

TUGAS AKHIR

**ANALISIS STABILITAS LERENG TIMBUNAN
JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL DAN
MATRAS BAMBU PADA JALAN TOL CIBITUNG-
CILINCING STA 3+550**

***(SLOPE STABILITY ANALYSIS OF ROAD
EMBANKMENT WITH GEOTEXTILE
REINFORCEMENT AND BAMBOO MATTRESS ON
CIBITUNG-CILINCING TOLL ROAD STA 3+550)***

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



**MUHAMMAD FARUQ ALFIANSYAH
19511103**

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

2024

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG TIMBUNAN JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL DAN MATRAS BAMBU PADA JALAN TOL CIBITUNG- CILINCING STA 3+550 (*SLOPE STABILITY ANALYSIS OF ROAD EMBANKMENT WITH GEOTEXTILE REINFORCEMENT AND BAMBOO MATTRESS ON CIBITUNG-CILINCING TOLL ROAD STA 3+550*)

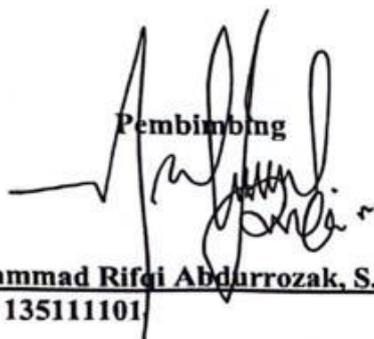
Disusun oleh

MUHAMMAD FARUQ ALFIANSYAH
19511103

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat sarjana Teknik Sipil

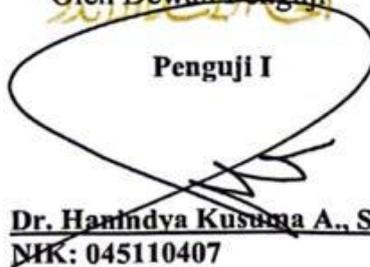
Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



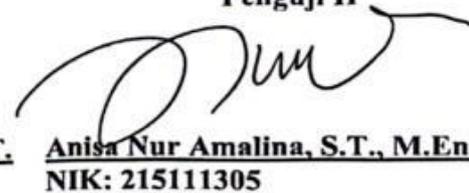
Muhammad Rifei Abdurrozak, S.T., M.Eng.
NIK: 135111101

Penguji I



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

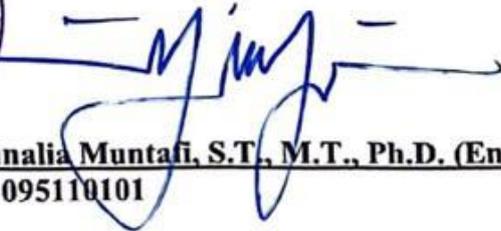
Penguji II



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



Mengesahkan
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Yunalia Muntali, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 04 Maret 2024

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Faruq Alfiansyah

(19511103)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil dan Perkuatan Matras Bambu pada Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta 3+550”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

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

1. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberi bimbingan, nasihat, saran, kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini
2. Ibu Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku Dosen penguji 1 dalam sidang Tugas Akhir yang memberikan saran, masukan, dan kritik untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku Dosen penguji 2 dalam sidang Tugas Akhir yang memberikan saran, masukan, dan kritik untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM selaku ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
6. Ayahanda saya tercinta Ir. Fadli Abbas SE, ST, MM, dan Ibunda saya tercinta Sitti Susiawati, S.Pt, serta adik saya tercinta Fasya Dwi Apriantisyah yang selama ini telah banyak memberikan motivasi dan doa serta berkorban begitu banyak baik materil maupun spritual sehingga terselesainya tugas akhir ini

7. Putri Amaliah Fauzi yang selalu memberi bantuan, semangat, kasih sayang, dan menjadi tempat keluh kesah hingga Tugas Akhir ini selesai.
8. Seluruh teman teman Teknik sipil Angkatan 2019 yang terlibat dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
9. Muhammad Fadhil Rabhani Al'Ashar dan Laode Muhammad Hajat yang selalu membantu, dan menjadi tempat bertukar pikiran.

Akhir kata Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 04 Maret 2024

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Faruq Alfiansyah

(19511103)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xix
ABSTRAK	xxii
<i>ABSTRACT</i>	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
1.6 Studi Kasus	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Umum	7
2.2 Analisis Stabilitas Lereng	7
2.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil	8
2.4 Pengaruh Gempa terhadap stabilitas lereng	10
2.5 Pengaruh Matras Bambu Terhadap Stabilitas lereng	12
2.6 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Geotekstil	14
2.7 Perbandingan Penelitian Terdahulu	16
2.8 Perbandingan Penelitian Terdahulu	17
BAB III LANDASAN TEORI	23
3.1 Tanah	23
3.1.1 Klasifikasi Tanah	23
3.2 Parameter Fisik Tanah dan Batuan	26
3.2.1 Berat Volume Tanah	26
3.2.2 Kuat Geser Tanah	28
3.2.3 Modulus Elastisitas Tanah (E)	29
3.2.4 Koefesien Permeabilitas (k)	30
3.2.5 Sudut Dilatansi (ψ)	31
3.2.6 Poisson Ratio (μ)	31
3.3 Lereng	32
3.3.1 Kegagalan Lereng	32

3.3.2	Longsor	33
3.3.3	Pengaruh Kelongsoran	35
3.3.4	Jenis Longsor	37
3.4	Analisis Stabilisa Lereng	39
3.4.1	Teori Analisis Stabilitas Lereng	40
3.4.2	Konsolidasi	42
3.4.3	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Konsolidasi	42
3.4.4	Faktor Aman (<i>Safety factor</i>)	43
3.5	Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil	45
3.5.1	Perkuatan Tanah	45
3.5.2	Geotekstil	46
3.5.3	Prinsip Kerja Geotekstil	49
3.5.4	Perkuatan Menggunakan Geotekstil	50
3.6	Bambu	54
3.6.1	Keunggulan Bambu	54
3.6.2	Sifat Mekanika Bambu	55
3.7	Gempa	56
3.8	Beban Lalu – lintas	56
3.9	Program <i>PLAXIS</i>	57
BAB IV METODE PENELITIAN		60
4.1	Tinjauan Umum	60
4.2	Data Penelitian	60
4.3	Lokasi Penelitian	60
4.4	Tahapan Penelitian	61
4.5	Analisis Data	61
4.5.1	Data Potongan Melintang Jalan	62
4.5.2	Parameter Tanah	62
4.5.3	Data Geotekstil	63
4.5.4	Data Parameter Bambu	64
4.5.5	Data Beban	64
4.5.5.1	Beban Perkerasan dan Lalu Lintas	64
4.5.5.2	Beban Gempa	65
4.6	Variasi Permodelan	66
4.7	Analisis Data dengan Software <i>Plaxis</i>	66
4.7.1	Plaxis Input	66
4.7.2	<i>Plaxis</i> Calculation	70
4.7.3	Plaxis Output	71
4.8	Bagan Alir Penelitian	71
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		73
5.1	Gambaran Umum Analisis	73
5.1.1	Data Analisis Program <i>PLAXIS V22</i>	73
5.2	Lereng Tanpa Perkuatan	76
5.2.1	Akibat Beban Timbunan (Akibat Beban Sendiri)	76

5.2.2 Analisis masa konstruksi dan pasca konstruksi	79
5.3 Perkuatan Geotekstil	88
5.3.1 Data Geotekstil	88
5.3.2 Stabilitas Eksternal	90
5.3.3 Stabilitas Internal	94
5.3.4 Cek Gaya Tarik Tanah Geotekstil	96
5.4 Perkuatan Matras Bambu	97
5.4.1 Data Matras Bambu	97
5.5 Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil 1 Lapis	98
5.6 Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	106
5.7 Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Matras Bambu	115
5.8 Pembahasan	124
5.8.1 Hasil Analisis Lereng Tanpa Perkuatan	124
5.8.2 Hasil Analisis Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil	126
5.8.3 Hasil Analisis Lereng Dengan Perkuatan Matras Bambu	127
5.8.4 Perbandingan Stabilitas Lereng dengan Variasi Tinggi Timbunan	127
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	132
6.1 Kesimpulan	132
6.2 Saran	135
DAFTAR PUSTAKA	136
LAMPIRAN	138

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu	17
Tabel 3.1. Sistem klasifikasi tanah USCS	25
Tabel 3.2. Sistem klasifikasi tanah USCS	26
Tabel 3.3. Modulus elastisitas tanah menurut Bowles (1997)	30
Tabel 3.4. Modulus elastisitas tanah menurut Das (2010)	30
Tabel 3.5. Modulus elastisitas tanah	31
Tabel 3.6. Nilai atau rentang nilai <i>poisson ratio</i>	31
Tabel 3.7. Nilai <i>poisson ratio</i>	32
Tabel 3.8. Sistem Klasifikasi Pergerakan Lereng	32
Tabel 3.9. Klasifikasi Longsor Broms (1997)	34
Tabel 3.10. Angka aman menurut SNI 8460:2017	44
Tabel 3.11. Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng	45
Tabel 3.12. Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor	45
Tabel 3.13. Nilai <i>Interface</i> Tanah Kohesif dengan Geotekstil	49
Tabel 3.14. Kuat Batas dan Tegangan Ijin	55
Tabel 4.1. Data Parameter Tanah Masa Konstruksi	62
Tabel 4.2. Data Parameter Tanah Pasca Konstruksi	63
Tabel 4.3. Data Parameter Geotekstil Woven	63
Tabel 4.4. Data Parameter Matras Bambu	64
Tabel 4.5. Beban Lalu Lintas dan Sistem Jaringan	65
Tabel 5.1. Rekapitulasi Angka Aman Lereng Eksisting dan Variasi Timbunan Akibat Beban Sendiri	78
Tabel 5.2. Rekapitulasi Hasil Angka Aman Lereng Eksisting dan Variasi Timbunan Aman Tanpa Perkuatan	87
Tabel 5.3. Hasil Konsolidasi pada Timbunan Lereng eksisting dan variasi timbunan Tanpa Perkuatan	88
Tabel 5.4. Data Geotekstil Woven UW-250	89
Tabel 5.5. Koefisien Daya Dukung Tanah	90

Tabel 5.6. Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil	94
Tabel 5.7. Hasil rekapitulasi pada Timbunan Lereng Dengan Geotekstil 1 Lapis	106
Tabel 5.8. Hasil Rekapitulasi Konsolidasi Penurunan Pada Timbunan Lereng Dengan Geotekstil 1 Lapis	106
Tabel 5. 9 Hasil rekapitulasi pada Pada Lereng Eksisting dan Variasi Perkuatan Geotekstil Berlapis	115
Tabel 5.10 Hasil Rekapitulasi Konsolidasi Penurunan Pada Lereng Eksisting dan Variasi Perkuatan Geotekstil Berlapis	115
Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Angka Aman Perkuatan Matras Bambu	124
Tabel 5.12 Hasil Konsolidasi Penurunan Lereng Pekuatan Matras Bambu	124
Tabel 5.13 Rekapitulasi <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan Hasil Analisis	129
Tabel 5.14 Rekapitulasi Konsolidasi Penurunan Hasil Analisis	129

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Diagram fase tanah	27
Gambar 3.2. Diagram fase tanah (Hardiyatmo, 2010)	29
Gambar 3.3. Tampak Lereng Akibat Pengaruh Rangkak (<i>Creep</i>)	36
Gambar 3.4. Kelongsoran Lereng	38
Gambar 3.5. Longsoran Translasi	39
Gambar 3.6. Longsoran Rotasi	39
Gambar 3.7. Perkuatan untuk meningkatkan stabilitas lereng	40
Gambar 3.8. Perkuatan untuk meningkatkan kepadatan di kaki lereng dan stabilitas permukaan lereng	41
Gambar 3.9. (a) Tumpukan Pasir dengan Sudut Lereng Asli (b) Tumpukan Pasir dengan Lereng yang Diperkuat	46
Gambar 3.10. Geotekstil Woven	47
Gambar 3.11. Geotekstil Non Woven	47
Gambar 3.12. Geotekstil Sebagai Pemisah (<i>Separator</i>)	48
Gambar 3.13. Geotekstil Sebagai Perkuatan (<i>Reinforcement</i>)	48
Gambar 3.14. Timbunan di Atas Tanah Lunak	50
Gambar 3.15. Distribusi Tekanan Tanah Lateral	51
Gambar 4.1. Lokasi Jalan Tol Cibitung-Cilincing	61
Gambar 4.2. Geometri Potongan Melintang	62
Gambar 4.3. Peta Zonasi Gempa	65
Gambar 4.4. Kotak Dialog <i>Create/Open Project</i>	66
Gambar 4.5. <i>Tab Project</i> dari Jendela <i>Model</i>	67
Gambar 4.6. Lembar <i>Tab General</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	69
Gambar 4.7. Lembar <i>Tab Parameters</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	69
Gambar 4.8. Jaringan Elemen Hingga (<i>Meshing</i>)	69
Gambar 4.9. Tegangan Awal Pada Geometri	70
Gambar 4.10. Jendela <i>Calculations</i> dengan Lembar <i>Tab General</i>	70

Gambar 4.11. Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau	71
Gambar 4.12. Bagan Alir Penelitian	72
Gambar 5.1. Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa <i>Whittier Narrows</i>	74
Gambar 5.2. Lapis Matras Bambu	75
Gambar 5.3. Geometri Eksisting Lereng	76
Gambar 5.4. Permodelan lereng akibat beban timbunan (Beban Sendiri)	76
Gambar 5.5. Deformed Mesh Pada Timbunan (Beban Sendiri)	77
Gambar 5.6. Total Displacement pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)	77
Gambar 5.7. Potensi Kelongsoran pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)	78
Gambar 5.8. Effective Stress pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)	78
Gambar 5.9. Permodelan Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan	79
Gambar 5.10. <i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan	80
Gambar 5.11. muka air tanah pada Lereng Timbunan 12m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi	80
Gambar 5.12. <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	80
Gambar 5.13. <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	81
Gambar 5.14. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	81
Gambar 5.15. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	81
Gambar 5.16. Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	82
Gambar 5.17. Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	82
Gambar 5.18. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	82
Gambar 5.19. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	83

Gambar 5.20. Kurva SF Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi	83
Gambar 5.21. <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Lereng 12 m Pasca Konstruksi akibat Beban Struktur	84
Gambar 5.22. <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Lereng 12 m Pasca Konstruksi akibat Beban Struktur dan Gempa	84
Gambar 5.23. Nilai <i>Total Displacement</i> Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	84
Gambar 5.24. Nilai <i>Total Displacement</i> Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	85
Gambar 5.25. Potensi Kelongsoran Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan 12 m Pasca Konstruksi akibat Beban Lalu Lintas	85
Gambar 5.26. Potensi Kelongsoran Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan 12 m Pasca Konstruksi akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	85
Gambar 5.27. Nilai <i>Effective Stresses</i> pada Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan 12m Pasca Konstruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas	86
Gambar 5.28. Nilai <i>Effective Stresses</i> pada Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan 12m Pasca Konstruksi akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa	86
Gambar 5.29. Nilai Konsolidasi Pada Timbunan Lereng 12 m Tanpa Perkuatan	86
Gambar 5.30. Nilai Angka Aman (SF) Timbunan Lereng 12 m Pasca Konstruksi	87
Gambar 5.31. Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Tanah	92
Gambar 5.32. Detail Pemasangan Geotekstil	96
Gambar 5.33. Gesekan Tanah-Geotekstil	96
Gambar 5.34. Detail Pemasangan Matras Bambu	97
Gambar 5.35. Permodelan Lereng Timbunan 12 m Dengan Perkuatan Geotekstil 1 lapis	98
Gambar 5.36. meshing pada lereng timbunan 12 m dengan perkuatan Geotekstil 1 Lapis	99
Gambar 5.37. <i>Deformed Mesh</i> pada Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	99

Gambar 5.38. <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	99
Gambar 5.39. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	100
Gambar 5.40. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	100
Gambar 5.41. Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	100
Gambar 5.42. Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	101
Gambar 5.43. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	101
Gambar 5.44. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	101
Gambar 5.45. Kurva SF Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi	102
Gambar 5.46. Hasil <i>Generate Mesh</i> timbunan 12 m pasca konstruksi Geotekstil 1 Lapis	102
Gambar 5.47. <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil 1 Lapis	103
Gambar 5.48. <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil 1 Lapis	103
Gambar 5.49. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil 1 Lapis	103
Gambar 5.50. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil 1 Lapis	104
Gambar 5.51. Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil 1 Lapis	104
Gambar 5.52. Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil 1 Lapis	104

