupun analisis ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahan analisis masih merupakan fungsi dari faktor aman dan sudut pusat dari lingkaran. Cara ini telah banyak digunakan dalam praktek, karena cara perhitungan sederhana dan kesalahan hitungan yang dihasilkan masih pada sisi yang aman.

3. Metode Elemen Hingga

Metode keseimbangan batas dimungkinkan untuk melakukan evaluasi lereng dengan cepat, tetapi prosedur ini memberlakukan hitungan yang sama antara lereng timbunan baru, lereng yang baru digali atau lereng alami (Hardiyatmo, 2014). Tegangan-tegangan di dalam lereng sangat dipengaruhi oleh K_0 , yaitu rasio tegangan lateral terhadap tegangan vertikal efektif, tetapi hitungan cara konvensional dengan metoda keseimbangan batas mengabaikan hal ini. Dalam kenyataan, distribusi tegangan dalam ketiga lereng tersebut akan berbeda, dan oleh karena itu akan mempengaruhi stabilitasnya (Chowdhury, 1981).

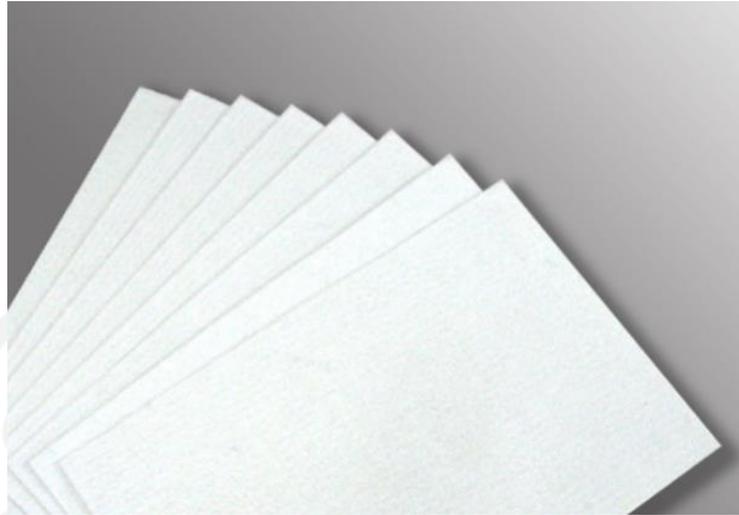
Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) pertama kali dikenalkan oleh Clough dan Woodward (1967), tapi penggunaannya terbatas pada struktur tanah yang kompleks. Untuk kasus khusus, metode elemen hingga dapat mengakomodasi pengaruh penimbunan dan penggalian secara bertahap, sehingga pengaruh sejarah tegangan dalam tanah terhadap deformasinya dapat ditelusuri. Akan tetapi, kualitas metoda elemen hingga secara langsung bergantung pada kemampuan dari model konstitutif yang dipilih, yang secara realistis mensimulasi kelakuan non linier dari tanah pembentuk lereng. Untuk lereng galian dan lereng alam, model konstitutif hanya dapat benar-benar dikembangkan dengan uji lapangan kualitas tinggi yang didukung dengan pengamatan di lapangan.

3.3 Perkuatan Lereng Dengan Geotekstil

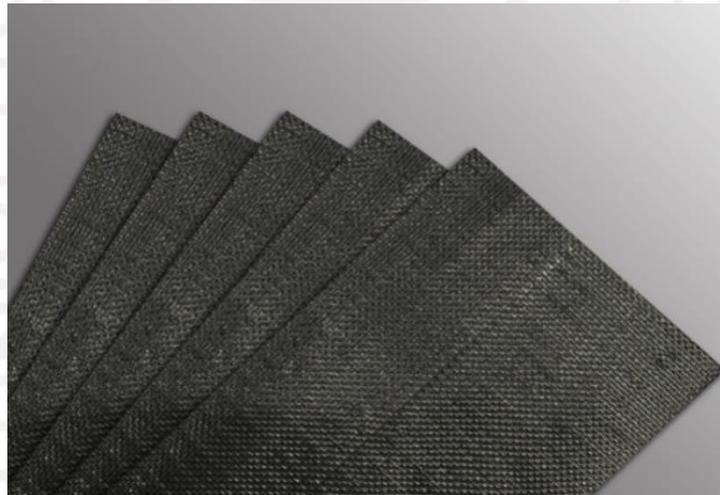
Geotekstil merupakan material lembaran yang dibuat dari bahan tekstil *polymeric*, bersifat yang lolos air, yang dapat berbentuk bahan nir-anyam (*non woven*), rajutan atau anyaman (*woven*) yang digunakan dalam kontak dengan tanah/batu dan material geoteknik yang lain di dalam aplikasi teknik sipil. Geotekstil umumnya tidak tahan atau mengalami degradasi apabila terkena sinar ultra violet dari matahari. Dengan berbagai macam jenis material dan cara pemrosesannya, maka diperlukan pemilihan tipe geotekstil yang tepat dalam aplikasi proyek di lapangan. Suatu hal yang sangat penting terkait dengan geotekstil adalah kuat tariknya. Tipe geotekstil tertentu menentukan tipe penggunaan tertentu yang cocok, misalnya fungsi geotekstil untuk tulangan atau pemisah, filtrasi atau drainase (Fluet, 1998).

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

1. Pemisah antara material yang berbeda. Pada struktur perkerasan jalan dan bandara geotekstil diletakkan di antara tanah-dasar (*subgrade*) dan lapis pondasi agregat batuan atau diletakkan di antara lapisan aspal lama dan baru (*overlay*). Pada timbunan, geotekstil diletakkan pada dasar timbunan di atas tanah lunak berfungsi sebagai pemisah yang sekaligus sebagai perkuatan timbunan.
2. Alat filtrasi, geotekstil sering dipasang melingkari agregat batuan atau pipa pengumpul pada saluran drainase bawah tanah. Apabila geotekstil dipasang dalam timbunan dapat berfungsi sebagai penyaring agar butiran halus tidak terangkut aliran rembesan.
3. Perkuatan bangunan pada tanah lunak, terutama perkuatan lereng pada timbunan terjal maupun landai, geotekstil diletakkan dibagian lereng dengan jarak tertentu sehingga lereng terjaga kestabilannya (Hardiyatmo, 2008).



Gambar 3. 3 Geotekstil *Non Woven*
(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul)



Gambar 3. 4 Geotekstil *Woven*
(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul)

3.3.1 Sifat- Sifat Geotekstil

1. Sifat Fisik

Berdasarkan Hardiyatmo (2008) sifat-sifat fisik dari geotekstil terdiri dari massa per satuan luas (berat), berat jenis, kekakuan dan tebalnya.

a. Massa per satuan luas

Massa per satuan luas (berat) dari geosintetik dinyatakan dalam satuan gram per meter persegi (g/m^2). Geotekstil yang massa per satuan luasnya ringan

digunakan sebagai pemisah, sedangkan yang lebih berat, biasanya tipe anyam, digunakan sebagai perkuatan/tulangan. Geotekstil nir-anyam yang massa per satuan luasnya besar umumnya berfungsi sebagai filter. Prosedur pengujian dilakukan dengan mengacu pada ASTM D5261.

b. Berat jenis (*specific gravity*)

Menurut (Koerner, 2005) dalam Hardiyatmo (2008) menyebutkan berat jenis didefinisikan sebagai rasio berat volume bahan tanpa rongga terhadap berat volume air (destilasi tanpa udara) pada suhu 40°C. Berat jenis fiber- fiber bahan geotekstil adalah berat jenis dari polymer pengisinya (ASTM D792 atau D1505). Beberapa nilai tipikal berat jenis bahan *polymer* yang dipakai untuk geotekstil dan bahan lain sebagai pembanding.

- | | |
|----------------------------|--------------------|
| 1) Polyester | = 1,22 sampai 1,38 |
| 2) Polyethylene | = 0,96 ~ 0,90 |
| 3) Polypropylene | = 0,91 |
| 4) Polyvinylchloride | = 1,69 |
| 5) Nylon | = 1,14~1,05 |
| 6) Kapas (<i>Cotton</i>) | = 1,55 |
| 7) Baja | = 7,87 |
| 8) Tanah/ Batuan | = 2,9~2,4 |
| 9) Kaca | = 1,55 |

Kadar air (kelembaban) hanya berpengaruh kecil pada kekuatan geotekstil, hanya *polyolefins* (*polypropylene* dan *polyethylene*) mempunyai berat jenis lebih ringan dari air (berat jenis *polypropylene* = 0,91 dan *polyethylene* = 0,96 - 0,90). *Polyester* menyerap air paling sedikit, dan mempunyai temperatur leleh yang sangat tinggi, yaitu sekitar 163⁰ ~ 288⁰C. Polyester mempunyai berat jenis lebih besar 1. Bahan-bahan yang mempunyai berat jenis < 1, akan mengapung bila berada di dalam air.

c. Kekakuan (*stiffness*)

Dalam geosintetik, terdapat istilah kekakuan (*stiffness*) atau kelenturan (*flexibility*) yang dibedakan dengan istilah modulus. Modulus adalah

kemiringan bagian awal dari kurva tegangan-regangan, sedang kekakuan geotekstil menyatakan ukuran interaksi antara berat geotekstil dan kekakuannya, yaitu ketika geotekstil melengkung oleh akibat beratnya sendiri. Sifat kekakuan ini penting, karena menunjukkan kemampuannya dalam menyesuaikan diri dengan permukaan tanah saat digelar. Jika geotekstil diletakkan pada tanah lunak, maka geotekstil dengan kekakuan yang tinggi lebih dikehendaki. Prosedur uji kekakuan geotekstil tercantum dalam standar ASTM D1388.

d. Tebal

Tebal geotekstil adalah jarak antara bagian atas dan bagian bawah geotekstil, dan diukur di bawah tekanan tertentu. Prosedur pengujian untuk pengukuran tebal geotekstil tercantum dalam ASTM D5199. Untuk pengukuran tebal, besarnya tekanan pada geotekstil diperhatikan. Tekanan standar untuk mengukur tebal geotekstil adalah 2 kPa. Pengukuran tebal ini dilakukan dengan ketelitian 0.025 mm. Dalam praktek, kisaran tebal geotekstil, secara tipikal, adalah antara 0.25 mm ~ 3.5 mm (Koerner, 2005).

2. Sifat Mekanik

Hardiyatmo (2008) menyatakan sifat-sifat mekanik dari geotekstil terdiri dari kuat tarik (*Tensile Strength*), Kuat Tarik Serobot (*Grab Tensile Strength*), Kuat Tarik Terkekang, kemudahan pemampatan, kekuatan pelipit dan lain- lain..

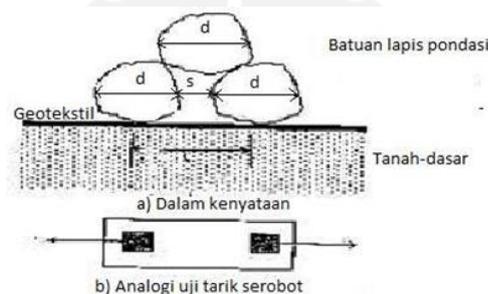
a. Kuat tarik (*tensile strength*)

Bergantung pada penggunaannya, geotekstil harus mampu mendukung beban dan/atau mengalami deformasi. Beban akan menyebabkan deformasi, dan deformasi ini akan memobilisasi kuat tarik geotekstil. Kuat tarik geotekstil merupakan sifat penting yang diperlukan. Berbagai macam kuat tarik geotekstil yang digunakan bergantung pada fungsi utama yang dituju, yaitu untuk perkuatan, pemisah, drainase atau filtrasi. Nilai kuat tarik dapat diperoleh dari uji tarik yang dilakukan sampai geotekstil mengalami kegagalan. Kuat tarik geotekstil searah dengan arah mesin pembuat (*machine direction* atau *warp*), umumnya lebih besar dari arah melintang mesin pembuatnya (*cross machine direction* atau *weft*). Prosedur uji kuat tarik me-

lebar (*wide-width test*) geotekstil tercantum dalam ASTM D4595.

b. Kuat tarik serobot (*grab tensile strength*)

Geotekstil bila digunakan sebagai pemisah, salah satu gaya tarik yang bekerja adalah tarikan searah bidangnya. Dalam pekerjaan jalan, posisi geotekstil biasanya terjepit di antara agregat batuan lapis pondasi dan tanah dasar di bawahnya. Tegangan tarik searah bidang, terjadi bila agregat bagian atas yang dalam kontak dengan geotekstil dipaksa bergerak menyamping. Kondisi ini analog dengan gaya tarik akibat serobot (*grab*). Gambar 3.4 mengilustrasikan analogi gaya tarik pada geotekstil yang terjadi pada uji tarik serobot (*grab tensile test*) yang diberikan oleh Koerner (2005).



Gambar 3. 5 Geotekstil Mengalami Tegangan Tarik Ketika Beban Bekerja di Permukaan Lapis Pondasi
(Sumber: Koerner, 2005)

c. Kuat tarik terkekang

Kuat tarik terkekang adalah kekuatan geotekstil dalam menahan tarik apabila material tersebut terkekang di dalam tanah di ke dua permukaannya. Uji tarik terkekang yang diusulkan oleh McGown et al. (1982) dalam Hardiyatmo, H.C, (2008) menyebutkan geotekstil yang berukuran 200 mm x 100 mm yang dijepit kuat-kuat di antara dua penjepit.

d. Kemudah mampatan

Geotekstil umumnya mempunyai kompresibilitas rendah, terutama untuk geotekstil nir anyam tipe *needle punched*. Semakin tinggi tegangan normal yang bekerja pada permukaan geotekstil, maka tebalnya semakin berkurang. Kemudah mampatan (*compressibility*) atau kompresibilitas

geotekstil menyatakan perubahan tebalnya yang diakibatkan oleh tegangan normal yang bekerja pada bidang permukaan geotekstil. Perhatian pada kompresibilitas geotekstil ini sangat penting bila geotekstil digunakan untuk mengalirkan air searah dengan bidangnya (transmisivitas). Hal ini, karena bila geotekstil semakin tertekan, maka kemampuan mengalirkan air searah bidang atau transmisivitasnya semakin kecil.

e. Kekuatan pelipit/ jahitan

Geotekstil umumnya dikemas dalam gulungan yang panjangnya terbatas. Oleh karena itu, dalam aplikasinya di lapangan geotekstil sering harus disambung. Di lapangan, penyambungan lembaran geotekstil satu dengan yang lain sering dilakukan, dengan melipit atau membuatnya overlap. Penyambungan dengan *overlap* lebih sederhana, tapi banyak material yang terbuang. Lagipula, bila penyambungan dengan *overlap* ini tidak dilakukan dengan hati-hati maka hasilnya tidak efektif. Bila penyambungan dilakukan dengan cara *overlap*, biasanya dibutuhkan panjang overlap minimum 0,5 m, dan lebih baik lagi 1 m (khususnya bila pekerjaan di dalam air). Tipe penyambungan mana saja yang digunakan, harus menjamin kekuatan jangka panjangnya, yaitu kekuatan geotekstil harus sama atau mendekati sama dengan kekuatan geotekstil yang utuh. Berikut adalah kekuatan pelipit/ jahitan geotekstil yang dapat dirumuskan pada Persamaan 3.29 berikut ini.

$$E(\%) = \frac{T_{(seam)}}{T_{(geotekstil)}} \times 100 \quad (3.29)$$

Dengan,

E = efisiensi pelipit jahitan (%)

$T_{(seam)}$ = kuat pelipit/ jahitan (seam strength)

$T_{(Geotekstil)}$ = kuat tarik geotekstil

f. Kuat lelah (*fatigue strength*)

Kuat lelah didefinisikan sebagai kemampuan geotekstil untuk menahan beban berulang (siklik) sebelum mengalami kegagalan. Di laboratorium, uji beban siklik ini dilakukan sampai benda uji mengalami kegagalan. Benda uji ditarik dan ditegangkan memanjang dengan kecepatan konstan pada panjang yang

telah ditentukan, dan kemudian beban dilepas sampai nol. Dari pengujian ini, dapat diperoleh modulus siklik yang terlihat setelah beberapa kali siklus pembebanan dikerjakan. Dari pengujian ini, diperoleh jumlah siklus beban yang mengakibatkan kegagalan geotekstil, serta nilai tegangannya.

g. Kuat sobek (*tear strength*)

Geotekstil anyam maupun nir anyam, dapat sobek oleh akibat gaya luar yang menyebabkan satu atau beberapa persilangan benang-benang atau anyaman geotekstil rusak, baik satu atau dua arah. Hal ini dapat terjadi ketika pelaksanaan di lapangan. Terdapat 3 macam uji kuat sobek yang umum digunakan, yaitu uji trapezoidal (ASTM D2263), lidah (*tongue*) (ASTM D751), dan Elmendorf (ASTM D1424).

3. Sifat Hidrolik

Sifat-sifat Hidrolik dari geotekstil terdiri dari porositas, persen area terbuka, ukuran bukaan nampak, dan lain- lain (Hardiyatmo, 2008).

a. Porositas

Porositas geotekstil didefinisikan sebagai rasio volume rongga terhadap volume total. Porositas (n) menyatakan kemampuan air untuk mengalir lewat geotekstil dapat dinyatakan oleh Persamaan 3.30 berikut.

$$n = 1 - \frac{m}{\rho t} \quad (3.30)$$

Dengan,

n = porositas.

m = massa per satuan luas.

ρ = kerapatan geotekstil secara keseluruhan.

t = tebal geotekstil

Porositas beberapa geotekstil sangat sensitif terhadap perubahan tebalnya. Perubahan tebal ini, misalnya akibat pengaruh gaya normal yang bekerja.

b. Persen area terbuka (*percent open area, POA*)

Persen area terbuka (*Percent Open Area, POA*), adalah sifat yang terkait dengan geotekstil anyam (*woven geotekstil*). POA adalah perbandingan area terbuka total (ruang rongga di antara fiber yang berdekatan) terhadap luas

benda uji total. Untuk mengetahui nilai POA, maka dilakukan dengan memproyeksikan sinar lampu menembus geotekstil ke dalam layar karton. Sinar- sinar yang tembus dihitung luasnya, lalu dibandingkan luas total geotekstil pada layar. Pengujian ini tidak cocok digunakan untuk geotekstil nir anyam, karena tumpang tindihnya bayangan benang-benang fiber menahan sinar yang diproyeksikan ke layar. Geotekstil monofilament mempunyai POA antara 0 sampai 36% (Koerner, 2005).

c. Ukuran bukaan nampak (*apparent opening size, AOS*)

Ukuran bukaan nampak (*Apparent Opening Size, AOS*) atau ukuran bukaan ekivalen (*Equivalent Opening Size, EOS*) menyatakan material yang tinggal pada saringan standar Amerika dari ukuran tertentu. Nilai ini diberikan sebagai ukuran bukaan saringan ekivalen dalam milimeter. Pengujian untuk pengukuran AOS ini telah dilakukan oleh *U.S. Army Corp of Engineer* untuk mengevaluasi geotekstil anyam (*woven geotextile*). Terdapat banyak pendekatan terkait dengan penahan butiran tanah oleh aliran, dan hampir seluruhnya menggunakan karakteristik ukuran buliran dan membandingkannya dengan ukuran 095 dari geotekstil yang nilainya diperoleh dari uji AOS (*Apparent Opening Size*) atau EOS (*Equivalent Opening Size*) di laboratorium. AOS dan EOS didefinisikan sebagai nomer saringan standar Amerika yang mempunyai lubang (pori-pori) yang paling mendekati dengan lubang yang dipunyai oleh geotekstil. Prosedur pengujian tercantum dalam ASTM D 4751.

3.3.2 Prinsip Kerja Geotekstil

Tegangan geser yang terjadi oleh gesekan pada bidang kontak dinyatakan pada Persamaan 3.31 berikut ini.

$$\tau = C + \sigma v \times tg \ v \quad (3.31)$$

dengan,

τ = tegangan geser yang bekerja di permukaan bidang kontak antara tulangan

C = kohesi (kN/m^2)

σ_v = tegangan normal pada bidang kontak (*interface*) tanah-tulangan (kN/m^2)

v = sudut gesek antara tanah dan tulangan ($^\circ$)

Gaya-gaya tarik yang bekerja pada tulangan dinyatakan dalam Persamaan 3.32 berikut.

$$T_a = \tau \times b \times L \times \text{tg } v \quad (3.32)$$

Dengan,

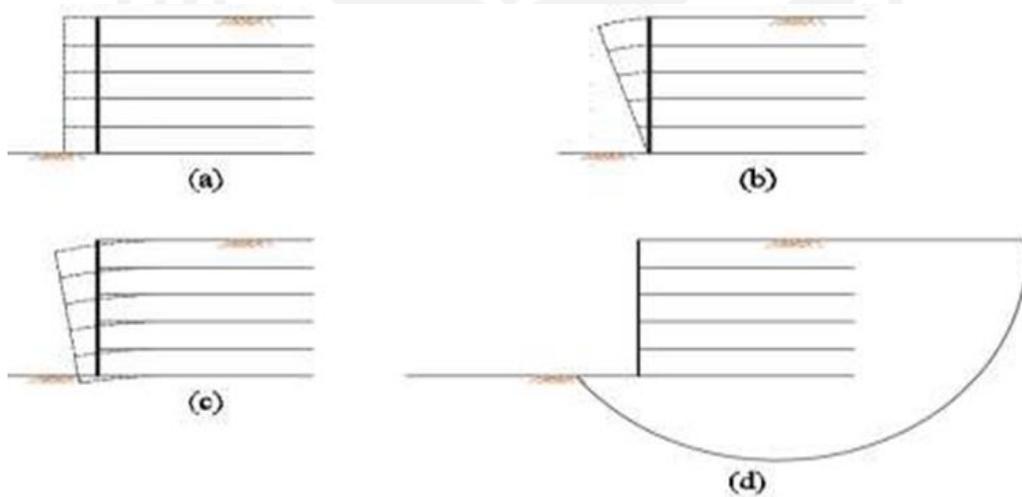
T_a = gaya tarik pada tulangan (kN/m)

b = lebar tulangan (tegak lurus pada bidang gambar) (m)

L = Panjang tulangan (m)

3.3.3 Stabilitas Eksternal

Dalam perhitungan eksternal, struktur dinding tanah bertulang ditinjau terhadap mekanisme-mekanisme seperti Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Analisis Stabilitas Lereng

- a. Penggeseran
 - b. Penggulingan
 - c. Keruntuhan kapasitas dukung tanah
 - d. Keruntuhan lereng menyeluruh
- (Sumber: Hardiyatmo, 2008)

1. Pergeseran Terhadap Dinding

Lebar dasar struktur dinding tanah bertulang harus sedemikian hingga struktur

terhindar dari resiko penggeseran pada dasarnya. Umumnya faktor aman diambil sama dengan 1.3.

Tanah urug berupa tanah granuler ($c=0$). Tekanan tanah aktif total yang ditimbulkan oleh tanah di belakang struktur yang dinyatakan dalam Persamaan 3.33 berikut ini.

$$P_a = P_s + P_q = 0,5 \times H^2 \times \gamma b \times K_a + q \times H \times K_a \quad (3.33)$$

Gaya Lawan pada dasar dinding tanah yang dinyatakan oleh Persamaan 3.34 berikut.

$$R_h = L \times H \times \gamma b \times \tan \delta b \quad (3.34)$$

Faktor aman terhadap penggeseran dinyatakan oleh Persamaan 3.35 berikut.

$$SF = \frac{L \times H \times \gamma b \times \tan \delta b}{P_s + P_q = 0,5 \times H^2 \times \gamma b \times K_a + q \times H \times K_a} \quad (3.35)$$

dengan,

L = lebar dasar dinding tanah atau panjang tulangan (m).

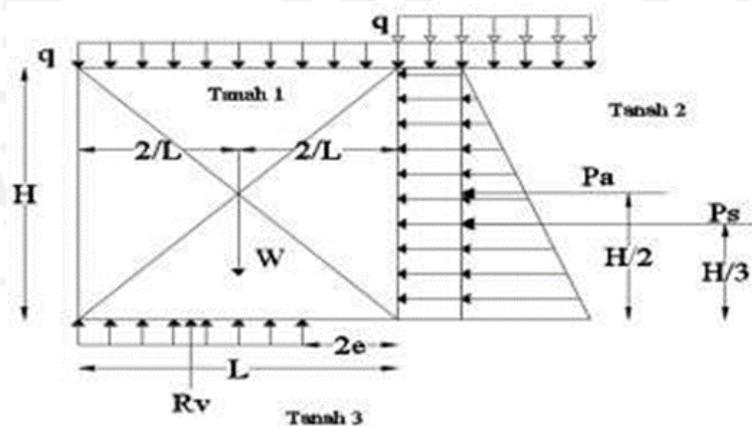
K_a = koefisien tekanan tanah aktif.

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

H = tinggi dinding tanah (m).

δb = sudut gesek antara tanah pondasi dan dasar struktur (derajat).

γ = berat volume tanah (kN/m^3).



Gambar 3. 7 Gaya- Gaya Yang Bekerja Pada Analisis Stabilitas Lereng (Sumber: Hardiyamo, 2008)

2. Faktor Aman Terhadap Guling

Faktor aman terhadap penggulingan dinyatakan oleh Persamaan 3.36, Persamaan 3.37, dan Persamaan 3.38 berikut ini.

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} = \frac{\text{Momen melawan}}{\text{Momen Penggulingan}} \geq 1,5 \quad (3.36)$$

$$\Sigma MR = 0,5 \times W \times L = 0,5 \times \gamma b \times H \times L^2 \quad (3.37)$$

$$\Sigma MD = 0,5 \times Pq \times H + \left(\frac{1}{3}\right) \times Ps \times H = 0,5 \times \gamma b \times H \times L \quad (3.38)$$

dengan,

ΣM_R = jumlah momen lawan (kN.m)

ΣM_D = jumlah momen penggulingan (kN.m)

W = berat struktur (kN/m)

L = lebar struktur (m)

P_q = gaya horizontal total akibat beban terbagi rata (kN/m)

P_s = resultan gaya horizontal akibat tekanan tanah di belakang struktur (kN/m).

Untuk keamanan, dalam hitungan momen penggulingan, beban terbagi rata (q) tidak diperhitungkan menambah berat dari dinding tanah bertulang. Umumnya faktor aman terhadap penggulingan (SF) sama dengan 1.5-2.

3. Stabilitas Eksentrisitas

Eksentrisitas (e) diperoleh dengan mengambil jumlah momen terhadap pusat dasar dinding sama dengan nol. Untuk kondisi pembebanan seperti pada Gambar 3.6 dapat dilihat pada Persamaan 3.39 berikut ini.

$$e = \frac{\Sigma MD}{Rv} = \frac{(Pq \times 0,5 H) + (Ps \times \frac{1}{3} H)}{(H \times \gamma b \times L) + (q \times L)} \quad (3.39)$$

dengan,

R_v = beban vertikal total termasuk beban terbagi rata (kN/m)

Rv = $W + qL$

W = berat struktur per meter (tegak lurus bidang gambar) (kN/m)

Pq = $Ka + q \times H$ (kN/m²)

Ps = $0,5 \times Ka \times H^2 \times \gamma$ (kN/m)

4. Keruntuhan Kapasitas Dukung Tanah Dasar

Kapasitas dukung tanah di bawah struktur dinding tanah bertulang harus cukup sehingga tidak akan terjadi keruntuhan akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah diambil minimum sama dengan 2. Faktor aman diambil lebih rendah dari biasanya (yaitu $SF = 3$), karena sifat struktur yang fleksibel dan kemampuan struktur untuk menyesuaikan diri bila terjadi penurunan tak seragam yang dinyatakan dalam Persamaan 3.40, Persamaan 3.41 dan Persamaan 3.42 berikut ini.

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \times \gamma b \text{ timbunan} + q} \quad (3.40)$$

$$\sigma_{ult} = ic \times c \times Nc + 0,5 \times L \times \gamma \times N\gamma \quad (3.41)$$

$$\sigma_{ult} = q_{ult} \times SF \quad (3.42)$$

5. Stabilitas Terhadap Kelongsoran Lereng

Analisis stabilitas dilakukan dengan menggunakan teori stabilitas lereng untuk tanah tak bertulang, seperti metode Bishop, Felinius, Janbu, dan lain-lain, dengan faktor aman yang dapat dilihat pada Persamaan 3.43 berikut.

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} \geq 1,5 \quad (3.43)$$

dengan,

ΣMR = momen penahan

ΣMD = momen yang menggerakkan

3.3.4 Stabilitas Internal

1. Panjang *Overlapping*

Panjang *overlap* atau panjang lipatan (L_o) pada bagian penutup permukaan dinding yang diperkuat dengan geotekstil dihitung dengan Persamaan 3.44 berikut ini.

$$L_o = \frac{\sigma_{hci} \times S_{vi} \times SF}{2 \times \gamma b \times z_i \times \tan \theta} \geq 1 \quad (3.44)$$

dengan,

z = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m)

σ_{hc} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan,

SF = faktor aman

S_v = jarak tulangan arah vertikal (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

2. Panjang efektif geotekstil

Rumus dapat dilihat pada Persamaan 3.45 berikut ini.

$$Le = \frac{\sigma_{hc} \times S_v \times SF}{2 \times \gamma \times z \times \tan \theta} \geq 1 \quad (3.45)$$

dengan,

z = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m)

σ_{hc} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan

SF = faktor aman

S_v = jarak tulangan arah vertikal (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

3.4 Konsolidasi

Konsolidasi merupakan proses keluarnya air dari dalam pori-pori tanah yang menyebabkan terjadinya perubahan volume tanah (memampat). Peristiwa konsolidasi umumnya dipicu oleh adanya beban/ muatan di atas tanah. Muatan tersebut dapat berupa tanah atau konstruksi bangunan yang berdiri di atas tanah. Bila lapisan tanah mengalami beban di atasnya, maka air pori akan mengalir keluar dari lapisan tersebut dan volumenya akan berkurang atau dengan kata lain akan mengalami konsolidasi (Wesley, 1977). Pada Umumnya konsolidasi akan berlangsung satu arah (*one dimensional consolidation*) yaitu pada arah vertikal saja, karena lapisan yang mengalami tambahan beban itu tidak dapat bergerak dalam jurusan horizontal karena ditahan oleh tanah sekitarnya (*lateral pressure*).

Konsolidasi adalah peristiwa mampatnya tanah karena menderita tambahan tekanan efektif. Pada peristiwa konsolidasi ada dua hal yang penting yaitu:

1. Besarnya penurunan yang akan terjadi ditentukan oleh beberapa faktor berikut ini.
 - a. Kompresibilitas tanah,
 - b. Tebal tanah kompresibel, dan

- c. Besarnya tambahan tekanan efektif.
2. Laju konsolidasi dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut ini.
 - a. Pemeabilitas tanah,
 - b. Tebal tanah kompresibel, dan
 - c. Kondisi drainase diatas dan dibawah lapisan tanah kompresibel.

Untuk bisa mampat air didalam pori tanah harus dikeluarkan. Kecepatan pemampatan dipengaruhi oleh proses keluarnya air dari dalam pori tanah dan sifat kompresibilitas tanah. Semua tanah yang mengalami tegangan akan mengalami regangan didalam kerangka tanah tersebut. Regangan ini disebabkan oleh penggulingan, penggeseran, atau penggelinciran dan terkadang juga karena kehancuran partikel- partikel tanah pada titik- titik kontak, serta distorsi elastis. Akumulasi statistik dari deformasi dalam arah yang ditinjau ini merupakan regangan. Integrasi regangan (deformasi per satuan panjang) sepanjang kedalaman yang dipengaruhi oleh tegangan disebut penurunan. Metode penurunan seperti ini sebagian besar tidak dapat mengembalikan tanah pada keadaan semula apabila tegangan ditiadakan karena terjadi pengurangan angka pori yang permanen. Regangan pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus yang kering atau jenuh sebagian akan terjadi sesudah bekerjanya tegangan. Bekerjanya tegangan terhadap tanah yang berbutir halus yang jenuh akan menghasilkan tegangan yang bergantung pada waktu.

Secara umum, jenis penurunan yang terjadi akibat pembebanan dapat dibagi dalam 3 tahap berikut.

1. Penurunan seketika (*immediate settlement*), yaitu ketika proses pembebanan pada tanah tanah dilakukan. Penurunan ini terjadi akibat deformasi tanah kering atau tanah basah, dan jenuh air tanah tanpa adanya perubahan kadar air.
2. Penurunan konsolidasi primer (*primary consolidation settlement*) yaitu penurunan yang ditandai dengan adanya tekanan yang besar pada tanah yang dapat menurunkan struktur tanah, dan juga penyusutan susunan dan pergerakan partikel tanah kedalam rongga tanah akibat tanah mampat dan memadat, dan
3. Penurunan konsolidasi sekunder (*secondary consolidation settlement*) yaitu penurunan yang terjadi setelah semua tekanan air pori terdisipasi seluruhnya,

merupakan proses pemampatan yang disebabkan penyesuaian butir-butir tanah yang bersifat plastis.

Penambahan beban vertikal diatas permukaan tanah akan menyebabkan penurunan (*settlement*). Besarnya penurunan yang terjadi pada lapisan tanah yang diakibatkan adanya beban merupakan penjumlahan dari tiga komponen penurunan dalam Persamaan 3.46 berikut ini.

$$S = S_i + S_c + S_s \quad (3.46)$$

Dimana:

- S = Penurunan total
- S_i = Penurunan segera
- S_c = Penurunan akibat konsolidasi primer
- S_s = Penurunan akibat konsolidasi sekunder

3.5 *Plaxis*

Plaxis merupakan salah satu perangkat lunak yang berdasarkan analisis menggunakan metode elemen hingga. Pengembangan *Plaxis* dimulai pada tahun 1987 di Universitas Teknik Delft (*Technical University of Delft*) inisiatif Departemen Tenaga Kerja dan Pengelolaan Sumber Daya Air Belanda (*Dutch department of public work and water management*). Pemodelan yang digunakan yaitu Mohr-Coulomb. Model Mohr-Coulomb adalah model elastis-plastis yang terdiri dari lima parameter yaitu E dan ν untuk memodelkan elastis tanah; ϕ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah dan sebagai sudut dilatasi (Brinkgreve, 2007). Model Mohr-Coulomb disarankan untuk digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi karena relatif sederhana, cepat dan saat tidak diperoleh data tanah yang memadai. Titik-titik kritis permodelan Mohr-Coulomb memiliki nilai yang berdekatan dengan titik-titik kritis tanah sebenarnya di sepanjang bidang kelongsoran. Oleh karena itu pemodelan Mohr-Coulomb sangat cocok untuk menganalisa stabilitas lereng. Menurut D.V Griffiths, P.A. Lane (1999) menyatakan kelebihan metode elemen hingga dengan metode kesimbangan batas adalah sebagai berikut.

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

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

Pemodelan *Plaxis* dapat dianalisa dalam kondisi plane strain maupun *axisymetry*. *Plane strain* digunakan untuk menganalisis struktur yang memiliki potongan melintang dengan pembebanan dan kondisi tegangan yang seragam dan perpindahan pada arah ini dianggap nol, sedangkan pemodelan *axisymmetry* digunakan untuk analisa struktur lingkaran yang memiliki potongan radial dan pembebanan seragam terhadap pusat, dengan deformasi dan tegangan yang besarnya dianggap sama pada arah radialnya. Untuk mendapatkan hasil analisis metode elemen hingga yang akurat diperlukan pemodelan tanah yang sesuai dengan keadaan sesungguhnya di lapangan (Hendroatmo, 2008).

3.5.1 Parameter Input Untuk Program *Plaxis* Versi 8.6

Pada tugas akhir ini model tanah yang digunakan adalah model Mohr-Coulomb, dengan parameter-parameter berupa: kohesi tanah (c), sudut geser dalam (ϕ). Seperti yang dikutip dari peneliti sebelumnya (Hendroatmo, 2008) menyatakan analisis data dengan program *Plaxis* dilakukan dengan memasukkan data berupa parameter-parameter dasar. Berikut adalah beberapa parameter dasar yang digunakan untuk analisis dalam program *Plaxis* tersebut.

1. Bentuk kemiringan lereng dan kondisi muka air tanah

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

2. Data *mesh generation*

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

3. Data Tanah

a. Berat isi tanah (γ)

Perhitungan berat tanah basah dan berat kering mengacu pada berat isi tanah pada parameter ini. Berat isi kering digunakan untuk material di atas garis phreatic, sedangkan berat isi basah digunakan untuk material yang berada dibawahnya. Untuk material nonporous paling sesuai menggunakan berat isi kering. Sebenarnya tidak ada tanah yang benar-benar kering. Tanah di atas garis phreatic bersifat jenuh karena sifat kapiler tanah, sedang diatasnya lagi sebagian jenuh.

b. Konstanta *modulus young*

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

c. *Poisson ratio*

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

disarankan untuk memakai harga rasio poisson yang lebih besar.

d. Kohesi (c)

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

e. Sudut gesek (ϕ)

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

f. Sudut dilatasi (ψ)

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

3.5.2 Analisis Data Program *Plaxis* Versi 8.6

Setelah memasukkan semua data yang diperlukan seperti diatas, maka proses analisis dapat dilakukan. Program *Plaxis* akan melakukan pencarian nilai faktor keamanan dari lereng sesuai dengan data yang dimasukkan. Proses dari analisis program *Plaxis* dalam mencari nilai faktor keamanan adalah dengan menggunakan *phi-c reduction procedure*.

Untuk menghitung angka keamanan ini digunakan opsi *load advancement number of steps* pada fase perhitungan dengan memasukkan *increment Msf* yang akan diambil. Pada kalkulasi c dan ν akan dikurangi sesuai dengan *increment Msf* yang dimasukkan. Selama kalkulasi berlangsung, berlaku persamaan kekuatan tanah yang dapat dilihat pada Persamaan 3.47 dan Persamaan 3.48 berikut.

$$\tan \varphi_r = \frac{\tan \varphi}{\Sigma - msf} \quad (3.47)$$

$$c_r = \frac{c}{\Sigma - msf} \quad (3.48)$$

Pada kondisi keruntuhan, besarnya angka keamanan sama dengan $\Sigma - Msf$. Pengurangan nilai parameter kekuatan tanah dan hasil perhitungannya hanya berarti jika telah dicapai kondisi keseimbangan (*steady state*). Kondisi keseimbangan ini ditunjukkan dari kurva $\Sigma - Msf$ vs perpindahan yang cukup datar dimana pada kondisi inilah besarnya angka keamanan didapat yaitu pada saat terjadi keseimbangan antara gaya yang meruntuhkan dan gaya tahan dari kuat geser tanah paad lereng tersebut. Dengan perhitungan *phi-c reduction*, nilai-nilai $\Sigma - Msf$ lain sebelum dicapai kondisi keseimbangan dan nilai perpindahan tidak memiliki arti fisik yang berarti. Nilai-nilai tersebut hanya digunakan untuk proses numerik. Untuk lebih jelasnya, akan dijelaskan pada bab IV (metode penelitian).

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini dilakukan pada lereng di Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim tepatnya pada Stasiun 97+100. Penelitian yang dilakukan meliputi analisis stabilitas lereng dengan kondisi tanah asli dan tanah *Replacement* menggunakan program *software Plaxis*, kemudian didapatkan *output* berupa nilai *Safety Factor*. Parameter analisis menggunakan variasi ketinggian timbunan lereng, sehingga didapatkan tinggi timbunan yang berpotensi terjadi kelongsoran dan akan diperkuat menggunakan perkuatan dengan bahan polymer 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 untuk jalan tol. Dari analisis tersebut, diharapkan dapat diperoleh kondisi mana yang menghasilkan faktor keamanan (*Safety Factor*) yang paling baik dan efektif, sehingga pada perencanaan kekuatan stabilitas lereng tanah timbunan dapat dijadikan acuan untuk kondisi tanah dan nilai pembebanan tertentu.

4.2 Data Penelitian

Data penelitian ini adalah data sekunder Proyek Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Data sekunder yang diperlukan meliputi berikut ini.

1. Propertis Tanah
 - a. Berat volume tanah (γ),
 - b. *Modulus elastisitas young* (E),
 - c. *Poisson ratio* (μ),
 - d. Sudut gesek dalam tanah (ϕ), dan
 - e. Kohesi tanah (c).

2. Data lapisan tanah,
3. Gambar penampang melintang jalan,
4. Data gempa, dan
5. Data lereng.

4.3 Tahapan Penelitian

Proses penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Tahap pengumpulan data parameter, dimana tahapan ini meliputi tahap pengambilan data parameter tanah dan data lereng (data uji lapangan dan laboratorium) yang diperlukan untuk analisis dari Laporan Analisa Geoteknik Proyek Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim.
2. Tahap pengolahan data menggunakan *software* dan analisis, dimana pada tahap ini data yang telah didapatkan kemudian akan diolah dan diinput kedalam *software Plaxis 8.6* dengan variasi analisis ketinggian tanah timbunan 3 meter, 6 meter, 9 meter, dan 12 meter. Variasi permodelan dilakukan dalam kondisi masa konstruksi dan pasca konstruksi, dan variasi pada timbunan tanah asli dengan timbunan tanah menggunakan *Replacement*, kemudian diolah dengan logika dan teori yang berlaku sebagai koreksi, selanjutnya dapat ditentukan tindak lanjut dari hasil program *Plaxis 8.6*.
3. Tahap pembahasan dan kesimpulan, dalam tahapan ini akan dikerjakan penulisan kedalam laporan yang dimana berisikan hasil- hasil yang telah didapatkan dari tahapan analisis, kemudian akan dihasilkan solusi- solusi dari berbagai permasalahan yang didapat dan dibuat kesimpulan berdasarkan teori yang ada.

4.4 Permodelan *Plaxis* Versi 8.6

4.4.1 Parameter Tanah

Parameter Tanah yang digunakan dalam perhitungan analisis pada program *Plaxis 8.6* sebagai input didapatkan dari data sekunder berdasarkan Laporan Analisa Geoteknik. Dalam analisis ini, perilaku tanah asli dianggap tidak

terdrainase (*Undrained*). Untuk jenis tanah timbunan pada saat masa konstruksi berperilaku tidak terdrainase (*Undrained*), sedangkan pada saat pasca konstruksi tanah bersifat terdrainase dengan baik (*Drained*). Data Parameter tanah selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 1 Data Parameter Tanah

NAMA	SATUAN	TIMBUNAN	TOP SOIL	STIFF CLAY	MEDIUM DENSE SAND	VERY DENSE SAND
Model	-	Mohr-Coulomb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb
Jenis	-	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>
γ_{unsat}	kN/m ³	20,61	15	15	16	17
γ_{sat}	kN/m ³	22,71	16	16	17	18
Modulus Elastisitas (<i>E</i>)	kN/m ²	10000	3000	11250	22800	45000
Angka Poisson (μ)	-	0,35	0,33	0,33	0,33	0,33
Kohesi (<i>c</i>)	kN/m ²	12,43	2	20	1	1
Sudut Gesek Dalam (ϕ)	°	18,23	22	28	34	42
Sudut Dilatasi (ψ)	°	0	0	0	0	0

(Sumber: Laporan Analisa Geoteknik, 2021)

Tabel 4. 2 Data Parameter Tanah Pasca Konstruksi

NAMA	SATUAN	TIMBUNAN	TOP SOIL	STIFF CLAY	MEDIUM DENSE SAND	VERY DENSE SAND
Model	-	Mohr-Coulomb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb
Jenis	-	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>
γ_{unsat}	kN/m ³	20,61	15	15	16	17
γ_{sat}	kN/m ³	22,71	16	16	17	18
Modulus Elastisitas (<i>E</i>)	kN/m ²	10000	3000	11250	22800	45000
Angka Poisson (μ)	-	0,35	0,33	0,33	0,33	0,33
Kohesi (<i>c</i>)	kN/m ²	12,43	2	20	1	1
Sudut Gesek Dalam (ϕ)	°	18,23	22	28	34	42
Sudut Dilatasi (ψ)	°	0	0	0	0	0

(Sumber: Laporan Analisa Geoteknik, 2021)

4.4.2 Geotekstil

Nilai geotekstil sebagai *input* untuk program *Plaxis 8.6* adalah nilai *normal stiffness (EA)* yang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.1 berikut.

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

Keterangan:

Fg = kuat tarik ijin geotekstil (kN/m), dan

$\Delta l/l$ = regangan pada geotekstil

Geotekstil yang diaplikasikan adalah produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul jenis *woven UW-250*. Nilai kuat tarik ijin dan regangannya didapatkan dari

brosur produksinya, yaitu masing- masing sebesar 52 kN/m^2 dan 20% , maka nilai geotekstil yang dijadikan input kedalam program *Plaxis* 8.6 dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Data Parameter Geotekstil Woven UW-250

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

(Sumber: P.T. Teknindo Geosistem Unggul, 2015)

4.4.3 Beban Struktur

Parameter beban pada perhitungan analisis selama masa konstruksi disumsikan memiliki beban merata akibat adanya beban struktur dari perkerasan jalan. Beban struktur dihitung berdasarkan berat jenis setiap lapis perkerasan dikalikan dengan tebal lapisan jalan. Berdasarkan data yang digunakan sebagai perhitungan analisis pada proyek Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim, beban dari struktur lapis perkerasan sebesar 10 kN/m^2 . Maka sebagai Input kedalam program *Plaxis* saat analisis masa konstruksi digunakan beban merata sebesar 10 kN/m^2 sepanjang lebar dari lereng timbunan jalan 34 meter.

4.4.4 Beban Lalu Lintas

Pada penelitian ini lereng difungsikan sebagai jalan tol dengan lebar bagian atas selebar 34 meter, sebagai beban merata karena adanya beban lalu lintas, maka lereng dengan kondisi pasca konstruksi memperhitungkan beban lalu lintas akibat jalan tol, selanjutnya input kedalam program *Plaxis* besar beban lalu lintas untuk stabilitas digunakan sebesar 15 kN/m^2 . Input kedalam program *Plaxis* pada saat kondisi pasca konstruksi dipakai beban dari struktur dan beban lalu lintas, maka digunakan beban sebesar 25 kN/m^2 . Data beban lalu lintas tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

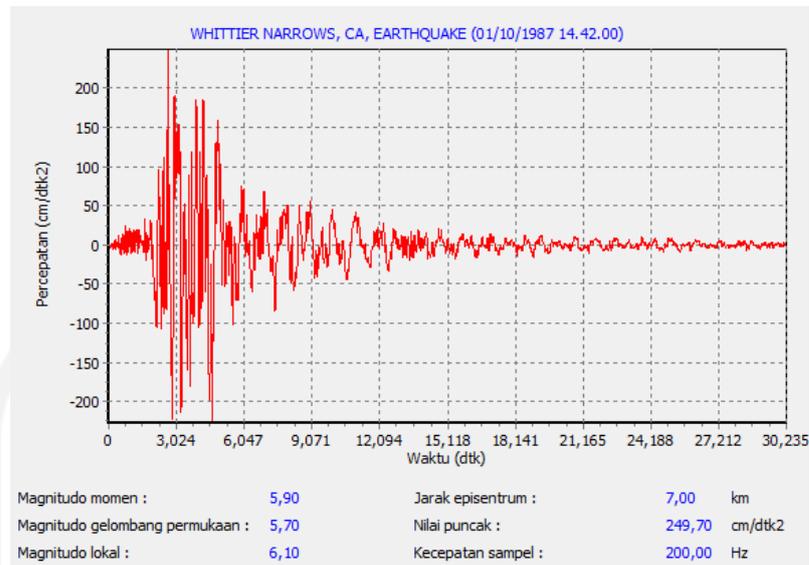
Tabel 4. 4 Data Parameter Beban Lalu Lintas

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
	Kolektor	>6.000	12
		<6.000	10
	Lokal	>500	10
		<500	10

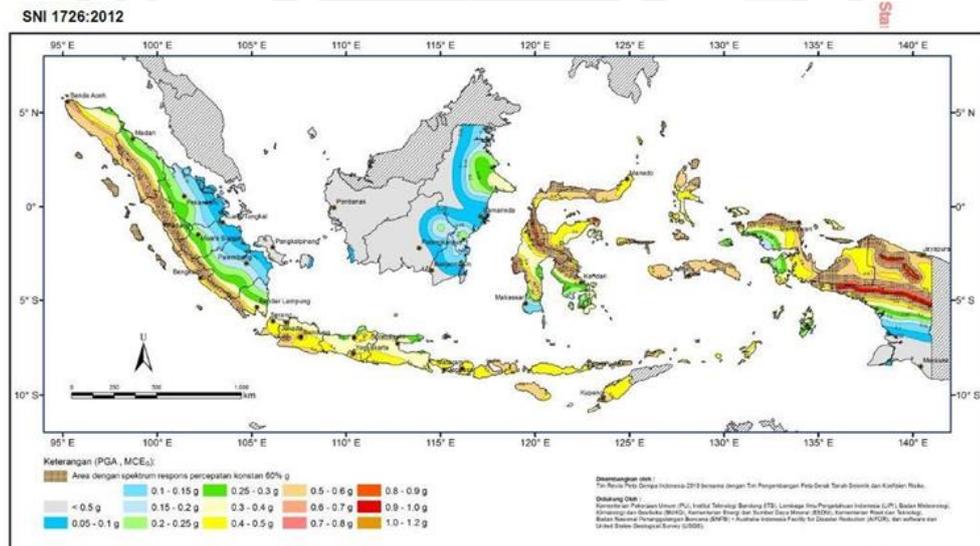
(Sumber: Panduan Geoteknik 4 No. Pt T-10-2002-B, 2002)

4.4.5 Beban Gempa

Beban gempa yang diaplikasikan pada analisis ini adalah beban gempa dinamik, sebagai *input* pada program *Plaxis* yaitu berupa waktu durasi gempa. Waktu durasi gempa diambil dari data yang dikumpulkan oleh USGS (*United States Geological Survey*). Grafik- grafik hubungan antara waktu dan percepatan gempa yang terdapat di dalam *Plaxis* dipilih berdasarkan peta zonasi gempa yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional yang diterbitkan pada tahun 2012, yaitu SNI 1726:2012. Dari peta pada Gambar 4.1 wilayah Sumatera Selatan memasuki zona gempa (PGA) sebesar 0,2 g – 0,25 g. Data gempa yang sama dengan nilai tersebut adalah data gempa di kawasan Whittier Narrows pada 1 Oktober 1987 yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,24 g yang dapat dilihat pada Gambar 4.2. Waktu interval gempa yang dimasukkan kedalam *Plaxis* diambil sebesar 3,2 detik dengan asumsi telah melewati puncak. Data beban gempa tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa Whittier Narrows, 1 Oktober 1987
(Sumber: www.usgs.gov, 2017)



Gambar 11 - PGA, Gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCE₀), kelas situsSB

Gambar 4. 2 Peta Zonasi Gempa Indonesia
(Sumber: SNI 1726:2012, 2012)

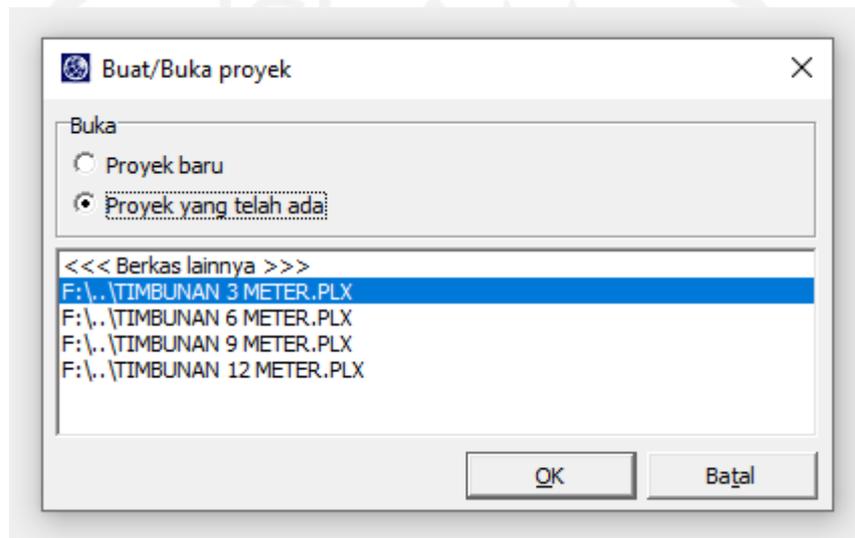
4.5 Pengoperasian Program *Plaxis* Versi 8.6

Analisis menggunakan program *plaxis* 8.6 dilakukan berdasarkan 3 tahapan, yaitu *Plaxis Input*, *Plaxis Calculations*, dan *Plaxis Output*.

4.5.1 *Plaxis Input*

1. Buka Program *Plaxis*

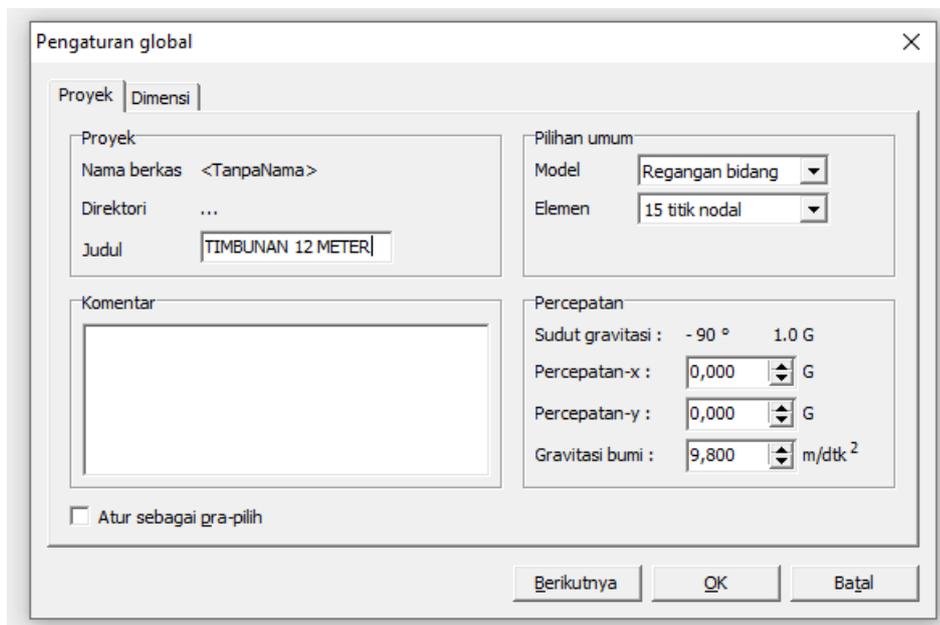
Jalankan program *Plaxis* dengan klik- ganda pada *icon* program *Plaxis Input*. Selanjutnya akan muncul sebuah kotak dialog *create/open project*, kemudian pilih *new project* dan klik *OK* untuk membuat proyek baru seperti pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4. 3 Kotak Dialog *Create/ Open Project*

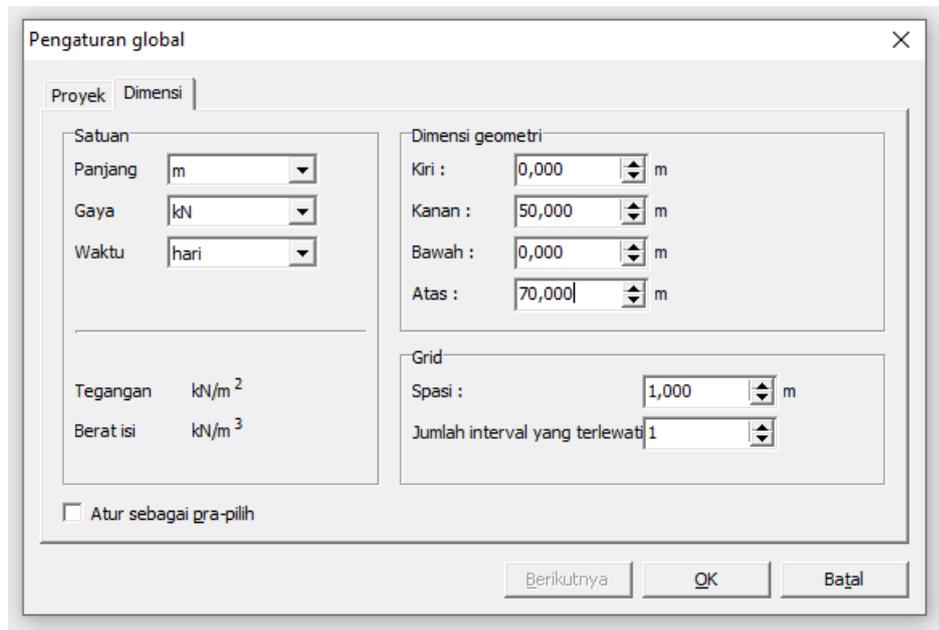
2. *General Setting*

Pada tahap ini terdapat dua tab dialog dalam pengaturan global (*general setting*), yaitu tab *project* dan *dimensions*. Dalam lembar tab *project*, masukkan nama proyek yang akan dimodelkan pada kotak dialog *tittle*, kemudian pada kotak *general* pilih analisis model *plane strain* (regangan bidang) 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 lembar tab *geometry dimensions*, gunakan satuan- satuan pra- pilih dalam kotak unit ($Length = m$, $Force = kN$, $Time = day$). Dalam kotak *geometry dimensions*, ukuran dari bidang gambar harus dimasukkan, saat memasukkan koordinat teratas dan terbawah dari geometri yang akan dibuat. *Plaxis* akan menambahkan sebuah margin kecil sehingga geometri akan berada didalam bidang gambar. Masukkan 0.0, 50.0, 0.0, 70.0 masing- masing pada kotak isian *left*, *right*, *bottom*, dan *top* dalam kotak dialog. Kotak *Grid* berisi nilai- nilai untuk mengatur spasi grid. *Grid* ini akan membentuk matriks titik- titik yang digunakan untuk memasukkan penggambaran tepat pada grid yang telah ada saat pembuatan model. Jarak antar titik ditentukan oleh nilai spasi. Masukkan 1.0 untuk *spacing* dan 1 untuk *number of intervals*.



Gambar 4. 5 Tab *Dimension* dari Jendela *General Setting*

3. Permodelan Geometri

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

- a.  Pilih opsi *Geometry line* (telah diaktifkan)

Tempatkan kursor (sekarang berbentuk pena) 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*.

Klik pada titik awal dan titik akhir pada geometri yang menerima beban, lalu klik kanan *mouse* untuk mengakhiri masukkan beban merata. Masukkan nilai beban merata (10 kN/m^2).

4. *Input* parameter material

Untuk memasukkan data meterial dapat dilakukan dengan menggunakan tombol *material sets* pada *toolbar* atau dari pilihan yang tersedia dalm menu *materials*.

-  Pilih tombol *material sets* pada *toolbar*.

- a. Klik tombol <new> di sisi bawah dari jendela *material sets*. Sebuah kotak dialog akan muncul dengan tiga buah lembar-tab, yaitu *general*, *parameters*, dan *interface* (Lihat Gambar 4.6 dan Gambar 4.7).
- b. Dalam kotak dialog *material sets* dalam lembar-tab *general*, tuliskan “TIMBUNAN” dalam kotak *identification*.
- c. Pilih *Mohr-Coloumb* pada *combo box material model* dan *drained* pada *combo box material type*.
- d. Masukkan nilai yang benar pada kotak *general properties* dan pada kotak *permeability* sesuai dengan sifat material yang digunakan.
- e. Klik pada tab menu *Parameters* ada empat lembar-tab, masukkan nilai sesuai sifat material yang digunakan, karena model material 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 klaster tanah pada bidang gambar dan lepas di atasnya (lepaskan tombol utama mouse). Maka material sudah masuk dalam bidang gambar apa bila bidang gambar berubah warna.
- g. Klik tombol <OK> pada jendela *material sets* untuk menutup basis data.

Mohr-Coulomb - TIMBUNAN

Umum	Parameter	Antarmuka
<p>Kumpulan material</p> <p>Identifikasi: <input type="text" value="TIMBUNAN"/></p> <p>Model material: <input type="text" value="Mohr-Coulomb"/></p> <p>Jenis material: <input type="text" value="Terdrainase"/></p>		
<p>Sifat umum</p> <p>γ_{unsat} <input type="text" value="20,610"/> kN/m³</p> <p>γ_{sat} <input type="text" value="22,710"/> kN/m³</p>		
<p>Komentar</p> <div style="border: 1px solid gray; height: 50px;"></div>		
<p>Permeabilitas</p> <p>k_x : <input type="text" value="1,000E-03"/> m/hari</p> <p>k_y : <input type="text" value="1,000E-03"/> m/hari</p> <p style="text-align: right;"><input type="button" value="Tingkat lanjut..."/></p>		
<input type="button" value="SoilTest"/> <input type="button" value="Berikutnya"/> <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Batal"/>		

Gambar 4. 6 Lembar tab *General* dari Jendela *Material Sets*

Mohr-Coulomb - TIMBUNAN

Umum Parameter Antarmuka

Kekakuan		Kekuatan	
E_{ref} :	1,000E+04 kN/m ²	c_{ref} :	12,430 kN/m ²
ν (nu) :	0,350	ϕ (phi) :	18,230 °
		ψ (psi) :	0,000 °
Alternatif		Kecepatan	
G_{ref} :	3704,502 kN/m ²	V_s :	41,970 m/dtk
E_{oed} :	1,605E+04 kN/m ²	V_p :	87,360 m/dtk

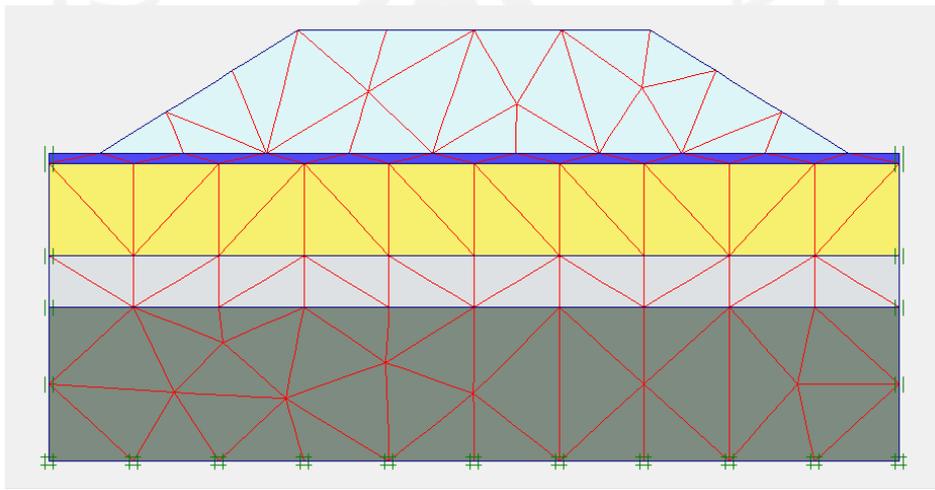
Tingkat lanjut...

SoilTest Berikutnya OK Batal

Gambar 4.7 Lembar tab *Parameters* dari *Jendela Material Sets*

5. Mesh Generation

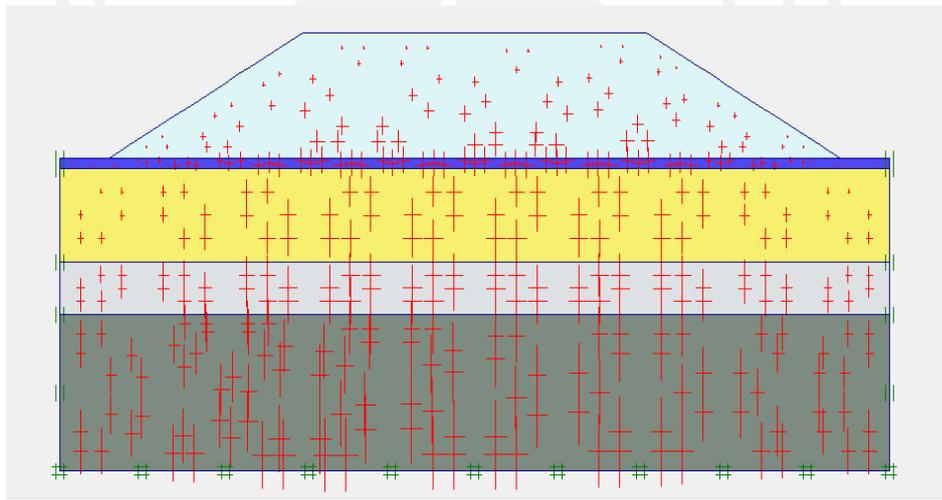
 Klik tombol *Generate Mesh* pada *toolbar* atau pilih susunan dari menu *mesh*, setelah itu penyusunan jaringan elemen, maka sebuah jendela baru akan terbuka dimana ditunjukkan jaringan elemen hingga yang terbentuk (Lihat Gambar 4.8). Klik tombol <perbaruhi> untuk kembali masukkan geometri.



Gambar 4.8 Jaringan Elemen Hingga (*Meshing*)

6. Initial Condition

- a.  Klik tombol *initial conditions* pada *toolbar*.
- b.  Karena proyek ini tidak mengikut 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 tombol *General initial stress* pada *toolbar*. Kotak dialog *Ko-procedure* akan muncul pilih <OK> (Gambar 4.9).

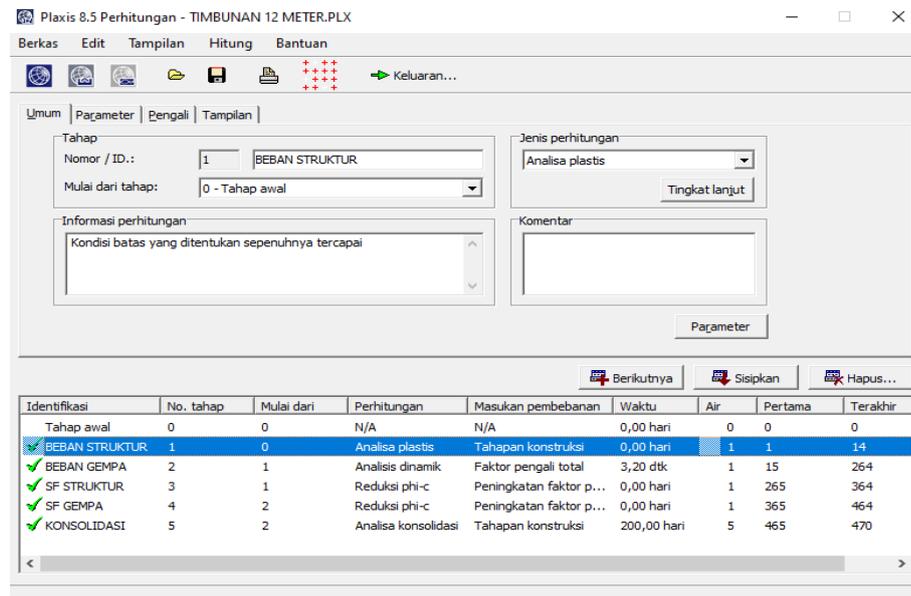


Gambar 4. 9 Tegangan Awal Pada Geometri

- d.  Klik *Calculate*.

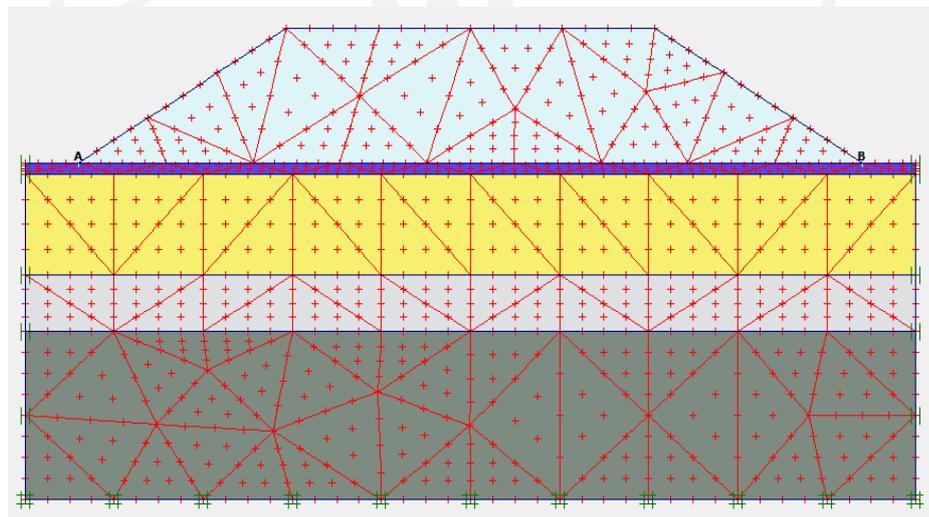
4.5.2 Plaxis Calculation

Pada jendela *calculation* (lihat gambar 4.10) memiliki 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* (Gambar 4.11).



Gambar 4. 11 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau

Kemudian langkah selanjutnya yaitu klik tombol calculation  untuk menjalankan analisis perhitungan.

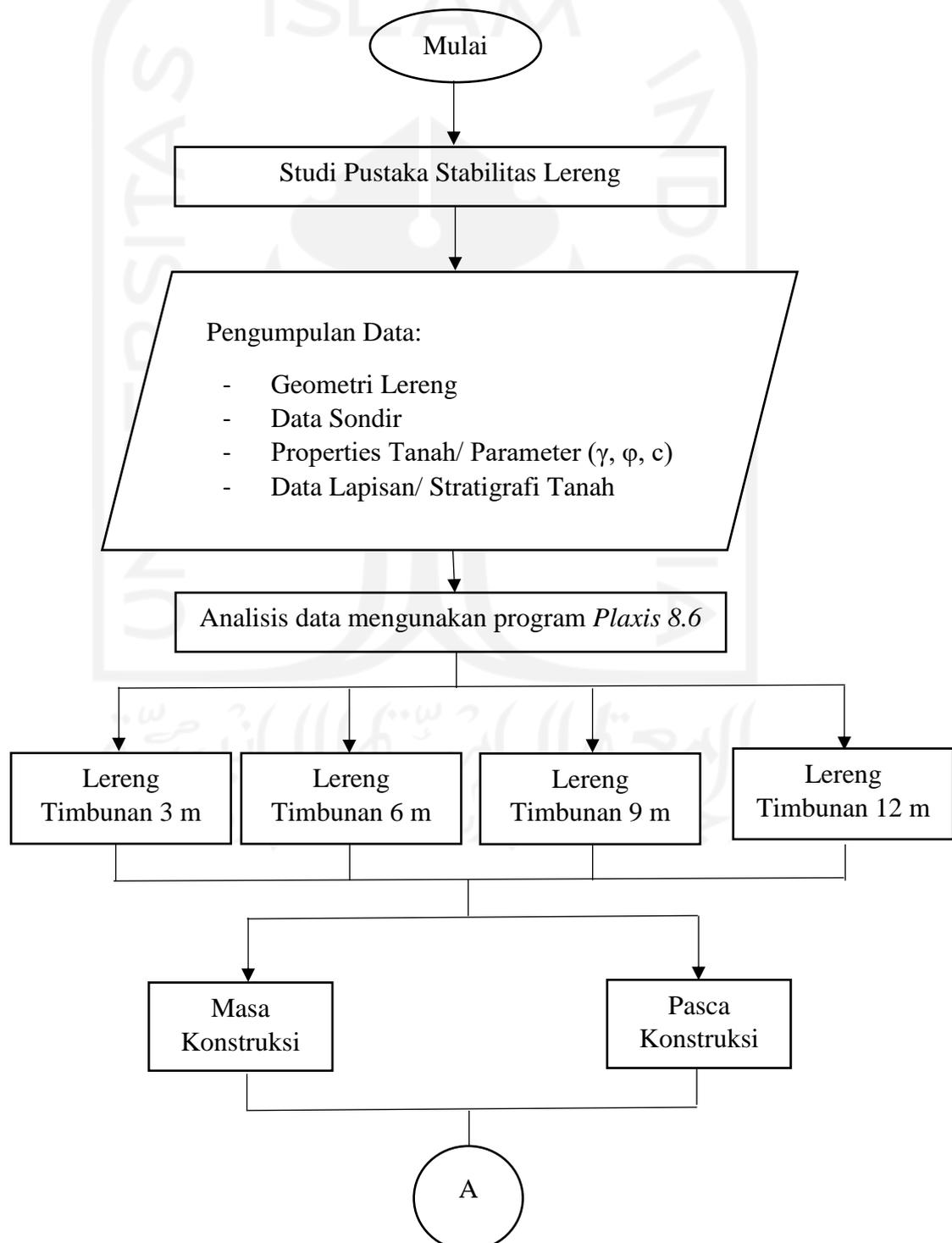
4.5.3 *Plaxis Output*

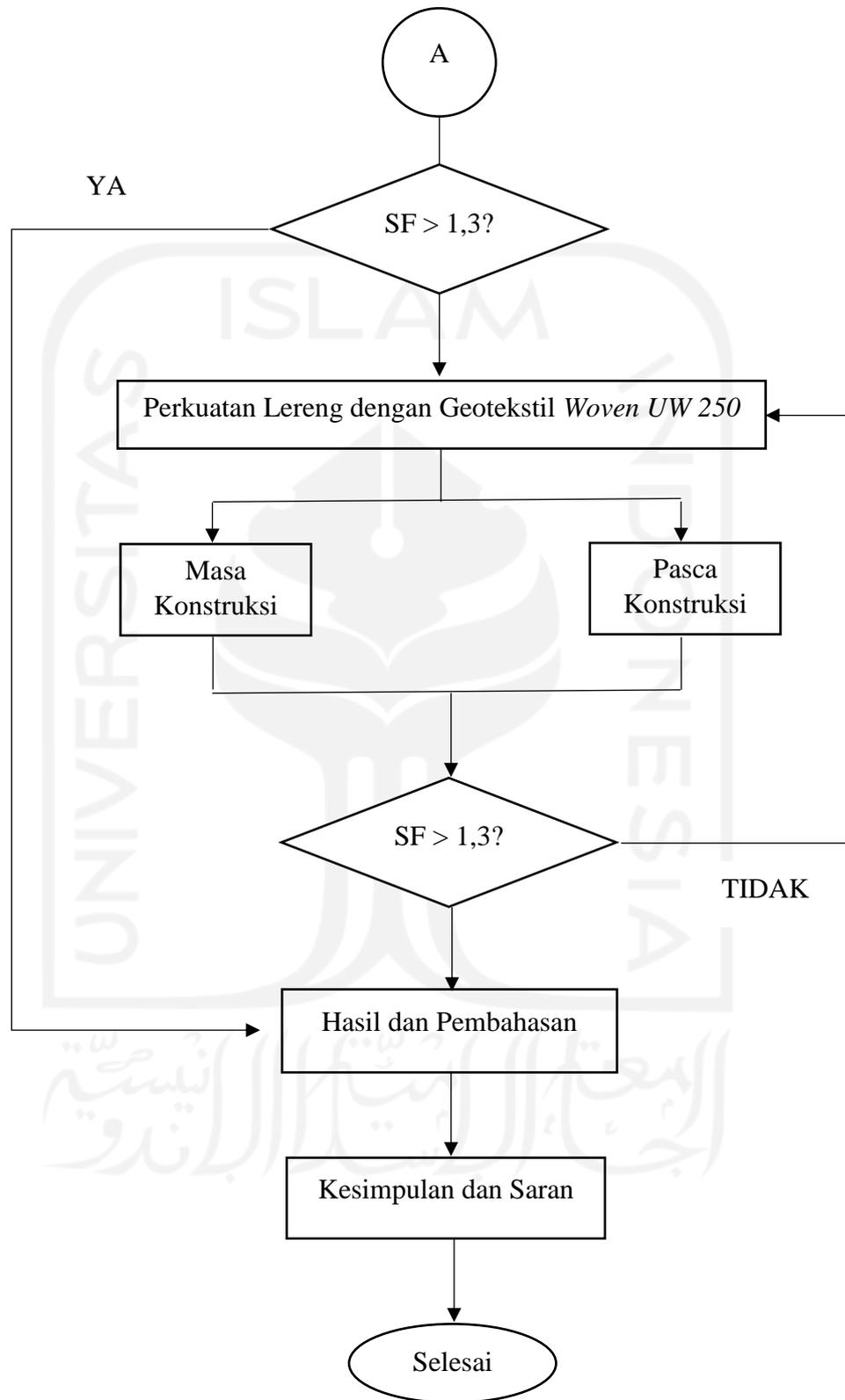
Setelah tahap analisis perhitungan selesai, selanjutnya klik tombol

➔ **Output...** untuk menampilkan hasil dari tahapan perhitungan.

4.6 **Bagan Alir Penelitian**

Adapun bagan alir penelitian atau flow chart penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut ini.





Gambar 4. 12 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum Analisis

Lereng yang digunakan sebagai timbunan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan di Stasiun 97+100 adalah area studi kasus yang akan dilakukan penelitian ini. Lapisan tanah area lokasi proyek mempunyai variasi jenis tanah, seperti tanah pasir lempung, pasir, dan lempung. Lapisan tanah yang digunakan sampai lapisan keempat pada kedalaman 30 meter, sedangkan untuk tanah timbunan digunakan tanah lempung berpasir yang dipadatkan. Hasil analisis ini dilakukan untuk mengetahui pada ketinggian berapa timbunan sudah mulai mengalami kelongsoran pada lereng. Keruntuhan terjadi diakibatkan karena tanah timbunan sudah tidak mampu menahan gaya- gaya yang terjadi akibat beban pada saat masa konstruksi timbunan maupun saat pasca timbunan sudah akan digunakan.

Analisis ini dilakukan menggunakan variasi ketinggian timbunan mulai dari 3 meter, 6 meter, 9 meter, dan 12 meter. Ketinggian timbunan yang bervariasi ini digunakan untuk mengetahui tinggi yang paling efektif untuk timbunan dan yang aman terhadap beban- beban yang bekerja. Kondisi timbunan akan dianalisis dalam kondisi saat masa konstruksi dan saat pasca konstruksi dengan parameter beban yang bervariasi. Jenis timbunan lereng yang akan dianalisis ada dua macam yaitu jenis tanah asli dan jenis tanah yang diberi *Replacement*.

Parameter beban yang digunakan adalah beban struktur pada saat kondisi masa konstruksi dan beban lalu lintas pada saat pasca konstruksi. Parameter gempa yang digunakan adalah data SMC berupa grafik percepatan dan waktu yang sesuai dengan kondisi gempa pada daerah Provinsi Sumatera Selatan.

Adapun solusi untuk lereng timbunan dengan angka aman yang belum memenuhi syarat, maka akan dilakukan perkuatan yang menggunakan geotekstil. Perkuatan ini dianalisis dan diterapkan pada lereng timbunan yang tidak aman, sehingga dapat diketahui apakah geotekstil mampu menahan kelongsoran yang terjadi dan meningkatkan nilai angka aman pada lereng timbunan ini.

5.1.1 Data Analisis Program *Plaxis* Versi 8.6

Kondisi timbunan lereng sesuai dengan Pembangunan Jalan Tol Indralaya-Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan di Stasiun 97+100. Parameter tanah yang digunakan berdasarkan hasil laboratorium data tanah pada lokasi Stasiun 97+100. Berikut adalah data parameter tanah, beban- beban yang bekerja, perkuatan lereng yang digunakan, dan kondisi eksisting lereng.

1. Data Parameter Tanah

Data parameter tanah untuk analisis stabilitas lereng timbunan ini dapat ditinjau pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

2. Data Beban Struktur

Data parameter beban pada perhitungan analisis selama masa konstruksi dianggap memiliki beban merata akibat adanya beban struktur dari perkerasan jalan. Berdasarkan data yang digunakan sebagai perhitungan analisis pada Pembangunan Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan, beban dari struktur lapis perkerasan sebesar 10 kN/m².

3. Data Beban Lalu Lintas

Data beban lalu lintas yang digunakan dalam program *plaxis* untuk stabilitas adalah sebesar 15 kN/m², beban tersebut sesuai dengan data beban lalu lintas untuk stabilitas seperti disajikan pada tabel 5.3. Pada saat pasca konstruksi digunakan beban dari struktur dan beban lalu lintas sebesar 25 kN/m². Data parameter beban lalu lintas dapat ditinjau pada Tabel 4.4.

4. Data Beban Gempa

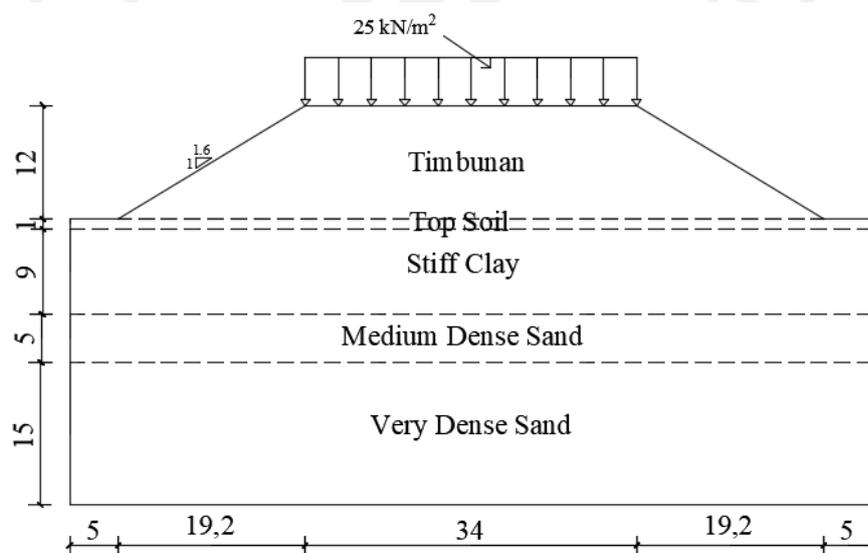
Wilayah Sumatera Selatan memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,2-0,25 g. Data gempa yang sesuai dengan nilai tersebut adalah data gempa di kawasan Whittier Narrows pada 1 Oktober 1987 yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,24 g. Waktu interval gempa yang dimasukkan kedalam *Plaxis* diambil 3,2 detik dengan anggapan telah melewati puncak. Grafik hubungan percepatan dan waktu gempa Whittier Narrows, 1 Oktober 1987 dapat ditinjau pada Gambar 4.1 dan peta zonasi gempa Indonesia yang dapat ditinjau pada Gambar 4.2.

5. Data Geotekstil

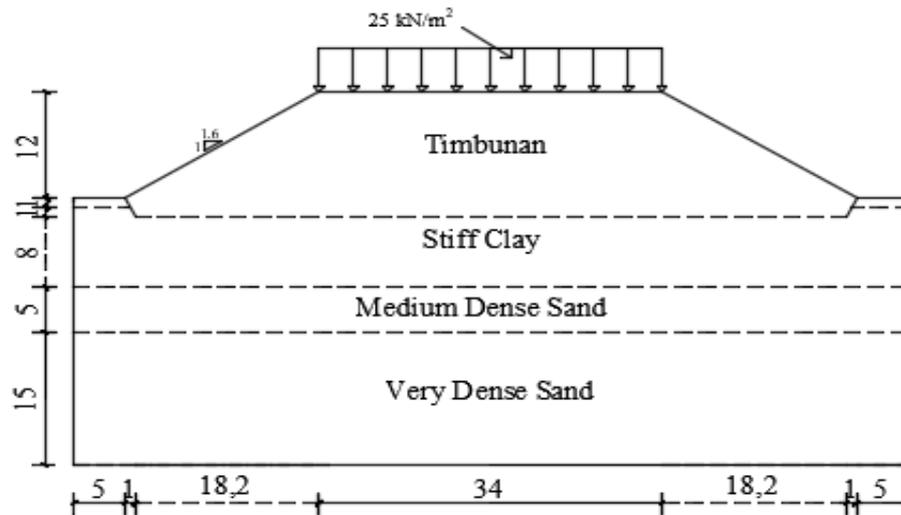
Geotekstil yang digunakan adalah produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul jenis *woven UW 250*. Nilai kuat tarik ijin dan regangannya yang diperoleh dari brosur produksinya, yaitu masing- masing sebesar 52 kN/m² dan 20%. Maka nilai geotekstil yang dijadikan input kedalam program *Plaxis 8.6* dapat ditinjau pada Tabel 4.3.

6. Kondisi Eksisting Lereng

Kondisi eksisting timbunan dan jenis tanah setiap lapisan dapat dilihat pada Gambar 5.1 untuk timbunan tanah asli dan Gambar 5.2 untuk timbunan dengan diberi *Replacement*.



Gambar 5. 1 Geometri Kondisi Eksisting Lereng Tanah Asli



Gambar 5. 2 Geometri Kondisi Eksisting Lereng Tanah *Replacement*

5.2 Lereng Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan

5.2.1 Analisis Menggunakan Program *Plaxis* Versi 8.6

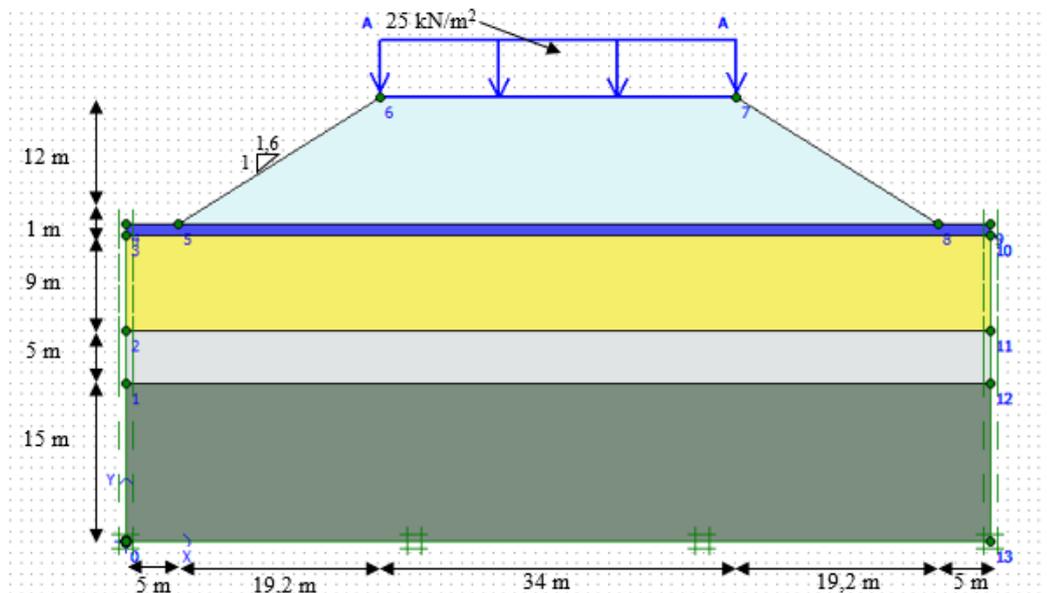
Hasil analisis menggunakan program *Plaxis 8.6* yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng tanah timbunan dengan tinggi 12 meter. Penjelasan analisis ini meliputi permodelan awal lereng, kondisi timbunan masa konstruksi, dan kondisi timbunan pasca konstruksi. Hasil analisis lereng tanah asli dengan tinggi timbunan 3 meter dapat dilihat pada lampiran, lereng tanah asli dengan tinggi timbunan 6 meter dapat dilihat pada lampiran, dan lereng tanah asli dengan tinggi timbunan 9 meter dapat dilihat pada lampiran.

1. Permodelan Awal Lereng

Permodelan awal lereng menggunakan tanah asli yang ada di proyek, permodelan beban struktur atau beban merata, dan beban gempa atau beban dinamik. Lebar lereng sepanjang 34 meter yang akan difungsikan sebagai Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan di Stasiun 97+100. Titik koordinat yang di input kedalam *Plaxis 8.6* disajikan pada Tabel 5.5 dan untuk permodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.