Gambar 5.53. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil 1 Lapis	105
Gambar 5.54. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil 1 Lapis	105
Gambar 5.55. Nilai Konsolidasi Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil 1 Lapis	105
Gambar 5.56. <i>Kurva SF</i> Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Geotekstil 1 Lapis	106
Gambar 5.57. Permodelan Lereng Timbunan 12 m Dengan Perkuatan Geotekstil	107
Gambar 5.58. <i>meshing</i> pada lereng timbunan 12 m dengan perkuatan Geotekstil	107
Gambar 5.59. <i>Deformed Mesh</i> pada Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	108
Gambar 5.60. <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	108
Gambar 5.61. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	108
Gambar 5.62. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	109
Gambar 5.63. PotensikKelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	109
Gambar 5.64. PotensikKelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	109
Gambar 5.65. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	110
Gambar 5.66. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	110
Gambar 5.67. <i>Kurva SF</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi	110

Gambar 5.68. <i>Generate Mesh</i> Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Dengan Perkuatan Geotekstil	111
Gambar 5.69. <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	111
Gambar 5.70. <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	111
Gambar 5.71. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	112
Gambar 5.72. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	112
Gambar 5.73. Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	112
Gambar 5.74. Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	113
Gambar 5.75. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	113
Gambar 5.76. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	113
Gambar 5.77. Nilai Konsolidasi Pada Timbunan Lereng 12 m Perkuatan Geotekstil	114
Gambar 5.78. Kurva SF Lereng 12 m Pasca Konstruksi Perkuatan Geotekstil	114
Gambar 5.79. Permodelan Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu	116
Gambar 5.80. <i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu	116
Gambar 5.81. <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	117
Gambar 5.82. <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	117
Gambar 5.83. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	117
Gambar 5.84. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	118

Gambar 5.85. Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	118
Gambar 5.86. Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	118
Gambar 5.87. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	119
Gambar 5.88. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	119
Gambar 5.89. Kurva SF Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	119
Gambar 5.90. Meshing Pada Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Kondisi Paska Konstruksi	120
Gambar 5.91. <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Kondisi Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	120
Gambar 5.92. <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Kondisi Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	121
Gambar 5.93. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	121
Gambar 5.94. <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	121
Gambar 5.95. Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	122
Gambar 5.96. Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	122
Gambar 5.97. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	122
Gambar 5.98. <i>Effective Stresses</i> Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa	123
Gambar 5.99. Nilai Konsolidasi Pada Timbunan Lereng Perkuatan Matras Bambu 12 m	123

Gambar 5.100. Kurva SF Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Paska Konstruksi Akibat Beban lalu lintas	124
Gambar 5.101. Grafik Hubungan Hasil SF Akibat Beban Sendiri	130
Gambar 5.102. Grafik Hubungan Hasil SF Terhadap Timbunan Masa konstruksi	130
Gambar 5.103. Grafik Hubungan Hasil SF Terhadap Timbunan Masa Pasca Konstruksi	131
Gambar 5.104. Perbandingan Konsolidasi Penurunan dengan Tinggi Timbunan	131

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Geometri Penampang Melintang	139
Lampiran 2 Data Hasil Uji Lab Sampel Tanah	141
Lampiran 3 Data SPT pada Sta 3+550	142
Lampiran 4 Data Technical Specification Geotextile Woven	143
Lampiran 5 Kurva S Masa Penelitian	144
Lampiran 6 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 3 m Tanpa Perkuatan	145
Lampiran 7 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan	152
Lampiran 8 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 9 m Tanpa Perkuatan	160
Lampiran 9 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 6 m Dengan Perkuatan Geotekstil	167
Lampiran 10 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 9 m Dengan Perkuatan Geotekstil	174
Lampiran 11 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 6 m Dengan Perkuatan matras bambu	181
Lampiran 12 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 9 m Dengan Perkuatan matras bambu	188
Lampiran 13 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 3 m beban sendiri	195
Lampiran 14 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 6 m beban sendiri	197
Lampiran 15 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 9 m beban sendiri	199
Lampiran 16 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 6 m geotekstil berlapis	201
Lampiran 17 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 9 m geotekstil berlapis	209

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

cm	= Centimeter
m	= Meter
mm	= Milimeter
γ_b	= Berat Volume Tanah (kN/m^3)
γ_{sat}	= Berat Volume Tanah jenuh (kN/m^3)
FK	= Faktor Keamanan
N	= Newton
kN	= Kilo Newton
Mpa	= Mega Pascal
%	= Persen
D	= Diameter
S	= Jarak (m)
L	= Panjang (m)
SF	= <i>Safety factor</i>
τ_f	= Kuat Geser Tanah (kN/m^2)
τ_d	= Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh (kN/m^2)
m^2	= Meter persegi
c	= Kohesi (kN/m^2)
ϕ	= Sudut geser dalam (derajat)
v	= <i>Poissons ratio</i>
e	= Modulus young (kN/m^2)
ψ	= Sudut dilatasi (derajat)
k	= Koefisien permeabilitas
g	= Modulus geser (kN/m^2)
σ	= Tegangan normal (kN/m^2)
σ'_f	= Tegangan normal efektif saat terjadi keruntuhan (kN/m^2)
τ'_f	= Tegangan geser efektif saat terjadi keruntuhan (kN/m^2)

u	= Tekanan air pori (kN/m^2)
T_a	= Gaya tarik pada tulangan (kN/m)
K_a	= Koefisien tanah aktif
σ_{hc}	= Tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m^2)
S_v	= Jarak tulangan arah vertical (m)
H	= Tinggi lapisan tanah (m)
q	= Beban merata (kN/m)
LO	= Panjang <i>overlapping</i> (m)
Z_i	= Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m)

ABSTRAK

Pembangunan jalan tol Cibitung-Cilincing bertujuan untuk meningkatkan kapasitas jalan dalam melayani lalu lintas di sektor industri yang diharapkan dapat berguna dalam meningkatkan produktivitas perekonomian di wilayah Kota Bekasi. Jalan tol ini banyak lereng yang terbuat dari timbunan tanah untuk jalan. Penelitian ini dikhususkan pada timbunan lereng ruas tol Cibitung – Cilincing Sta 3+550 dengan variasi tinggi lereng dan eksisting 3 m, 6 m, 9 m, dan 12 m yang dianalisis dengan dua kondisi, yaitu pada saat masa konstruksi dan saat pasca konstruksi. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan angka aman (SF), dan konsolidasi selama 365 hari. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan program plaxis v22 Untuk penanganan perkuatan lereng timbunan yang belum aman digunakan perkuatan geotekstil woven UW-250 produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul, dan perkuatan matras bambu yang telah di uji lab oleh Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – D.I Yogyakarta.

Nilai angka aman untuk variasi timbunan dan eksisting tanpa perkuatan 3 m, 6 m, 9 m, dan 12 m secara berturut pada masa konstruksi beban struktur sebesar 1,784; 1,334; 1,233; 1,118, dan beban gempa sebesar 1,641; 1,234; 1,149; 1,051. perkuatan geotekstil 1 lapis, 6 m, 9 m, dan 12 m beban struktur secara berturut sebesar 1,554; 1,338; 1,162 dan 1,394; 1,229; 1,088 untuk beban gempa. Perkuatan Geotekstil sesuai perhitungan secara akibat beban struktur nilainya berturut sebesar 2,024; 1,580; 1,485, dan beban gempa 1,576; 1,387; 1,320. Perkuatan Matras Bambu akibat beban struktur secara berturut sebesar 2,031; 1,905; 1,711, dan 1,901; 1,806; 1,571. Selanjutnya Pasca konstruksi tanpa perkuatan akibat beban lalu lintas 3m,6m,9m,12m secara berturut sebesar 1,473; 1,219; 1,171; 1,090, beban gempa 1,368; 1,099; 1,041; 1,023. Geotekstil 1 lapis akibat beban lalu lintas 6m,9m,12m secara berturut sebesar 1,378; 1,251; 1,137, dan 1,227; 1,212; 1,061 beban gempa. Geotekstil sesuai hitungan secara berturut 1,871; 1,501; 1,329 beban lalu lintas, dan beban gempa 1,411; 1,323; 1,303. Matras bambu secara berturut 1,841; 1,678; 1,509 beban lalu lintas, 1,467; 1,436; 1,432 beban gempa. Hasil analisis konsolidasi terendah di hasilkan matras bambu untuk timbunan 12 m dan timbunan 6 m dan 9 m dihasilkan oleh geotekstil sesuai dengan perhitungan kebutuhan.

Kata Kunci: Angka Aman (SF), Konsolidasi, Geotekstil, Matras Bambu, Plaxis

ABSTRACT

The construction of the Cibitung-Cilincing toll road aims to increase the road capacity in serving traffic in the industrial sector which is expected to be useful in increasing economic productivity in the Bekasi City area. This toll road has many slopes made of soil embankment for the road. This research is devoted to the embankment slope of the Cibitung - Cilincing toll road section Sta 3 + 550 with variations in slope height and existing 3 m, 6 m, 9 m, and 12 m which are analyzed under two conditions, namely during the construction period and during post-construction. The purpose of this study is to obtain a safe number (SF), and consolidation for 365 days. The slope stability analysis was carried out using the Plaxis v22 program. For the handling of reinforcement of unsafe embankment slopes, UW-250 woven geotextile reinforcement produced by PT Teknindo Geosistem Unggul, and bamboo mat reinforcement that has been lab tested by the Central Java - D.I Yogyakarta National Road Agency.

Safe number values for embankment and existing variations without reinforcement of 3 m, 6 m, 9 m, and 12 m respectively during the construction period of structural loads of 1.784; 1.334; 1.233; 1.118, and earthquake loads of 1.641; 1.234; 1.149; 1.051. geotextile reinforcement of 1 layer, 6 m, 9 m, and 12 m structural loads respectively of 1.554; 1.338; 1.162 and 1.394; 1.229; 1.088 for earthquake loads. Geotextile reinforcement according to calculations due to structural loads has a value of 2.024; 1.580; 1.485, and earthquake loads of 1.576; 1.387; 1.320, respectively. Reinforcement of Bamboo Mattress due to structural loads respectively amounted to 2.031; 1.905; 1.711, and 1.901; 1.806; 1.571. Furthermore, post construction without reinforcement due to traffic loads of 3m, 6m, 9m, 12m respectively amounted to 1.473; 1.219; 1.171; 1.090, earthquake loads 1.368; 1.099; 1.041; 1.023. 1-layer geotextile due to 6m, 9m, 12m traffic load of 1.378; 1.251; 1.137, and 1.227; 1.212; 1.061 earthquake load, respectively. Geotextiles as calculated were 1.871; 1.501; 1.329 traffic load, and 1.411; 1.323; 1.303 earthquake load, respectively. Bamboo mattresses were 1.841; 1.678; 1.509 traffic load, 1.467; 1.436; 1.432 earthquake load, respectively. The lowest consolidation analysis results were produced by bamboo mattress for 12 m embankment and 6 m and 9 m embankments were produced by geotextile in accordance with the calculation of requirements.

Keywords: *Safe Number (SF), Consolidation, Geotextile, Bamboo Mat, Plaxis*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fokus pemerintah Indonesia saat ini salah satunya yaitu peningkatan infrastruktur. Pada sektor transportasi pembangunan sedang gencar-gencarnya dilakukan. Hal ini karena transportasi di Indonesia memiliki peran penting demi tercapainya tujuan pembangunan nasional. Jalan bebas hambatan atau jalan tol merupakan salah satu prioritas pembangunan dalam sektor transportasi. Pemerintah menargetkan dengan pembangunan jalan tol dapat menaikkan produktivitas melalui transformasi yang bersifat struktural. Lebih spesifik, konektivitas jalan tol juga merupakan komponen penting untuk mendukung transformasi ekonomi Indonesia menuju sektor manufaktur dan jasa.

Jalan Tol Cibitung-Cilincing dibangun dengan maksud untuk mempermudah akses perekonomian maupun industri. Pembangunan Tol Cibitung-Cilincing bertujuan untuk meningkatkan aksesibilitas dan kapasitas jalan dalam melayani lalu lintas di sektor industri yang diharapkan dapat berguna dalam meningkatkan produktivitas perekonomian di wilayah tersebut dan tentu saja untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Jalan Tol Cibitung-Cilincing merupakan proyek yang masuk dalam Program Pembangunan Jangka Menengah (RPJMN) 2015-2020. Tol tersebut merupakan bagian dari Jaringan Tol Jakarta *Outer Ring Road* (JORR 2) yang akan menghubungkan konektivitas Kawasan industri Cikarang dengan Pelabuhan Tanjung Priuk. Tol dengan panjang 34,76 km ini akan memberikan dukungan kelancaran mobilitas, pergerakan komuter, dan logistik, khususnya menuju Kawasan industri Cibitung dan Cilincing.

Pada pembangunan jalan tol, tanah memiliki peran yang sangat penting. Kesiapan tanah dalam mendukung beban di atasnya merupakan hal yang wajib diperhatikan. Dalam pembangunan jalan tol atau pada konstruksi jalan, penimbunan tanah sering dilakukan untuk mendapatkan elevasi yang direncanakan. Penimbunan tanah dapat menyebabkan kelongsoran pada lereng. Hal tersebut dapat terjadi

karena penurunan nilai kuat geser tanah dan sudut geser dalamnya. Kelongsoran lereng ini sering terjadi pada saat musim hujan. Menurut Bowles (1991) mengatakan bahwa faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan lereng dapat menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah dan satu gerakan akan terjadi kecuali tahanan geser pada setiap permukaan runtuh yang mungkin terjadi nilainya lebih besar dari nilai tegangan geser yang bekerja.

Menghindari kejadian tersebut, perlu dilakukan perbaikan atau memperkuat jenis tanah yang akan digunakan pada lereng tersebut. Perlu adanya suatu metode atau cara yang efektif untuk menghindari tanah yang kurang baik. Perbaikan yang dapat dilakukan yaitu dengan cara memberikan perkuatan pada tanah sehingga diharapkan dapat meningkatkan daya dukung tanah tersebut. Metode dalam meningkatkan daya dukung tanah dapat dilakukan dengan beberapa cara. Salah satu cara yaitu dengan menggunakan matras bambu. Bambu digunakan sebagai metode peningkatan daya dukung tanah karena dinilai lebih ramah lingkungan dan murah dibandingkan dengan menggunakan kayu. Matras bambu digunakan untuk meratakan beban timbunan dan gaya apung bambu mampu menambah daya dukung terhadap beban timbunan. Metode lain yang dapat digunakan yaitu dengan geotekstil. Geotekstil merupakan lapisan sintesis yang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap proses pelapukan. Geotekstil diletakan diatas tanah dasar sebelum dilakukan penimbunan. Geotekstil diharapkan mampu meningkatkan daya dukung tanah.

Proyek jalan Tol Cibitung-Cilincing pada proses pembangunannya melakukan penimbunan dengan menggunakan perkuatan dinding penahan tanah (*retaining wall*). Pada penelitian ini akan melakukan perbandingan analisis stabilitas timbunan tanah menggunakan matras bambu dan menggunakan geotekstil dengan bantuan perangkat lunak yaitu *PLAXIS V22*. Perbandingan analisis dilakukan dengan cara membandingkan angka aman (*safety factor*) dan bidang longsor potensial pada tanah yang dilakukan dengan perkuatan matras bambu dan perkuatan menggunakan geotekstil. Analisis pada penelitian ini menggunakan data tanah pada Sta 3+550 yang diperoleh dari PT. Carina Griya Mandiri selaku vendor yang meneliti tanah pada proyek tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka masalah yang akan dianalisis dalam penelitian Sebagai berikut ini.

1. Bagaimana nilai *safety factor* (*SF*) dan penurunan konsolidasi yang terjadi terhadap timbunan lereng *eksisting* tanpa perkuatan menggunakan program PLAXIS V.22?
2. Bagaimana nilai *safety factor* (*SF*) dan penurunan konsolidasi yang terjadi terhadap timbunan lereng *eksisting* dengan perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS V.22?
3. Bagaimana nilai *safety factor* (*SF*) dan penurunan konsolidasi yang terjadi terhadap timbunan lereng *eksisting* dengan perkuatan matras bambu menggunakan program PLAXIS V.22?
4. Bagaimana nilai *safety factor* (*SF*) dan penurunan konsolidasi yang terjadi terhadap pengaruh beberapa variasi tinggi timbunan pada lereng tanpa perkuatan menggunakan program PLAXIS V.22?
5. Bagaimana nilai *safety factor* (*SF*) dan penurunan konsolidasi yang terjadi terhadap pengaruh beberapa variasi tinggi timbunan pada lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS V.22?
6. Bagaimana nilai *safety factor* (*SF*) dan penurunan konsolidasi yang terjadi terhadap pengaruh beberapa variasi tinggi timbunan pada lereng dengan perkuatan matras bambu menggunakan program PLAXIS V.22?
7. Bagaimana perbandingan nilai *safety factor* (*SF*) dan penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng *eksisting* dan variasi timbunan dengan perkuatan geotekstil dan dengan perkuatan matras bambu menggunakan program PLAXIS V.22?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pertanyaan-pertanyaan pada rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian Sebagai berikut ini.

1. Mengetahui nilai *safety factor* (*SF*) pada lereng *eksisting* dan variasi timbunan tanpa perkuatan menggunakan program PLAXIS V.22.