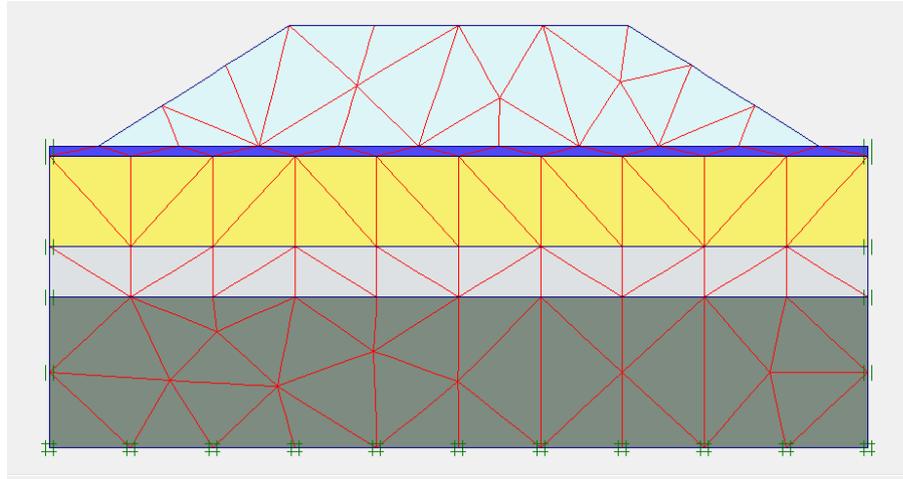
Tabel 5. 1 Koordinat Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan

No.	X (m)	Y (m)	No.	X (m)	Y (m)
0	0	0	7	58.2	42
1	0	15	8	77.4	30
2	0	20	9	82.4	30
3	0	29	10	82.4	29
4	0	30	11	82.4	20
5	5	30	12	82.4	15
6	24.2	42	13	82.4	0

**Gambar 5. 3 Permodelan Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

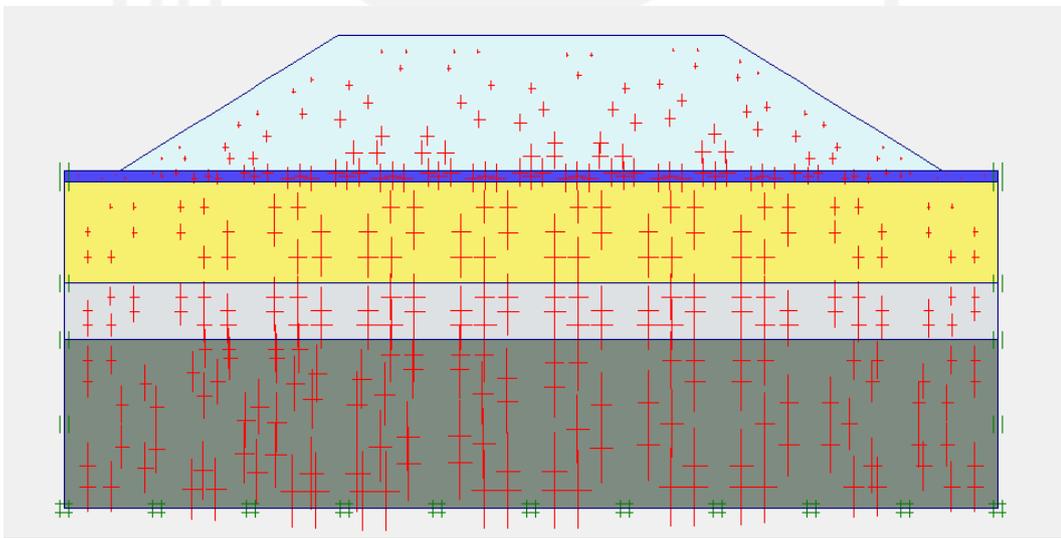
2. Kondisi Masa Konstruksi

Kondisi masa konstruksi terjadi saat pembuatan timbunan lereng, pada masa konstruksi tanah timbunan masih bersifat *undrained* karena tanah belum dapat terdrainase dengan baik. Beban merata yang terjadi pada saat masa konstruksi sebesar 10 Kn/m^2 diakibatkan beban dari struktur perkerasan, kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*Meshing*) setelah dilakukan input parameter tanah dan bahan. Hasil dari jaringan elemen hingga (*Meshing*) pada lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5. 4 Meshing pada Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan

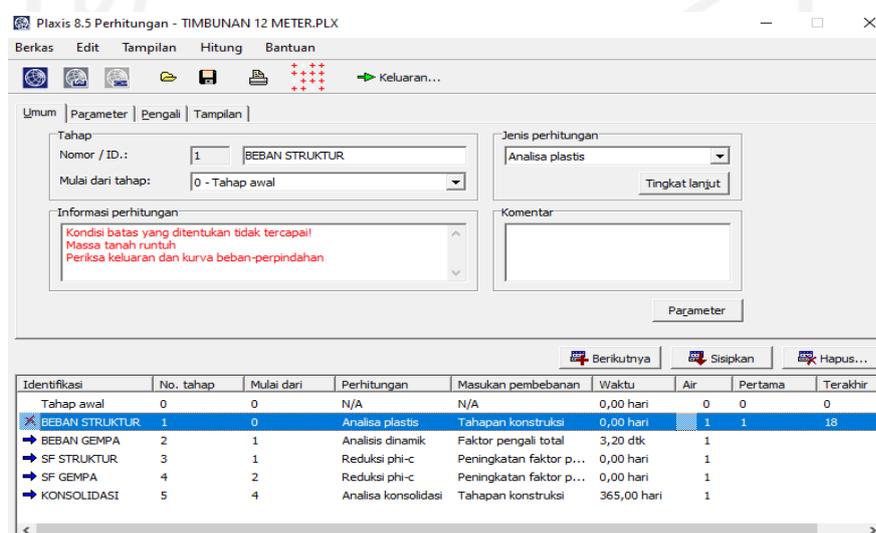
Setelah dilakukan *Meshing* maka dilanjutkan dengan kondisi awal (*initial condition*). Pada analisis ini tidak mengikut sertakan tekanan air, maka konfigurasi geometri awal langsung dengan perhitungan *general initial stresses*. Hasil dari *Initial Soil Stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



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

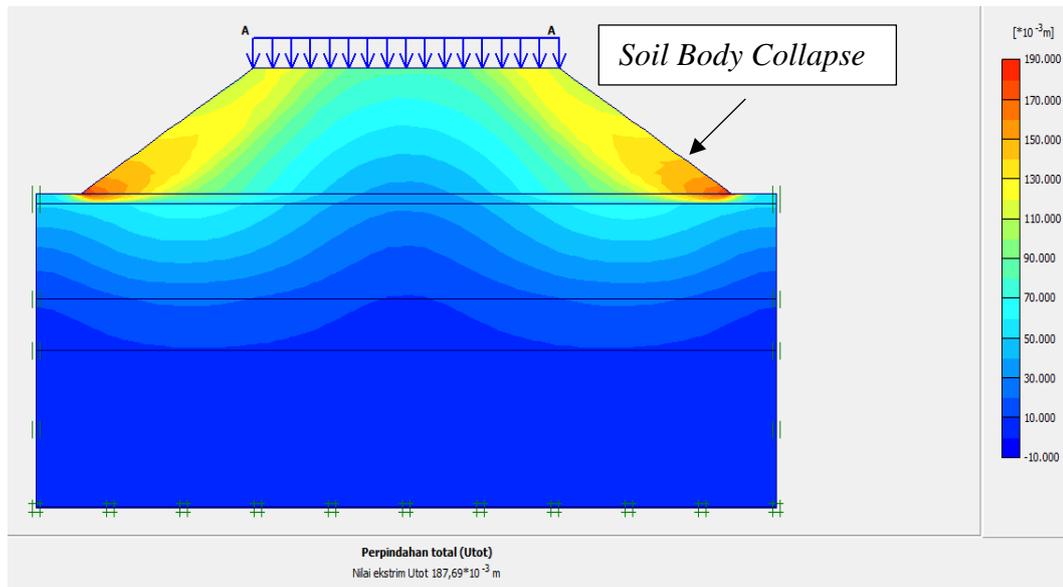
Kemudian masuk ke tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan 12 m tanah asli tanpa perkuatan dengan lima tahap. Tahap pertama yaitu analisis perhitungan akibat diberi timbunan 12 m. Tahap kedua yaitu analisis perhitungan akibat diberi beban struktur pada permukaan lereng timbunan. Tahap ketiga yaitu

perhitungan akibat beban gempa, kemudian tahap keempat yaitu perhitungan nilai angka aman akibat beban struktur, dan tahap kelima perhitungan nilai angka aman akibat beban dan gempa. Pada tahap pertama yaitu dengan memasukkan beban lalu lintas, lereng timbunan 12 meter mengalami *soil body collapse*, maka untuk perhitungan selanjutnya tidak dapat dilakukan. Kondisi ini terjadi apabila $SF < 1$, maka pada analisis menggunakan program plaxis ditandai dengan tulisan merah log info yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.



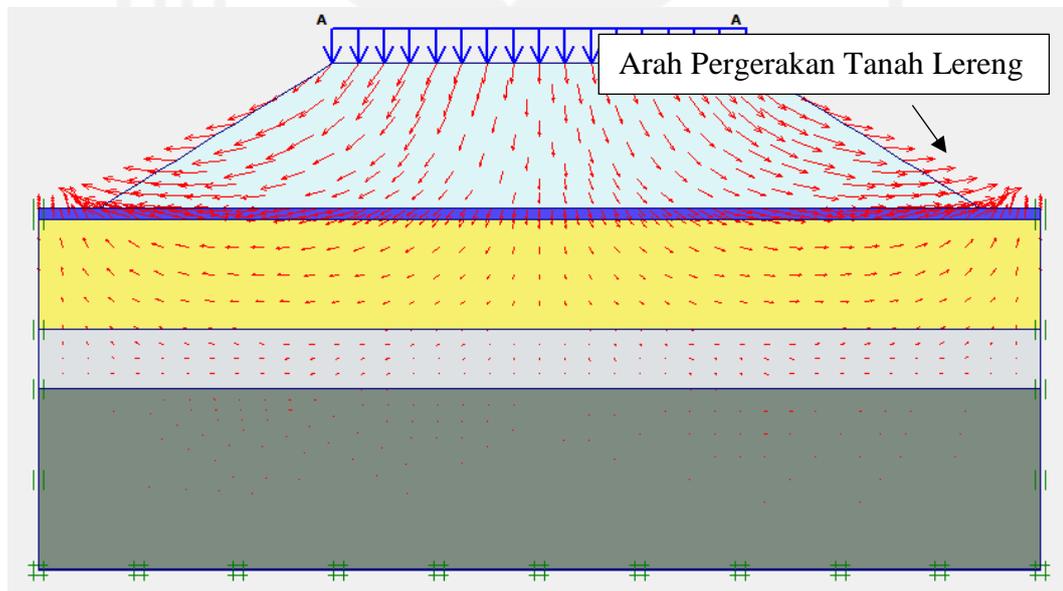
Gambar 5. 6 Informasi *Soil Body Collapse* Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

Pada tahap pertama adalah memasukkan beban lalu lintas yang mengalami *collapse* yang mana terjadi displacement sebesar $187,69 \times 10^{-3}$ m. *Total Displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut ini.



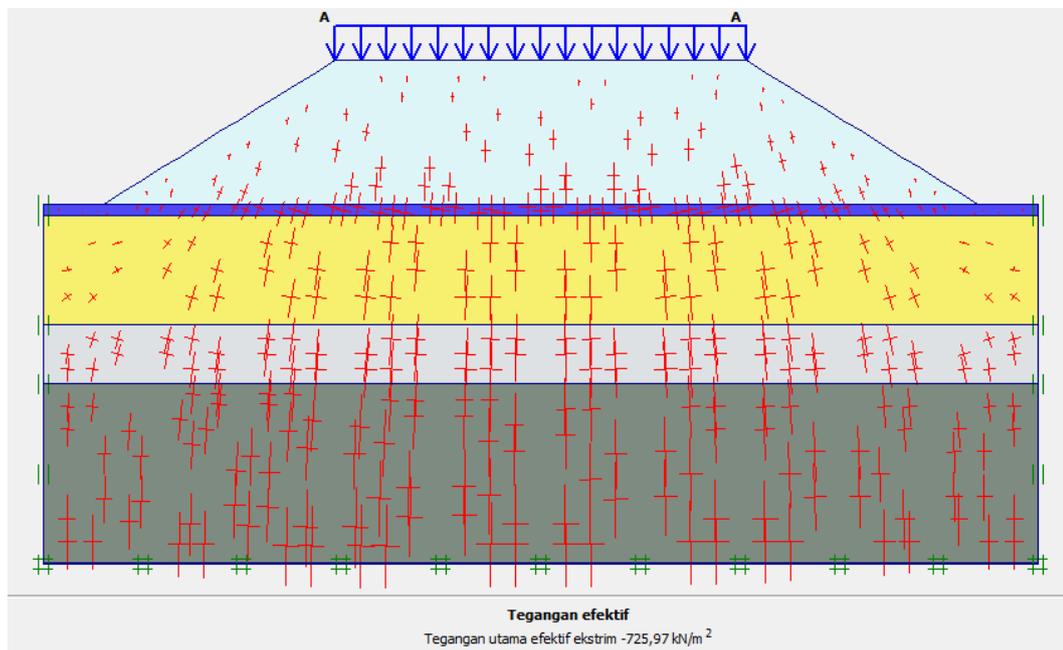
Gambar 5. 7 Total Displacement Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Arah pergerakan pada tanah timbunan lereng 12 m pada tahap yang pertama dengan memasukkan beban lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini.



Gambar 5. 8 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

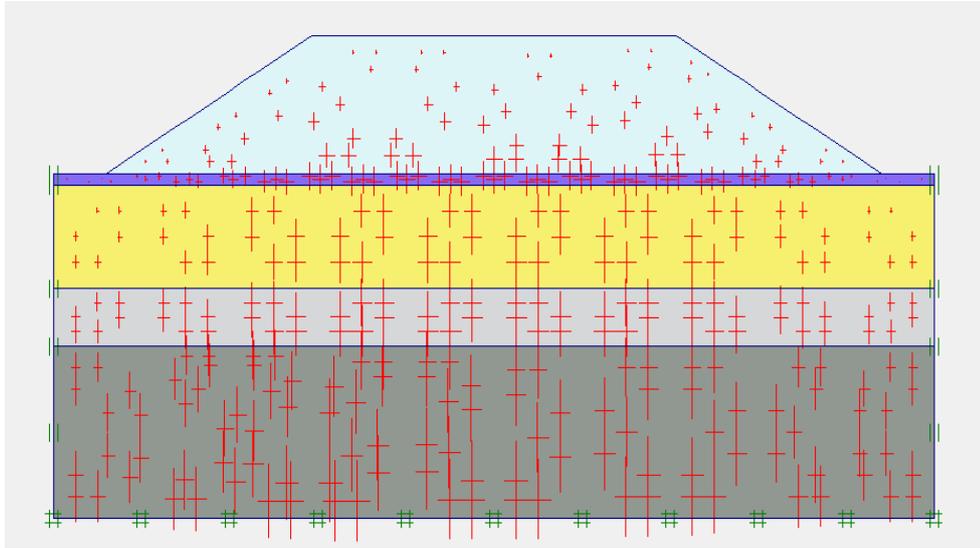
Nilai *Effective Stresses* pada lereng timbunan 12 meter akibat beban lalu lintas sebesar $-725,97 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut ini.



Gambar 5.9 Effective Stresses Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

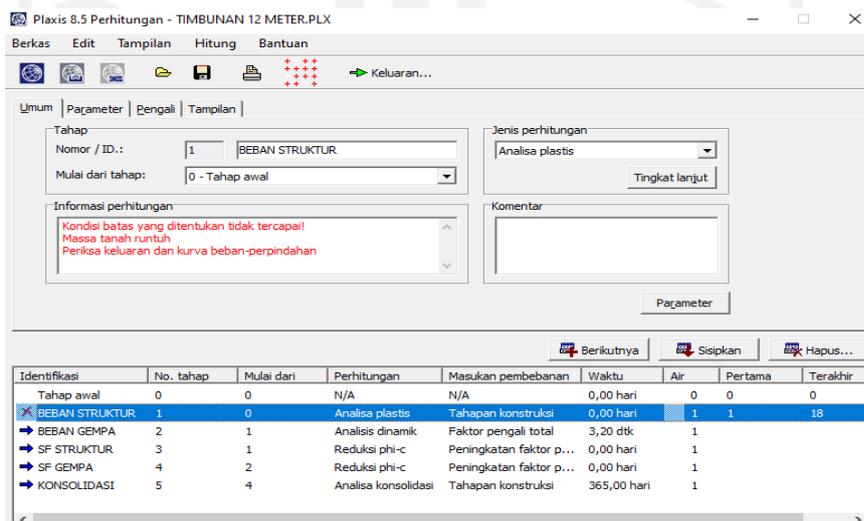
3. Kondisi Pasca Konstruksi

Kondisi pasca konstruksi adalah kondisi dimana timbunan lereng sudah dapat difungsikan. Pada kondisi pasca konstruksi, tanah timbunan menjadi bersifat drained karena tanah sudah tak terdrainase lagi akibat adanya struktur jalan. Pada kondisi ini juga beban lalu lintas menjadi parameter beban tambahan untuk dianalisis. Jaringan elemen hingga (*Meshing*) pada kondisi pasca konstruksi sama dengan masa konstruksi pada Gambar 5.5. *Initial Soil Stresses* dilakukan *generate* kembali karena kondisi tanah awal untuk pasca konstruksi telah selesai untuk penimbunan 12 meter. Hasil *Initial Soil Stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut ini.



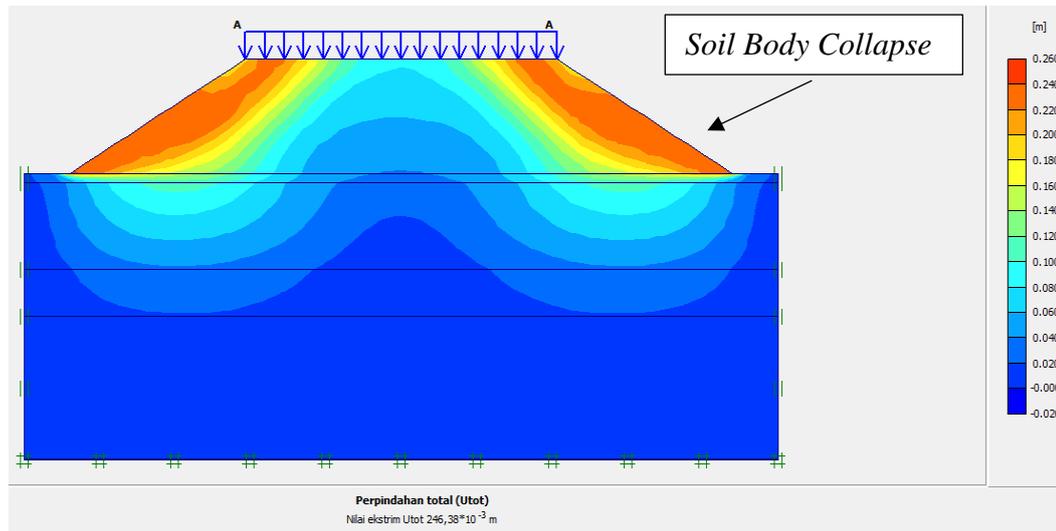
Gambar 5. 10 Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pasca Konstruksi

Analisis perhitungan (*calculation*) pasca konstruksi tanah asli ada lima tahap. Tahapannya sama dengan masa konstruksi. Pada tahap pertama yaitu dengan memasukkan beban lalu lintas, lereng timbunan 12 meter mengalami *soil body collapse*, maka untuk perhitungan selanjutnya tidak dapat dilakukan. Kondisi ini terjadi apabila $SF < 1$, maka pada analisis menggunakan program plaxis ditandai dengan tulisan merah log info yang dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut ini.



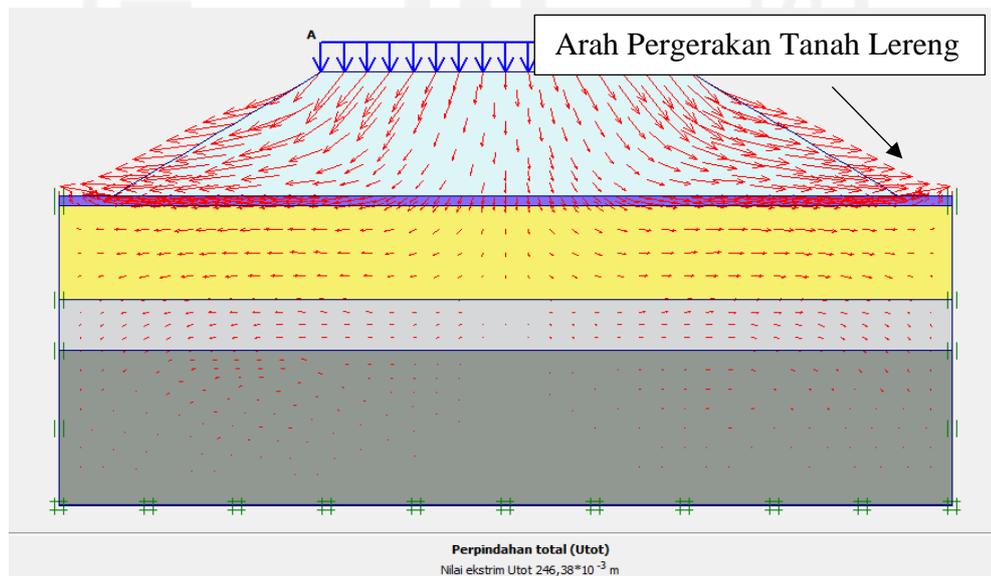
Gambar 5. 11 Informasi Soil Body Collapse Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

Pada tahap pertama adalah memasukkan beban lalu lintas yang mengalami *collapse* yang mana terjadi displacement sebesar $246,38 \times 10^{-3}$ m. *Total Displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut ini.



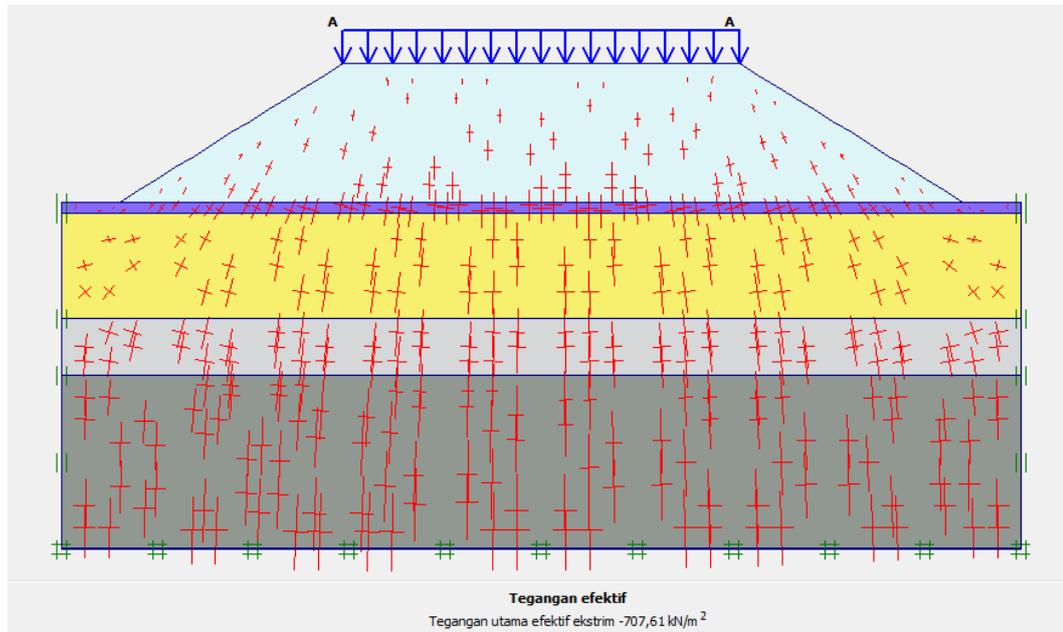
Gambar 5. 12 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

Arah pergerakan pada tanah timbunan lereng 12 m pada tahap yang pertama dengan memasukkan beban lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut ini.



Gambar 5. 13 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

Nilai *Effective Stresses* pada lereng timbunan 12 meter akibat beban lalu lintas sebesar $-707,61 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut ini.



Gambar 5. 14 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

Pada lereng timbunan 12 m tanah asli pada saat masa dan pasca konstruksi, program *plaxis* tidak dapat menampilkan nilai angka aman lereng asli karena lereng telah mengalami keruntuhan (*collapse*) yang ditandai dengan log info yang dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan dapat dipastikan nilai aman lereng sangat kecil yaitu < 1 . Hasil dari analisis timbunan pada lereng badan jalan dengan tanah asli tanpa perkuatan geotekstil pada timbunan 3 meter saat masa konstruksi dan pasca konstruksi mempunyai nilai *Safety Factor* $> 1,3$ yang artinya mempunyai nilai yang aman. Pada timbunan 6 meter dan 9 meter saat masa konstruksi dan pasca konstruksi mempunyai nilai *Safety Factor* $< 1,3$ yang artinya keadaan lereng sudah tidak aman. Pada timbunan 12 meter saat masa konstruksi mempunyai nilai angka aman $< 1,3$ yang artinya keadaan lereng sangat tidak aman, sedangkan pada saat pasca konstruksi lereng timbunan sudah mengalami *collapse* yang artinya tanah timbunan sudah sangat tidak aman dan mengalami kelongsoran. Untuk hasil rekapitulasi nilai angka aman lereng pada timbunan tanah asli dapat dilihat pada

Tabel 5.6 dan rekapitulasi besarnya nilai penurunan konsolidasi yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5. 2 Rekapitulasi *Safety Factor* Lereng Timbunan Tanah Asli

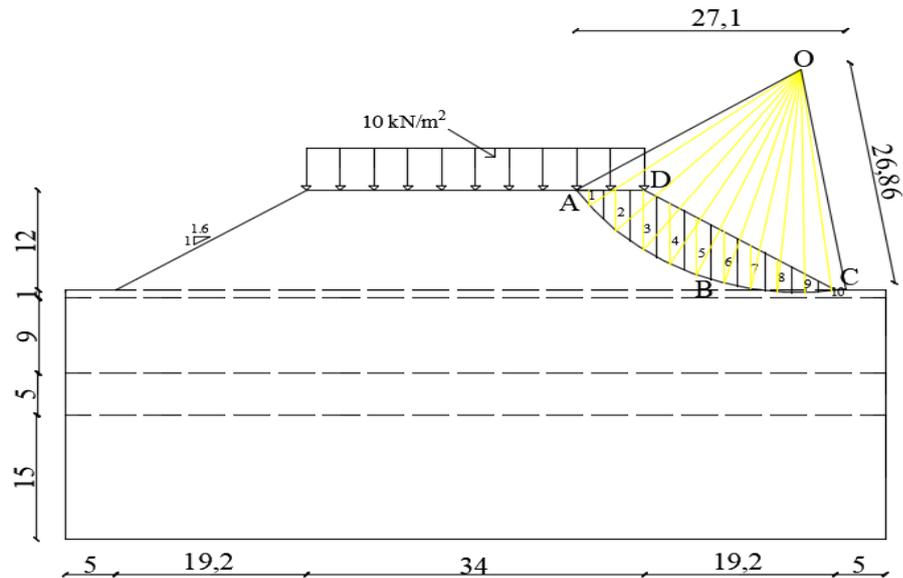
<i>Safety Factor</i>			Timbunan			
			3 Meter	6 Meter	9 Meter	12 Meter
Kondisi Tanah Asli	Masa Konstruksi	Beban Struktur	1,4307 (Aman)	1,1978 (Tidak Aman)	1,0784 (Tidak Aman)	<i>Collapse</i>
		Beban dan Gempa	1,4281 (Aman)	1,1976 (Tidak Aman)	1,0754 (Tidak Aman)	<i>Collapse</i>
	Pasca Konstruksi	Beban Lalu Lintas	1,3345 (Aman)	1,1712 (Tidak Aman)	1,0589 (Tidak Aman)	<i>Collapse</i>
		Beban dan Gempa	1,3333 (Aman)	1,1710 (Tidak Aman)	1,0570 (Tidak Aman)	<i>Collapse</i>

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Besar Konsolidasi yang Terjadi pada Lereng Timbunan Tanah Asli

Timbunan	Konsolidasi
	Kondisi Tanah Asli
3 m	0,022 m
6 m	0,058 m
9 m	0,114 m
12 m	<i>Collapse</i>

5.2.2 Perhitungan Manual dengan Metode Irisan Lereng Timbunan 12 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

Program *Plaxis* 8.6 pada tanah asli dengan tinggi timbunan 12 m pada saat masa konstruksi tidak menunjukkan nilai angka aman pada lereng, maka dari itu digunakan perhitungan manual dengan metode irisan untuk mencari nilai angka aman lereng. Program *Plaxis* menghasilkan garis potensi kelongsoran pada Gambar 5.15, dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa garis potensi kelongsoran terbentuk hingga kaki lereng R (jari-jari) 26,86 meter dan pada perhitungan ini akan dibagi menjadi 10 pias. Gambar gaya- gaya yang bekerja pada lereng dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut ini.



Gambar 5. 15 Gaya- Gaya yang Bekerja pada Irisan

Bidang longsor dibagi menjadi 10 pias. Panjang total dari bidang longsor arah horizontal adalah 27,1 meter, maka dari itu setiap irisan akan mempunyai panjang horizontal $27,1/10 = 2,71$ meter. Cara menghitung gaya berat setiap irisan dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5. 4 Perhitungan Gaya Berat Metode Irisan

Irisan Nomor	b (m)	h_i (m)	Berat W_i (kN)	θ ($^\circ$)	$W_i \cdot \cos\theta_i \cdot \tan\phi$ (kN)	$W_i \cdot \sin\theta_i$ (kN)
1	2,71	1,90	116,9338	52,41	23,4936	119,7579
2	2,71	4,92	302,797	43,75	72,0415	236,4881
3	2,71	7,19	442,520	36,20	117,6096	288,4442
4	2,71	7,33	451,1182	29,33	129,5356	220,9753
5	2,71	6,96	428,3469	22,89	129,9721	166,6111
6	2,71	6,25	384,6506	16,74	121,321	110,7906
7	2,71	5,22	321,2602	10,79	103,9407	60,1431
8a	2,71	3,62	222,7896	4,95	73,1051	19,2237
8b	2,71	0,28	12,1408	4,95	4,8869	1,0476
9a	2,71	1,93	118,7801	-0,83	39,1177	-1,7206
9b	2,71	0,37	16,0432	-0,83	6,4812	-0,2324
10a	2,71	0,23	14,1551	-6,63	4,6310	-1,6343
10b	2,71	0,20	8,672	-6,63	3,4803	-1,0012
Jumlah					829,6166	1218,8931

Dari hasil pengukuran panjang garis kurva AB= 22,396 meter dan panjang garis kurva BC= 8,9983 meter. Maka dapat dihitung tahanan terhadap kelongsoran yang diberikan oleh komponen kohesi adalah sebesar:

$$\Sigma c_{iai} = (22,396 \times 12,43) + (8,9983 \times 2) = 296,3789 \text{ kN}$$

Pada tanah timbunan terdapat beban merata yang memberikan gaya dorong pada lereng sebesar 10 kN/m² terhadap pias 1, pias 2, dan pias 3. Gaya yang mendorong diberikan beban merata terhadap tanah timbunan dengan tinggi 12 meter tersebut telah ditambahkan pada perhitungan.

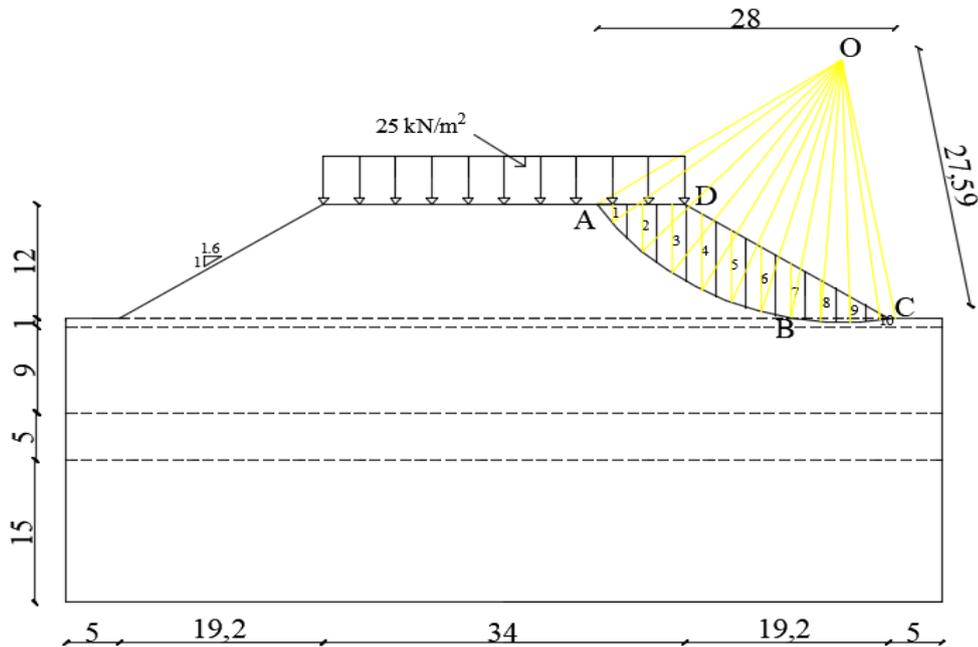
Maka faktor aman dari metode irisan dapat dicari menggunakan perbandingan gaya yang menahan dibagi dengan gaya yang mendorong. Nilai angka faktor aman yang dihasilkan pada lereng tanah timbunan dengan tinggi 12 meter adalah sebagai berikut ini.

$$\text{Faktor aman (SF)} = \frac{829,6166 + 296,3789}{1218,8931} = 0,9238$$

Nilai angka aman yang didapatkan pada analisis menggunakan metode irisan pada lereng timbunan 12 meter tanah asli adalah sebesar 0,9238 < 1, sehingga lereng timbunan tanah asli terjadi keruntuhan.

5.2.3 Perhitungan Manual dengan Metode Irisan Lereng Timbunan 12 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur

Program *Plaxis* 8.6 pada tanah asli dengan tinggi timbunan 12 m pada saat pasca konstruksi tidak menunjukkan nilai angka aman pada lereng, maka dari itu digunakan perhitungan manual dengan metode irisan untuk mencari nilai angka aman lereng. Program *Plaxis* menghasilkan garis potensi kelongsoran pada Gambar 5.16, dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa garis potensi kelongsoran terbentuk hingga kaki lereng R (jari-jari) 27,59 meter dan pada perhitungan ini akan dibagi menjadi 10 pias. Gambar gaya- gaya yang bekerja pada lereng dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut ini.



Gambar 5. 16 Gaya- Gaya yang Bekerja pada Irisan

Bidang longsor dibagi menjadi 10 irisan. Panjang total dari bidang longsor arah horizontal adalah 28 meter, maka dari itu setiap irisan akan mempunyai panjang horizontal $28/10 = 2,8$ meter. Cara menghitung gaya berat setiap irisan dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5. 5 Perhitungan Gaya Berat Metode Irisan

Irisan Nomor	b (m)	h_i (m)	Berat W_i (kN)	θ ($^\circ$)	$W_i \cdot \cos\theta_i \cdot \tan\phi$ (kN)	$W_i \cdot \sin\theta_i$ (kN)
1	2,8	1,94	111,9535	51,74	22,8331	157,907
2	2,8	4,99	287,9629	43,13	69,2179	266,8676
3	2,8	7,29	420,6913	35,6	112,6636	314,8941
4	2,8	8,05	464,5494	28,73	134,1698	233,3009
5	2,8	7,64	440,8891	22,28	134,3715	167,1557
6	2,8	6,86	395,8769	16,12	125,2609	109,9152
7	2,8	5,75	331,821	10,15	107,5793	58,4754
8a	2,8	4	230,832	4,28	75,8156	17,2271
8b	2,8	0,37	15,54	4,28	6,2611	1,1598
9a	2,8	2,25	129,843	-1,54	42,7501	-3,4895
9b	2,8	0,44	18,48	-1,54	7,4637	-0,4966
10a	2,8	0,5	28,854	-7,37	9,4249	-3,7013
10b	2,8	0,22	9,24	-7,37	3,7023	-1,1853
Jumlah					851,5140	1308,0299

Dari hasil pengukuran panjang garis kurva AB= 22,42 meter dan panjang garis kurva BC= 9,8523 meter. Maka dapat dihitung tahanan terhadap kelongsoran yang diberikan oleh komponen kohesi adalah sebesar:

$$\Sigma c_{iai} = (22,42 \times 12,43) + (9,8523 \times 2) = 298,3852 \text{ kN}$$

Pada tanah timbunan terdapat beban merata yang memberikan gaya dorong pada lereng sebesar 25 kN/m². Gaya yang mendorong diberikan beban merata terhadap tanah timbunan dengan tinggi 12 meter terhadap pias 1, pias 2, dan pias 3.

Maka faktor aman dari metode irisan dapat dicari menggunakan perbandingan gaya yang menahan dibagi dengan gaya yang mendorong. Nilai angka faktor aman yang dihasilkan pada lereng tanah timbunan dengan tinggi 12 meter adalah sebagai berikut ini.

$$\text{Faktor aman (SF)} = \frac{851,5140 + 298,3852}{1308,0299} = 0,8791$$

Nilai angka aman yang didapatkan pada analisis menggunakan metode irisan pada lereng timbunan 12 meter tanah asli adalah sebesar 0,8791 < 1, sehingga lereng timbunan tanah asli terjadi keruntuhan.

5.3 Lereng Timbunan Tanah dengan *Replacement* Tanpa Perkuatan

5.3.1 Analisis Menggunakan Program *Plaxis* Versi 8.6

Hasil analisis menggunakan program *plaxis 8.6* yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng tanah *Replacement* timbunan dengan tinggi 12 meter. Penjabaran analisis meliputi permodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi pasca konstruksi. Untuk hasil analisis lereng tanah *Replacement* dengan tinggi timbunan 3 meter dapat dilihat pada Lampiran, lereng tanah *Replacement* dengan tinggi timbunan 6 meter dapat dilihat pada Lampiran, dan lereng tanah *Replacement* dengan tinggi timbunan 9 meter dapat dilihat pada Lampiran.

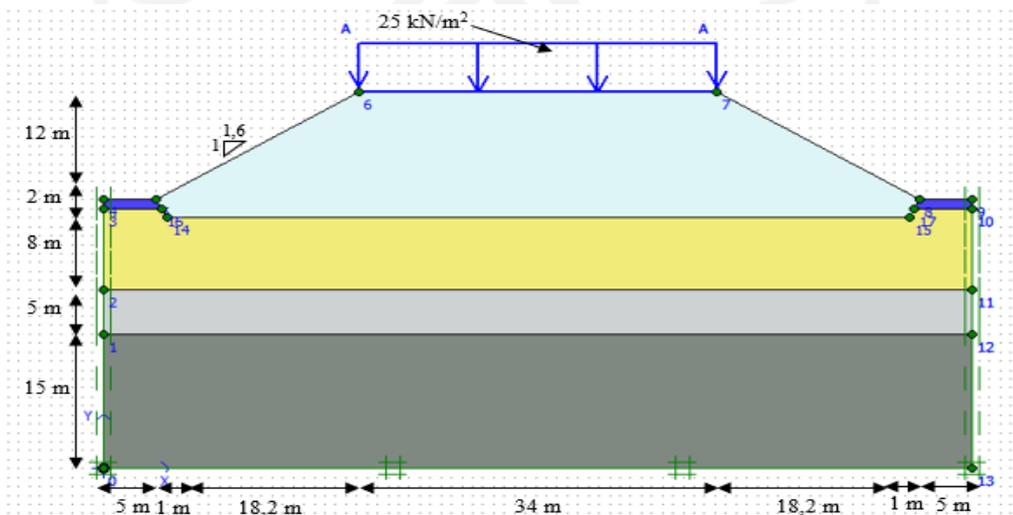
1. Permodelan Awal Lereng

Permodelan awal lereng dengan *Replacement* pada tanah dasar menggunakan jenis tanah yang sesuai data parameter tanah Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan di Stasiun 97+100. *Replacement* dibuat dengan melakukan galian sedalam dua meter, kemudian

ditimbun menggunakan tanah timbunan. Parameter beban sebagai input kedalam program *plaxis* adalah beban struktur pada kondisi masa konstruksi dan beban lalu lintas untuk kondisi pasca konstruksi. Beban gempa digunakan data SMC berupa grafik percepatan dan waktu gempa yang sesuai dengan gempa pada daerah Sumatera Selatan. Lebar jalan sepanjang 34 meter yang akan difungsikan sebagai Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan di Stasiun 97+100. Titik koordinat yang diinput kedalam *plaxis* 8.6 ditampilkan pada Tabel 5.6 dan untuk permodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.17.

Tabel 5. 6 Koordinat Lereng

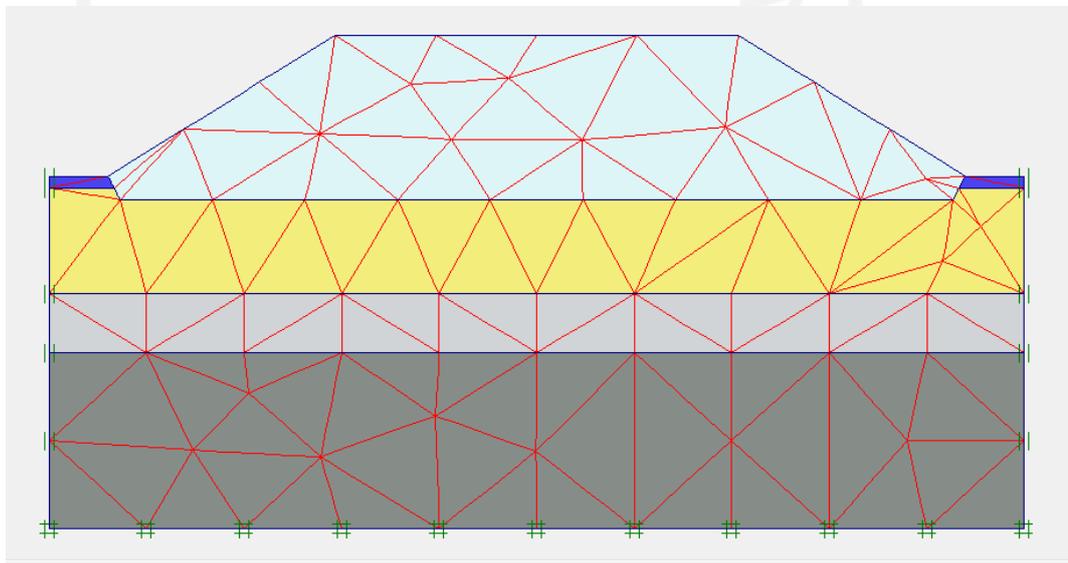
Nomor	X (m)	Y (m)	Nomor	X (m)	Y (m)
0	0	0	9	82,4	30
1	0	15	10	82,4	29
2	0	20	11	82,4	20
3	0	29	12	82,4	15
4	0	30	13	82,4	0
5	5	30	14	6	28
6	24,2	42	15	76,4	28
7	58,2	42	16	5,5	29
8	77,4	30	17	76,9	29



Gambar 5. 17 Permodelan Lereng Timbunan 12 m Replacement Tanpa Perkuatan

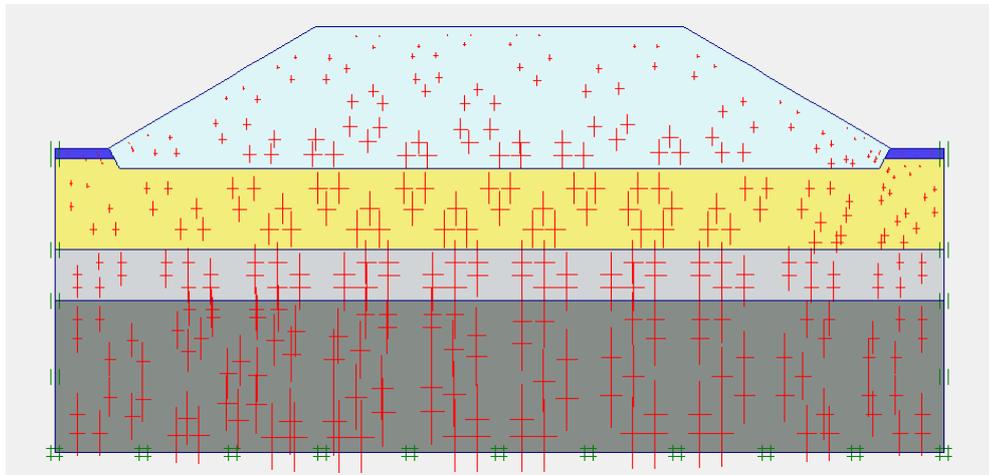
2. Kondisi masa konstruksi

Kondisi masa konstruksi terjadi saat pembebanan timbunan lereng, saat masa konstruksi tanah timbunan masih bersifat *undrained* karena tanah belum dapat terdrainase dengan baik. Beban merata yang terjadi pada saat masa konstruksi sebesar 10 kN/m^2 akibat beban dari struktur perkerasan, kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*Meshing*) setelah dilakukan input parameter tanah dan bahan. Hasil dari jaringan elemen hingga (*Meshing*) pada lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut ini.



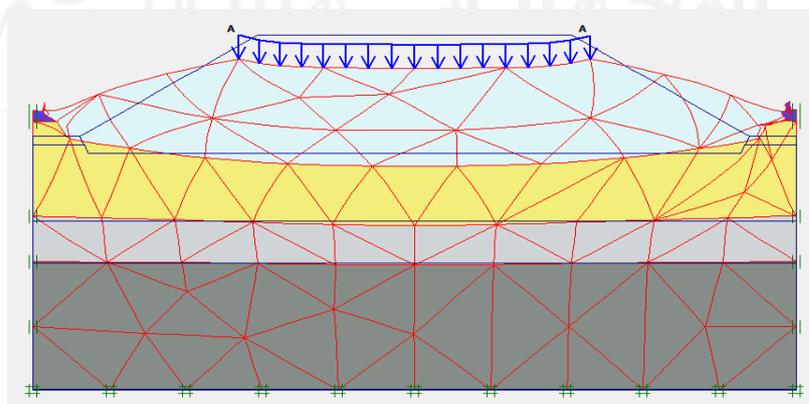
Gambar 5. 18 Meshing pada Lereng Timbunan 12 m Replacement Tanpa Perkuatan

Setelah dilakukan *Meshing* maka dilanjutkan dengan kondisi awal (*initial condition*). Pada analisis ini tidak mengikut sertakan tekanan air, maka konfigurasi geometri awal langsung dengan perhitungan *general initial stresses*. Hasil dari *Initial Soil Stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut ini.

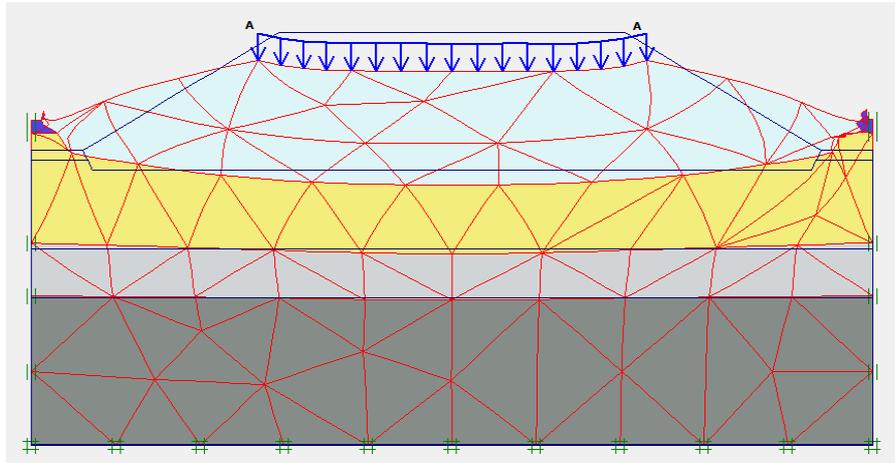


Gambar 5. 19 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 12 m Replacement Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi

Kemudian masuk ke tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan 12 meter tanah *Replacement* tanpa perkuatan dengan tujuh tahap. Tahap pertama adalah dengan analisis perhitungan galian base sedalam dua meter. Tahap kedua adalah analisis kondisi diberi timbunan base yang menggunakan tanah timbunan. Tahap ketiga adalah analisis perhitungan akibat adanya timbunan 12 meter. Tahap keempat adalah analisis perhitungan akibat diberi beban struktur pada permukaan lereng timbunan. Tahap kelima adalah perhitungan akibat beban gempa. Tahap keenam adalah perhitungan nilai angka aman akibat beban struktur dan tahap ketujuh adalah perhitungan nilai angka aman akibat beban dan gempa. Hasil *Deformed Mesh* pada timbunan lereng 12 meter dapat dilihat pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21 berikut ini.

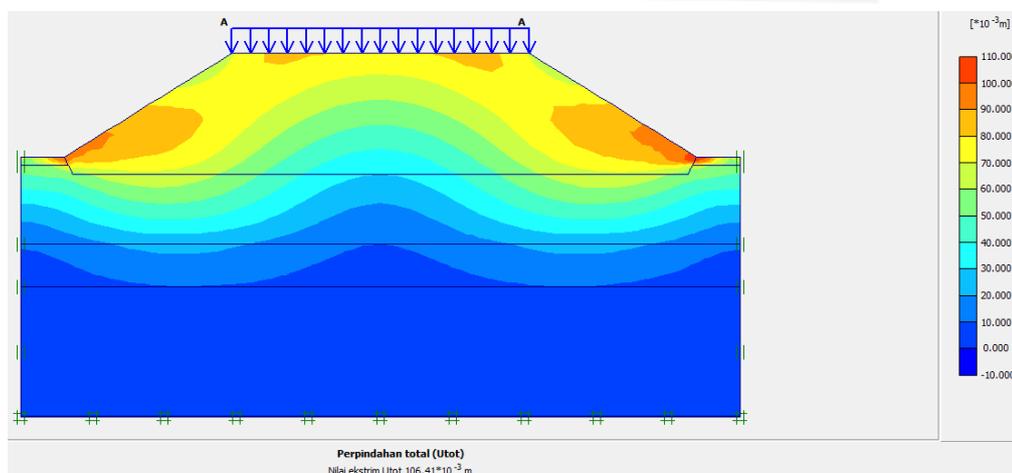


Gambar 5. 20 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

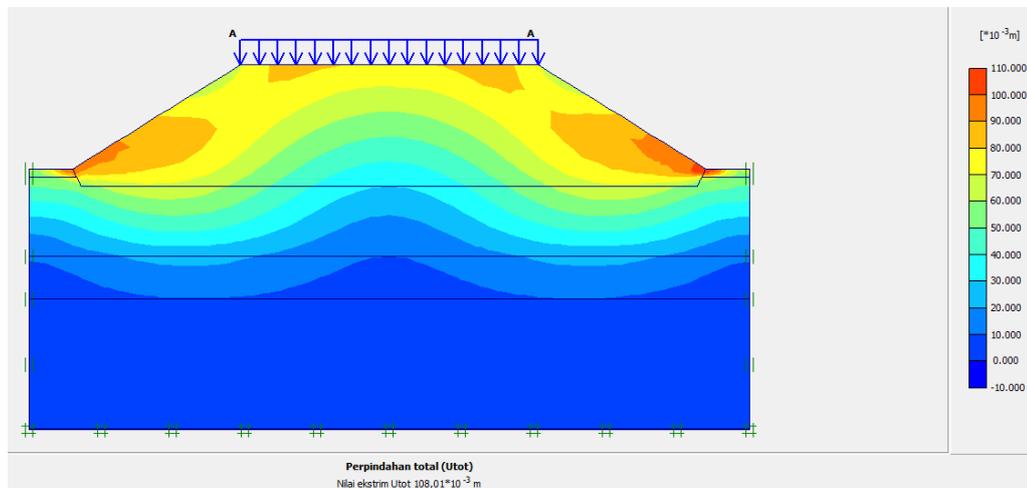


Gambar 5. 21 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa

Pada timbunan yang diberi beban struktur terjadi *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada tanah timbunan bagian kanan dan bagian kiri timbunan, bagian ini ditandai dengan warna merah, sedangkan pada timbunan yang diberi beban struktur dan beban gempa, *displacement* terbesar terjadi juga di bagian kanan dan bagian kiri timbunan. Besarnya nilai *Total Displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban struktur sebesar $106,41 \times 10^{-3}$ meter, sedangkan pada tanah timbunan lereng dengan beban struktur dan beban gempa sebesar $108,01 \times 10^{-3}$ meter. *Total Displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 berikut ini.

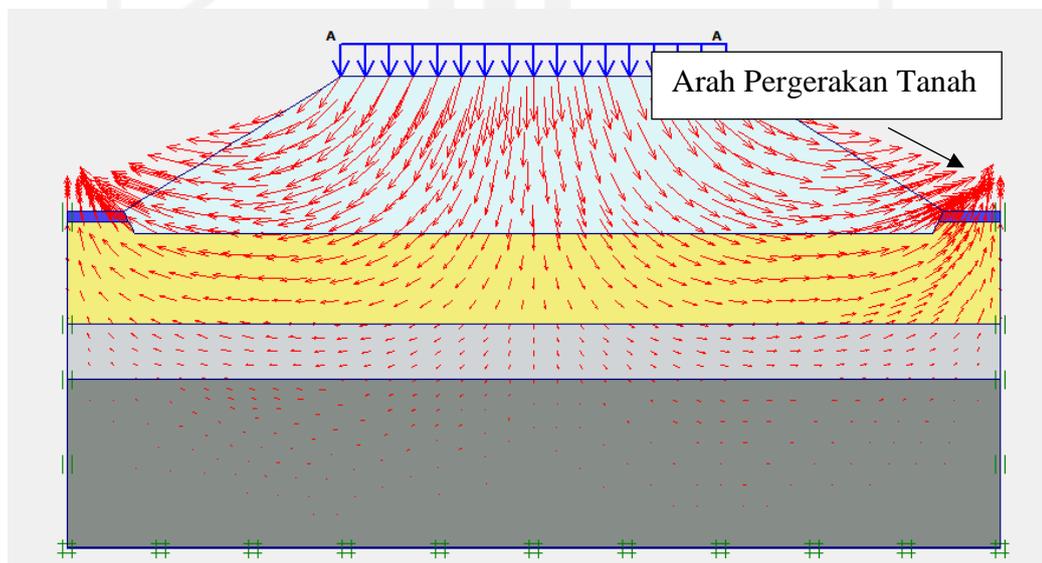


Gambar 5. 22 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

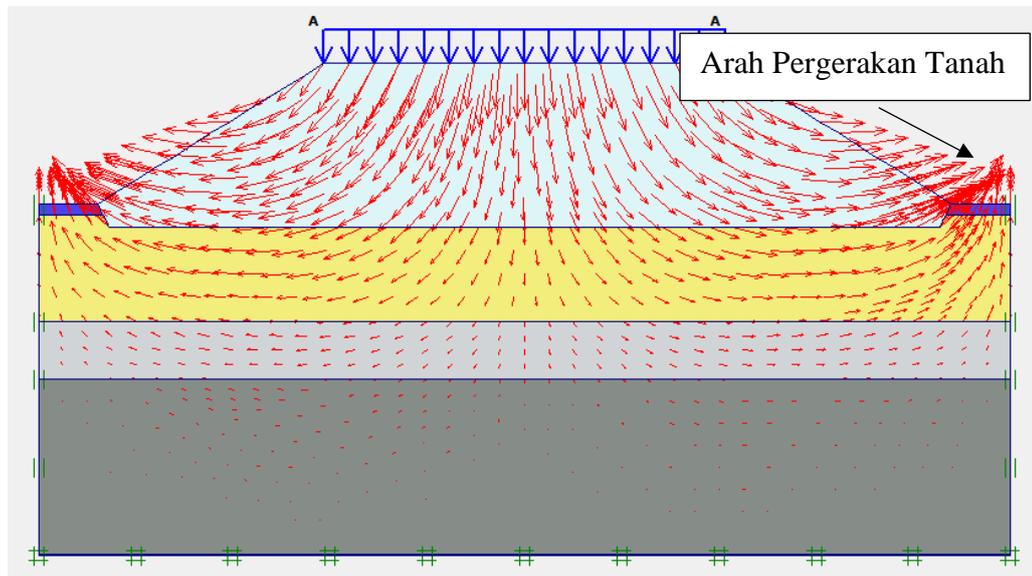


Gambar 5. 23 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Arah pergerakan tanah akibat beban struktur didominasi oleh pergerakan secara vertikal, sedangkan pergerakan akibat beban dan gempa terjadi gerkan memutar dikarenakan adanya gaya gempa. Arah pergerakan pada tanah timbunan lereng 12 meter dapat dilihat pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.32 berikut ini.

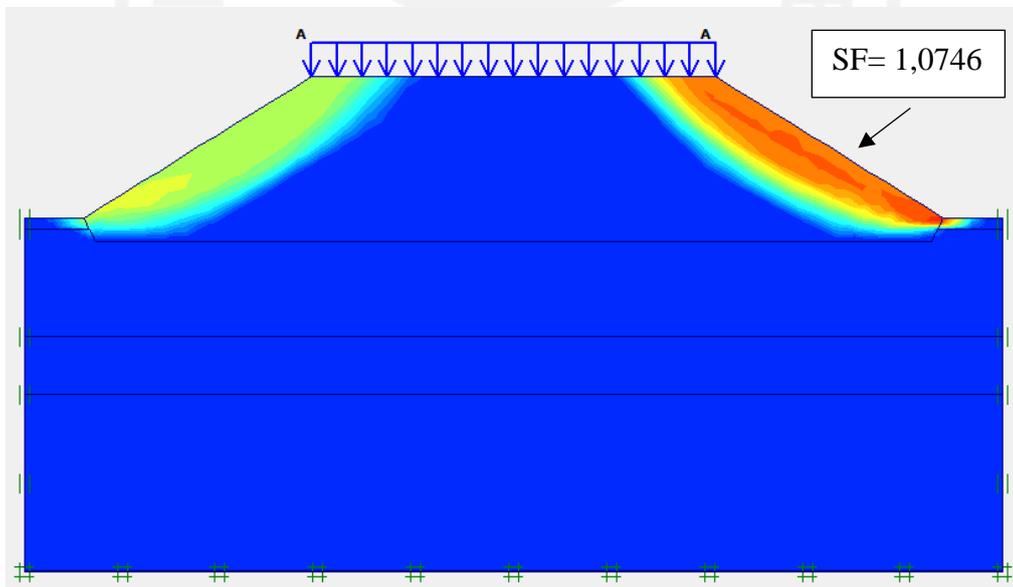


Gambar 5. 24 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

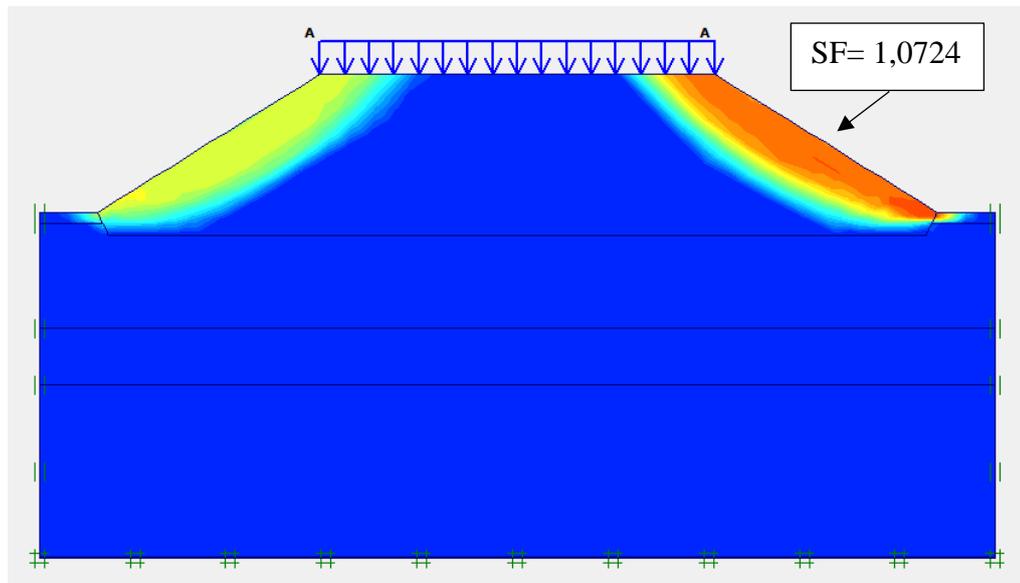


Gambar 5. 25 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m *Replacement* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Potensi kelongsoran akibat beban struktur dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 berikut ini.

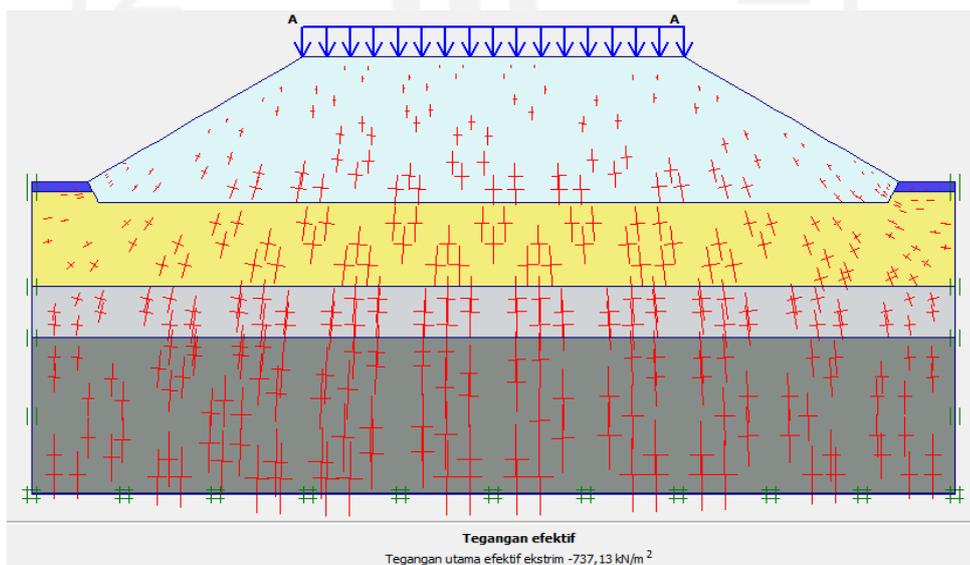


Gambar 5. 26 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

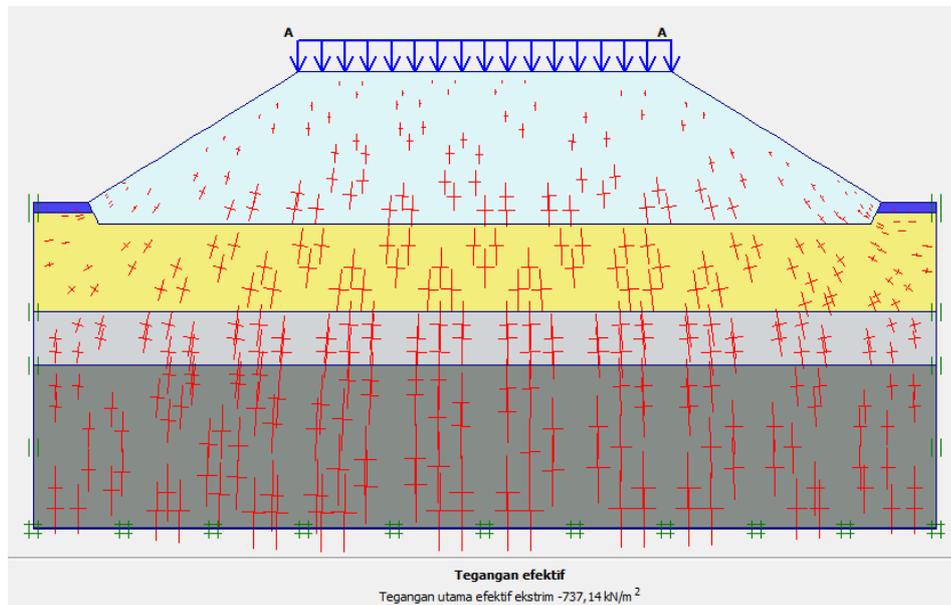


Gambar 5. 27 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement Masa* Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Hasil analisis program *plaxis* menunjukkan bahwa garis-garis yang mengindikasikan arah dan besarnya tegangan efektif semakin kebawah garis-garis itu semakin terlihat banyak. Besarnya nilai *Effective Stresses* pada lereng timbunan 12 meter akibat beban struktur sebesar $-737,13 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-737,14 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.28 dan Gambar 5.29 berikut ini.

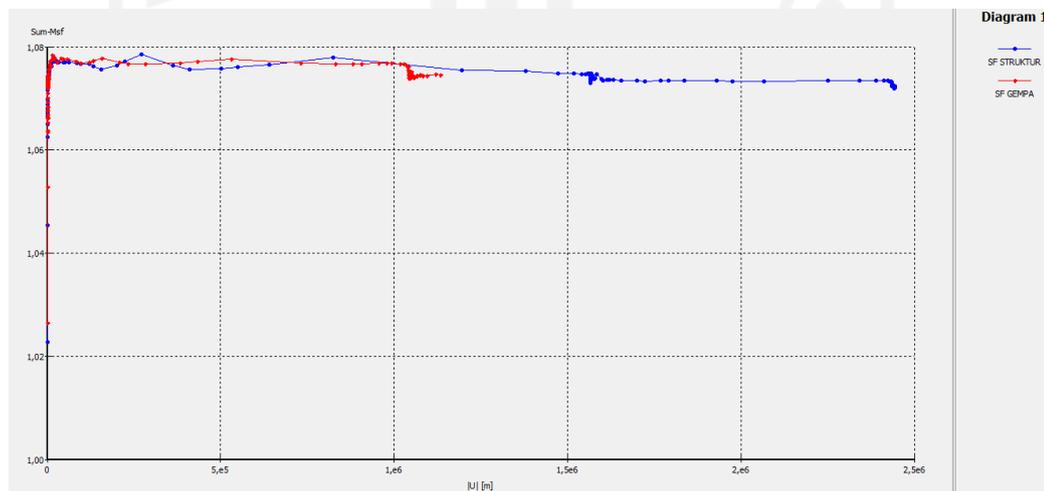


Gambar 5. 28 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m *Replacement Masa* Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 29 Effective Stresses Lereng Timbunan 12 m Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

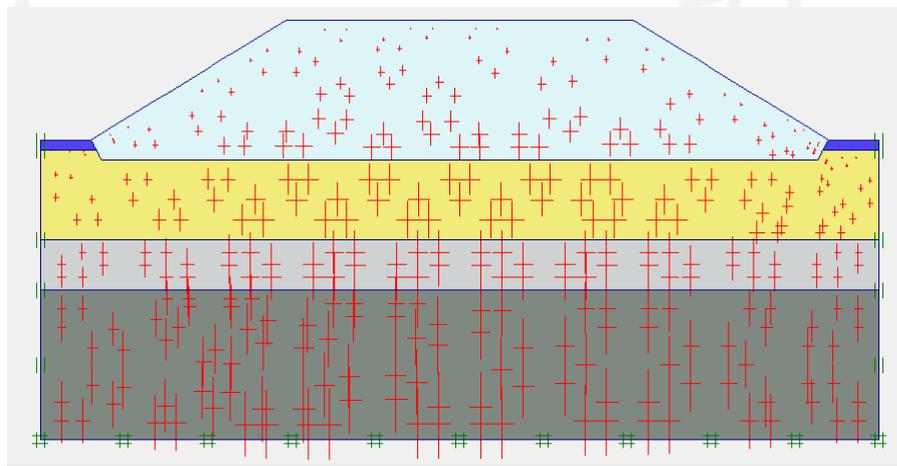
Nilai angka aman lereng timbunan 12 meter yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur sebesar 1,0746 dan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,0724. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.30 berikut ini.



Gambar 5. 30 Kurva SF Lereng Timbunan 12 m Replacement Masa Konstruksi

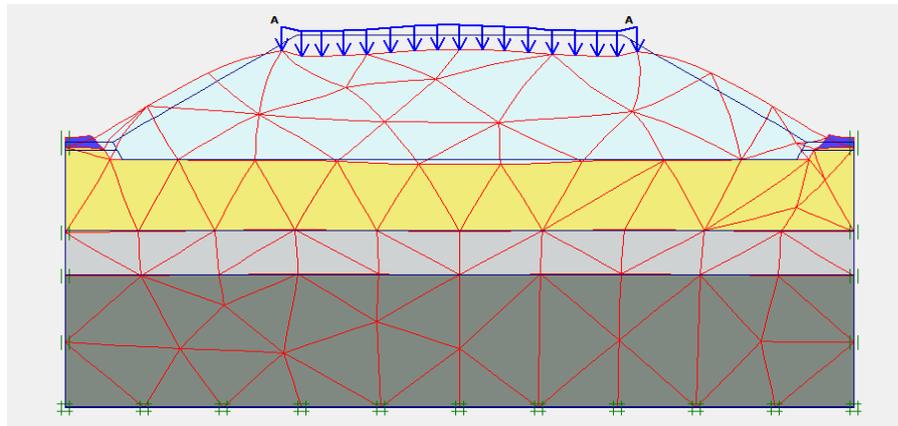
3. Kondisi pasca konstruksi

Kondisi pasca konstruksi adalah saat timbunan lereng sudah dapat difungsikan. Pada kondisi pasca konstruksi tanah timbunan menjadi bersifat *drained* karena tanah sudah terdrainase dengan baik. Pada kondisi ini juga beban lalu lintas menjadi parameter beban tambahan untuk analisis. *Initial Soil Stresses* dilakukan *generate* kembali karena kondisi tanah awal untuk pasca konstruksi telah selesai penimbunan setinggi 12 meter. Hasil *Initial Soil Stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut ini.

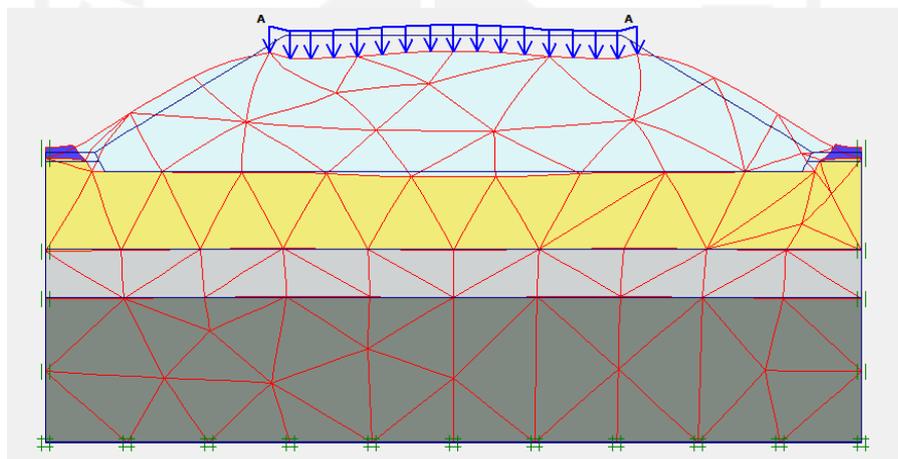


Gambar 5. 31 *Initial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 12 m *Replacement* Tanpa Perkuatan Pasca Konstruksi

Kemudian masuk ke tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan 12 meter tanah *Replacement* tanpa perkuatan pasca konstruksi dengan lima tahap. Tahap pertama adalah analisis perhitungan akibat adanya timbunan 12 meter. Tahap kedua adalah analisis perhitungan akibat diberi beban struktur pada permukaan lereng timbunan. Tahap ketiga adalah perhitungan akibat beban gempa. Tahap keempat adalah perhitungan nilai angka aman akibat beban struktur dan tahap kelima adalah perhitungan nilai angka aman akibat beban dan gempa. Hasil *Deformed Mesh* pada timbunan lereng 12 meter dapat dilihat pada Gambar 5.32 dan Gambar 5.33 berikut ini.

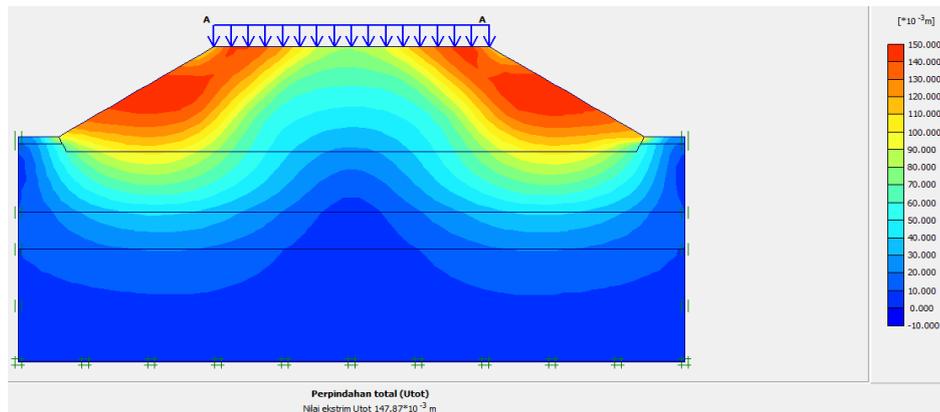


Gambar 5. 32 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur

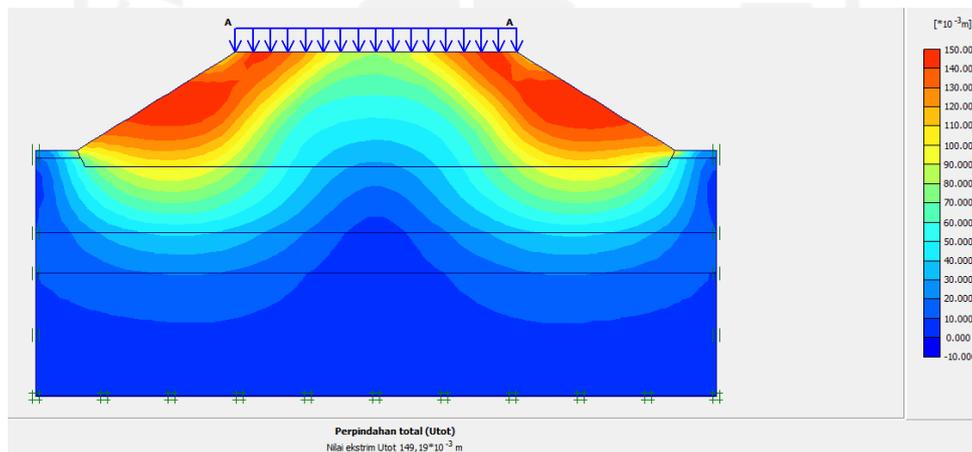


Gambar 5. 33 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Pada timbunan yang diberi beban struktur terjadi *displacement* yang lebih terkonsentrasi pada tanah timbunan bagian kanan dan bagian kiri timbunan, bagian ini ditandai dengan warna merah, sedangkan pada timbunan yang diberi beban struktur dan beban gempa, *displacement* terbesar terjadi juga di bagian kanan dan bagian kiri timbunan. Besarnya nilai *Total Displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban struktur sebesar $147,87 \times 10^{-3}$ meter, sedangkan pada tanah timbunan lereng dengan beban struktur dan beban gempa sebesar $149,19 \times 10^{-3}$ meter. *Total Displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.34 dan Gambar 5.35 berikut ini.

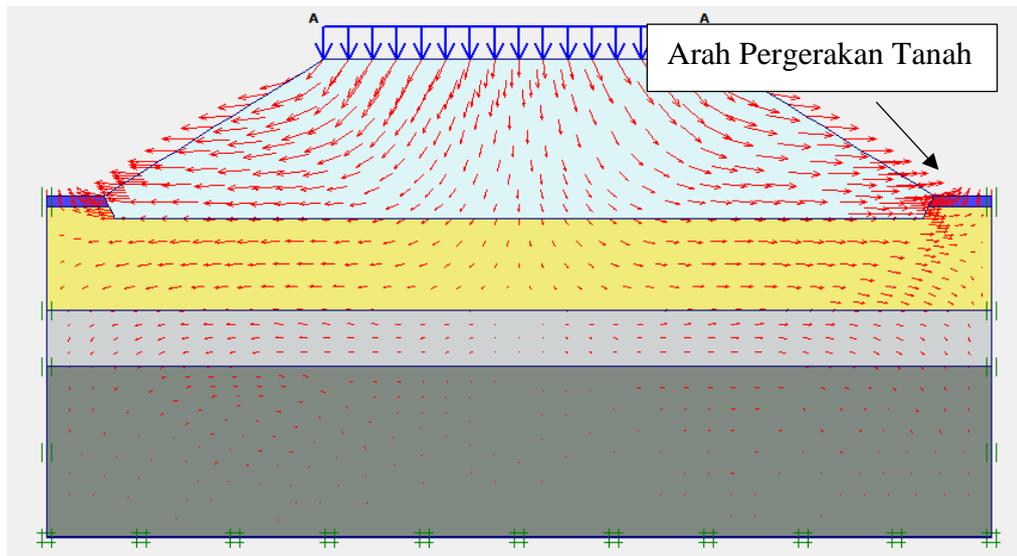


Gambar 5. 34 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur

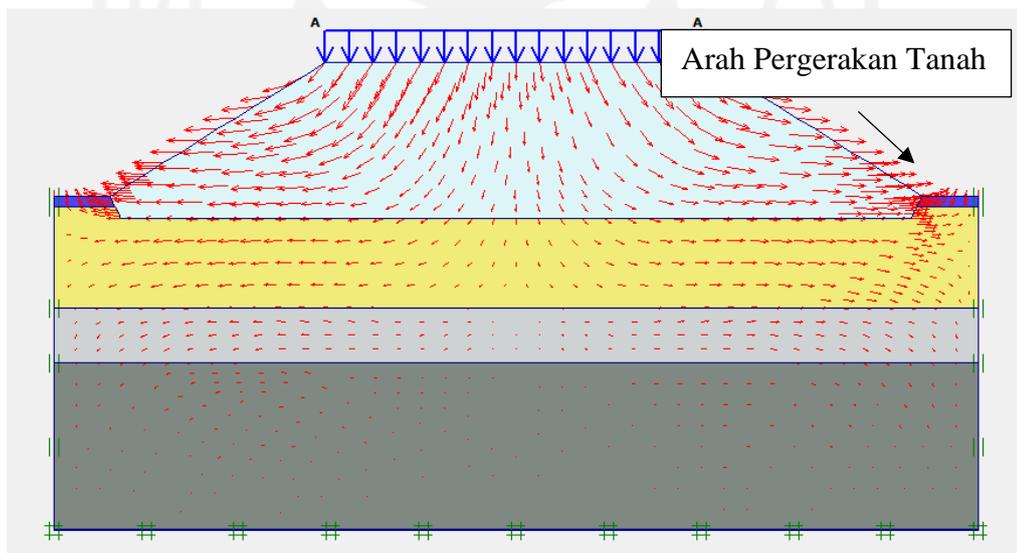


Gambar 5. 35 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Arah pergerakan tanah akibat beban struktur didominasi oleh pergerakan secara vertikal, sedangkan pergerakan akibat beban dan gempa terjadi gerkan memutar dikarenakan adanya gaya gempa. Arah pergerakan pada tanah timbunan lereng 12 meter dapat dilihat pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 berikut ini.

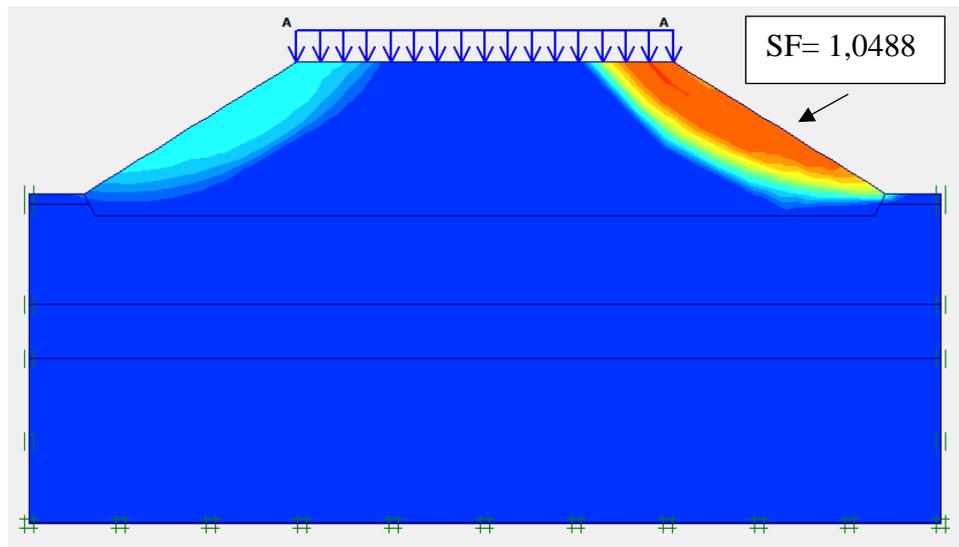


Gambar 5. 36 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m *Replacement* Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur

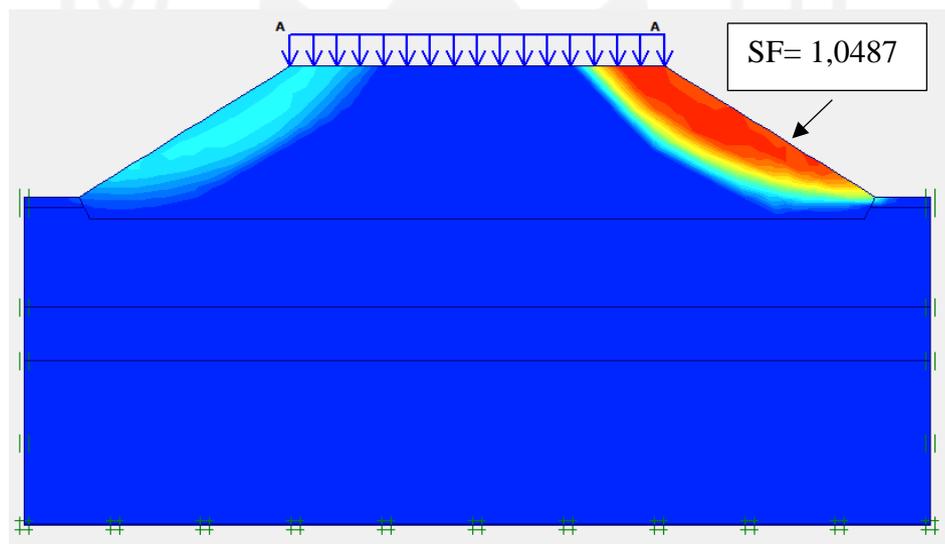


Gambar 5. 37 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m *Replacement* Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Potensi kelongsoran akibat beban struktur dan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.45 dan Gambar 5.46 berikut ini.

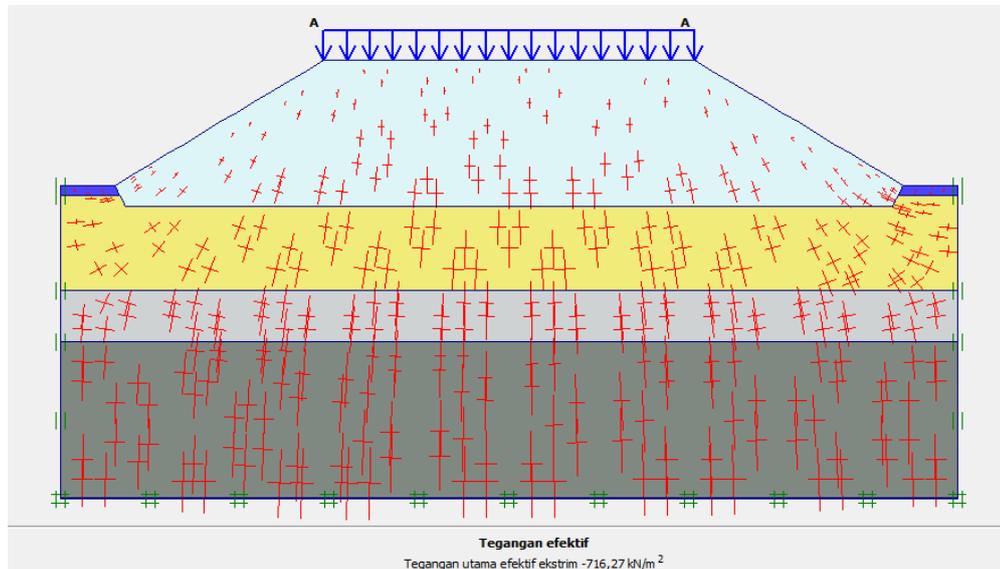


Gambar 5. 38 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur

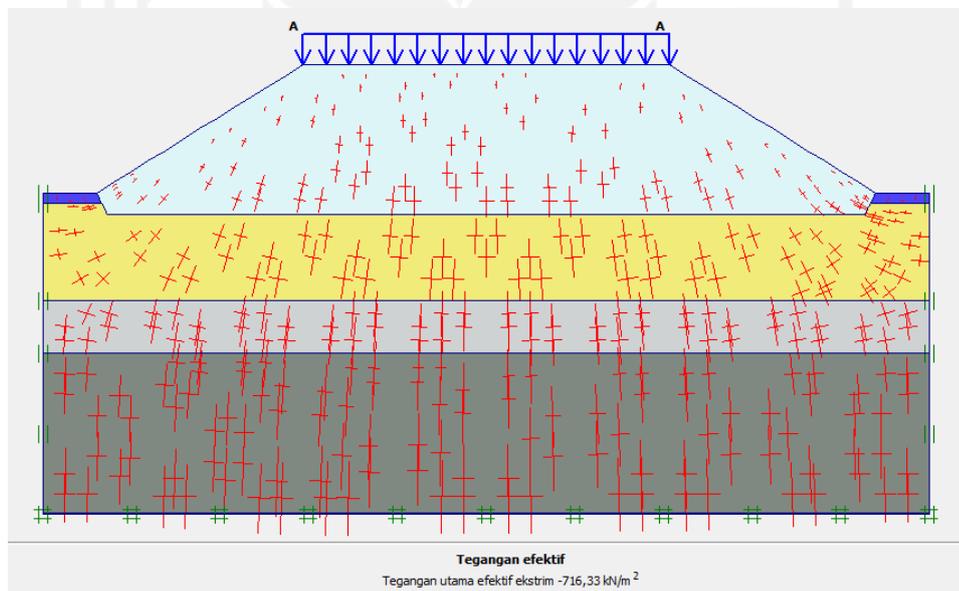


Gambar 5. 39 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan *Replacement* Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Hasil analisis program *plaxis* menunjukkan bahwa garis-garis yang mengindikasikan arah dan besarnya tegangan efektif semakin kebawah garis-garis itu semakin terlihat banyak. Besarnya nilai *Effective Stresses* pada lereng timbunan 12 meter akibat beban struktur sebesar $-716,27 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-716,33 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.40 dan Gambar 5.48 berikut ini.



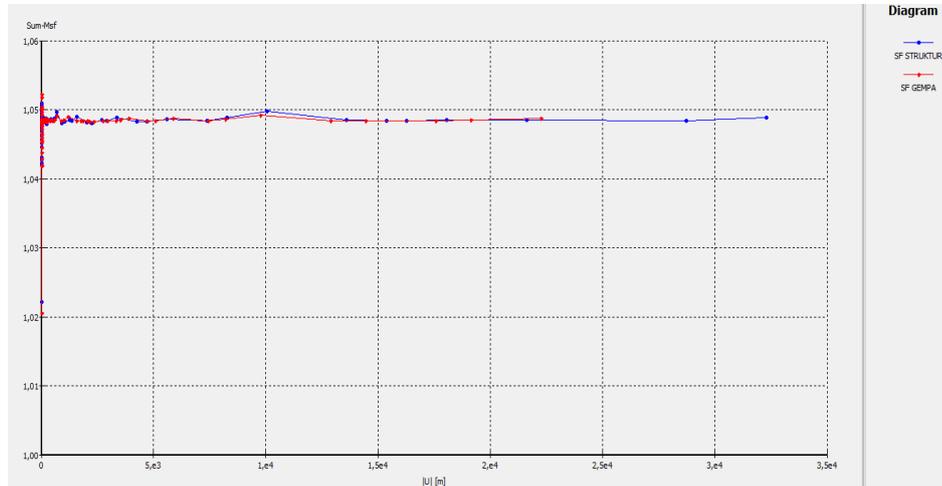
Gambar 5. 40 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m *Replacement* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 41 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m *Replacement* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Nilai angka aman lereng timbunan 12 meter dengan *Replacement* yang didapatkan dari hasil analisis akibat beban struktur sebesar 1,0488 dan nilai angka aman akibat

beban dan gempa sebesar 1,0487. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.42 berikut ini.