2. Mengetahui nilai *safety factor* (SF) pada lereng eksisting dan variasi timbunan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS V.22.
3. Mengetahui nilai *safety factor* (SF) pada lereng eksisting dan variasi timbunan dengan perkuatan matras bambu menggunakan program PLAXIS V.22.
4. Mengetahui penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng eksisting dan variasi timbunan tanpa perkuatan menggunakan program PLAXIS V.22.
5. Mengetahui penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng eksisting dan variasi timbunan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS V.22.
6. Mengetahui penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng eksisting dan variasi timbunan dengan perkuatan matras bambu menggunakan program PLAXIS V.22.
7. Mengetahui perbandingan nilai *safety factor* (SF) dan penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng eksisting dan variasi timbunan dengan perkuatan geotekstil dan dengan perkuatan matras bambu menggunakan program PLAXIS V.22.

1.4 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan dalam bidang geoteknik mengenai stabilitas lereng.
2. Menambah pengetahuan dalam permodelan lereng menggunakan program PLAXIS V.22.
3. Mengetahui desain untuk timbunan lereng yang efektif dan aman pada proyek Jalan Tol Cibitung-Cilincing.
4. Menambah ilmu mengenai bahan perkuatan lereng menggunakan geotekstil dan matras bambu.
5. Menambah pengetahuan mengenai pengaruh perkuatan menggunakan geotekstil dan matras bambu terhadap beberapa variasi tinggi timbunan.
6. Dapat menjadi acuan peneliti lain atau mahasiswa yang akan melakukan penelitian dibidang geoteknik terutama dalam bidang stabilitas lereng.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Program bambu dan geotekstil pada penelitian ini menggunakan PLAXIS V.22.
2. Lokasi penelitian pada ruas jalan Tol Cibitung-Cilincing, pada Sta 3+550.
3. Data parameter tanah yang digunakan sesuai dari Laporan Analisa geoteknik proyek jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta 3+550.
4. Penggunaan material geosintetik jenis geotekstil *woven* produksi dari PT. Teknindo Geosistem dengan kuat Tarik ultimit sebesar 52 kN/m².
5. Data parameter bambu yang digunakan berdasarkan data hasil uji yang dilakukan oleh Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – D.I Yogyakarta untuk Proyek jalan Tol Semarang-Demak.
6. Permodelan tinggi timbunan lereng bervariasi, yaitu 3m; 6m; 9m; 12 m.
7. Beban merata yang digunakan merupakan beban struktur dan beban lalu lintas sesuai dengan standar untuk jalan Tol.
8. Perhitungan penurunan konsolidasi diasumsikan dengan waktu selama 365 hari.
9. Beban gempa dinamik yang digunakan sebagai perhitungan sesuai dengan data kondisi gempa wilayah Bekasi.
10. Perhitungan penggunaan matras bambu di asumsikan 1 lapis di atas tanah

1.6 Studi Kasus

Pada penelitian ini, studi kasus yang akan digunakan sebagai acuan peneliti adalah sebagai berikut.

1. Lokasi Proyek

Pada penelitian ini lokasi proyek yang digunakan yaitu pada proyek jalan Tol Cibitung-Cilincing, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat. Tepatnya yaitu pada Sta 3+550.

2. Potongan Melintang

Geometri tanah timbunan yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan data potongan melintang proyek Jalan Tol Cibitung-Cilincing pada Sta 3+550 yang dapat dilihat pada lampiran 1.

3. Data Tanah

Data parameter yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan hasil uji laboratorium dari sampel tanah diperoleh dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung-Cilincing. Laporan Analisa Geoteknikal yang diambil pada Sta 3+550 yaitu titik BH-25, dapat dilihat pada lampiran 2.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (limit plastic equilibrium). Adapun maksud analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial.

2.2 Analisis Stabilitas Lereng

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ardiansyah pada tahun 2023, analisis stabilitas lereng dengan menggunakan software geostudio 2023 pada lereng aliran sungai brantas di wilayah permukiman wringinanom Gresik dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah bagaimana cara menganalisa stabilitas lereng dilokasi sekitar permukiman Sungai Brantas Dusun Lebaniwaras, Kecamatan Gresik dengan menggunakan software Geostudio 2023 untuk mengetahui factor lereng. Berdasarkan hasil dari penelitian diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,187 yang berarti lereng tersebut dalam kondisi kritis atau rawan longsor.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Kuswiantoro dkk. Pada tahun 2023, meningkatkan stabilitas lereng berdasarkan pengujian karakteristik tanah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik tanah dan nilai faktor keamanan lereng di Lokasi penelitian dengan melakukan pengujian di Laboratorium. Melalui hasil dari penelitian mengungkapkan bahwa karakteristik tanah di Desa Jugo mempengaruhi longSORan yang terjadi. Baik dari jenis tanah, batas konsistensi, dan kuat geser tanah menunjukkan bahwa lereng tidak stabil, hal tersebut ditunjukkan dengan perolehan nilai perhitungan $F_s < 1$. Upaya yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah kemiringan lereng menjadi 35° sehingga lereng menjadi stabil. Hasil tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam merencanakan serta melakukan stabilitas lereng di lokasi tersebut, sehingga dapat mencegah terjadinya tanah longsor di masa yang akan datang.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ariansyah dkk, pada tahun 2022 Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Penanganannya Pada Timbunan Oprit Jembatan Labu Sawo Sumbawa. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kestabilan konstruksi sebelum beroperasi. Berdasarkan hasil penelitian stabilitas lereng pada timbunan oprit jembatan Labu Sawo Sumbawa, dapat disimpulkan bahwa besarnya angka keamanan lereng timbunan oprit pada kondisi eksisting berdasarkan hasil perhitungan manual adalah 0,95 dan sebesar 0,99 dengan program *Plaxis*. Berdasarkan kondisi tersebut, timbunan oprit ini perlu dilakukan perkuatan.

2.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Hedyanto pada tahun 2018, analisis stabilitas lereng dengan menggunakan perkuatan dinding kantilever dan *sheetpile* pada Bantaran Sungai Code dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor aman (*Safety factor, SF*) dari lereng eksisting, perkuatan kantilever, dan perkuatan sheet pile menggunakan program Geoslope/w, serta untuk mengetahui pergerakan tanah pada kedua variasi perkuatan tersebut dengan pembandingan pada saat terjadi gempa dan tanpa gempa menggunakan program Sigma/w. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh faktor aman (SF) pada lereng eksisting akibat beban sendiri sebesar 1,118, dan akibat gempa sebesar 0,565. Pada lereng dengan perkuatan kantilever, diperoleh faktor aman (SF) akibat beban sendiri sebesar 2,639, dan akibat gempa sebesar 1,789. Sedangkan pada lereng dengan perkuatan sheet pile kantilever, diperoleh faktor aman (SF) akibat beban sendiri sebesar 2,726, dan akibat gempa sebesar 1,846. Berdasarkan perencanaan perkuatan dengan faktor aman (SF) lebih besar dari 1,5, dapat dikatakan bahwa lereng tersebut stabil. Selain itu, diperoleh hasil pergerakan tanah terbesar pada perkuatan kantilever pada kondisi tanpa gempa (non-gempa) pada potongan A-A sebesar 0,7 m, potongan B-B sebesar 1,01 m, dan potongan C-C sebesar 0,1 m. Sedangkan pada perkuatan sheet pile, diperoleh hasil pergerakan tanah terbesar pada kondisi non-gempa pada potongan A-A sebesar 0,44 m, potongan B-B sebesar 1,03 m, dan potongan C-C sebesar 0,088 m. Dengan demikian, berdasarkan hasil penelitian tersebut, perkuatan kantilever dan perkuatan sheet pile pada Bantaran

Sungai Code mampu meningkatkan faktor aman (SF) dan mengurangi pergerakan tanah pada lereng.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sekarti pada tahun 2018, analisis stabilitas timbunan di jalan Tol Semarang - Solo ruas Salatiga Kartasura dilakukan. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui nilai faktor keamanan (*Safety factor, SF*) pada lereng timbunan dengan variasi penambahan trap berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan program Slope/W dengan metode Fellenius, Janbu Simplified, dan Morgenstern Price. Berdasarkan penelitian tersebut, ditemukan bahwa timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan metode Fellenius, Janbu Simplified, dan Morgenstern Price mengalami peningkatan faktor keamanan (SF) berturut-turut sebesar 9,72%, 9,36%, dan 10,8%. Sedangkan dengan pengaruh beban gempa, peningkatan SF adalah sebesar 1,86%, 1,94%, dan 2%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan trap pada timbunan dapat meningkatkan faktor keamanan dan stabilitas lereng. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode Janbu Simplified memiliki nilai stabilitas yang paling kritis dibandingkan dengan metode kesetimbangan lainnya. Dalam konteks ini, tingkat kestabilan timbunan lebih rendah ketika menggunakan metode Janbu Simplified. Selain itu, ditemukan bahwa beban gempa memiliki pengaruh signifikan terhadap kestabilan timbunan. Rata-rata, beban gempa dapat menurunkan tingkat kestabilan suatu timbunan sebesar 44,4062%. Berdasarkan kesimpulan dari penelitian tersebut, penambahan trap pada timbunan dapat meningkatkan faktor keamanan dan stabilitas lereng. Metode Janbu Simplified cenderung menghasilkan tingkat kestabilan yang lebih rendah dibandingkan dengan metode lainnya. Selain itu, beban gempa memiliki dampak signifikan terhadap kestabilan timbunan dengan mengurangi faktor keamanan secara keseluruhan.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Utomo pada tahun 2019, analisis stabilitas lereng dengan menggunakan perkuatan soil nailing di bantaran Sungai Code, Padukuhan Gemawang, Desa Sinduadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor keamanan lereng alami menggunakan metode perhitungan

manual Fellenius dan Bishop yang disederhanakan, serta mengevaluasi faktor keamanan lereng dan perkuatan *soil nailing* menggunakan program Geoslope dengan metode perhitungan Baji (*Wedge*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada perhitungan manual menggunakan metode Fellenius, faktor keamanan (*Safety factor, SF*) yang diperoleh adalah 0,929, sedangkan menggunakan metode Bishop diperoleh $SF = 1,125$. Kedua hasil tersebut menunjukkan bahwa faktor keamanan lereng alami tidak memenuhi kriteria keamanan dengan nilai SF di bawah 1,3. Selanjutnya, analisis menggunakan program Geoslope dengan metode Fellenius menghasilkan faktor keamanan $SF = 0,933$, dan metode Bishop menghasilkan $SF = 1,125$. Hasil ini juga menunjukkan bahwa faktor keamanan lereng dengan perhitungan menggunakan program Geoslope tidak memenuhi kriteria keamanan. Namun, ketika dilakukan perhitungan perkuatan *soil nailing* dengan metode Baji (*Wedge*), diperoleh hasil faktor keamanan yang memenuhi kriteria keamanan. Pada sudut nail 10° , diperoleh $SF = 1,5391$. Pada sudut nail 20° , diperoleh $SF = 1,5977$, dan pada sudut nail 30° , diperoleh $SF = 1,6051$. Dalam analisis menggunakan program Geoslope, faktor keamanan tanpa beban gempa diperoleh $SF = 2,294$, dan dengan beban gempa diperoleh $SF = 1,278$. Perbedaan nilai faktor keamanan antara metode Baji (*Wedge*) dan program Geoslope disebabkan oleh penggunaan bidang gelincir longsor yang berbeda. Metode Baji (*Wedge*) menggunakan bidang gelincir longsor planar, sedangkan program Geoslope menggunakan bidang gelincir longsor lingkaran. Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa perkuatan soil nailing dengan metode Baji (*Wedge*) pada sudut nail 10° , 20° , dan 30° memberikan faktor keamanan yang memenuhi kriteria keamanan. Namun, perlu diperhatikan bahwa perbedaan dalam pemilihan metode analisis dapat mempengaruhi hasil faktor keamanan yang diperoleh menggunakan program Geoslope.

2.4 Pengaruh Gempa terhadap stabilitas lereng

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sutiyono dkk pada tahun 2017 analisis stabilitas lereng akibat gempa. Penelitian ini bertujuan untuk mendapat angka tingkat keamanan dari lereng akibat gempa, memperoleh hubungan antara frekuensi gempa dan factor keamanan lereng, dengan bantuan program komputasi *PLAXIS*.

Hasil dari analisis stabilitas lereng dengan frekuensi gempa antara 1 Hz sampai dengan 5 Hz menunjukkan SF rata – rata 0,98606 yang berarti lereng tidak aman atau bahaya terhadap gempa, Semakin besar frekuensi gempa maka semakin kecil faktor keamanan lereng. Hasil perhitungan manual menggunakan metode irisan konvensional yaitu 0.988 yang hanya berbeda 0.002 dari perhitungan *Plaxis* juga menunjukkan bahwa lereng, Dari perhitungan manual didapat bahwa semakin besar nilai K_h maka, semakin kecil faktor keamanannya.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Pujianto pada tahun 2017 analisis pengaruh beban gempa terhadap stabilitas lereng di desa sendangmulyo, tirtomoyo, wonogiri, dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk keperluan mitigasi bencana dengan penambahan beban gempa ini menggunakan dua metode yaitu: metode pseudo statik dan metode dinamik. Menggunakan program geoslope. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa Penambahan beban gempa pada lereng dengan kemiringan 30° di Desa Sendangmulyo, Kecamatan Tirtomoyo, Kabupaten Wonogiri didapatkan nilai SF yang tidak aman, sedangkan sebelum penambahan beban gempa didapatkan nilai SF yang aman. Hasil analisis stabilitas lereng dengan metode statik menunjukan nilai SF sebesar 1,33, 0,77, 0,47 untuk lereng dengan kemiringan 30° , 45° , 60° . Hasil analisis stabilitas lereng dengan metode pseudo statik menunjukan nilai SF sebesar 1,09, 0,64, 0,38 untuk lereng dengan kemiringan 30° , 45° , 60° . Hasil analisis stabilitas lereng dengan metode dinamik menunjukan nilai sebesar 1,27, 0,70, 0,40 untuk lereng dengan kemiringan 30° , 45° , 60° . Hasil analisis stabilitas lereng dengan metode pseudo statik menunjukan nilai SF terendah sebesar 0,38 untuk lereng dengan kemiringan 60° .

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ramdhani dkk pada tahun 2016, analisis stabilitas lereng akibat beban gempa dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan software geoslope di desa tambakmerang, girimarto, wonogiri, dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk perencanaan pembangunan dinding penahan tanah untuk menjaga infrastruktur maupun rencana infrastruktur tetap aman dan kuat secara struktur. Metode yang dilakukan adalah dengan melakukan analisis stabilitas lereng berdasarkan kondisi eksisting di Desa Tambakmerang, Kecamatan Girimarto, Kabupaten Wonogiri, dengan ketinggian 14

m dan kemiringan sebesar 60° . Penelitian stabilitas lereng dengan memperhitungkan pengaruh gempa yang terjadi. Dengan menggunakan Software Geoslope. Hasil dari penelitian disimpulkan bahwa lereng di Desa Tambakmerang, Kecamatan Girimarto, Kabupaten Wonogiri dengan kemiringan 60° dan ketinggian 14 m akibat berat sendiri menghasilkan nilai *Safety factor* (SF) sebesar 1,22 dan setelah dipengaruhi beban gempa menghasilkan nilai SF sebesar 1,16 sehingga termasuk dalam kategori kritis. Hasil analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah (DPT) ketinggian $\frac{1}{3}$ dan $\frac{1}{2}$ dari ketinggian lereng (H) dengan kelandaian kemiringan permukaan lereng (β) sebesar 10° dan 20° serta ketinggian $\frac{1}{4}$ H dengan β sebesar 10° , 20° dan 30° dapat meningkatkan stabilitas lereng hingga berada pada nilai faktor keamanan yang relatif stabil, sehingga tepat digunakan untuk mengatasi kelongsoran. DPT dengan ketinggian $\frac{1}{2}$ H dan β sebesar 20° merupakan variasi paling tepat untuk digunakan sebagai perkuatan lereng dengan nilai SF sebesar 5,51.

2.5 Pengaruh Matras Bambu Terhadap Stabilitas lereng

Dalam penelitian yang dilakukan Ready dan Nurtjahjaningtyas pada tahun 2020 penelitian yang dilakukan kestabilan lereng timbunan di atas tanah lunak dengan permodelan *hardening soil* dan perkuatan matras bambu akibat beban dinamis, tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah matras cerucuk bambu mengatasi perbedaan penurunan pada timbunan di atas tanah lunak, sistem cerucuk matras bambu dapat meningkatkan angka keamanan timbunan, dan Analisa menggunakan teori *hardening soil model*. Hasil dari penelitian yang dilakukan penggunaan sistem cerucuk matras bambu dapat meningkatkan angka keamanan timbunan yaitu 2,10, dimana angka keamanan minimum yang di rekomendasikan SNI 8460-2017 sebesar 1,5. Analisa perhitungan menggunakan teori *hardening soil model* lebih relevan dan identik dengan kondisi aktual.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Swanandhia dkk pada tahun 2023, dilakukan analisis daya dukung tanah menggunakan matras bamboo terhadap beban struktur atas pada proyek jalan tol Semarang – Demak seksi 1. Penelitian ini bertujuan membandingkan faktor keamanan sebelum dan sesudah diberi perkuatan

matras bambu terhadap konstruksi di atasnya pada seksi 1. Analisis pada penelitian ini menggunakan aplikasi *Plaxis* 8.6 pada struktur bawah dan manual desain perkerasan pada struktur atas. Pada struktur atas menggunakan perkerasan kaku tanpa tulangan dengan tebal pelat beton 305 mm, lapis pondasi LMC 100 mm dan lapis drainase 150 mm. Tulangan yang digunakan jenis dowel dengan jarak sambungan 6 m, diameter ruji 25 mm, panjang ruji 45 cm dan jarak antar ruji 50 cm. Perhitungan analisis tanah sebelum menggunakan matras bambu mengalami keruntuhan sejak timbunan 1 dengan angka *safety factor* 0,4008 pada timbunan 1, 0,4251 pada timbunan 2 dan 0,4251 pada *safety factor* setelah dilakukan pembebanan. Berdasarkan hasil perhitungan analisis tanah menggunakan matras bambu dan cerucuk bambu menghasilkan *safety factor* pada timbunan 1 sebesar 2,5938, pada timbunan 2 sebesar 1,9352, setelah dilakukan pembebanan sebesar 1,7492. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan matras bambu dan cerucuk bambu ini cukup efektif untuk mendukung daya dukung tanah terhadap beban struktur di atasnya.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Bahri pada tahun 2021, dilakukan analisis pengujian perkuatan matras cerucuk bambu untuk timbunan badan jalan di atas tanah lunak (studi kasus : proyek jalan frontage Juanda Sidoarjo), penelitian bertujuan mengetahui perhitungan nilai faktor keamanan stabilitas timbunan di atas tanah lunak dengan beban luar atau beban merata yang dianalisis dengan program *Plaxis* v8.6. , serta menunjukkan pengaruh penggunaan matras cerucuk bambu terhadap penguatan stabilitas timbunan badan jalan frontage di atas tanah lunak di lokasi Juanda Sidoarjo. Hasil penelitian yang dilakukan Metode elemen hingga analisis didapatkan nilai SF (*safety factor*) menggunakan perkuatan tanah dengan matras cerucuk bambu sebesar 2.0734 (Memenuhi Syarat Minimum). Dimana (SNI 8460-2017) mensyaratkan nilai SF (*safety factor*) minimum dengan penambahan beban yakni sebesar $SF > 1.5$. Maka perkuatan daya dukung tanah menggunakan matras cerucuk bambu sangat berpengaruh pada perkuatan daya dukung tanah.

2.6 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Geotekstil

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Pradhana pada tahun 2018, dilakukan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan perkuatan geotekstil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai keamanan (*Safety factor, SF*) pada kondisi lereng sebelum gempa dan lereng dalam kondisi eksisting dengan variasi beban merata, variasi muka air, serta dianalisis menggunakan program Geoslope dengan metode Fellenius. Hasil analisis menggunakan program Geoslope dengan metode Fellenius menunjukkan bahwa pada kondisi lereng sebelum longsor, diperoleh SF lereng setelah longsor dengan variasi beban vertikal 1 dan beban beban 2 adalah 1,055 dan 1,040. Karena $SF \leq 1,07$, maka dapat disimpulkan bahwa lereng tersebut dalam keadaan labil. Demikian pula, pada variasi muka air tanah 1 dan muka air tanah 2 diperoleh SF sebesar 1,039 dan 0,981. Karena $SF \leq 1,07$, lereng juga dikategorikan dalam keadaan labil. Untuk kondisi gempa, diperoleh SF sebesar 0,861, yang juga menunjukkan bahwa lereng dalam keadaan labil. Selanjutnya, berdasarkan analisis menggunakan program Geoslope pada lereng setelah longsor, diperoleh SF dengan variasi beban 1 dan beban 2 sebesar 1,293 dan 1,284. Karena $SF \geq 1,25$, dapat disimpulkan bahwa longsor jarang terjadi pada lereng tersebut. Pada variasi muka air tanah 1 dan muka air tanah 2, diperoleh SF sebesar 1,207 dan 1,089. Karena SF berada dalam rentang antara 1,07 hingga 1,25, maka lereng dalam keadaan kritis. Namun, pada kondisi gempa, diperoleh SF sebesar 0,956, yang menunjukkan bahwa lereng tetap dalam keadaan labil. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa lereng dalam kondisi eksisting dengan perkuatan geotekstil memiliki keamanan yang belum memenuhi kriteria keamanan ($SF \leq 1,07$). Namun, pada lereng setelah longsor, beberapa variasi menunjukkan keamanan yang lebih baik dengan $SF \geq 1,25$, menandakan bahwa longsor jarang terjadi.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Kafikanda pada tahun 2019, dilakukan analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan geotekstil dengan program GEOSLOPE. Penelitian ini dilakukan pada studi kasus di Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta.1+975. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui nilai keamanan (*Safety factor, SF*) pada lereng dengan adanya perkuatan geotekstil. Berdasarkan hasil analisis menggunakan program SLOPE/W, diperoleh nilai SF

sebesar 1,159. Karena nilai SF tersebut kurang dari 1,5, dapat disimpulkan bahwa kondisi lereng tanpa perkuatan tidak aman. Selanjutnya, menggunakan metode Fellenius dan perhitungan manual pada kondisi asli tanah timbunan, diperoleh nilai SF sebesar 0,95. Hal ini juga menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi tanpa perkuatan tidak memenuhi kriteria keamanan. Namun, setelah dilakukan analisis dengan menggunakan program SLOPE/W pada lereng yang diperkuat dengan geotekstil, diperoleh nilai SF sebesar 1,681. Nilai ini menunjukkan bahwa setelah dilakukan perkuatan geotekstil, keamanan meningkat dan lereng menjadi lebih stabil. Selain itu, pada zona 3 dan zona 2, diperoleh nilai SF sebesar 2,128 dan dengan adanya beban gempa diperoleh nilai SF sebesar 1,511. Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan geotekstil pada zona tersebut dapat meningkatkan keamanan dan membuat lereng menjadi lebih stabil. Dengan demikian, berdasarkan hasil perhitungan menggunakan perangkat lunak, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya perkuatan geotekstil, keamanan lereng meningkat dan lereng tersebut dapat dikategorikan dalam kondisi yang aman.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Arsy pada tahun 2018, dilakukan analisis stabilitas timbunan pada konstruksi badan jalan dengan perkuatan geotekstil menggunakan metode Fellenius. Penelitian ini dilakukan pada proyek Jalan Tol Solo – Kertasono STA 4+175. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil analisis stabilitas timbunan pada badan jalan tanpa menggunakan geotekstil, serta efek dari penggunaan perkuatan geotekstil dengan memperhatikan geotekstil, jarak antar geotekstil, dan sudut kemiringan lereng terhadap keamanan. Berdasarkan hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan tanpa menggunakan perkuatan dengan metode Fellenius secara perhitungan manual, diperoleh nilai keamanan sebesar 1,786. Ini menunjukkan bahwa tanpa adanya perkuatan, timbunan pada badan jalan tersebut belum memenuhi kriteria keamanan yang diinginkan. Namun, setelah dilakukan analisis stabilitas timbunan dengan menggunakan perkuatan geotekstil, diperoleh hasil keamanan yang lebih tinggi. Pada variasi geotekstil pertama, kedua, dan ketiga dengan masing-masing 10m, 13m, dan 15m, diperoleh nilai keamanan secara berturut-turut sebesar 2,339, 2,347, dan 2,375. Selanjutnya, pada variasi jarak antar geotekstil pertama, kedua, dan

ketiga dengan jarak masing-masing 0,3m, 0,4m, dan 0,6m, diperoleh nilai keamanan secara berturut-turut sebesar 2,646, 2,347, dan 2,059. Selain itu, pada variasi sudut kemiringan lereng pertama, kedua, dan ketiga dengan sudut masing-masing 19°, 25°, dan 29°, diperoleh nilai keamanan secara berturut-turut sebesar 2,440, 2,347, dan 2,355. Dari hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin geotekstil yang digunakan, semakin rapat atau semakin kecil jarak antar geotekstil, dan semakin kecil sudut kemiringan lereng, maka semakin besar nilai keamanan yang dihasilkan. Dengan demikian, penggunaan perkuatan geotekstil pada timbunan badan jalan dapat meningkatkan kestabilan dan keamanan struktur tersebut.

2.7 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Perbandingan penelitian ini dilakukan untuk mencegah kesamaan atau plagiasi dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh pihak lain. Untuk mengetahui perbedaan pada penelitian yang ada, dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

2.8 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti Terdahulu					
	Sutiyono (2017)	Pradhana (2018)	Hediyanto (2019)	Ariansyah dkk (2022)	Ready dan Nurtjahjaningtyas (2020)	Ardiansyah (2023)
Judul Penelitian	analisis stabilitas lereng akibat gempa	analisis stabilitas lereng dengan menggunakan perkuatan geotekstil	analisis stabilitas lereng dengan menggunakan perkuatan dinding kantilever dan <i>sheetpile</i> pada Bantaran Sungai Code	Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Penanganannya Pada Timbunan Oprit Jembatan Labu Sawo Sumbawa	Analysis of slope stability in soft soil using hardening soil modeling and strengthening of bamboo mattress	analisis stabilitas lereng dengan menggunakan software geostudio 2023 pada lereng aliran sungai brantas di wilayah permukiman wringinanom Gresik

Lanjutan Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti Terdahulu					
	Sutiyono (2017)	Pradhana (2018)	Hediyanto (2019)	Ariansyah dkk (2022)	Ready dan Nurtjahjaningtyas (2020)	Ardiansyah (2023)
Tujuan Penelitian	mendapat angka tingkat keamanan dari lereng akibat gempa, memperoleh hubungan antara frekuensi gempa dan factor keamanan lereng, dengan bantuan <i>plaxis</i>	untuk mengetahui nilai keamanan (<i>Safety factor, SF</i>) pada kondisi lereng sebelum gempa dan lereng dalam kondisi eksisting dengan variasi beban merata, variasi muka air, serta dianalisis menggunakan program Geoslope dengan metode Fellenius	mengetahui faktor aman (<i>Safety factor, SF</i>) dari lereng eksisting, perkuatan kantilever, dan perkuatan sheet pile, serta untuk mengetahui pergerakan tanah pada kedua variasi perkuatan tersebut dengan pembanding pada saat terjadi gempa dan tanpa gempa menggunakan program Sigma/w.	Untuk mengetahui kestabilan konstruksi sebelum beroperasi.	matras cerucuk bambu mengatasi perbedaan penurunan pada timbunan di atas tanah lunak, sistem cerucuk matras bambu dapat meningkatkan angka keamanan timbunan, dan Analisa menggunakan teori <i>hardening soil model</i>	cara menganalisa stabilitas lereng dilokasi sekitar permukiman Sungai Brantas Dusun Lebaniwaras, Kecamatan Gresik dengan menggunakan software Geostudio 2023 untuk mengetahui factor lereng

Lanjutan Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti Terdahulu					
	Sutiyono (2017)	Pradhana (2018)	Hediyanto (2019)	Ariansyah dkk (2022)	Ready dan Nurtjahjaningtyas (2020)	Ardiansyah (2023)
Metode Penelitian	pengambilan sampel tanah 124°48'43.0''T diuji sesuai parameter tanah yang dibutuhkan pada program <i>Plaxis</i> v8.2 dengan permodelan Mohr-Coulomb.	dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak Geoslope,	Perhitungan SAP2000, analisis menggunakan program <i>slope w</i>	metode Fellenius dan elemen hingga, (menggunakan software <i>Plaxis</i>)	Metode eksperimen skala penuh dan permodelan numerik	Analisa menggunakan software Geoslope 2023
Hasil Penelitian	Hasil dari analisis stabilitas lereng dengan frekuensi gempa antara 1 Hz sampai dengan 5 Hz menunjukkan SF rata – rata 0,98606 yang berarti lereng	analisis menggunakan program Geoslope dengan metode Fellenius menunjukkan bahwa pada kondisi lereng sebelum longsor, diperoleh SF lereng setelah longsor dengan	hasil penelitian, diperoleh faktor aman (SF) pada lereng eksisting akibatbebensendiri sebesar hasil penelitian, diperoleh faktor aman (SF) pada lereng eksisting akibat beban sendiri sebesar 1,118, dan akibat	hasil penelitian stabilitas lereng pada timbunan oprit jembatan Labu Sawo sumbawa, dapat disimpulkan bahwa besarnya angka keamanan	Hasil dari penelitian yang dilakukan penggunaan sistem cerucuk matras bambu dapat meningkatkan angka keamanan timbunan yaitu 2,10, dimana angka keamanan	Hasil analisa stabbilitas lereng di lereng sekitar permukiman Sungai Brantas Dusun Lebaniwaras, Kecamatan Wringinamon, Kabupaten Gresik,

Lanjutan Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti Terdahulu					
	Sutiyono (2017)	Pradhana (2018)	Hediyanto (2019)	Ariansyah dkk (2022)	Ready dan Nurtjahjaningtyas (2020)	Ardiansyah (2023)
Hasil Penelitian	tidak aman atau bahaya terhadap gempa, Semakin besar frekuensi gempa maka semakin kecil faktor keamanan lereng. Hasil perhitungan manual menggunakan metode irisan konvesional yaitu 0.988 yang hanya berbeda 0.002 dari perhitungan <i>Plaxis</i> menunjukkan lereng, Dari perhitungan manual didapat	variasi beban vertikal 1 dan beban beban 2 adalah 1,055 dan 1,040. Karena $SF \leq 1,07$, maka dapat disimpulkan bahwa lereng tersebut dalam keadaan labil. Demikian pula, pada variasi muka air tanah 1 dan muka air tanah 2 diperoleh SF sebesar 1,039 dan 0,981. Karena $SF \leq 1,07$, lereng juga dikategorikan dalam keadaan labil. Untuk kondisi gempa, diperoleh SF sebesar 0,861, yang juga menunjukkan bahwa	gempa sebesar 0,565. Pada lereng dengan perkuatan kantilever, diperoleh faktor aman (SF) akibat beban sendiri sebesar 2,639, dan akibat gempa sebesar 1,789. Sedangkan pada lereng dengan perkuatan sheet pile kantilever, diperoleh faktor aman (SF) akibat beban sendiri sebesar 2,726, dan akibat gempa sebesar 1,846. Berdasarkan perencanaan perkuatan dengan faktor aman (SF) lebih besar dari 1,5, dapat dikatakan bahwa	lereng timbunan oprit pada kondisi eksisting berdasarkan hasil perhitungan manual adalah 0,95 dan sebesar 0,99 dengan program <i>Plaxis</i> . Berdasarkan kondisi tersebut perlu perkuatan	minimum yang di rekomendasikan SNI 8460-2017 sebesar 1,5. Analisa perhitungan menggunakan teori <i>hardening soil</i> model lebih relevan dan identik dengan kondisi aktual.	Diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,187 yang berarti lereng tersebut dalam kondisi kritis atau rawan longsor

Lanjutan Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti Terdahulu					
	Sutiyono (2017)	Pradhana (2018)	Hediyanto (2019)	Ariansyah dkk (2022)	Ready dan Nurtjahjaningtyas (2020)	Ardiansyah (2023)
Hasil Penelitian	bahwa semakin besar nilai Kh maka, semakin kecil faktor keamanannya.	lereng dalam keadaan labil. Selanjutnya, berdasarkan analisis menggunakan program Geoslope pada lereng setelah longsor, diperoleh SF 1,293 dan 1,284. Karena $SF \geq 1,25$, dapat disimpulkan bahwa longsor jarang terjadi pada lereng tersebut. Pada variasi variasi muka air tanah 1 dan muka air tanah 2, diperoleh SF sebesar 1,207 dan 1,089 Karena SF berada dalam rentang antara 1,07 hingga 1,25 maka lereng dalam keadaan	lereng tersebut stabil. Selain itu, diperoleh hasil pergerakan tanah terbesar pada perkuatan kantilever pada kondisi tanpa gempa (non-gempa) pada potongan A-A sebesar 0,7 m, potongan B-B sebesar 1,01 m, dan potongan C-C sebesar 0,1 m. Se pada perkuatan sheet pile, diperoleh hasil pergerakan tanah terbesar pada kondisi non – gempa pada potongan A-A sebesar 0,44 m, potongan B-B sebesar 1,03 m, dan potongan C-C sebesar 0,088 m Dengan demikian, berdasarkan hasil penelitian tersebut,	lereng timbunan oprit pada kondisi eksisting berdasarkan hasil perhitungan manual adalah 0,95 dan dengan program <i>Plaxis</i> . Berdasarkan kondisi tersebut perlu perkuatan.		