Gambar 5. 42 Kurva SF Lereng Timbunan 12 m Replacement Pasca Konstruksi

Untuk tanah *Replacement* dengan tanah timbunan hasilnya tidak berbeda jauh dengan menggunakan tanah asli. Dari hasil analisis ini menunjukkan angka *Safety Factor* yang dihasilkan oleh tanah *Replacement* meningkatkan nilai *Safety Factor* lereng timbunan dibandingkan dengan menggunakan tanah asli. Besarnya konsolidasi yang terjadi pada tanah displacement lebih besar dibandingkan dengan lereng timbunan tanah asli. Hasil rekapitulasi analisis dengan program *plaxis* untuk tanah *Replacement* dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan rekapitulasi konsolidasi yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5. 7 Rekapitulasi *Safety Factor* Lereng Timbunan Tanah *Replacement*

<i>Safety Factor</i>			Timbunan			
			3 Meter	6 Meter	9 Meter	12 Meter
Kondisi Tanah dengan <i>Replacement</i>	Masa Konstruksi	Beban Struktur	1,8981 (Aman)	1,3812 (Aman)	1,1889 (Tidak Aman)	1,0746 (Tidak Aman)
		Beban dan Gempa	1,8823 (Aman)	1,3806 (Aman)	1,1887 (Tidak Aman)	1,0724 (Tidak Aman)
	Pasca Konstruksi	Beban Lalu Lintas	1,7181 (Aman)	1,3387 (Aman)	1,1716 (Tidak Aman)	1,0488 (Tidak Aman)
		Beban dan Gempa	1,7146 (Aman)	1,3371 (Aman)	1,1700 (Tidak Aman)	1,0487 (Tidak Aman)

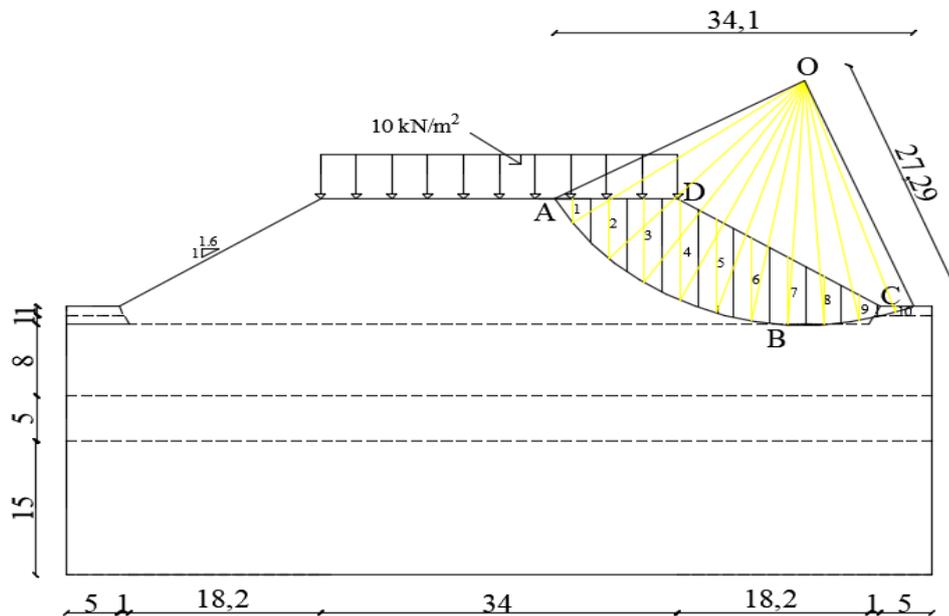
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Besar Konsolidasi yang Terjadi pada Lereng Timbunan Tanah *Replacement*

Timbunan	Konsolidasi
	Kondisi <i>Tanah Replacement</i>
3 m	0,019 m
6 m	0,040 m
9 m	0,063 m
12 m	0,098 m

Dari rekapitulasi hasil analisis untuk lereng timbunan tanah asli dan lereng timbunan tanah dengan *Replacement*, maka dapat disimpulkan pada timbunan 3 meter tidak perlu diberi perkuatan lagi karena sudah mempunyai nilai angka aman baik saat kondisi konstruksi maupun pasca konstruksi, sedangkan untuk timbunan 6 meter sampai 12 meter untuk meningkatkan nilai angka aman lereng timbunan. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis dengan perkuatan geotekstil jenis *woven*. Analisis dengan perkuatan geotekstil tetap akan dilakukan analisis dengan tanah asli dan tanah dengan *Replacement* untuk mengetahui perbedaan pada saat telah diberi perkuatan. Dari hasil analisis lereng timbunan tanpa perkuatan bidang longsor yang dihasilkan lebih didominasi pada bagian kanan dan kiri lereng timbunan, oleh karena itu pemasangan geotekstil akan dilakukan pada bagian tanah timbunan secara mendatar.

5.3.2 Perhitungan Manual dengan Metode Irisan Lereng Timbunan 12 Meter Tanah *Replacement* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

Program *Plaxis* 8.6 pada tanah *Replacement* dengan tinggi timbunan 12 m pada saat masa konstruksi tidak menunjukkan nilai angka aman pada lereng, maka dari itu digunakan perhitungan manual dengan metode irisan untuk mencari nilai angka aman lereng. Program *Plaxis* menghasilkan garis potensi kelongsoran pada Gambar 5.43, dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa garis potensi kelongsoran terbentuk hingga kaki lereng R (jari-jari) 27,29 meter dan pada perhitungan ini akan dibagi menjadi 10 pias. Gambar gaya- gaya yang bekerja pada lereng dapat dilihat pada Gambar 5.43 berikut ini.



Gambar 5. 43 Gaya- Gaya yang Bekerja pada Irisan

Bidang longsor dibagi menjadi 10 pias. Panjang total dari bidang longsor arah horizontal adalah 34,1 meter, maka dari itu setiap irisan akan mempunyai panjang horizontal $34,1/10 = 3,41$ meter. Cara menghitung gaya berat setiap irisan dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5. 9 Perhitungan Gaya Berat Metode Irisan

Irisan Nomor	b (m)	h_i (m)	Berat W_i (kN)	θ ($^\circ$)	$W_i \cdot \cos\theta_i \cdot \tan\phi$ (kN)	$W_i \cdot \sin\theta_i$ (kN)
1	3,41	2,68	207,5421	54,20	39,9858	202,4299
2	3,41	6,57	508,7880	43,32	121,9173	383,1654
3	3,41	9,30	720,2022	34,13	196,3532	438,1857
4	3,41	11,13	861,9194	25,86	255,4573	410,0466
5	3,41	10,37	803,0642	18,13	251,3684	249,8928
6	3,41	9,12	760,2628	10,73	228,550	131,4928
7	3,41	7,41	573,8386	3,51	188,647	35,1320
8	3,41	5,28	408,8890	-3,66	134,3985	-26,1017
9	3,41	2,71	209,8654	-10,88	67,8795	-39,6126
10	3,41	0,63	34,3728	-18,28	13,1868	-10,7814
Jumlah					1497,7438	1773,8493

Dari hasil pengukuran panjang garis kurva AB= 36,4155 meter dan panjang garis kurva BC= 3,0974 meter. Maka dapat dihitung tahanan terhadap kelongsoran yang diberikan oleh komponen kohesi adalah sebesar:

$$\Sigma c_{iai} = (36,4155 \times 12,43) + (3,0974 \times 2) = 458,8395 \text{ kN}$$

Pada tanah timbunan terdapat beban merata yang memberikan gaya dorong pada lereng sebesar 10 kN/m² terhadap pias 1, pias 2, pias 3, dan pias 4. Gaya yang mendorong diberikan beban merata terhadap tanah timbunan dengan tinggi 12 meter tersebut telah ditambahkan pada perhitungan.

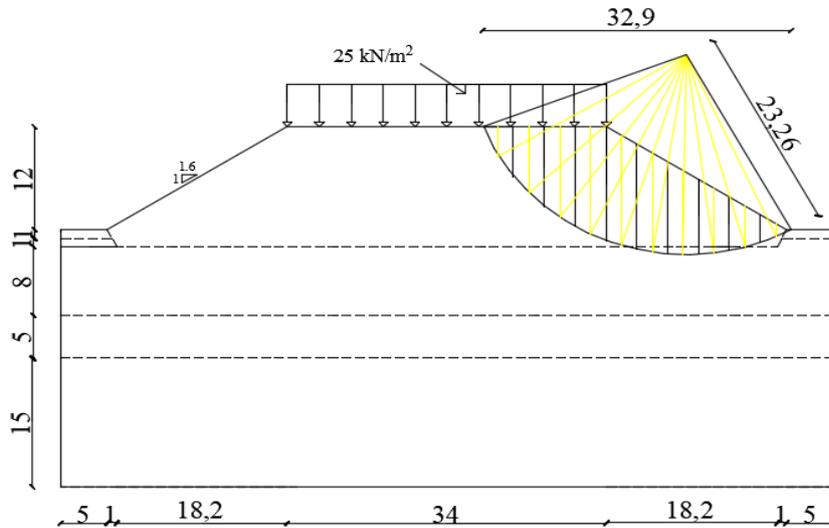
Maka faktor aman dari metode irisan dapat dicari menggunakan perbandingan gaya yang menahan dibagi dengan gaya yang mendorong. Nilai angka faktor aman yang dihasilkan pada lereng tanah timbunan dengan tinggi 12 meter adalah sebagai berikut ini.

$$\text{Faktor aman (SF)} = \frac{458,8395 + 1497,7438}{1773,8493} = 1,1030$$

Nilai angka aman yang didapatkan pada analisis menggunakan metode irisan pada lereng timbunan 12 meter tanah asli adalah sebesar 1,1030 < 1,30, sehingga lereng timbunan tanah *Replacement* tidak aman.

5.3.3 Perhitungan Manual dengan Metode Irisan Lereng Timbunan 12 Meter Tanah *Replacement* Pasca Konstruksi Akibat Beban Struktur

Program *Plaxis* 8.6 pada tanah *Replacement* dengan tinggi timbunan 12 m pada saat pasca konstruksi tidak menunjukkan nilai angka aman pada lereng, maka dari itu digunakan perhitungan manual dengan metode irisan untuk mencari nilai angka aman lereng. Program *Plaxis* menghasilkan garis potensi kelongsoran pada Gambar 5.44, dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa garis potensi kelongsoran terbentuk hingga kaki lereng R (jari-jari) 23,26 meter dan pada perhitungan ini akan dibagi menjadi 10 pias. Gambar gaya- gaya yang bekerja pada lereng dapat dilihat pada Gambar 5.44 berikut ini.



Gambar 5. 44 Gaya- Gaya yang Bekerja pada Irisan

Bidang longsor dibagi menjadi 10 irisan. Panjang total dari bidang longsor arah horizontal adalah 32,9 meter, maka dari itu setiap irisan akan mempunyai panjang horizontal $32,9/10 = 3,29$ meter. Cara menghitung gaya berat setiap irisan dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5. 10 Perhitungan Gaya Berat Metode Irisan

Irisan Nomor	b (m)	h_i (m)	Berat W_i (kN)	θ (°)	$W_i \cdot \cos\theta_i \cdot \tan\phi$ (kN)	$W_i \cdot \sin\theta_i$ (kN)
1	3,29	3,41	231,2215	59,56	38,5833	281,6
2	3,29	7,75	525,5035	46,11	119,9934	460,9657
3	3,29	10,58	717,3970	35,39	192,6259	497,7225
4	3,29	12,53	849,6205	25,96	251,5987	454,1659
5	3,29	12,83	869,9625	17,23	273,6753	257,6900
6a	3,29	10,94	741,8075	8,9	241,3827	114,7653
6b	3,29	0,6	29,61	8,9	15,5543	4,581
7a	3,29	8,88	602,1253	0,76	198,3007	7,9867
7b	3,29	0,88	43,428	0,76	23,0890	0,576
8a	3,29	6,83	463,1211	-7,36	151,2785	-59,3273
8b	3,29	0,69	34,0515	-7,36	17,9563	-4,3621
9	3,29	4,77	323,4389	-15,65	102,5797	87,251
10	3,29	1,54	104,4226	-24,28	31,3508	42,9382
Jumlah					1657,9687	2146,5528

Dari hasil pengukuran panjang garis kurva AB= 26,831 meter dan panjang garis kurva BC= 12,8207 meter. Maka dapat dihitung tahanan terhadap kelongsoran yang diberikan oleh komponen kohesi adalah sebesar:

$$\Sigma c_{iai} = (26,831 \times 12,43) + (12,8207 \times 20) = 589,9233 \text{ kN}$$

Pada tanah timbunan terdapat beban merata yang memberikan gaya dorong pada lereng sebesar 25 kN/m². Gaya yang mendorong diberikan beban merata terhadap tanah timbunan dengan tinggi 12 meter terhadap pias 1, pias 2, dan pias 3.

Maka faktor aman dari metode irisan dapat dicari menggunakan perbandingan gaya yang menahan dibagi dengan gaya yang mendorong. Nilai angka faktor aman yang dihasilkan pada lereng tanah timbunan dengan tinggi 12 meter adalah sebagai berikut ini.

$$\text{Faktor aman (SF)} = \frac{1657,9687 + 589,9233}{2146,5528} = 1,0472$$

Nilai angka aman yang didapatkan pada analisis menggunakan metode irisan pada lereng timbunan 12 meter tanah asli adalah sebesar 1,0472 < 1,30, sehingga lereng timbunan tanah asli tidak aman.

5.4 Perhitungan Kebutuhan Geotekstil

5.4.1 Data Perhitungan Geotekstil

1. Parameter Tanah Timbunan

Tanah yang akan diperkuat oleh geotekstil adalah pada bagian tanah timbunan karena bidang longsor paling besar terdapat pada bagian tanah timbunan. Parameter tanah dalam perhitungan kebutuhan geotekstil adalah sebagai berikut.

- b. Berat volume tanah (γ_b) = 20,61 kN/m³
- c. Kohesi (c) = 12,43 kN/m²
- d. Sudut gesek dalam (ϕ) = 18,23°

2. Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan sebagai perkuatan pada penelitian ini adalah jenis geotekstil woven. Data geotekstil diperoleh dari produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan jenis geotekstil woven UW-250 yang masing-masing nilai kuat tarik geotekstil dan regangannya yang digunakan adalah sebesar 52

kN/m dan 20%. Data yang akan diinput kedalam plaxis adalah berupa nilai normal stiffness (EA) yang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} EA &= \frac{F_g}{\Delta l/l} \\ &= \frac{52}{20/100} \\ &= 260 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

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

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

Data parameter geotekstil yang digunakan sebagai perhitungan dan input kedalam program plaxis dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5. 11 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

(Sumber: P.T. Teknindo Geosistem Unggul, 2015)

3. Koefisien Daya Dukung Tanah

Pada perhitungan kebutuhan geotekstil dibutuhkan data koefisien daya dukung tanah. Penelitian ini menggunakan data koefisien daya dukung tanah yang didapatkan dari Departemen Pekerjaan Umum (2009). Untuk nilai koefisien daya dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5. 12 Koefisien Daya Dukung Tanah

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

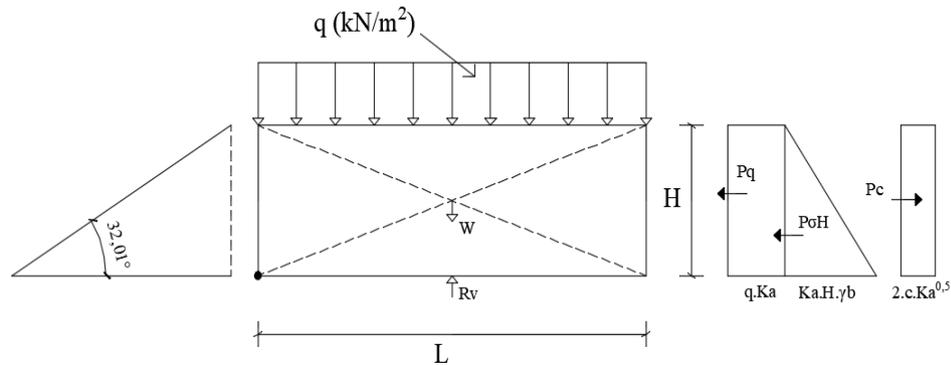
(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

5.4.2 Stabilitas Eksternal

Dalam perencanaan 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 digunakan adalah beban maksimal pada kondisi pasca konstruksi sebesar 25 kN/m^2 . Nilai *Safety Factor* sebagai acuan dalam perhitungan

kebutuhan geotekstil digunakan 1,5. Gaya-gaya yang akan bekerja pada tanah timbunan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.50 berikut ini.



Gambar 5. 45 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Timbunan Lereng

1. Menentukan Jarak Arah Vertikal Minimal Antar Lapis Geotekstil (SV)

Perhitungan koefisien aktif tanah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Ka &= \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)^2 \\ &= \tan\left(45 - \frac{18,23}{2}\right)^2 \\ &= 0,526 \end{aligned}$$

- a. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 6 meter

$$\begin{aligned} \sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\ &= (25 \times 0,526) + (0,526 \times 6 \times 20,61) - (2 \times 12,43 \times \sqrt{0,526}) \\ &= 60,165 \\ SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{26}{60,165 \times 1,5} \\ &= 0,288 \text{ m} \end{aligned}$$

Di lapangan dipasang SV= 0,5 meter (minimal)

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

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

- b. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 9 meter

$$\begin{aligned}\sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\ &= (25 \times 0,526) + (0,526 \times 9 \times 20,61) - (2 \times 12,43 \times \sqrt{0,526}) \\ &= 92,688 \\ SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{26}{92,688 \times 1,5} \\ &= 0,187 \text{ m}\end{aligned}$$

Di lapangan dipasang SV= 0,5 meter (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis= 9 meter/0,5 meter= 18 lapis

Pada penelitian untuk timbunan lereng 8 meter akan digunakan geotekstil sebanyak maksimal 6 lapis.

- c. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 12 meter

$$\begin{aligned}\sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\ &= (25 \times 0,526) + (0,526 \times 12 \times 20,61) - (2 \times 12,43 \times \sqrt{0,526}) \\ &= 125,211 \\ SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{26}{125,211 \times 1,5} \\ &= 0,138 \text{ m}\end{aligned}$$

Di lapangan dipasang SV= 0,5 meter (minimal)

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

Pada penelitian untuk timbunan lereng 12 meter akan digunakan geotekstil sebanyak maksimal 10 lapis.

2. Menentukan panjang geotekstil

a. Stabilitas terhadap guling

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

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

$$\Sigma MR = \left(\frac{1}{2} \times q \times L^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times \gamma_b \times H \times L^2 \right)$$

$$SF = \frac{\left(\frac{1}{2} \times 25 \times L^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 20,61 \times 12 \times L^2 \right)}{\left(25 \times 0,526 \times \frac{1}{2} \times 12^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 0,526 \times 20,61 \times 12^2 \times \frac{1}{3} \times 12 \right) - \left(2 \times 12,43 \times \sqrt{0,526} \times \frac{1}{2} \times 12^2 \right)}$$

$$SF = \frac{136,16 \times L^2}{2770,813}$$

$$L^2 = \frac{2770,813 \times 1,5}{136,16} = 30,523 \text{ m}$$

$$L = 5,525 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan guling diambil sepanjang 6 meter.

b. Stabilitas terhadap geser

$$SF = \frac{(q \times \tan \delta \times L) + (H \times \gamma_b \times \tan \delta \times L)}{(q \times Ka \times H) + \left(\frac{1}{2} \times Ka \times \gamma_b \times H^2 \right) - (2 \times c \times \sqrt{Ka} \times H)}$$

Tahanan geser pada dasar perkuatan $\left(\delta = \frac{2}{3} \times 18,23^\circ = 12,153 \right)$

$$SF = \frac{(25 \times \tan(12,153) \times L) + (12 \times 20,61 \times \tan(12,153) \times L)}{(25 \times 0,526 \times 12) + \left(\frac{1}{2} \times 0,526 \times 20,61 \times 12^2 \right) - (2 \times 12,43 \times \sqrt{0,526} \times 12)}$$

$$SF = \frac{58,644 \times L}{721,983}$$

$$L = \frac{721,983 \times 1,5}{58,644}$$

$$L = 18,467 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan geser diambil sepanjang 19 meter.

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

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

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

$$e = \frac{\Sigma MD}{R_v} = \frac{(25 \times 0,526 \times \frac{1}{2} \times 12^2) + (\frac{1}{2} \times 0,526 \times 20,61 \times 12^2 \times \frac{1}{3} \times 12) - (2 \times 12,43 \times \sqrt{0,526} \times \frac{1}{2} \times 12^2)}{(12 \times 20,61 \times L) + (25 \times L)}$$

$$\frac{L}{6} \geq \frac{2770,813}{272,32 \times L}$$

$$L^2 = 61,049$$

$$L = 7,813 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan eksentrisitas diambil sepanjang 8 meter.

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

$$N_c = 13,1$$

$$N_\gamma = 4,07$$

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

$$\sigma_{ult} = [(c \times N_c) + (0,5 \times L \times \gamma_b \times N_\gamma)] \times SF$$

$$\sigma_{ult} = [(12,43 \times 13,1) + (0,5 \times L \times 20,61 \times 4,07)] \times 1,5$$

$$\sigma_{ult} = 162,833 + (62,91 \times L)$$

$$L \leq \frac{162,833 + (62,91 \times L)}{(12 \times 20,61) + 25}$$

$$272,32 L \leq 162,833 + (62,91 \times L)$$

$$L = \frac{162,833}{272,32 - 62,91}$$

$$L = 0,778 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan daya dukung tanah diambil 1 m. Dari keempat jenis parameter stabilitas lereng diatas, digunakan panjang geotekstil yang maksimum yaitu 19 meter. Untuk panjang kebutuhan geotekstil lereng dengan tinggi timbunan yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil

Tinggi Timbunan (H)	Stabilitas Guling	Stabilitas Geser	Stabilitas Eksentrisitas	Stabilitas Daya Dukung	Panjang Minimum (L)
6 m	2,470 m	7,771 m	3,494 m	1,899 m	8 m
9 m	3,994 m	13,076 m	5,649 m	1,103 m	14 m
12 m	5,525 m	18,467 m	7,813 m	0,778 m	19 m

5.4.3 Stabilitas Internal

1. Panjang *overlapping* geotekstil

a. Timbunan 6 meter

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

$$L_o = \frac{60,165 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 20,61 \times 6 \times \tan 18,23^\circ}$$

$$L_o = 0,554 \text{ m}$$

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

b. Timbunan 9 meter

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

$$L_o = \frac{92,688 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 20,61 \times 9 \times \tan 18,23^\circ}$$

$$L_o = 0,569 \text{ m}$$

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

c. Timbunan 12 meter

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

$$L_o = \frac{125,211 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 20,61 \times 12 \times \tan 18,23^\circ}$$

$$L_o = 0,576 \text{ m}$$

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

2. Panjang efektif geotekstil

a. Timbunan 6 meter

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

$$L_e = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,526 \times 20,61 \times 6}{2 \times 20,61 \times 6 \times \tan 18,23^\circ}$$

$$L_e = 0,599 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,6 meter.

b. Timbunan 9 meter

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

$$L_e = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,526 \times 20,61 \times 9}{2 \times 20,61 \times 9 \times \tan 18,23^\circ}$$

$$L_e = 0,599 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,6 meter.

c. Timbunan 12 meter

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

$$L_e = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,526 \times 20,61 \times 12}{2 \times 20,61 \times 9 \times \tan 18,23^\circ}$$

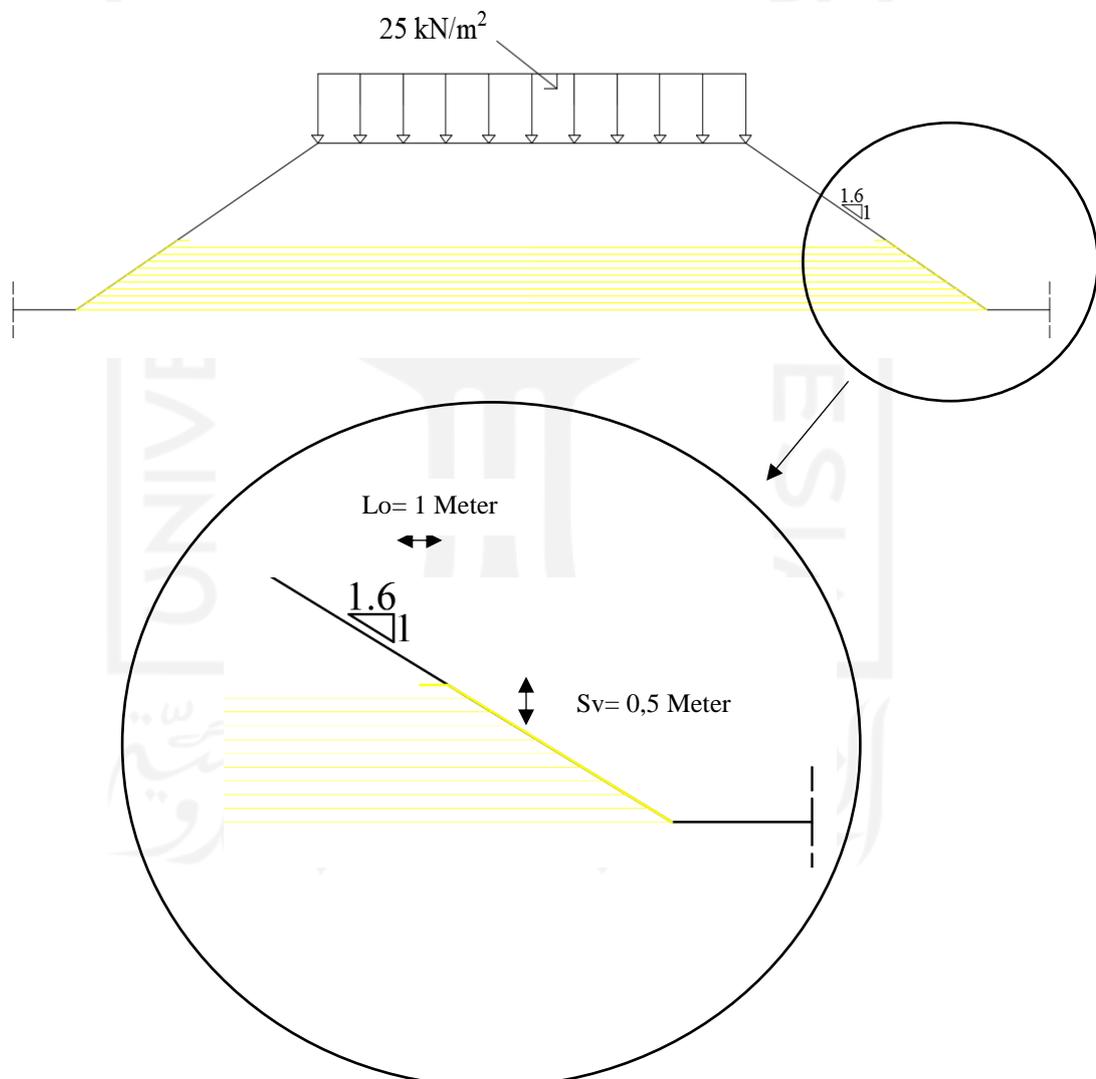
$$L_e = 0,599 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,6 meter.

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Stabilitas Internal

Timbunan (m)	Svi (m)	Svi Pakai (m)	Lo (m)	Lo Pakai (m)
6	0,288	0,5	0,554	1
9	0,187	0,5	0,569	1
12	0,138	0,5	0,576	1

Berdasarkan hasil analisis menggunakan program *Plaxis* versi 8.6, lereng timbunan tanah asli dan tanah *Replacement* pada saat masa dan pasca konstruksi untuk tinggi 6 meter membutuhkan 1 lapis geotekstil, tinggi 9 meter membutuhkan 5-6 lapis geotekstil, dan tinggi 12 meter membutuhkan 10 lapis geotekstil.

**Gambar 5. 46 Stabilitas Internal Lereng Timbunan**

5.5 Lereng Timbunan Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil

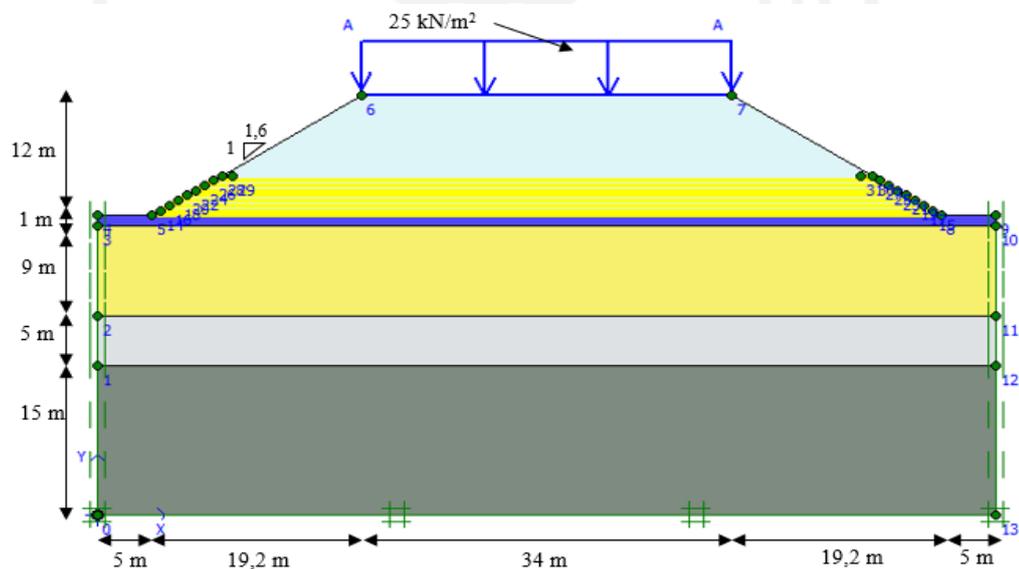
Hasil analisis dari program *plaxis* 8.6 menghasilkan kesimpulan lereng yang diberi perkuatan adalah timbunan 6 meter sampai timbunan 12 meter, selanjutnya lereng timbunan tanah asli tersebut akan diperkuat dengan geotekstil yang jumlahnya sesuai perhitungan kebutuhan geotekstil sebelumnya dengan kondisi geometri yang sama. Hasil analisis menggunakan program *plaxis* 8.6 yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng timbunan tanah asli 12 meter dengan diberi perkuatan geotekstil, sedangkan pada lereng timbunan tanah asli 6 meter dengan diberi perkuatan geotekstil dapat dilihat pada lampiran, dan lereng timbunan tanah asli 9 meter dengan diberi perkuatan geotekstil dapat dilihat pada lampiran. Tahapan analisis meliputi permodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi pasca konstruksi.

1. Permodelan awal lereng

Permodelan lereng menggunakan tanah asli dengan geometri yang sama pada timbunan 12 meter tanpa perkuatan, sedangkan geotekstil dipasang secara mendatar dengan SV sebesar 0,5 meter dan panjang *overlapping* 1 meter. Panjang geotekstil yang digunakan sepanjang lereng pada bagian dasar timbunan. Titik koordinat yang diinput kedalam *plaxis* 8.6 ditampilkan pada Tabel 5.14 dan untuk permodelan lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.46 berikut ini.

Tabel 5. 15 Koordinat Lereng

No.	X (m)	Y (m)	No.	X (m)	Y (m)
0	0	0	16	6.6	31
1	0	15	17	75.8	31
2	0	20	18	7.4	31.5
3	0	29	19	75	31.5
4	0	30	20	8.2	32
5	5	30	21	74.2	32
6	24.2	42	22	9	32.5
7	58.2	42	23	73.4	32.5
8	77.4	30	24	9.8	33
9	82.4	30	25	72.6	33
10	82.4	29	26	10.6	33.5
11	82.4	20	27	71.8	33.5
12	82.4	15	28	11.4	34
13	82.4	0	29	71	34
14	5.8	30.5	30	12.4	34
15	76.6	30.5	31	70	34

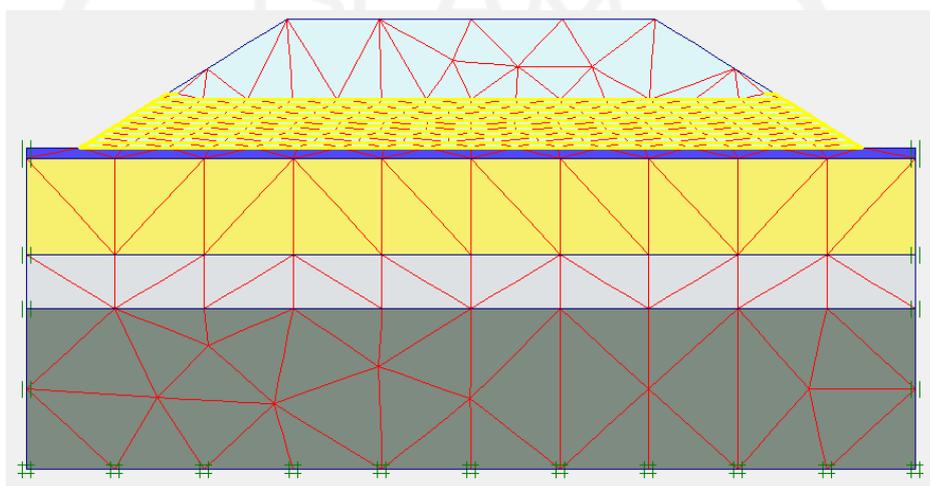


Gambar 5. 47 Permodelan Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi

2. Kondisi masa konstruksi

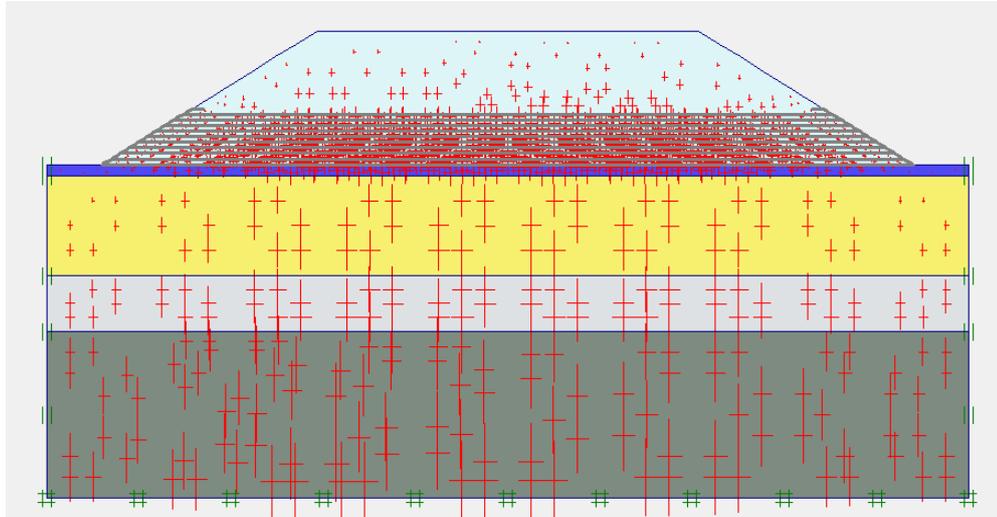
Pada kondisi ini lereng timbunan mempunyai parameter beban dan gempa yang sama dengan lereng timbunan tanah asli tanpa perkuatan geotekstil yaitu sebesar

10 kN/m². Kemudian parameter yang harus ditambahkan adalah parameter *normal stiffness* (EA) sebesar 260 kN/m. Selanjutnya dilakukan penyusunan jaringan elemen (*Meshing*), tahapan berikutnya sama dengan lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil. Hasil dari jaringan elemen hingga (*Meshing*) pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.47 berikut ini.



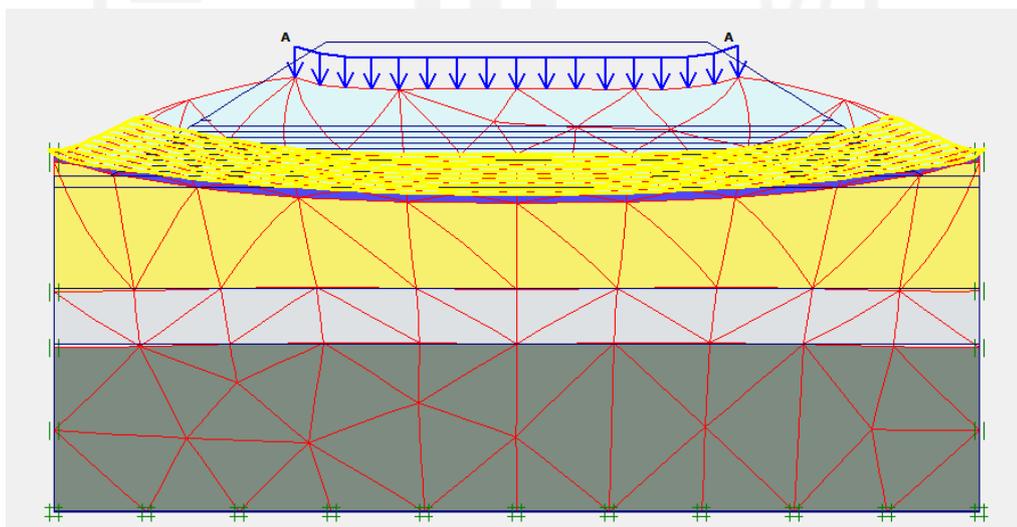
Gambar 5. 48 Meshing pada Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi

Setelah itu dilanjutkan dengan kondisi awal (*initial condition*), selanjutnya Pada analisis ini tidak mengikut sertakan tekanan air, maka konfigurasi geometri awal langsung dengan perhitungan *general initial stresses*. Hasil dari *Initial Soil Stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.48 berikut.

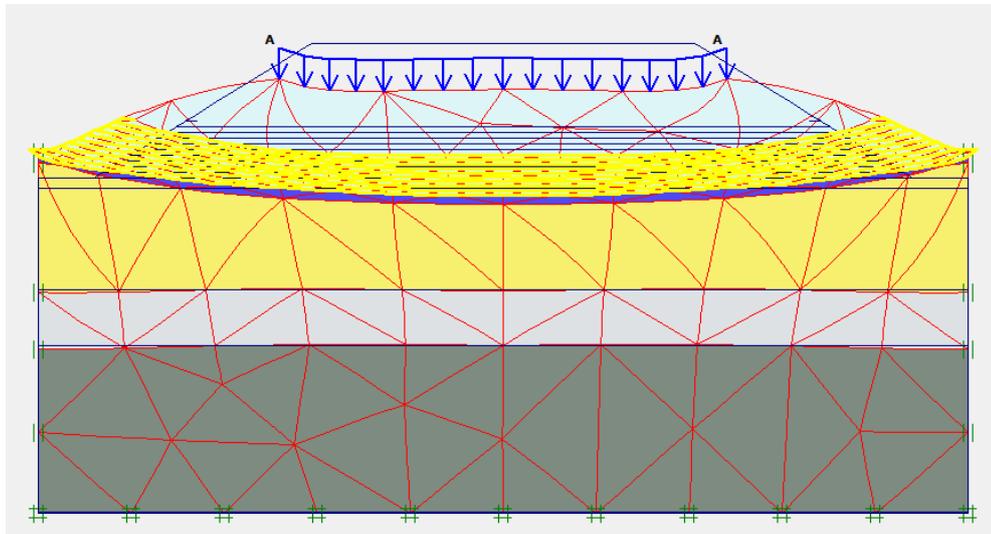


Gambar 5. 49 *Initial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi

Kemudian masuk ke tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan 12 meter tanah asli dengan perkuatan geotekstil dengan lima tahap sama seperti lereng tanah timbunan tanpa perkuatan geotekstil sebelumnya. Hasil *Deformed Mesh* pada timbunan lereng 12 meter dapat dilihat pada Gambar 5.49 dan Gambar 5.50 berikut ini.

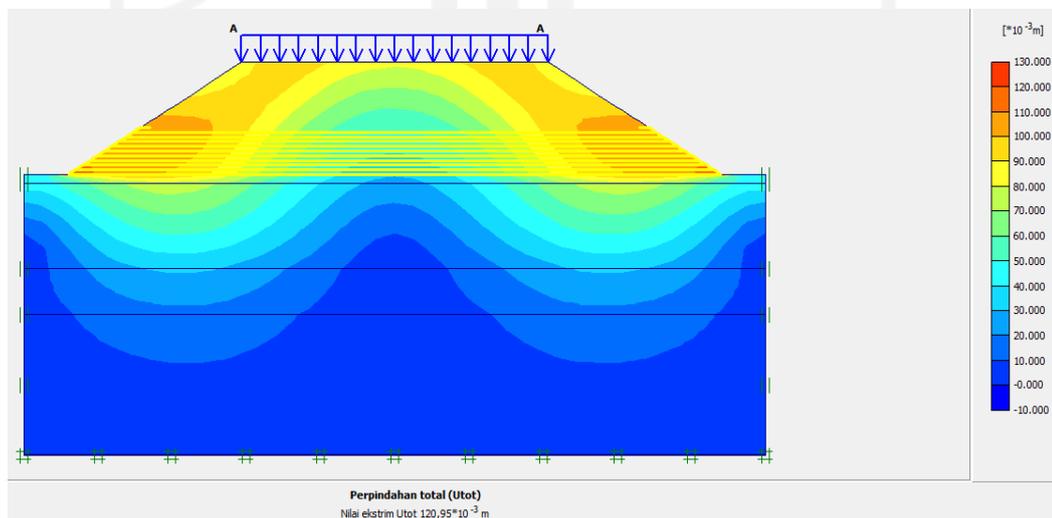


Gambar 5. 50 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur

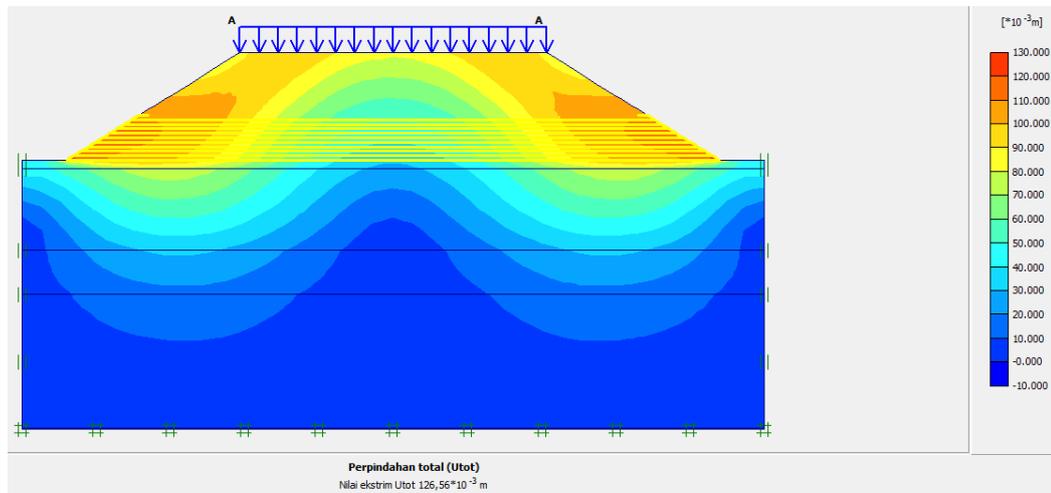


Gambar 5. 51 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa

Besarnya nilai *Total Displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban struktur sebesar $120,03 \times 10^{-3}$ meter, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban struktur dan gempa sebesar $126,56 \times 10^{-3}$ meter. *Total Displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.51 dan Gambar 5.52 berikut ini.

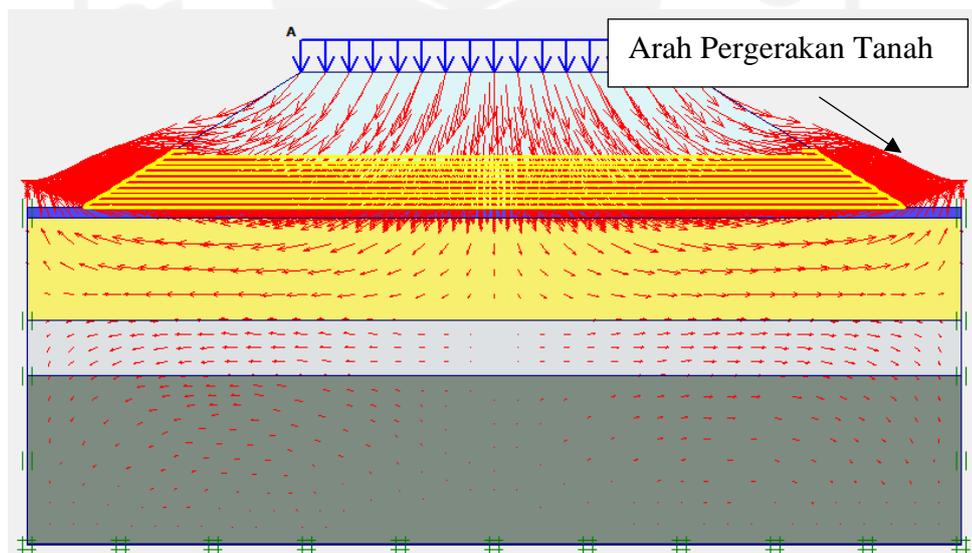


Gambar 5. 52 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur

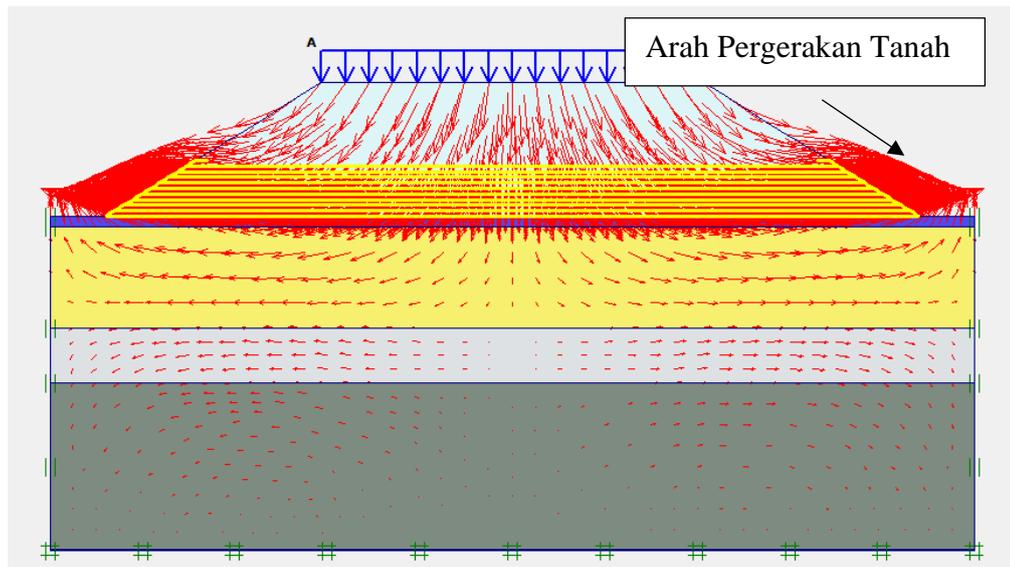


Gambar 5. 53 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa

Arah pergerakan lereng timbunan 12 meter dapat dilihat pada Gambar 5.53 dan Gambar 5.54 berikut ini.

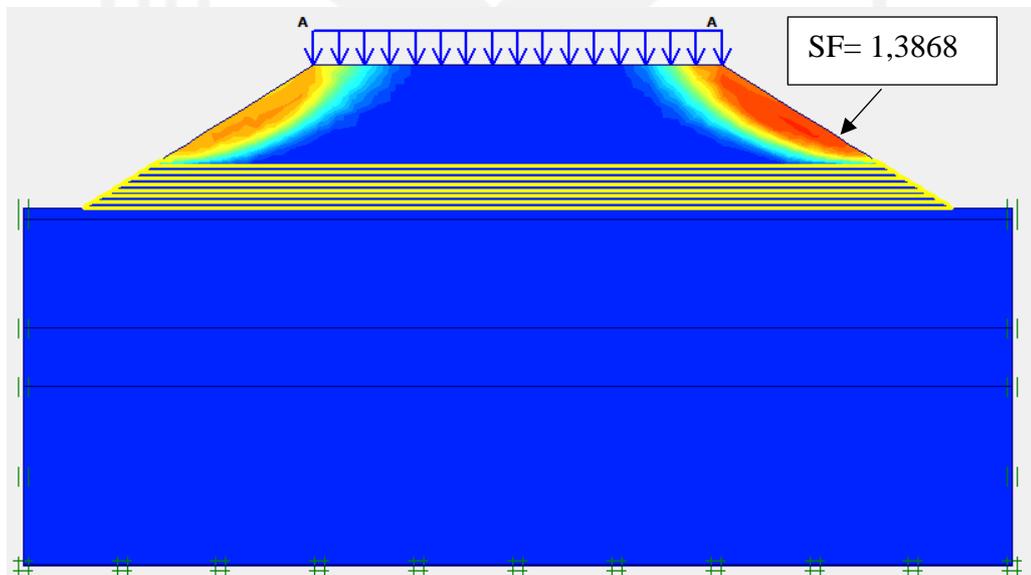


Gambar 5. 54 Arah Pergerakan Lereng Tanah Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur

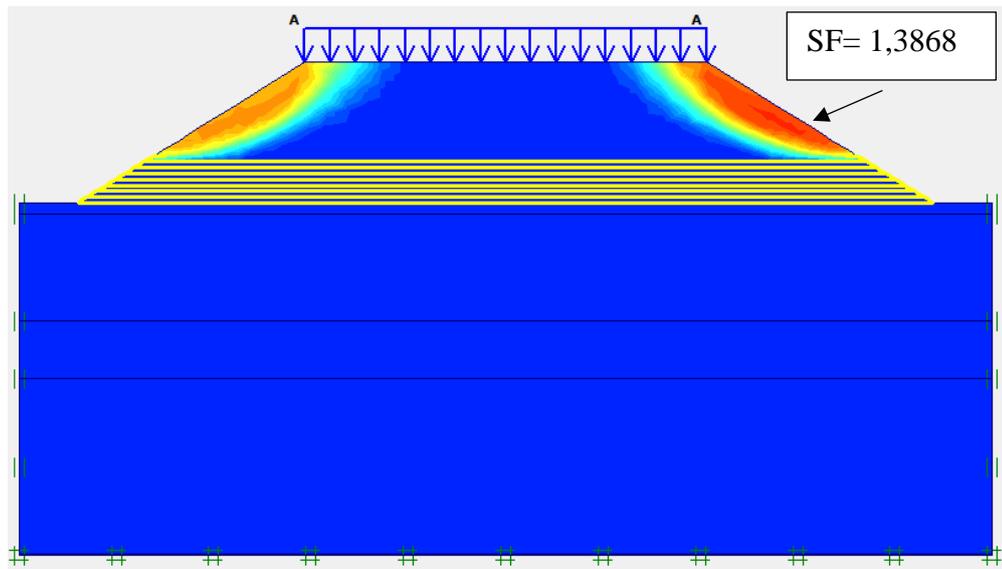


Gambar 5. 55 Arah Pergerakan Lereng Tanah Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa

Potensi Kelongsoran yang terjadi akibat beban struktur dan beban dengan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.55 dan Gambar 5.56 berikut ini.

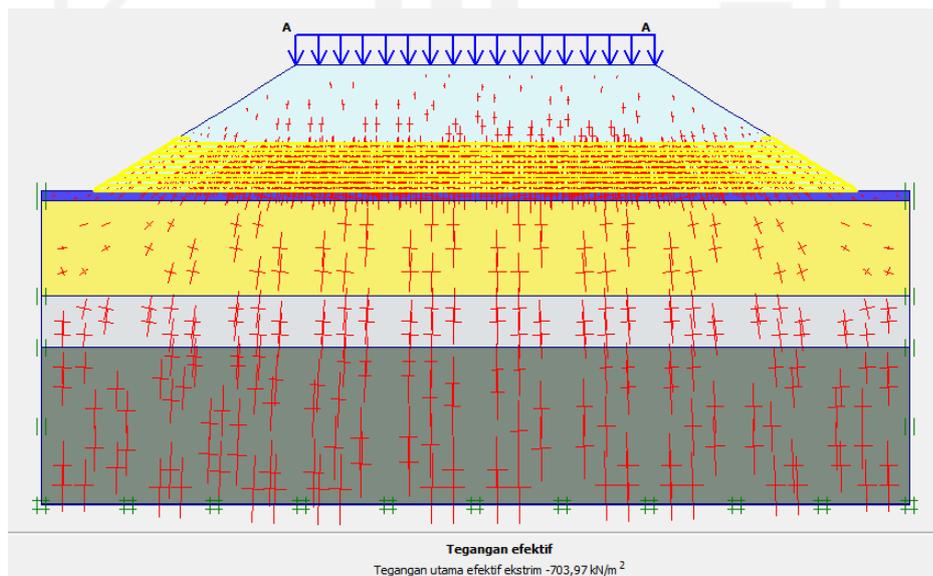


Gambar 5. 56 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur

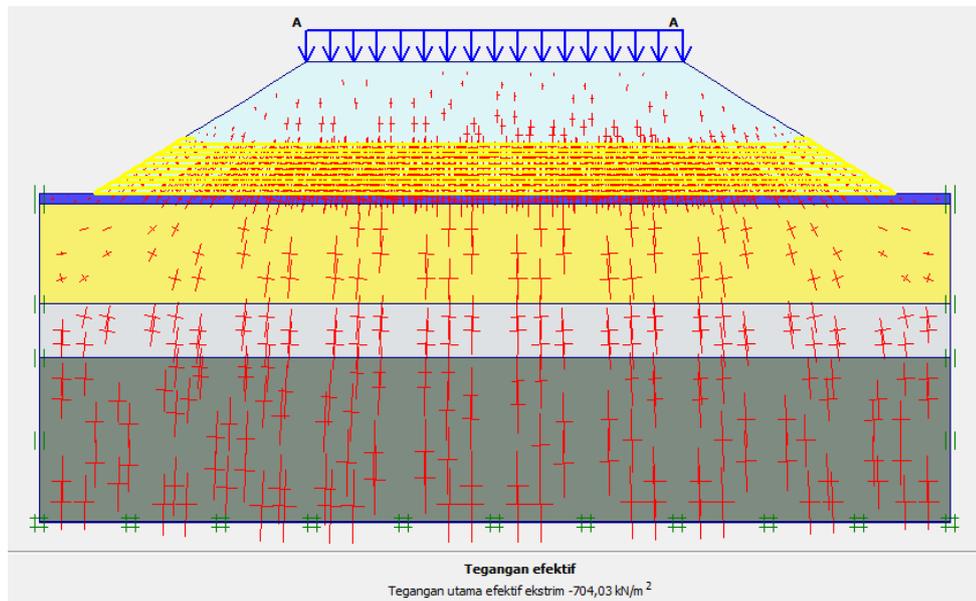


Gambar 5. 57 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa

Nilai *Effective Stresses* pada lereng timbunan 12 m akibat beban struktur sebesar -703,97 kN/m², sedangkan akibat beban struktur dan gempa sebesar -704,03 kN/m². Hasil tersebut sapat dilihat pada Gambar 5.57 dan Gambar 5.58 berikut ini.

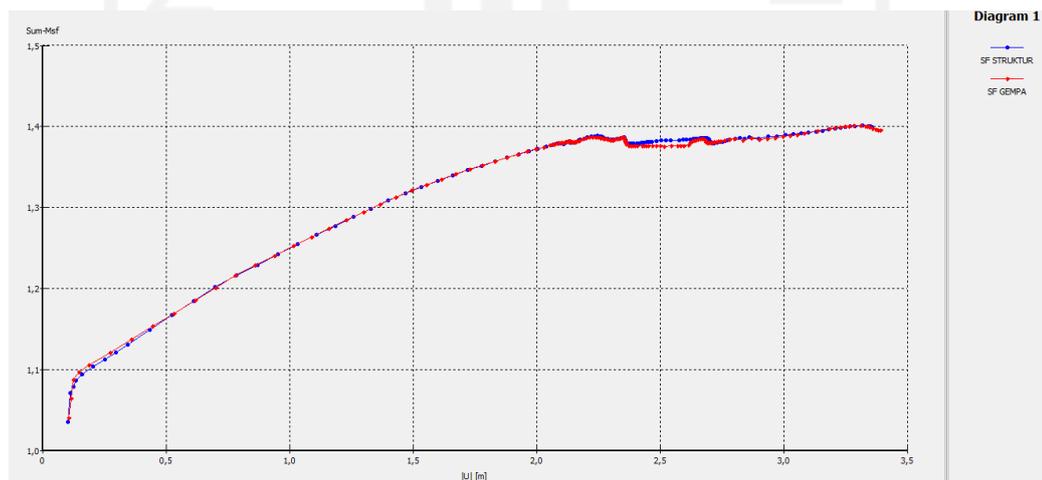


Gambar 5. 58 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 59 Effective Stresses Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa

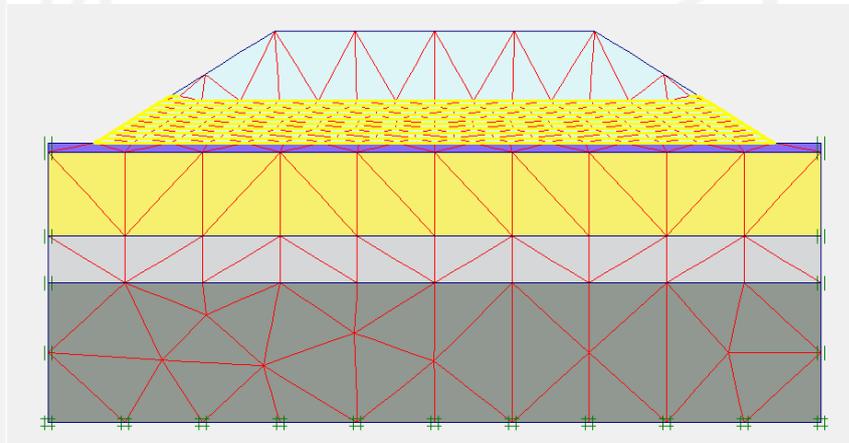
Nilai angka aman lereng timbunan 12 meter dengan perkuatan yang dihasilkan dari analisis akibat beban struktur sebesar 1,3868, sedangkan nilai angka aman akibat beban struktur dan gempa sebesar 1,3639. Hasil nilai angkaaman tersebut dapat dilihat pada kurva Gambar 5.59 berikut ini.



Gambar 5. 60 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil

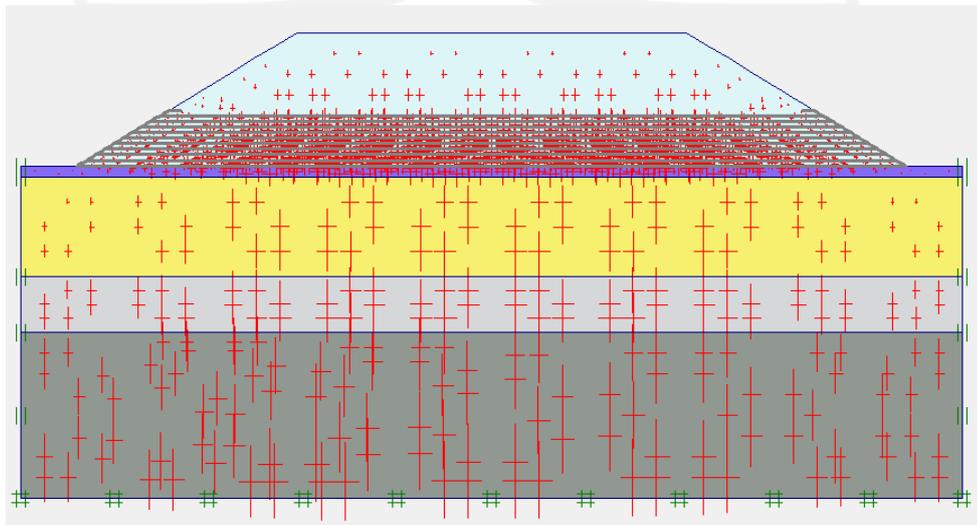
3. Kondisi pasca konstruksi

Pada kondisi ini parameter beban lalu lintas ditambahkan untuk analisis sebesar 25 kN/m^2 . Parameter yang harus ditambahkan adalah parameter *normal stiffness* (EA) sebesar 260 kN/m , selanjutnya dilakukan penyusunan jaringan elemen (*Meshing*), tahapan berikutnya sama dengan lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil. Hasil dari jaringan elemen hingga (*Meshing*) pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.60 berikut ini.



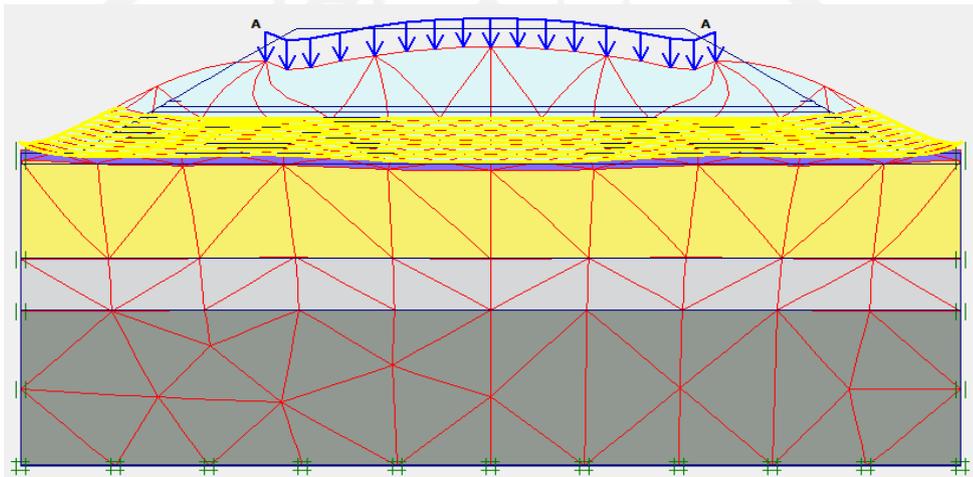
Gambar 5. 61 Meshing pada Lereng Timbunan Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil

Setelah dilakukan *Meshing* pada timbunan lereng, lalu tahap berikutnya adalah *Initial Soil Stresses* yang dapat dilihat pada Gambar 5.61 berikut ini.

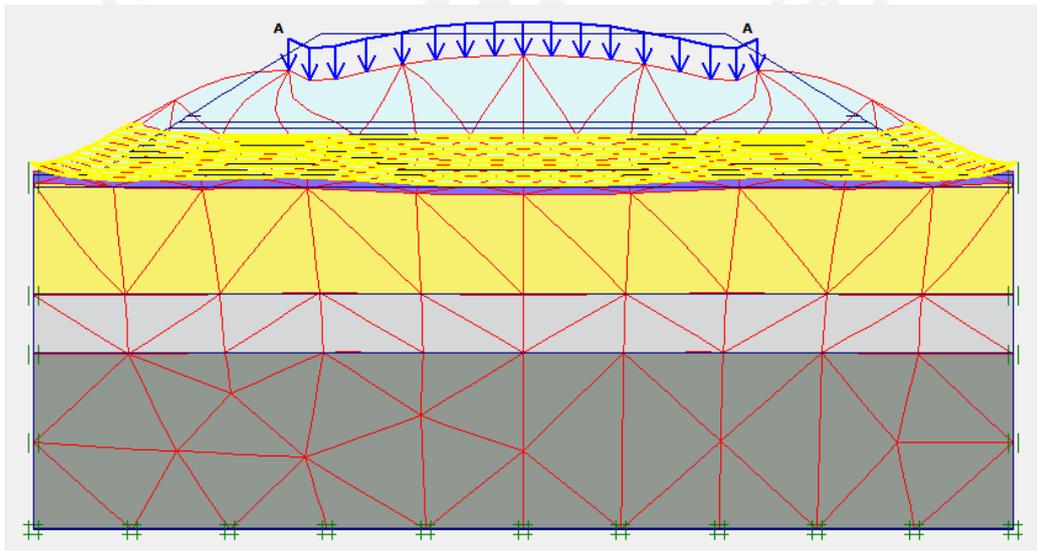


Gambar 5. 62 *Initial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil

Langkah selanjutnya adalah analisis perhitungan (*calculation*) yang sama dengan masa konstruksi. Hasil *Deformed Mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.62 dan Gambar 5.63 berikut ini.

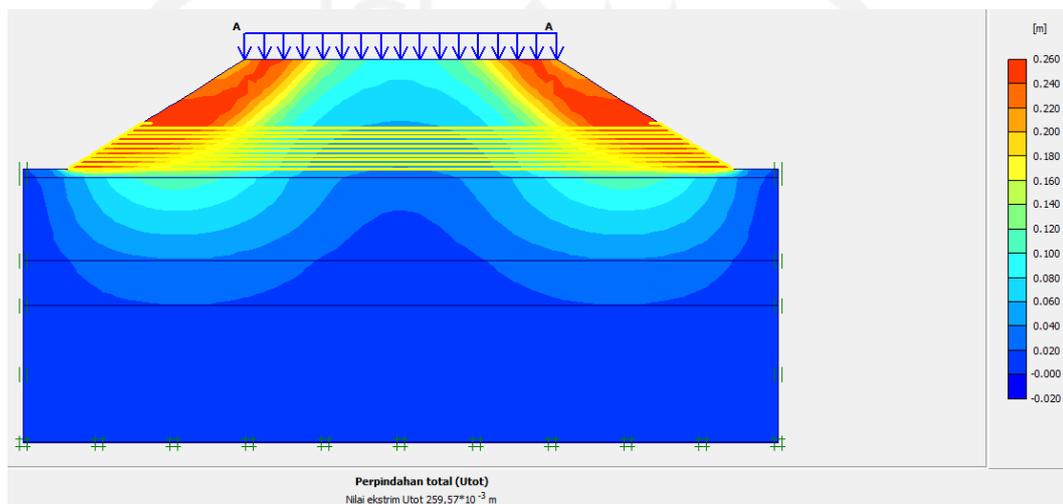


Gambar 5. 63 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas

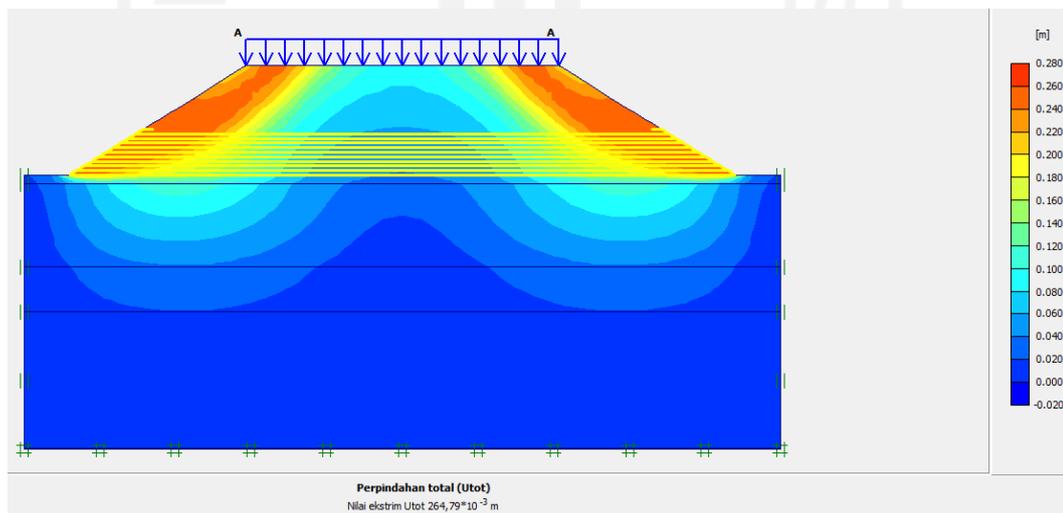


Gambar 5. 64 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Besarnya nilai *Total Displacement* yang terjadi pada timbunan lereng 12 meter pasca konstruksi dengan beban lalu lintas sebesar $259,57 \times 10^{-3}$ meter, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban lalu lintas dan gempa sebesar $264,79 \times 10^{-3}$ meter. Hasil *Total Displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.64 dan Gambar 5.65 berikut ini.

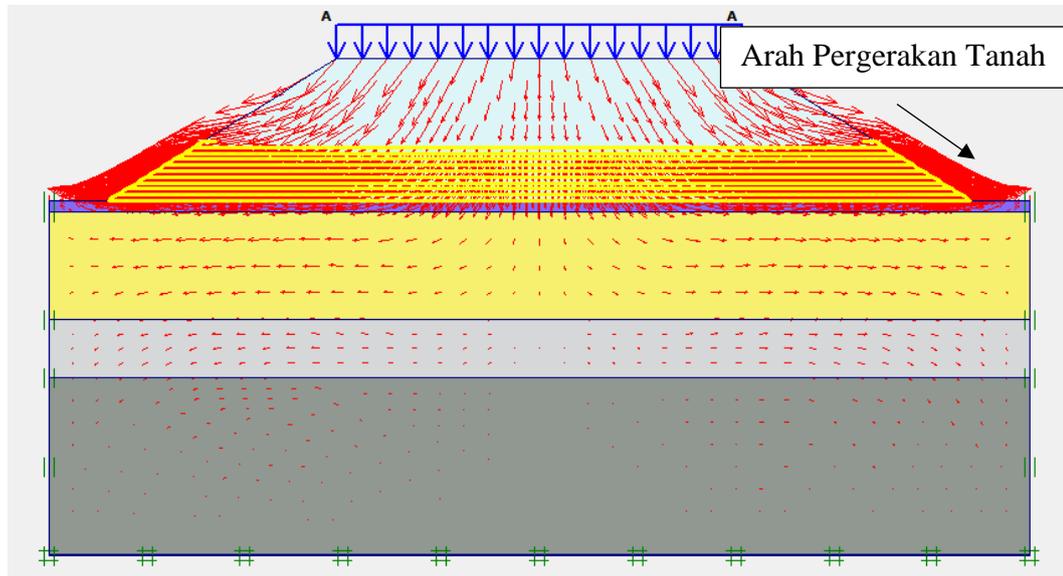


Gambar 5. 65 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas

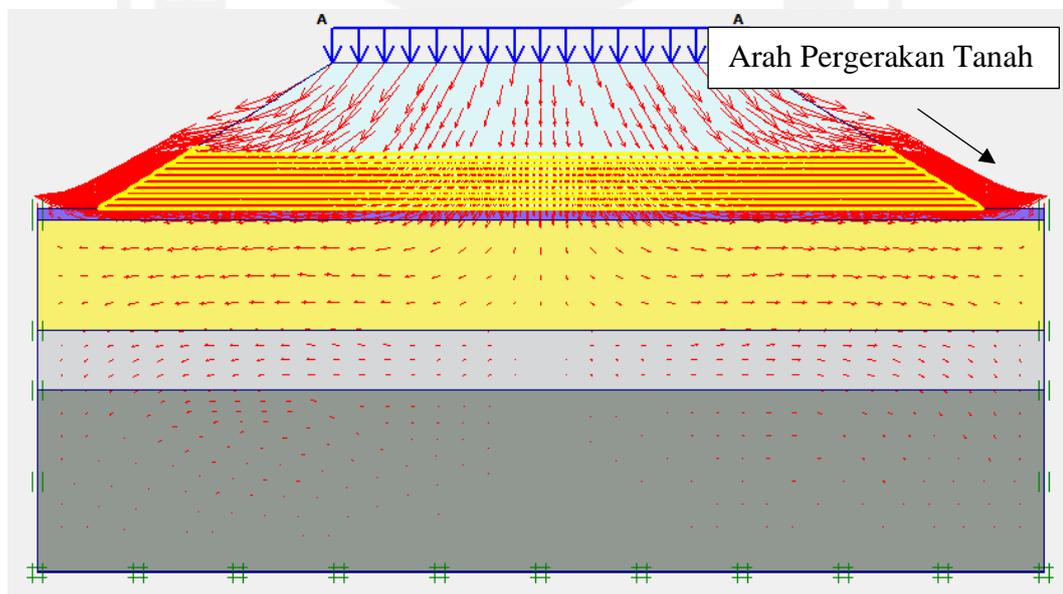


Gambar 5. 66 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Arah pergerakan lereng pada timbunan 12 meter pada kondisi pasca konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.66 dan Gambar 5.67 berikut ini.

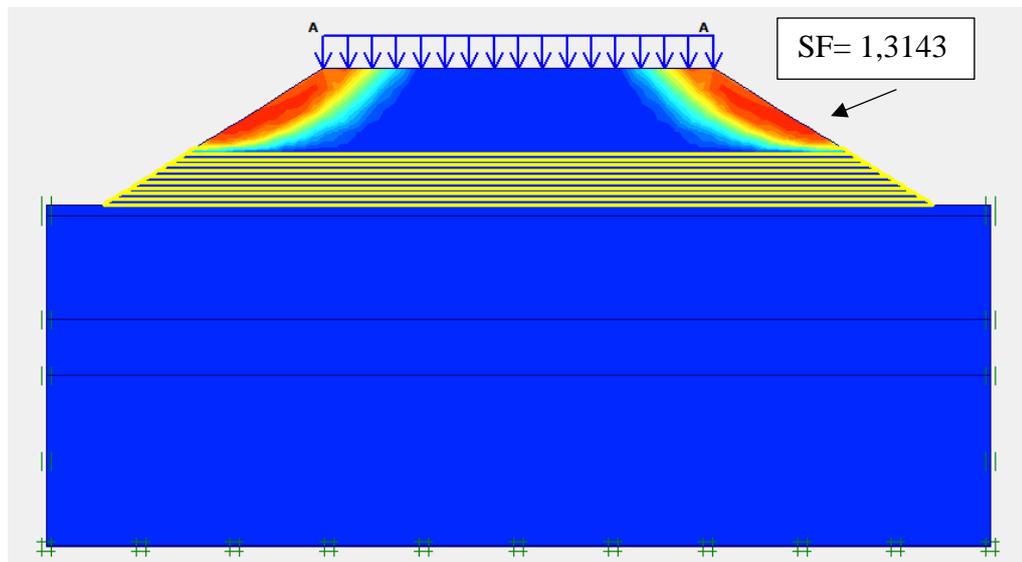


Gambar 5. 67 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas

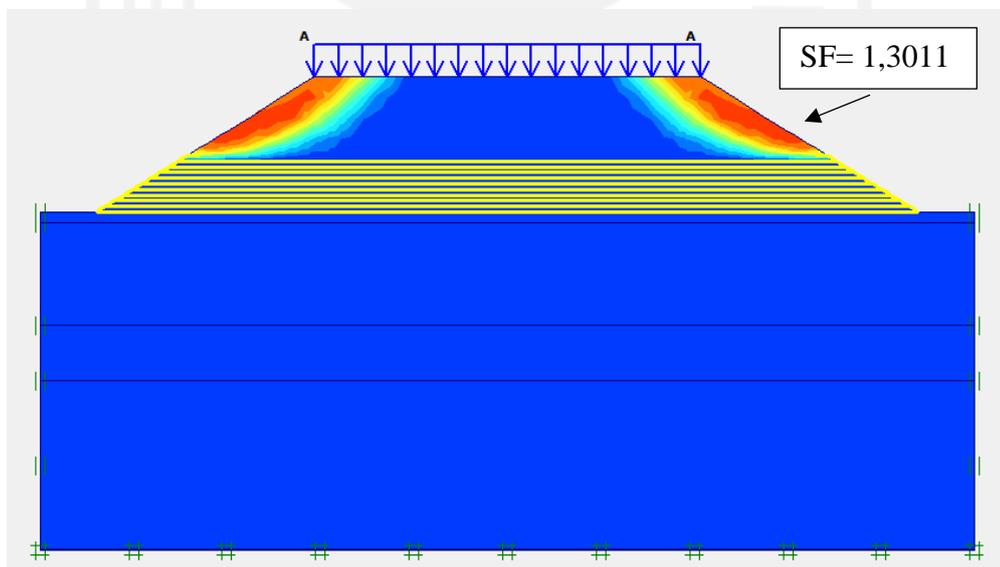


Gambar 5. 68 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Potensi kelongsoran akibat beban lalu lintas dan beban dengan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.68 dan Gambar 5.69 berikut ini.



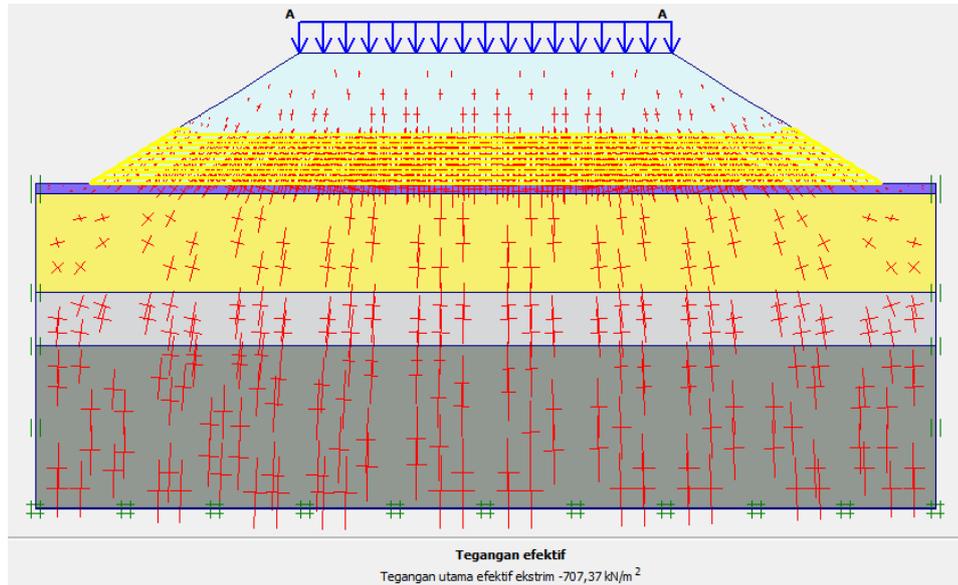
Gambar 5. 69 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas



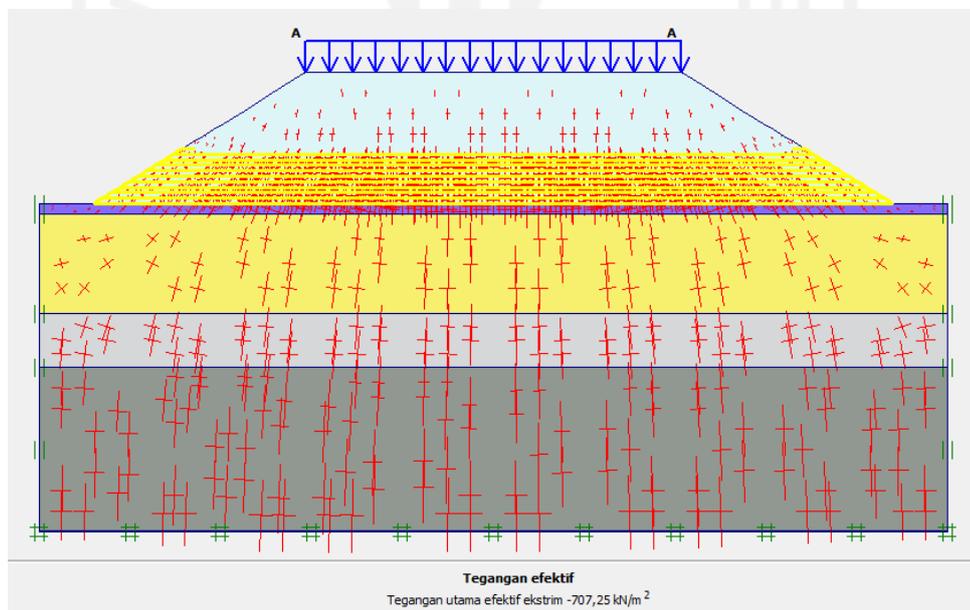
Gambar 5. 70 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Nilai *Effective Stresses* pada lereng timbunan 12 meter akibat beban lalu lintas sebesar $-707,37 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban lalu lintas dan gempa sebesar -

707,25 kN/m². Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.70 dan Gambar 5.71 berikut ini.

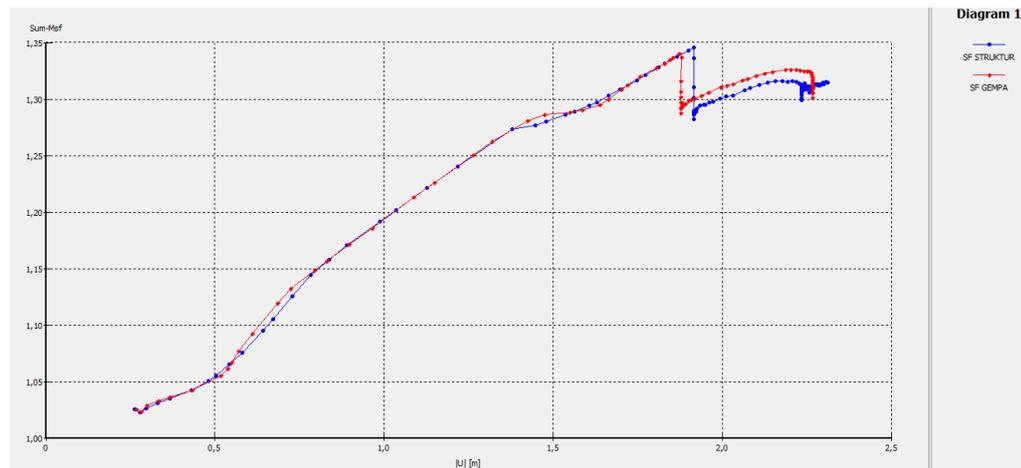


Gambar 5. 71 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas



Gambar 5. 72 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Nilai angka aman lereng timbunan 12 meter pasca konstruksi dengan perkuatan geotekstil akibat beban lalu lintas adalah sebesar 1,3143, sedangkan nilai angka aman akibat beban lalu lintas dan gempa adalah sebesar 1,3011. Hasil nilai angka aman tersebut dapat dilihat pada kurva Gambar 5.72 berikut ini.



Gambar 5. 73 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 12 m Tanah Asli Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil

Hasil rekapitulasi nilai angka aman lereng timbunan tanah asli dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan nilai besarnya penurunan konsolidasi dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5. 16 Rekapitulasi *Safety Factor* Lereng Timbunan Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil

<i>Safety Factor</i>			Timbunan		
			6 Meter	9 Meter	12 Meter
Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil	Masa Konstruksi	Beban Struktur	1,4933 (Aman)	1,3041 (Aman)	1,3868 (Aman)
		Beban dan Gempa	1,4902 (Aman)	1,3022 (Aman)	1,3639 (Aman)
	Pasca Konstruksi	Beban Lalu Lintas	1,3847 (Aman)	1,3023 (Aman)	1,3143 (Aman)
		Beban dan Gempa	1,3834 (Aman)	1,3019 (Aman)	1,3011 (Aman)

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Besar Konsolidasi yang Terjadi pada Lereng Timbunan Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil

Timbunan	Konsolidasi
	Kondisi Tanah <i>Replacement</i>
6 m	0,058
9 m	0,113
12 m	0,265

5.6 Lereng Timbunan Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil

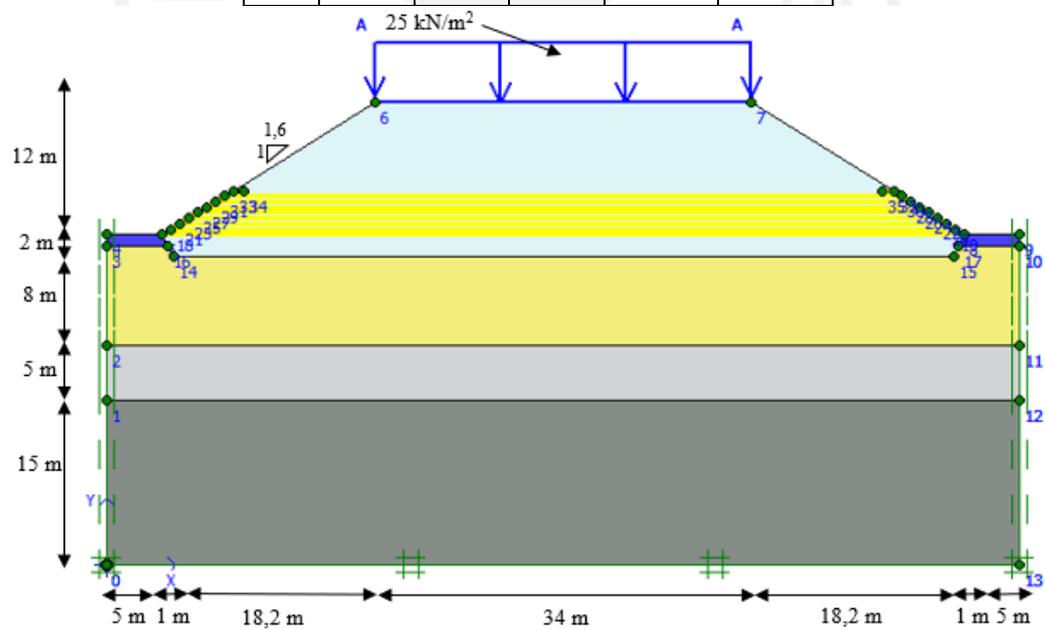
Berdasarkan hasil analisis lereng timbunan tanah *Replacement* tanpa perkuatan, lereng yang perlu diberi perkuatan adalah lereng timbunan 9 meter sampai dengan 12 meter karena memiliki nilai angka aman $< 1,3$, sedangkan lereng timbunan dengan tinggi 6 meter yang sudah memiliki nilai aman tetap akan diberi perkuatan geotekstil. Pada analisis ini lereng timbunan *Replacement* dengan perkuatan geotekstil akan dilakukan analisis dengan kondisi geometri yang sama dengan lereng timbunan dengan *Replacement* tanpa perkuatan sebelumnya. Hasil analisis menggunakan program *plaxis 8.6* yang akan menampilkan lereng timbunan dengan *Replacement* 12 meter dengan perkuatan geotekstil. Penjabaran analisis meliputi permodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi pasca konstruksi. Untuk hasil analisis lereng tanah *Replacement* tinggi timbunan 6 meter dapat dilihat pada Lampiran dan lereng tanah *Replacement* tinggi timbunan 9 meter dapat dilihat pada Lampiran.

1. Permodelan awal lereng

Permodelan awal lereng pada lereng timbunan tanah *Replacement* menggunakan geometri yang sama dengan timbunan 12 meter tanah *Replacement* tanpa perkuatan. Panjang total dari geotekstil digunakan sepanjang lereng pada bagian dasar timbunan dengan SV 0,5 meter dan panjang overlapping 1 meter. Titik koordinat yang diinput kedalam *plaxis 8.6* ditampilkan pada Tabel 5.17 dan permodelan lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.78 berikut ini.

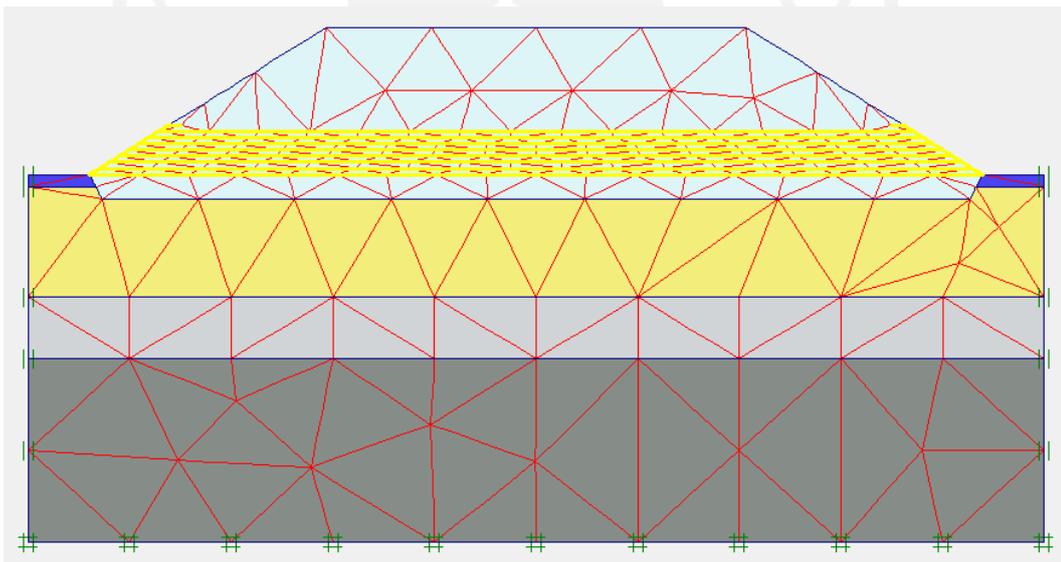
Tabel 5. 18 Koordinat Lereng

No.	X (m)	Y (m)	No.	X (m)	Y (m)
0	0	0	18	5.8	30.5
1	0	15	19	76.6	30.5
2	0	20	20	75.8	31
3	0	29	21	6.6	31
4	0	30	22	75	31.5
5	5	30	23	7.4	31.5
6	24.2	42	24	74.2	32
7	58.2	42	25	8.2	32
8	77.4	30	26	73.4	32.5
9	82.4	30	27	9	32.5
10	82.4	29	28	72.6	33
11	82.4	20	29	9.8	33
12	82.4	15	30	71.8	33.5
13	82.4	0	31	10.6	33.5
14	6	28	32	71	34
15	76.4	28	33	11.4	34
16	5.5	29	34	12.4	34
17	76.9	29	35	70	34

**Gambar 5. 74 Permodelan Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil**

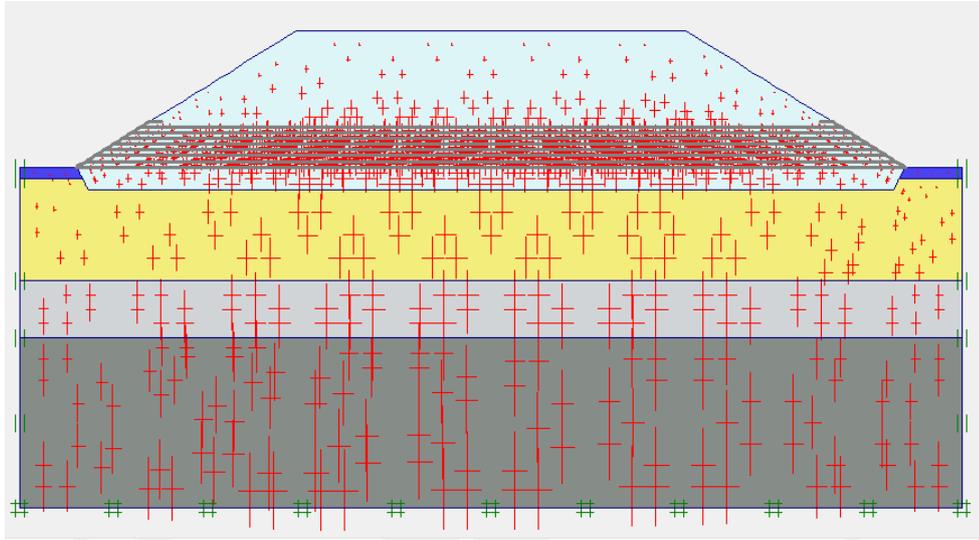
2. Kondisi masa konstruksi

Pada kondisi ini lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil mempunyai parameter beban struktur perkeran jalan dan beban gempa yang sama dengan lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil dengan beban struktur perkerasan jalan sebesar 10 kN/m^2 . Tahapan awal adalah input parameter tanah dan bahan dengan penambahan input parameter geotekstil dengan *normal stiffness* (EA) sebesar 260 kN/m , selanjutnya dilakukan penyusunan jaringan elemen hingga (*Meshing*). Tahapan berikutnya sama seperti lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil sebelumnya. Hasil dari jaringan elemen hingga (*Meshing*) pada lereng timbunan ini dapat dilihat pada Gambar 5.74 berikut ini.



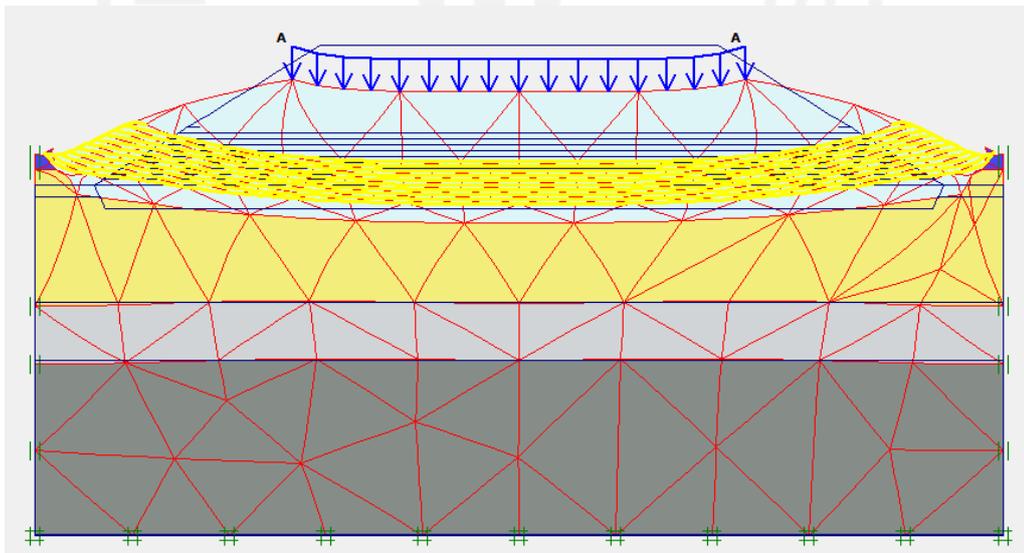
Gambar 5. 75 Meshing pada Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil

Kemudian dilanjutkan dengan kondisi awal (*initial condition*), lalu menghitung tekanan air dan melakukan *generated soil stresses* pada lereng timbunan tersebut. Hasil dari *Initial Soil Stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.80 berikut ini.

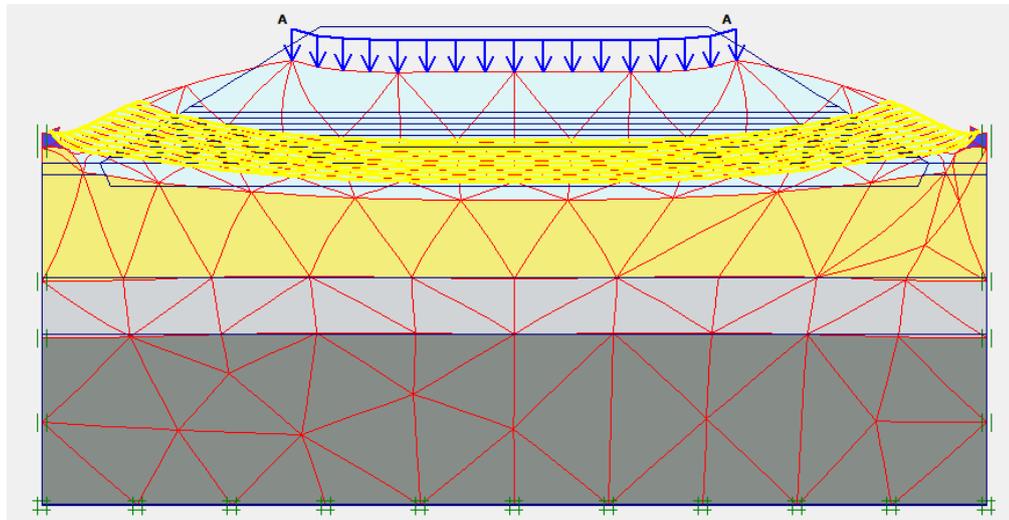


Gambar 5. 76 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan Tanah Replacement Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil

Tahapan selanjutnya adalah tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan 12 meter tanah *Replacement* dengan perkuatan geotekstil dengan lima tahapan perhitungan seperti perhitungan lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil. Hasil *Deformed Mesh* pada timbunan lereng 12 meter dapat dilihat pada Gambar 5.76 dan Gambar 5.77 berikut ini.

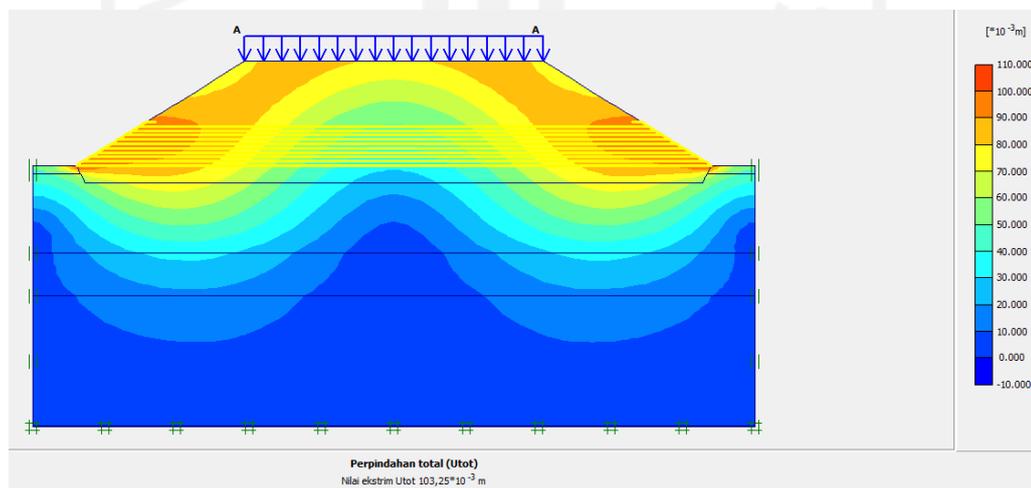


Gambar 5. 77 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur

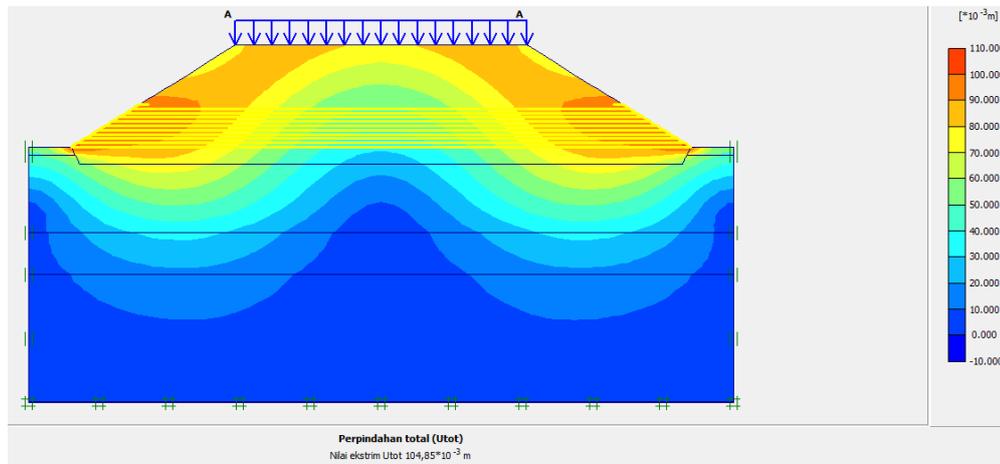


Gambar 5. 78 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa

Besarnya nilai *Total Displacement* yang terjadi pada lereng timbunan akibat beban struktur adalah $103,25 \times 10^{-3}$ meter, sedangkan pada lereng timbunan akibat beban struktur dan gempa sebesar $104,85 \times 10^{-3}$ meter. Hasil dari *Total Displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.78 dan Gambar 5.79 berikut ini.

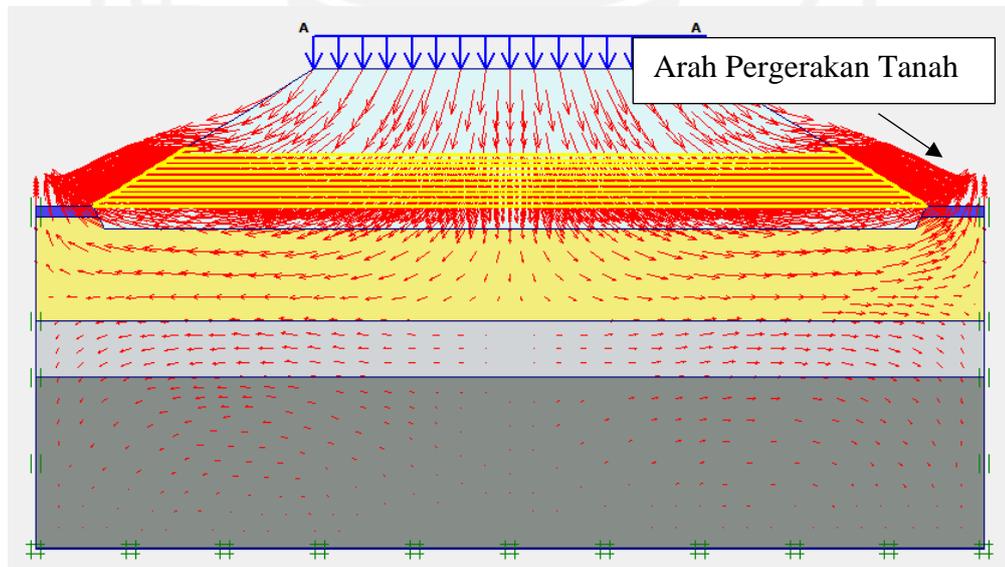


Gambar 5. 79 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur

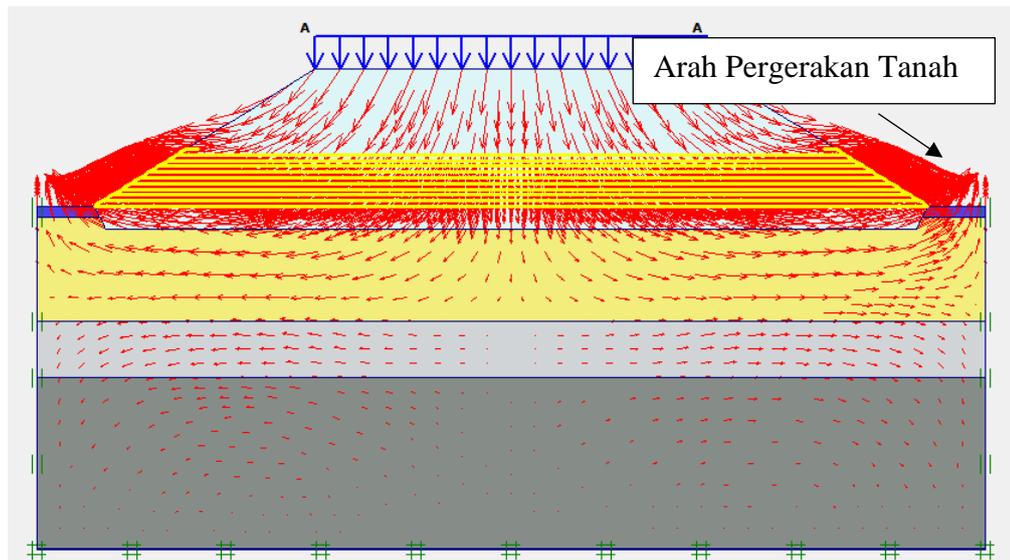


Gambar 5. 80 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa

Arah pergerakan pada lereng timbunan 12 meter dapat dilihat pada Gambar 5.80 dan Gambar 5.81 berikut ini.

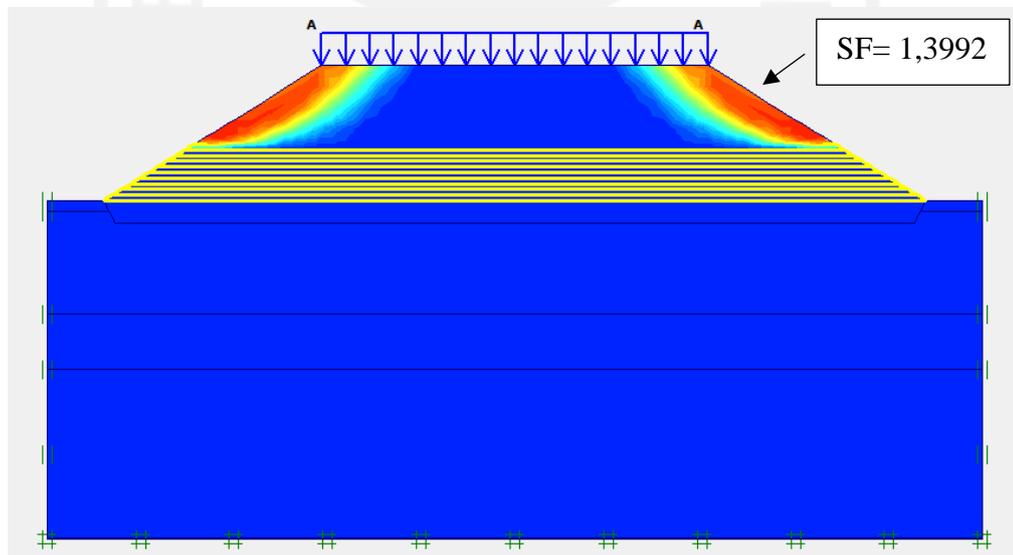


Gambar 5. 81 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur

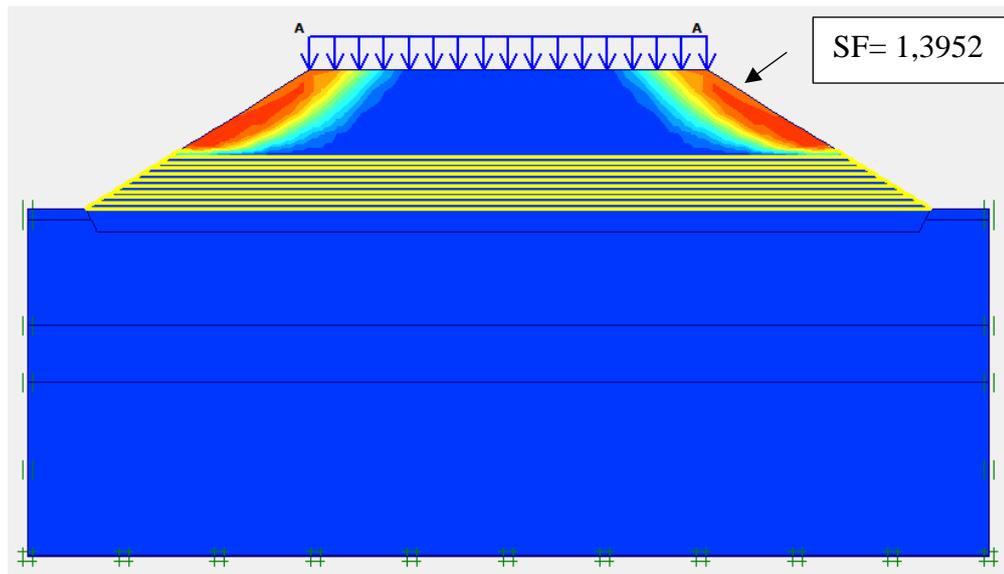


Gambar 5. 82 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 12 m Tanah *Replacement* Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa

Potensi Kelongsoran akibat beban struktur perkerasan jalan dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.82 dan Gambar 5.83 berikut ini.

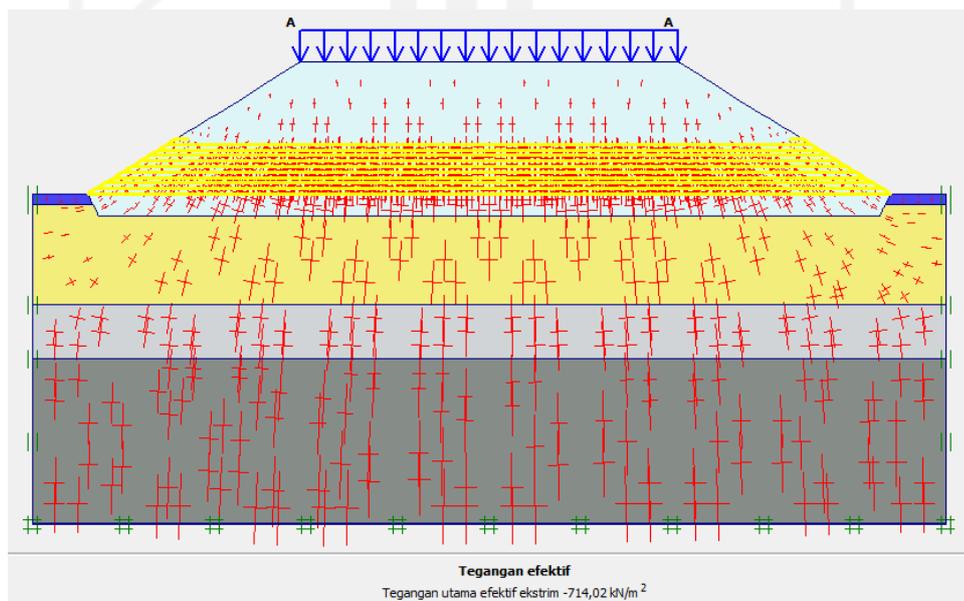


Gambar 5. 83 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah *Replacement* Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur

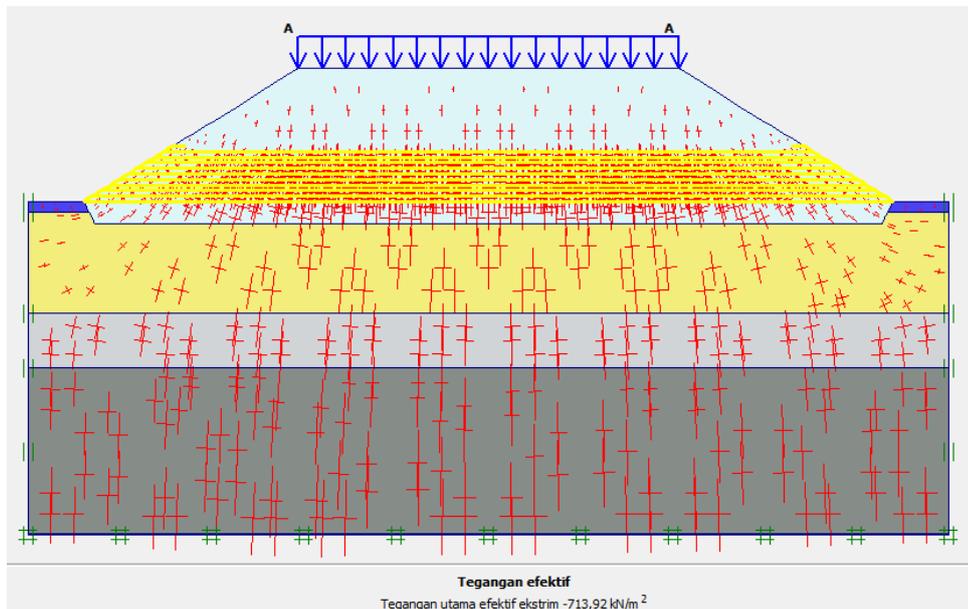


Gambar 5. 84 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa

Nilai *Effective Stresses* pada lereng timbunan 12 meter akibat beban struktur adalah $-714,02 \text{ kN/m}^2$, sedangkan pada lereng timbunan akibat beban struktur dan gempa adalah $-713,92 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.84 dan Gambar 5.85 berikut ini.

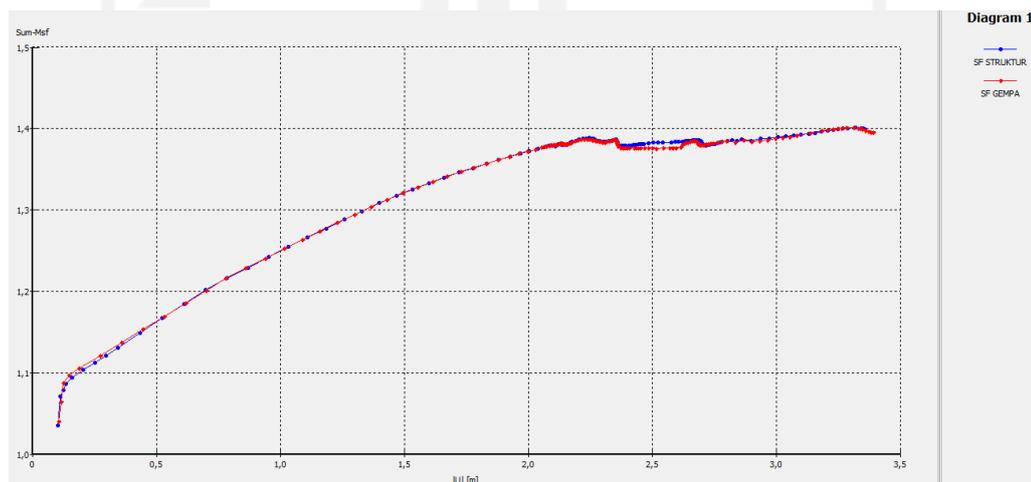


Gambar 5. 85 Effective Stresses Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 86 Effective Stresses Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Gempa

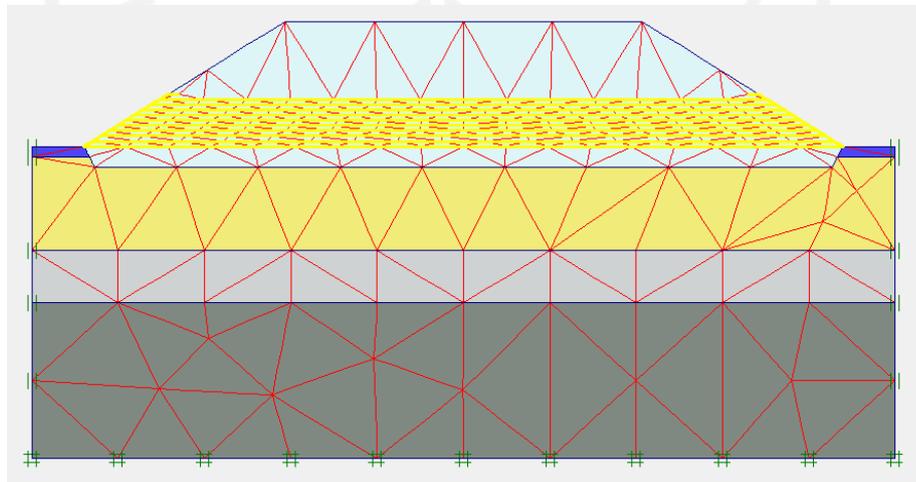
Nilai angka aman lereng timbunan 12 meter tanah *Replacement* masa konstruksi dengan perkuatan geotekstil akibat beban struktur adalah 1,3992 dan nilai angka aman akibat beban struktur dan gempa adalah 1,3952. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.86 berikut ini.



Gambar 5. 87 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Masa Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil

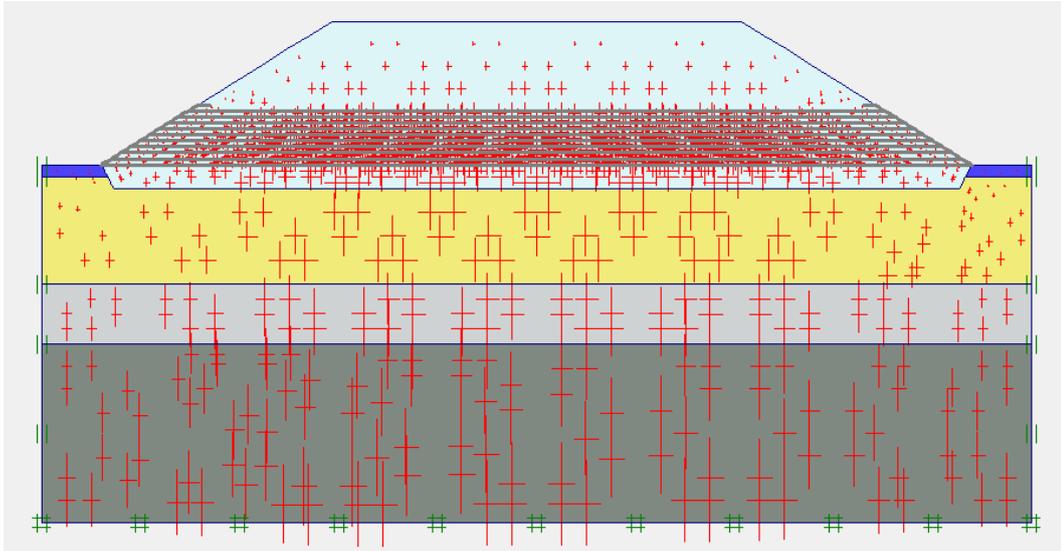
3. Kondisi pasca konstruksi

Pada kondisi pasca konstruksi ini beban lalu lintas menjadi parameter beban tambahan untuk analisis ini menjadi 25 kN/m^2 . Parameter selanjutnya yang menjadi tambahan adalah parameter geotekstil dengan nilai *normal stiffness* (EA) sebesar 260 kN/m , selanjutnya dilakukan penyusunan jaringan elemen hingga (*Meshing*), tahapan berikutnya sama dengan lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil. Hasil dari jaringan elemen hingga (*Meshing*) dapat dilihat pada Gambar 5.87 berikut ini.



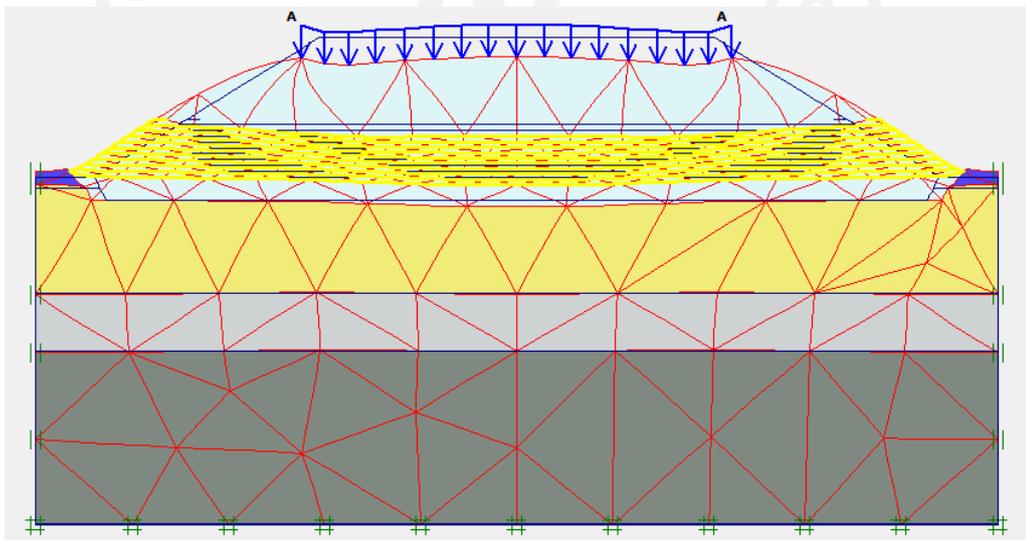
Gambar 5. 88 Meshing pada Lereng Timbunan Tanah Replacement Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil

Kemudian *Initial Soil Stresses* dilakukan *generate* kembali karena kondisi tanah awal untuk pasca konstruksi telah selesai dilakukan penimbunan dengan tinggi 12 meter dan geotekstil telah aktif dipasang. Hasil *Initial Soil Stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.88 berikut ini.

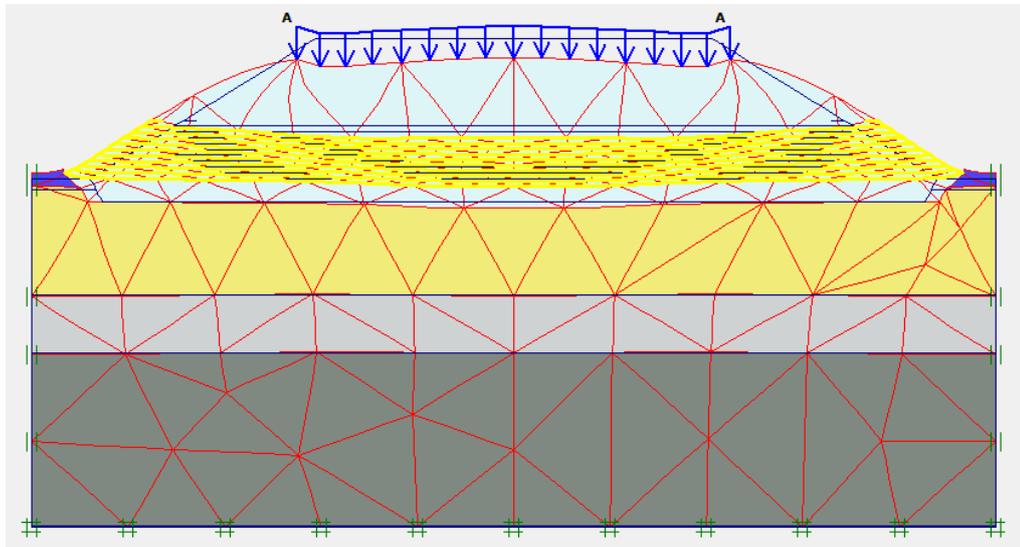


Gambar 5. 89 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil

Tahapan berikutnya adalah analisis perhitungan (*calculation*) pasca konstruksi tanah *Replacement* adalah lima tahap sama dengan lereng timbunan tanah *Replacement*. Hasil *Deformed Mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.89 dan Gambar 5.90 berikut ini.

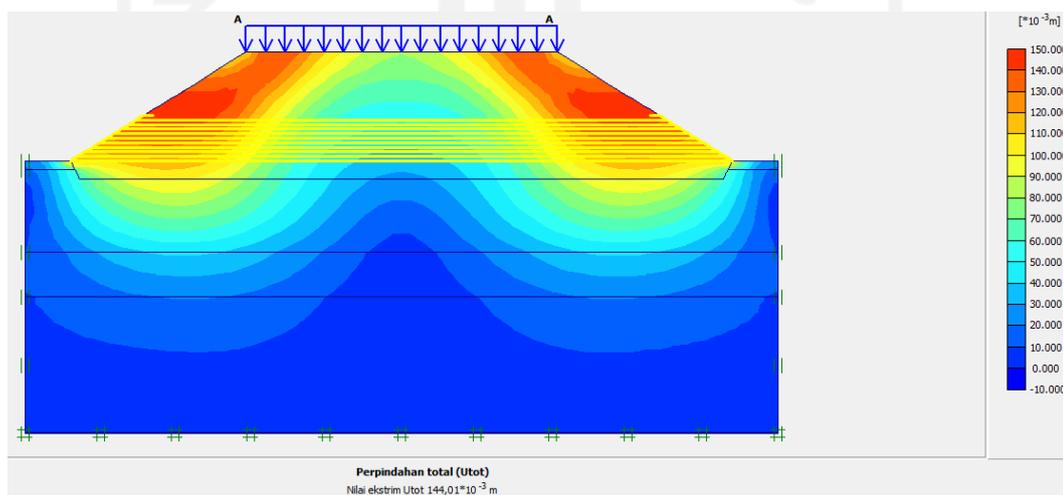


Gambar 5. 90 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas

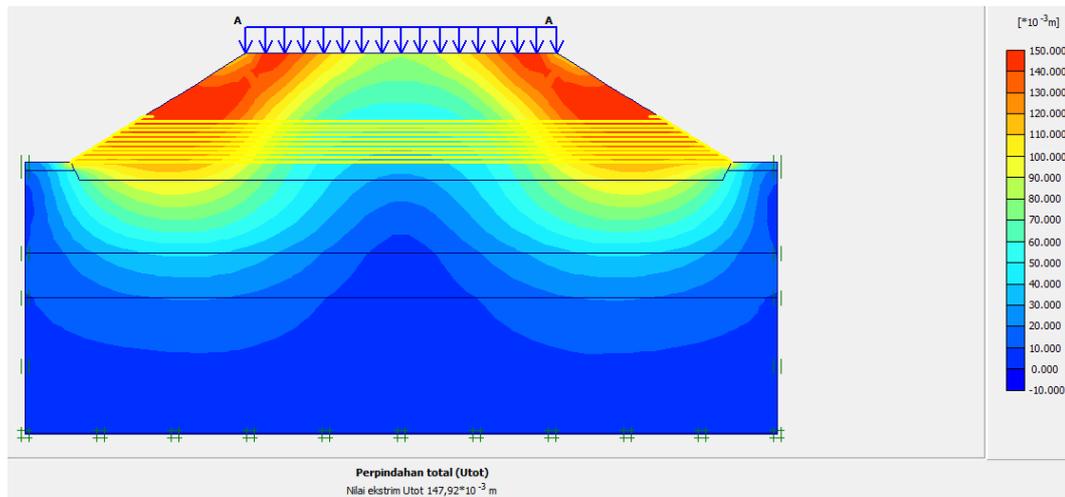


Gambar 5. 91 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Kemudian besarnya nilai *Total Displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban lalu lintas adalah $144,01 \times 10^{-3}$ meter dan lereng timbunan dengan beban lalu lintas dan gempa adalah $147,92 \times 10^{-3}$ meter. Hasil *Total Displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.91 dan Gambar 5.92 berikut ini.

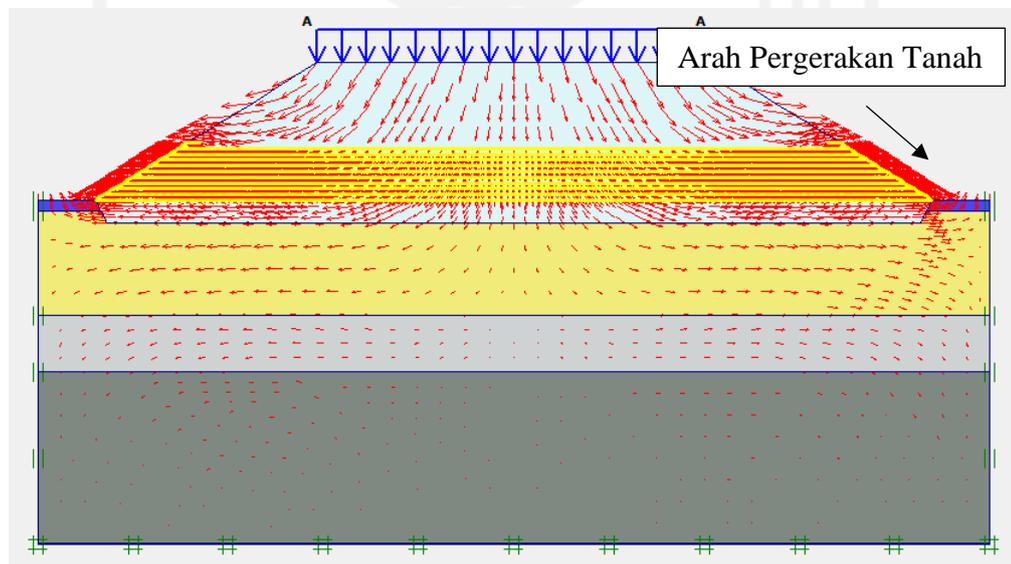


Gambar 5. 92 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas

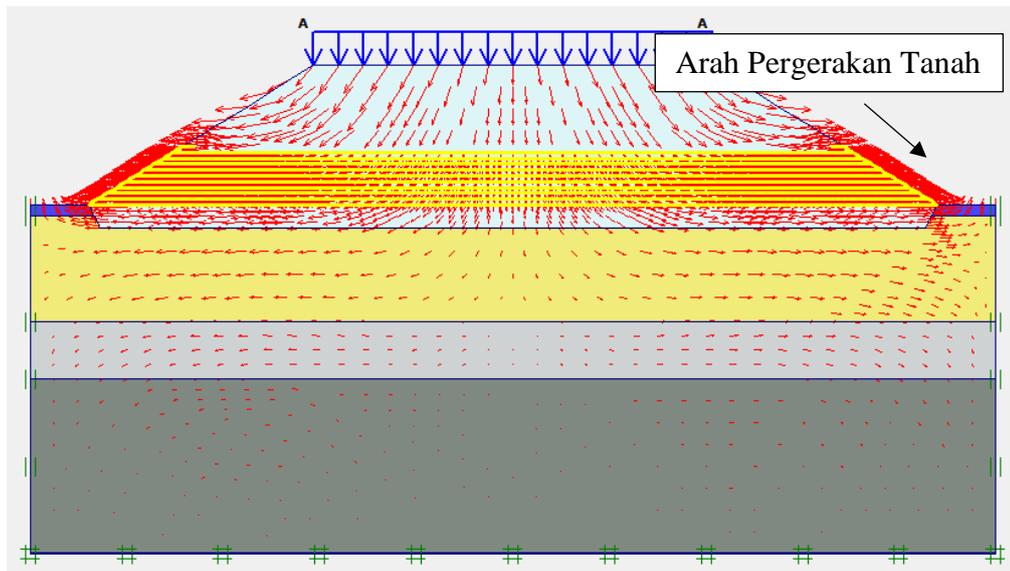


Gambar 5. 93 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Arah pergerakan lereng timbunan 12 meter pasca konstruksi dengan perkuatan geotekstil akibat beban lalu lintas dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.93 dan Gambar 5.94 berikut ini.

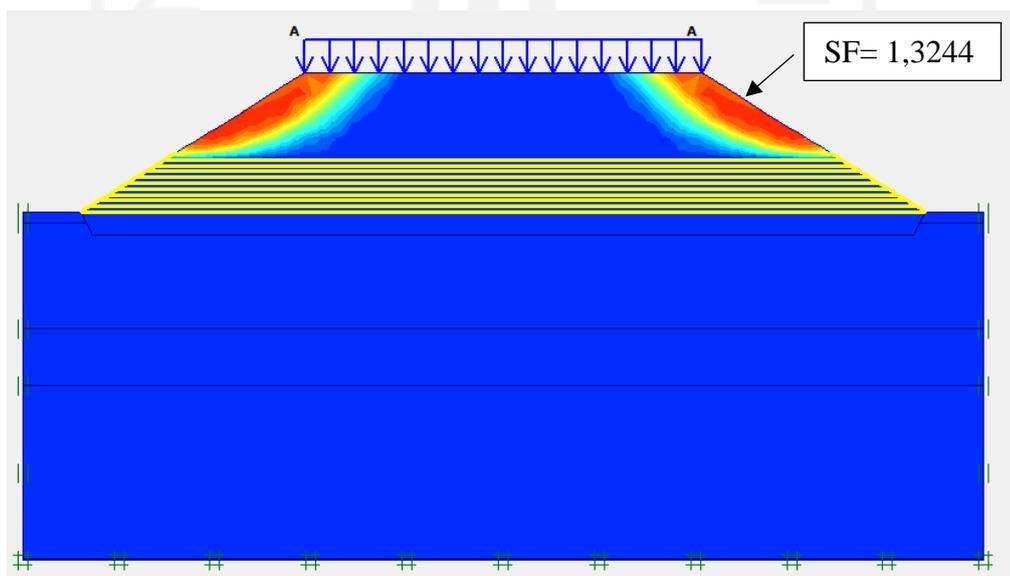


Gambar 5. 94 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas

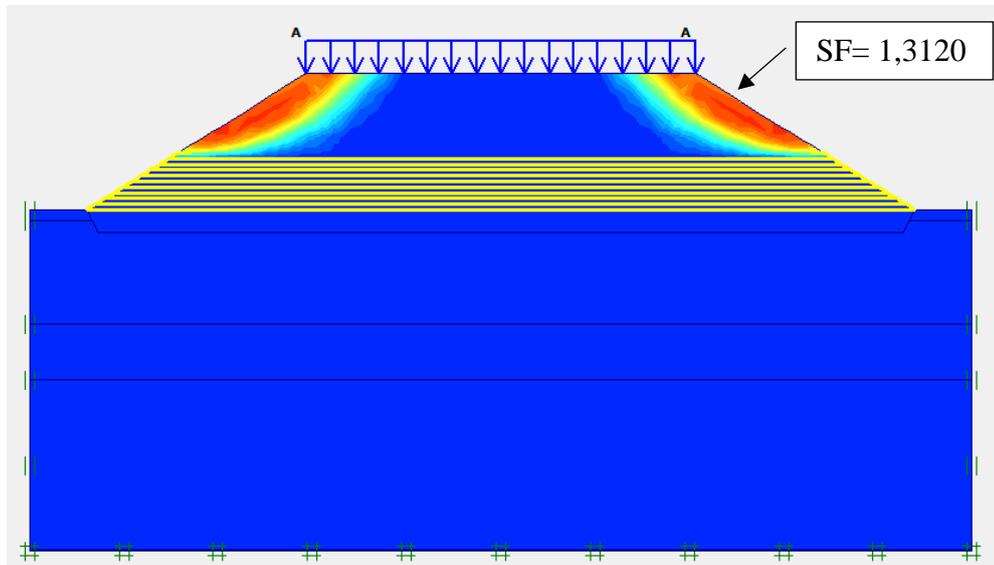


Gambar 5. 95 Arah Pergerakan Lereng Timbunan 12 m Tanah *Replacement* Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Potensi kelongsoran akibat beban lalu lintas dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.95 dan Gambar 5.96 berikut ini.

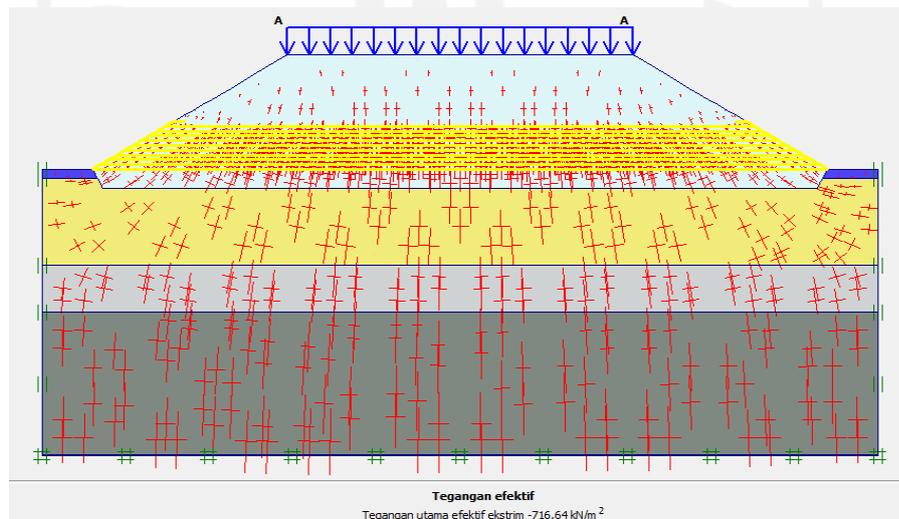


Gambar 5. 96 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah *Replacement* Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas

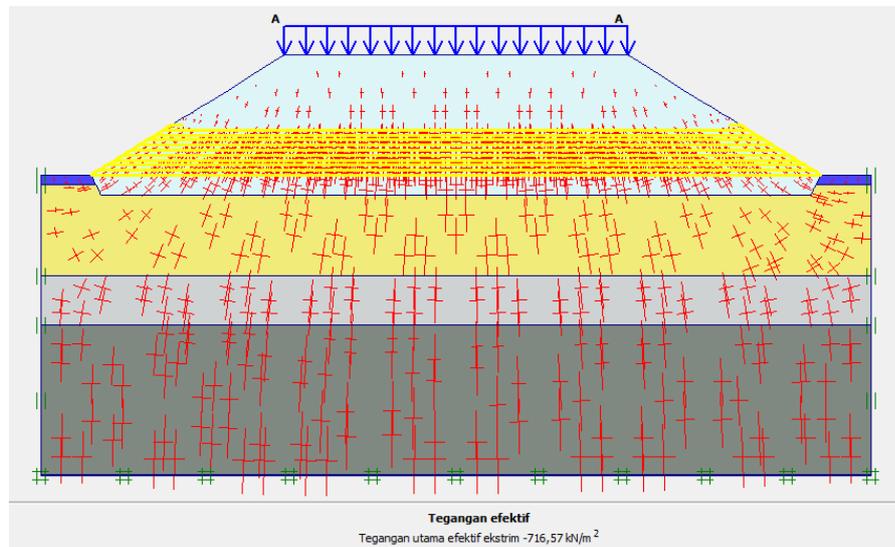


Gambar 5.97 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Nilai *Effective Stresses* pada lereng timbunan 12 meter tanah *Replacement* dengan perkuatan geotekstil akibat beban lalu lintas adalah $-716,64 \text{ kN/m}^2$ dan lereng timbunan akibat beban gempa adalah $-716,57 \text{ kN/m}^2$. Hasil ini dapat dilihat pada Gambar 5.97 dan Gambar 5.98 berikut ini.

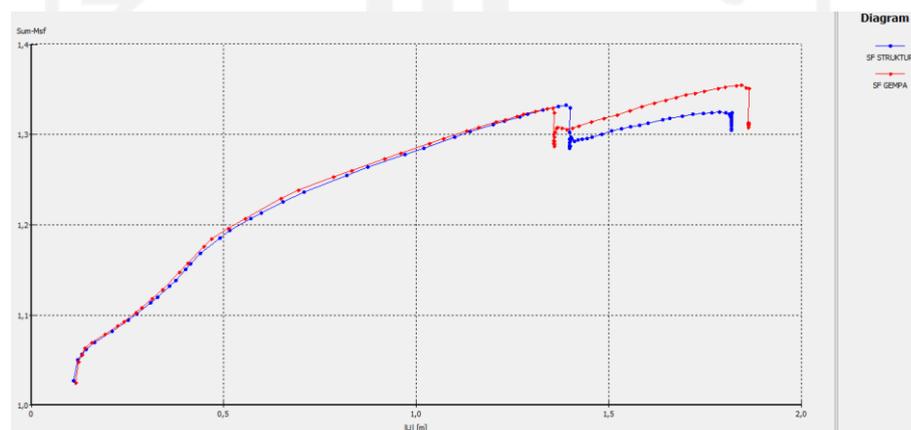


Gambar 5.98 Effective Stresses Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas



Gambar 5. 99 Effective Stresses Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Nilai angka aman pada lereng timbunan 12 meter tanah *Replacement* pasca konstruksi dengan perkuatan geotekstil akibat beban lalu lintas adalah 1,3244 dan nilai angka aman lereng timbunan akibat beban gempa adalah 1,3120. Hasil nilai angka aman ini dapat dilihat pada kurva Gambar 5.99 berikut ini.



Gambar 5. 100 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 12 m Tanah Replacement Pasca Konstruksi dengan Perkuatan Geotekstil

Hasil rekapitulasi hasil analisis dengan program *plaxis* 8.6 untuk lereng timbunan tanah *Replacement* masa konstruksi dan pasca konstruksi dengan perkuatan

geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.18 dan rekapitulasi besarnya nilai konsolidasi dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut ini.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi *Safety Factor* Lereng Timbunan Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil

<i>Safety Factor</i>			Timbunan		
			6 Meter	9 Meter	12 Meter
Kondisi Tanah <i>Replacement</i> dengan Perkuatan Geotekstil	Masa Konstruksi	Beban Struktur	1,4839 (Aman)	1,3110 (Aman)	1,3992 (Aman)
		Beban dan Gempa	1,4838 (Aman)	1,3105 (Aman)	1,3952 (Aman)
	Pasca Konstruksi	Beban Lalu Lintas	1,3839 (Aman)	1,3277 (Aman)	1,3244 (Aman)
		Beban dan Gempa	1,3820 (Aman)	1,3200 (Aman)	1,3120 (Aman)

Tabel 5. 20 Rekapitulasi Besar Konsolidasi yang Terjadi pada Lereng Timbunan Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil

Timbunan	Konsolidasi
	Kondisi Tanah <i>Replacement</i>
6 m	0,041 m
9 m	0,072 m
12 m	0,113 m

Dari rekapitulasi hasil analisis tersebut, timbunan lereng tanah *Replacement* yang diberikan perkuatan memiliki nilai angka aman yang lebih besar dan mengalami peningkatan dari nilai angka aman lereng timbunan tanah *Replacement* tanpa perkuatan geotekstil. Nilai angka aman setelah diberi perkuatan geotekstil sudah memenuhi syarat yaitu $<1,3$. Perbedaan nilai angka aman antara lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil dan tanpa perkuatan geotekstil mempunyai selisih nilai yang tidak begitu besar, sedangkan nilai selisih konsolidasi lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil dan tanpa perkuatan geotekstil semakin meningkat.

5.7 Pembahasan

5.7.1 Hasil Analisis Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil

Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan di Stasiun 97+100 ini dilakukan analisis stabilitas lereng timbunan yang berguna untuk mengetahui nilai angka aman pada lereng timbunan. Penelitian ini dilakukan dengan variasi tinggi timbunan 3 meter, 6 meter, 9 meter, dan 12 meter dan dianalisis dengan menggunakan program *plaxis* 8.6. Analisis stabilitas lereng timbunan ini memperhitungkan kondisi pada masa konstruksi dan pasca konstruksi. Parameter yang digunakan pada proses analisis ini adalah beban merata akibat struktur perkerasan jalan sebesar 10 kN/m^2 dan dengan beban lalu lintas kendaraan sebesar 25 kN/m^2 , serta beban gempa yang sesuai dengan daerah Provinsi Sumatera Selatan.

Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai angka aman pada semua variasi tinggi timbunan. Pada lereng timbunan 3 meter saat masa konstruksi mempunyai nilai angka aman sebesar 1,4307 untuk beban struktur dan 1,4281 untuk beban gempa dan saat pasca konstruksi memiliki nilai angka aman sebesar 1,3345 untuk beban lalu lintas dan 1,3333 untuk beban gempa, sedangkan pada lereng timbunan yang menggunakan tanah *Replacement* pada masa konstruksi mempunyai nilai angka aman yang meningkat yaitu 1,8981 untuk beban struktur dan 1,8823 untuk beban gempa dan saat pasca konstruksi memiliki nilai angka aman yang meningkat juga yaitu 1,7181 untuk beban lalu lintas dan 1,7146 untuk beban gempa, berdasarkan hasil nilai angka aman tersebut lereng timbunan 3 meter ini sangat aman dan tidak perlu diberi perkuatan geotekstil. Pada lereng timbunan 6 meter saat masa konstruksi memiliki nilai angka aman sebesar 1,1987 untuk beban struktur dan 1,1976 untuk beban gempa dan saat pasca konstruksi mempunyai nilai angka aman sebesar 1,1712 untuk beban lalu lintas dan 1,1710 untuk beban gempa, sedangkan pada lereng timbunan dengan tanah *Replacement* saat masa konstruksi mempunyai nilai angka aman yang meningkat yaitu 1,3812 untuk beban struktur dan 1,3806 untuk beban gempa dan saat pasca konstruksi mempunyai nilai angka

aman yang meningkat yaitu 1,3387 untuk beban lalu lintas dan 1,3371 untuk beban gempa, berdasarkan hasil nilai angka aman tersebut lereng timbunan 6 meter tidak aman untuk lereng timbunan tanah asli dan perlu diberi perkuatan geotekstil, sedangkan untuk lereng timbunan tanah *Replacement* sudah aman karena nilai angka aman sudah mencapai syarat yaitu $>1,3$, tetapi pada penelitian ini lereng timbunan 6 meter tanah *Replacement* akan diberi perkuatan untuk meningkatkan nilai angka aman. Pada lereng timbunan 9 meter saat masa konstruksi mempunyai nilai angka aman sebesar 1,0784 untuk beban struktur dan 1,0754 untuk beban gempa dan saat pasca konstruksi mempunyai nilai angka aman sebesar 1,0589 untuk beban lalu lintas dan 1,0570 untuk beban gempa, sedangkan pada lereng timbunan tanah *Replacement* saat masa konstruksi mempunyai nilai angka aman yang meningkat yaitu 1,1889 untuk beban struktur dan 1,1887 untuk beban gempa dan saat pasca konstruksi memiliki nilai angka aman yang meningkat yaitu 1,1716 untuk beban lalu lintas dan 1,1700 untuk beban gempa, berdasarkan nilai angka aman tersebut lereng timbunan 9 meter adalah tidak aman dan perlu diberi perkuatan geotekstil. Pada lereng timbunan 12 meter saat masa dan pasca konstruksi mengalami *collapse* untuk beban struktur dan beban gempa, sedangkan pada lereng timbunan dengan tanah *Replacement* saat masa konstruksi mempunyai nilai angka aman yang meningkat yaitu 1,0746 untuk beban struktur dan 1,0724 untuk beban gempa dan saat pasca konstruksi memiliki nilai angka aman yang meningkat yaitu 1,0488 untuk beban lalu lintas dan 1,0487 untuk beban gempa, berdasarkan hasil tersebut lereng timbunan 12 meter sangat perlu diberi perkuatan geotekstil agar nilai angka aman lereng timbunan ini dapat meningkat dan mencapai nilai angka aman yang disyaratkan.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan lereng timbunan tanah asli mempunyai nilai angka konsolidasi yang lebih besar dibandingkan dengan lereng timbunan dengan tanah *Replacement*. Konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan adalah selama 365 hari. Pada lereng timbunan 3 meter tanah asli nilai angka konsolidasi yang terjadi adalah sebesar 0,022 meter dan lereng timbunan tanah *Replacement* yaitu 0,019 meter. Pada lereng timbunan 6 meter tanah asli nilai angka konsolidasi yang terjadi adalah sebesar 0,058 meter dan lereng timbunan

tanah *Replacement* yaitu 0,040 meter. Pada lereng timbunan 9 meter tanah asli nilai angka konsolidasi yang terjadi adalah sebesar 0,114 meter dan lereng timbunan tanah *Replacement* yaitu 0,063 meter. Pada lereng timbunan 12 meter tanah asli tidak dapat diketahui nilai angka konsolidasi karena terjadi *collapse* dan lereng timbunan tanah *Replacement* memiliki nilai angka konsolidasi yaitu 0,098 meter.

Berdasarkan hasil keseluruhan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa lereng timbunan yang perlu diberi perkuatan geotekstil untuk meningkatkan nilai angka aman agar Jalan Tol Indralaya- Muara Enim Seksi Prabumulih- Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan dapat difungsikan dengan baik. Lereng timbunan yang perlu diberi perkuatan geotekstil adalah lereng timbunan 6 meter sampai 12 meter.

5.7.2 Hasil Analisis Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

Pada hasil analisis lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil menghasilkan beberapa timbunan yang harus diberi perkuatan geotekstil untuk meningkatkan nilai angka aman yang disyaratkan. Pada penelitian ini digunakan perkuatan geotekstil jenis *woven* UW-250 yang diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul yang memiliki kuat tarik ultimit sebesar 52 kN/m^2 dengan regangan 20%. Pada penelitian ini jumlah geotekstil yang digunakan harus dihitung dahulu sebelum dilakukan analisis lereng timbunan dengan program *plaxis* 8.6, selanjutnya pemasangan geotekstil dipasang secara mendatar dibawah sepanjang dasar timbunan, lalu ditutup tanah timbunan yang dipadatkan kemudian bagian luar geotekstil ditekuk kedalam (*overlapping*) yang berfungsi sebagai permukaan dinding penahan. Pada lereng timbunan yang membutuhkan geotekstil lebih dari 1 lapis, maka proses pemasangan geotekstil sama dengan pemasangan geotekstil yang awal dengan jarak interval tinggi geotekstil SV sebesar 0,5 meter per lapisan geotekstil dan panjang *overlapping* sebesar 1 meter per lapisan geotekstil.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada lereng timbunan tanah asli dengan perkuatan geotekstil dan lereng timbunan dengan tanah *Replacement* dengan perkuatan geotekstil menghasilkan nilai angka aman yang meningkat dibandingkan dengan lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil. Pada lereng

timbunan 3 meter tidak diberi perkuatan karena sudah mempunyai nilai angka aman yang telah disyaratkan. Pada lereng timbunan 6 meter tanah asli masa konstruksi membutuhkan 1 lapis geotekstil dengan nilai angka aman sebesar 1,4933 untuk beban struktur dan 1,4902 untuk beban gempa dan saat pasca konstruksi membutuhkan 1 lapis geotekstil dengan nilai angka aman sebesar 1,3847 untuk beban lalu lintas dan 1,3834 untuk beban gempa, sedangkan pada lereng timbunan dengan tanah *Replacement* masa konstruksi membutuhkan 1 lapis geotekstil dengan nilai angka aman sebesar 1,4839 untuk beban struktur dan 1,4838 untuk beban gempa dan saat pasca konstruksi membutuhkan 1 lapis geotekstil dengan nilai angka aman sebesar 1,3839 untuk beban lalu lintas dan 1,3820 untuk beban gempa. Pada lereng timbunan 9 meter tanah asli masa konstruksi membutuhkan 3 lapis geotekstil dengan nilai angka aman sebesar 1,3041 untuk beban struktur dan 1,3022 untuk beban gempa dan saat pasca konstruksi membutuhkan 6 lapis geotekstil dengan nilai aman sebesar 1,3023 untuk beban lalu lintas dan 1,3019 untuk beban gempa, sedangkan pada lereng timbunan dengan tanah *Replacement* masa konstruksi membutuhkan 3 lapis geotekstil dengan nilai angka aman sebesar 1,3310 untuk beban struktur dan 1,3105 untuk beban gempa dan saat pasca konstruksi membutuhkan 5 lapis geotekstil dengan nilai angka aman sebesar 1,3277 untuk beban lalu lintas dan 1,3200 untuk beban gempa. Pada lereng timbunan 12 meter masa konstruksi membutuhkan 10 lapis geotekstil dengan nilai angka aman sebesar 1,3868 untuk beban struktur dan 1,3639 untuk beban gempa dan saat pasca konstruksi membutuhkan 10 lapis geotekstil dengan nilai angka aman sebesar 1,3143 untuk beban lalu lintas dan 1,3011 untuk beban gempa, sedangkan pada lereng timbunan tanah *Replacement* masa konstruksi membutuhkan 8 lapis geotekstil dengan nilai angka aman sebesar 1,3992 untuk beban struktur dan 1,3952 untuk beban gempa dan saat pasca konstruksi membutuhkan 10 lapis geotekstil dengan nilai angka aman sebesar 1,3244 untuk beban lalu lintas dan 1,3120 untuk beban gempa.

Berdasarkan hasil analisis tersebut lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil menunjukkan nilai angka aman yang meningkat dari nilai angka aman tanpa perkuatan geotekstil sebelumnya dan sudah mencapai nilai angka aman yang

disyaratkan. Lereng timbunan yang telah diperkuat geotekstil ini telah dapat difungsikan dengan baik. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil ini, nilai konsolidasi pada timbunan tanah asli mempunyai nilai angka konsolidasi yang lebih besar dibandingkan dengan lereng timbunan dengan tanah *Replacement*. Pada lereng timbunan 6 meter tanah asli mempunyai nilai angka konsolidasi sebesar 0,058 meter dan tanah *Replacement* sebesar 0,041 meter. Pada lereng timbunan 9 meter tanah asli mempunyai nilai angka konsolidasi sebesar 0,113 meter dan tanah *Replacement* sebesar 0,072 meter. Pada lereng timbunan 12 meter tanah asli mempunyai nilai angka konsolidasi sebesar 0,265 meter dan tanah *Replacement* sebesar 0,113 meter.

5.7.3 Perbandingan Analisis Stabilitas antara Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil dan Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Berdasarkan Variasi Tinggi Timbunan

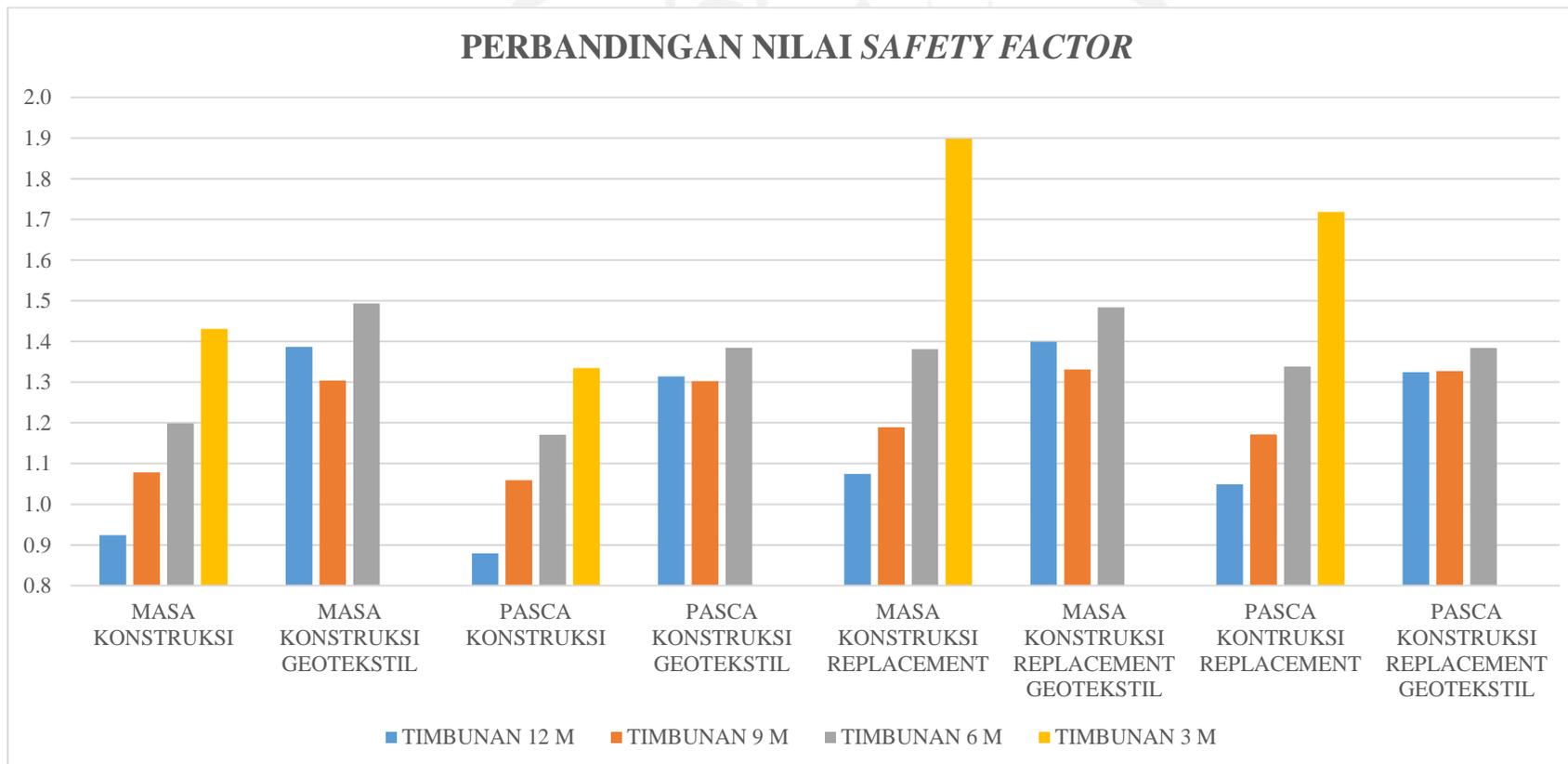
Pada penelitian ini terdapat dua jenis tanah yaitu tanah asli dan tanah asli dengan perbaikan (*Replacement*) yang diterapkan pada lereng timbunan. Hasil nilai angka aman yang dihasilkan menunjukkan nilai angka aman dengan tanah *Replacement* lebih tinggi dibandingkan dengan tanah asli walaupun tidak meningkat secara signifikan. Berdasarkan hal tersebut terdapat lereng timbunan yang mempunyai nilai angka aman yang $< 1,3$ dan perlu diberi perkuatan geotekstil agar meningkatkan nilai angka aman dan mencapai nilai angka aman yang disyaratkan, kemudian terdapat perbandingan nilai angka aman antara lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil dengan lereng timbunan yang diperkuat geotekstil. Pada penelitian ini terdapat variasi tinggi timbunan yaitu lereng timbunan dengan tinggi 3 meter, 6 meter, 9 meter, dan 12 meter. Berdasarkan hasil penelitian ini ketinggian lereng timbunan mempengaruhi nilai angka aman yang didapatkan, semakin tinggi lereng timbunan maka nilai angka amannya semakin kecil, sedangkan semakin rendah timbunan maka nilai angka amannya semakin besar.

Berdasarkan hasil penelitian ini lereng timbunan 3 meter tidak diberi perkuatan karena sudah mencapai nilai angka aman yang disyaratkan, sedangkan pada lereng timbunan 6 meter sampai 12 meter menunjukkan nilai angka aman yang telah yang disyaratkan setelah diberi perkuatan geotekstil.

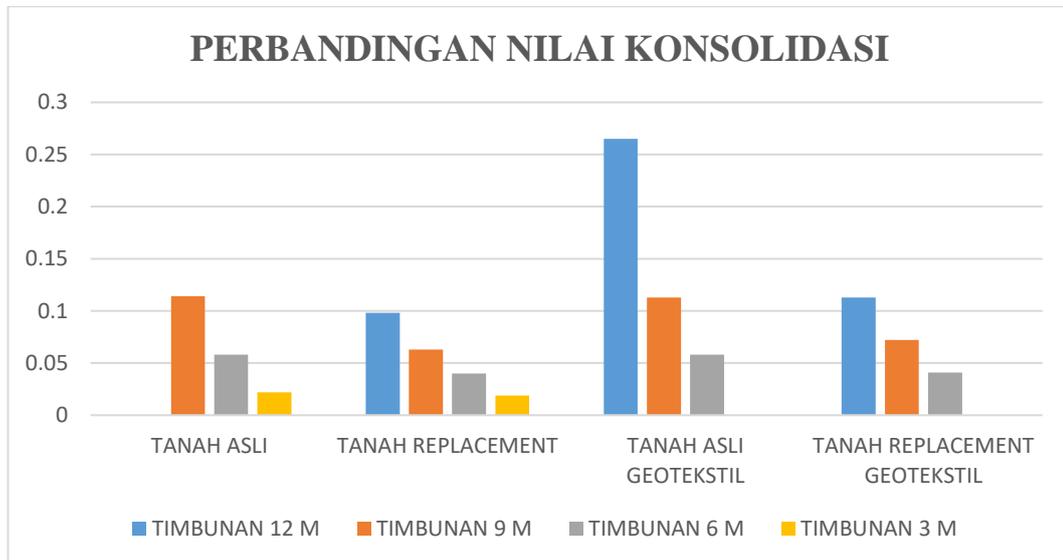
Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng timbunan yang telah dilakukan, variasi ketinggian lereng timbunan berpengaruh terhadap besarnya nilai angka konsolidasi, semakin tinggi lereng timbunan maka nilai angka konsolidasi yang didapatkan semakin kecil. Nilai angka konsolidasi pada lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil lebih besar dibandingkan dengan lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil dengan waktu konsolidasi selama 365 hari.

Perbandingan keseluruhan nilai angka aman lereng timbunan dan nilai konsolidasi lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.100 dan Gambar 5.101 berikut ini.





Gambar 5. 101 Perbandingan Nilai Angka Aman Lereng Timbunan



Gambar 5. 102 Perbandingan Nilai Konsolidasi

Rekapitulasi keseluruhan hasil analisis penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.20 rekapitulasi keseluruhan nilai angka *Safety Factor* dan pada Tabel 5.21 rekapitulasi keseluruhan nilai angka konsolidasi yang terjadi selama 365 hari berikut ini.

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Keseluruhan Nilai *Safety Factor* Lereng Timbunan

<i>Safety Factor</i>			Sebelum diberi Perkuatan Geotekstil				Setelah diberi Perkuatan Geotekstil		
			Timbunan 3 Meter	Timbunan 6 Meter	Timbunan 9 Meter	Timbunan 12 Meter	Timbunan 6 Meter	Timbunan 9 Meter	Timbunan 12 Meter
Kondisi Tanah Asli	Masa Konstruksi	Beban Struktur	1,4307 (Aman)	1,1987 (Tidak Aman)	1,0784 (Tidak Aman)	<i>Collapse</i>	1,4933 (Aman)	1,3041 (Aman)	1,3868 (Aman)
		Beban dan Gempa	1,4281 (Aman)	1,1976 (Tidak Aman)	1,0754 (Tidak Aman)	<i>Collapse</i>	1,4902 (Aman)	1,3022 (Aman)	1,3639 (Aman)
	Pasca Konstruksi	Beban Lalu Lintas	1,3345 (Aman)	1,1712 (Tidak Aman)	1,0589 (Tidak Aman)	<i>Collapse</i>	1,3847 (Aman)	1,3023 (Aman)	1,3143 (Aman)
		Beban dan Gempa	1,3333 (Aman)	1,1710 (Tidak Aman)	1,0570 (Tidak Aman)	<i>Collapse</i>	1,3834 (Aman)	1,3019 (Aman)	1,3011 (Aman)
Kondisi Tanah dengan <i>Replacement</i>	Masa Konstruksi	Beban Struktur	1,8981 (Aman)	1,3812 (Aman)	1,1889 (Tidak Aman)	1,0746 (Tidak Aman)	1,4839 (Aman)	1,3310 (Aman)	1,3992 (Aman)
		Beban dan Gempa	1,8823 (Aman)	1,3806 (Aman)	1,1887 (Tidak Aman)	1,0724 (Tidak Aman)	1,4838 (Aman)	1,3305 (Aman)	1,3952 (Aman)
	Pasca Konstruksi	Beban Lalu Lintas	1,7181 (Aman)	1,3387 (Aman)	1,1716 (Tidak Aman)	1,0488 (Tidak Aman)	1,3839 (Aman)	1,3277 (Aman)	1,3244 (Aman)
		Beban dan Gempa	1,7146 (Aman)	1,3371 (Aman)	1,1700 (Tidak Aman)	1,0487 (Tidak Aman)	1,3820 (Aman)	1,3200 (Aman)	1,3120 (Aman)

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Keseluruhan Nilai Angka Konsolidasi Lereng Timbunan

Timbunan	Nilai Angka Konsolidasi Sebelum diberi Perkuatan Geotekstil		Nilai Angka Konsolidasi Setelah diberi Perkuatan Geotekstil	
	Tanah Asli	Tanah dengan <i>Replacement</i>	Tanah Asli	Tanah dengan <i>Replacement</i>
3 Meter	0,022 Meter	0,019 Meter	-	-
6 Meter	0,058 Meter	0,040 Meter	0,058 Meter	0,041 Meter
9 Meter	0,114 Meter	0,063 Meter	0,113 Meter	0,072 Meter
12 Meter	<i>Collapse</i>	0,098 Meter	0,265 Meter	0,113 Meter



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil keseluruhan analisis stabilitas lereng timbunan dengan program *plaxis* 8.6 dan pembahasan yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada lereng timbunan 3 meter, 6 meter, 9 meter tanah asli masa konstruksi didapatkan nilai angka aman sebesar masing- masing 1,4307, 1,1987, dan 1,0784, sedangkan pada saat pasca konstruksi masing- masing sebesar 1,3345, 1,1712, dan 1,0589. Pada lereng timbunan 12 meter tanah asli masa konstruksi didapatkan nilai angka aman sebesar 1,0154, sedangkan pada saat pasca konstruksi lereng timbunan ini telah mengalami keruntuhan atau *collapse*.
2. Pada lereng timbunan 3 meter, 6 meter, 9 meter, dan 12 meter tanah *Replacement* masa konstruksi didapatkan nilai angka aman masing- masing sebesar 1,8981, 1,3812, 1,1889, dan 1,0746 sedangkan pada saat pasca konstruksi masing- masing sebesar 1,7181, 1,3387, 1,1716, dan 1,0488.
3. Pada lereng timbunan 3 meter tanah asli masa konstruksi tidak diperkuat geotekstil karena sudah mencapai nilai angka aman yang disyaratkan. Pada lereng timbunan 6 meter, 9 meter, dan 12 meter tanah asli masa konstruksi dengan perkuatan geotekstil didapatkan nilai angka aman masing- masing sebesar 1,4933, 1,3041, dan 1,3868, sedangkan pada saat pasca konstruksi masing- masing sebesar 1,3847, 1,3023, dan 1,3143.
4. Pada lereng timbunan 3 meter tanah *Replacement* masa konstruksi tidak diperkuat geotekstil karena sudah mencapai nilai angka aman yang disyaratkan. Pada lereng timbunan 6 meter, 9 meter, dan 12 meter tanah *Replacement* masa konstruksi didapatkan nilai angka aman sebesar 1,4839, 1,3310, dan 1,3992, sedangkan pada saat pasca konstruksi masing- masing sebesar 1,3839, 1,3277, dan 1,3244.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng timbunan yang telah dilakukan, variasi ketinggian lereng timbunan berpengaruh terhadap nilai angka aman yang dihasilkan, semakin tinggi lereng timbunan maka nilai angka aman yang didapatkan semakin kecil. Perbaikan tanah (*Replacement*) tidak meningkatkan nilai angka aman yang signifikan, sedangkan perkuatan dengan geotekstil yang diterapkan pada lereng timbunan sangat berpengaruh terhadap meningkatnya nilai angka aman yang signifikan dan mencapai nilai angka aman yang disyaratkan.

5. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng timbunan yang telah dilakukan, variasi ketinggian lereng timbunan berpengaruh terhadap besarnya nilai angka konsolidasi, semakin tinggi lereng timbunan maka nilai angka konsolidasi yang didapatkan semakin kecil. Nilai angka konsolidasi pada lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil lebih besar dibandingkan dengan lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil dengan waktu konsolidasi selama 365 hari.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Pada penelitian ini hanya menggunakan satu parameter jenis tanah timbunan, untuk penelitian selanjutnya lebih dipertimbangkan untuk menambah parameter jenis tanah timbunan yang berbeda.
2. Pada penelitian ini menggunakan perkuatan geotekstil, untuk penelitian selanjutnya lebih dipertimbangkan untuk mengubah jenis perkuatan yang lain seperti *sheet pile*, cerucuk bambu, maupun *counterweight* karena hasil yang didapatkan dapat dibandingkan dengan penelitian ini.
3. Pada penelitian ini hanya menggunakan satu parameter perkuatan yaitu geotekstil, untuk penelitian selanjutnya lebih dipertimbangkan untuk menambah parameter perkuatan seperti *sheet pile*, cerucuk bambu, maupun *counterweight* karena hasil analisis masih terdapat potensi kelongsoran sampai kedalam tanah.

4. Untuk penelitian selanjutnya lebih dipertimbangkan dengan menggunakan kondisi geometri lereng timbunan yang tergenang oleh air agar mengetahui pengaruh dari kondisi adanya genangan air atau muka air pada tanah.



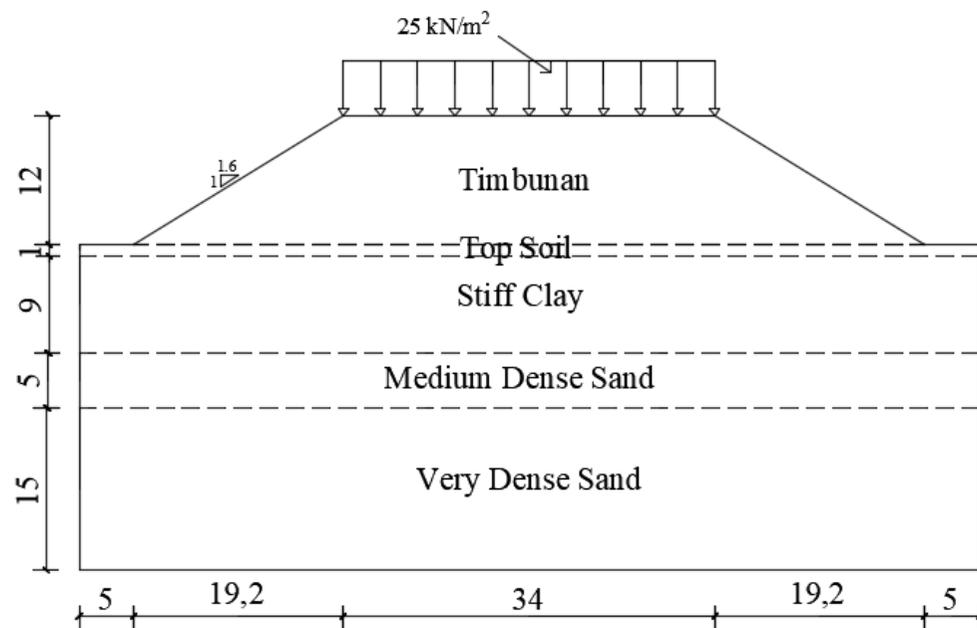
DAFTAR PUSTAKA

- Bahalwan, A. H. (2018). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Penguatan Geotekstil Pada Lereng*. Daerah Istimewa Yogyakarta: DSpace UII.
- Bowles, J. E. (1977). *Foundation Analysis and Design*. Tokyo, Japan: Mc Graw-Hill Kogakusha, Ltd.
- Bowles, J. E. (1984). *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. USA: McGraw- Hill Book Company.
- Bowles, J. E. (1991). *Sifat- Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Brinkgreve R. B. J, E. a. (2007). *Plaxis 2D-Versi 8*. Belanda: Delft University of Technology.
- Budiasto, A. (2018). *5. Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Pada Jalan Tol Solo-Kertosono Tahap III Sta. 118+700 – 139+760*. Daerah Istimewa Yogyakarta: DSpace UII.
- Das, B. M. (1994). *Mekanika Tanah (Prinsip- Prinsip Rekayasa Geoteknis): Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip- Prinsip Rekayasa Geoteknis): Jilid 1*. Surabaya: Erlangga.
- Fitradi, N. I. (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dan Turap Beton Menggunakan Program Plaxis*. Daerah Istimewa Yogyakarta: DSpace UII.
- Gati, B. M. (2018). *Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan Dan Prediksi Timbunan Yang Terjadi Menggunakan Program Plaxis*. Daerah Istimewa Yogyakarta: DSpace UII.
- Hardiyatmo, H. C. (1992). *Mekanika Tanah 1: Edisi Pertama*. Jakarta: Gramedia Pustaka Umum.
- Hardiyatmo, H. C. (1994). *Mekanika Tanah 2: Edisi Pertama*. Jakarta: Gramedia Pustaka Umum.