Lanjutan Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti Terdahulu					
	Sutiyono (2017)	Pradhana (2018)	Hediyanto (2019)	Ariansyah dkk (2022)	Ready dan Nurtjahjaningtyas (2020)	Ardiansyah (2023)
Hasil Penelitian		kritis. Namun pada kondisi gempa, diperoleh SF sebesar 0,956 yang menunjukkan bahwa lereng tetap dalam 1,293 dan 1,284. Karena $SF \geq$ tersebut dapat disimpulkan bahwa lereng dalam kondisi eksisting dengan perkuatan geotekstil memiliki keamanan yang belum memenuhi keamanan ($SF \leq 1,07$). Namun, pada lereng setelah longsor, beberapa variasi menunjukkan keamanan yang lebih baik dengan $SF \geq 1,25$, menandakan bahwa longsor jarang terjadi	perkuatan kantilever dan perkuatan sheet pile pada Bantaran Sungai Code mampu meningkatkan faktor aman (SF) dan mengurangi pergerakan tanah pada lereng			

Sumber : Sutiyono (2017), Pradhana (2018), Ariansyah dkk (2022), Ready dan Nurtjahjaningtyas (2020), Ardiansyah (2023)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah didefinisikan sebagai kumpulan mineral, bahan, dan endapan yang longgar yang terletak di atas batuan dasar. Ikatan antara partikel tanah biasanya lemah dan dapat disebabkan oleh karbonat, zat, atau oksida yang mengendap di antara partikel-partikel tersebut. Ruang antara partikel-partikel tanah dapat berisi air, udara, atau keduanya. Proses pelapukan batuan yang terjadi di dekat permukaan bumi merupakan utama dalam pembentukan tanah. Pembentukan tanah dapat melibatkan proses fisik dan kimia. Proses fisik mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, yang dapat terjadi melalui erosi, angin, air, es, atau manusia. Partikel-partikel tanah ini dapat memiliki berbagai bentuk, seperti bulat, bergerigi, dan lainnya. Pelapukan yang terjadi melalui proses kimia dapat disebabkan oleh interaksi dengan oksigen, karbondioksida, air (terutama jika mengandung asam atau alkali), dan reaksi kimia lainnya. Tanah dapat menjadi “tanah residual” jika pelapukan terjadi di tempatnya dan tanah tetap berada di lokasi tersebut. Namun, jika tanah dipindahkan dari tempat asalnya ke lokasi baru, tanah tersebut disebut “tanah terangkat” atau “*transported soil*” dalam literatur sipil. Pemahaman tentang sifat dan karakteristik tanah sangat penting dalam rekayasa sipil, termasuk dalam perencanaan dan desain struktur seperti pondasi, jalan, dan bangunan. Sifat tanah seperti kekuatan, permeabilitas, dan kestabilannya mempengaruhi performa dan keselamatan struktur yang didukung oleh tanah tersebut (Hardiyatmo, 2010).

3.1.1 Klasifikasi Tanah

Ketika merencanakan struktur sebuah bangunan, jalan raya, atau proyek serupa, pertama yang perlu dilakukan adalah melakukan pemeriksaan kondisi tanah. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah tanah tersebut sesuai

dengan klasifikasi yang telah ditentukan. Klasifikasi tanah adalah pengelompokan sistematis dari jenis-jenis tanah yang memiliki sifat-sifat serupa dalam kelompok dan subkelompok yang sesuai dengan penggunaannya (Das, 1998).

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu yang mengatur beberapa jenis tanah yang berbeda namun memiliki sifat serupa menjadi kelompok dan subkelompok berdasarkan penggunaannya. Sistem klasifikasi tanah sangat membantu dalam perancangan karena memberikan arahan melalui metode empiris yang didasarkan pada pengalaman masa lalu. Sebagian besar klasifikasi tanah telah berkembang dan bertujuan untuk mengarahkan rekayasa berdasarkan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana, seperti distribusi ukuran dan keplastisannya.

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

1. Klasifikasi Tanah Sistem USCS (*Unified Soil Classification System*): Dalam USCS, tanah diklasifikasikan sebagai tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% melewati saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika lebih dari 50% melewati saringan nomor 200. Tabel 3.1 berikut ini menampilkan klasifikasi tanah berdasarkan USCS.

Tabel 3.1. Sistem klasifikasi tanah USCS

Prosedur Klasifikasi		Symbol	Nama Jenis	Identifikasi Lab		
Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 200 / ϕ 0.075 mm)	Kerikil (lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 4 / ϕ 4.75 mm)	Kerikil Murni (Tanpa – sedikit butir halus)	GW	Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa / tak ada butiran halus	CU = $D_{60}/D_{10} = 1 - 4$ CC = $D_{30}^2/D_{10} = 1-3$	
		Kerikil Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butiran halus)	GP	Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butira halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW	
			GM	Kerikil berlanau, kerikil mengandung mengandung pasir – lanau bergradasi buruk	Indek Plastisitas kurang dari 7	
			GC	Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	Indek Plastisitas lebih dari 7	
	Pasir (lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 4 / ϕ 4.75 mm)	Pasir Bersih (Tanpa / sedikit butiran halus)	SW	Pasir bergradasi baik, Pasir dengan sedikit pasir tanpa butiran halus	CU = $D_{60}/D_{10} \geq 6$ CC = $D_{30}^2/D_{10} = 1-3$	
			SP	Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC SW	
		Pasir Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butiran halus)	SM	Pasir berlanau, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk	Indeks Plastisitas lebih dari 7 Rasio indeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25	
			SC	Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk	Indeks plastisitas lebih dari 7 Rasio indeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25	

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

2. Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO

Sistem klasifikasi tanah AASHTO diperkenalkan awalnya oleh Hoentogler dan Tarzaghi, yang kemudian diadopsi oleh *Bureau Of Public Roads*. Sistem ini mengklasifikasikan tanah berdasarkan kriteria ukuran butiran dan plastisitas. Untuk melakukan klasifikasi tanah dengan sistem ini, diperlukan pengujian analisis saringan.

Sistem klasifikasi tanah AASHTO membagi tanah menjadi 8 kelompok yang diberi nama dari A-1 hingga A-8. Pada revisi terakhir oleh sistem AASHTO, tanah organik yang tidak stabil sebagai lapisan struktur jalan diberi nama A-8, namun pada revisi terbaru dapat diabaikan. Klasifikasi tanah berdasarkan sistem AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2. Sistem klasifikasi tanah USCS

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

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

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

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

3.2 Parameter Fisik Tanah dan Batuan

Dalam analisis stabilitas lereng, terdapat beberapa input parameter tanah seperti: berat volume, kuat geser yakni kohesi dan sudut gesek internal, modulus elastisitas, koefisien permeabilitas, sudut dilatasi, dan *Poisson ratio*.

3.2.1 Berat Volume Tanah

Berat volume tanah dibagi atas tiga kondisi, yaitu berat volume tanah jenuh (γ_{sat}), berat volume tanah basah (γ_b) dan berat volume tanah kering (γ_d). Berat volume tanah jenuh (γ_{sat}) adalah perbandingan antar berat butiran tanah ditambah air (rongga udara terisi sepenuhnya oleh air) dengan volume total tanah. Berat volume tanah jenuh dapat dihitung dengan Persamaan (3.1)

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

Berat volume tanah basah (γ_b) adalah perbandingan antar berat butiran tanah (termasuk air dan udara) dengan volume total tanah. Berat volume tanah basah dapat dihitung dengan Persamaan (3.2)

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

Berat volume tanah kering (γ_d) adalah perbandingan antara berat butiran tanah padat dengan volume total tanah. Berat volume tanah kering dapat dihitung dengan Persamaan (3.3)

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

Dengan,

γ_{sat} = berat volume tanah jenuh (kN/m^3),

γ_b = berat volume tanah basah (kN/m^3),

γ_d = berat volume tanah kering (kN/m^3),

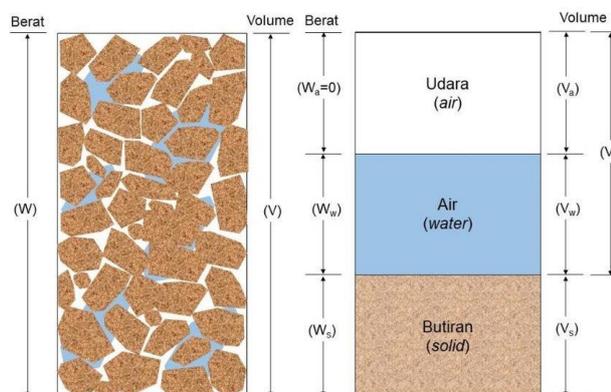
W_{sat} = berat butiran tanah jenuh (kN),

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

W_s = berat butiran tanah padat (kN),

V = volume total tanah (m^3)

Menurut Hardiyatmo (2012), segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Pada tanah kering, terdapat dua bagian, yaitu butiran-butiran tanah dan pori udara. Pada tanah yang jenuh, terdapat dua bagian pula, yaitu bagian padat (butiran) dan air pori. Pada keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori udara, dan air pori. Bagian-bagian tanah ini dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1, yang menunjukkan elemen tanah dengan volume (V) dan berat total (W).



Gambar 3.1. Diagram fase tanah
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

3.2.2 Kuat Geser Tanah

Hardiyatmo (2012) menjelaskan kuat geser tanah adalah perlawanan butiran-butiran tanah terhadap gaya tarikan atau desakan. Pengertian ini didasarkan, apabila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan antar butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Mohr (1990) dalam Das (2010) menyatakan bahwa keruntuhan material terjadi karena kombinasi kritis antara tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser dapat dinyatakan dengan Persamaan (3.4)

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

Selubung kegagalan yang ditentukan Persamaan (3.4) merupakan garis lengkung yang terlihat pada Gambar 3.2. Permasalahan umum dalam mekanika tanah dapat didekati dengan garis linear (Coloumb, 1776 dalam Das, 2010). Fungsi linear ini dinyatakan dengan Persamaan 3.5.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (3.5)$$

Dengan,

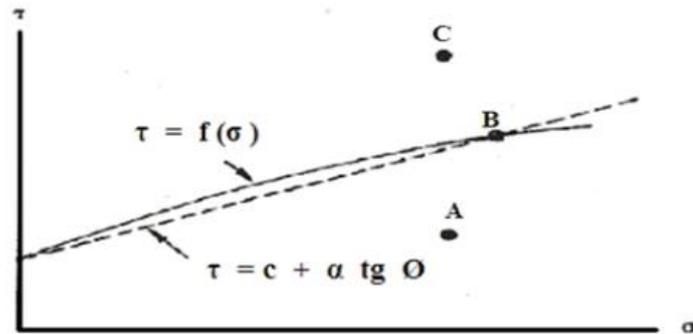
τ = tegangan geser (kN/m²)

c = kohesi tanah (kN/m²)

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

ϕ = sudut gesek internal (°)

Apabila nilai tegangan yang terjadi baru mencapai titik A, maka keruntuhan akibat geser tidak akan terjadi. Jika nilai tegangan telah mencapai titik B, maka keruntuhan akan terjadi karena tepat terletak pada garis selubung kegagalan. Kedudukan titik C tidak akan pernah terjadi sebab sebelum tegangan mencapai titik C, bahan telah mengalami keruntuhan.



Gambar 3.2. Diagram fase tanah (Hardiyatmo, 2010)

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Pada Persamaan (3.5), pengaruh air tanah tidak diperhitungkan. Apabila tekanan air pori diperhitungkan, maka tegangan normal (σ) berubah menjadi tegangan efektif. Terzaghi (1995 dalam Hardiyatmo, 2012) mengubah persamaan Mohr-Coulomb dalam kondisi tegangan efektif dinyatakan dengan Persamaan (3.6) sehingga didapatkan Persamaan (3.7).

$$\tau = c + (\sigma - u) \tan \phi \quad (3.6)$$

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

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi \quad (3.7)$$

Dengan,

τ = tegangan geser efektif (kN/m²)

c' = kohesi tanah efektif (kN/m²)

σ' = tegangan normal efektif (kN/m²)

ϕ' = sudut gesek internal efektif (°)

3.2.3 Modulus Elastisitas Tanah (E)

Modulus elastisitas tanah (E) merupakan perbandingan tegangan (σ) dengan regangan (ϵ) yang terjadi pada tanah. Menurut Bowles (1997), rentang modulus elastisitas dapat didekati seperti Tabel 3.3, sedangkan menurut Das (2010) nilai representative modulus elastisitas dapat didekati seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.3. Modulus elastisitas tanah menurut Bowles (1997)

Jenis Tanah	E (kN/m ²)	Jenis Tanah	E (kN/m ²)
Lempung		Pasir	
Lunak	2.000 – 15.000	Berlanau	5.000 – 20.000
Sangat lunak	5.000 – 25.000	Tidak padat	10.000 – 25.000
Sedang	15.000 – 50.000	Padat	50.000 – 81.000
Keras	50.000 – 100.000	Pasir dan Kerikil	
Berpasir	25.000 – 250.000	Padat	100.000 – 200.000
Loess	15.000 – 60.000	Tidak padat	50.000 – 150.000
Lanau	2.000 – 20.000	Cadas	140.000 – 1.400.000

(Sumber: Bowles, 1997)

Tabel 3.4. Modulus elastisitas tanah menurut Das (2010)

Jenis tanah	E (kN/m ²)
Lempung lunak	1.800 – 3.500
Lempung keras	6.000 – 14.000
Pasir lepas	10.000 – 28.000
Pasir padat	35.000 – 70.000

(Sumber: Das, 2010)

3.2.4 Koefisien Permeabilitas (k)

Koefisien permeabilitas tanah bergantung pada beberapa faktor seperti: jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa, serta bentuk geometri rongga pori, kekasaran partikel mineral, dan derajat kejenuhan. Temperatur juga mempengaruhi karena dapat mengubah nilai kekentalan dan tegangan permukaan. Pada tanah lempung, struktur memainkan peranan penting dalam permeabilitas tanah. Faktor-faktor utama lainnya adalah konsentrasi ion dan tebal lapisan air yang menahan partikel-partikel lempung (Das, 2010). Nilai koefisien permeabilitas (k) bervariasi untuk tanah yang berbeda. Das (2010) memberikan beberapa nilai khusus untuk tanah jenuh seperti tertera pada Tabel 3.5. Nilai koefisien tanah tak jenuh lebih rendah namun meningkat cepat dengan penambahan derajat kejenuhan.

Tabel 3.5. Modulus elastisitas tanah

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

(Sumber: Das, 2010)

3.2.5 Sudut Dilatasi (ψ)

Sudut dilatasi (ψ) tanah tergantung pada berat volume tanah dan sudut gesek internal tanah. Pada umumnya, tanah lempung dan tanah dengan sudut gesek $<30^\circ$ memiliki sudut dilatasi sebesar 0° , sedangkan untuk tanah dengan sudut gesek $>30^\circ$ dapat didekati dengan sudut dilatasi pada quartz sand soil sebesar $= \phi - 30^\circ$ (Bolton, 1986 dalam Bnuarean, 2017)

3.2.6 Poisson Ratio (μ)

Poisson ratio (μ) merupakan perbandingan antara tekanan aksial dengan regangan ekspansi lateral. Nilai *poisson ratio* dapat didekati seperti Tabel 3.6 (Bowles, 1997), sedangkan menurut Das (2010) nilai representative *poisson ratio* dapat didekati seperti Tabel 3.7.

Tabel 3.6. Nilai atau rentang nilai *poisson ratio*

Jenis tanah	Poisson ratio (μ)
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tidak jenuh	0,10 – 0,30
Lempung kepasiran	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir	0,10 – 1,00
Granuler, sedang – padat	0,30 – 0,40
Granuler, lepas – sedang	0,20 – 0,35
Pasir berkerikil	0,30 – 0,40
Batuan	0,10 – 0,30
Loess	0,10 – 0,30

(Sumber: Bowles, 1997)

Tabel 3.7. Nilai *poisson ratio*

Jenis tanah	Poisson ratio (μ)
Pasir lepas	0,20 – 0,40
Pasir sedang	0,25 – 0,40
Pasir padat	0,30 – 0,45
Pasir kelanauan	0,20 – 0,40
Lempung lunak	0,15 – 0,25
Lempung sedang	0,20 – 0,50

(Sumber: Das, 2010)

3.3 Lereng

Lereng adalah suatu area tanah yang condong dan membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal. Lereng atau talud bisa terbentuk secara alami melalui proses geologi, atau manusia dapat menciptakannya dengan maksud tertentu. Ketika ada dua permukaan tanah dengan ketinggian yang berbeda, gaya-gaya akan bekerja untuk mendorong tanah yang lebih tinggi agar bergerak ke bawah. Gaya ini disebut gaya potensial gravitasi, yang dapat menyebabkan terjadinya longsor.

3.3.1 Kegagalan Lereng

Komponen gravitasi cenderung menggerakkan tanah ke bawah terutama pada permukaan tanah yang miring. Kegagalan lereng akan terjadi apabila komponen gravitasi terlampaui besar sehingga perlawanan geser tanah pada bidang longsornya terlampaui (Hardiyatmo, 2018). Kegagalan lereng sangat bergantung pada jenis gerakan dan jenis material yang terlibat. Jenis gerakan dalam kegagalan lereng dapat dilihat pada Tabel 3.8. sebagai berikut.