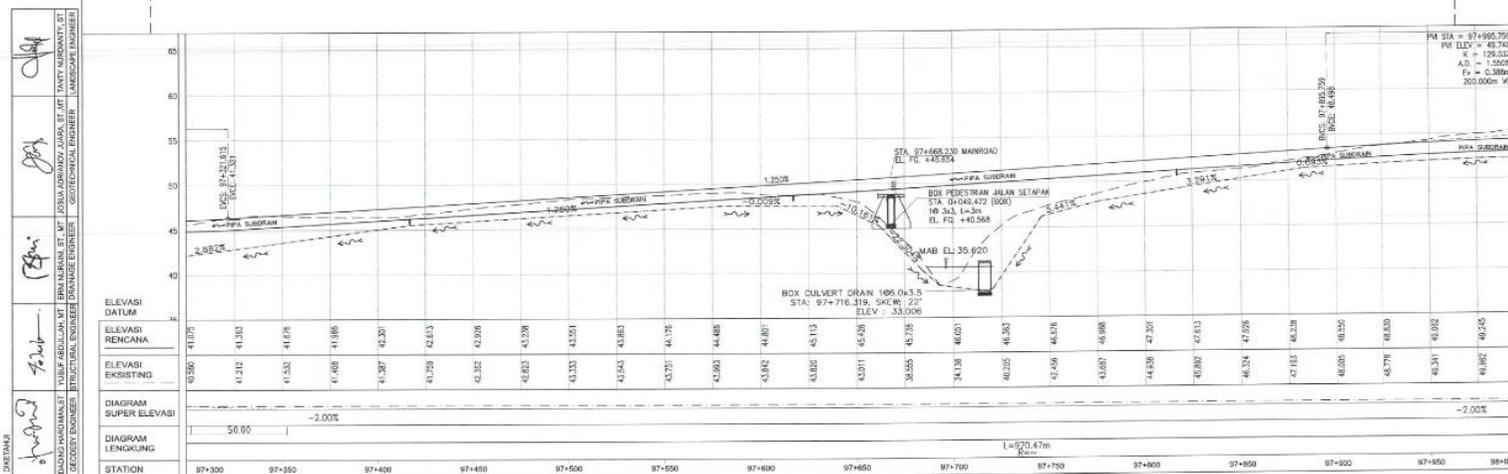
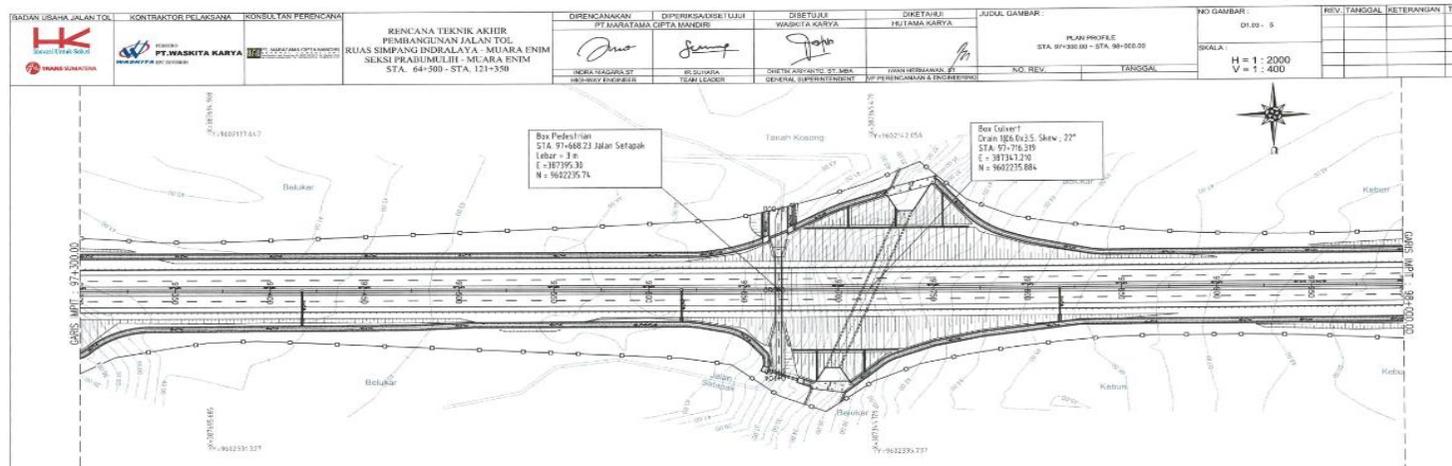
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah 1: Edisi Ketiga*. Daerah Istimewa Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2006). *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Daerah Istimewa Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya, Perancangan dan Aplikasi*. Daerah Istimewa Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). *Mekanika Tanah 1. Edisi Keenam*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). *Mekanika Tanah 2: Edisi Kelima*. Daerah Istimewa Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ismanti, S. (2012). *Analisis Perilaku Timbunan Dengan Perkuatan Geosintetis Menggunakan Software Plaxis*. Daerah Istimewa Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Karya, P. T. (2021). *Laporan Analisis Geoteknik*. Muara Enim.
- Peta Zonasi Gempa Indonesia*. (2012). SNI 1726:2012.
- Putri. (2013). *Perbandingan Stabilitas Lereng Tanpa Dan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Versi 8.5*. Daerah Istimewa Yogyakarta: DSpace UII.
- Unggul, P. T. (2015). *Technical Spesification Geotextile Woven*. Surabaya.
- Wesley, L. D. (1977). *Mekanika Tanah*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Potongan Melintang Proyek

Lampiran 2 Potongan Memanjang Proyek



Lampiran 3 Stratigrafi Main Road Proyek

STRATIGRAFI MAIN ROAD STA. 94+743 – 104+893



STRUKTUR	MAINROAD 1				MAINROAD 2				OP Jalan				MAINROAD 3				1. MAINROAD 4 MEDCO				OP Jalan Kabupaten				OP Jalan												
NAMA TITIK	BH-128	BH-01	BH-02	BH-129	BH-03	BH-04	BH-34	BH-35	BH-36	BH-05	BH-06	BH-37	BH-130	BH-110	BH-117	BH-38	BH-131	BH-39	BH-40	BH-07	BH-08	BH-132	BH-133	BH-134	BH-41	BH-135	BH-09	BH-10	BH-43	BH-11	BH-12	BH-102	BH-103	BH-44	BH-05		
GWL (m')	-3.5	-	-2.4	-6.5	-4	-3.5				5.5	-		-1.5	-3.5	-3		-1.5			-7	-6	-11	-4	-7		-1	-6	-4.5	-5	-7	-3.5	-3.5					
STA. LAMA	94+100	96+175	98+225	96+160	96+950	96+950	97+030	97+352	97+840	98+256	98+256	98+617	98+850	99+600	99+600	99+967	100+300	100+873	101+200	101+200	101+240	101+200	101+240	101+450	102+250	102+600	102+950	102+950	103+000	103+505	103+505	104+472	104+472	104+500	104+850		
STA. BARU	94+443	96+218	96+208	96+443	96+993	96+993	97+073	97+593	97+882	98+599	98+599	98+660	98+893	99+093	99+693	100+010	100+543	100+916	101+243	101+243	101+283	101+243	101+283	101+493	102+293	102+643	102+993	102+993	103+043	103+548	103+548	104+515	104+515	104+543	104+893		
0																																					
-1.5	10	8	12	10	5	7	27	17	22	10	15	12	37	14	7	21	16	13	24	17	10	9	9	19	26	5	8	8	10	13	11	13	13	17	7		
-3	4	4	9	12	6	6	36	15	15	12	16	17	21	12	19	46	21	26	19	14	7	10	23	23	9	14	11	19	12	12	16	15	15	8			
-4.5	5	3	12	30	80	22	31	12	18	25	26	15	90	40	28	21	49	15	15	12	-7	13	5	28	17	28	13	12	8	15	27	14	16	13	4		
-6	20	11	7	36	60	20	33	16	39	35	47	27	60	52	33	48	52	7	17	12	-4	10	4	51	9	31	28	27	15	16	60	21	7	12	6		
-7.5	60	23	23	46	60	20	44	23	43	18	60	37	60	55	36	60	60	6	10	7	13	13	6	60	10	37	29	31	17	21	60	27	13	23	12		
-9	46	60	60	60	60	39	35	29	60	10	60	36	60	60	50	44	56	5	12	19	38	14	15	60	10	24	28	34	20	23	21	18	19	21	36		
-10.5	60	38	60	60	32	60	39	44	37	23	60	42	48	38	46	52	50	19	18	17	52	23	6	56	6	33	33	49	17	21	28	26	15	22	43		
-12	60	30	40	60	17	60	60	60	47	28	60	33	44	60	52	55	60	24	28	60	60	39	29	20	50	16	40	25	60	21	25	38	20	11	21	60	
-13.5	60	60	38	31	26	60	60	60	60	21	60	35	49	49	59	47	60	12	60	60	60	60	23	55	30	42	33	60	60	36	44	41	20	24	60		
-15	59	60	40	40	32	60	60	60	60	50	31	41	60	49	60	60	60	31	60	60	60	60	30	60	60	24	34	60	60	53	47	44	19	27	60		
-16.5	50	60	60	42	28	60	60	60	60	60	24	60	43	46	44	60	60	44	60	60	60	60	34	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
-18	60	60	60	43	36	60	60	60	60	45	24	60	43	34	31	66	60	46	60	60	60	60	60	60	60	60	60	39	66	60	50	43	60	66			
-19.5	60	60	60	60	30	60			60	60	42	60	60	29	46	59	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
-21	60	60	60	60	60	60			60	60	60	46	25	46		42	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
-22.5	60	60	60	60	60	60			60	60		21	41			60	60			60	60	60	60	60		60	60	60		60	36	60	60	60	60		
-24																																					
-25.5																																					
-27																																					
-28.5																																					
-30																																					
-31.5																																					
-33																																					
-34.5																																					
-36																																					
-37.5																																					
-39																																					
-40.5																																					
Naverage	19	14	23	32	21	24	44	30	38	23	33	31	50	33	27	41	44	15	25	23	18	20	12	44	18	23	26	27	23	25	29	26	18	24	16		
Site Class	SD	SE	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SC	SD	SD	SD	SD	SE	SD	SD	SD	SD	SE	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD		

Remarks:

Tanah Berbutir kasar	Tanah Berbutir Halus
Pasiran	Lempung/Lanau
< 4	= sangat urai
4 sd. 10	= urai
10 sd. 30	= agak padat
30 sd. 50	= padat
> 50	= sangat padat
< 2	= sangat lunak
2 sd. 4	= lunak
4 sd. 8	= teguh
8 sd. 15	= sangat teguh
15 sd. 30	= keras
> 30	= sangat keras

Lampiran 4 Stratigrafi Sondir Proyek

STRATIGRAFI SONDIR STA. 95+043 – 100+143



Struktur	RUP Jalan Pedestrian STA 95+000																					
Ref.	S-01	S-02	S-03	S-04	S-05	S-06	S-07	S-08	S-09	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16	S-17	S-18	S-19	S-20	S-21	
STA. lama	95+000	95+200	95+400	95+600	95+800	96+000	96+495	96+700	97+200	97+400	97+625	97+900	98+100	98+200	98+700	98+900	99+100	99+300	99+500	99+700	99+900	
STA. baru	95+043	95+243	95+443	95+643	95+843	96+043	96+538	96+743	97+243	97+443	97+668	97+943	98+143	98+243	98+743	98+943	99+143	99+343	99+543	99+743	99+943	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
-0.2	2	20	10	5	2	6	10	12	4	9	5	20	12	10	5	14	10	10	20	5	20	25
-0.4	10	10	10	15	4	7	5	20	3	12	5	25	5	11	5	13	10	10	25	4	15	20
-0.6	20	20	15	10	10	10	6	15	10	14	10	22	5	13	10	15	15	10	25	5	10	10
-0.8	21	18	18	20	20	9	7	10	7	18	15	20	18	17	20	15	10	25	5	13	12	
-1	23	30	10	10	38	18	15	20	8	20	15	25	28	18	30	30	30	30	28	4	11	11
-1.2	15	15	12	25	12	5	25	25	12	22	18	25	21	19	21	30	25	15	30	3	10	17
-1.4	18	20	15	12	17	10	20	35	15	27	23	28	25	20	20	30	20	15	32	4	12	30
-1.6	17	25	24	10	15	12	15	45	20	28	25	27	24	19	21	30	20	15	40	4	17	32
-1.8	19	40	21	15	10	11	20	50	40	25	30	68	20	18	22	30	25	15	45	8	20	50
-2	25	20	30	20	10	10	30	25	20	22	35	45	25	20	24	30	30	15	55	7	35	40
-2.2	20	20	20	20	20	10	25	30	25	30	38	48	20	21	27	30	20	15	58	13	30	20
-2.4	20	33	24	15	25	28	20	45	40	30	40	20	25	20	25	30	30	30	55	25	60	25
-2.6	25	18	30	30	30	30	40	60	45	20	45	25	25	22	25	50	25	20	30	65	30	
-2.8	20	11	40	35	30	25	45	70	20	23	42	28	25	21	27	30	20	15	60	25	25	30
-3	25	15	30	40	15	30	10	20	35	30	45	25	30	23	29	50	20	25	45	30	70	20
-3.2	30	20	25	45	25	35	15	25	50	30	50	23	25	22	31	50	20	25	40	32	80	40
-3.4	32	20	30	50	20	20	17	20	60	40	43	28	30	25	29	50	20	30	35	47	80	50
-3.6	30	20	38	20	20	30	36	20	30	30	43	25	30	25	30	50	25	38	34	60	120	45
-3.8	32	25	40	20	20	30	30	20	40	30	50	25	30	20	25	50	30	30	50	30	150	40
-4	40	40	30	30	25	40	25	45	20	50	55	25	30	20	27	50	30	65	35	80	180	60
-4.2	30	30	35	25	70	30	20	40	30	40	50	30	25	20	25	50	25	85	30	90	170	30
-4.4	40	25	40	30	80	50	30	40	25	30	48	35	25	20	21	50	20	90	45	100		20
-4.6	30	30	50	50	85	45	40	45	60	30	52	37	20	15	20	55	25	100	50	80		30
-4.8	45	45	50	45	50	25	45	30	70	30	52	30	15	15	14	50	30	105	52	95		45
-5	70	50	30	60	45	30	45	45	60	55	55	39	15	15	14	50	30	115	55	110		50
-5.2	75	30	35	50	20	50	60	20	65	30	51	47	15	15	15	50	150		50	105		70
-5.4	70	35	50	25	25	55	60	75	25	50	38	15	15	15	50	50		60	140		80	
-5.6	80	40	65	40	40	45	55	80	80	20	56	20	15	20	20	50	70	80	150		110	
-5.8	70	40	75	50	20	50	70	85	50	30	50	40	15	25	19	50	60		85	160		160
-6	80	50	70	70	30	45	50	75	70	19	55	45	15	20	15	80	130		95	190		
-6.2	70	40	75	70	40	60	30	70	50	20	50	42	15	20	12	80	150		100	200		
-6.4	90	60	100	80	25	70	35	90	40	30	53	48	25	20	10	90	180		115	250		
-6.6	95	60	100	85	20	40	30	100	45	40	58	50	25	20	11	100	190		120			
-6.8	100	70	100	90	25	35	90	130	60	45	60	50	25	20	10	100	230		135			
-7	105	75	140	75	40	25	25	180	80	40	55	45	15	20	11	90	265		150			
-7.2	135	80	160	70	40	20	110		95	40	70	48	20	20	10	100			162			
-7.4	140	50		100	45	45	180		100	45	70	50	20	25	12	110			195			
-7.6	130	90		105	60	25			150	40	68	42	20	30	10	90			225			
-7.8	145	80		100	25	10			150	80	65	45	25	25	13	100			230			
-8	150	150		130	30	40			155	90	67	50	20	35	16	30			205			
-8.2		170		135	25	40			190	120	75	55	25		150							
-8.4				150	30	30			220	160	78	60	45		11	40						
-8.6				155	35	25			250	80	75	45			7	40						
-8.8					45	20			270		87	70	100		8	40						
-9					80	25					80	70	100									
-9.2					155	50					85	80	100									
-9.4					180	45					87	80	180									
-9.6						45					80	110										
-9.8						90					70	175										
-10						130					130	90	180									
-10.2						135					95	90										
-10.4						150					80	50	160									
-10.6						155					105	50	180									
-10.8											170		200									

Remarks :

- CLAY
- SAND

Lampiran 5 Zona Pelapisan Tanah

ZONASI PELAPISAN TANAH (ANALISIS TIMBUNAN)



Zona	STA		Kedalaman			Jenis Tanah	NSPT Rata Rata	Material Model	γ_{unsat}	γ_{sat}	E'	μ	C	ϕ	C'	ϕ	
									(kN/m^3)	(kN/m^3)	(kN/m^2)		(kN/m^2)	($^{\circ}$)	(kN/m^2)	($^{\circ}$)	
3	97+075	-	97+900	0	-	1	TOP SOIL	4	Mohr - Coulomb	15	16	3000	0.33	20	0	2	22
				1	-	10	STIFF CLAY	15	Mohr - Coulomb	15	16	11250	0.33	75	0	20	28
				10	-	15	MEDIUM DENSE SAND	30	Mohr - Coulomb	16	17	22800	0.33	0	34	0	34
				15	-	30	VERY DENSE SAND	60	Mohr - Coulomb	17	18	45600	0.33	0	42	0	42

Lampiran 6 Data *Technical Specification Geotextile Woven*

UnggulTex

POLYPROPYLENE WOVEN GEOTEXTILES

TECHNICAL SPECIFICATIONS

PROPERTIES	UNIT	TEST METHOD	UW - 150	UW - 200	UW - 250
Physical Properties					
Mass	g/m ²	ASTM D 5251-92	150	200	250
Thickness	mm	ASTM D 5199-91	0.5	0.6	0.7
Colour	-	-	Black	Black	Black
Mechanical Properties					
Strip Tensile Strength (Wrab/Weft)	kN/m	ASTM D 4595-94	37/35	42/39	52/52
Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)	%	ASTM D 4595-94	19/18	20/20	20/20
Grap Tensile Strength (Wrab/Weft)	N	ASTM D 4632-91	1210/1200	1600/1600	1750/1750
Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)	%	ASTM D 4632-91	14/13	22/22	22/22
Trapezoidal Tear Strength (Wrab/Weft)	N	ASTM D 4533-91	615/615	700/700	800/800
Hydraulic Properties					
Pore Size O ₉₅	µm	ASTM D 4751-95	320	275	250
Water Permeability	l/m ² /sec	100 mm water head	28	16	7.5
Environmental Properties					
Effect of soil Alkalinity	-	-	nil	nil	nil
Effect of soil Acidity	-	-	nil	nil	nil
Effect of Bacteria	-	-	nil	nil	nil
Effect of U.V. Light	-	-	Stabilized	Stabilized	Stabilized
Packaging					
Roll Length	m	-	150 - 200	150 - 200	150 - 200
Roll Width	m	-	3 - 4	3 - 4	3 - 4
Roll Area	m ²	-	640 - 760	640 - 760	640 - 760
Roll Diameter (Approx)	m	-	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5
Roll Weight (Approx)	kg	-	96 - 114	128 - 152	160 - 190

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

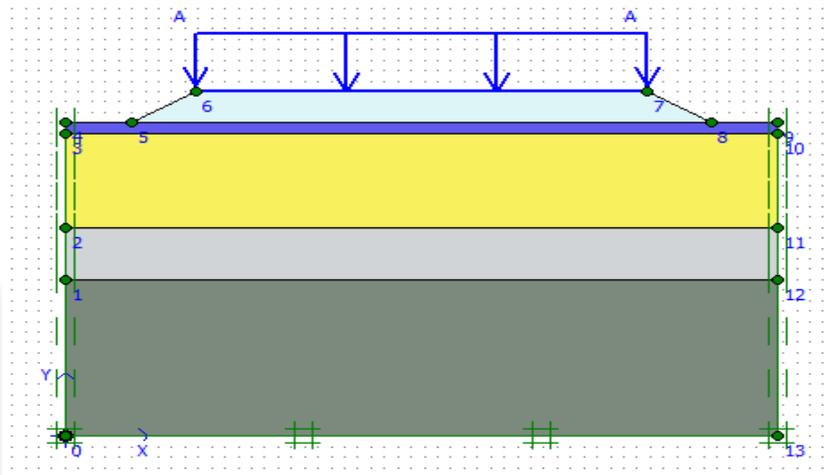
Distributed by :



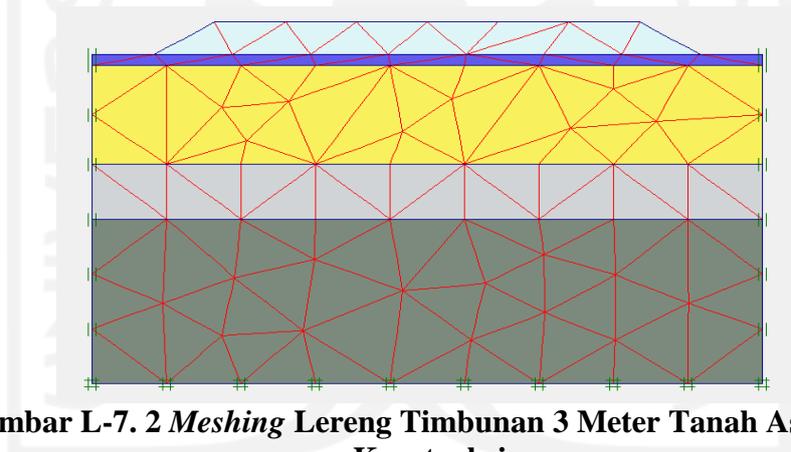
PT. TEKNINDO GEOSISTEM UNGGUL

Wisma SIER Building, 1st Floor, Jl. Rungkut Industri Raya 10, Surabaya 60293
Tel. 031-8475062 Fax. 031-8475063

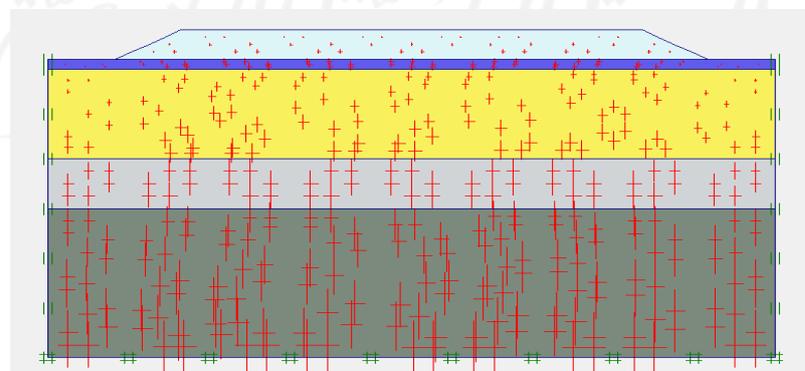
Lampiran 7 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Tanpa Perkuatan



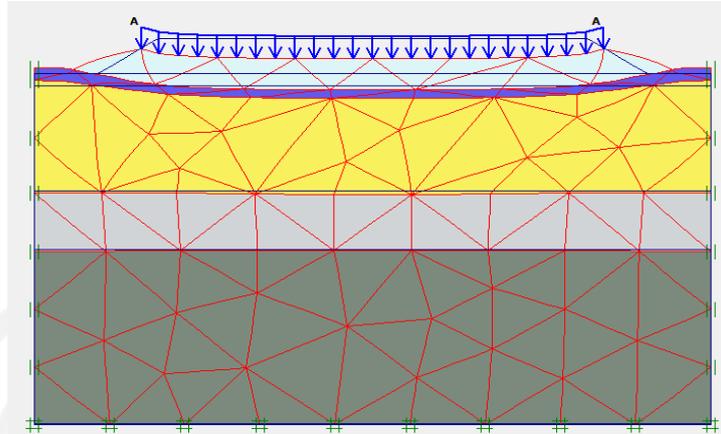
Gambar L-7. 1 Permodelan Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi



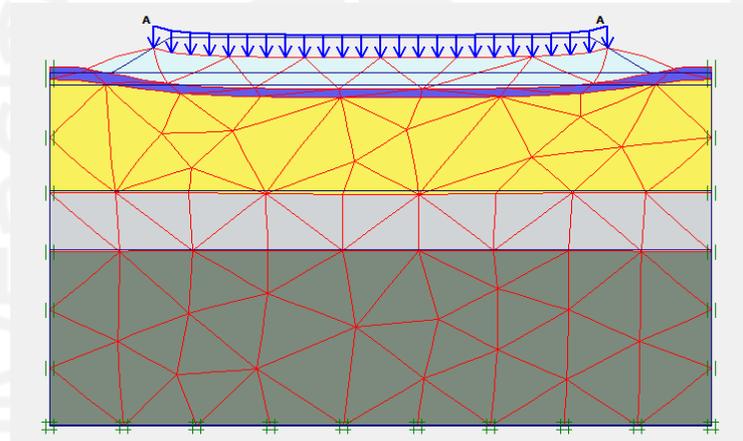
Gambar L-7. 2 Meshing Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi



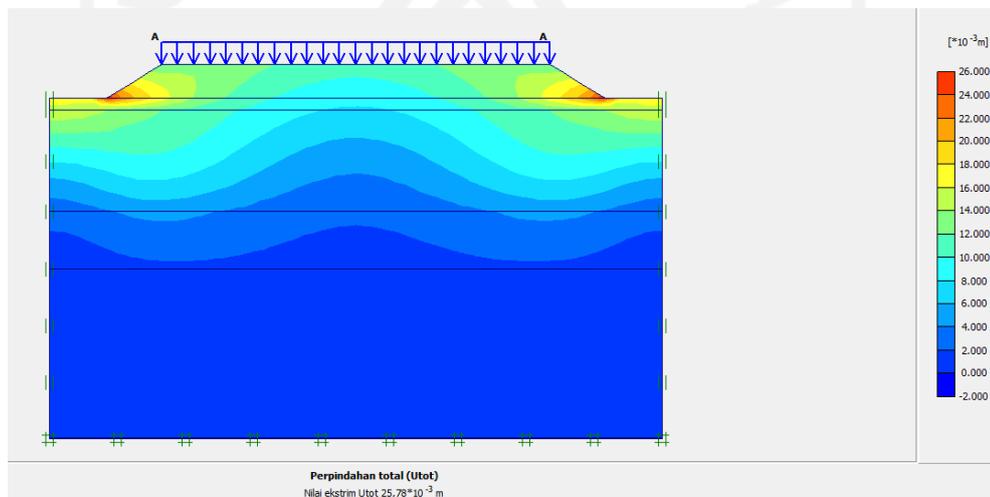
Gambar L-7. 3 Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi



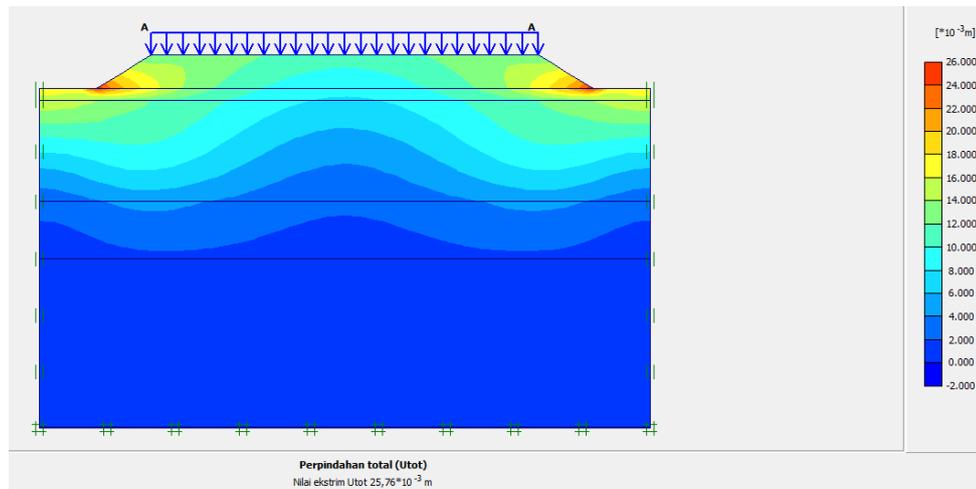
Gambar L-7. 4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



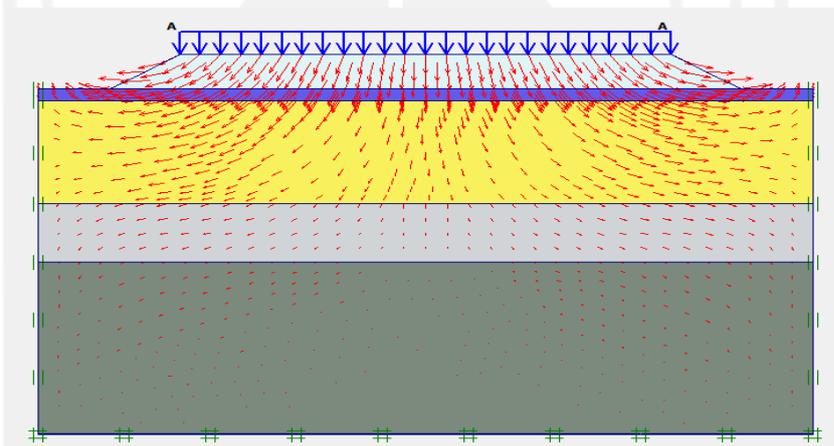
Gambar L-7. 5 Deformed Mesh Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



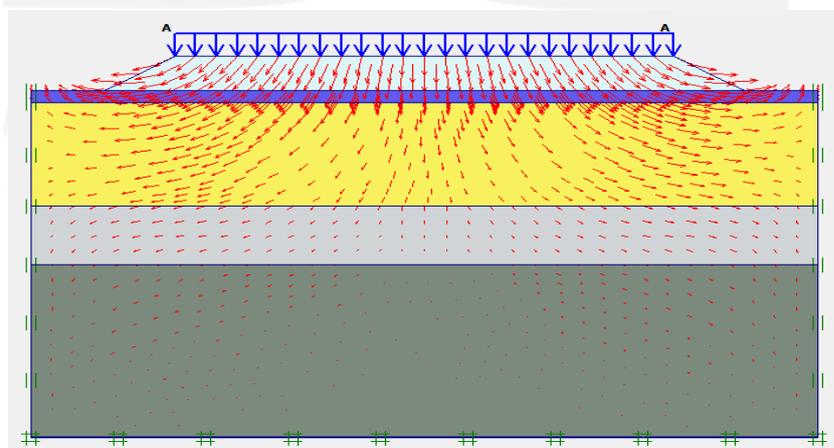
Gambar L-7. 6 Total Displacement Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



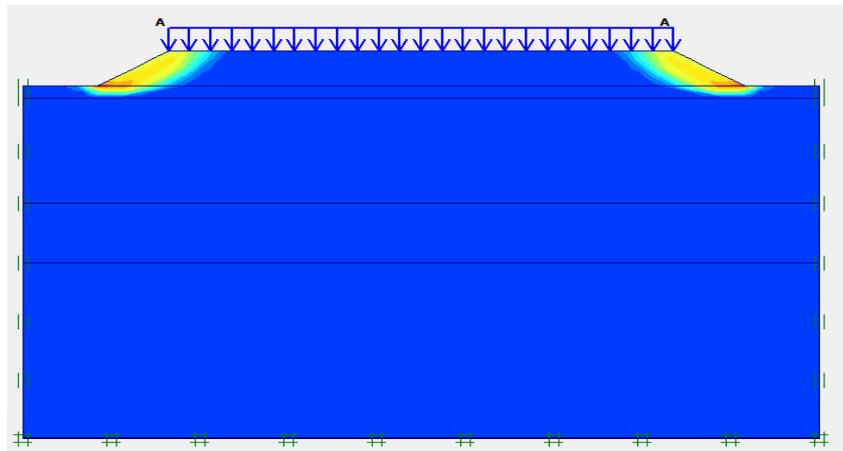
Gambar L-7. 7 Total Displacement Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



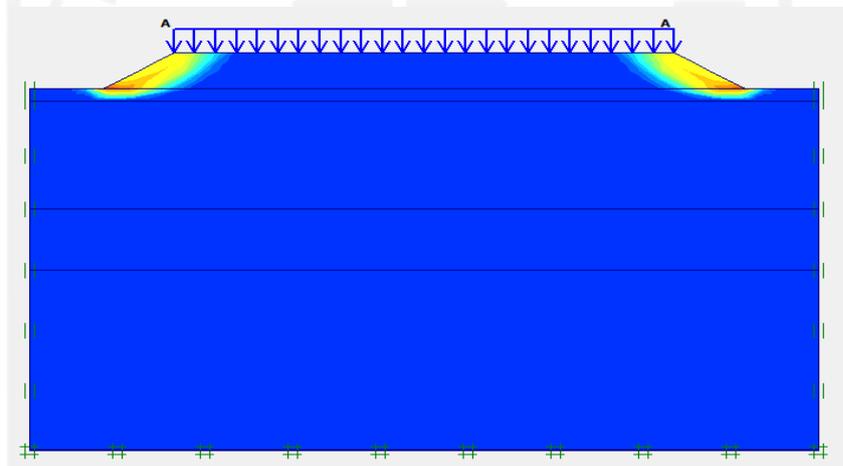
Gambar L-7. 8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



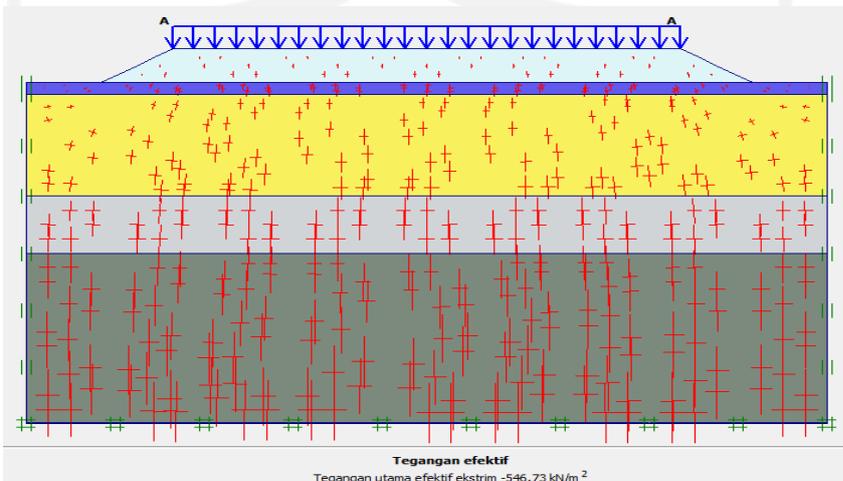
Gambar L-7. 9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



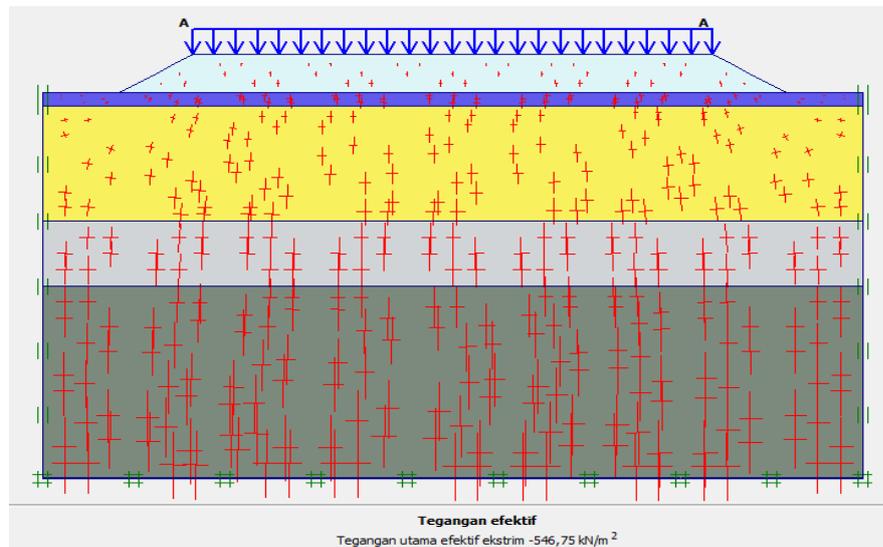
Gambar L-7. 10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



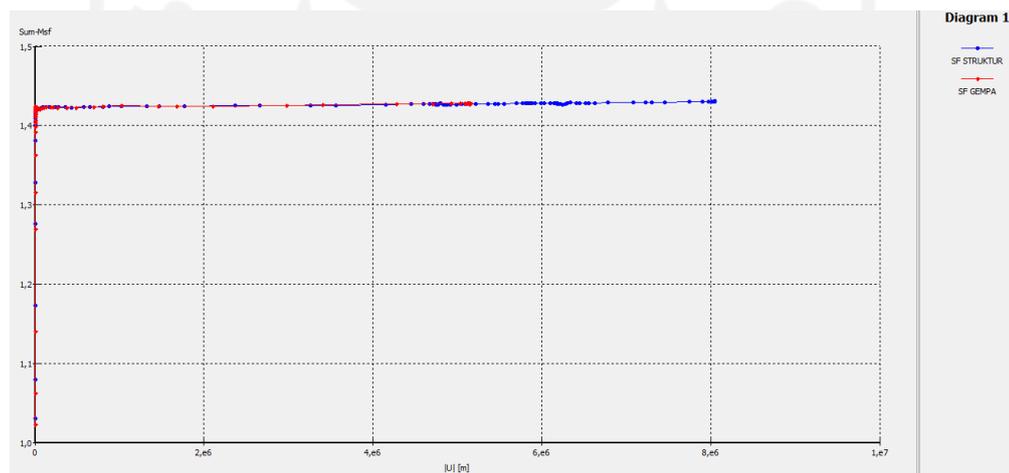
Gambar L-7. 11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



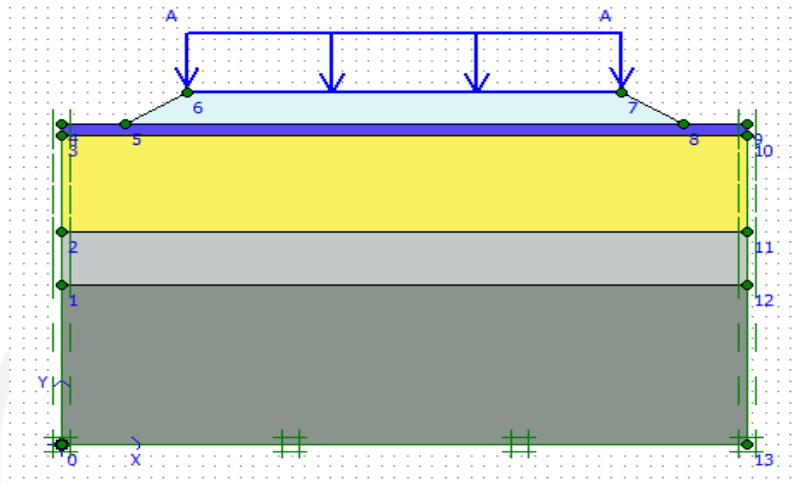
Gambar L-7. 12 Effective Stresses Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



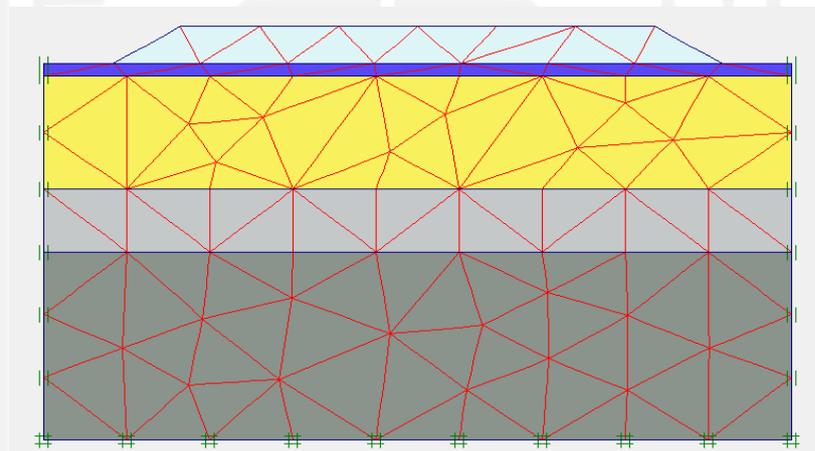
Gambar L-7. 13 Effective Stresses Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



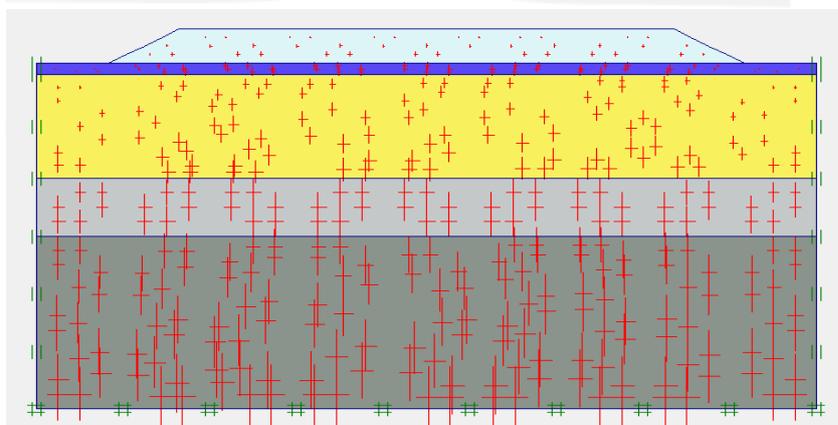
Gambar L-7. 14 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi



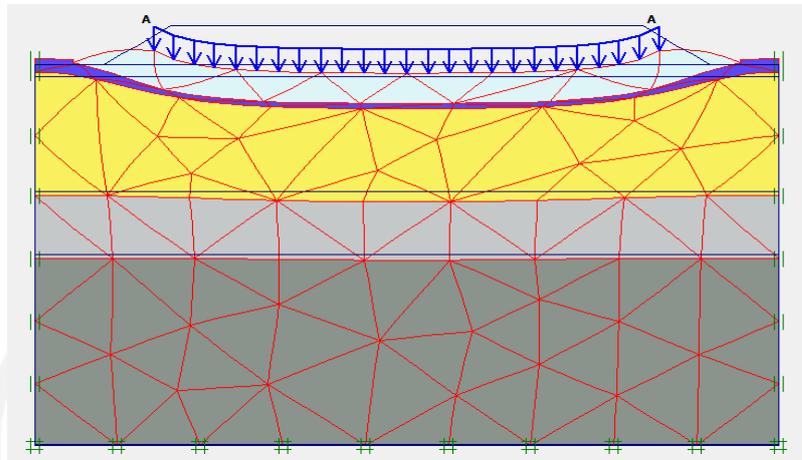
Gambar L-7. 15 Permodelan Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi



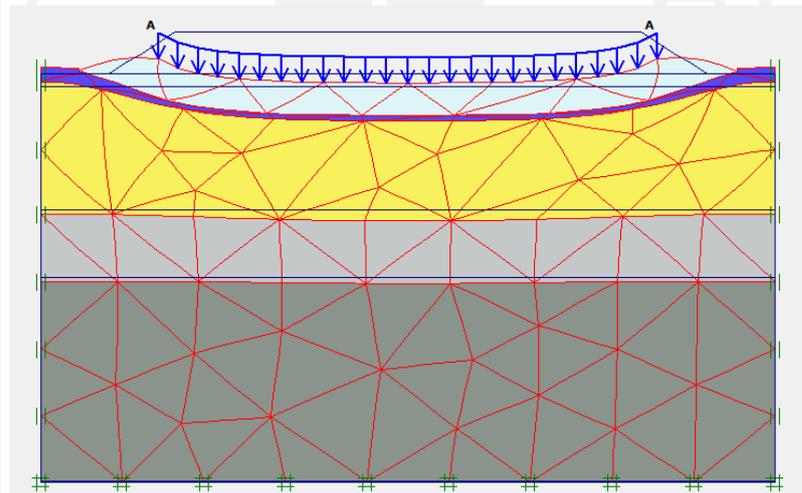
Gambar L-7. 16 Meshing Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi



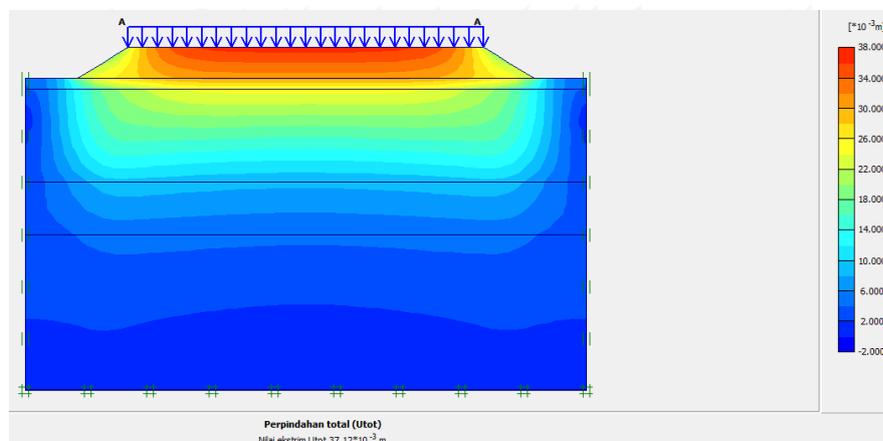
Gambar L-7. 17 Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi



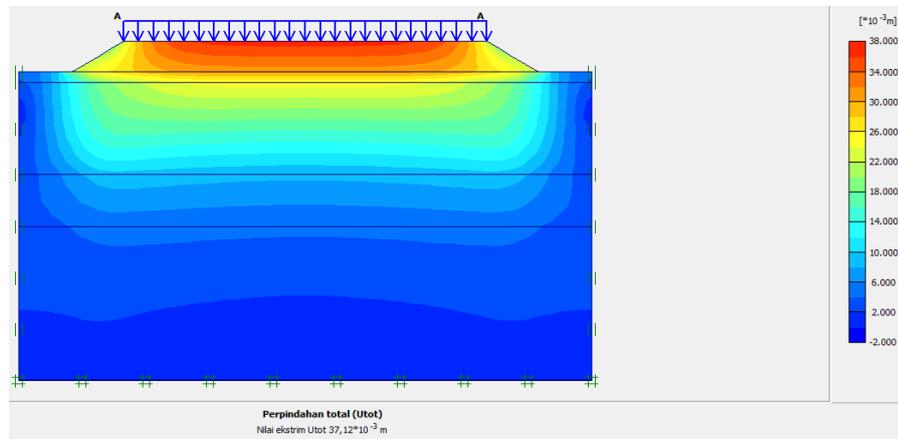
Gambar L-7. 18 Deformed Mesh Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



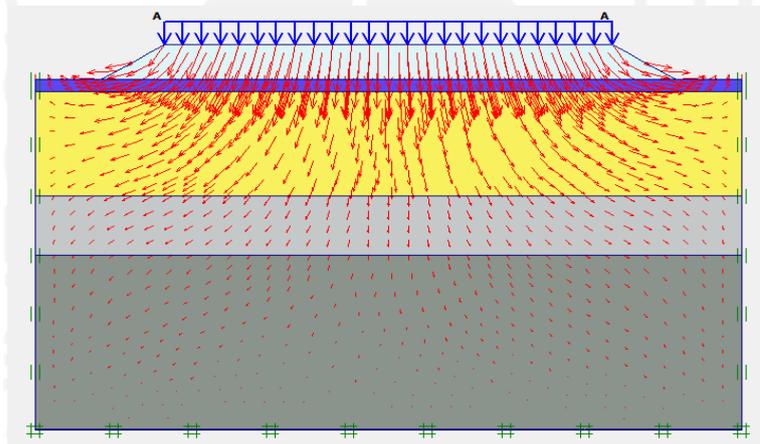
Gambar L-7. 19 Deformed Mesh Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



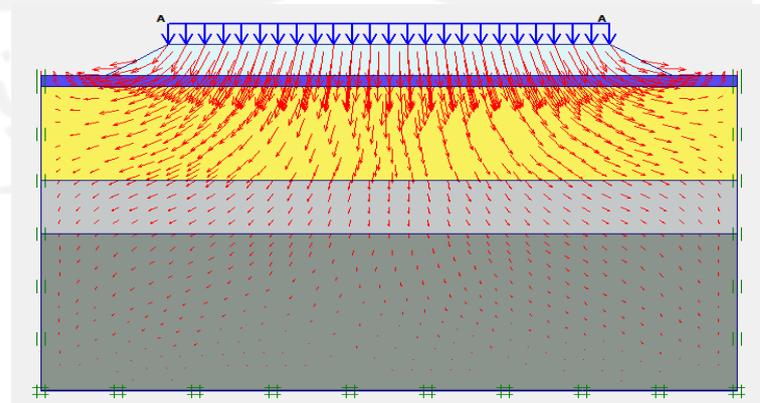
Gambar L-7. 20 Total Displacement Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



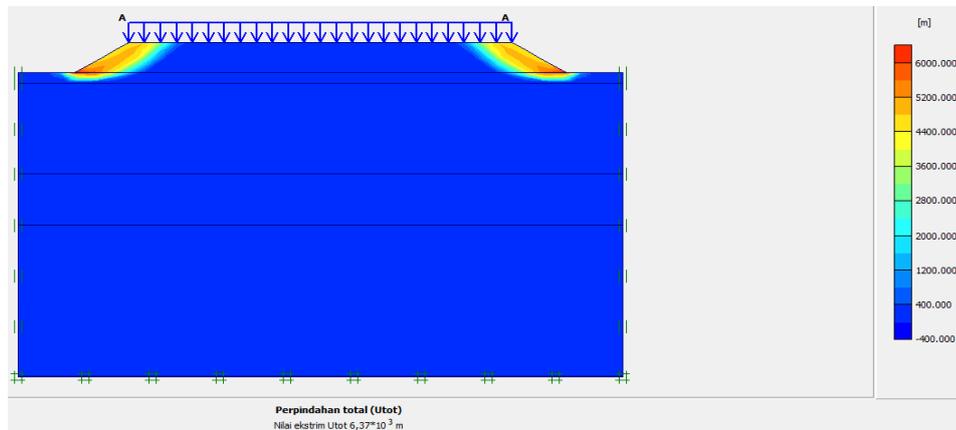
Gambar L-7. 21 Total Displacement Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



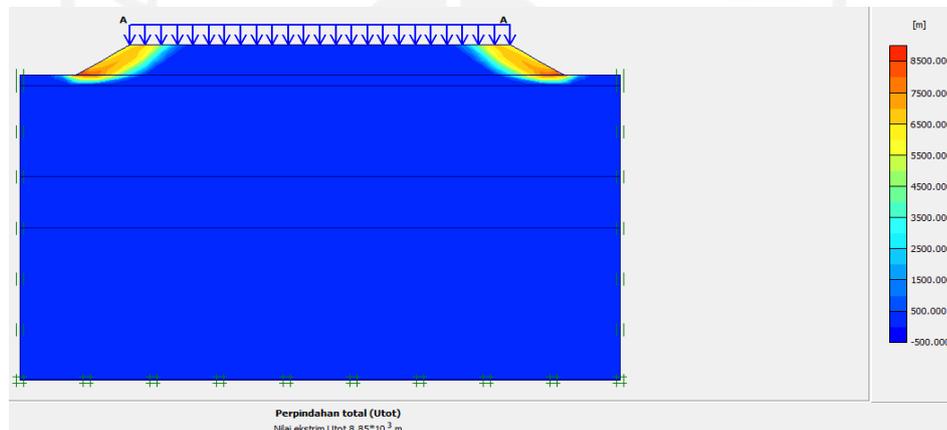
Gambar L-7. 22 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



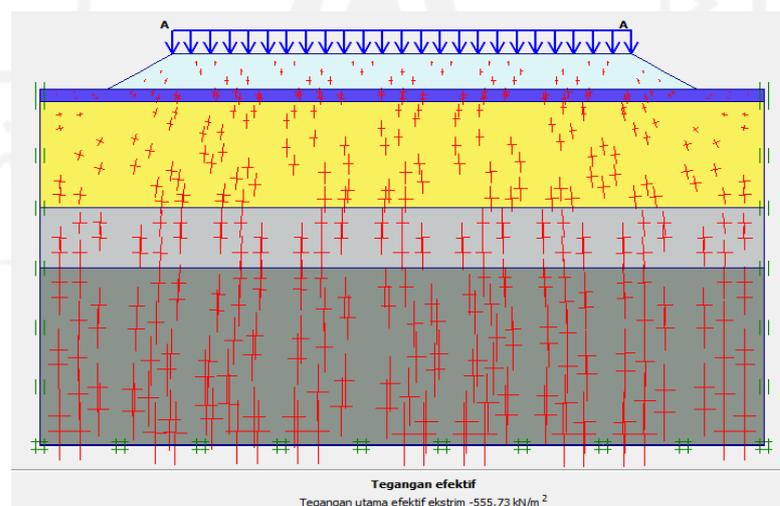
Gambar L-7. 23 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



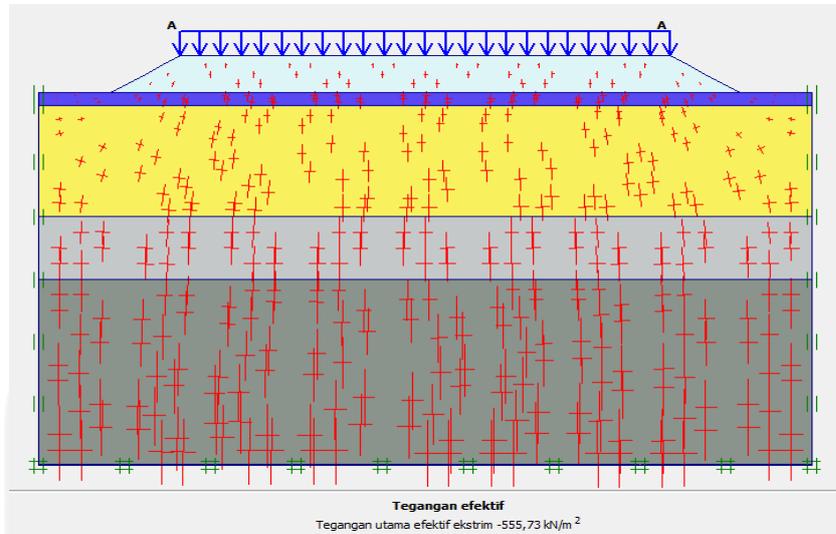
Gambar L-7. 24 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



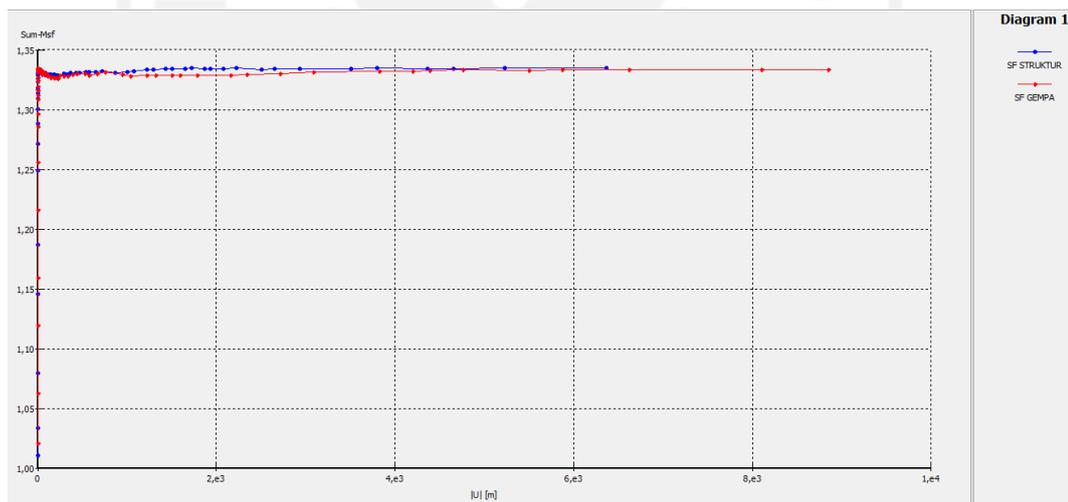
Gambar L-7. 25 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



Gambar L-7. 26 Effective Stresses Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

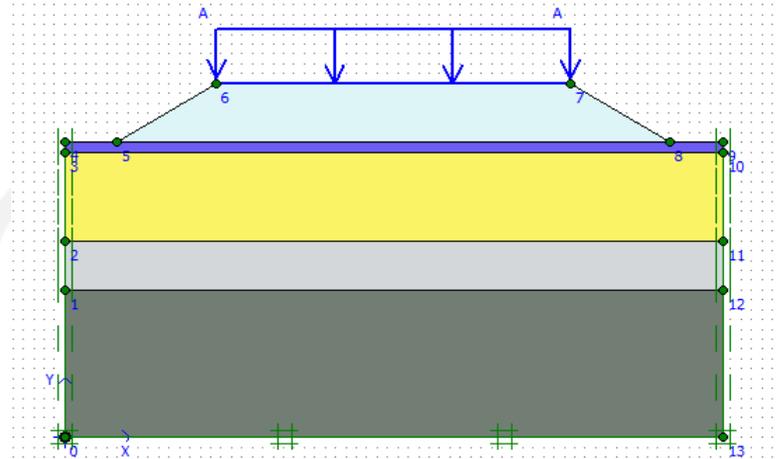


Gambar L-7. 27 Effective Stresses Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa

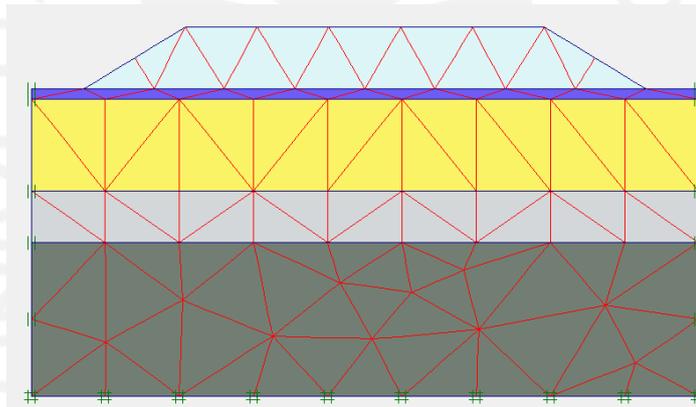


Gambar L-7. 28 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi

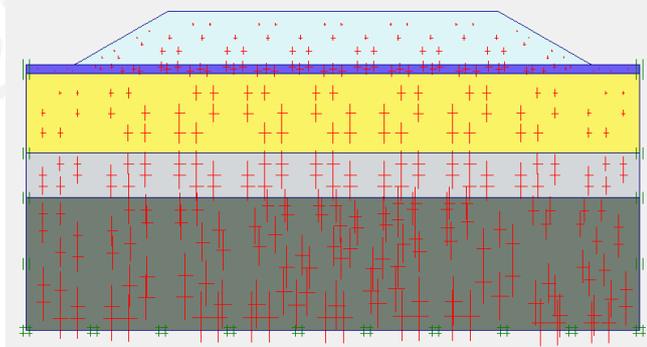
Lampiran 8 Hasil Analisis Plaxis Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Tanpa Perkuatan



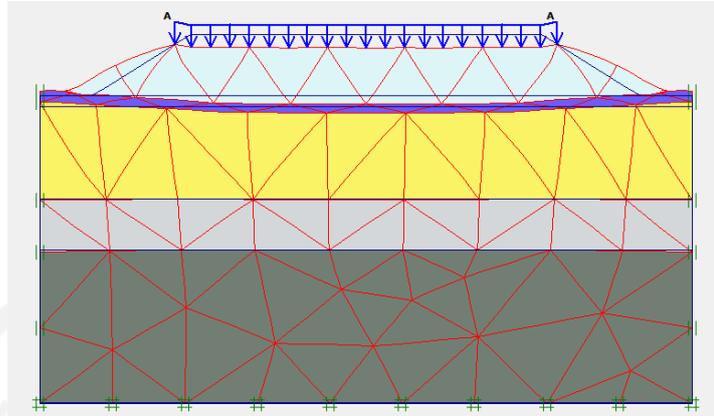
Gambar L-8. 1 Permodelan Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi



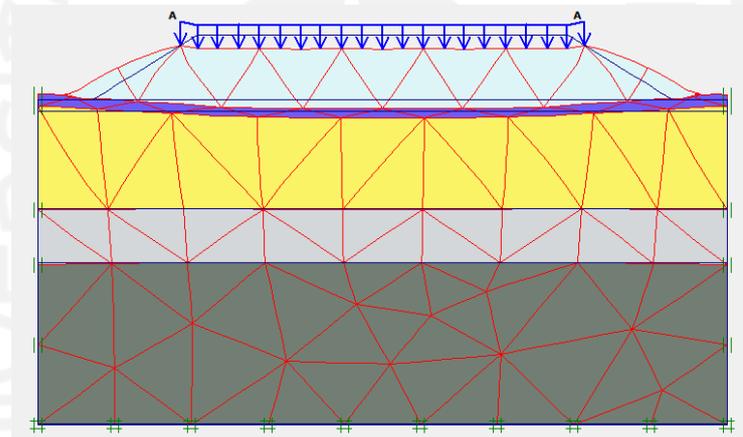
Gambar L-8. 2 Meshing Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi



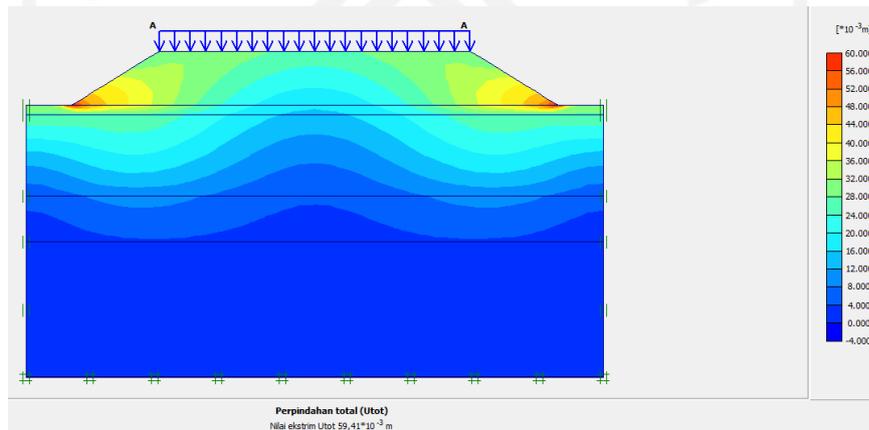
Gambar L-8. 3 Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi



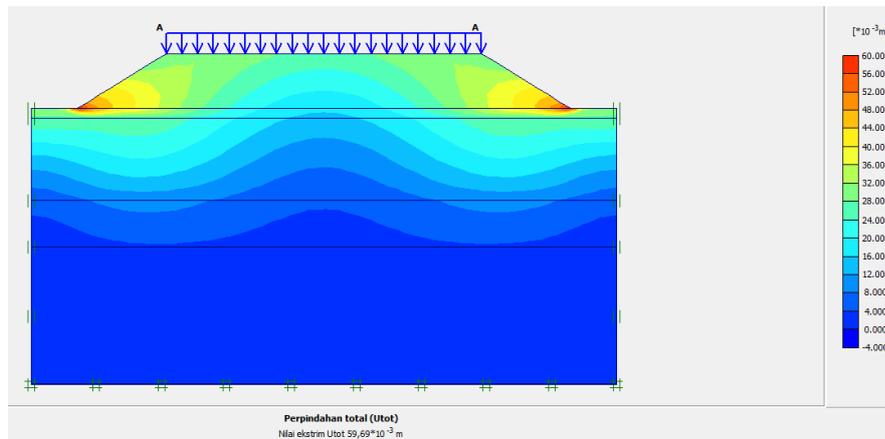
Gambar L-8. 4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



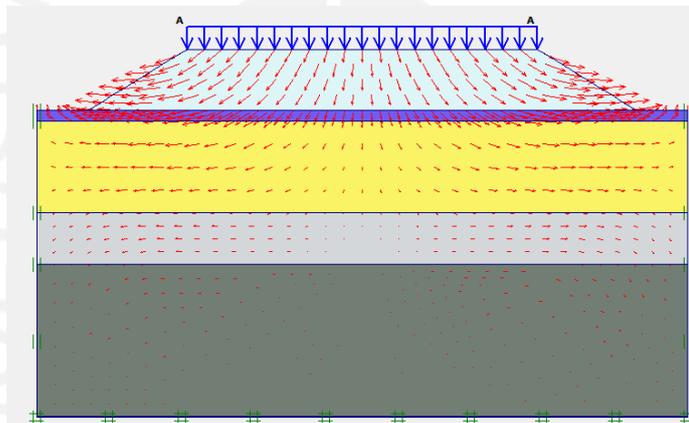
Gambar L-8. 5 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



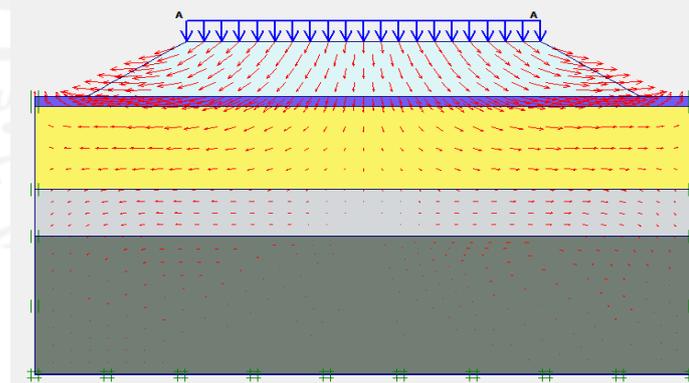
Gambar L-8. 6 Total Displacement Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



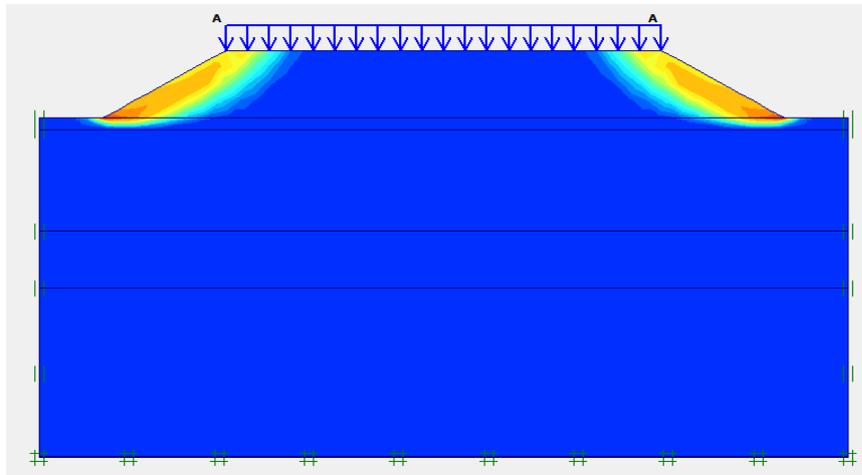
Gambar L-8. 7 Total Displacement Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



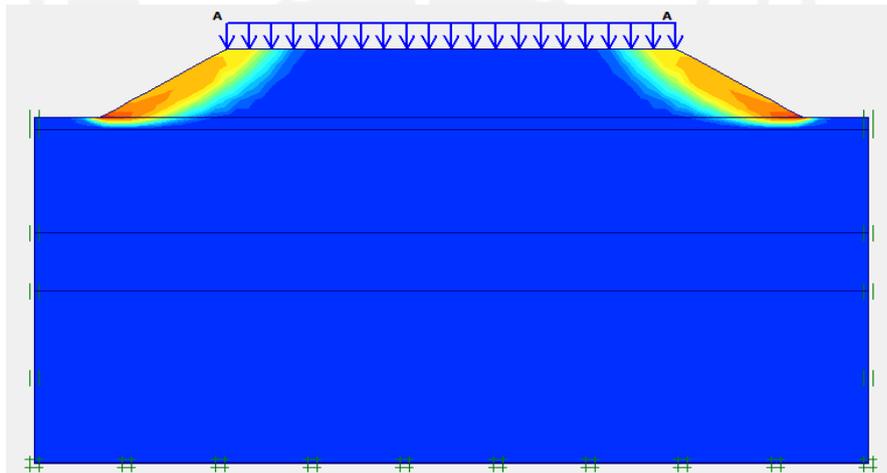
Gambar L-8. 8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



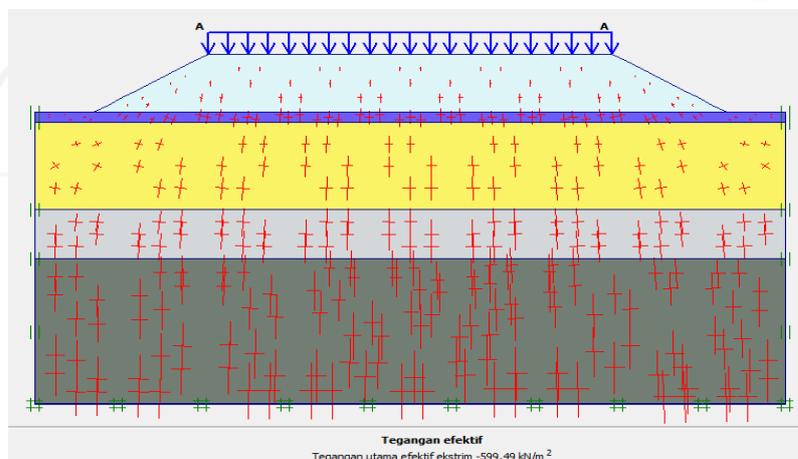
Gambar L-8. 9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



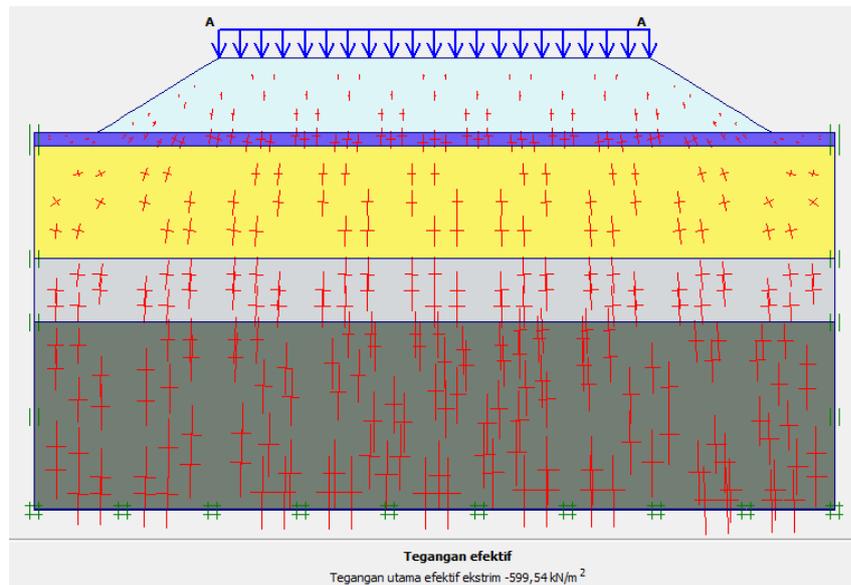
**Gambar L-8. 10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



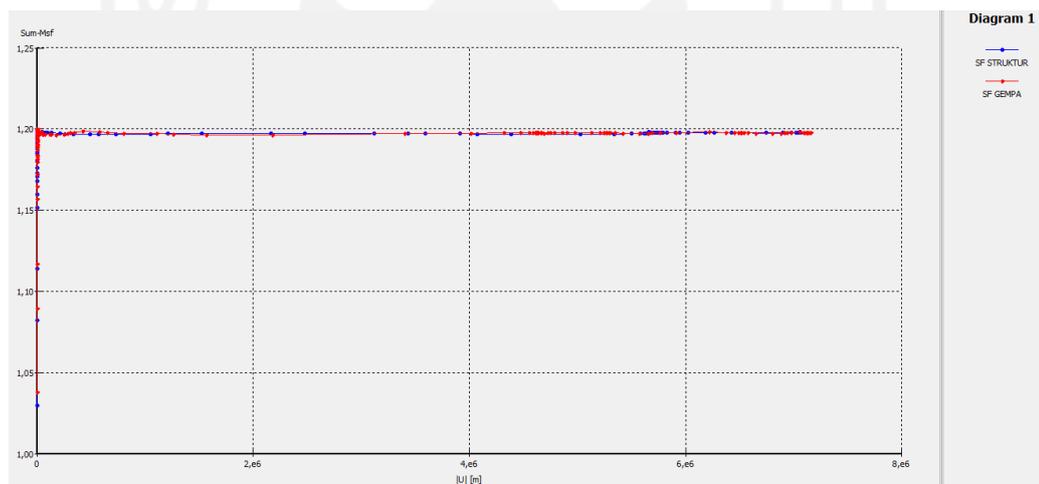
**Gambar L-8. 11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa**



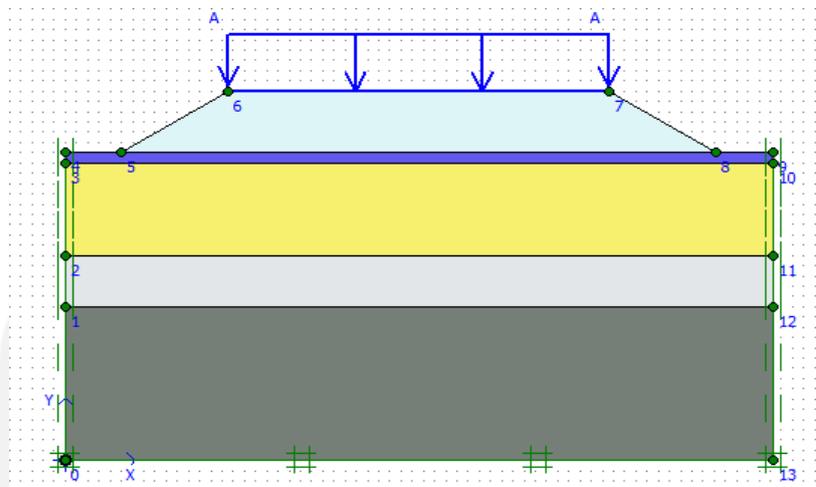
**Gambar L-8. 12 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli
Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



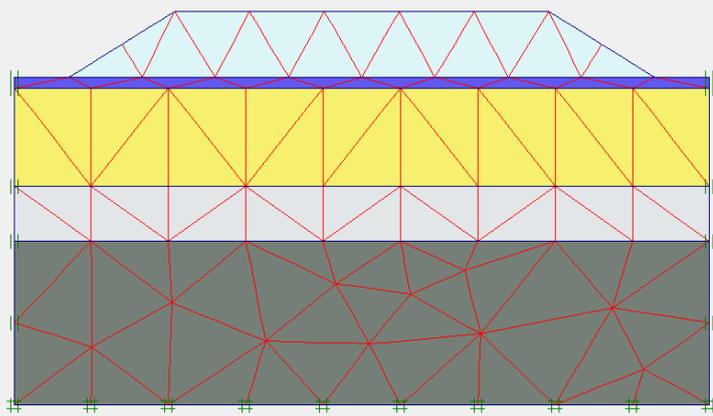
Gambar L-8. 13 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



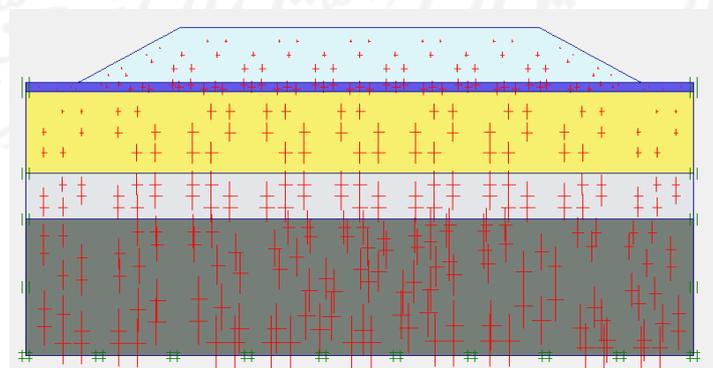
Gambar L-8. 14 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi



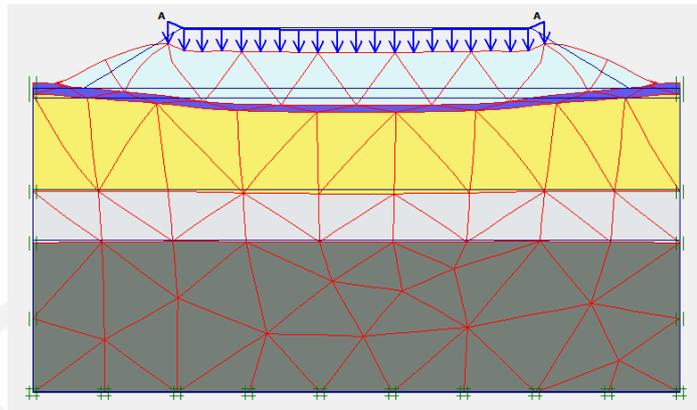
Gambar L-8. 15 Permodelan Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi



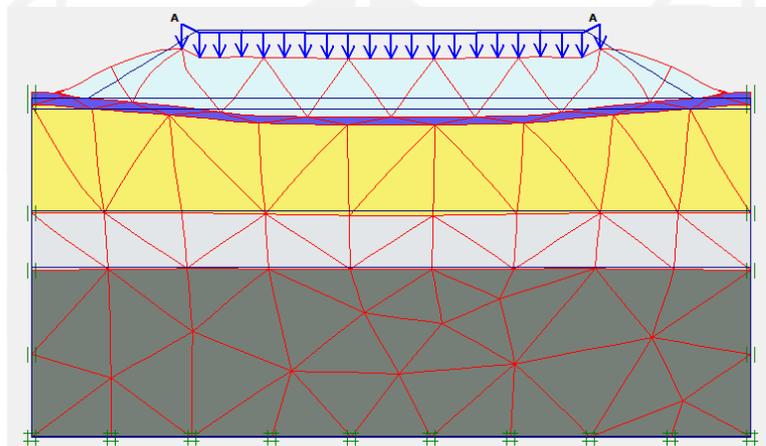
Gambar L-8. 16 Meshing Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi



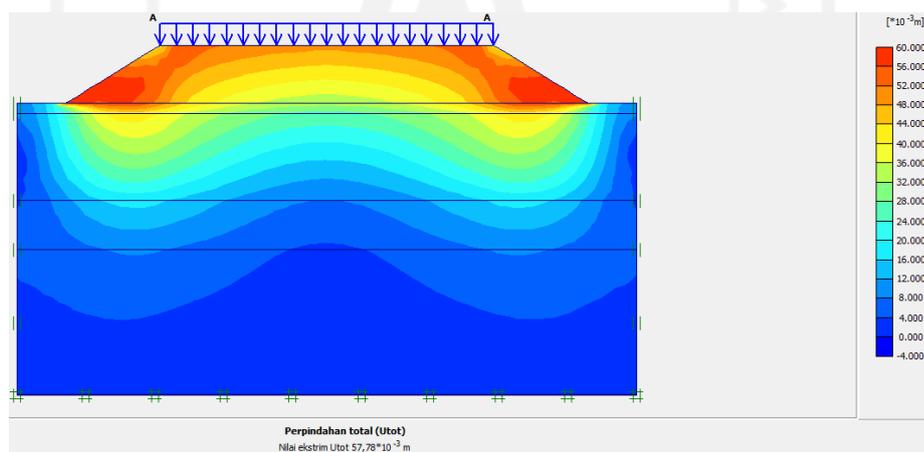
Gambar L-8. 17 Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi



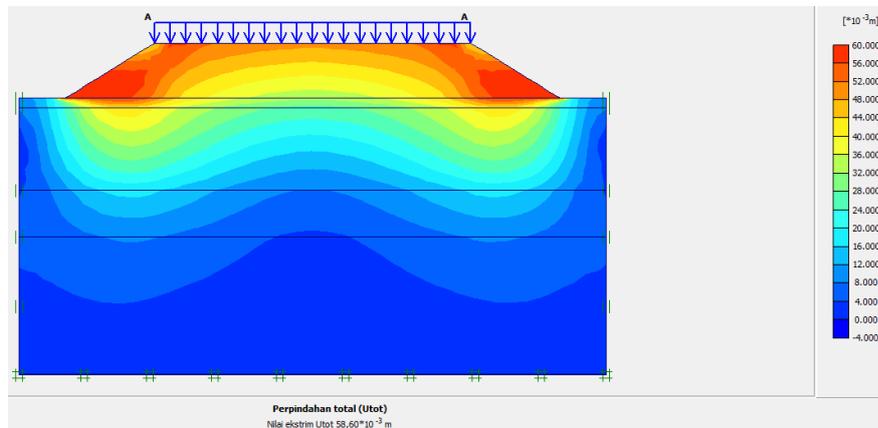
Gambar L-8. 18 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



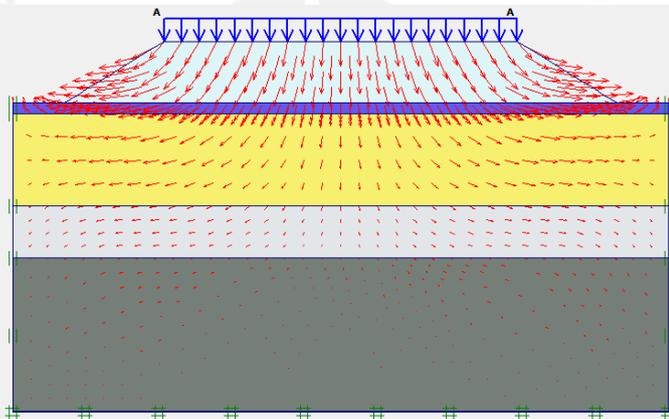
Gambar L-8. 19 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



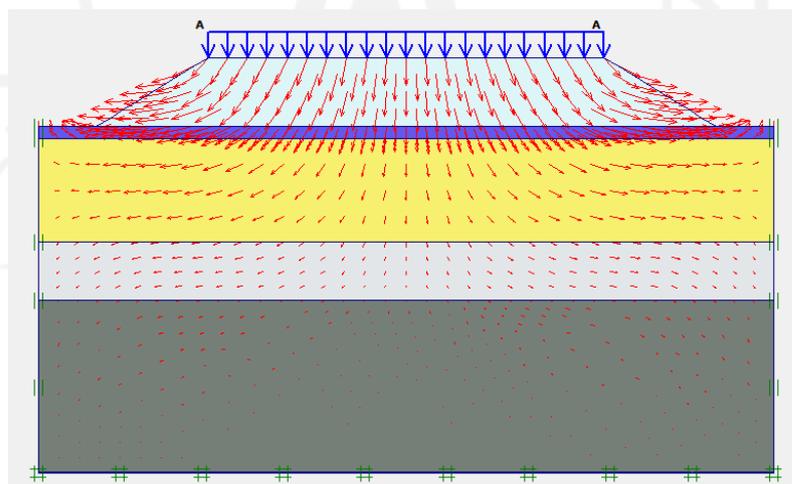
Gambar L-8. 20 Total Displacement Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



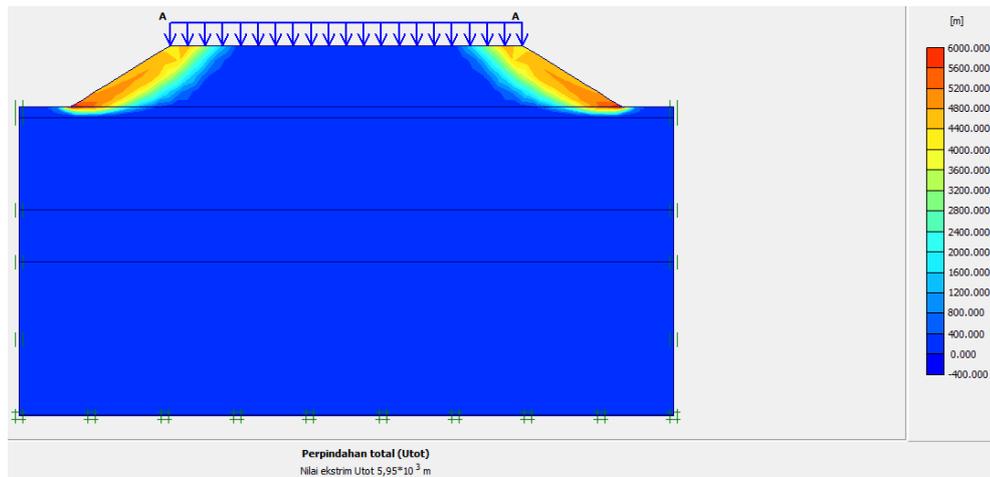
Gambar L-8. 21 Total Displacement Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



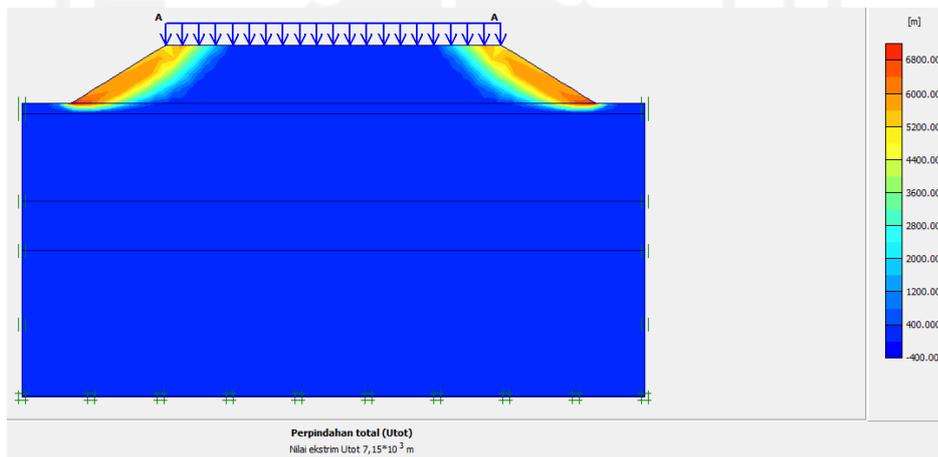
Gambar L-8. 22 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



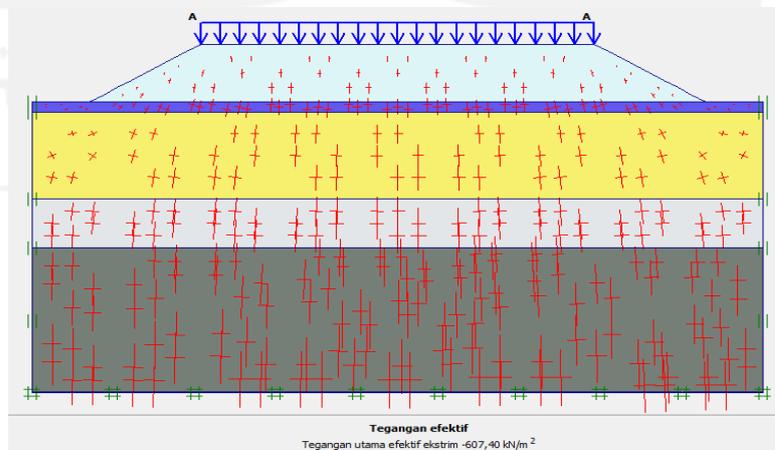
Gambar L-8. 23 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



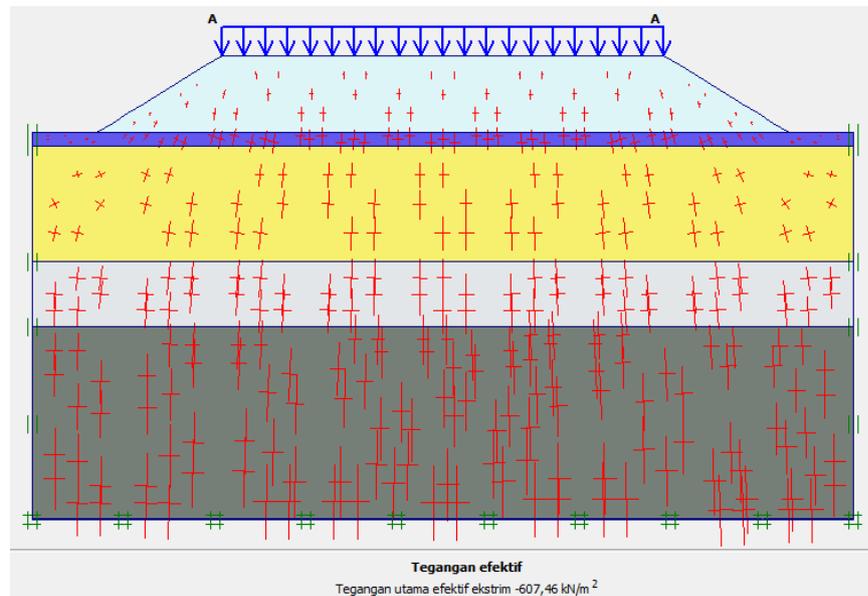
**Gambar L-8. 24 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



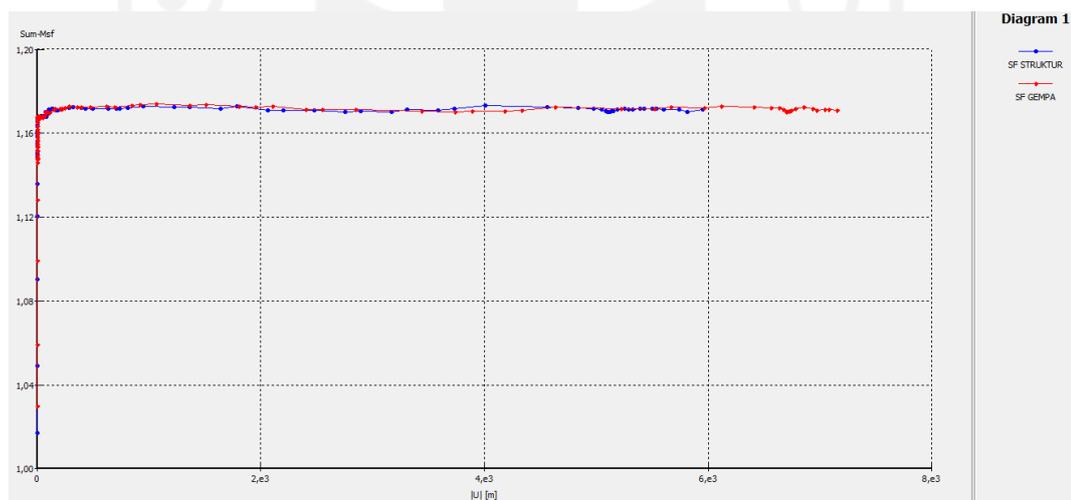
**Gambar L-8. 25 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa**



**Gambar L-8. 26 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli
Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**

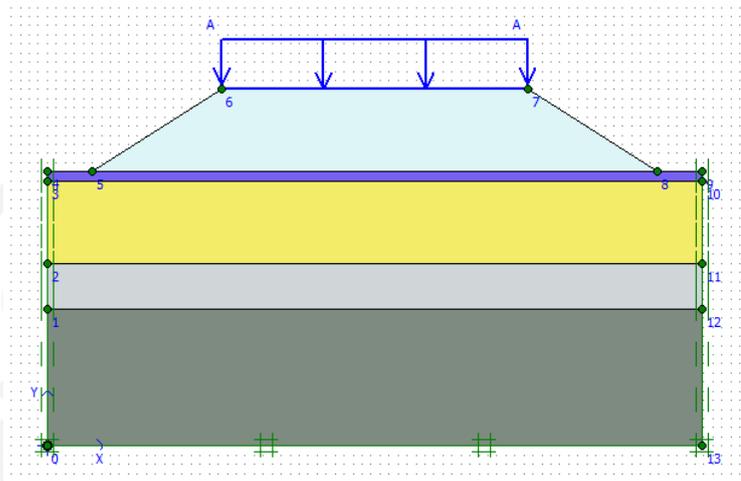


Gambar L-8. 27 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa

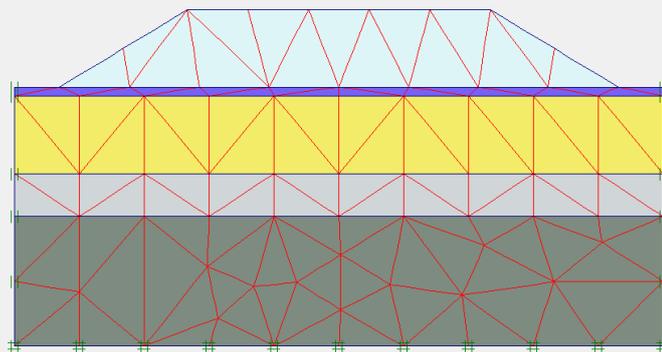


Gambar L-8. 28 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi

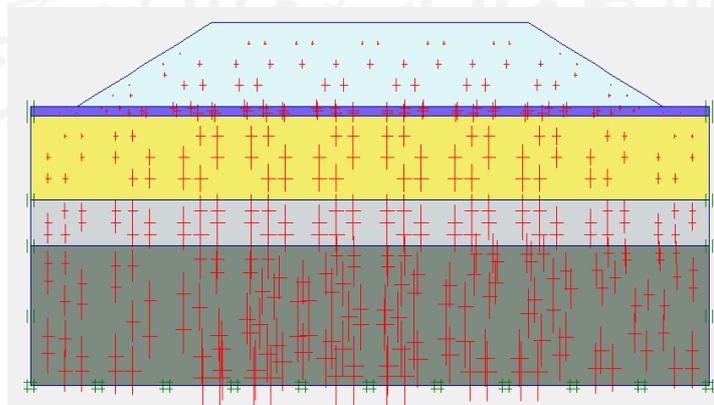
Lampiran 9 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Tanpa Perkuatan



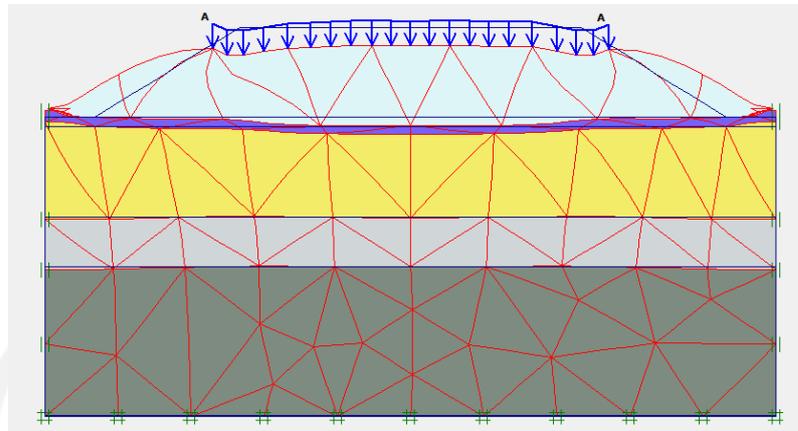
Gambar L-9. 1 Permodelan Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi



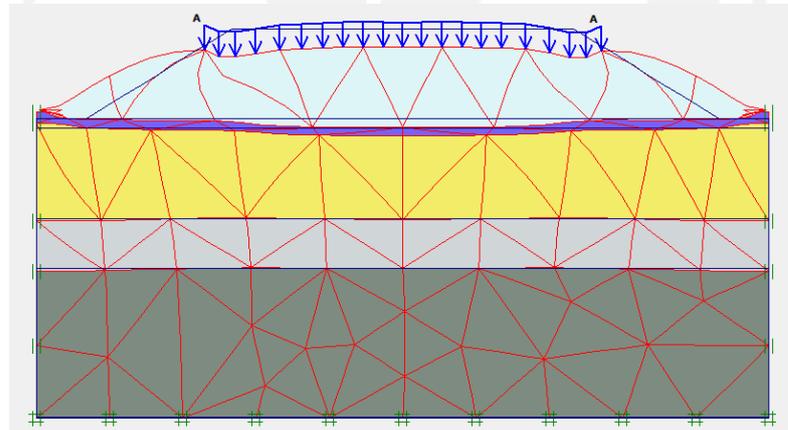
Gambar L-9. 2 Meshing Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi



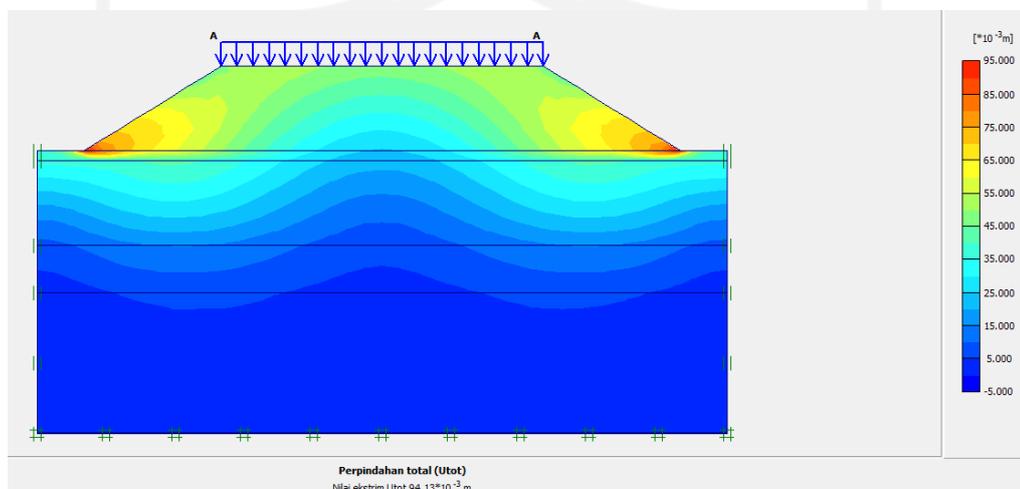
Gambar L-9. 3 Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi



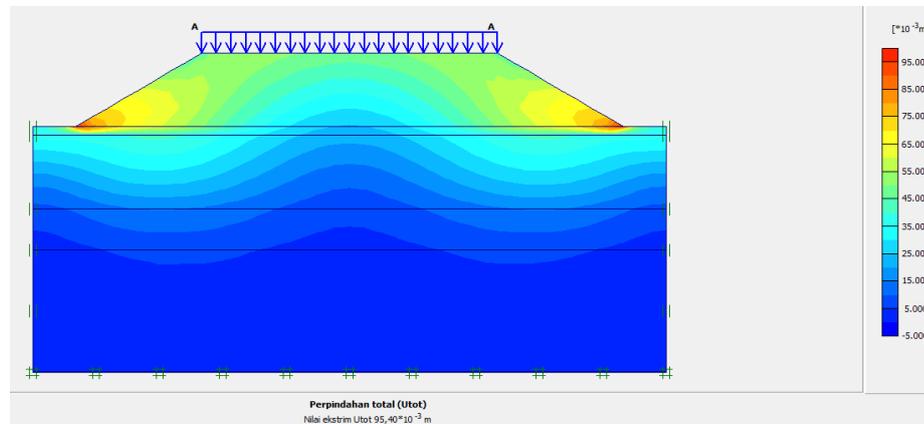
Gambar L-9. 4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



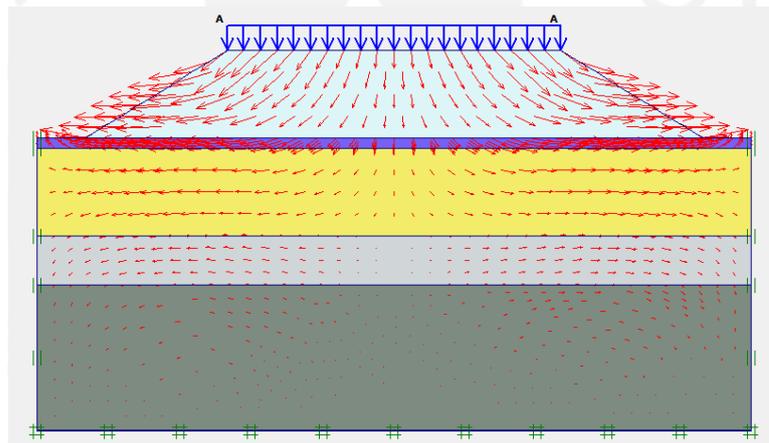
Gambar L-9. 5 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



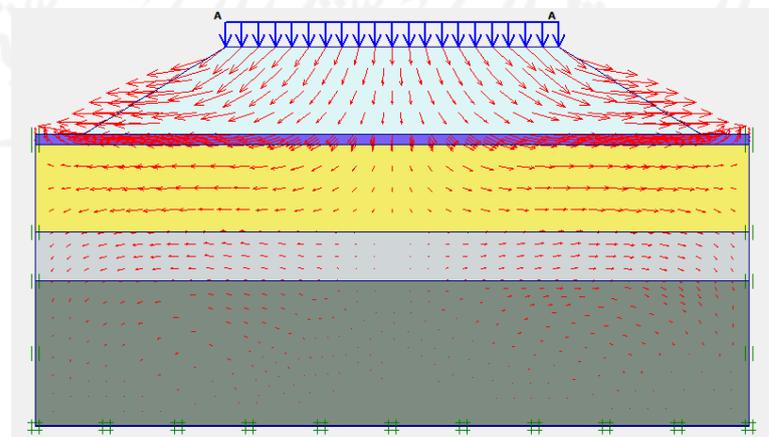
Gambar L-9. 6 Total Displacement Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



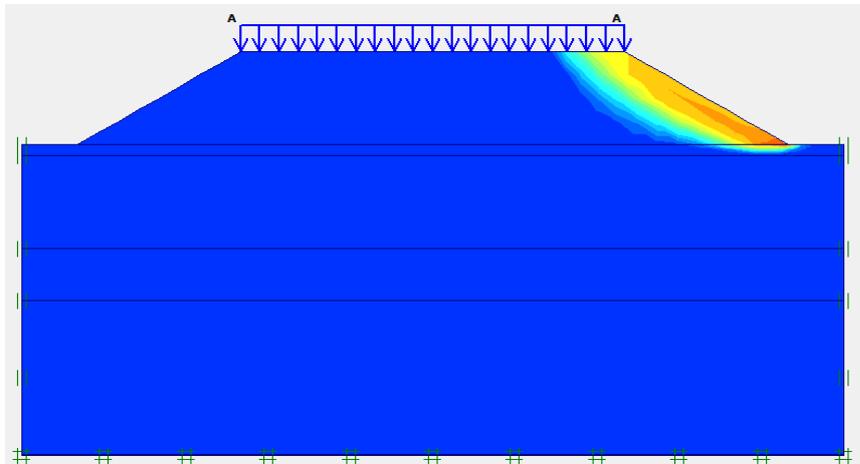
Gambar L-9. 7 Total Displacement Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



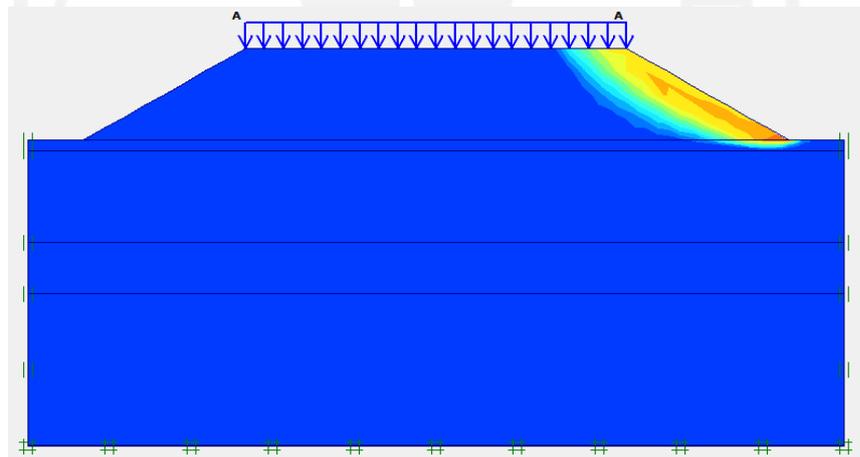
Gambar L-9. 8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



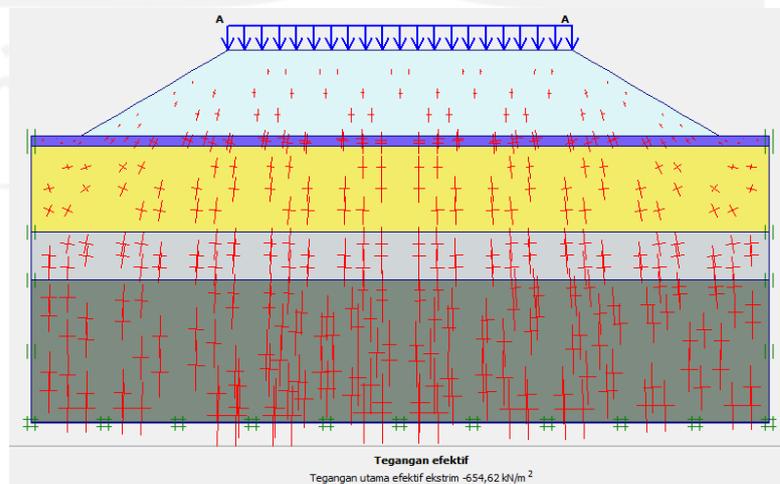
Gambar L-9. 9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



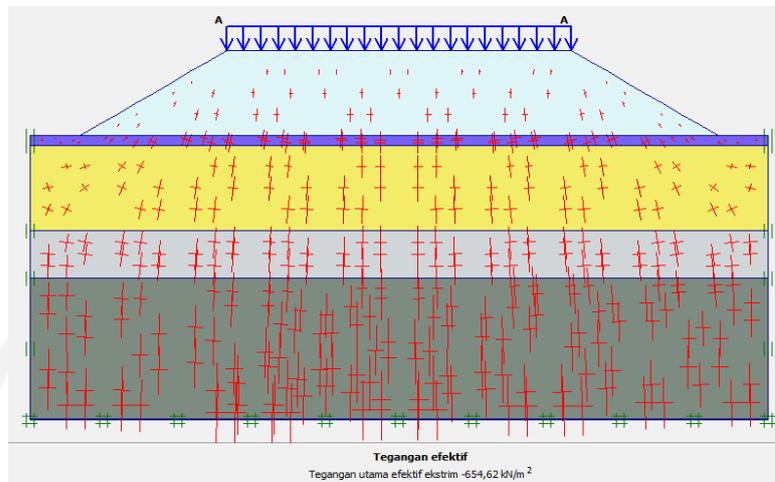
Gambar L-9. 10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



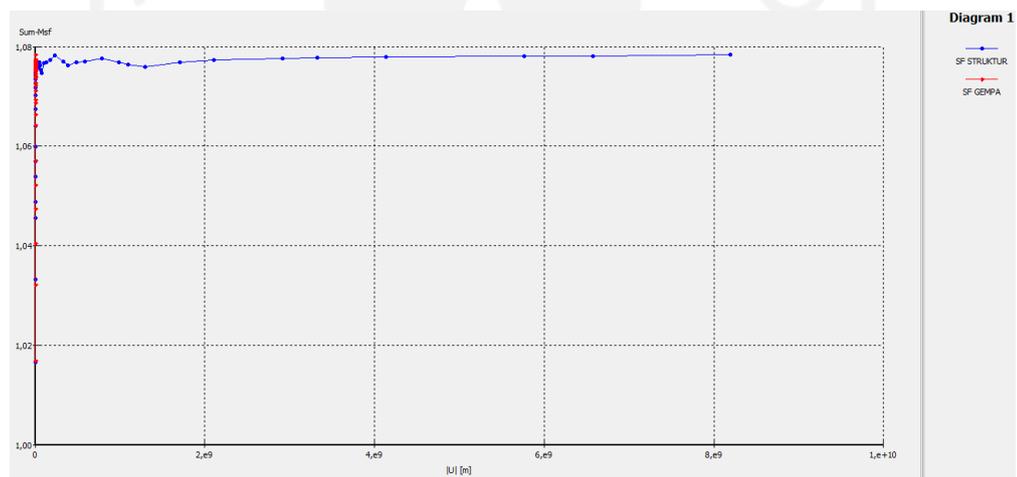
Gambar L-9. 11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



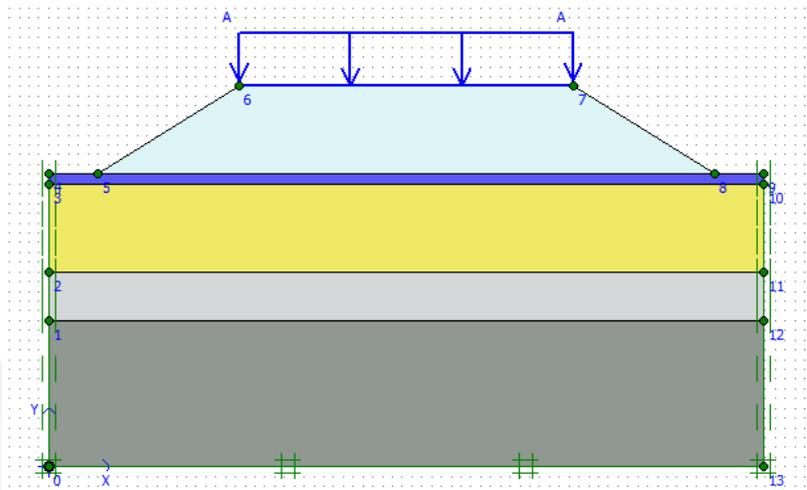
Gambar L-9. 12 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



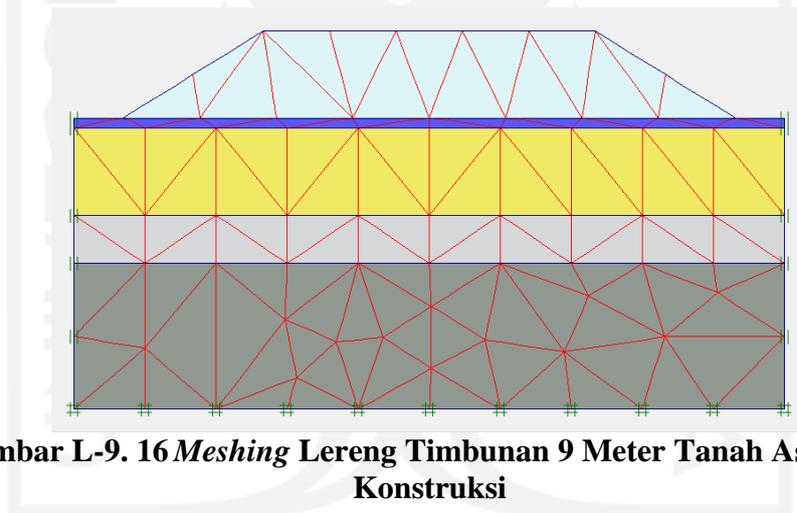
Gambar L-9. 13 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



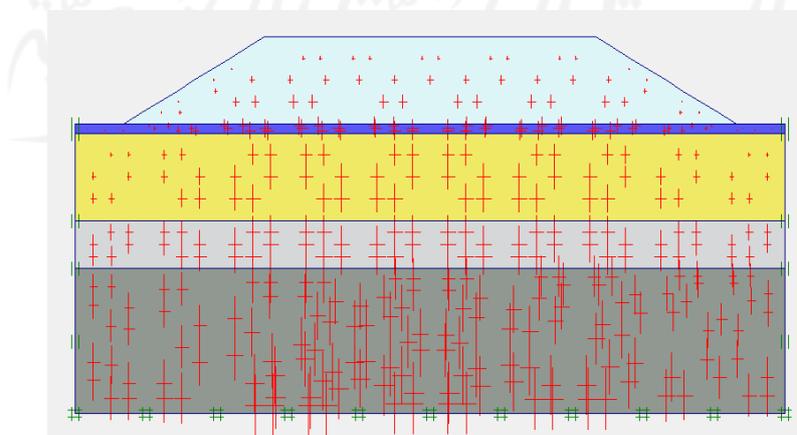
Gambar L-9. 14 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Masa Konstruksi



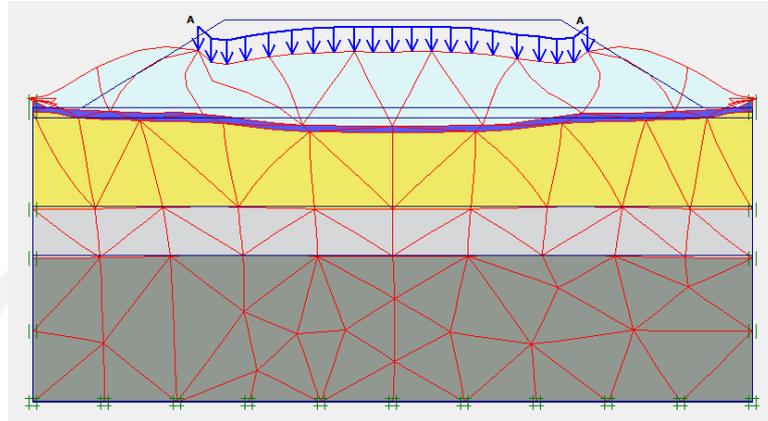
Gambar L-9. 15 Permodelan Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi



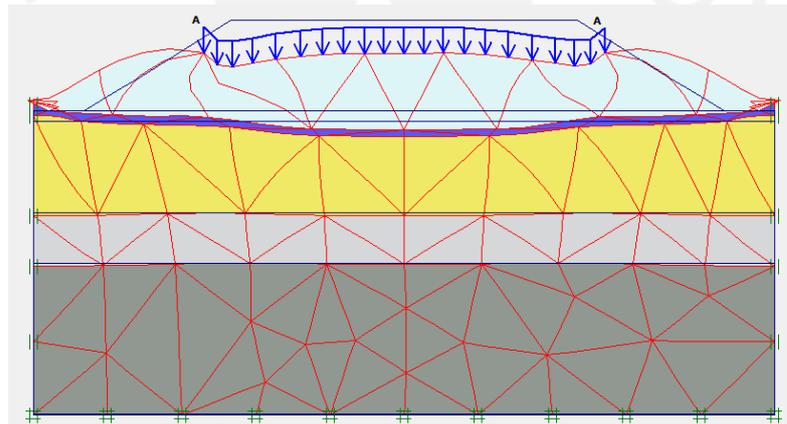
Gambar L-9. 16 Meshing Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi



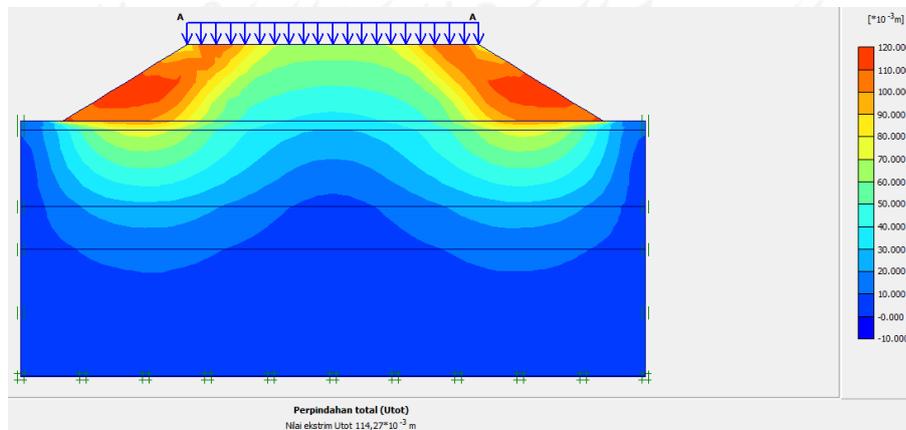
Gambar L-9. 17 Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi



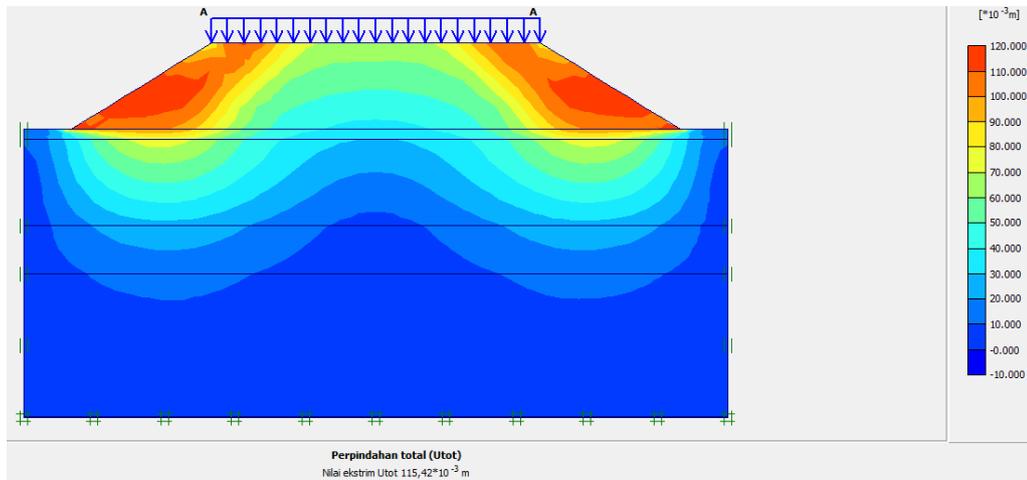
Gambar L-9. 18 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



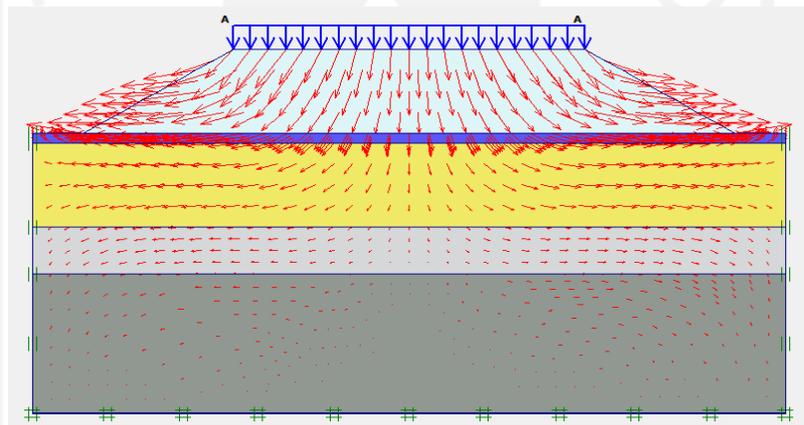
Gambar L-9. 19 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



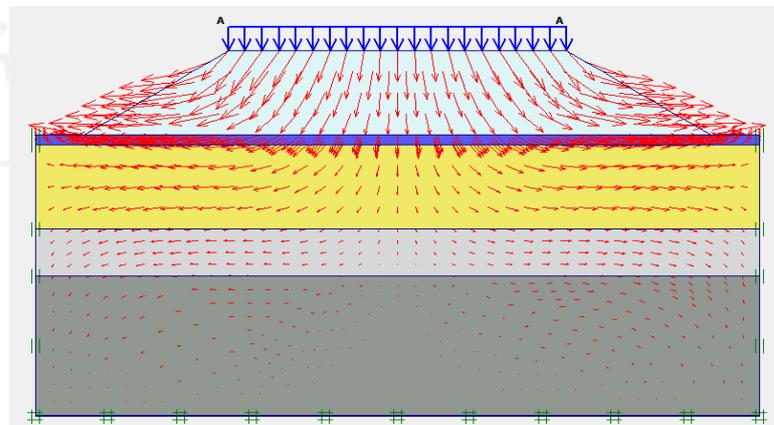
Gambar L-9. 20 *Total Displacement* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



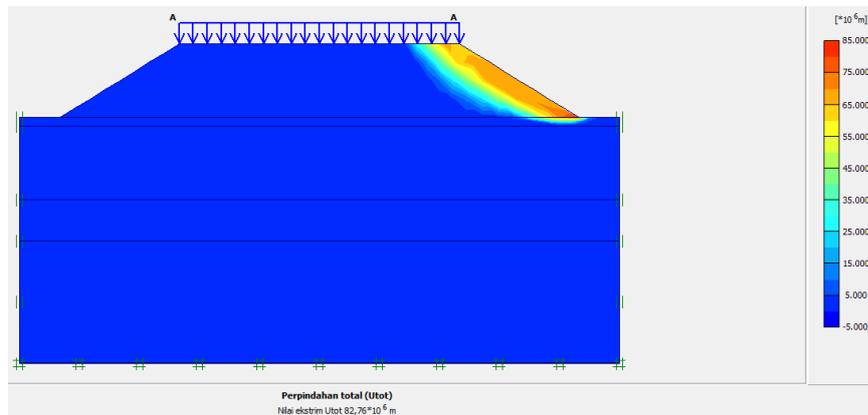
Gambar L-9. 21 Total Displacement Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



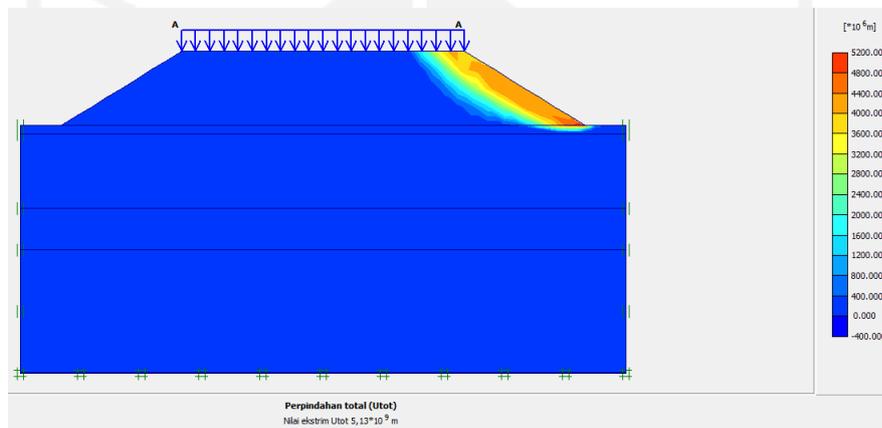
Gambar L-9. 22 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



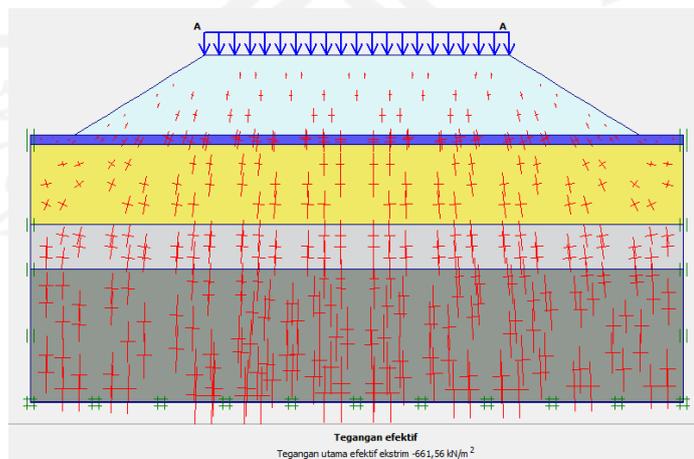
Gambar L-9. 23 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



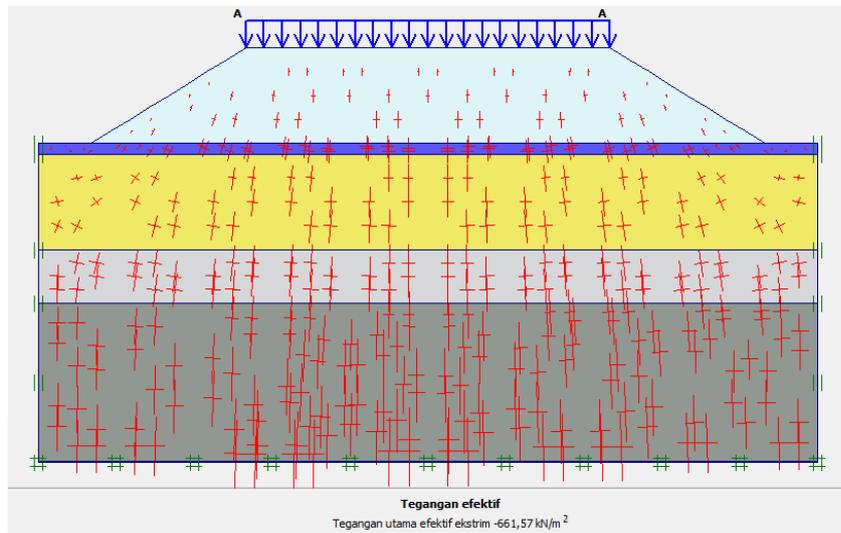
Gambar L-9. 24 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



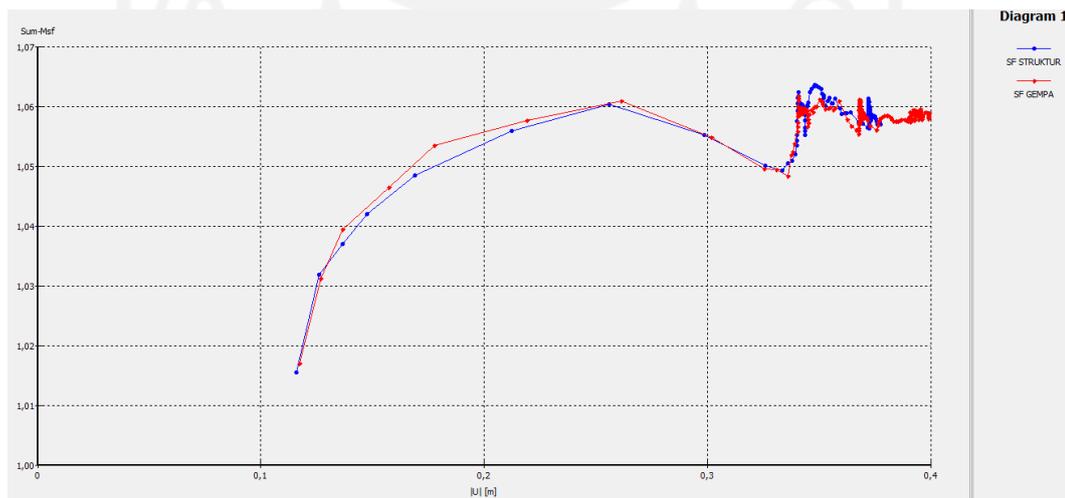
Gambar L-9. 25 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



Gambar L-9. 26 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

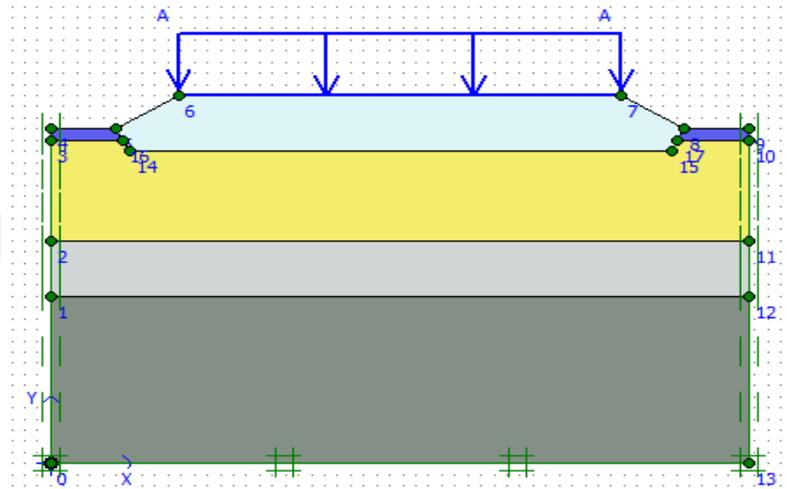


Gambar L-9. 27 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa

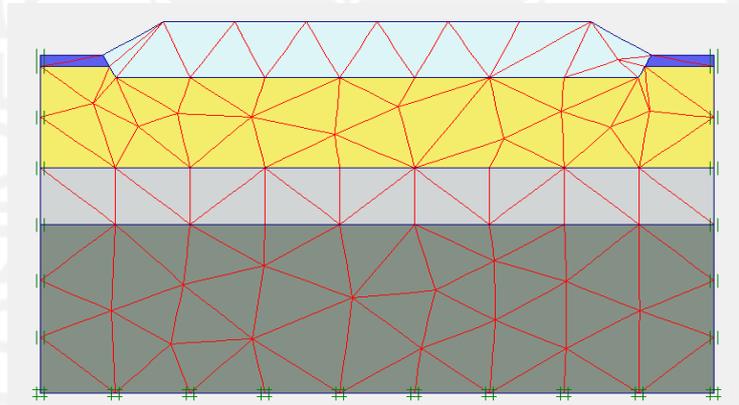


Gambar L-9. 28 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli Pasca Konstruksi

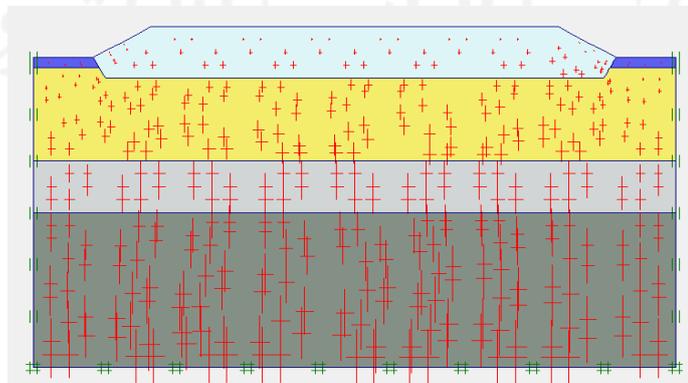
Lampiran 10 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 3 Meter Tanah *Replacement* Tanpa Perkuatan



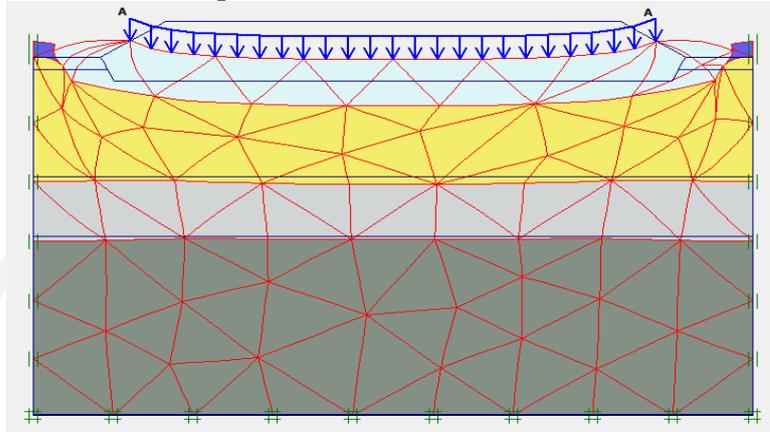
Gambar L-10. 1 Permodelan Lereng Timbunan 3 Meter Tanah *Replacement* Masa Konstruksi



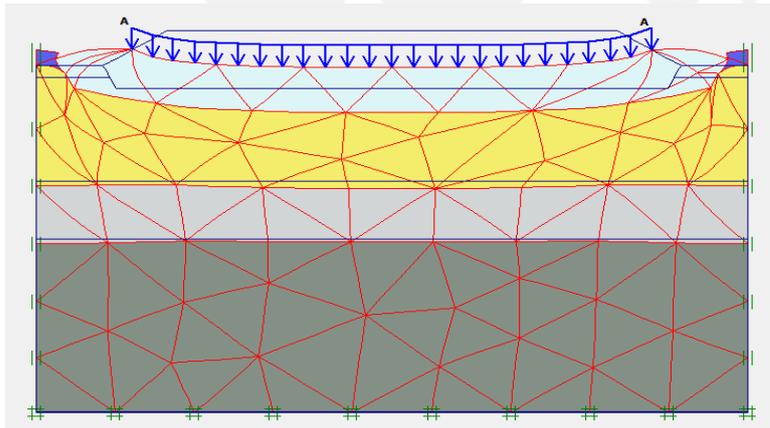
Gambar L-10. 2 *Meshing* Lereng Timbunan 3 Meter Tanah *Replacement* Masa Konstruksi



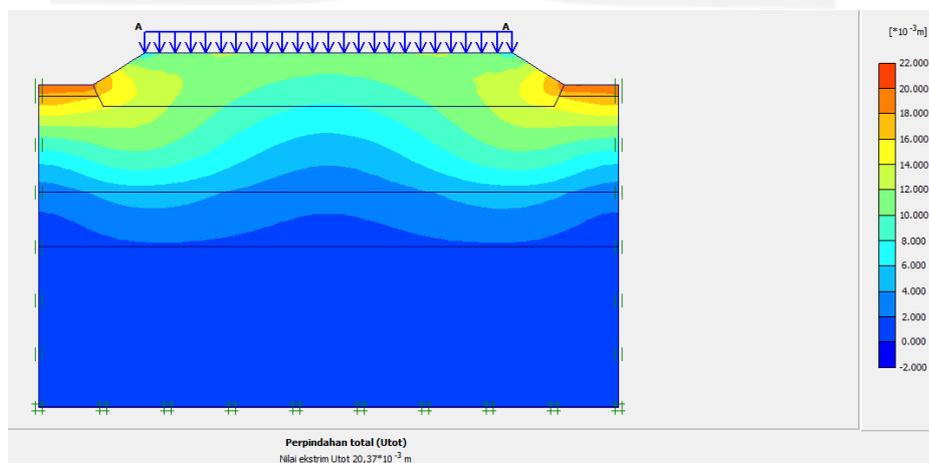
Gambar L-10. 3 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi



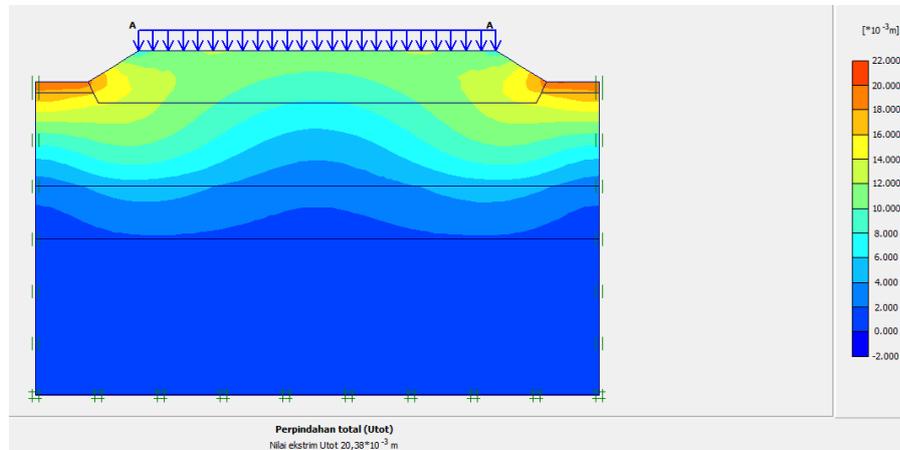
Gambar L-10. 4 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



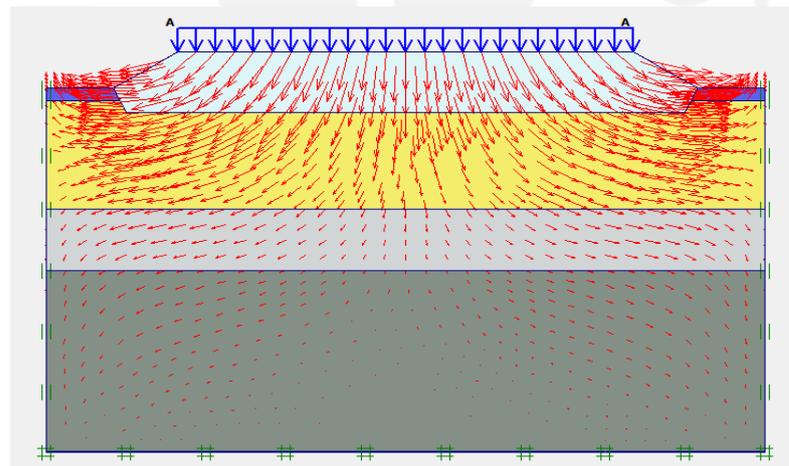
Gambar L-10. 5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



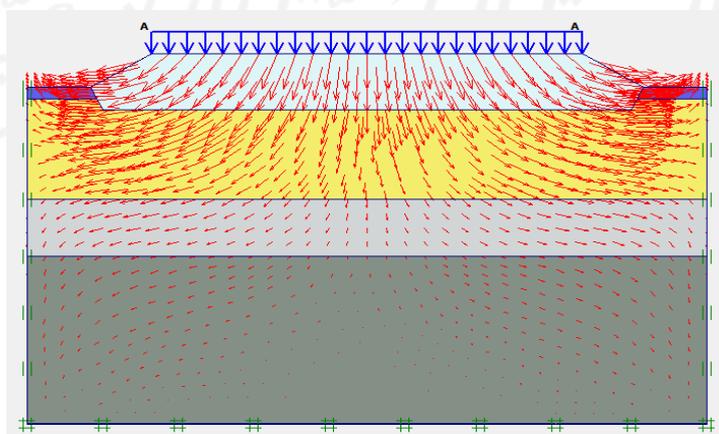
Gambar L-10. 6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



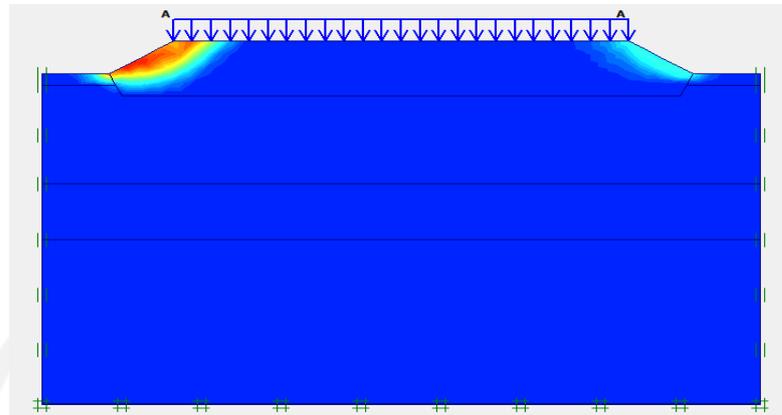
Gambar L-10. 7 Total Displacement Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



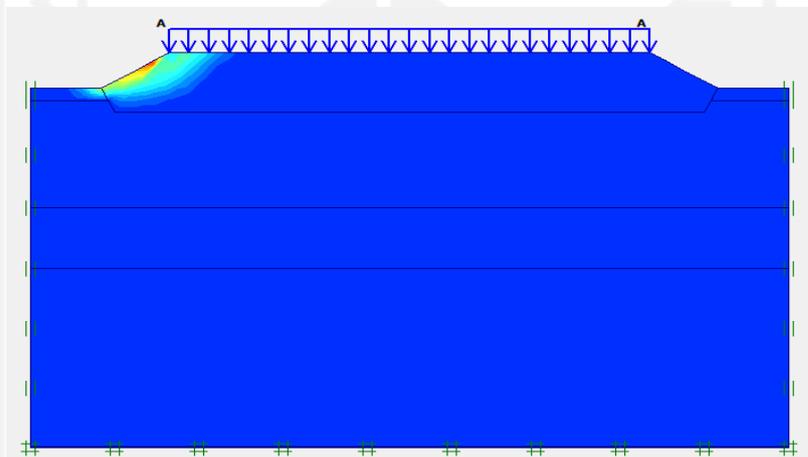
Gambar L-10. 8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



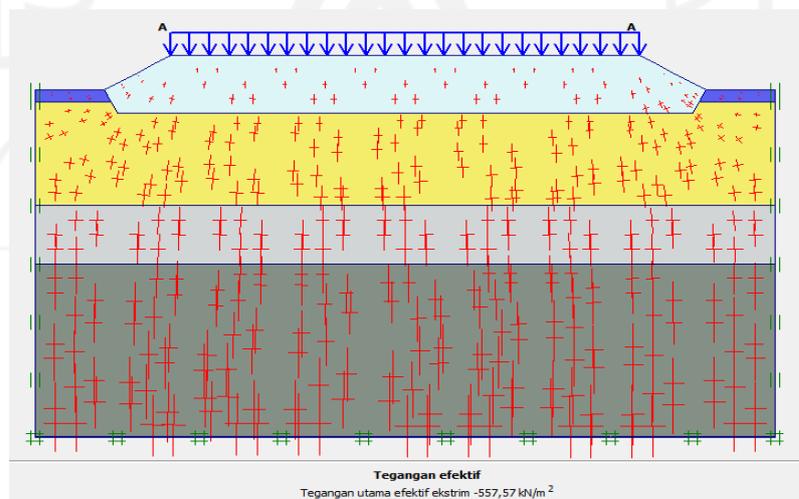
Gambar L-10. 9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



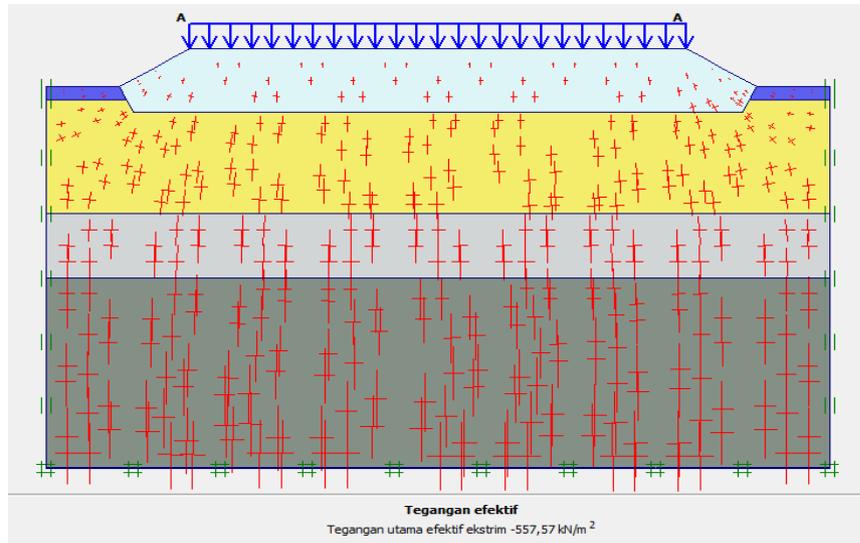
Gambar L-10. 10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



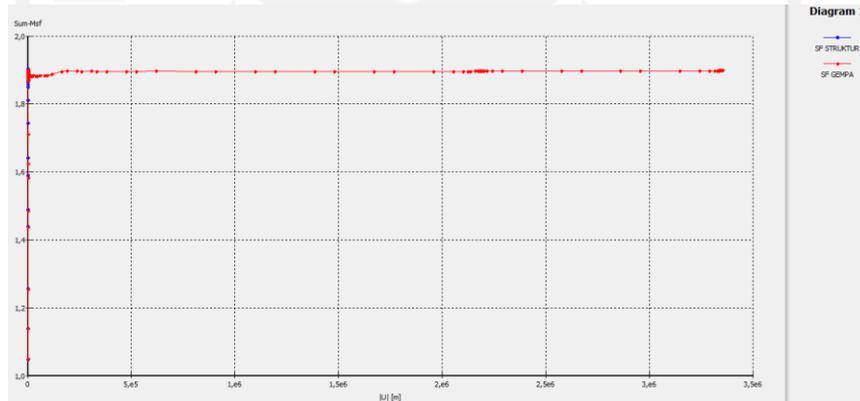
Gambar L-10. 11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



Gambar L-10. 12 Effective Stresses Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

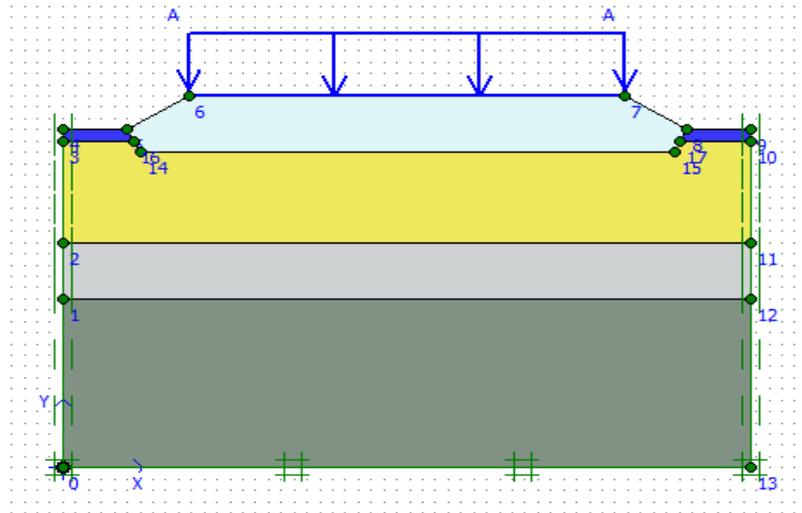


Gambar L-10. 13 Effective Stresses Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa

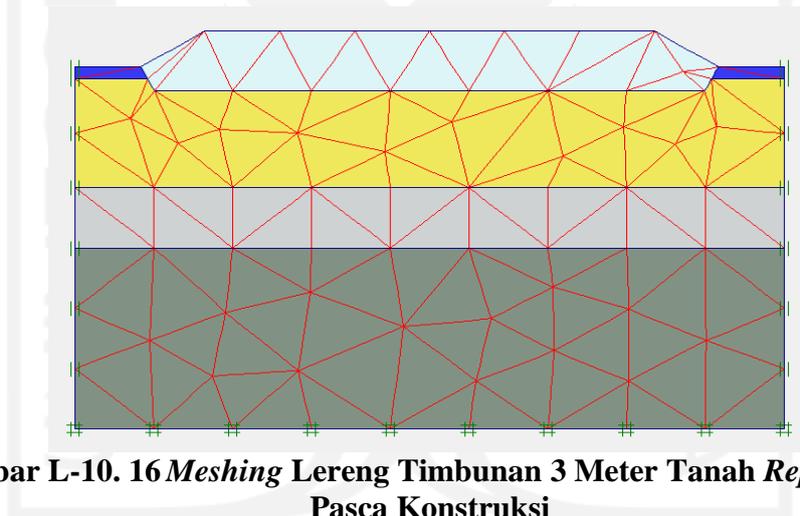


Gambar L-10. 14 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi

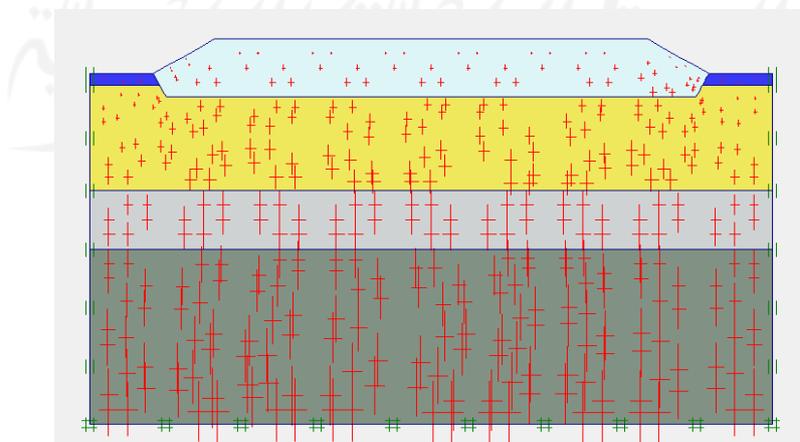
الجمهورية العربية السورية
الجامعة اللبنانية
الكلية الهندسية
الهندسة المدنية



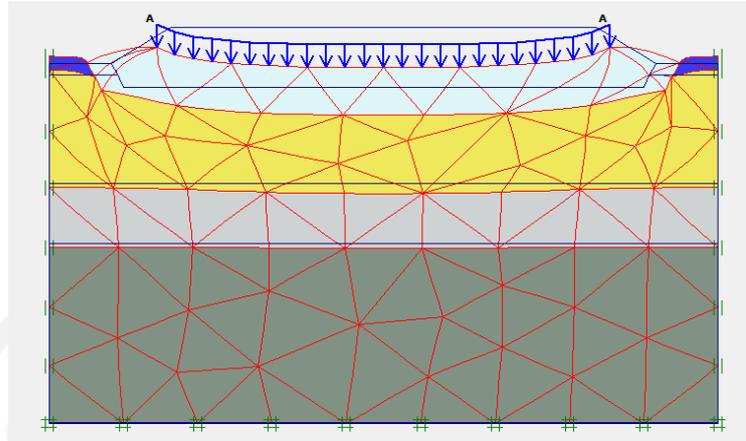
Gambar L-10. 15 Permodelan Lereng Timbunan 3 Meter Tanah *Replacement* Pasca Konstruksi



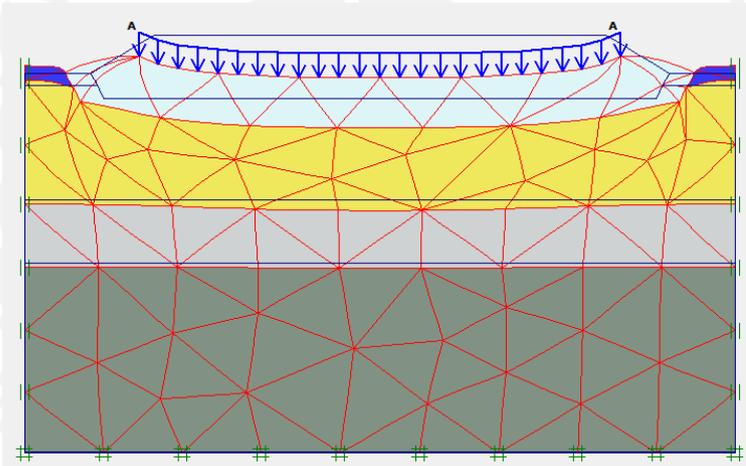
Gambar L-10. 16 *Meshing* Lereng Timbunan 3 Meter Tanah *Replacement* Pasca Konstruksi



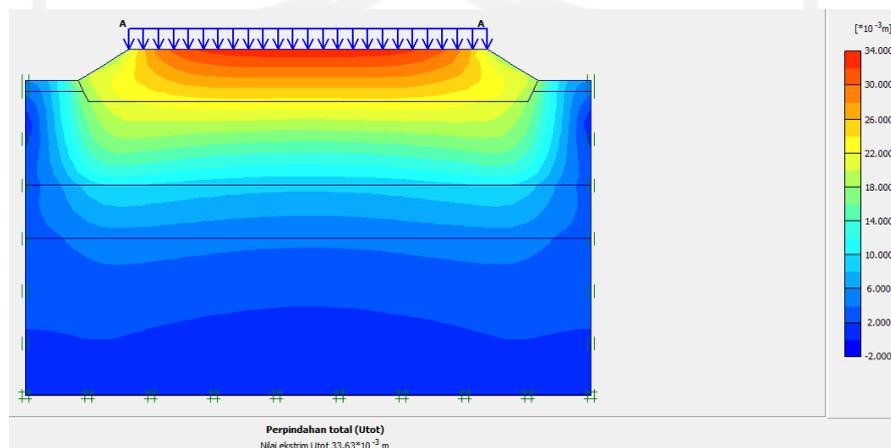
Gambar L-10. 17 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 3 Meter Tanah *Replacement* Pasca Konstruksi



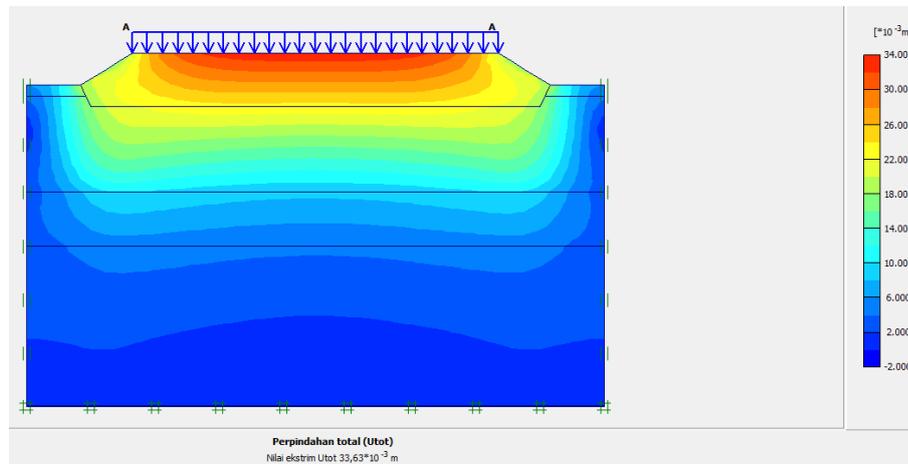
Gambar L-10. 18 Deformed Mesh Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



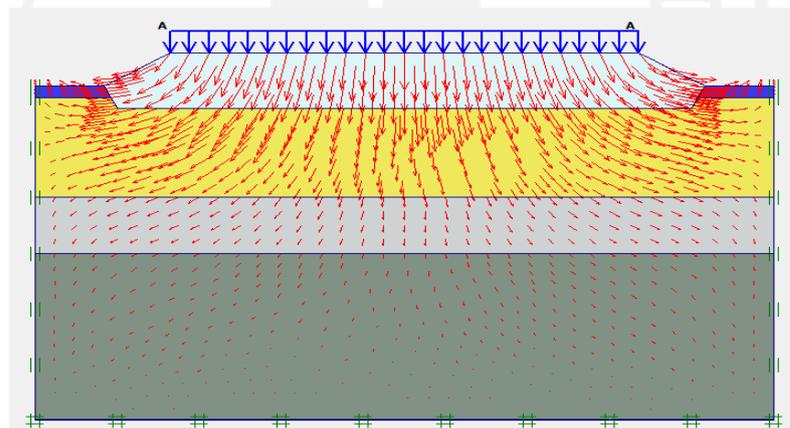
Gambar L-10. 19 Deformed Mesh Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



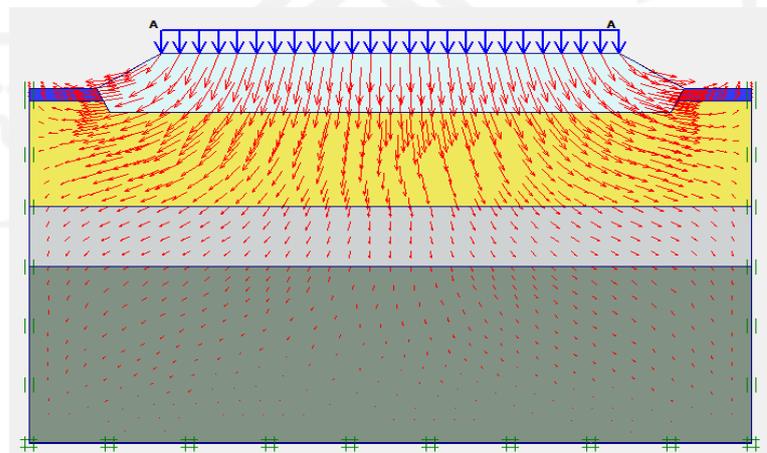
Gambar L-10. 20 Total Displacement Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



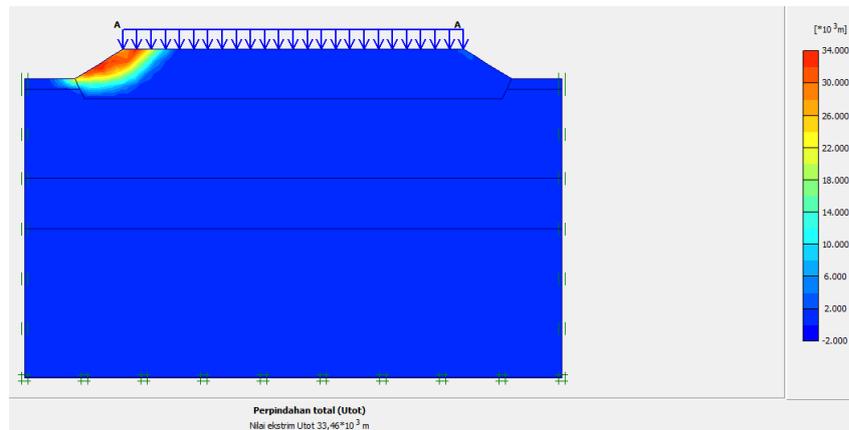
Gambar L-10. 21 Total Displacement Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



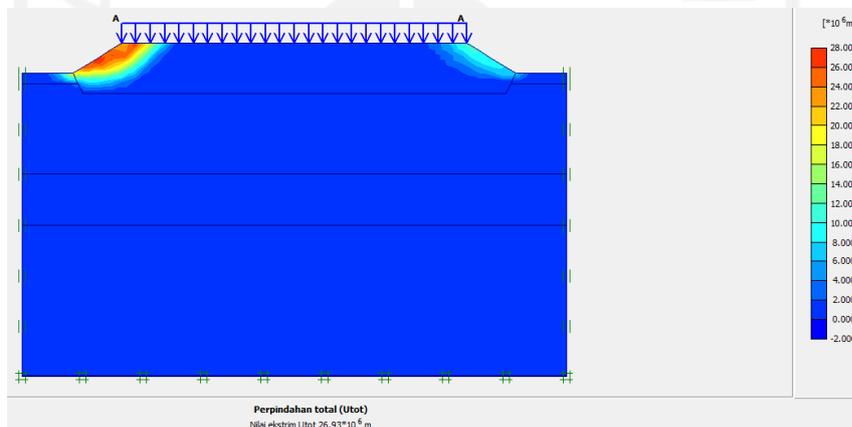
Gambar L-10. 22 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



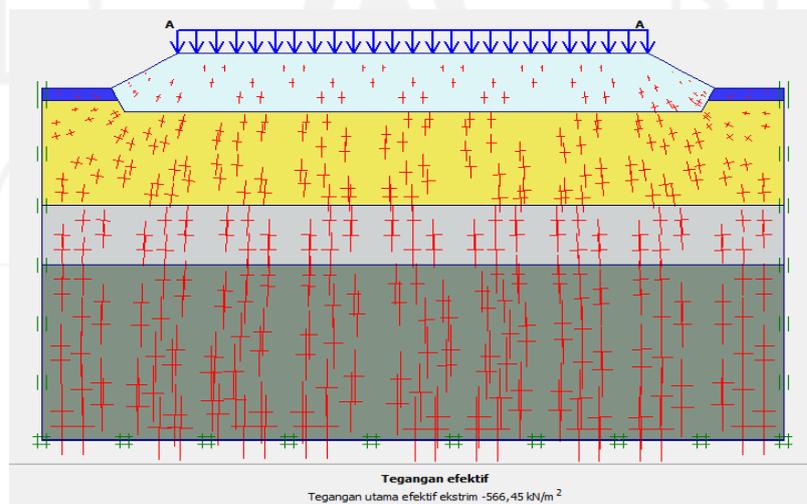
Gambar L-10. 23 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



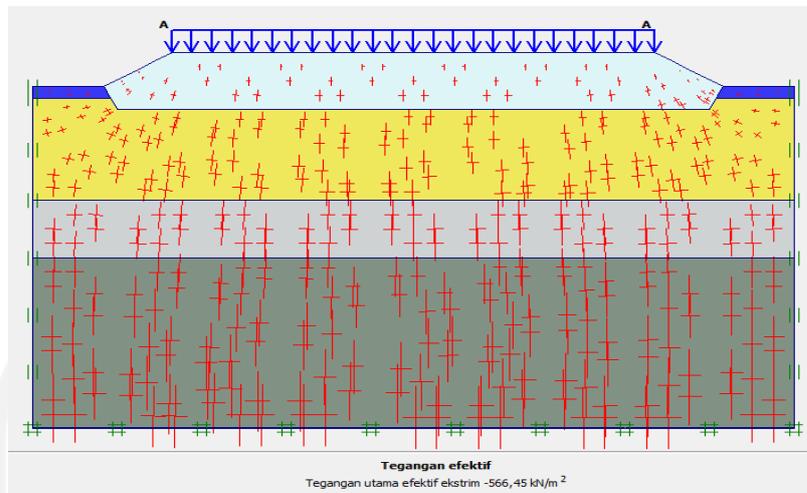
Gambar L-10. 24 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



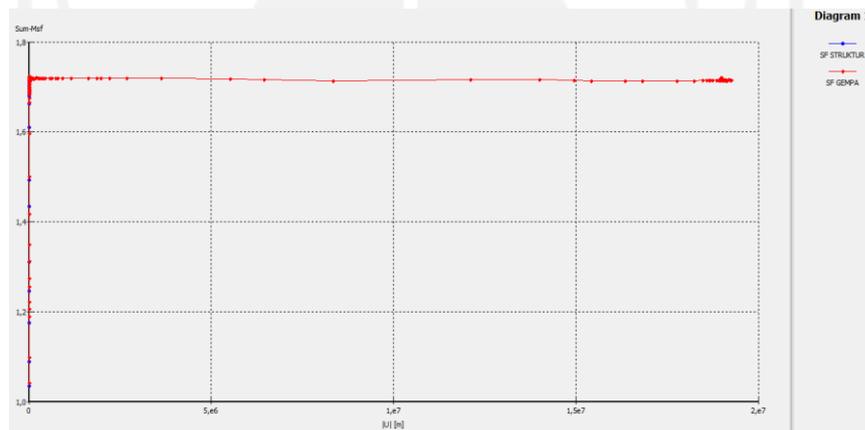
Gambar L-10. 25 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



Gambar L-10. 26 Effective Stresses Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

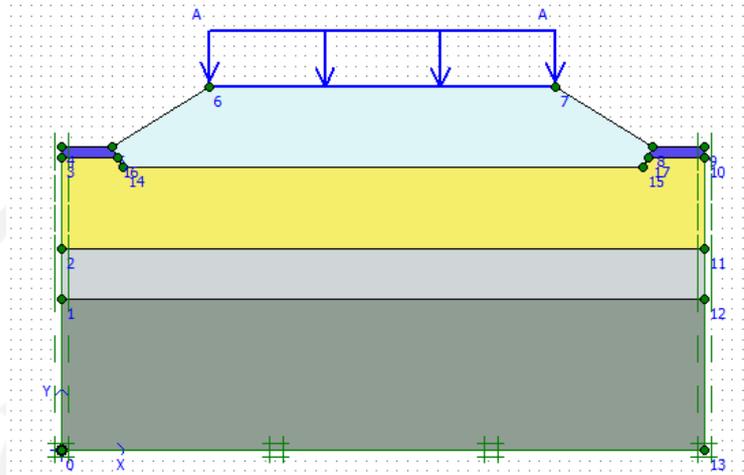


Gambar L-10. 27 Effective Stresses Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa

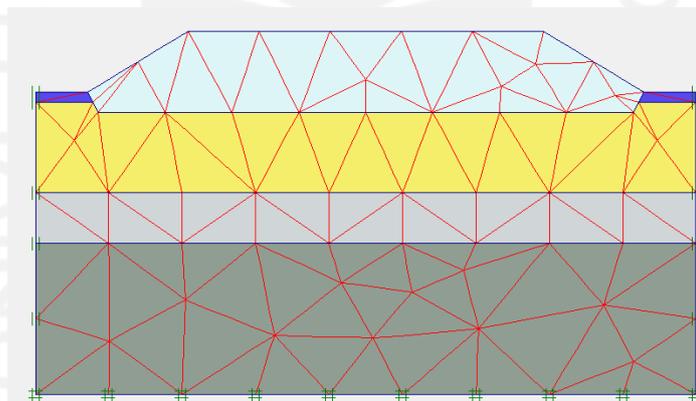


Gambar L-10. 28 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 3 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi

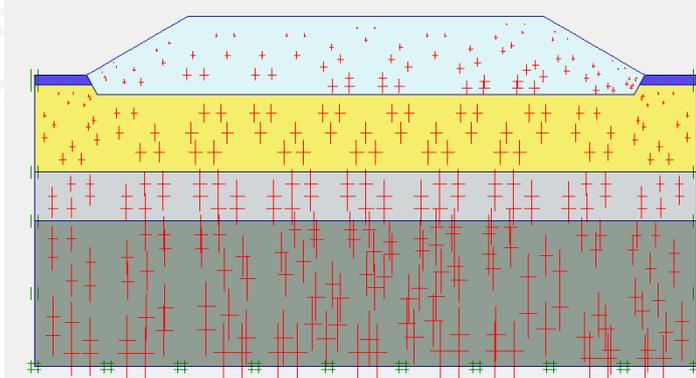
Lampiran 11 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* Tanpa Perkuatan



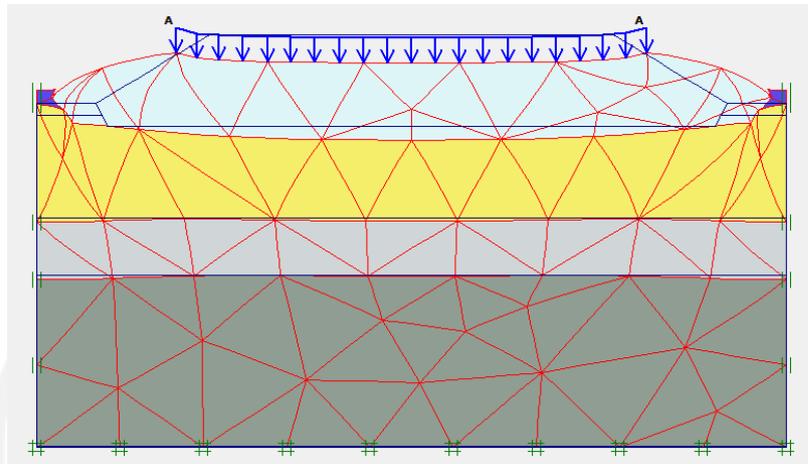
Gambar L-11. 1 Permodelan Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* Masa Konstruksi



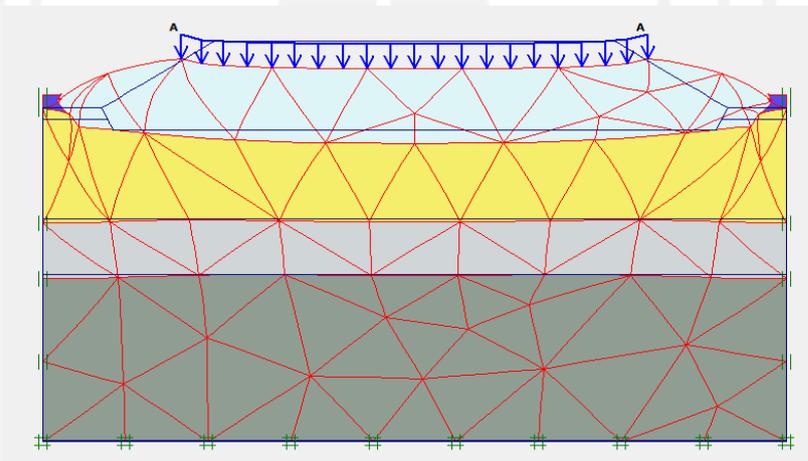
Gambar L-11. 2 *Meshing* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* Masa Konstruksi



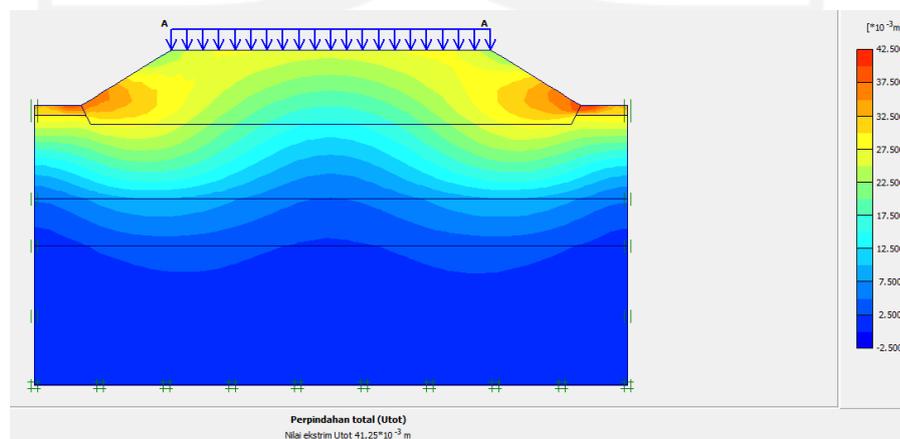
Gambar L-11. 3 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* Masa Konstruksi



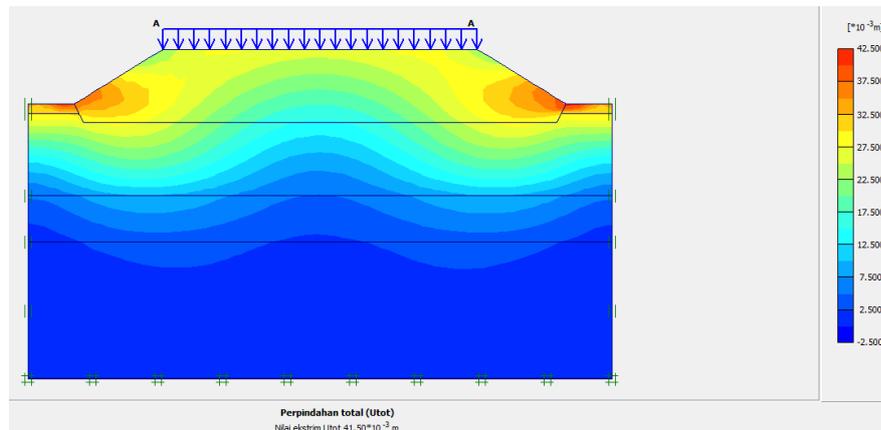
Gambar L-11. 4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



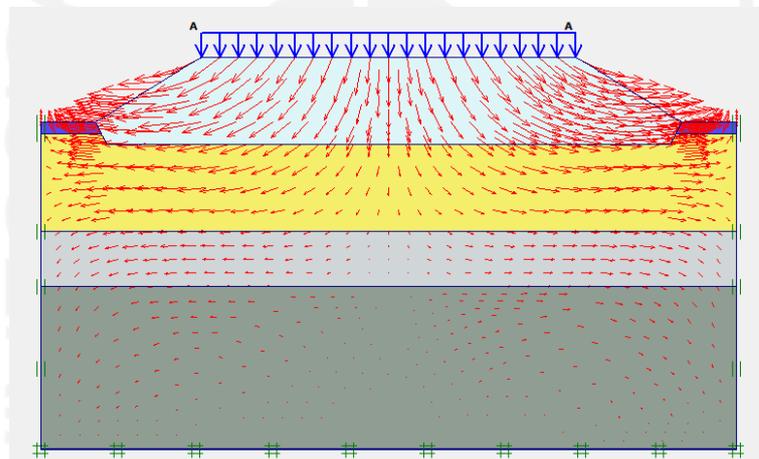
Gambar L-11. 5 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



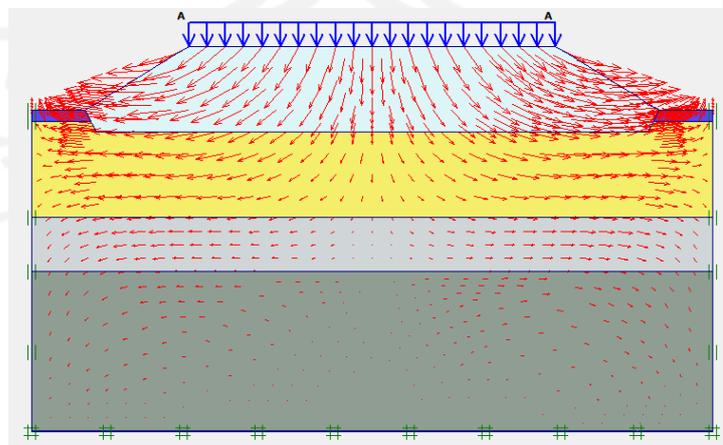
Gambar L-11. 6 Total Displacement Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



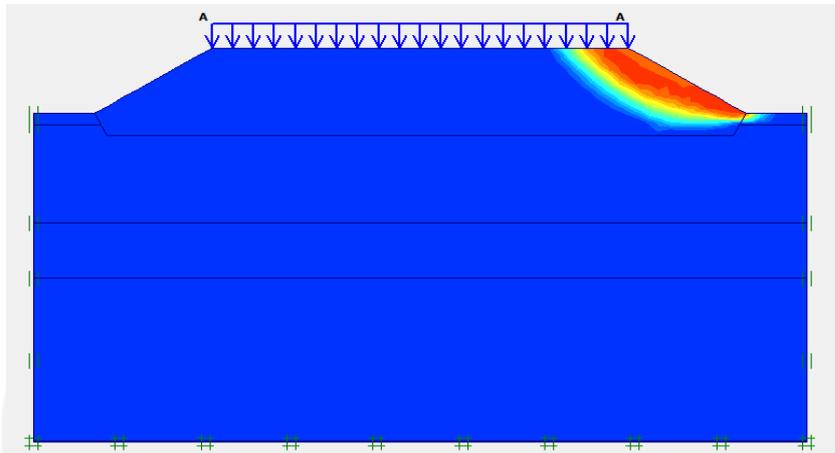
Gambar L-11. 7 Total Displacement Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



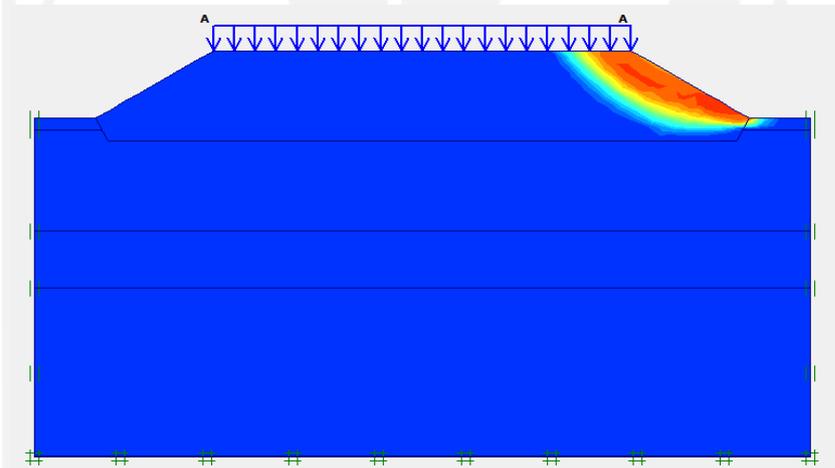
Gambar L-11. 8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



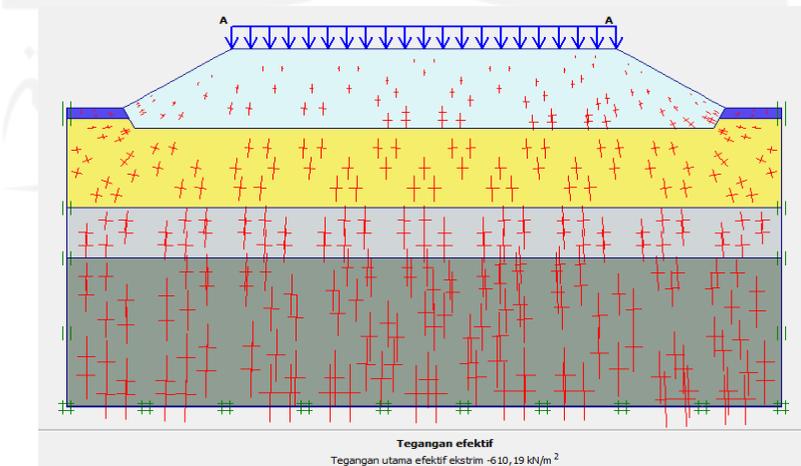
Gambar L-11. 9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



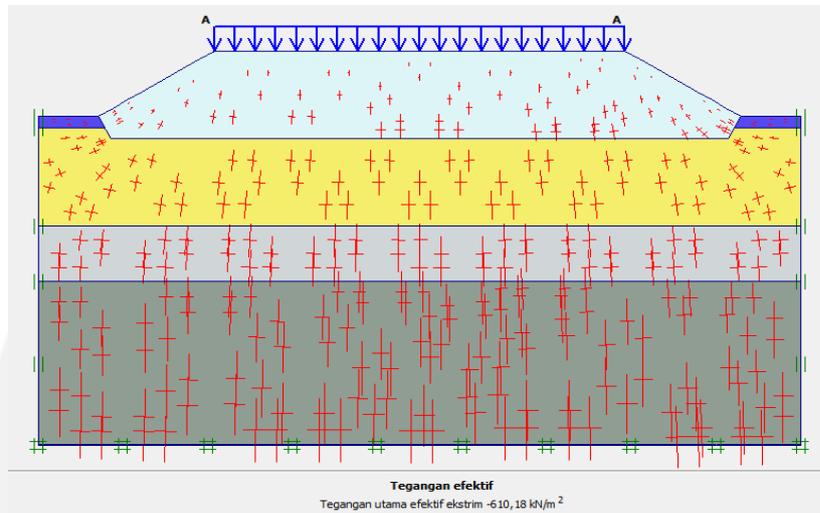
**Gambar L-11. 10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah
Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



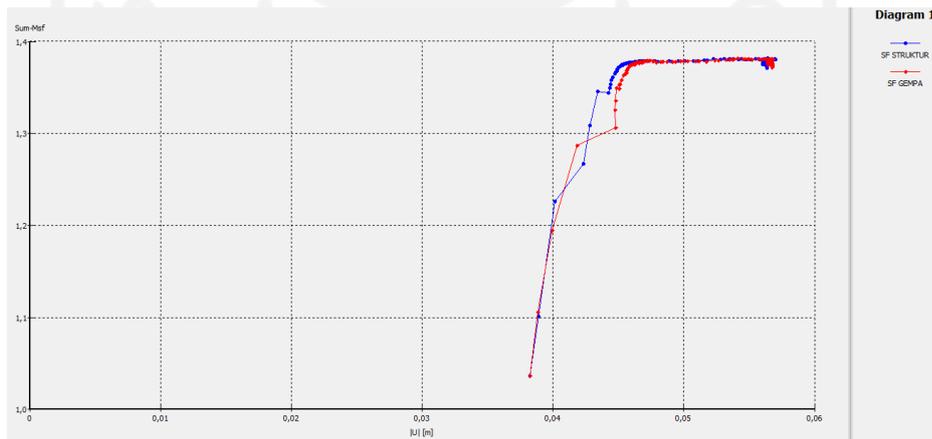
**Gambar L-11. 11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah
Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa**



**Gambar L-11. 12 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah
Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**

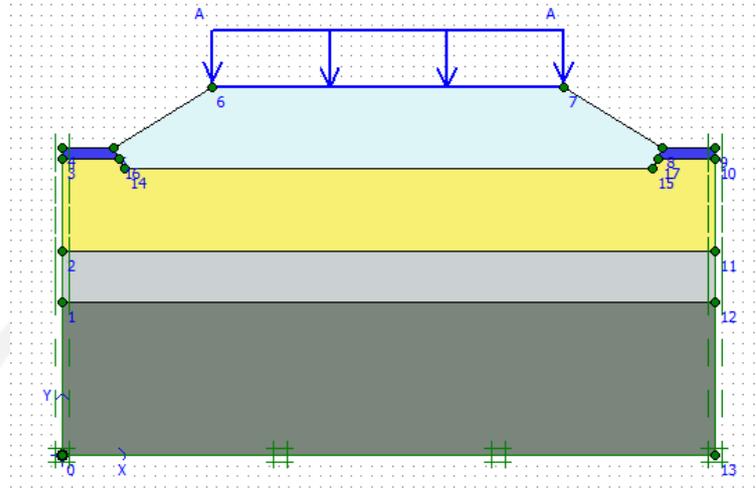


Gambar L-11. 13 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa

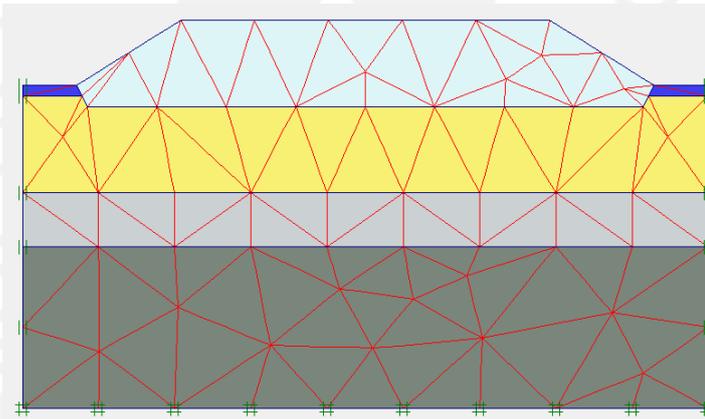


Gambar L-11. 14 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi

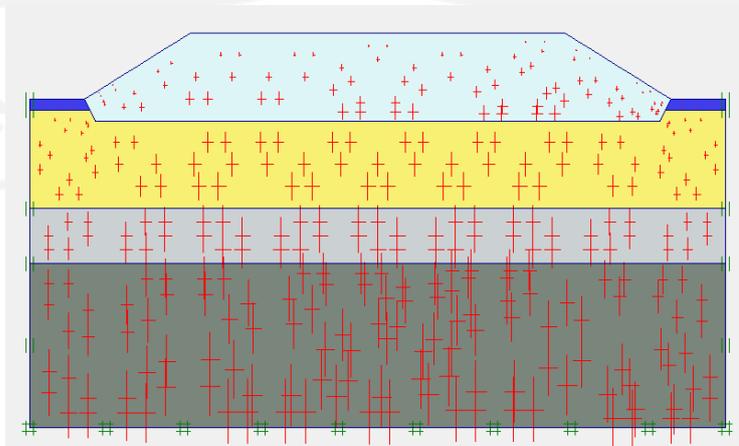
المعهد الأستد الأندوسية



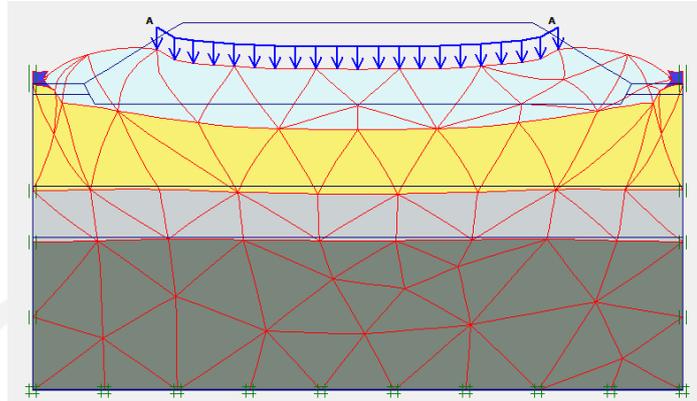
Gambar L-11. 15 Permodelan Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* Pasca Konstruksi



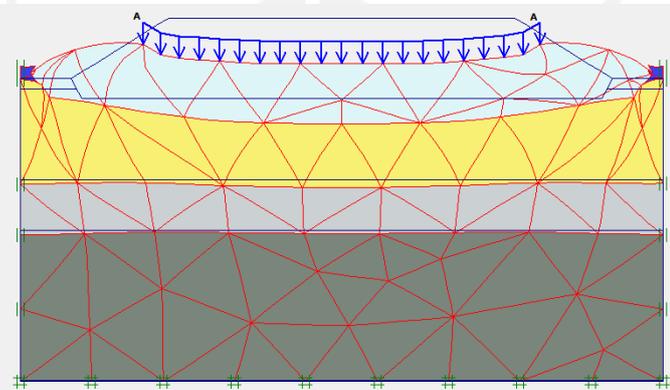
Gambar L-11. 16 *Meshing* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* Pasca Konstruksi



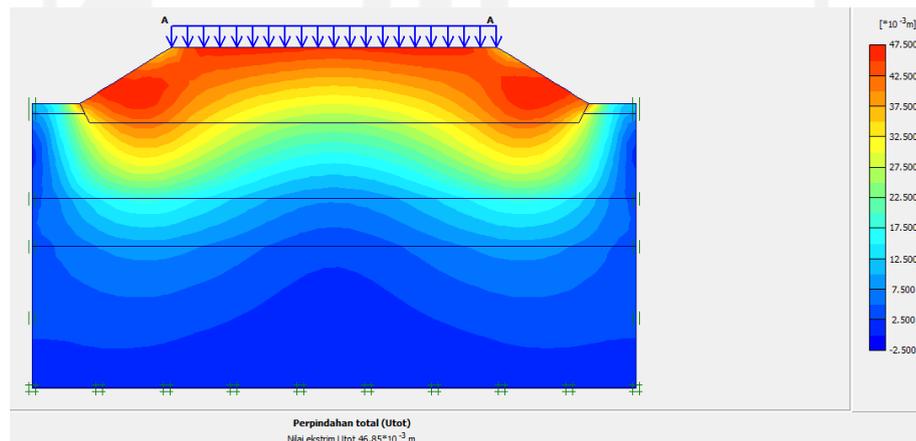
Gambar L-11. 17 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* Pasca Konstruksi



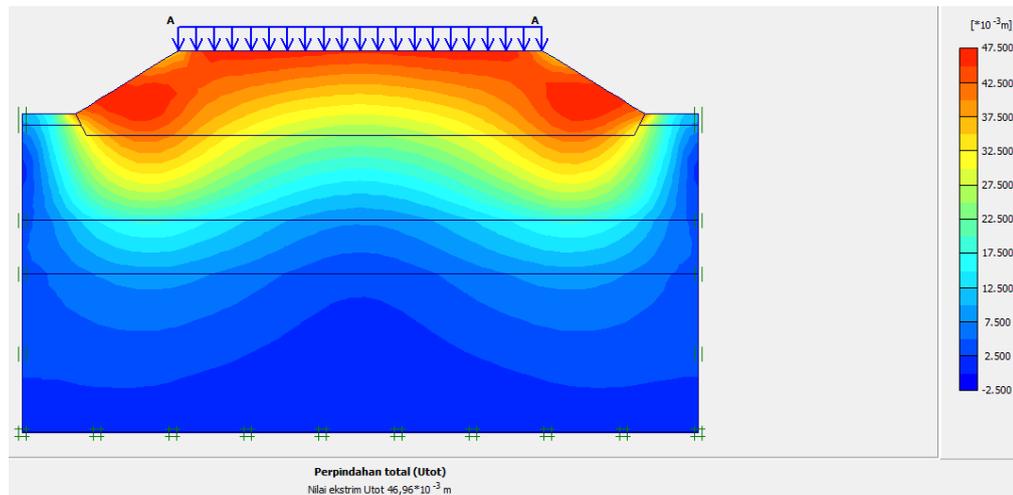
Gambar L-11. 18 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