Tabel 3.8. Sistem Klasifikasi Pergerakan Lereng

Jenis Gerakan	Material Terlibat	
	Batuan	Tanah
Jatuhan (<i>fall</i>)	Jatuhan batuan/es	Jatuhan debris/lanau
Jungkiran (<i>topple</i>)	Jungkiran blok batuan Jungkiran lentur batuan	Jungkiran Kerikil/pasir/lanau

Lanjutan tabel 3.8. Sistem Klasifikasi Pergerakan Lereng

Longsoran (<i>slide</i>)	Longsoran rotsional batuan Longsoran planar batuan Longsoran baji (<i>wedge</i>) batuan Longsoran gabungan batuan Longsoran orregular batuan	Longsoran rotsional lempung/lanau Longsoran planar lempung/lanau Longsoran kerikil/pasir/debris Longsoran gabungan lempung/lanau
Sebaran (<i>spreas</i>)	Sebaran lereng batuan	Sebarang likuifasi pasir/lanau Sebaran lempung sensitif
Aliran (<i>flow</i>)	Aliran salju/es/batuan	Aliran kering pasir/lanau/debris Aliran samping (<i>flowside</i>) pasir/lanau/debris Aliran samping lempung sensitif Aliran debris Aliran lumpur Banjir debris Aliran salju/debris Aliran tanah Aliran gambut
Deformasi lereng	Deformasi lereng gunung Deformasi lereng batuan	Deformasi lereng tanah Rayapan tanah Solifluksi

(Sumber: Vermes, 1978)

Pada batuan biasanya terjadi runtuh dan longsor translasi, yang melibatkan satu atau lebih fissility (bidang lemah yang mudah terpisah). Pada tanah yang memiliki sifat lebih homogen dan bidang lemah yang jarang, biasanya terjadi longsor rotasi atau aliran tanah. Umumnya pada kejadian pergerakan lereng yang massif akan melibatkan lebih dari satu jenis gerakan.

3.3.2 Longsor

BNPB (2021) memberikan definisi tanah longsor sebagai salah satu jenis gerakan massa tanah atau batuan, ataupun percampuran keduanya yang menuruni atau keluar lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun

lereng. Broms (1997) mengklasifikasikan longsor berdasarkan kedalamannya yang terdiri dari longsor permukaan, longsor dangkal, longsor dalam dan longsor sangat dalam. Klasifikasi longsor berdasarkan kedalamannya dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9. Klasifikasi Longsor

Tipe	Kedalaman
Longsor permukaan	<1,5 m
Longsor dangkal	1,5-5 m
Longsor dalam	5-20 m
Longsor sangat dalam	>20 m

(Sumber: Broms, 1997, dalam Hardiyatmo, 2012)

Terjadinya longsorsoran diakibatkan oleh pengaruh dalam (*internal effect*) dan pengaruh luar (*external effect*). Pengaruh dalam merupakan pengaruh yang berasal dari massa tanah itu sendiri, misalnya peningkatan tekanan air pori tanah. Sedangkan pengaruh luar merupakan pengaruh yang menyebabkan peningkatan gaya geser tanpa adanya perubahan kuat geser tanah seperti penambahan kemiringan lereng dan kedalaman galian, serta erosi (Terzaghi, 1950 dalam Hardiyatmo, 2018).

Hardiyatmo (2010) menyebutkan bahwa kelongsoran lereng alami dapat terjadi karena beberapa faktor Sebagai berikut ini.

1. Penambahan beban pada lereng
Penambahan beban seperti bangunan baru, peningkatan beban air yang masuk ke pori-pori tanah atau permukaan tanah, dan beban dinamis yang disebabkan oleh tumbuhan yang tertiuip angin dan lain-lain.
2. Penggalian yang mempercaram kemiringan lereng
Penggalian yang dilakukan untuk membuat lereng lebih curam dapat menyebabkan kelongsoran.
3. Penggalian atau pemotongan tanah di kaki lereng
Penggalian atau pemotongan tanah pada bagian bawah lereng dapat mengurangi kestabilan dan menyebabkan kelongsoran.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*)

Perubahan yang cepat dalam posisi muka air seperti pada bendungan atau sungai dapat mempengaruhi kestabilan lereng dan menyebabkan kelongsoran.

5. Gempa bumi

Guncangan yang disebabkan oleh gempa bumi dapat mengganggu kestabilan lereng dan memicu kelongsoran.

6. Kenaikan tekanan tanah lateral oleh air

Tekanan air lateral yang meningkat (misalnya, air yang mengisi retakan) dapat mendorong tanah ke arah lateral dan menyebabkan kelongsoran.

7. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng

Faktor-faktor seperti peningkatan kadar air, peningkatan tekanan air pori, rembesan air dari genangan dalam tanah, dan adanya lempung yang rentan terhadap perubahan volume dapat mengurangi tahanan geser tanah dan menyebabkan kelongsoran.

3.3.3 Pengaruh Kelongsoran

Berdasarkan Hardiyatmo (2010), ada beberapa faktor yang mempengaruhi kelongsoran lereng Sebagai berikut ini.

1. Pengaruh Iklim

Kuat geser tanah dekat permukaan berubah seiring waktu tergantung pada iklim. Beberapa jenis tanah mengembang saat musim hujan dan menyusut saat musim kemarau. Hal ini berdampak pada kuat geser tanah yang lebih rendah pada musim hujan. Oleh karena itu, analisis stabilitas lereng harus memperhitungkan kuat geser tanah terendah, yaitu pada musim hujan atau saat tanah jenuh air.

2. Pengaruh Air

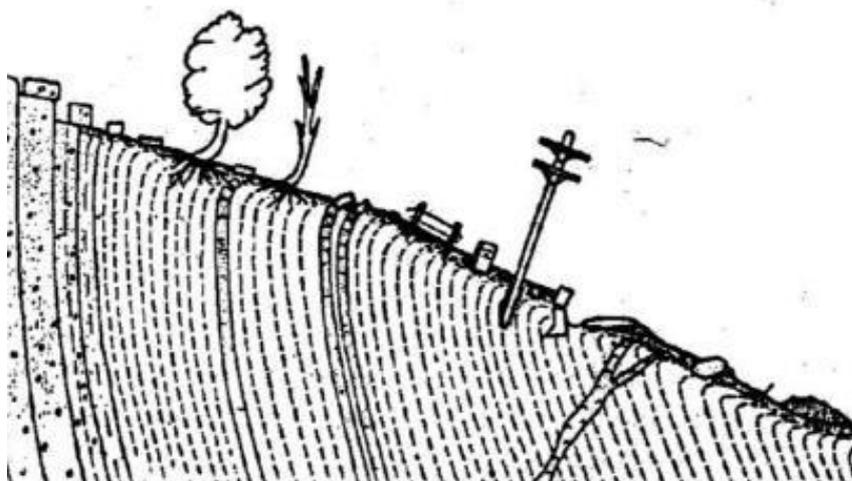
Aliran air atau rembesan air memiliki pengaruh yang signifikan terhadap stabilitas lereng, meskipun sulit diidentifikasi dengan baik. Rembesan air di dalam tanah dapat menyebabkan gaya rembesan yang berpengaruh pada stabilitas lereng.

Erosi permukaan lereng dapat mengakibatkan pengurangan tinggi lereng dan meningkatkan stabilitas, sementara erosi di kaki lereng dapat meningkatkan tinggi lereng dan mengurangi stabilitas.

Penurunan muka air yang tiba-tiba di sekitar lereng, misalnya akibat penurunan muka air di saluran atau sungai, dapat mengurangi gaya angkat air pada tanah dan meningkatkan beban lereng. Kenaikan beban ini dapat menyebabkan peningkatan tegangan geser yang, jika melebihi tahanan geser tanah, dapat menyebabkan kelongsoran lereng. Hal ini sering terjadi pada lereng dengan permeabilitas tanah rendah.

3. Pengaruh Rangkak (*Creep*)

Di dekat permukaan lereng, tanah mengalami siklus kembang-susut. Siklus ini dapat disebabkan oleh perubahan suhu, perubahan dari musim kemarau ke musim hujan, atau pembekuan air di daerah yang dingin. Saat tanah mengembang, lereng mengalami kenaikan karena melawan gaya gravitasi. Saat tanah menyusut, lereng turun karena bantuan gravitasi. Gerakan perlahan ini menyebabkan lereng bergeser ke bawah. Rentang pergerakan dalam zona rangkak bervariasi, mulai dari beberapa sentimeter hingga beberapa meter, tergantung pada sifat tanah dan kondisi iklim. Gerakan lereng akibat rangkak (*creep*) menurut Taylor (1962) ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Tampak Lereng Akibat Pengaruh Rangkak (*Creep*)

(Sumber : Taylor, 1962, dalam hardiyatmo, 2010)

Dalam gambar di atas, rangkai dapat menyebabkan dampak-dampak sebagai berikut.

1. Blok Batuan Bergerak

Rangkai dapat menyebabkan pergerakan blok batuan di lereng, baik secara perlahan atau bahkan dalam bentuk longsoran.

2. Pohon-Pohon Melengkung Ke Atas

Akibat gerakan perlahan dari rangkai, pohon-pohon yang berada di lereng dapat melengkung ke arah atas karena perubahan dalam posisi tanah.

3. Bagian Bawah Lereng Melengkung dan Menarik Batuan

Rangkai dapat menyebabkan bagian bawah lereng melengkung ke dalam dan menarik batuan yang ada di sekitarnya.

4. Bangunan Menara, Monumen, Dan Sebagainya Menjadi Miring

Dalam kasus rangkai yang signifikan, struktur bangunan seperti menara, monumen, atau struktur lainnya yang berada di lereng dapat miring karena pergerakan tanah yang tidak merata.

5. Dinding Penahan Tanah Dan Pondasi Bergerak Dan Retak

Rangkai dapat menyebabkan pergerakan dan retakan pada dinding penahan tanah serta pondasi yang berada di lereng.

6. Jalan Raya dan Jalan Rel Keluar Dari Alurnya

Gerakan tanah akibat rangkai dapat mengakibatkan jalan raya dan jalan rel keluar dari posisi semula, mengganggu lintasan dan kestabilan infrastruktur tersebut.

7. Batu-Batu Besar Menggelinding dan Sebagainya

Gerakan tanah pada lereng yang disebabkan oleh rangkai dapat menyebabkan batu-batu besar bergeser, menggelinding, atau terjatuh dari lereng.

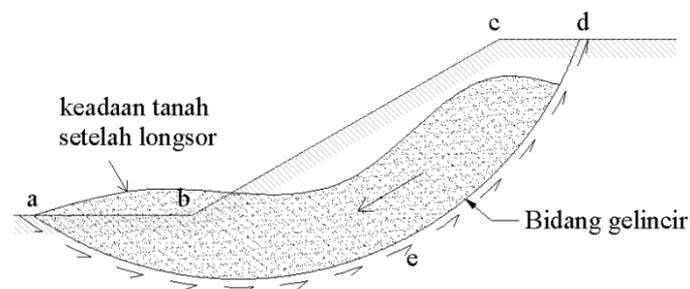
3.3.4 Jenis Longsor

Longsoran adalah pergerakan material yang membentuk lereng yang disebabkan oleh kegagalan geser, terjadi pada satu atau lebih bidang longsor. Massa tanah yang bergerak dapat tetap menyatu atau terpecah-pecah menjadi butiran. Perpindahan total material sebelum terjadinya longsoran tergantung pada regangan

yang terjadi untuk mencapai kuat geser pada puncak longsor dan tebal zona longsor (Hardiyatmo, 2010).

Gerakan tanah dalam bentuk longsor merupakan bencana alam yang sering terjadi dan berbahaya, terutama pada musim hujan. Longsor sering terjadi pada lereng yang curam, tanah yang tidak homogen, dan tanah yang tidak memiliki ikatan antar lapisannya. Faktor lain yang menyebabkan longsor termasuk rembesan air, aktivitas geologi seperti patahan lempeng bumi, rekahan, dan lipatan. Faktor lingkungan seperti bentuk dan kemiringan lereng, kekuatan material, tinggi muka air tanah, dan kondisi drainase juga berperan penting dalam terjadinya longsor (Verhoef, 1985).

Longsor dapat dicegah jika gaya dorong (gaya yang menyebabkan longsor) tidak melebihi gaya perlawanan yang berasal dari tahanan geser tanah sepanjang bidang longsor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 di bawah.



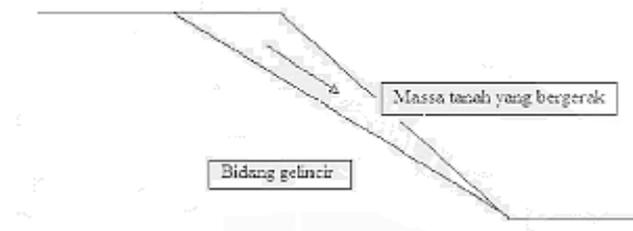
Gambar 3.4. Kelongsoran Lereng
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Menurut Hardiyatmo (2010), longsor yang sering terjadi dapat dibagi menjadi dua jenis:

1. Longsor Translasi

Jenis longsor ini terjadi ketika massa tanah dan batuan bergerak sepanjang bidang gelincir yang cenderung datar atau memiliki kemiringan landai. Gerakan translasi terjadi sepanjang diskontinuitas atau bidang lemah yang sejajar dengan permukaan lereng. Contohnya seperti yang terlihat pada Gambar 3.5. Dalam kondisi tanah lempung, translasi dapat terjadi di sepanjang lapisan tipis pasir atau lanau, terutama jika bidang lemah tersebut sejajar

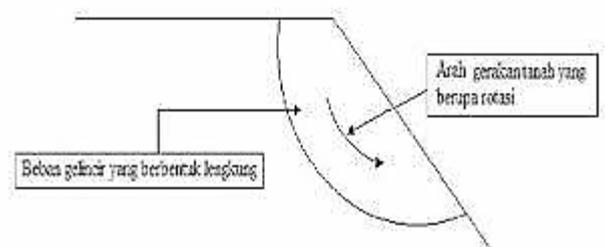
dengan lereng yang ada. Longsoran translasi pada tanah lempung yang mengandung lapisan pasir atau lanau dapat disebabkan oleh tekanan air pori yang tinggi di dalam pasir atau lanau tersebut.



Gambar 3.5. Longsoran Translasi
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

2. Longsoran Rotasi

Jenis longsoran ini terjadi ketika massa tanah dan batuan bergerak sepanjang bidang gelincir yang memiliki bentuk cekung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. Longsoran rotasi biasanya terjadi pada massa tanah yang bergerak sebagai satu kesatuan. Dalam longsoran rotasi, terdapat bidang longsor yang melengkung ke atas. Contohnya, longsoran rotasi murni (*shump*) dapat terjadi pada material yang relatif homogen seperti timbunan buatan, seperti tanggul.



Gambar 3.6. Longsoran Rotasi
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Kedua jenis longsoran ini memiliki karakteristik gerakan yang berbeda tergantung pada bidang gelincir dan sifat massa tanah atau batuan yang terlibat.

3.4 Analisis Stabilisa Lereng

Jika permukaan tanah tidak datar, gaya gravitasi akan cenderung mendorong tanah ke bawah. Jika gaya gravitasi melebihi kemampuan tanah untuk menahan geseran pada bidang lerengnya, maka lereng akan longsor. Analisis stabilitas pada

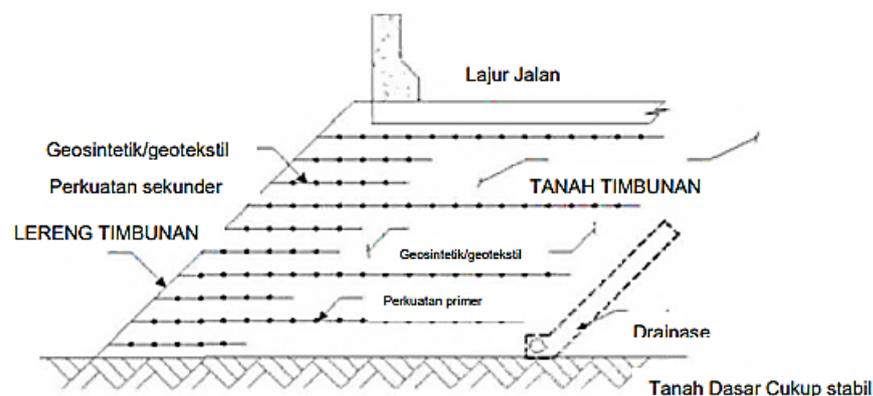
lereng miring disebut analisis stabilitas lereng. Terdapat dua faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng, yaitu pengaruh eksternal yang meningkatkan gaya geser tanpa perubahan dalam kekuatan geser tanah, dan pengaruh internal seperti longsor tanpa adanya perubahan kondisi eksternal atau gempa bumi (Hardiyatmo, 2010).

3.4.1 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Lereng tanah yang diperkuat merupakan suatu bentuk stabilitas dengan kemiringan muka kurang dari 70° dengan menggunakan elemen perkuatan sebidang. Sedangkan struktur tanah yang distabilisasi secara mekanis dengan kemiringan muka 70° sampai dengan 90° diklasifikasikan sebagai dinding penahan tanah (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009).

Fungsi utama dari lereng tanah yang diperkuat adalah Sebagai berikut ini.

1. Meningkatkan stabilitas lereng, terutama jika diinginkan sudut kemiringan lereng lebih besar tetapi tetap aman dibandingkan dengan lereng yang tidak diperkuat, atau setelah terjadinya keruntuhan. Jika drainase yang dipakai adalah pipa berlubang (*perforated pipes*) yang dibungkus dengan material granular dan dihubungkan dengan saluran drainase dari agregat kasar dan dilapisi dengan geotekstil filter (Gambar 3.7). Dapat pula digunakan system geokomposit untuk saluran.

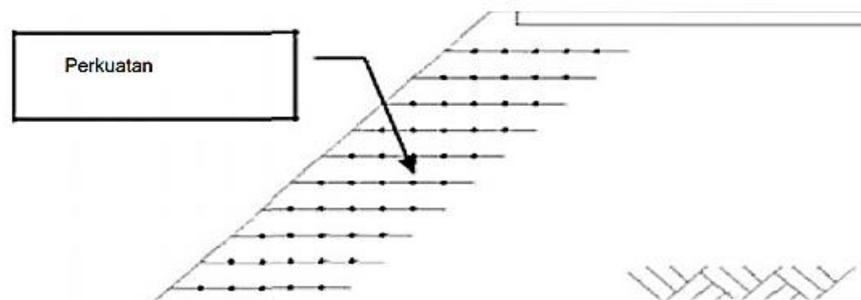


Gambar 3.7. Perkuatan untuk meningkatkan stabilitas lereng

(Sumber: Elias dkk, 2001)

2. Fungsi dari geosintetik yang ditempatkan di tepi lereng timbunan yang dipadatkan adalah untuk memberikan tahanan lateral selama pemadatan

timbunan. Meningkatnya tahanan lateral memungkinkan terjadinya peningkatan kepadatan tanah dan meningkatkan pengurangan (*confinement*) lateral untuk tanah di muka lereng. Perkuatan tepi tersebut juga memungkinkan beroperasinya alat berat secara aman di tepi lereng (Gambar 3.8). Untuk timbunan dengan tanah kohesif, dapat digunakan geosintetik tak teranyam yang sebidang dengan perkuatan sehingga dapat mendisipasi tekanan pori di dalam timbunan yang dipadatkan.



Gambar 3.8. Perkuatan untuk meningkatkan kepadatan di kaki lereng dan stabilitas permukaan lereng

(Sumber: Elias dkk, 2001)

Pada timbunan tanah perlu dilakukan analisis terhadap stabilitas lereng. Hal ini dikarenakan pada suatu permukaan tanah yang miring sering terjadi longsor akibat dari gaya gravitasi yang menggerakkan tanah ke bawah ataupun beban yang bekerja di atas permukaan tanah tersebut. Semua beban tersebut jika melebihi dari kemampuan tahanan geser dari lereng maka akan menyebabkan kelongsoran.

Menurut Hardiyatmo (2010) dalam analisis stabilitas lereng beberapa anggapan dibuat, Sebagai berikut ini.

1. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah 2 dimensi.
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda massif.
3. Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.

4. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsoran. Jadi, kuat geser tanah pada satu titik dapat terlampaui pada bidang longsornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar dari 1.

Analisis stabilitas lereng umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*). Adapun untuk analisis stabilitas lereng dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya dengan analisis stabilitas lereng dengan bidang longsor datar, analisis stabilitas lereng dengan bidang longsor berbentuk lingkaran. Namun metode-metode tersebut hanya dapat digunakan apabila tanah homogen. Apabila kondisi tanah tidak homogen dan aliran rembesan yang terjadi di dalam tanah tidak menentu, metode yang lebih cocok adalah metode irisan (*method of slice*). Beberapa metode yang menggunakan prinsip metode irisan adalah metode Bishop, Janbu dan Morgensten Price.

3.4.2 Konsolidasi

Jika lapisan tanah jenuh yang memiliki permeabilitas rendah terkena beban, tekanan air pori di dalamnya akan segera meningkat. Perbedaan tekanan air pori antara lapisan tanah akan menyebabkan aliran air menuju lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah, yang kemudian dapat menyebabkan penurunan tanah. Karena permeabilitas tanah rendah, proses ini akan memakan waktu. Konsolidasi merupakan suatu proses di mana volume atau rongga pori dari tanah yang jenuh dengan permeabilitas rendah mengalami penyusutan karena tekanan beban, yang dipengaruhi oleh laju keluarnya air pori dari rongga tanah. Besarnya penyusutan dapat diukur dengan memperhatikan titik ketinggian referensi di suatu lokasi tertentu (Hardiyatmo, 2010).

3.4.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Konsolidasi

Secara garis besar penurunan tanah bisa disebabkan oleh beberapa hal antara lain sebagai berikut (Whittaker and Reddish, 1989).

1. Penurunan muka tanah alami (natural subsidence) yang disebabkan oleh proses proses geologi seperti aktivitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya.

2. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air tanah atau minyak bumi.
3. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh adanya beban-beban berat di atasnya seperti struktur bangunan sehingga lapisan-lapisan tanah dibawahnya.

3.4.4 Faktor Aman (*Safety factor*)

Faktor aman (SF) didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya penahan dan gaya pendorong suatu lereng, dinyatakan dalam Persamaan (3.8)

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (3.8)$$

dengan,

SF = faktor aman,

τ = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah (kN/m²)

τ_d = tahanan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m²)

Berdasarkan teori Mohr-Coulomb, tahanan geser maksimum (τ) yang dapat dikerahkan tanah disepanjang bidang longornya dinyatakan dalam Persamaan (3.5), dimana nilai c dan ϕ adalah parameter kuat geser tanah di sepanjang bidang longsor. Tahanan geser yang terjadi (τ_d) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsor dinyatakan pada Persamaan (3.9)

$$\tau_d = c_d + \sigma \tan \phi_d \quad (3.9)$$

Dengan,

τ_d = tegangan geser yang terjadi (kN/m²)

c_d = kohesi tanah bidang gelincir (kN/m²)

σ = tegangan normal (kN/m²)

ϕ_d = sudut gesek internal tanah pada bidang gelincir (°)

Persamaan (3.5) dan (3.9) disubstitusikan ke dalam Persamaan (3.8) sehingga diperoleh Persamaan (3.10)

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} = \frac{c + \sigma \tan \phi}{c_d + \sigma \tan \phi_d} \quad (3.10)$$

Mengacu pada SNI 8460:2017 mengenai Tata Cara Perencanaan Penanggulangan Longsor mengenai angka aman untuk longsor ada beberapa syarat angka aman yang harus diperhatikan seperti pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10. Angka aman menurut SNI 8460:2017

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah ^a	Tinggi ^b
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih
^a Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan. ^a Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan		

(Sumber: SNI 8460:2017)

Keterangan:

- *) Risiko tinggi bila ada konsekuensi terhadap manusia cukup besar (ada pemukiman), dan atau bangunan sangat mahal, dan atau sangat penting. Resiko menengah bila ada konsekuensi terhadap manusia tetap sedikit (bukan pemukiman), dan atau bangunan tidak begitu mahal dan atau tidak. Resiko rendah bila tidak ada konsekuensi terhadap manusia dan terhadap bangunan (sangat murah).
- ***) Kekuatan geser maksimum adalah harga puncak dan dipakai apabila massa tanah/batuan yang berpotensi longsor tidak mempunyai bidang diskontinuitas (pelapisan, retakan/retahan, sesar dan sebagainya), dan belum pernah mengalami gerakan. Kekuatan geser residual (sisa) digunakan apabila massa tanah/batuan yang potensial bergerak mempunyai bidang diskontinuitas dan atau pernah bergerak, walau tidak mempunyai bidang diskontinuitas.

Analisis stabilitas lereng umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas. Adapun parameter dalam analisis stabilitas suatu lereng adalah faktor keamanan (*safety factor*) dari bidang longsor yang berpotensi terjadi kelongsoran. Faktor keamanan suatu lereng dapat dilihat pada Tabel 3.11 dan Tabel 3.12 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng.

Tabel 3.11. 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 3.12. Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor

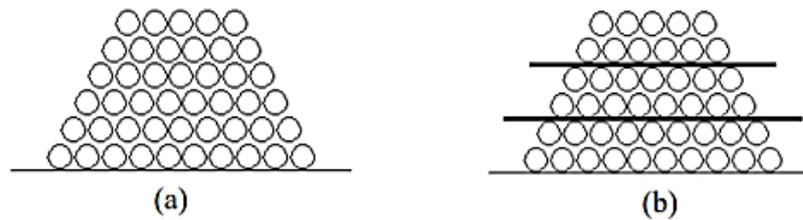
Nilai Faktor Keamanan	Kemungkinan Longsor
$F < 1,07$	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
$1,07 < F < 1,25$	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
$F > 1,25$	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

(Sumber: Bowles, 1989)

3.5 Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil

3.5.1 Perkuatan Tanah

Pada tahun 1966, seorang insinyur dari Prancis bernama Henri Vidal melakukan sebuah penelitian. Hasil penelitiannya menyimpulkan bahwa tumpukan pasir alami dengan sudut kemiringan asli tertentu dapat menjadi stabil dengan sudut kemiringan yang lebih besar jika diberikan material fleksibel yang mampu menahan tarikan di dalam tumpukan pasir tersebut. Perbedaan antara tanah dengan sudut kemiringan asli dan tanah yang telah diperkuat dapat dilihat pada Gambar 3.9 di bawah ini.



Gambar 3.9. (a) Tumpukan Pasir dengan Sudut Lereng Asli (b) Tumpukan Pasir dengan Lereng yang Diperkuat

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Umumnya, tanah di lapangan memiliki sifat yang tidak ideal untuk proyek pembangunan, seperti mudah tertekan, permeabilitas tinggi, dan sifat-sifat lain yang tidak sesuai. Oleh karena itu, tanah tersebut perlu diberi perkuatan. Saat ini, teknik perkuatan tanah telah berkembang dan menggunakan material dengan tingkat fleksibilitas yang relatif tinggi (Purwanto, 2012).

Keruntuhan atau kelongsoran terjadi bukan karena adanya tarikan atau tekanan antar butiran tanah, tetapi disebabkan oleh terguling atau tergelincirnya butiran-butiran tanah. Dengan mengetahui jenis keruntuhan yang terjadi, kita dapat menerapkan perkuatan tanah pada bidang longsor melalui penggunaan material perkuatan tanah, teknik penjangkaran (soil nailing), dan metode lainnya.

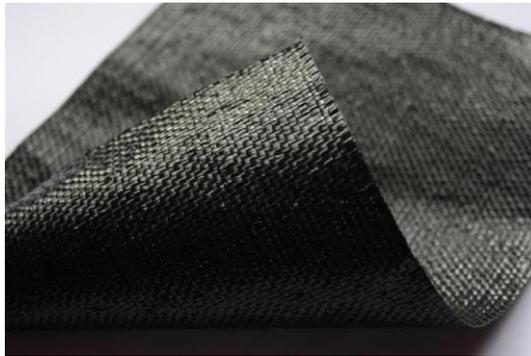
3.5.2 Geotekstil

Geotekstil adalah salah satu jenis geosintetik yang terbuat dari bahan sintetik dan umumnya memiliki sifat permeabel terhadap air. Geotekstil dipasang bersama dengan pondasi, tanah, batuan, atau material geoteknik lainnya. Dalam proses pembuatannya, elemen-elemen pada tekstil digabungkan menjadi struktur lembaran tekstil. Elemen tersebut dapat berupa filamen (serat kontinu) yang berbentuk benang polimer tipis dan panjang, atau serabut-serat (serat stabil) yang berbentuk filamen pendek. Berdasarkan metode pembuatannya, geotekstil dapat dibedakan menjadi dua jenis:

1. Geotekstil anyam (woven)

Geotekstil anyam dibuat dengan cara dianyam seperti yang terlihat pada Gambar 3.10. Jenis geotekstil ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi, sehingga

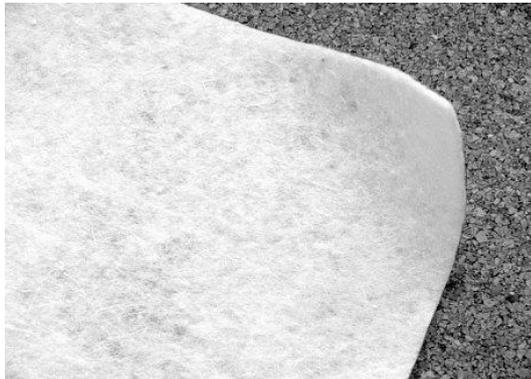
sering digunakan sebagai lapisan perkuatan atau pemisah dalam aplikasinya di lapangan. Sebagai perkuatan, geotekstil anyam berfungsi sebagai tulangan pada tanah. Sementara sebagai pemisah, geotekstil anyam berfungsi untuk memisahkan antara tanah lunak dan tanah keras.



Gambar 3.10. Geotekstil Woven
(Sumber: Isparmo, 2010)

2. Geotekstil nir-anyam (non woven)

Geotekstil nir-anyam dibuat tanpa proses dianyam, melainkan jaringan atau serat-serat pembentukannya dilekatkan satu sama lain dengan menggunakan ikatan atau bahan perekat, seperti yang terlihat pada Gambar 3.11.

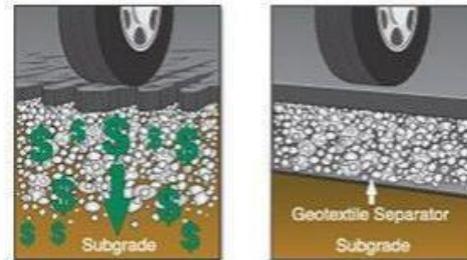


Gambar 3.11. Geotekstil Non Woven
(Sumber: Isparmo, 2010)

Menurut Isparmo (2010), geotekstil memiliki dua fungsi utama, yaitu sebagai bahan pemisah dan sebagai bahan perkuatan geoteknik.

1. Fungsi pemisah

Geotekstil digunakan untuk memisahkan dua jenis material yang berbeda guna mencegah kontaminasi dan pencampuran antara keduanya. Contohnya, dalam konstruksi jalan, geotekstil digunakan sebagai pemisah antara agregat dan lapisan tanah dasar yang memiliki daya dukung yang lemah, seperti yang terlihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12. Geotekstil Sebagai Pemisah (*Separator*)
(Sumber: Isparmo, 2010)

2. Fungsi perkuatan

Tanah memiliki kekuatan untuk menahan tekanan, tetapi lemah dalam menahan tarikan. Geotekstil hadir untuk mengatasi kelemahan tarikan ini. Geotekstil memiliki kemampuan yang kuat dalam menahan tarikan, sehingga dapat digunakan sebagai perkuatan dalam proyek geoteknik. Fungsi geotekstil dalam perkuatan mirip dengan fungsi tulangan dalam beton. Geotekstil dapat diletakkan di bawah tanah timbunan yang dibangun di atas tanah lunak, digunakan dalam pembangunan dinding penahan tanah, serta dapat digunakan untuk perkuatan lapisan perkerasan jalan dan tanah dasarnya, seperti yang terlihat pada Gambar 3.13.



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

Sementara itu, menurut Hardiyatmo (2010), kemampuan tanah dalam menahan tarikan dipengaruhi oleh interaksi antara tanah dan geotekstil. Interaksi ini terjadi melalui gesekan, di mana tanah mentransfer gaya-gaya yang bekerja

padanya ke geotekstil. Nilai interaksi ini dapat diukur melalui uji geser dan uji tarik. Tabel 3.13 berikut menampilkan beberapa nilai interaksi yang diusulkan untuk jenis tanah kohesif dengan geotekstil, beserta asumsi dan jenis bahan yang ditinjau.

Tabel 3.13. Nilai *Interface* Tanah Kohesif dengan Geotekstil

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

3.5.3 Prinsip Kerja Geotekstil

Tegangan geser yang timbul akibat gesekan pada bidang kontak dijelaskan dalam Persamaan 3.11 berikut.

$$\tau = c + \sigma_v \operatorname{tg} \varphi \quad (3.11)$$

Keterangan :

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

c = Kohesi (kN/m²)

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

φ = Sudut gesek antara tanah dan tulangan (°)

Gaya tarik yang akan berpengaruh pada geotekstil dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.12 berikut ini.

$$T_a = \tau \times b \times L \times \operatorname{tg} \varphi \quad (3.12)$$

Keterangan :

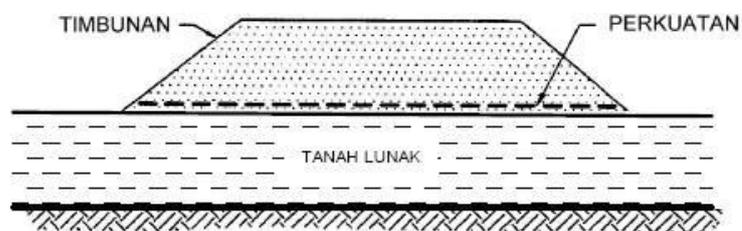
T_a = Gaya tarik pada tulangan (kN/m)

B = Lebar tulangan (m)

L = Panjang tulangan (m)

3.5.4 Perkuatan Menggunakan Geotekstil

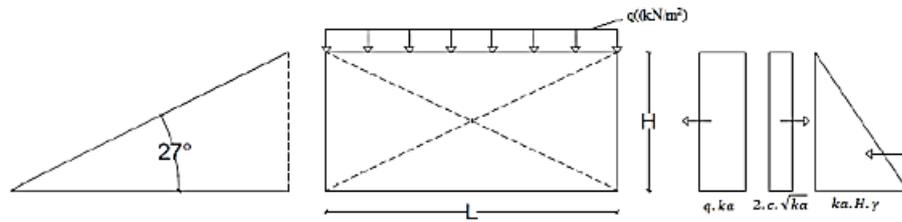
Penggunaan geotekstil dalam perkuatan timbunan memiliki dua fungsi utama yang penting. Pertama, geotekstil berperan sebagai pemisah, memisahkan material yang berbeda agar tidak terjadi pencampuran atau kontaminasi antara keduanya. Selain itu, geotekstil juga berfungsi sebagai tulangan atau perkuatan yang meningkatkan kapasitas dukung tanah dasar dengan membentuk sebuah struktur komposit antara tanah dan geotekstil. Pada timbunan yang dibangun di atas tanah lunak, sering terjadi pergerakan lateral akibat tekanan tanah horizontal yang bekerja pada timbunan tersebut. Tekanan ini menghasilkan tegangan geser di dasar timbunan yang perlu ditahan oleh tanah pondasi yang memiliki kekuatan rendah agar tidak terjadi keruntuhan. Oleh karena itu, geotekstil dengan kekuatan tarik tinggi dapat dipasang di dasar timbunan untuk meningkatkan stabilitas timbunan tersebut, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.14.



Gambar 3.14. Timbunan di Atas Tanah Lunak

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

perkuatan dengan geotekstil memiliki gaya-gaya stabilitas yang perlu diperhitungkan. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan terdiri dari beberapa analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Stabilitas eksternal terdiri dari stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas, dan kapasitas dukung tanah. Stabilitas internal berupa stabilitas terhadap gaya-gaya dan panjang efektif geotekstil. Adapun diagram distribusi tekanan tanah lateral pada lereng dapat dilihat pada Gambar 3.15 berikut ini.



Gambar 3.15. Distribusi Tekanan Tanah Lateral
(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

Jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (S_v) dapat dilakukan dengan Persamaan 3.13 sampai Persamaan 3.16 berikut ini.

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{\varphi}{2}\right)\right) \quad (3.14)$$

$$\sigma_{hc} = q \cdot k_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_a} + k_a \cdot H \cdot \gamma_b \quad (3.15)$$

$$S_v = \frac{T_a}{\sigma_{hc} \cdot SF} \quad (3.16)$$

Keterangan:

K_a = Koefisien tanah aktif.

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

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

S_v = Jarak tulangan arah vertikal (m).

SF = Faktor aman.

γ_b = Berat volume tanah (kN/m^3).

C = Kohesi (kN/m^2).

T_a = Kuat tarik geotekstil *allowable*.

1. Stabilitas Eksternal

a. Stabilitas Terhadap Geser

Faktor aman terhadap geser dinyatakan pada Persamaan 3.17 berikut.

$$SF = \frac{L \cdot (1 + \gamma_b) \cdot \tan \varphi}{(q \cdot K_a \cdot H + K_a \cdot H^2 \cdot \gamma_b - 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_a} \cdot h)} \quad (3.17)$$

Keterangan:

SF = Faktor aman.

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

L = Panjang geotekstil (m).

H = Tinggi lapisan tanah (m).

γ_b = Berat volume tanah (kN/m^3).

K_a = Koefisien tanah aktif.

C = Kohesi (kN/m^2).

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

b. Stabilitas Terhadap Guling

Faktor aman terhadap guling dapat dinyatakan pada Persamaan 3.18 berikut.

$$SF = \frac{L^2 \cdot (\frac{1}{2}q + \frac{1}{2}\gamma_b \cdot H)}{\frac{1}{2}q \cdot K_a \cdot H^2 + \frac{1}{6}K_a \cdot H^2 \cdot \gamma_b - c \cdot \sqrt{K_a} \cdot H^2} \quad (3.18)$$

Keterangan:

SF = Faktor aman.

L = Panjang geotekstil (m).

H = Tinggi lapisan tanah (m).

γ_b = Berat volume tanah (kN/m^3).

c = Kohesi (kN/m^2).

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

c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Nilai $\frac{1}{6}L$ harus lebih besar dari nilai eksentrisitas yang dinyatakan pada Persamaan 3.19 dan Persamaan 3.20 berikut ini.

$$\frac{1}{6}L \geq e \quad (3.19)$$

$$\frac{1}{6}L \geq \frac{(\frac{1}{2}q \cdot K_a \cdot H^2 + \frac{1}{6}K_a \cdot H^2 \cdot \gamma_b - c \cdot \sqrt{K_a} \cdot H^2)}{(q \cdot L + \gamma_b \cdot H \cdot L)} \quad (3.20)$$

Keterangan:

e = Nilai eksentrisitas tanah (m).

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

K_a = Koefisien tanah aktif.

H = Tinggi lapisan tanah (m).

c = Kohesi (kN/m^2).

L = Panjang geotekstil (m).

γ_b = Berat volume tanah (kN/m^3).

d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Faktor keamanan terhadap kapasitas dukung tanah dinyatakan pada Persamaan 3.21 sampai Persamaan 3.23 berikut ini.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{q_{ult}} \quad (3.21)$$

$$q_{ult} = c \cdot N_c + 0,5 \cdot L \cdot \gamma_b \cdot N_\gamma \quad (3.22)$$

$$q_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot L \cdot \gamma_b \cdot N_\gamma \quad (3.23)$$

2. Stabilitas Internal

a. Panjang Geotekstil Overlapping

panjang geotekstil overlapping dinyatakan pada Persamaan 3.24 berikut.

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times S_v \times SF}{2 \times Z_i \times \gamma_b \times \tan \varphi} \quad (3.24)$$

Keterangan:

σ_{hc} = Tegangan ultimit (kN/m^2).

S_v = Jarak tulangan arah vertikal (m).

Z_i = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m).

γ_b = Berat volume tanah (kN/m^3).

SF = Faktor aman.

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

b. Panjang Efektif Geotekstil

Panjang tulangan di belakang bidang longsor (L_{ef}) pada ujung geotekstil dapat dihitung pada Persamaan 3.25 berikut ini.

$$L_{ef} = \frac{SF \times SV \times K_a \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \tan \varphi} \geq 0,5 \quad (3.25)$$

Keterangan:

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

K_a = Koefisien tanah aktif .

SV = Jarak tulangan arah vertikal (m).

Z_i = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m).

γ_b = Berat volume tanah (kN/m^3).

SF = Faktor aman.

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

3.6 Bambu

Bambu merupakan salah satu jenis tanaman yang memiliki banyak manfaat, termasuk sebagai bahan untuk rangka atap, dinding, dan pengganti tulangan. Kelebihan bambu tidak hanya terletak pada ketersediaan dan harga yang terjangkau, tetapi juga pada kekuatan tariknya. Kekuatan tarik bambu dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kadar air, penampang melintang, dan keberadaan simpul.

Bambu ayah memiliki kekuatan tarik dan tekan yang lebih kuat daripada kayu. Kekuatan tarik bambu dua kali lipat dari kayu, sedangkan kekuatannya sekitar 10% lebih tinggi. Jika dibandingkan dengan baja, bambu memiliki kekuatan tarik per unit yang tiga hingga empat kali lipat lebih tinggi. Namun, dalam hal ketahanan, bambu rentan terhadap serangan jamur dan serangga. Faktor cuaca dan lingkungan juga mempengaruhi daya tahan bambu. Pengawetan bambu dapat meningkatkan umur hidupnya dibandingkan dengan bambu biasa.

3.6.1 Keunggulan Bambu

Menurut Siopongco dan Munandar (1987) dalam Morisco (1999), bambu adalah tanaman yang termasuk *Bamboideae*, salah satu anggota sub familia rumput,

pertumbuhan yang cepat. Bambu dapat digunakan dalam banyak hal. Sebagai komponen bangunan, bambu dapat dijumpai dalam bentuk tiang, balok, lantai, dinding, sekat, dan lain-lain

Tanaman bambu mempunyai ketahanan yang luar biasa. Rumpun bambu yang sudah dibakar, masih dapat hidup lagi. Bambu dapat hidup di lahan sangat kering seperti kepulauan Nusa Tenggara atau di lahan yang banyak disirami air hujan seperti Parahiyanan (Salim, 1994 dalam Morisco 1999).

3.6.2 Sifat Mekanika Bambu

Janssen (1980) dalam Morisco (1999), melakukan penelitian yang berkaitan dengan sambungan rangka kuda-kuda pada Gedung sekolah dan bengkel. Dalam penelitian tersebut digunakan bambu dari spesies *Bambusa blemeana* berumur 3 tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan bambu sangat dipengaruhi oleh kelembaban bahan. Kekuatan lentur rata-rata adalah sebesar 840 kg/cm^2 , modulus elastisitas sebesar 200.000 kg/cm^2 . Kekautan geser rata-rata cukup rendah, yaitu $22,5 \text{ kg/cm}^2$ pada pembebanan jangka pendek dan 10 kg/cm^2 pada pembebanan jangka panjang (6-12 bulan). Untuk kekuatan Tarik sejajar serat cukup tinggi, yaitu $2000 - 3000 \text{ kg/cm}^2$.

Tular dan Sutidjan (1961) dalam Morisco (1999), melakukan pengujian bambu terhadap tekanan udara di dalam rongga menunjukkan bahwa pada tekanan 4 atm bambu mengalami retak-retak pada buku. Pada tekanan 5 atm bambu mengalami kebocoran serius. Sedangkan pada tekanan 10 atm bambu meledak. Pada penelitian tersebut modulus elastisitas E bambu berkisar antara $98070 - 294200 \text{ kg/cm}^2$, tetapi untuk perancangan dipakai E sebesar 294200 kg/cm^2 (Tabel 3.14).

**Tabel 3.14. Kuat Batas dan Tegangan Ijin
(Tular dan Sutidjan, 1961 dalam Morisco, 1999)**

Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/cm^2)	Tegangan ijin (kg/cm^2)
Tarik	981-3920	294,2
Lentur	686-2940	98,07
Tekan	245-981	78,45
E Tarik	98070-294200	$196,1 \times 10^3$

(Sumber: Morisco, 1999)

3.7 Gempa

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi akibat pelepasan energi dari dalam bumi yang menciptakan gelombang seismic, biasanya dipicu oleh pergerakan kerak bumi. Gempa bumi biasanya terjadi di perbatasan interaksi lempeng – lempeng tektonik hal ini Nampak jelas di daerah Sumatera terdapat penujaman lempeng dan kemenerusan SFZ sehingga terdapat tekanan di daerah tersebut. Gempa bumi ini akan menimbulkan resiko kegempaan jika terjadi di daerah yang padat penduduk. Upaya yang harus dilakukan adalah mengurangi resiko kegempaan. Berdasarkan kedalaman sumber gempa bumi dikelompokkan menjadi.

1. Gempa bumi dangkal

Dimana kedalaman hiposenternya kurang dari 66 km di bawah permukaan bumi.

2. Gempa bumi menengah

Dimana kedalaman hiposenternya antara 66 km – 450 km di bawah permukaan bumi.

3. Gempa bumi dalam

Dimana kedalaman hiposenternya lebih dari 450 km dibawah permukaan bumi.

3.8 Beban Lalu – lintas

Beban lalu-lintas dilimpahkan pada perkerasan jalan melalui kontak antara roda dan muka jalan. Oleh karena itu beban lalu-lintas bervariasi sesuai dengan berat kendaraan, konfigurasi sumbu, distribusi ke masing-masing sumbu kendaraan dan ukuran roda kendaraan. Kerusakan yang ditimbulkan oleh masing-masing beban lalu-lintas dipengaruhi oleh mutu struktur perkerasan yang berkurang berkelanjutan selama masa pelayanan. Sebagai usaha menyeragamkan dampak beban lalu-lintas terhadap struktur perkerasan jalan, maka AASHTO 1972 dan AASHTO 1993 mengekivalenkan repetisi berbagai jenis dan beban sumbu lalu-lintas ke lintasan sumbu standar 18.000 pon.

3.9 Program *PLAXIS*

PLAXIS adalah salah satu perangkat lunak yang menggunakan metode elemen hingga untuk analisis. Perangkat lunak ini dikembangkan pada tahun 1987 di Universitas Teknik Delft oleh Departemen Tenaga Kerja dan Pengelolaan Sumber Daya Air Belanda. Model yang digunakan dalam *PLAXIS* adalah model Mohr-Coulomb, yang merupakan model elastis-plastis dengan lima parameter: E dan ν untuk elastisitas tanah, ϕ dan c untuk plastisitas tanah, dan sebagai sudut dilatasi.

Model Mohr-Coulomb direkomendasikan untuk digunakan dalam analisis awal masalah karena sederhana, cepat, dan tidak memerlukan data tanah yang lengkap. Permodelan ini cocok untuk menganalisis stabilitas lereng karena titik kritis dalam model Mohr-Coulomb mendekati titik kritis tanah sebenarnya pada bidang kelongsoran. Metode elemen hingga dengan metode keseimbangan batas memiliki beberapa kelebihan, antara lain.

1. Tidak memerlukan asumsi bidang longsor. Longsor terjadi secara alami melalui zona dalam massa tanah di mana kekuatan geser tanah tidak dapat menahan tegangan geser yang ada.
2. Tidak ada konsep irisan (*slice*) pada pendekatan elemen hingga, sehingga tidak perlu membuat asumsi tentang gaya-gaya yang terjadi pada setiap irisan. Metode elemen hingga menjaga keseimbangan global hingga terjadinya kelongsoran.
3. Jika data kompresibilitas tanah tersedia, metode elemen hingga dapat memberikan informasi tentang deformasi yang terjadi.
4. Metode elemen hingga dapat memantau kegagalan progresif, termasuk kegagalan geser secara keseluruhan. Model material yang digunakan dalam *PLAXIS* menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan melalui persamaan matematika.

PLAXIS dapat dianalisis dalam kondisi plane strain atau *axisymmetry*. *Plane strain* digunakan untuk menganalisis struktur dengan potongan melintang, dengan pembebanan dan kondisi tegangan seragam, dan perpindahan dianggap nol dalam arah ini. Permodelan *axisymmetry* digunakan untuk analisis struktur lingkaran

dengan potongan radial, pembebanan seragam terhadap pusat, dan deformasi serta tegangan dianggap sama dalam arah radial. Untuk hasil analisis yang akurat dengan metode elemen hingga, diperlukan permodelan tanah yang sesuai dengan kondisi lapangan yang sebenarnya (Hendroatmo, 2008).

Implementasi kondisi lapangan ke dalam program *PLAXIS* bertujuan untuk memodelkan langkah-langkah pelaksanaan di lapangan dalam tahapan pengerjaan program. Tujuannya adalah agar pelaksanaan di lapangan sejajar dengan simulasi program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat dianggap sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya.

Tahap analisis menggunakan program *PLAXIS* melibatkan beberapa langkah yang harus dilakukan sebagai berikut.

1. *Input data*

Pada tahap ini, dilakukan permodelan dengan memasukkan data geometri dinding penahan tanah dan lereng yang akan dianalisis, data material tanah, pembebanan, pengaturan meshing, dan kondisi awal. Dengan demikian, model yang dihasilkan dapat menggambarkan kondisi yang ada di lapangan.

2. *Calculation*

Setelah melakukan permodelan pada tahap input, tahap berikutnya adalah perhitungan. Pada tahap ini, analisis dilakukan sesuai dengan kebutuhan terhadap model yang telah ditentukan pada tahap input data. Terdapat beberapa jenis perhitungan yang tersedia, seperti perhitungan plastisitas, konsolidasi, pengurangan ϕ/c , dan analisis dinamis.

3. *Output*

Setelah menyelesaikan analisis, hasil dari perhitungan pada tahap sebelumnya dapat dilihat pada tahap output. Hasil analisis pada tahap output dapat ditampilkan dalam bentuk angka, gambar, dan kurva. *Output* yang dihasilkan dan akan ditinjau dalam penelitian ini meliputi pergeseran total