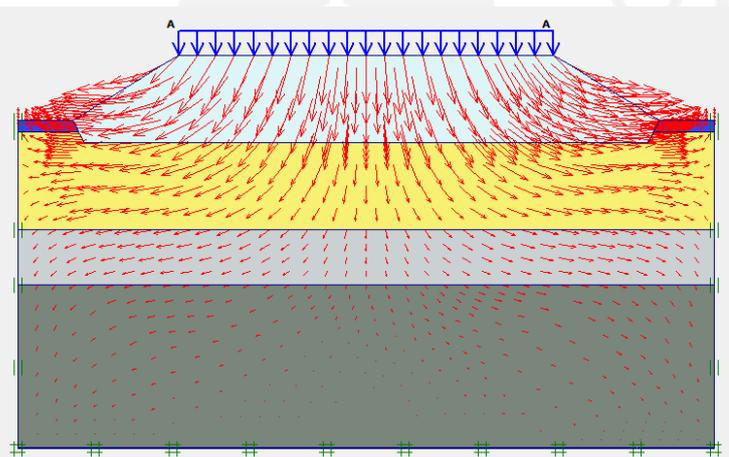
Gambar L-11. 19 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



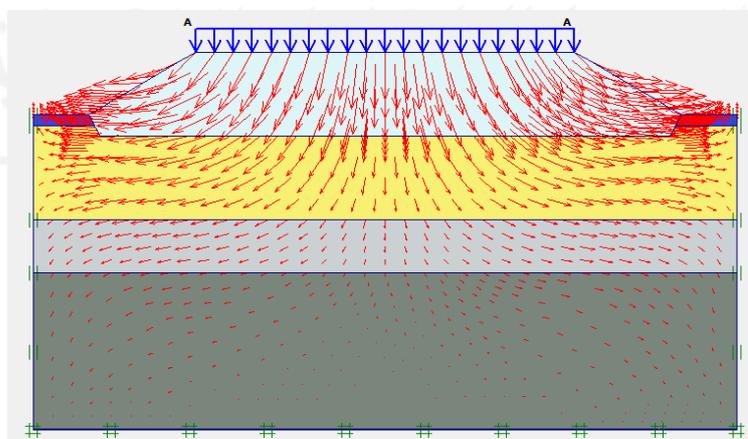
Gambar L-11. 20 Total Displacement Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



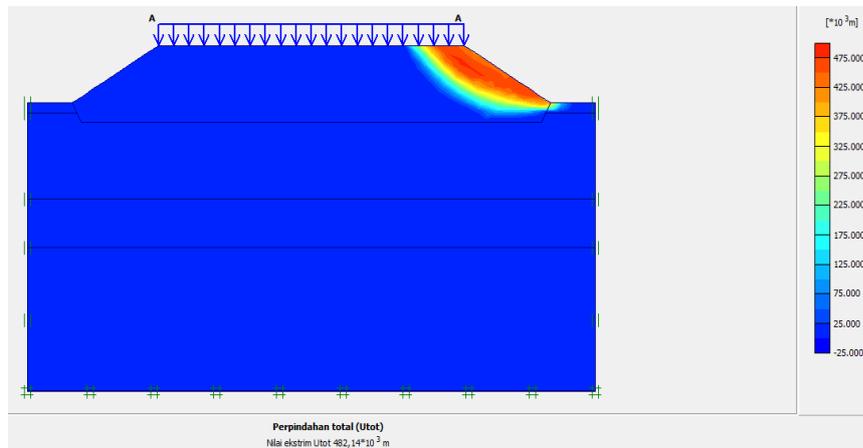
Gambar L-11. 21 Total Displacement Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



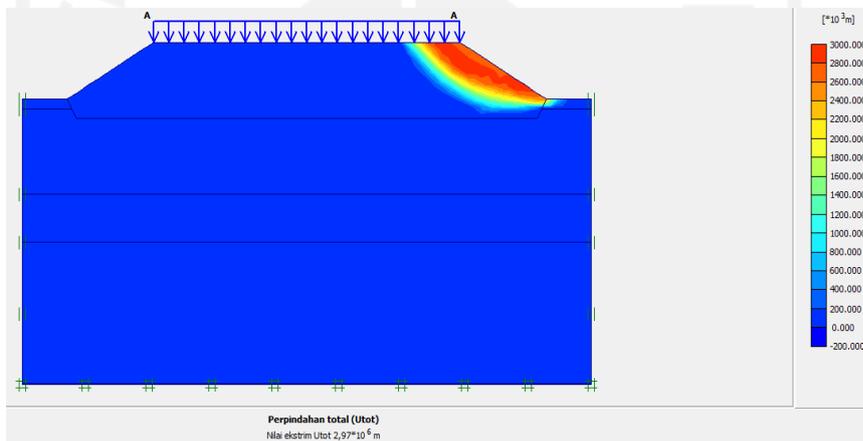
Gambar L-11. 22 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



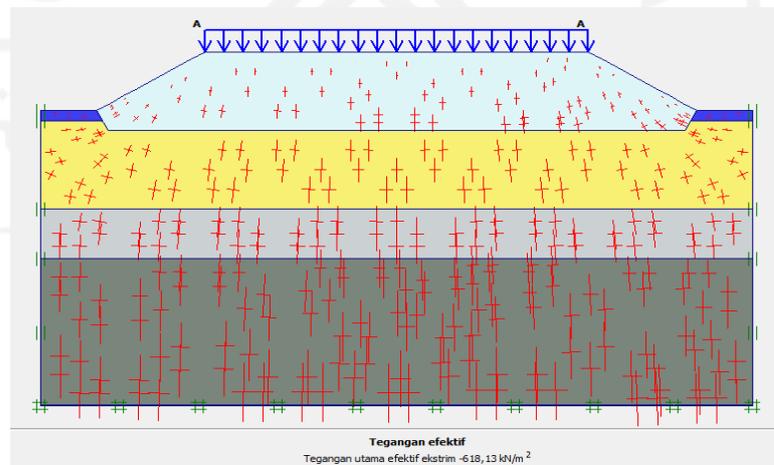
Gambar L-11. 23 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



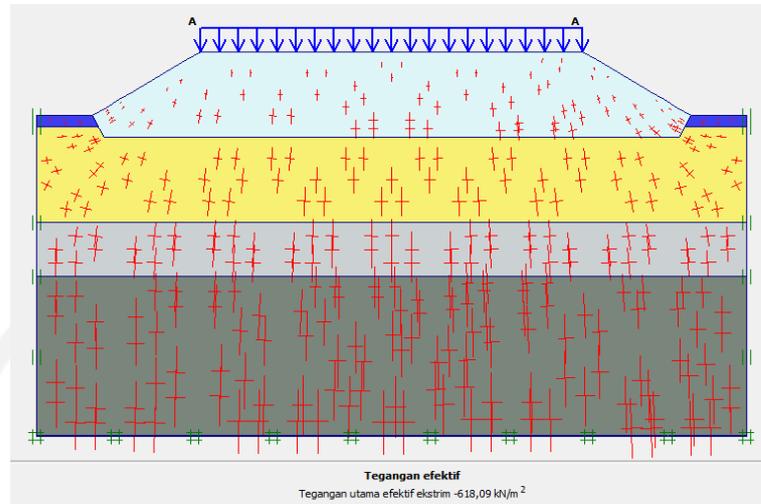
Gambar L-11. 24 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



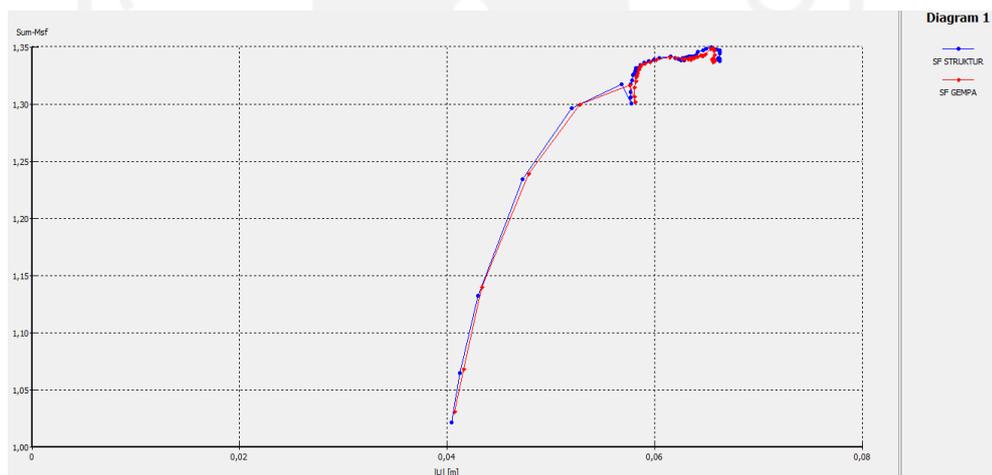
Gambar L-11. 25 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



Gambar L-11. 26 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

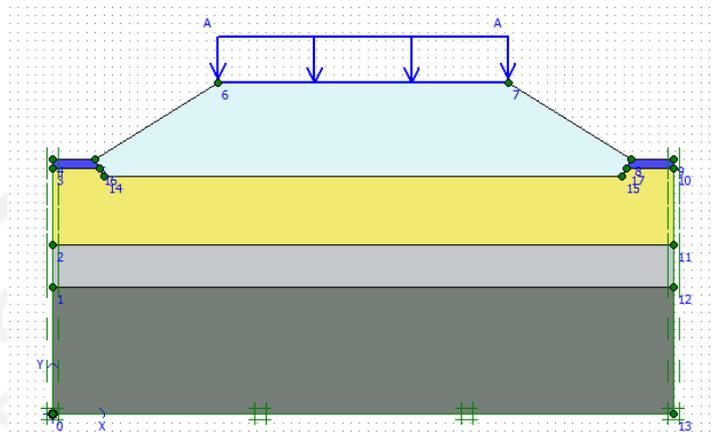


Gambar L-11. 27 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa

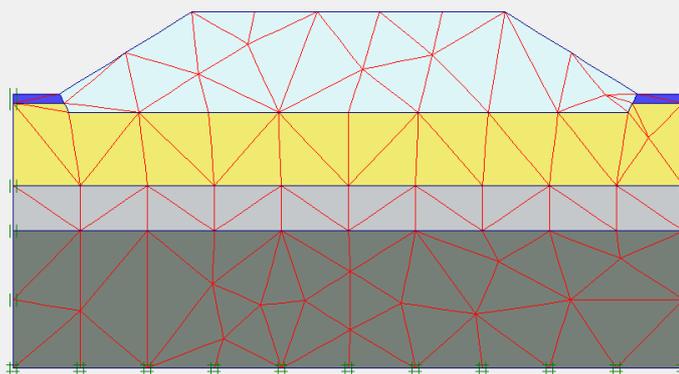


Gambar L-11. 28 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi

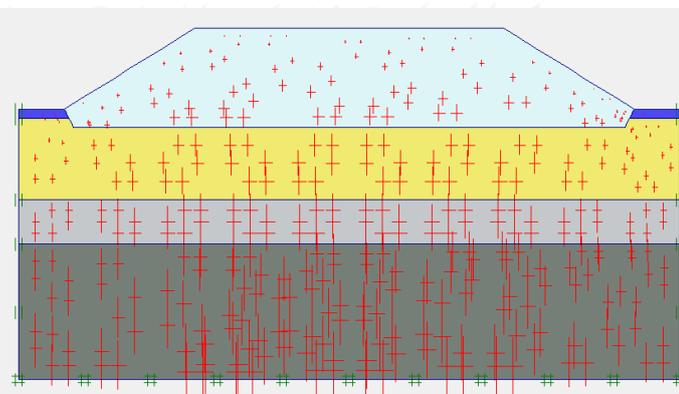
Lampiran 12 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* Tanpa Perkuatan



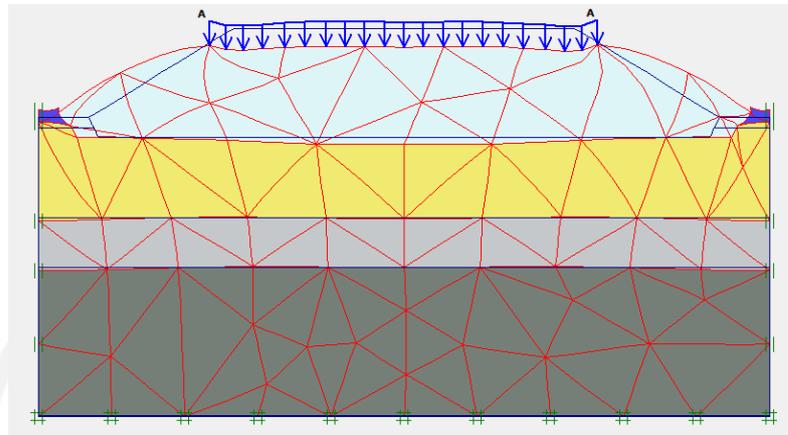
Gambar L-12. 1 Permodelan Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* Masa Konstruksi



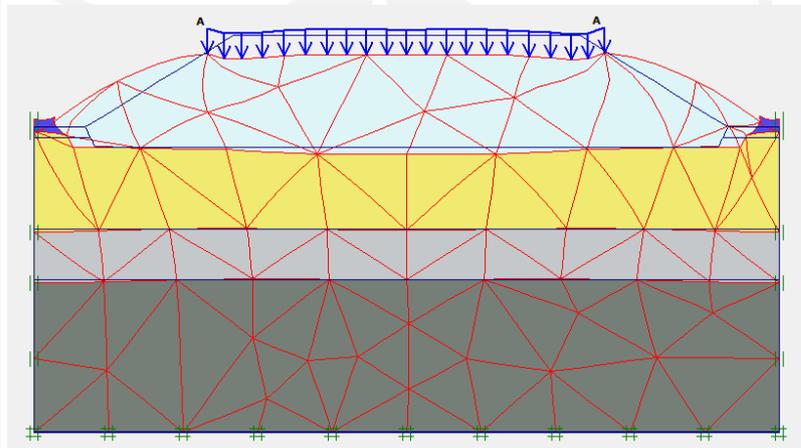
Gambar L-12. 2 *Meshing* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* Masa Konstruksi



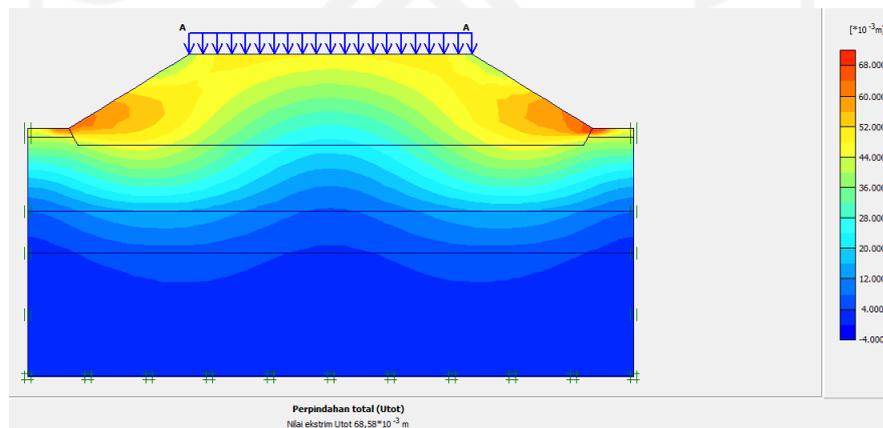
Gambar L-12. 3 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* Masa Konstruksi



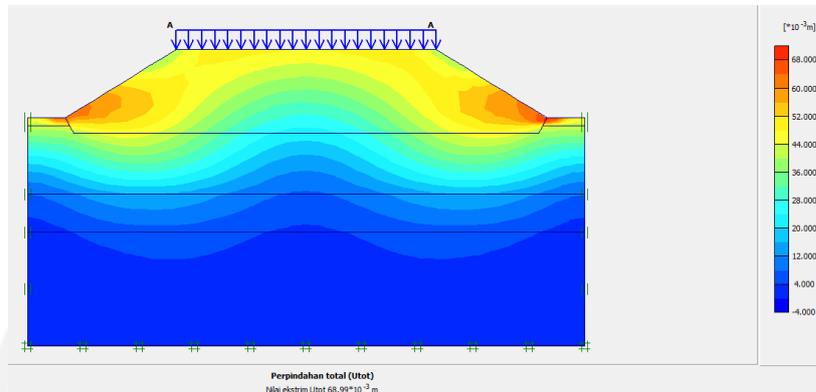
Gambar L-12. 4 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



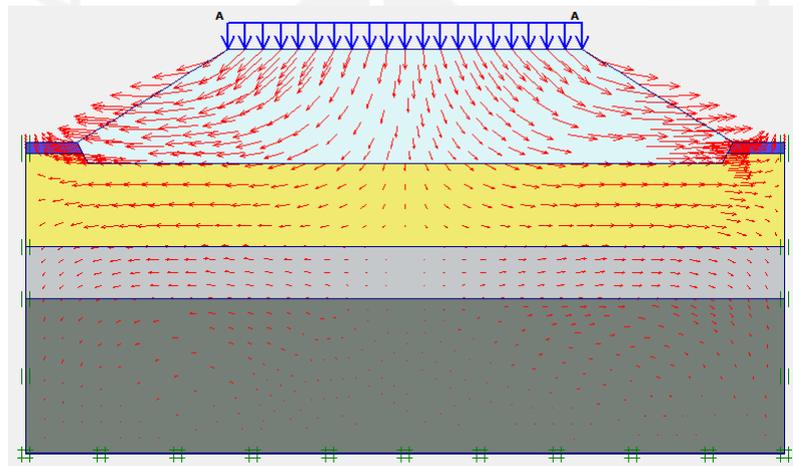
Gambar L-12. 5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



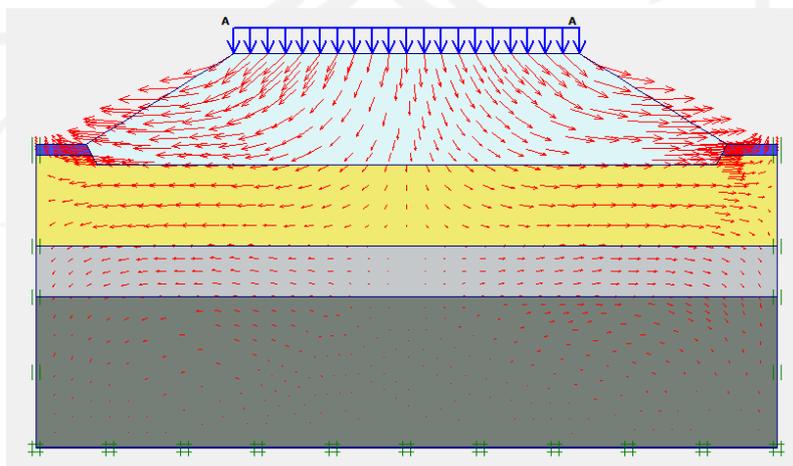
Gambar L-12. 6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



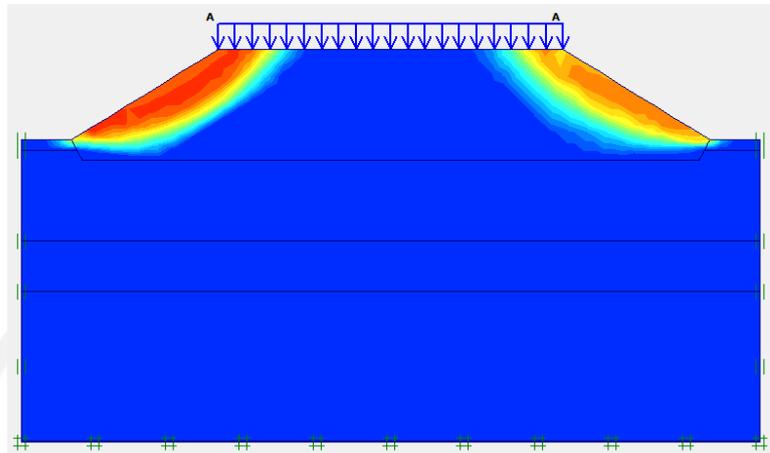
Gambar L-12. 7 Total Displacement Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



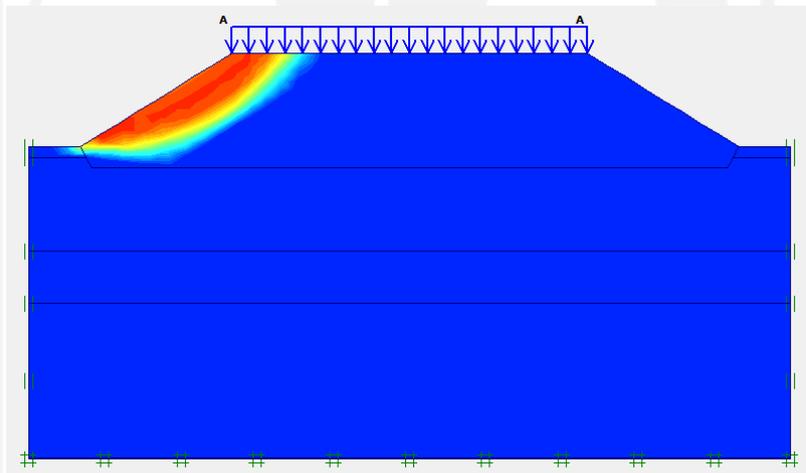
Gambar L-12. 8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



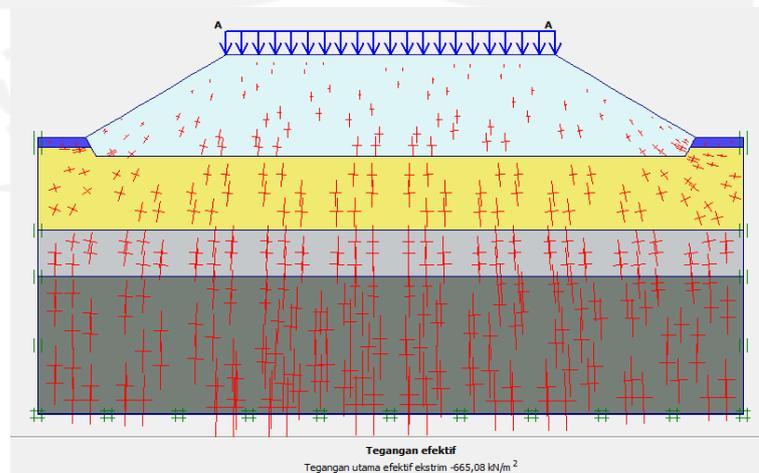
Gambar L-12. 9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



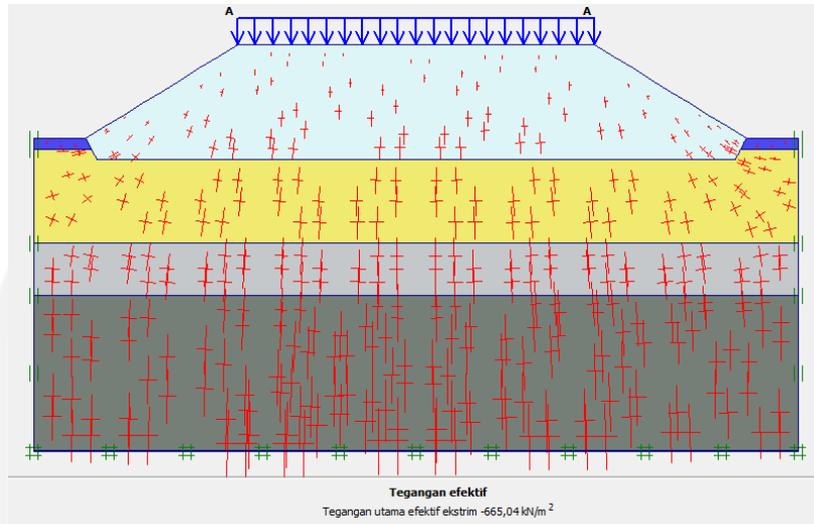
Gambar L-12. 10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



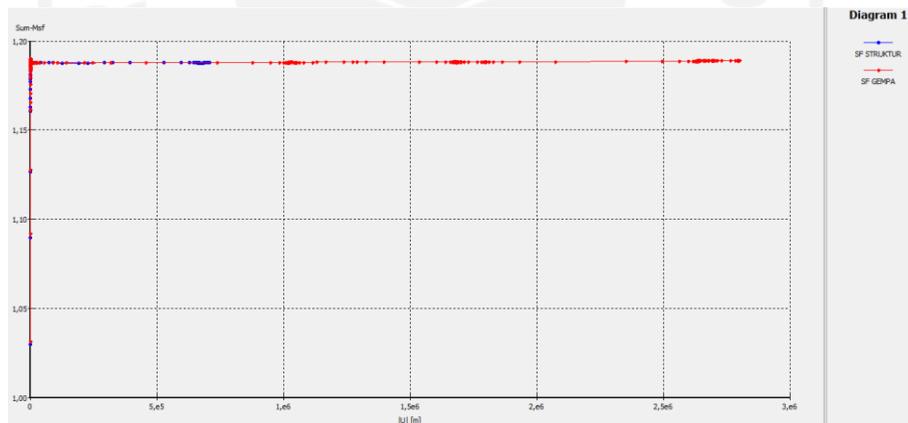
Gambar L-12. 11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



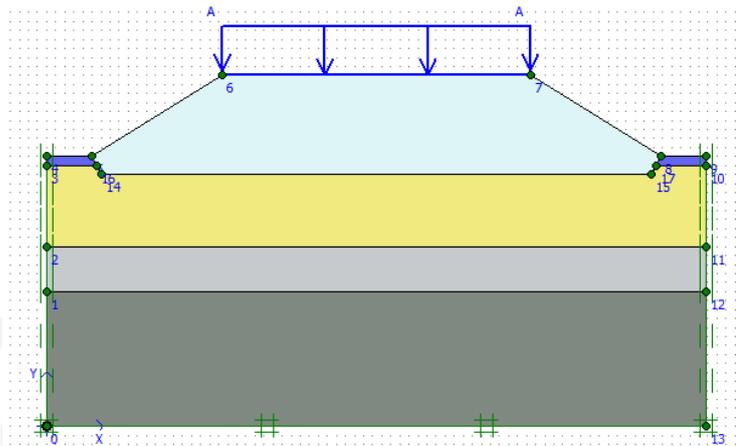
Gambar L-12. 12 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



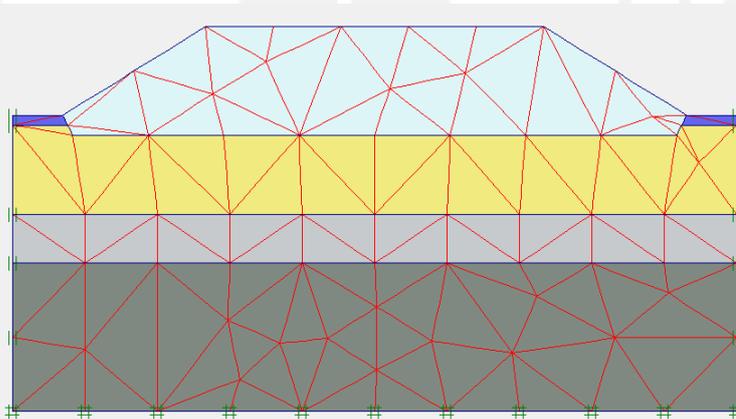
Gambar L-12. 13 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah
Replacement Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



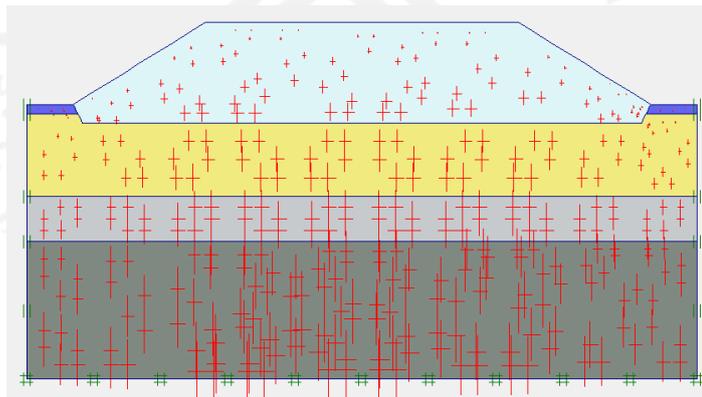
Gambar L-12. 14 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 9 Meter Tanah
Replacement Masa Konstruksi



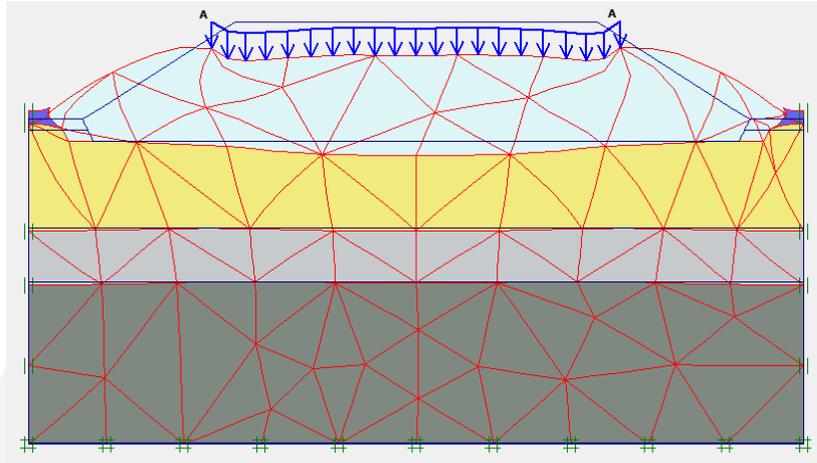
Gambar L-12. 15 Permodelan Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* Pasca Konstruksi



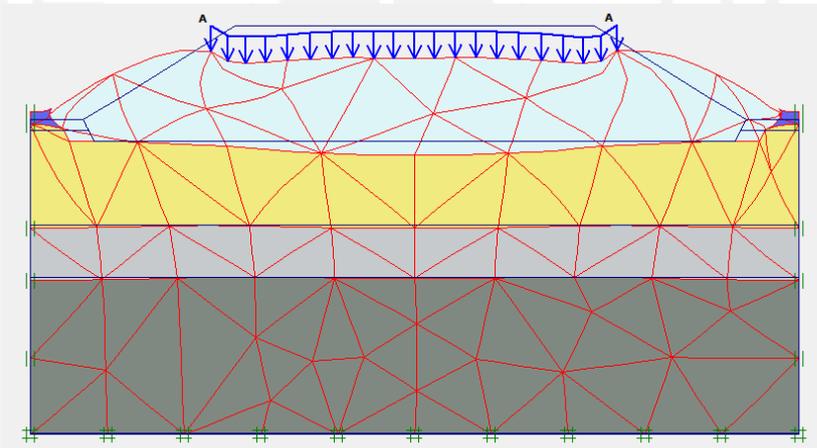
Gambar L-12. 16 *Meshing* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* Pasca Konstruksi



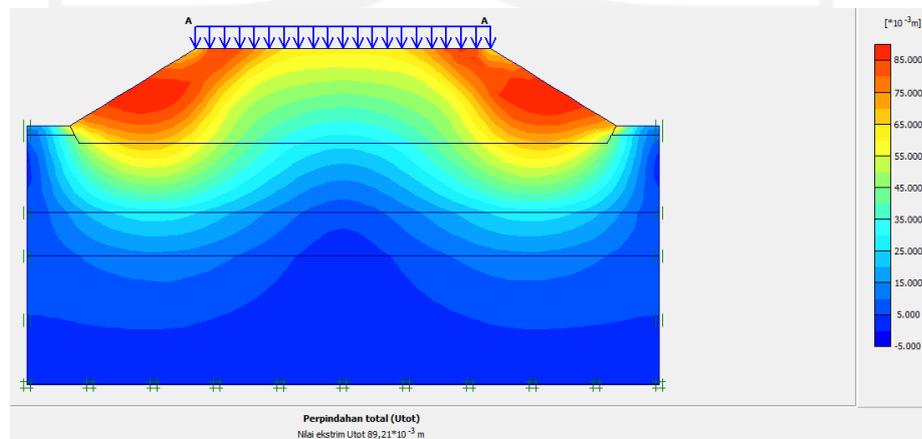
Gambar L-12. 17 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* Pasca Konstruksi



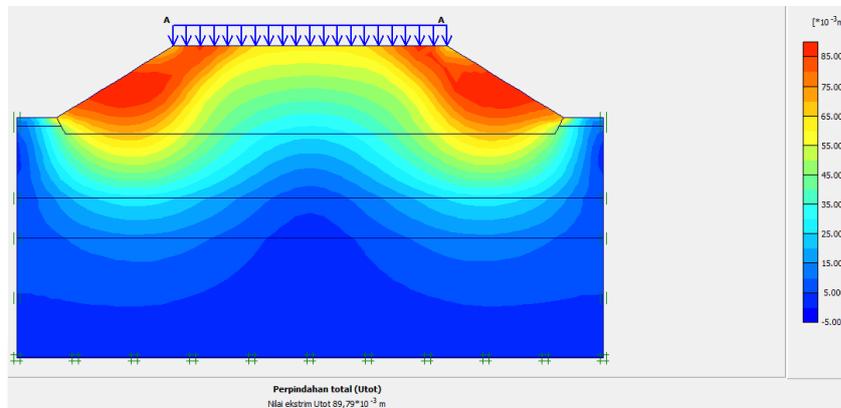
Gambar L-12. 18 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



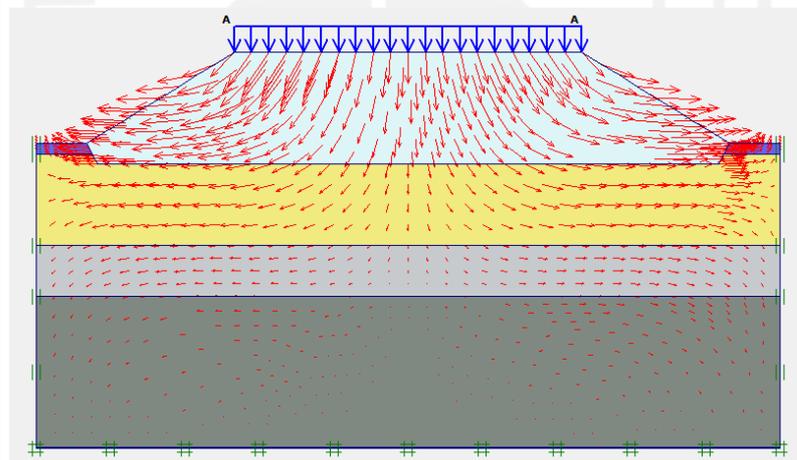
Gambar L-12. 19 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



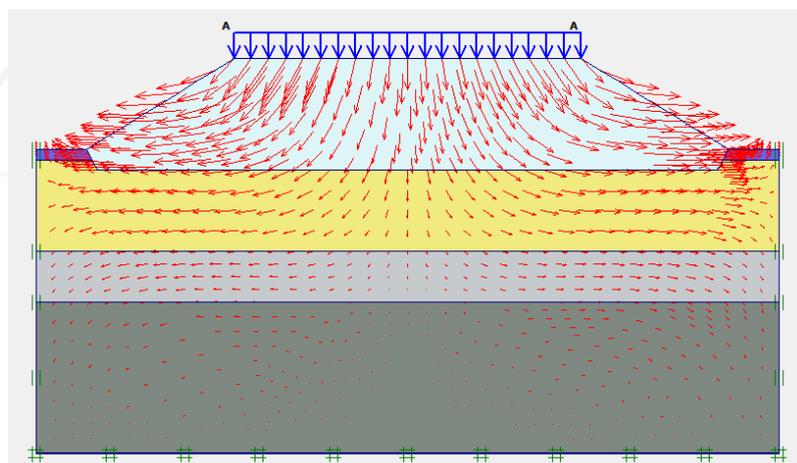
Gambar L-12. 20 Total Displacement Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



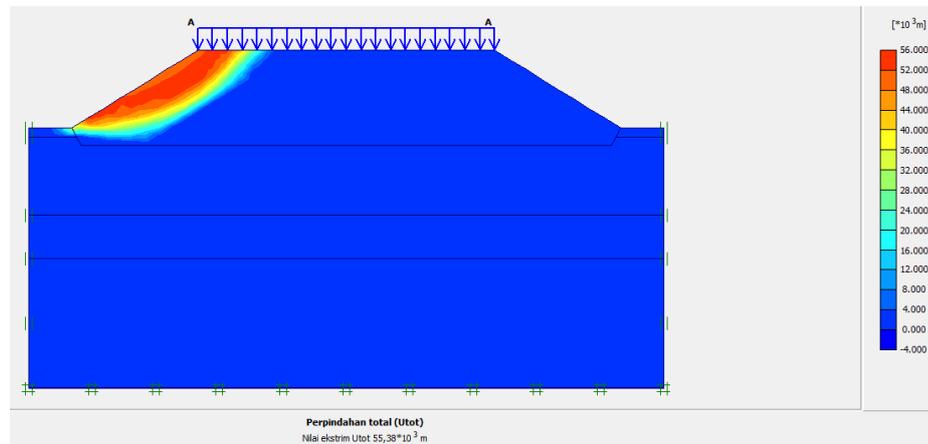
Gambar L-12. 21 Total Displacement Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



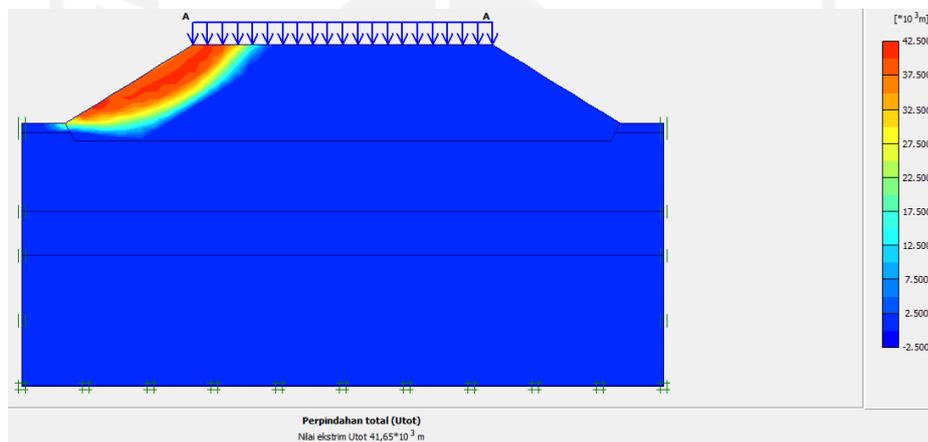
Gambar L-12. 22 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



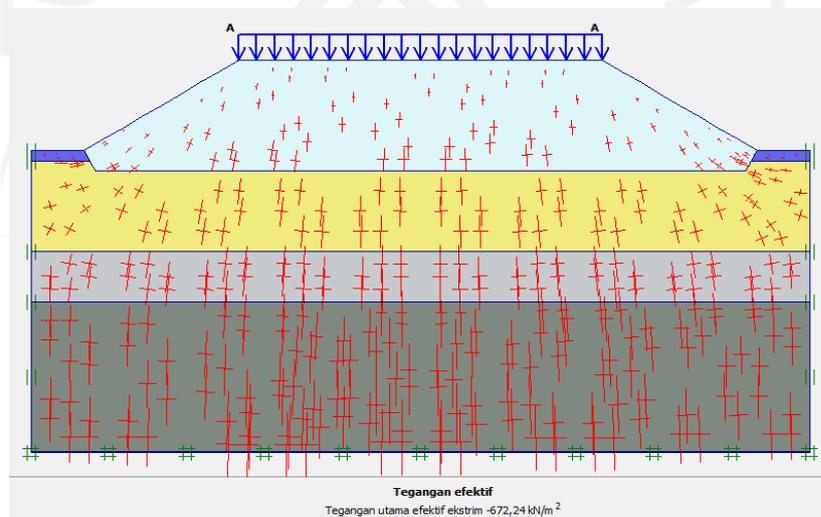
Gambar L-12. 23 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



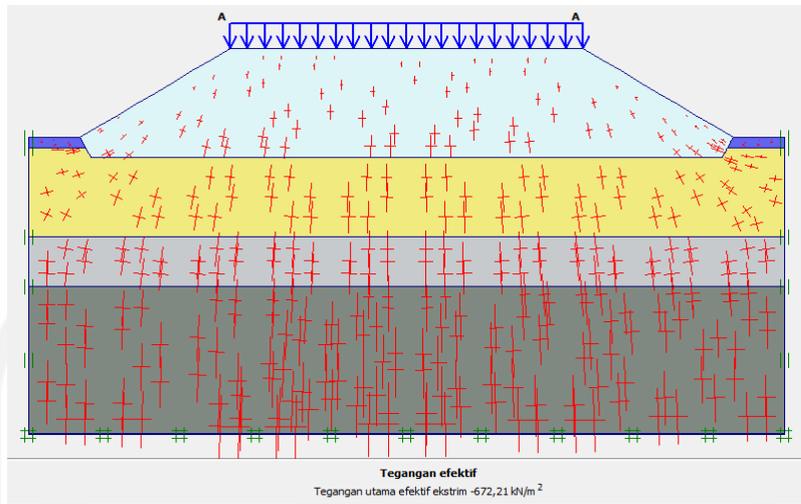
Gambar L-12. 24 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



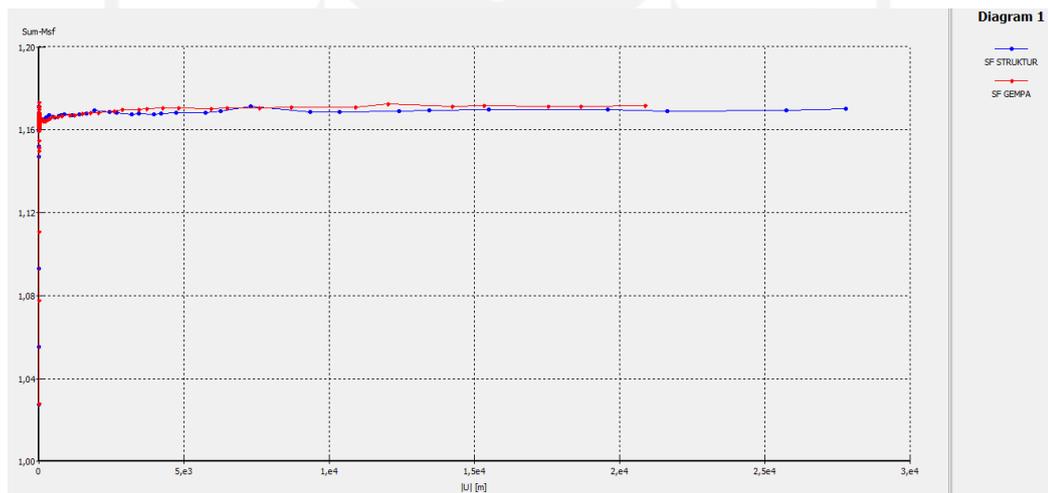
Gambar L-12. 25 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



Gambar L-12. 26 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

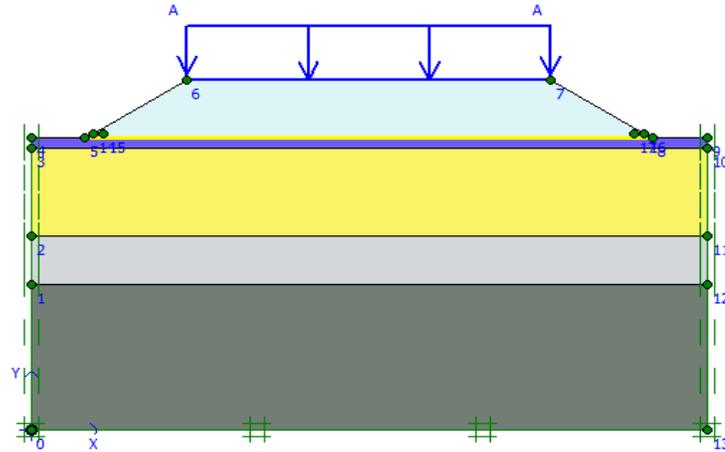


Gambar L-12. 27 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa

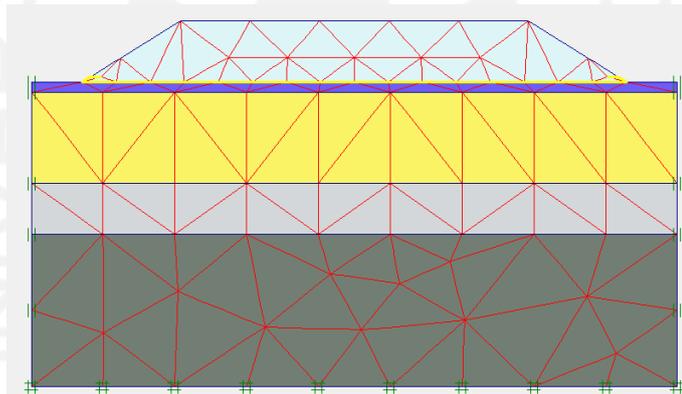


Gambar L-12. 28 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement Pasca Konstruksi

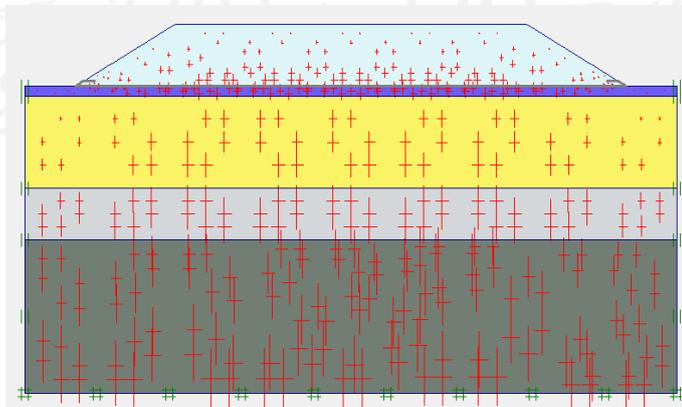
Lampiran 13 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil



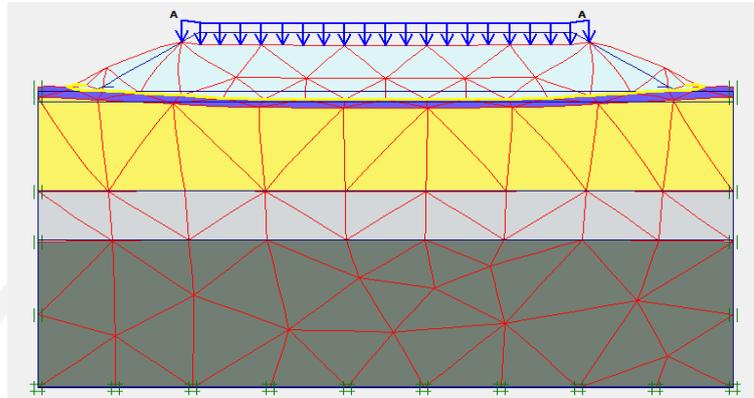
Gambar L-13. 1 Permodelan Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



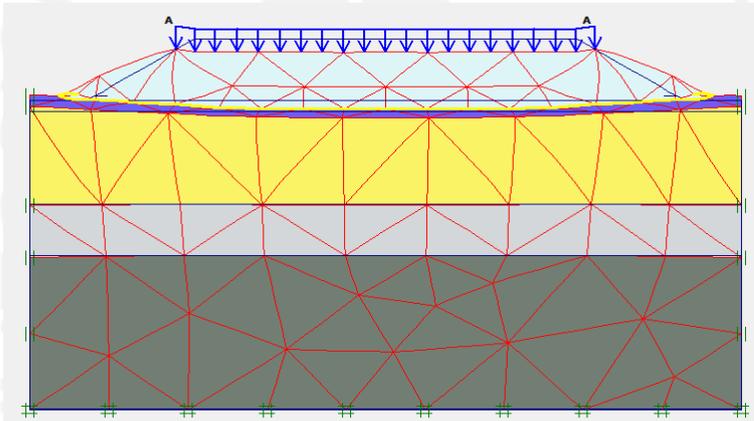
Gambar L-13. 2 *Meshing* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



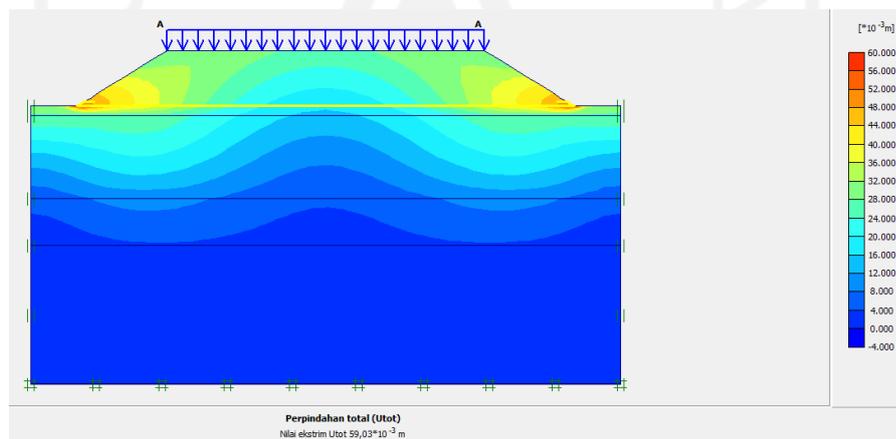
Gambar L-13. 3 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



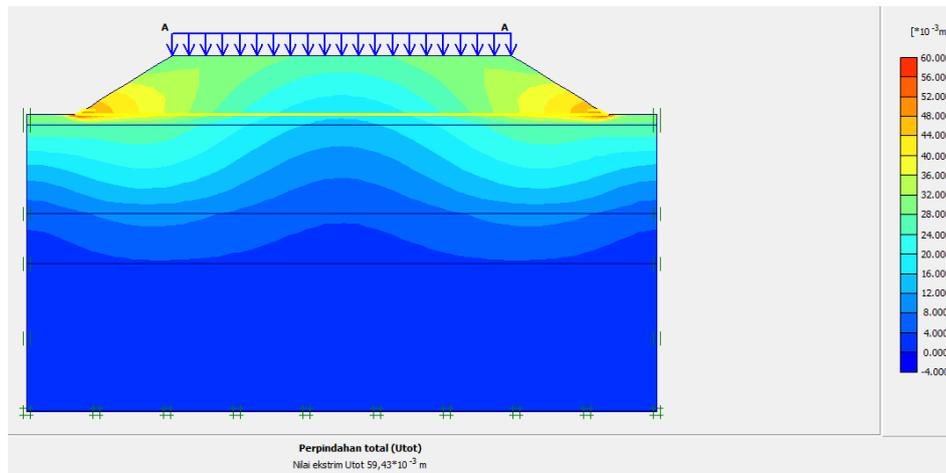
Gambar L-13. 4 *Deformed Mesh* Lereng 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



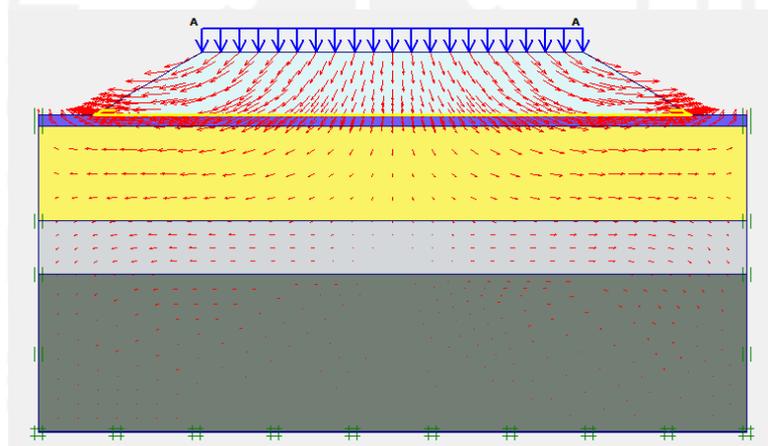
Gambar L-13. 5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



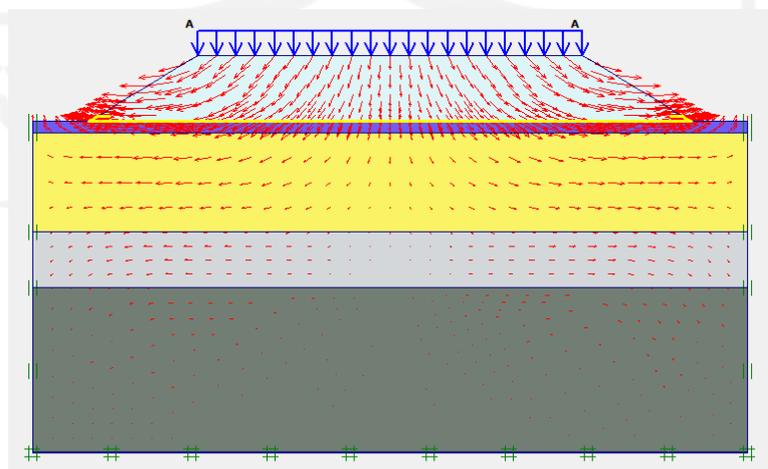
Gambar L-13. 6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



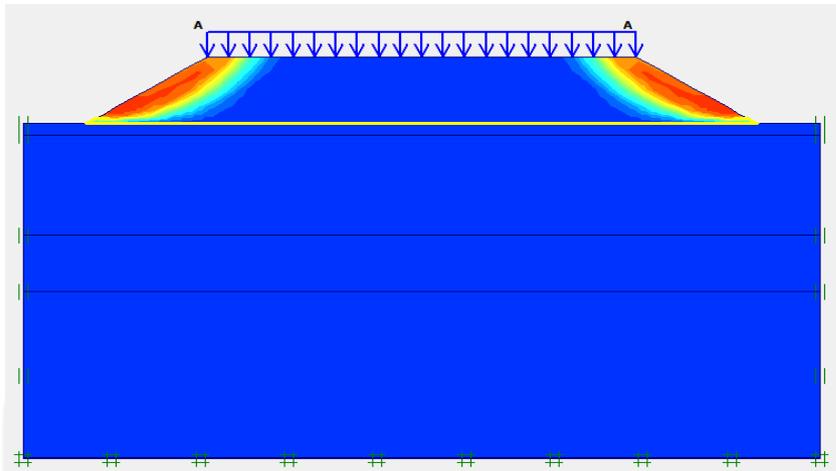
Gambar L-13. 7 Total Displacement Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



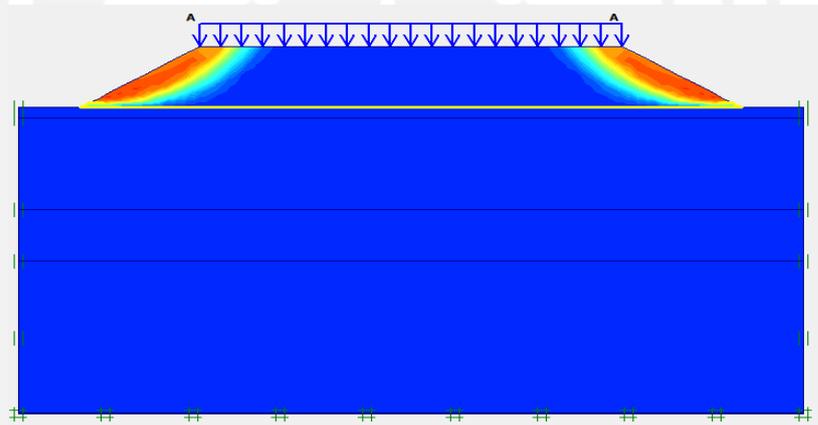
Gambar L-13. 8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



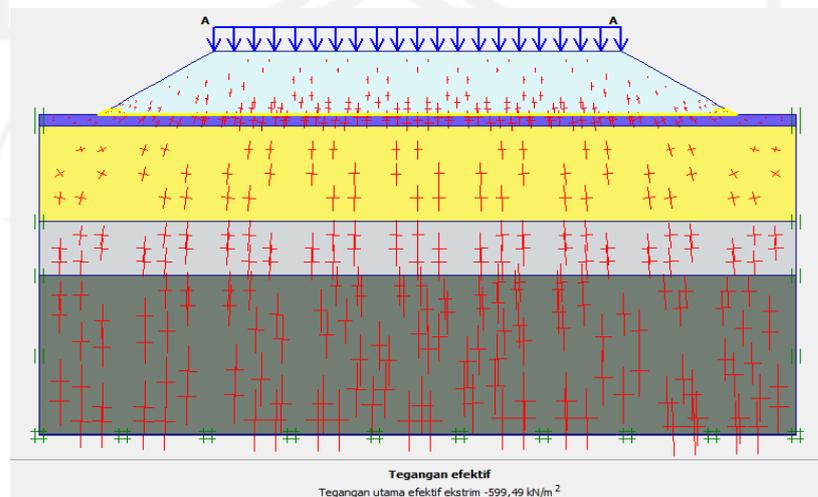
Gambar L-13. 9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



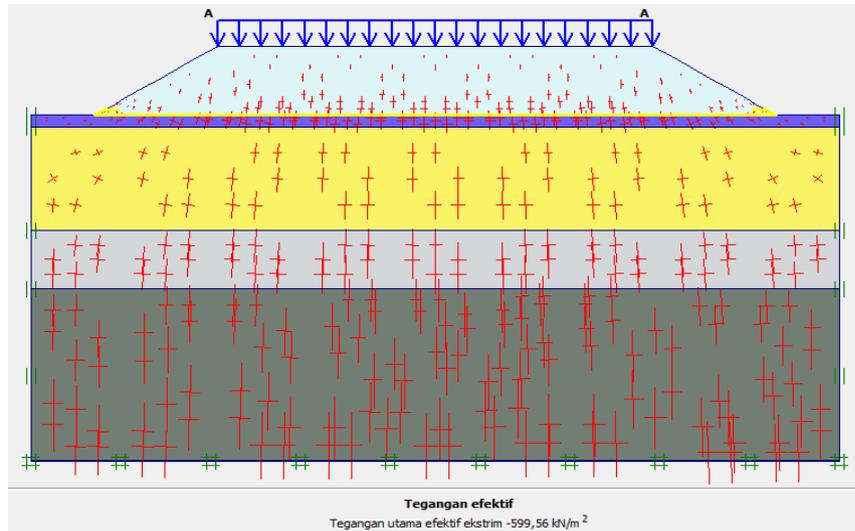
Gambar L-13. 10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



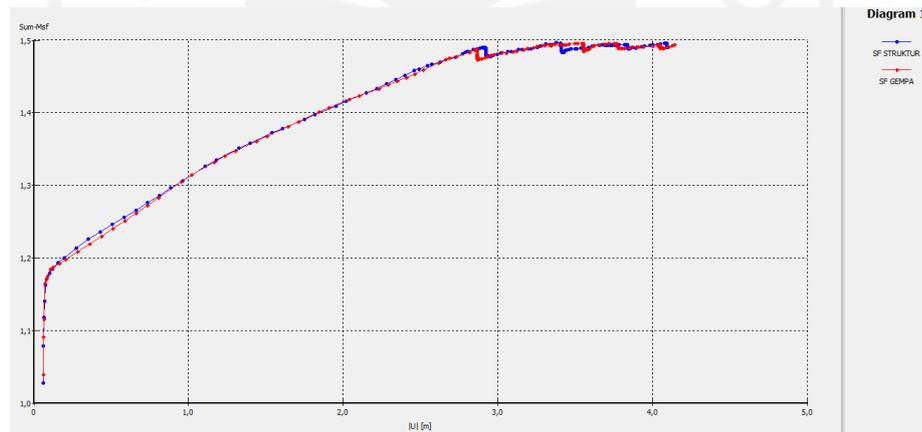
Gambar L-13. 11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



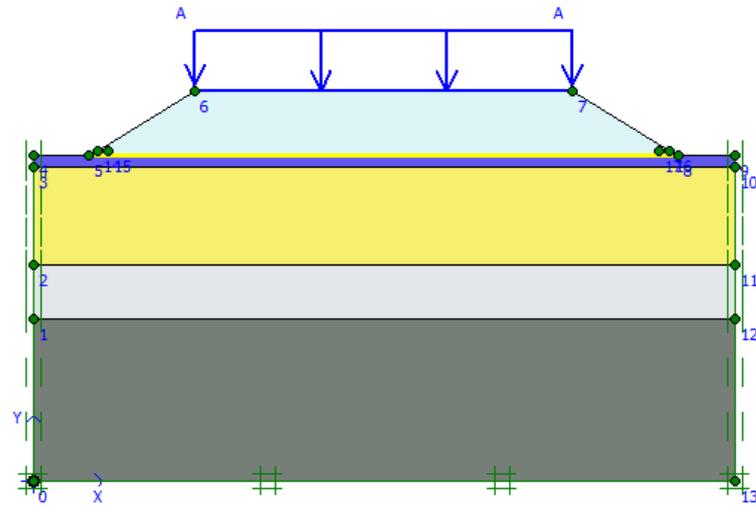
Gambar L-13. 12 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



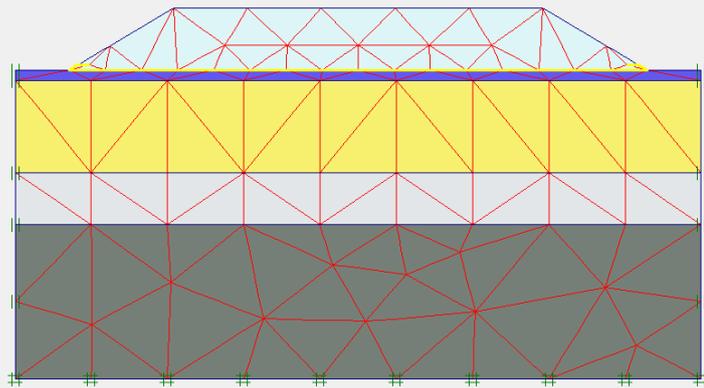
Gambar L-13. 13 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



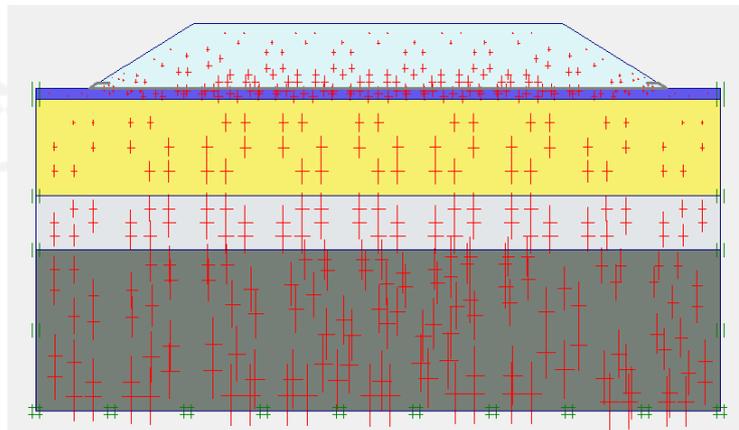
Gambar L-13. 14 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



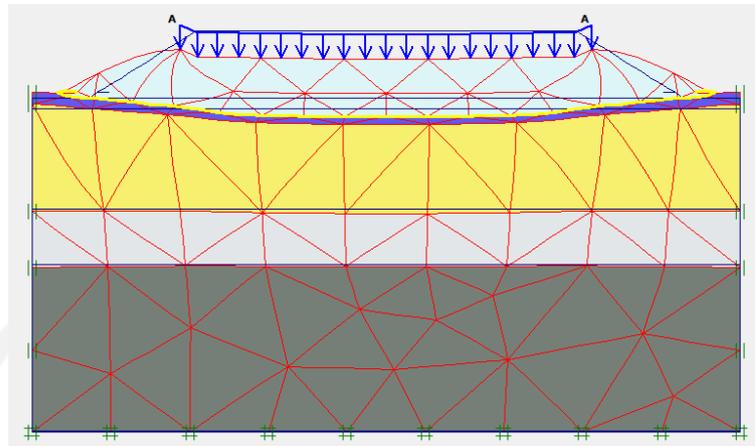
Gambar L-13. 15 Permodelan Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi



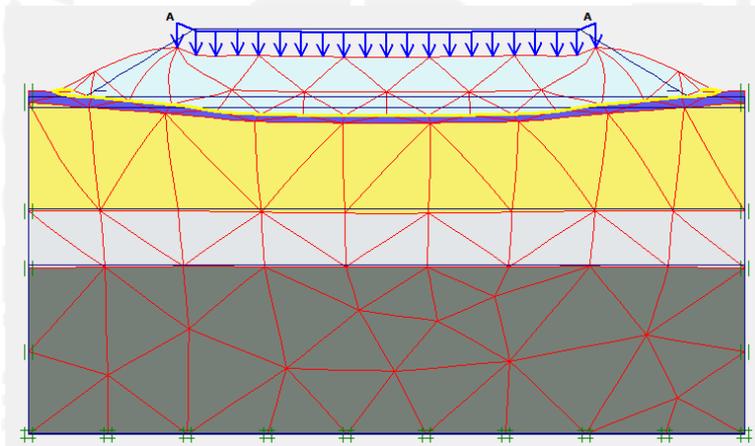
Gambar L-13. 16 Meshing Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi



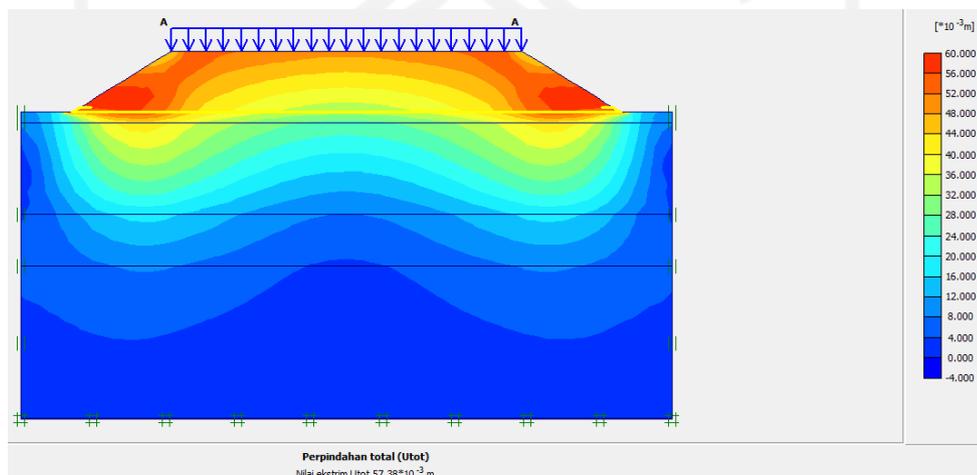
Gambar L-13. 17 Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi



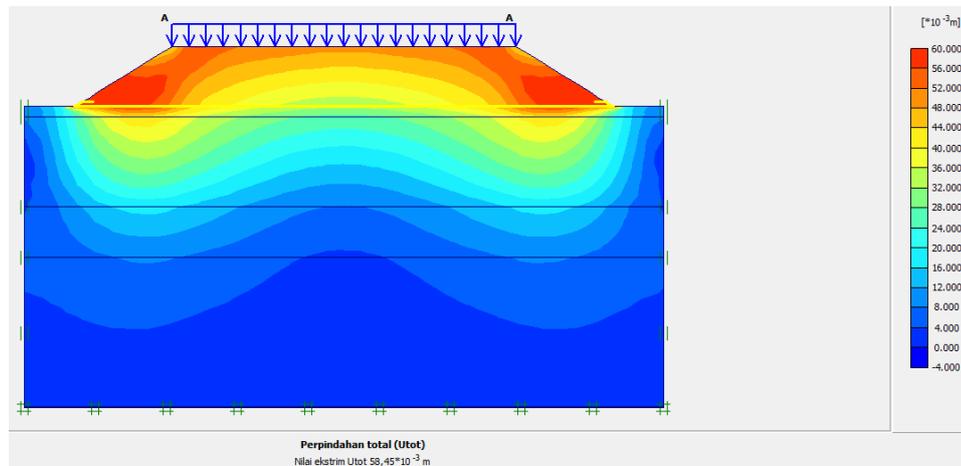
Gambar L-13. 18 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



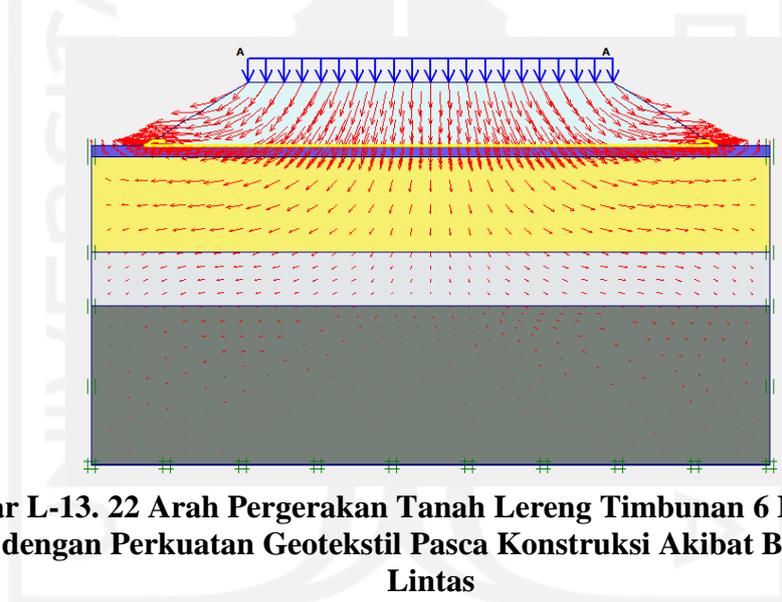
Gambar L-13. 19 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



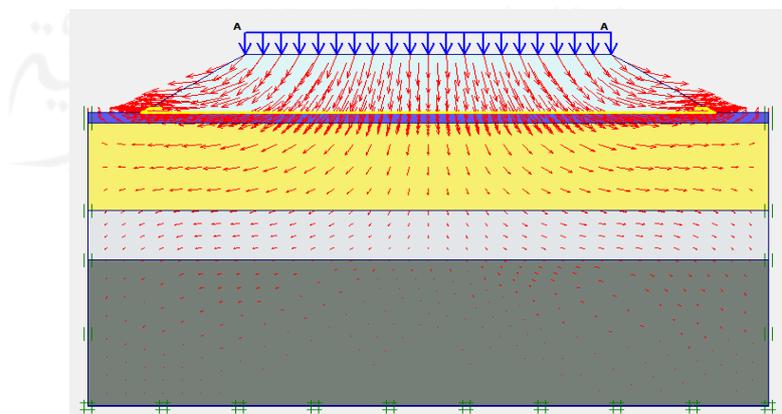
Gambar L-13. 20 *Total Displacement* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



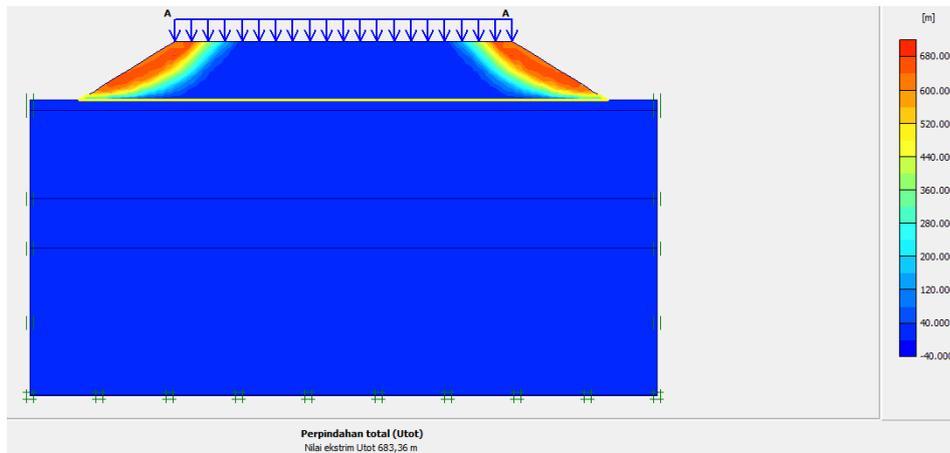
Gambar L-13. 21 Total Displacement Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



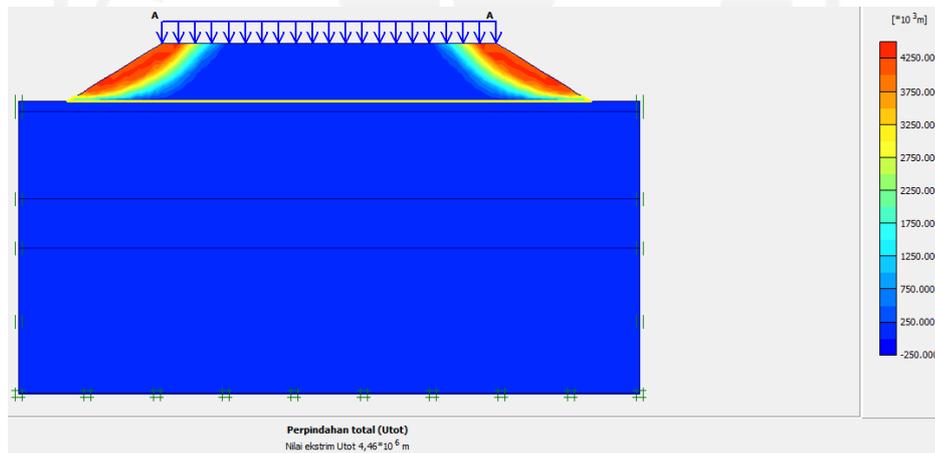
Gambar L-13. 22 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



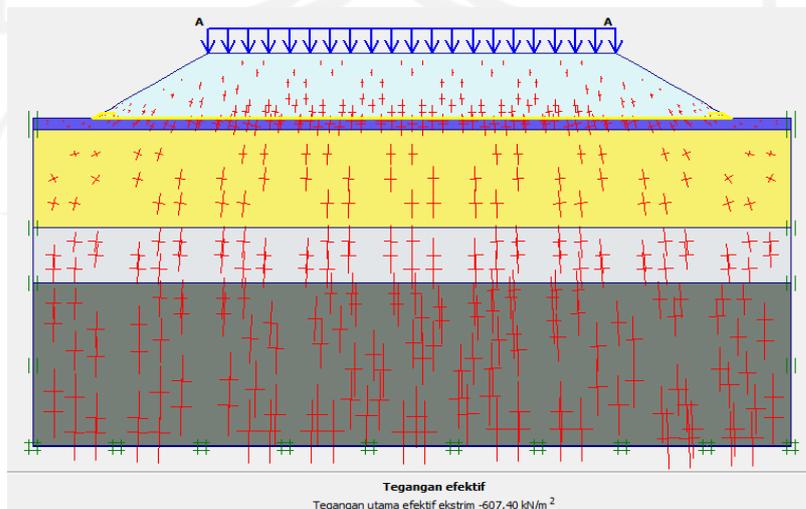
Gambar L-13. 23 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



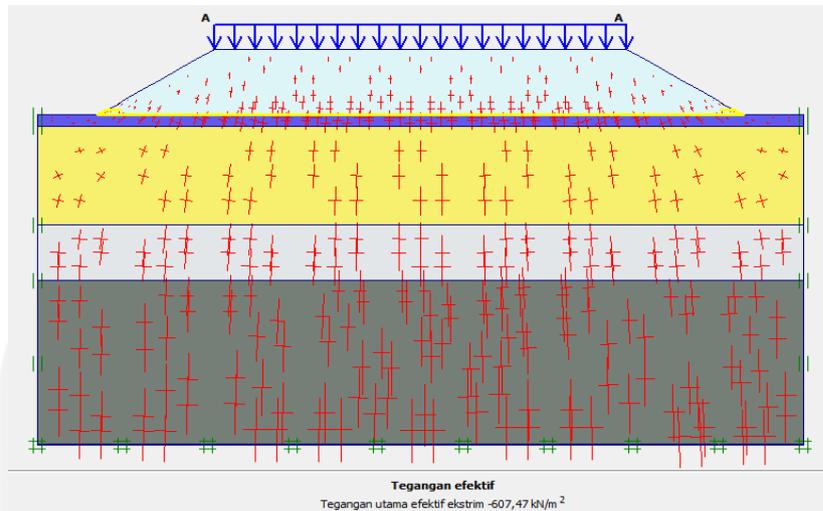
Gambar L-13. 24 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



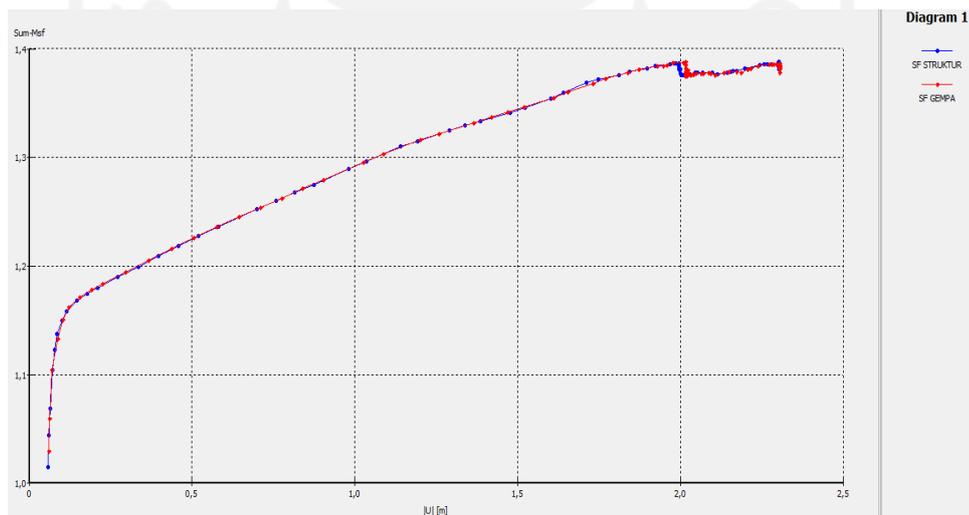
Gambar L-13. 25 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



Gambar L-13. 26 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

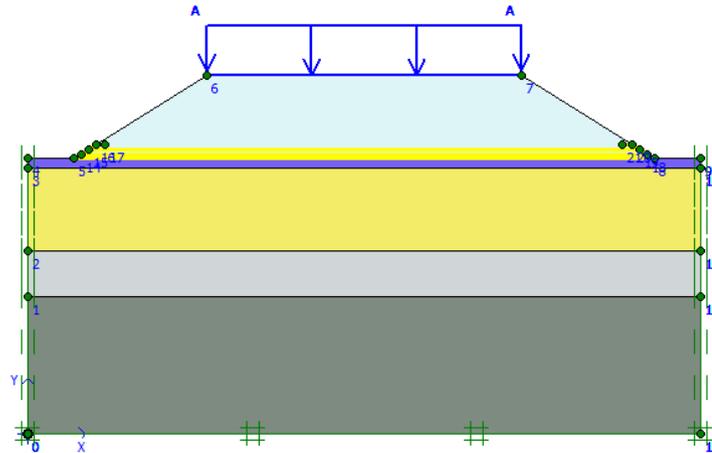


Gambar L-13. 27 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa

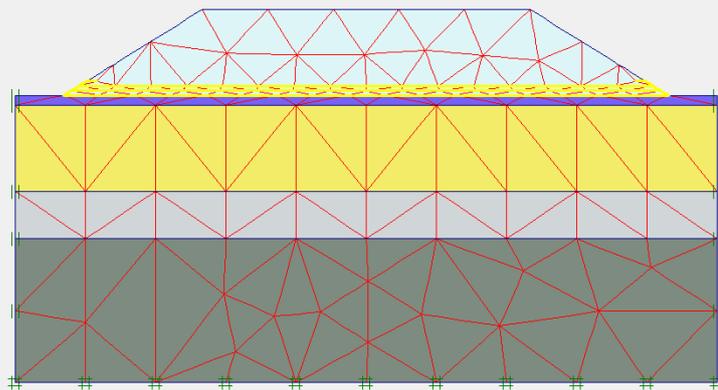


Gambar L-13. 28 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi

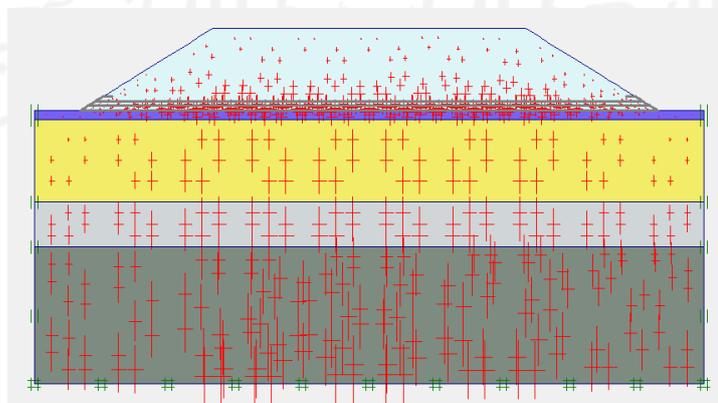
Lampiran 14 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil



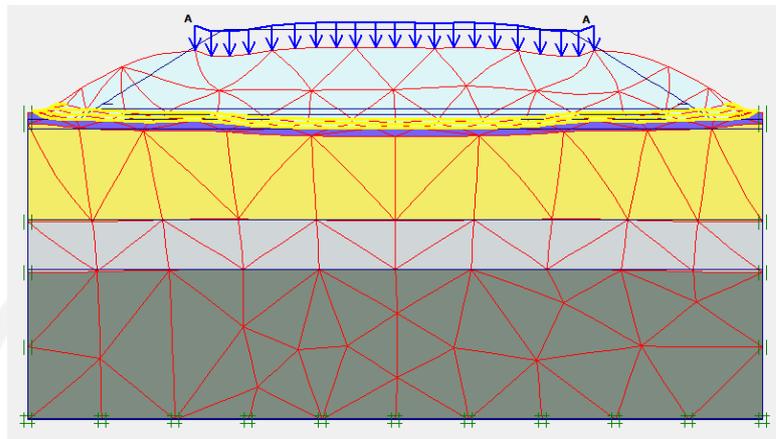
Gambar L-14. 1 Permodelan Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



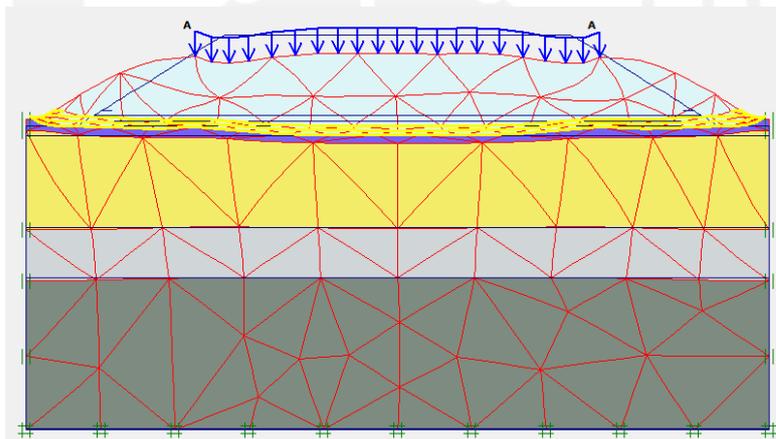
Gambar L-14. 2 *Meshing* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



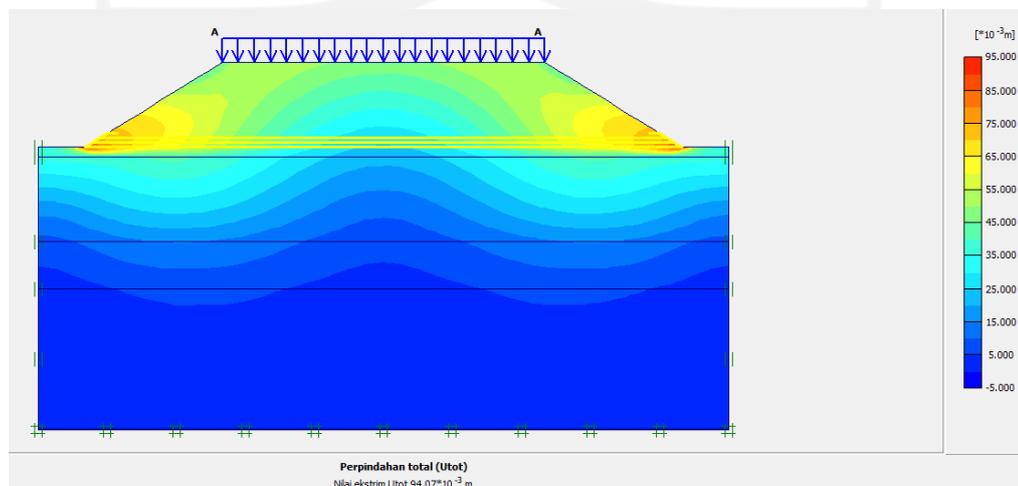
Gambar L-14. 3 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



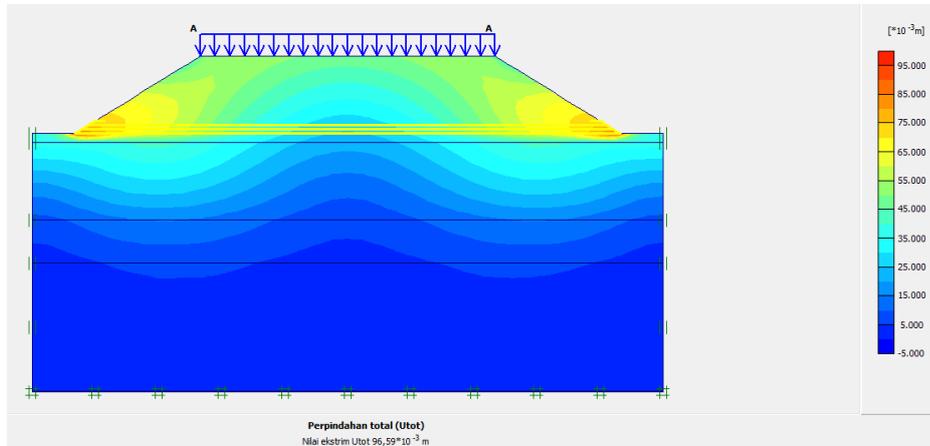
Gambar L-14. 4 *Deformed Mesh* Lereng 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



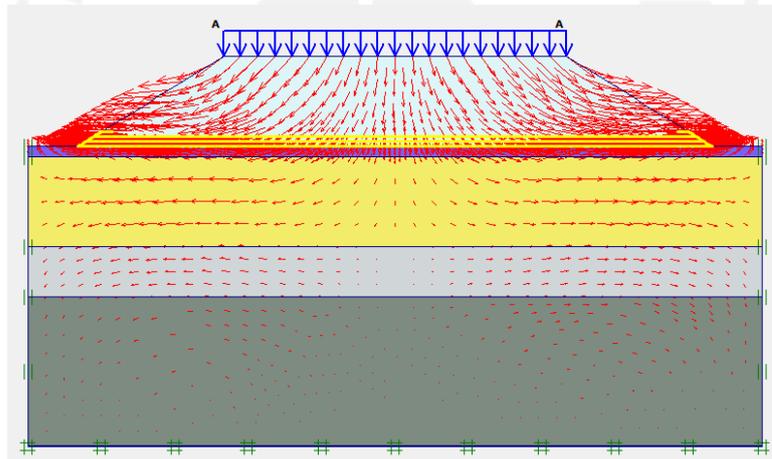
Gambar L-14. 5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



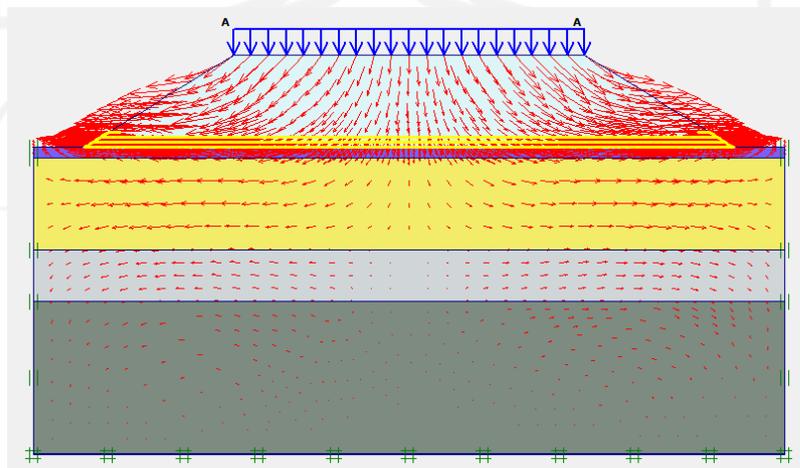
Gambar L-14. 6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



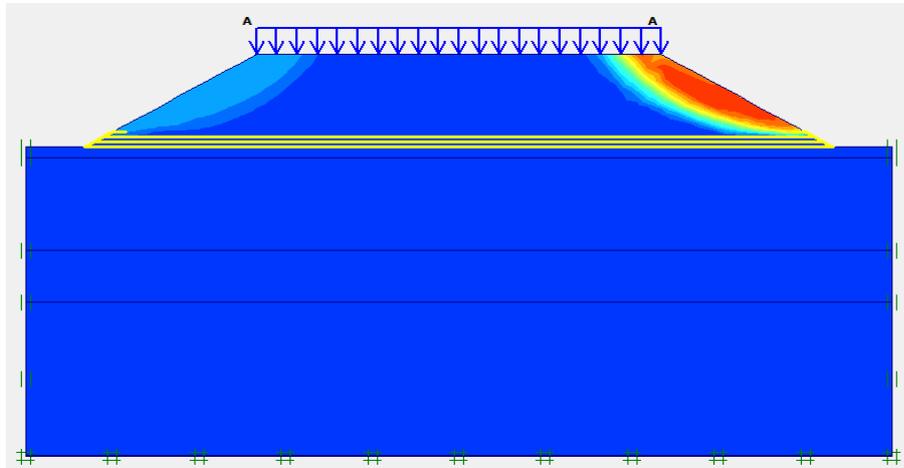
Gambar L-14. 7 Total Displacement Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



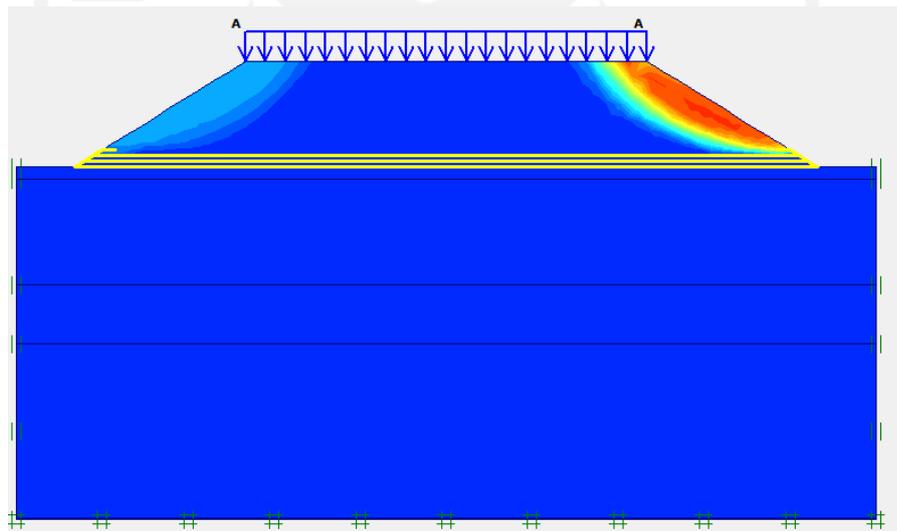
Gambar L-14. 8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



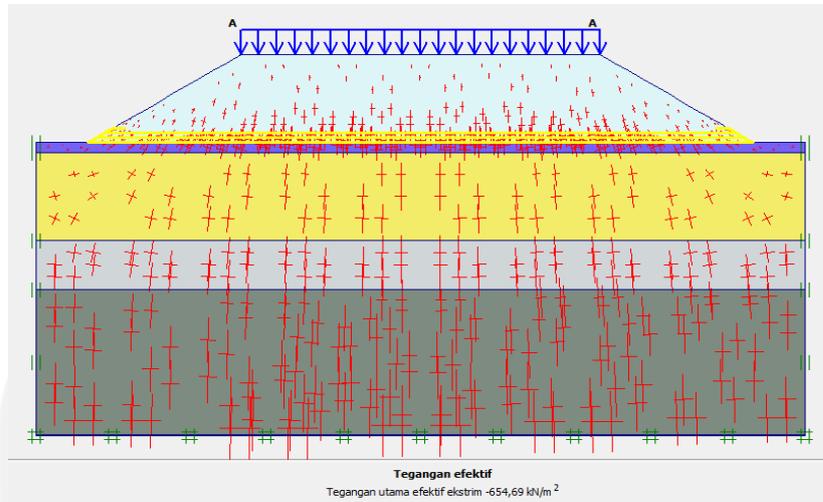
Gambar L-14. 9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



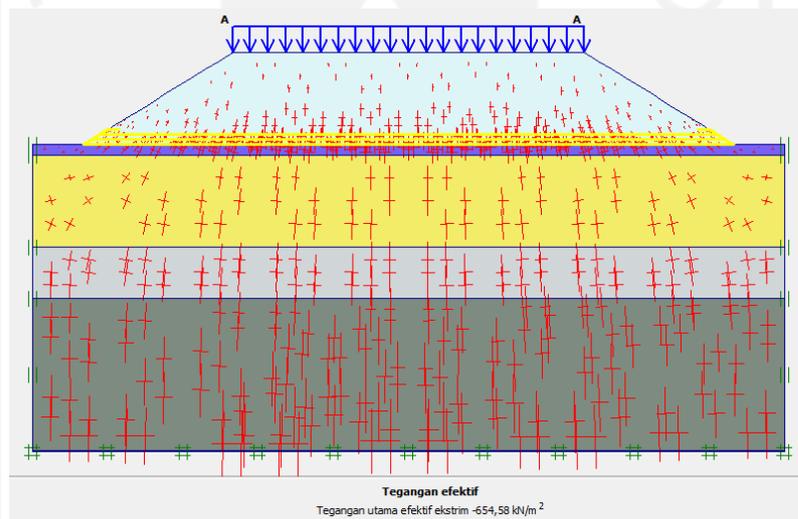
Gambar L-14. 10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



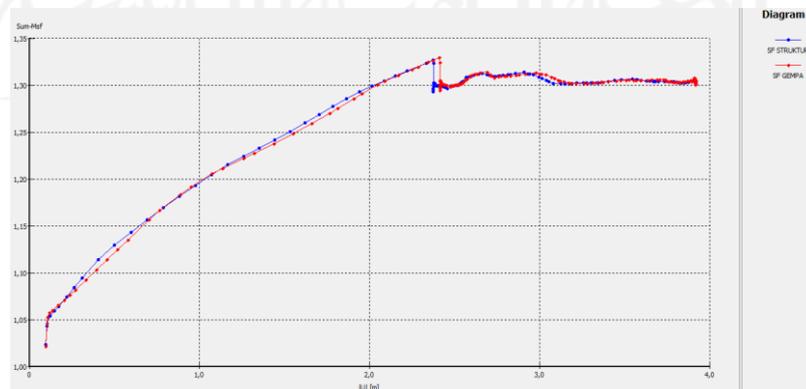
Gambar L-14. 11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



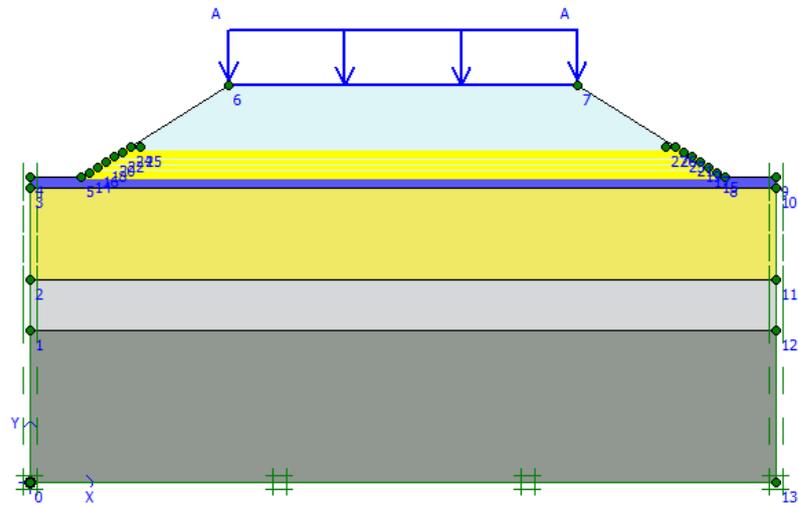
Gambar L-14. 12 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



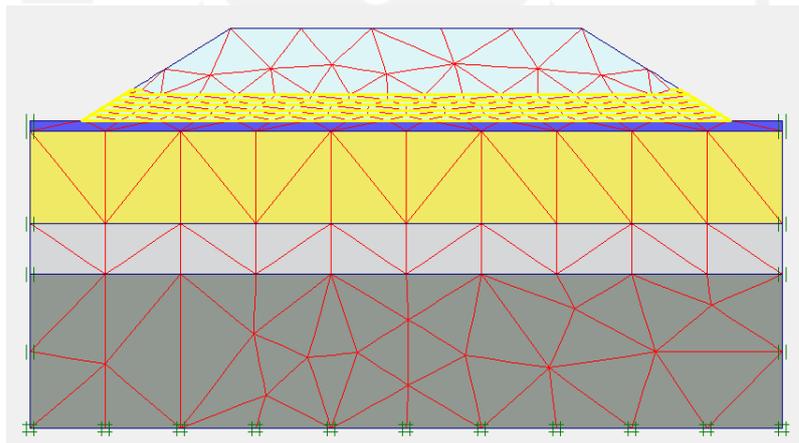
Gambar L-14. 13 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



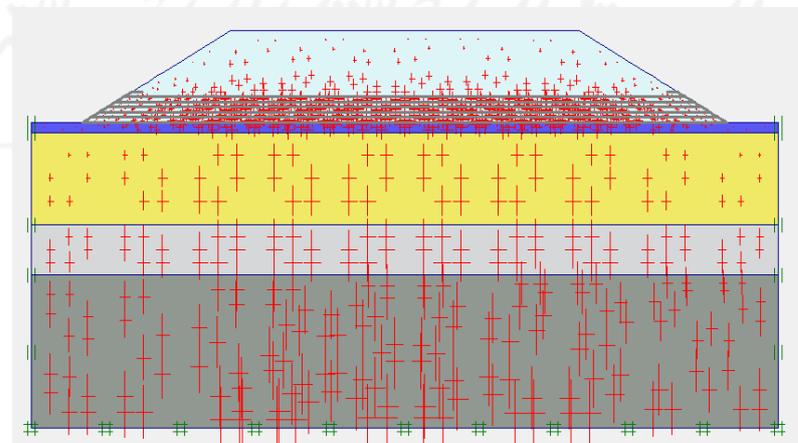
Gambar L-14. 14 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



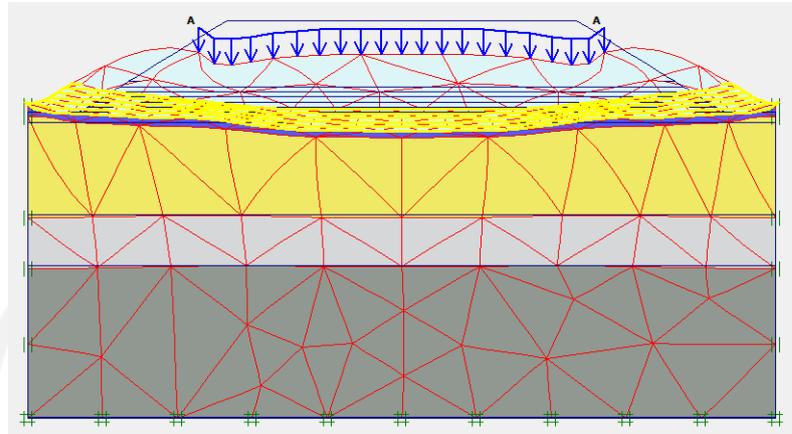
Gambar L-14. 15 Permodelan Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi



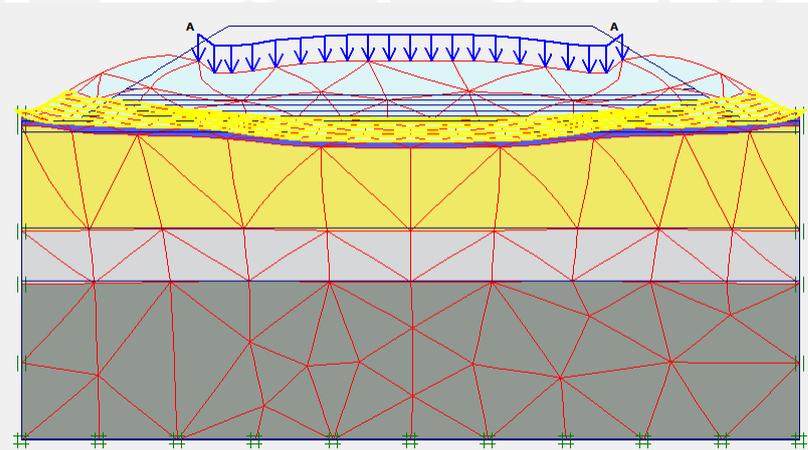
Gambar L-14. 16 Meshing Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi



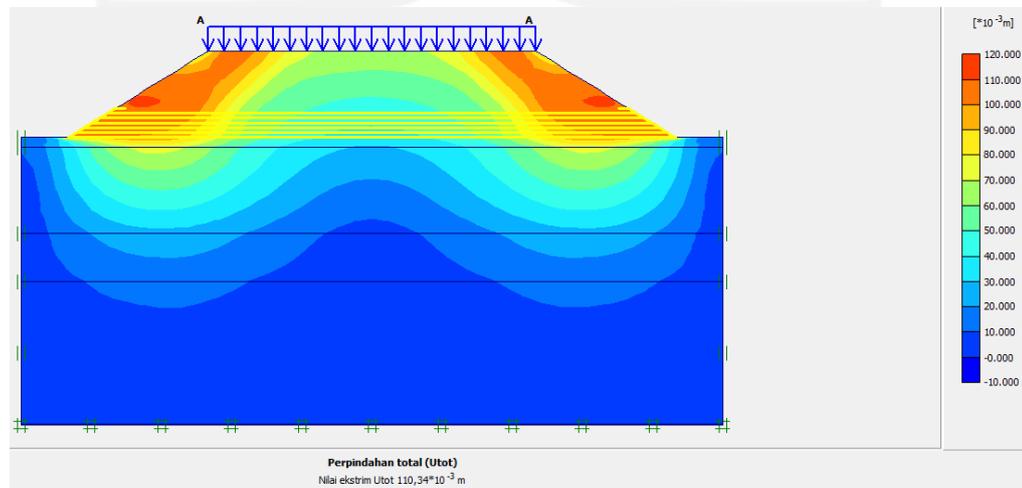
Gambar L-14. 17 Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi



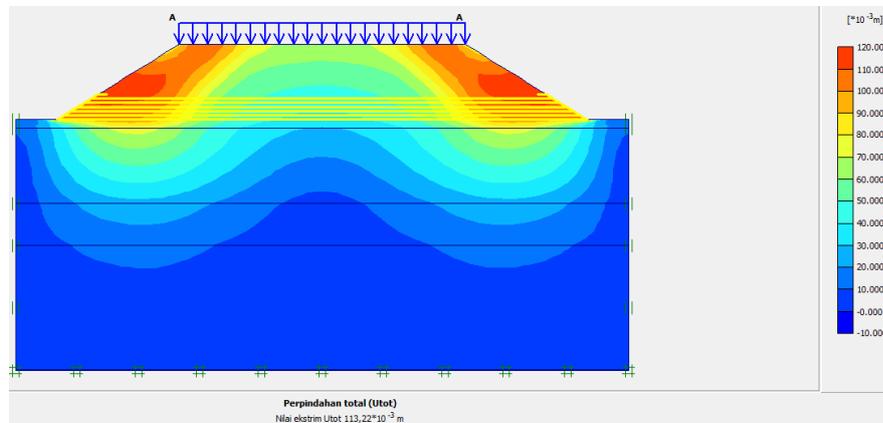
Gambar L-14. 18 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



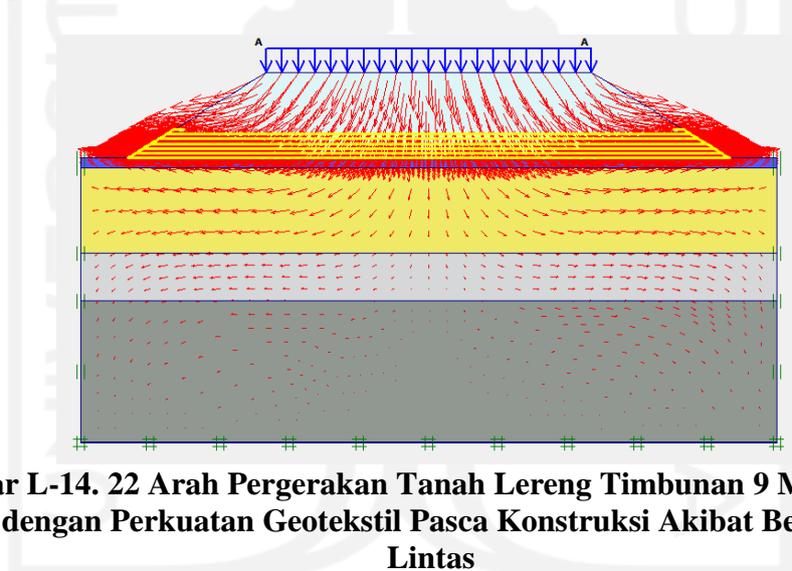
Gambar L-14. 19 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



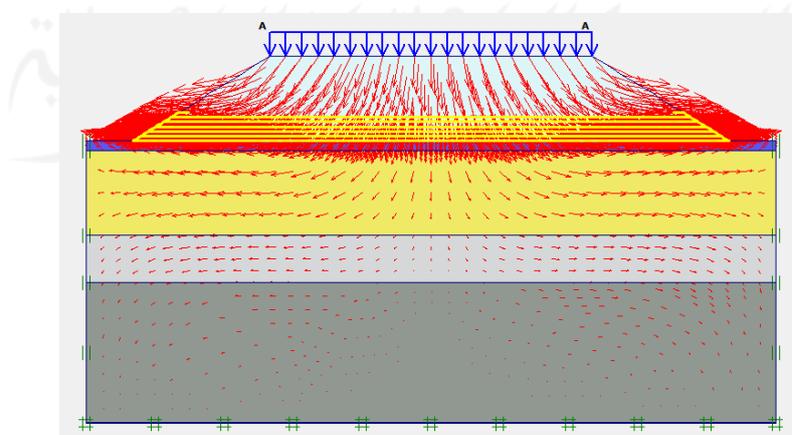
Gambar L-14. 20 Total Displacement Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



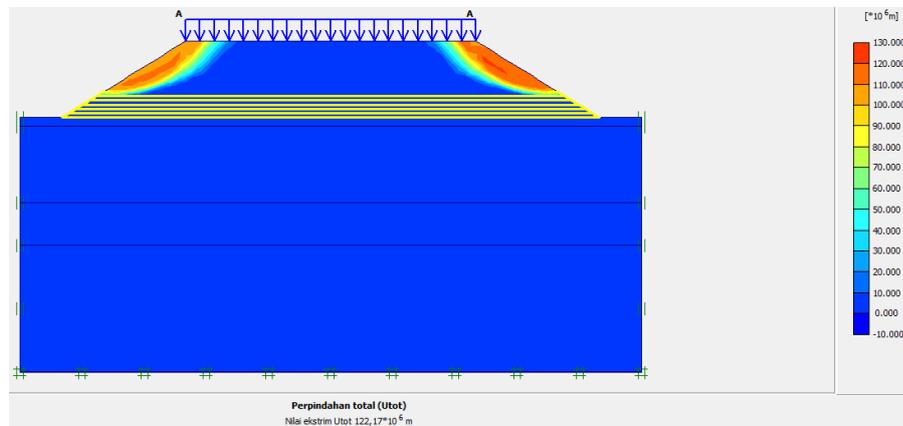
Gambar L-14. 21 Total Displacement Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



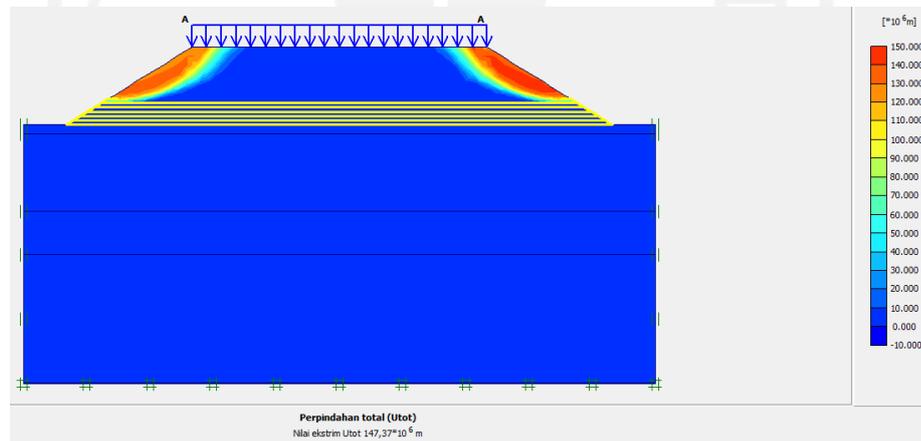
Gambar L-14. 22 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



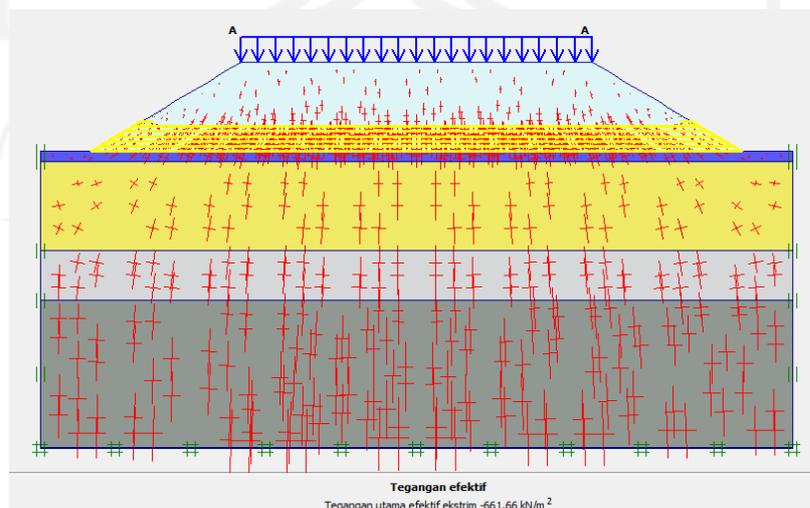
Gambar L-14. 23 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



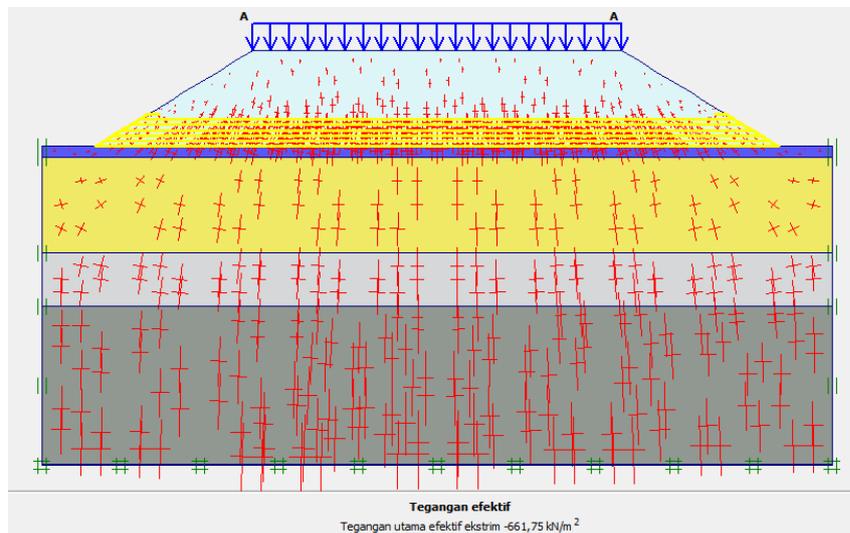
Gambar L-14. 24 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



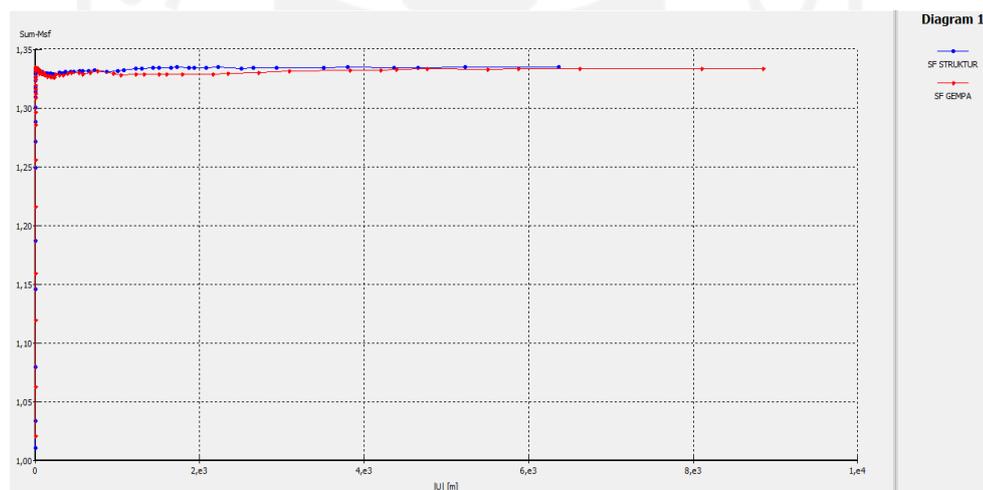
Gambar L-14. 25 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



Gambar L-14. 26 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

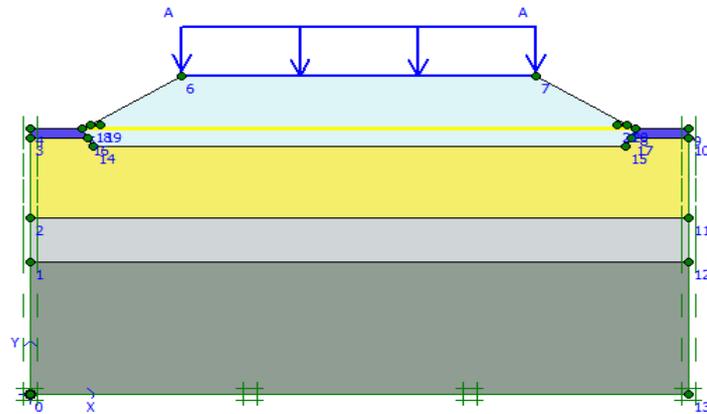


Gambar L-14. 27 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa

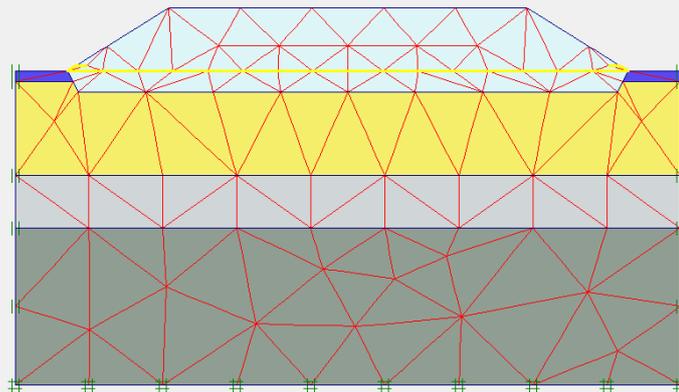


Gambar L-14. 28 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi

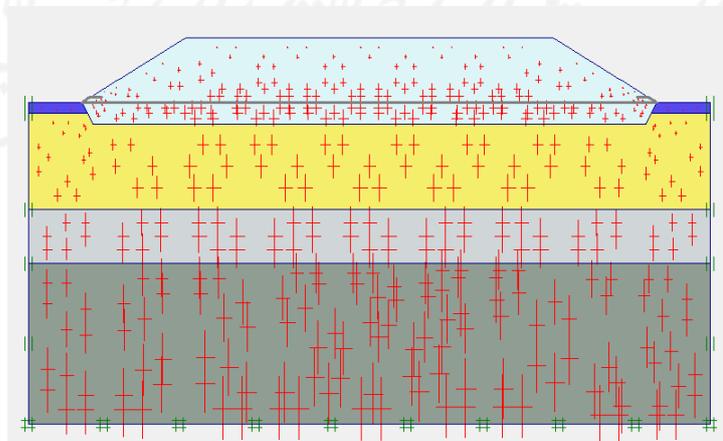
Lampiran 15 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil



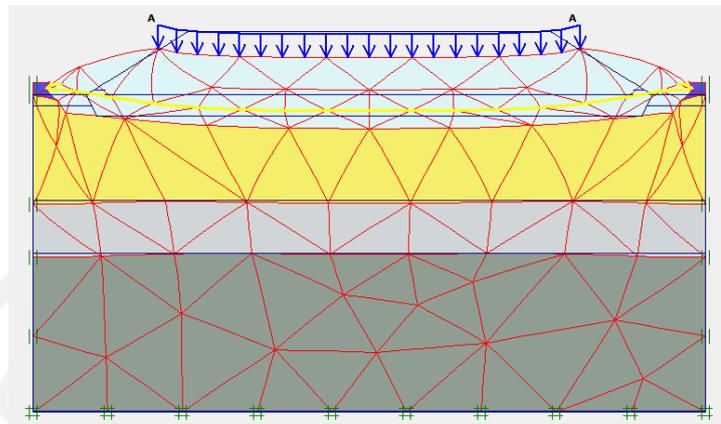
Gambar L-15. 1 Permodelan Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



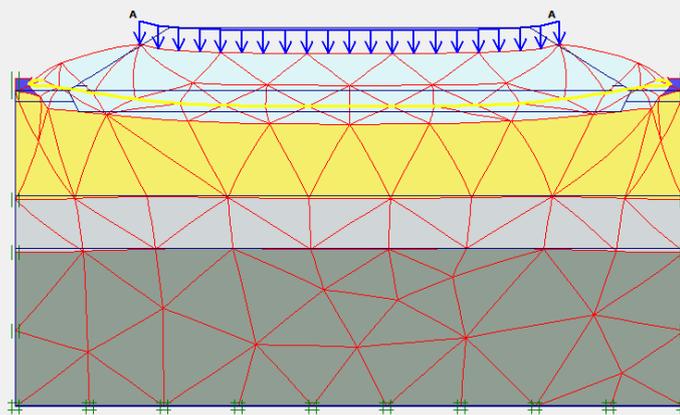
Gambar L-15. 2 Meshing Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



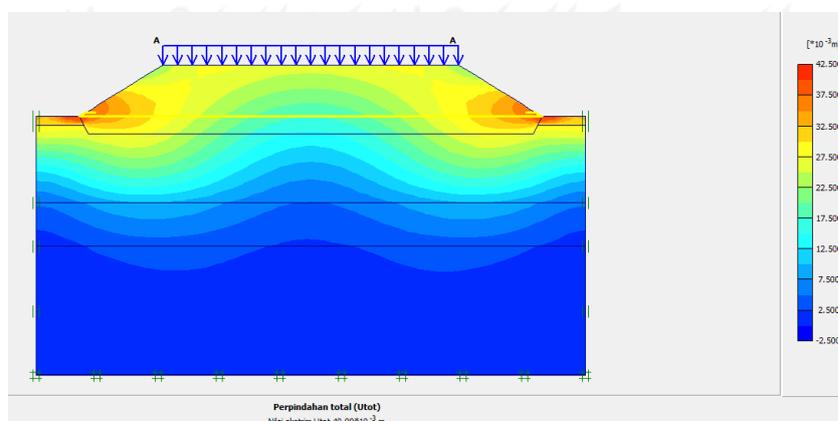
Gambar L-15. 3 Initial Soil Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



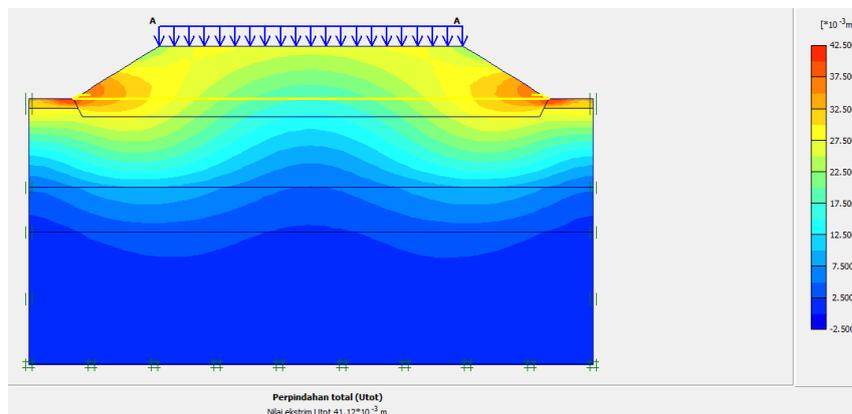
Gambar L-15. 4 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



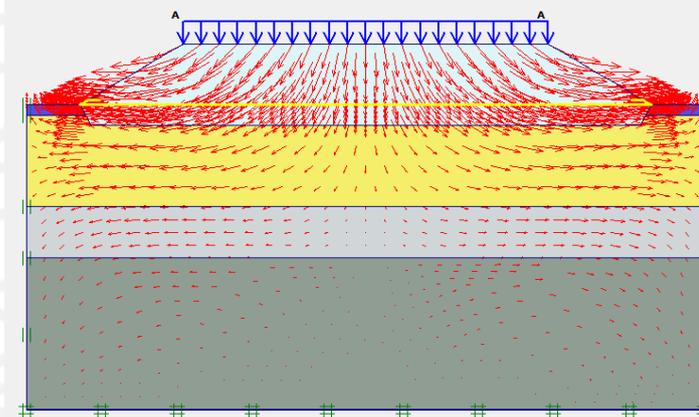
Gambar L-15. 5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



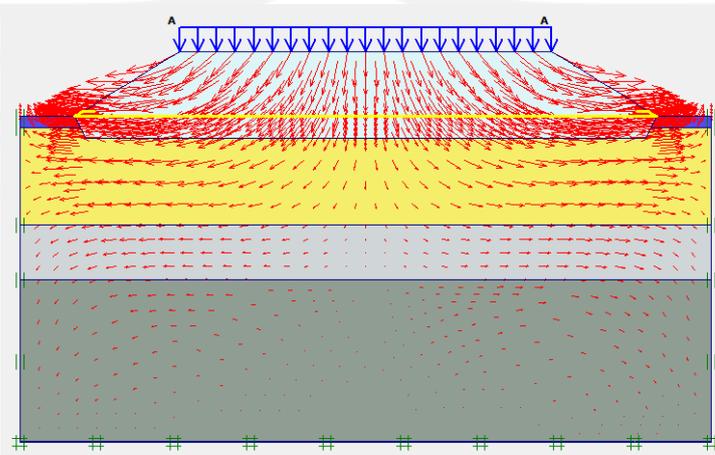
Gambar L-15. 6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



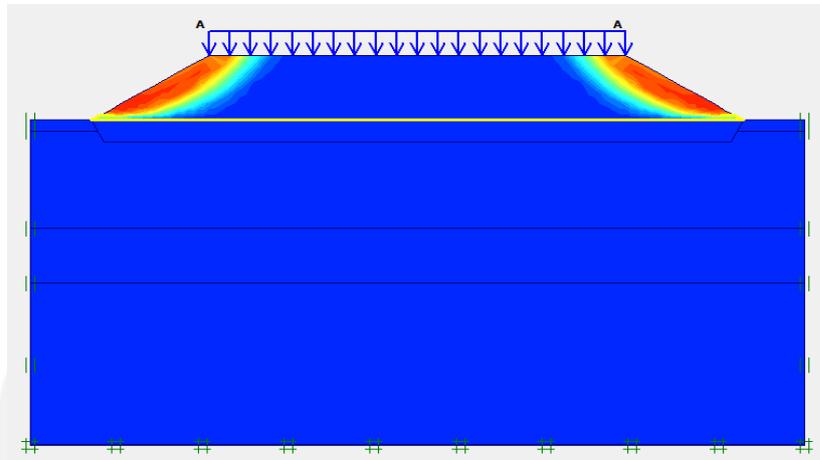
Gambar L-15. 7 Total Displacement Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



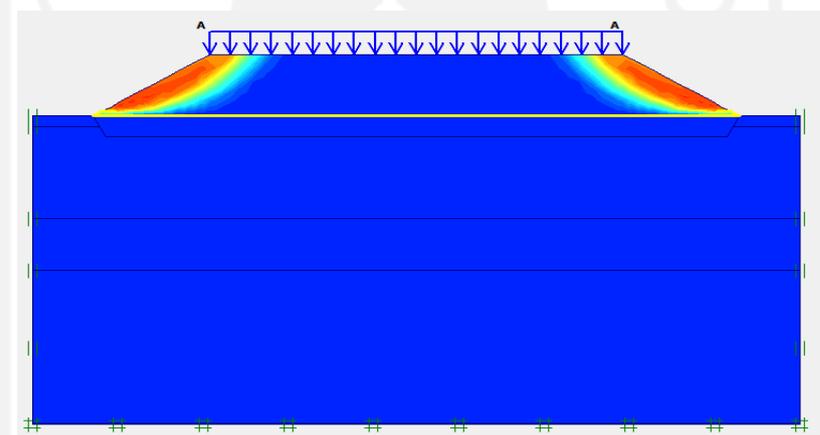
Gambar L-15. 8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



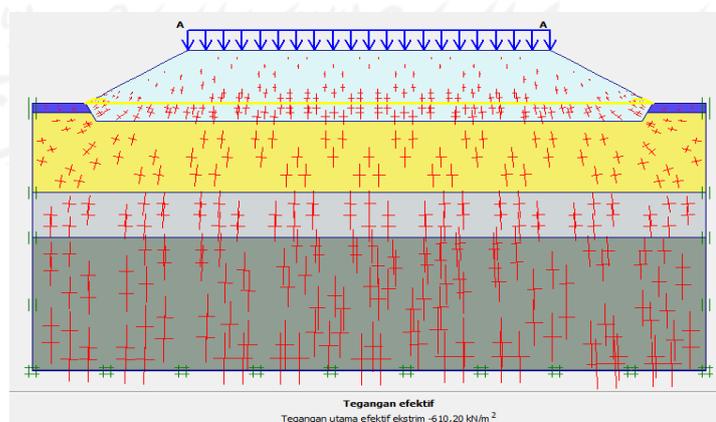
Gambar L-15. 9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



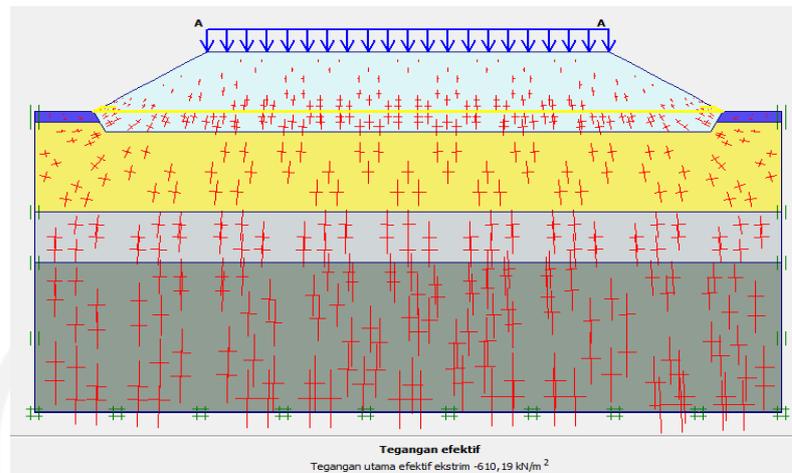
Gambar L-15. 10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



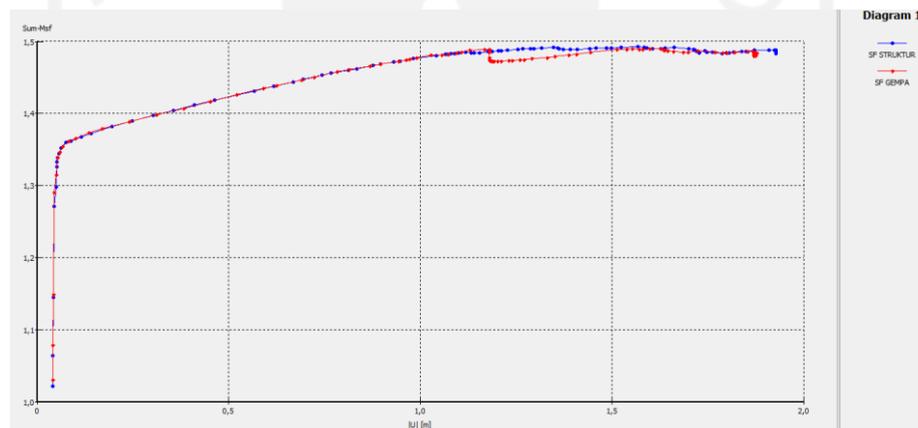
Gambar L-15. 11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



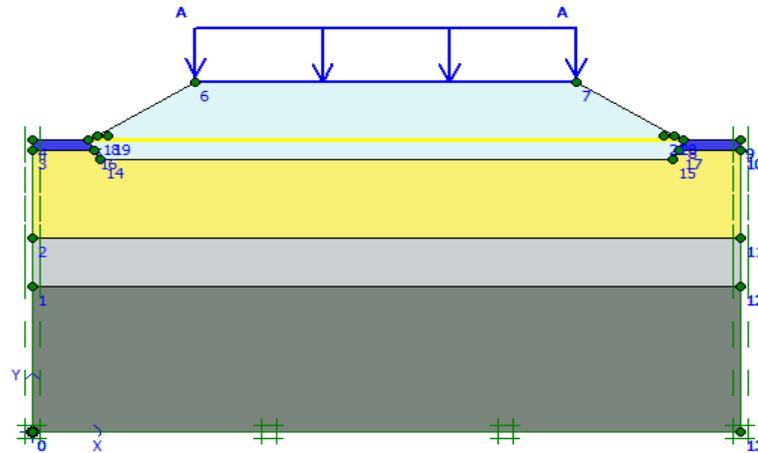
Gambar L-15. 12 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



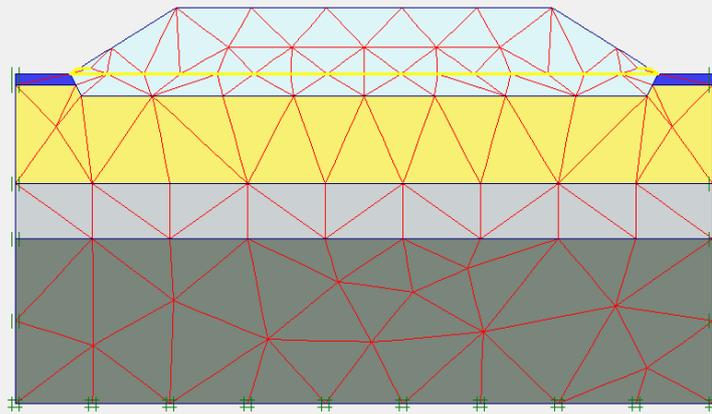
Gambar L-15. 13 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



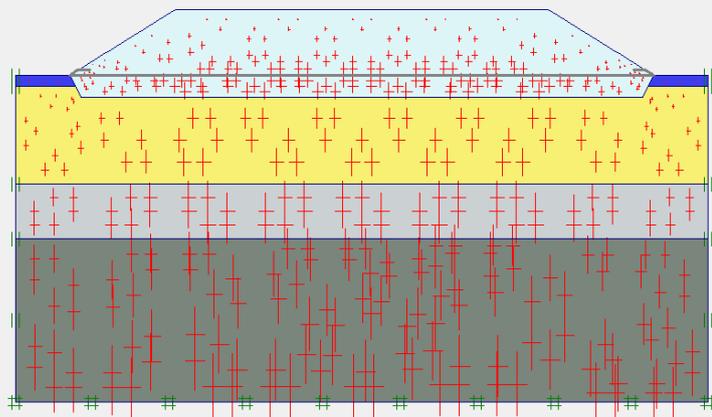
Gambar L-15. 14 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



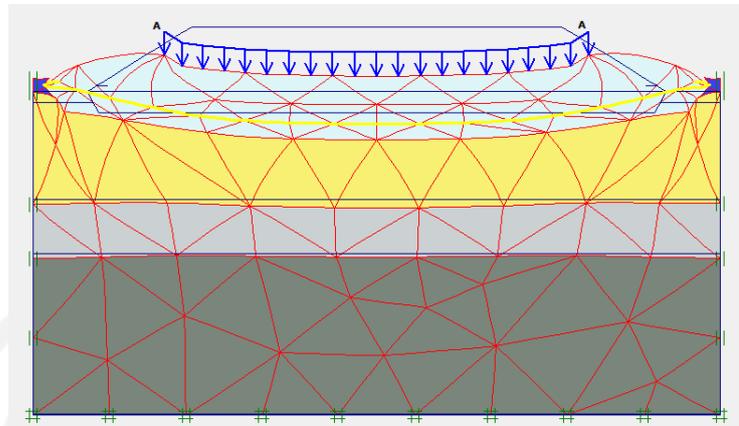
Gambar L-15. 15 Permodelan Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi



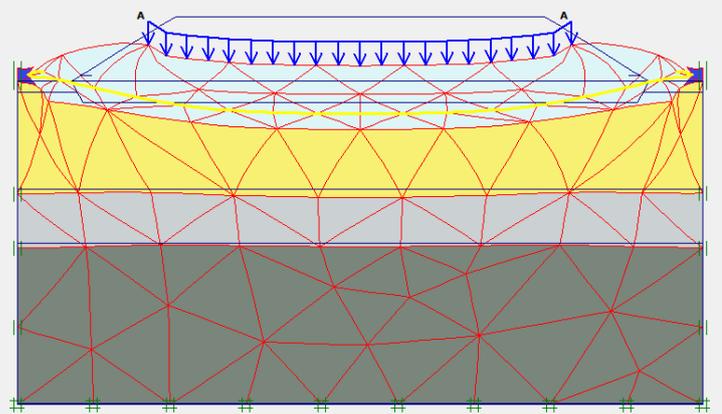
Gambar L-15. 16 *Meshing* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi



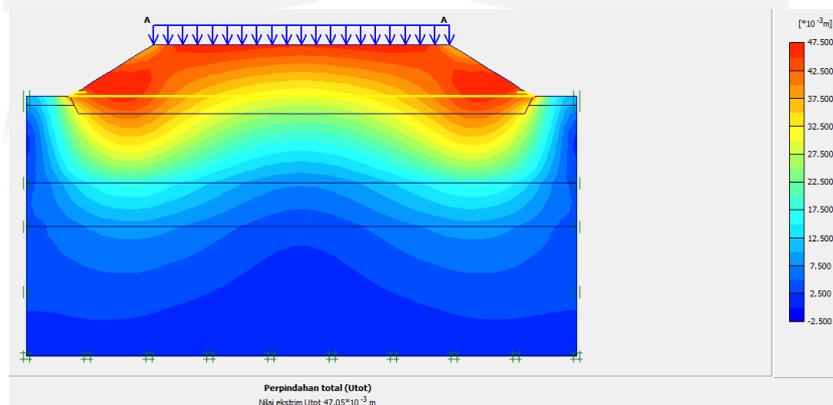
Gambar L-15. 17 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi



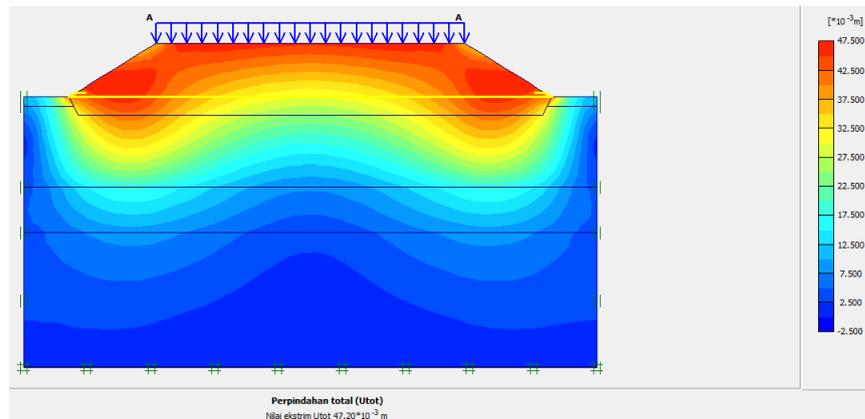
Gambar L-15. 18 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



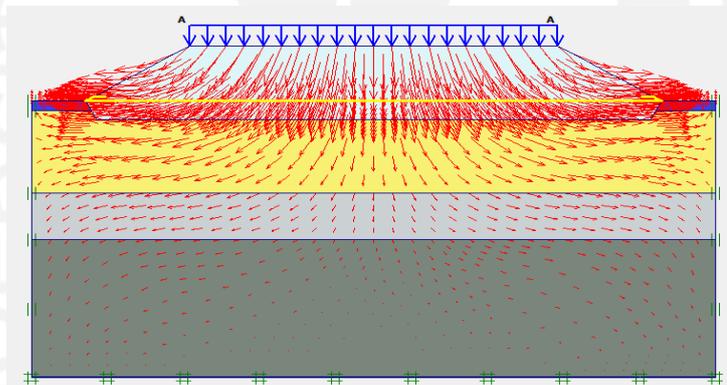
Gambar L-15. 19 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



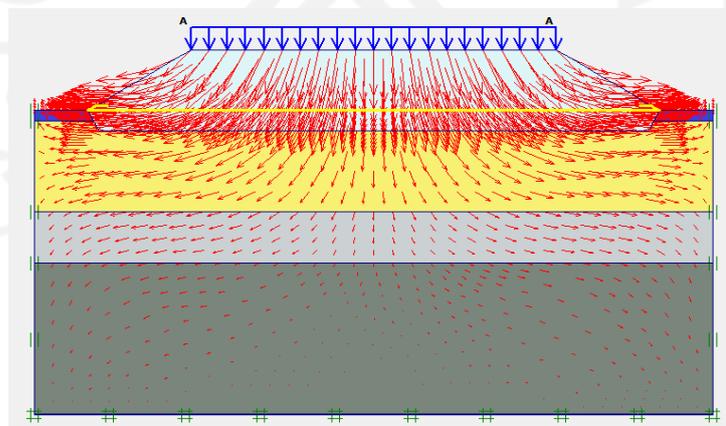
Gambar L-15. 20 Total Displacement Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



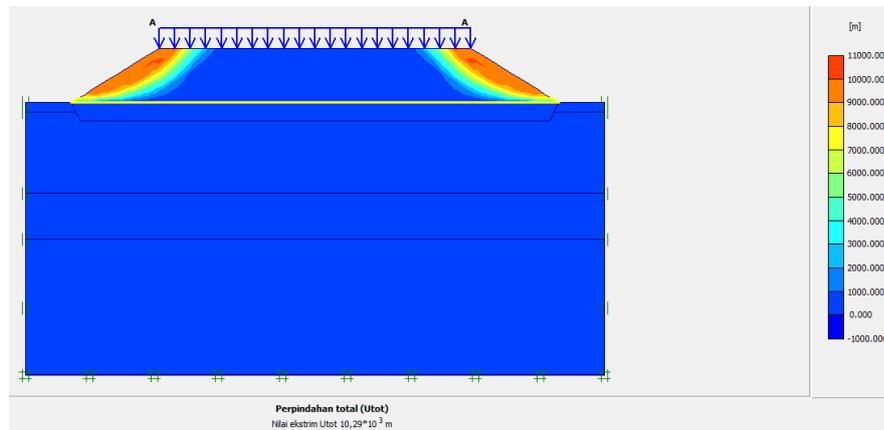
Gambar L-15. 21 Total Displacement Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



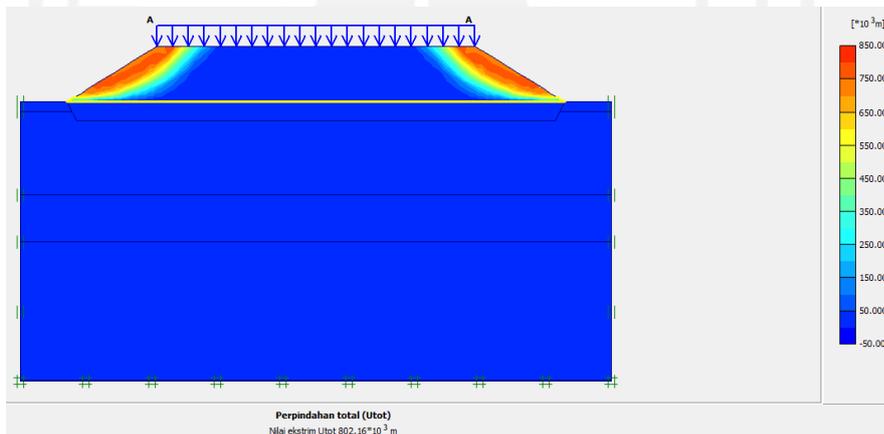
Gambar L-15. 22 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



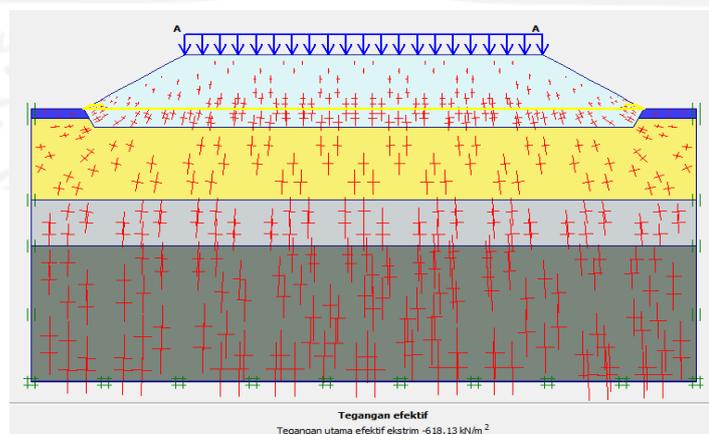
Gambar L-15. 23 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



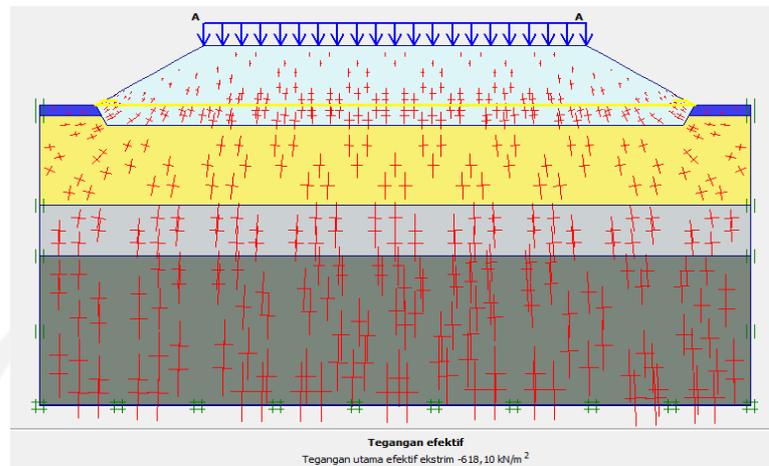
Gambar L-15. 24 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



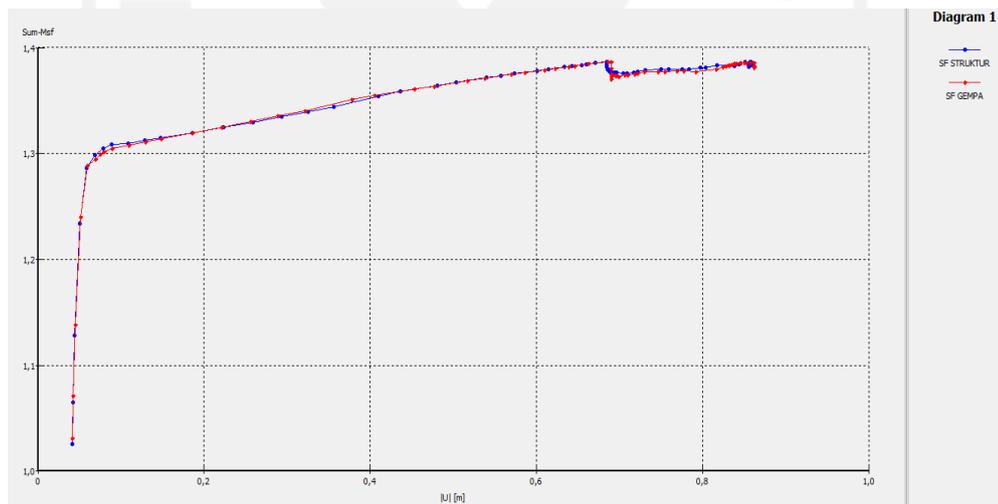
Gambar L-15. 25 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



Gambar L-15. 26 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

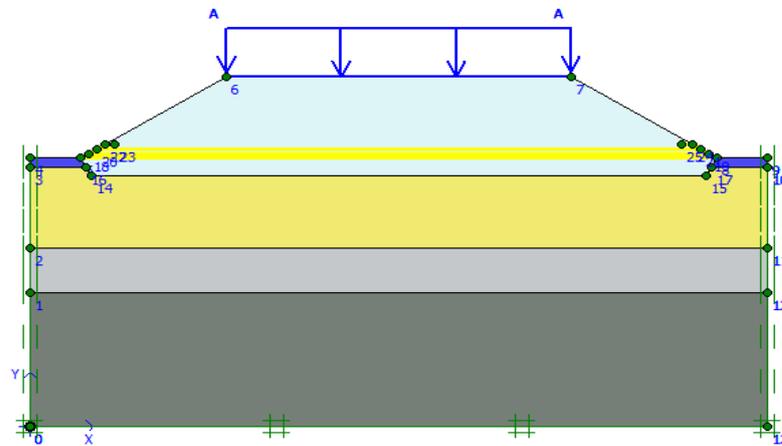


Gambar L-15. 27 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa

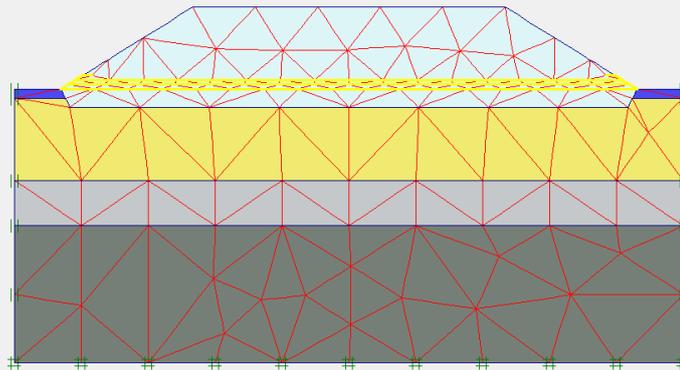


Gambar L-15. 28 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 6 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi

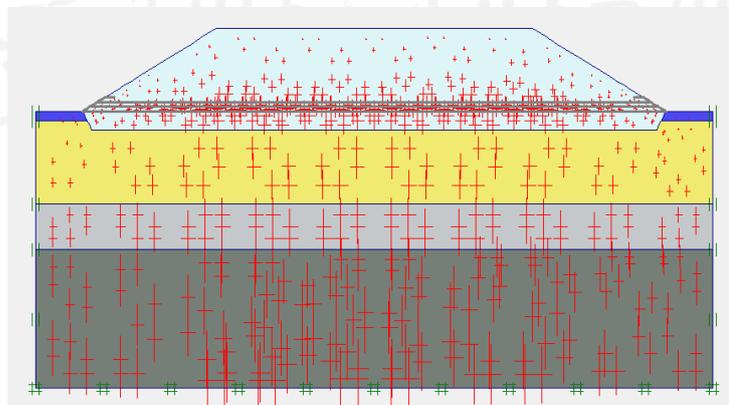
Lampiran 16 Hasil Analisis *Plaxis* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil



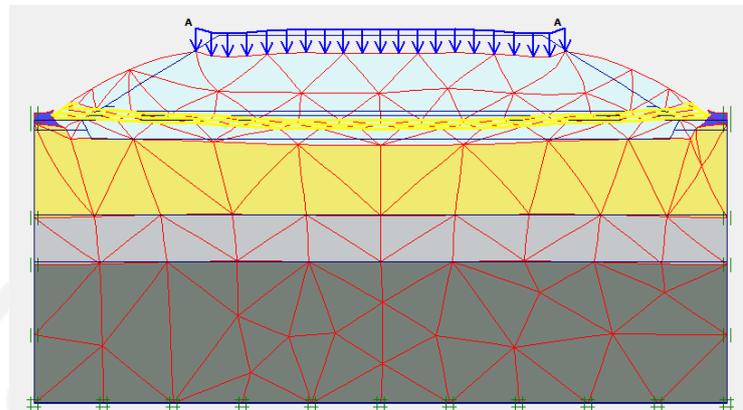
Gambar L-16. 1 Permodelan Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



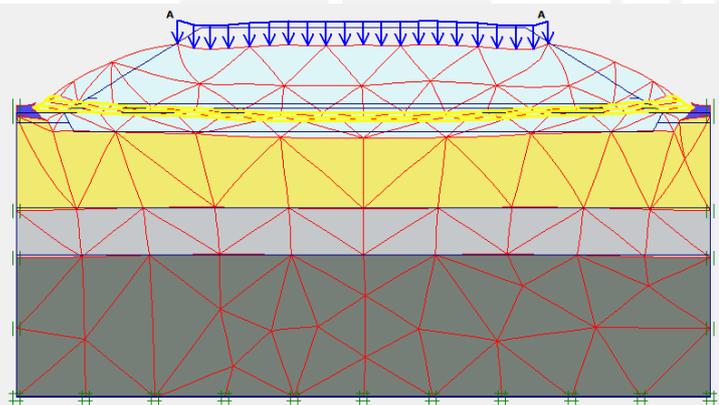
Gambar L-16. 2 *Meshing* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



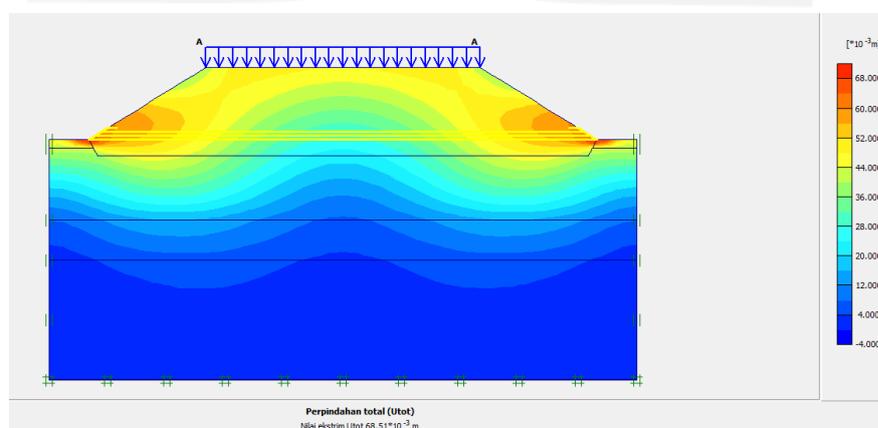
Gambar L-16. 3 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



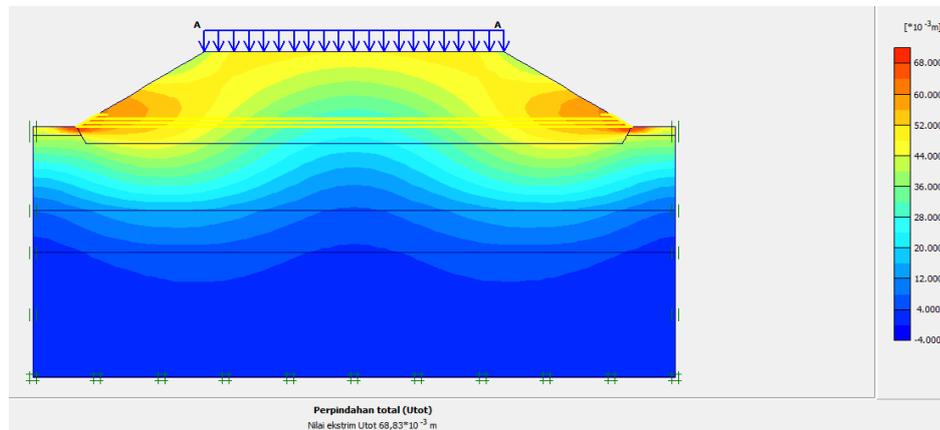
Gambar L-16. 4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



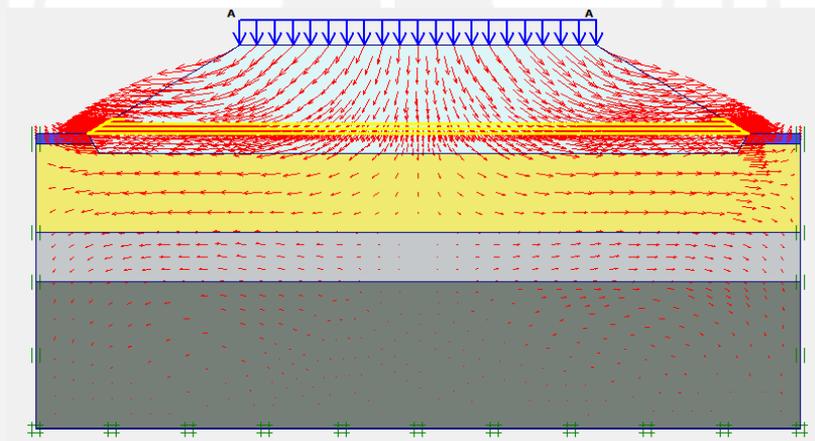
Gambar L-16. 5 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



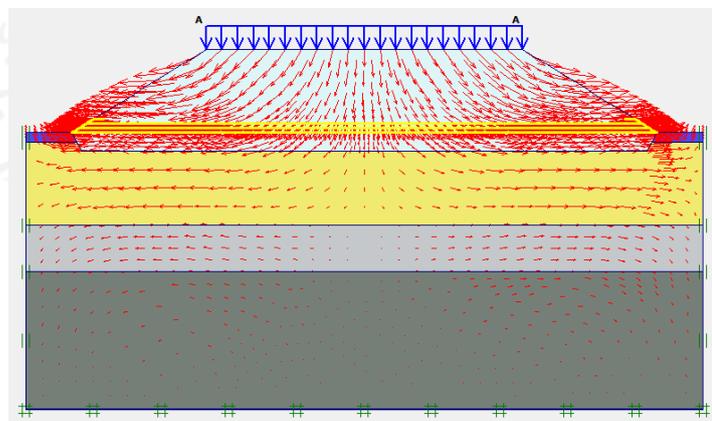
Gambar L-16. 6 Total Displacement Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



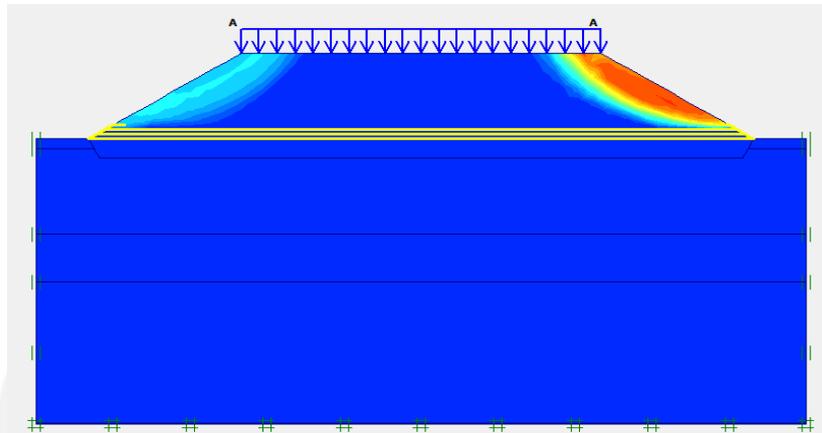
Gambar L-16. 7 Total Displacement Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



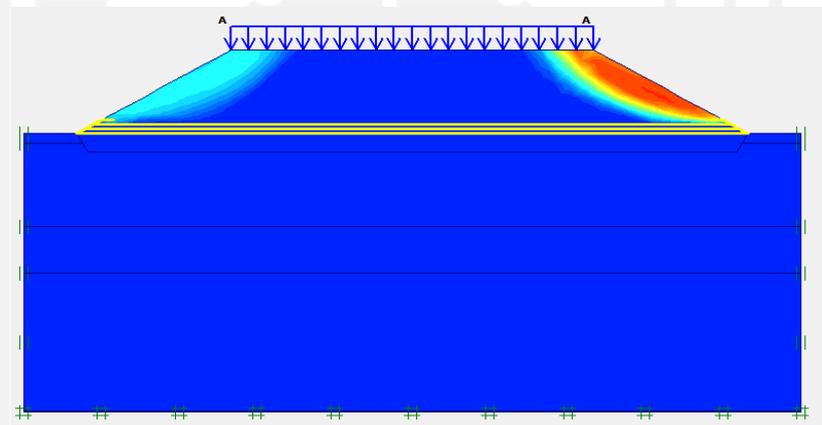
Gambar L-16. 8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



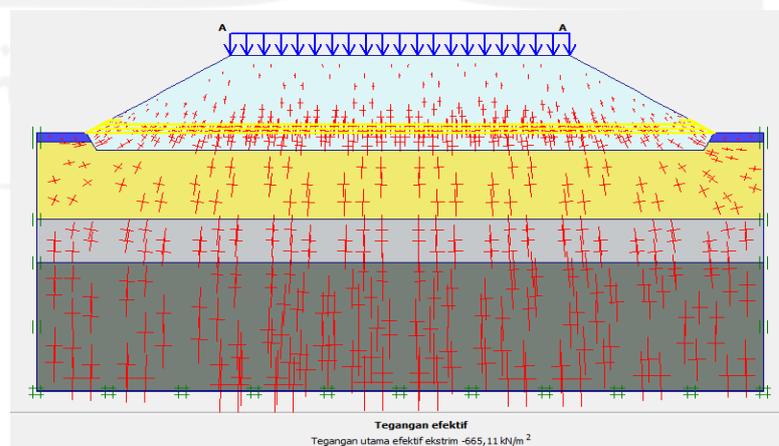
Gambar L-16. 9 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



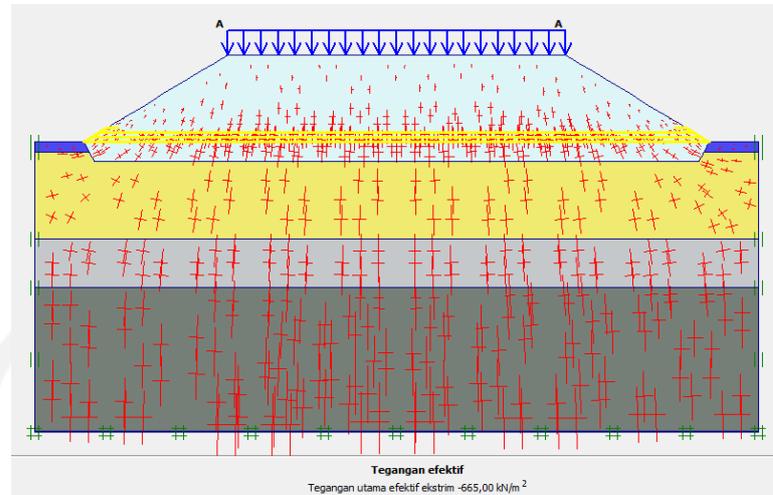
Gambar L-16. 10 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



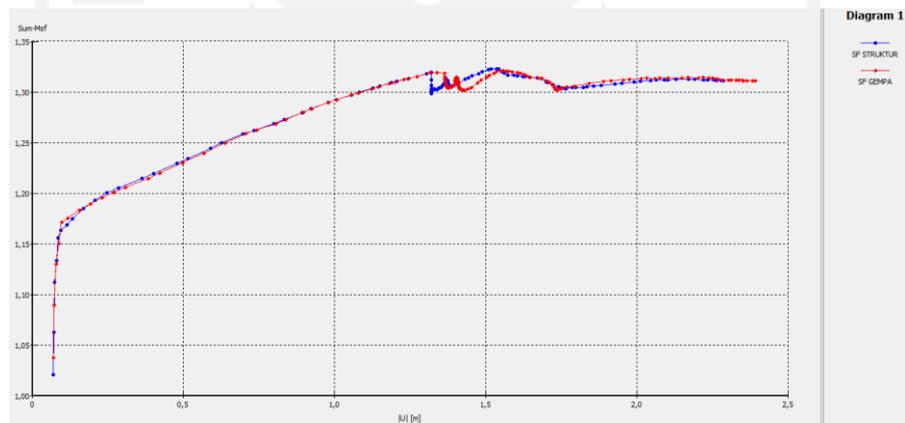
Gambar L-16. 11 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



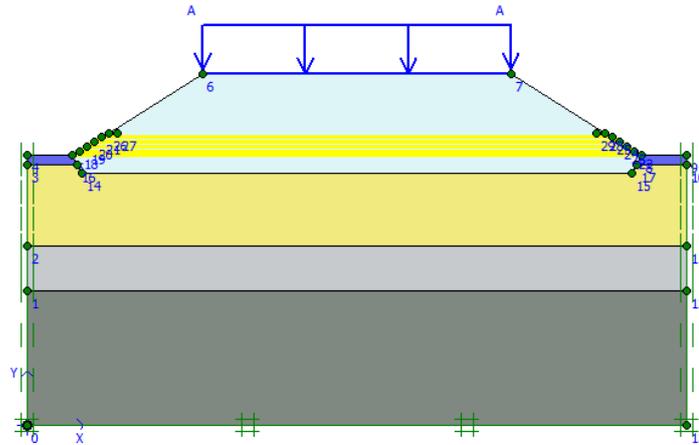
Gambar L-16. 12 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



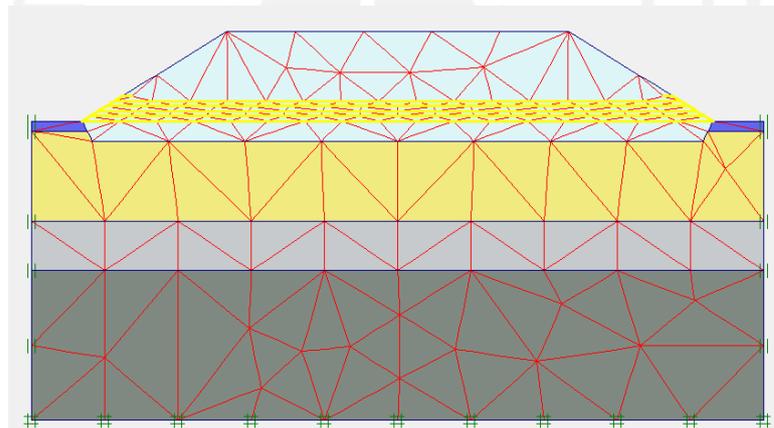
Gambar L-16. 13 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Gempa



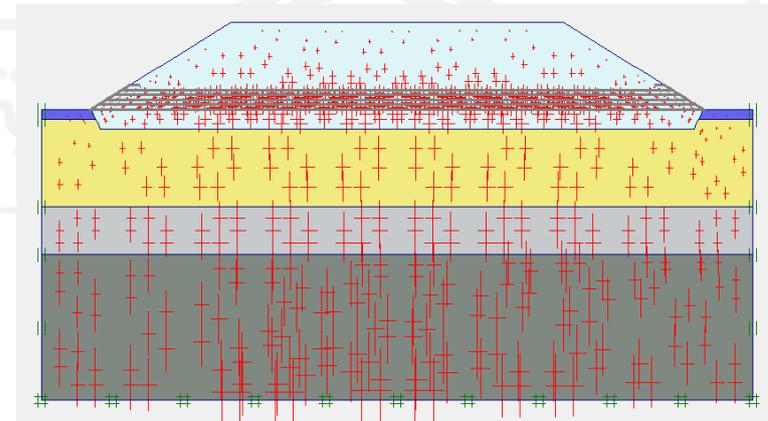
Gambar L-16. 14 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



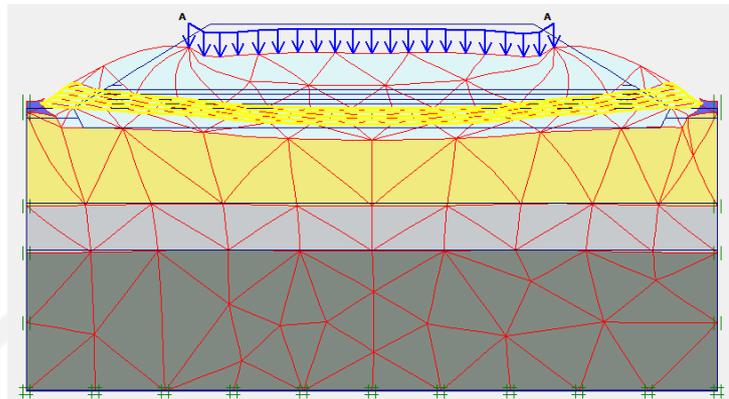
Gambar L-16. 15 Permodelan Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi



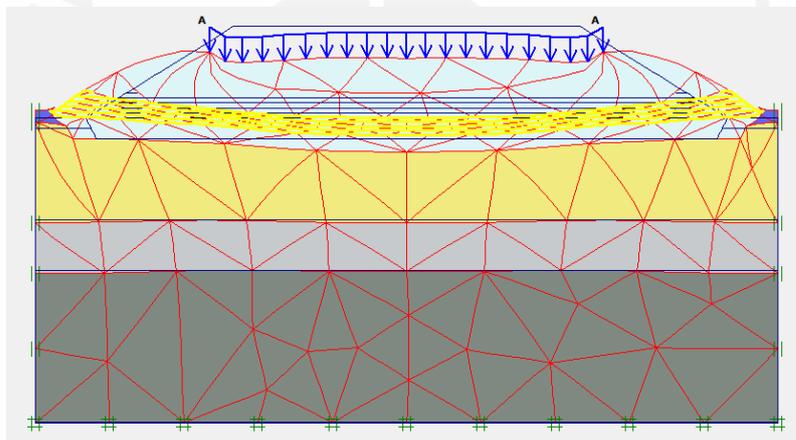
Gambar L-16. 16 *Meshing* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi



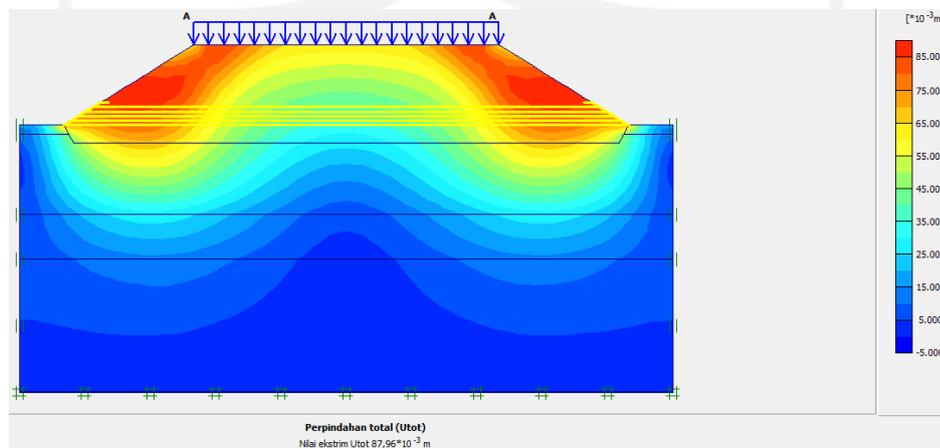
Gambar L-16. 17 *Initial Soil Stresses* Lereng Timbunan 9 Meter Tanah *Replacement* dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi



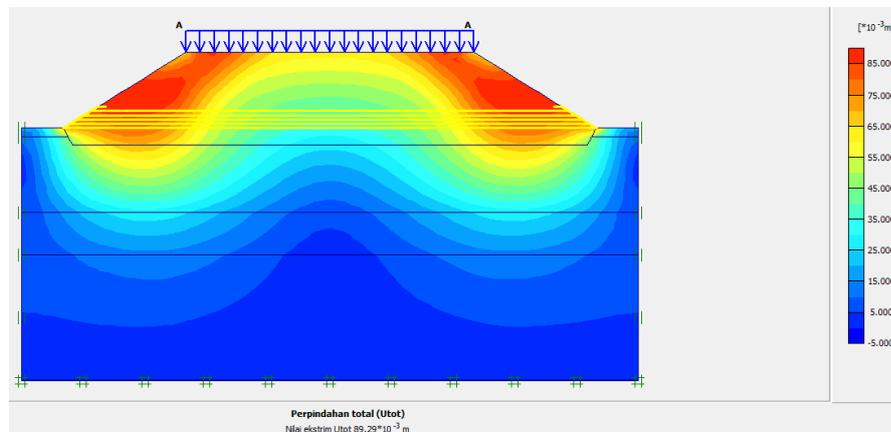
Gambar L-16. 18 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



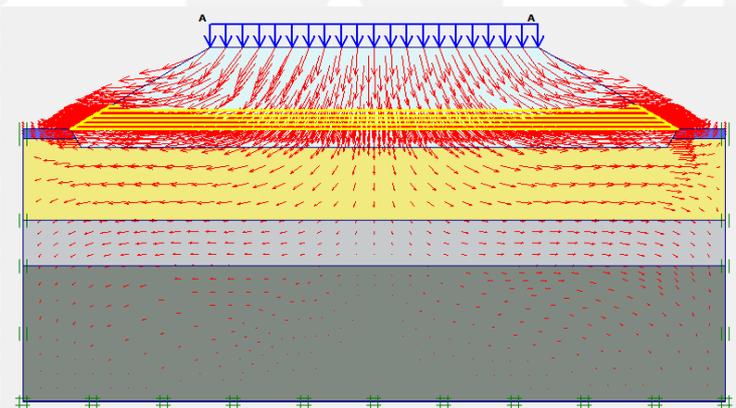
Gambar L-16. 19 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



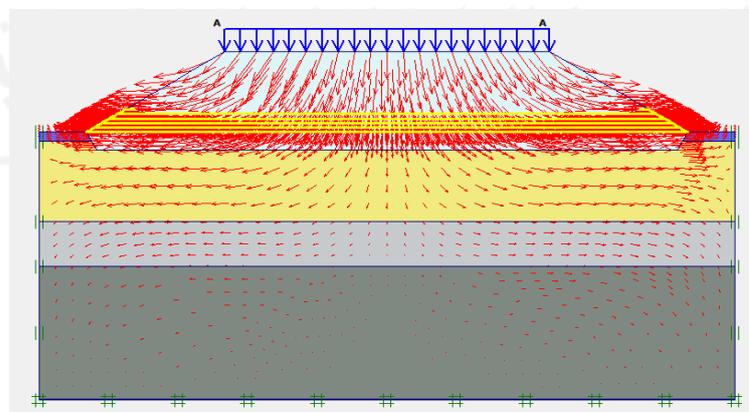
Gambar L-16. 20 Total Displacement Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



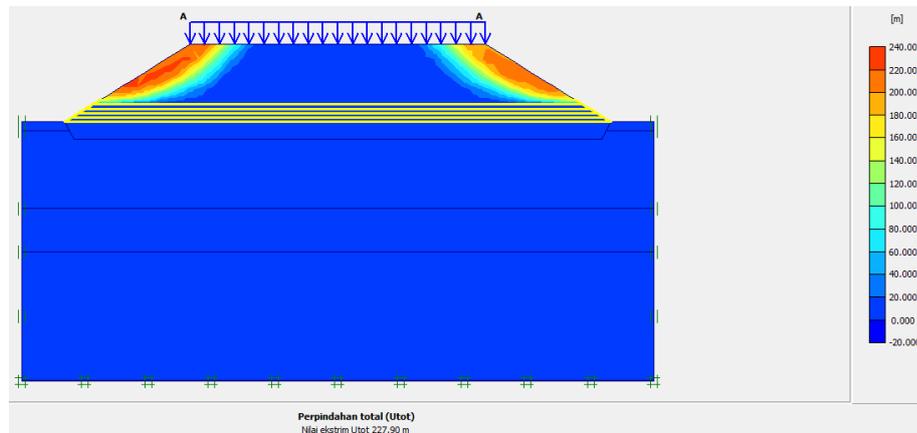
Gambar L-16. 21 Total Displacement Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



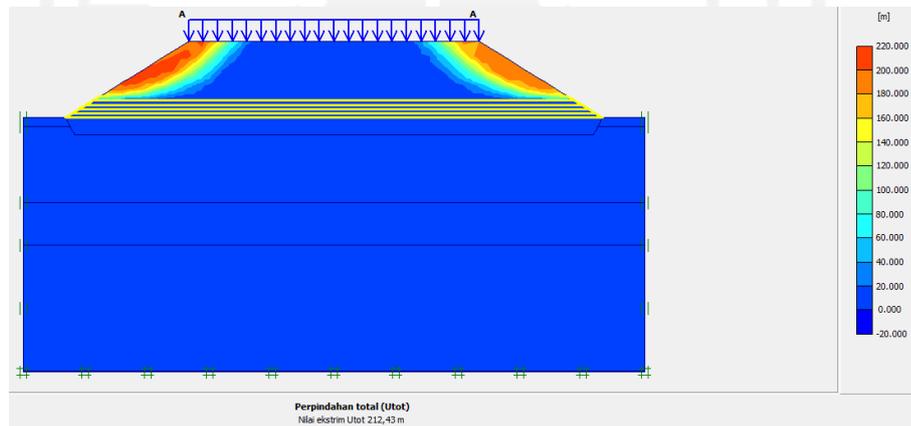
Gambar L-16. 22 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



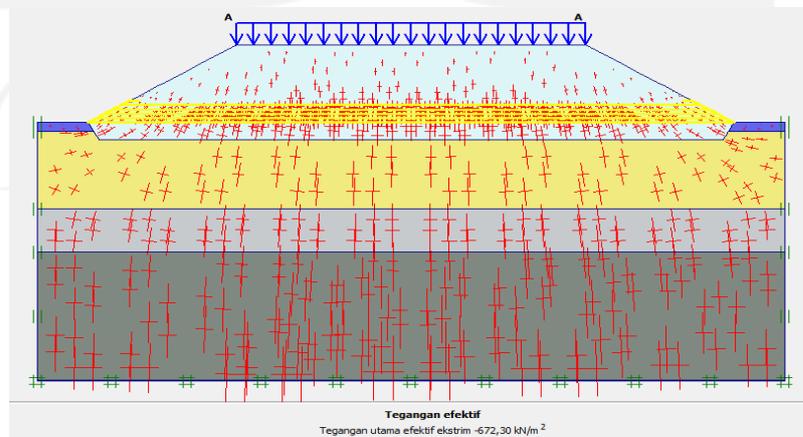
Gambar L-16. 23 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



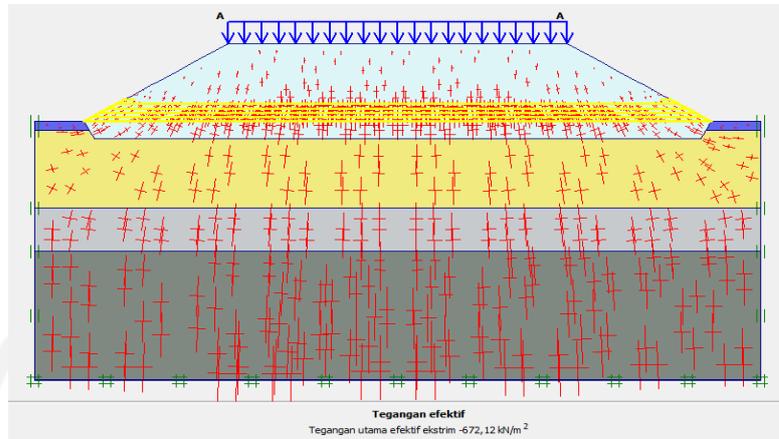
Gambar L-16. 24 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



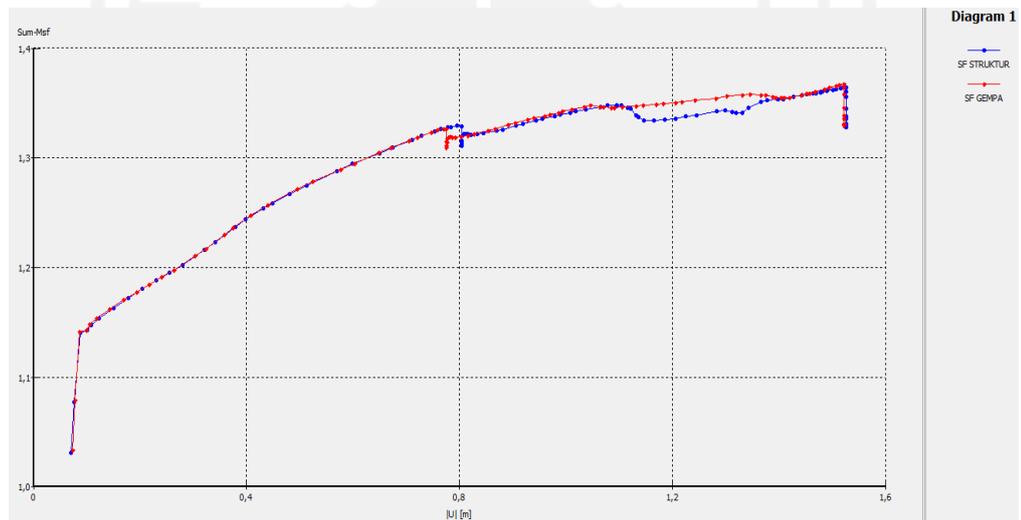
Gambar L-16. 25 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



Gambar L-16. 26 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



Gambar L-16. 27 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Gempa



Gambar L-16. 28 Kurva Perbandingan SF Lereng Timbunan 9 Meter Tanah Replacement dengan Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi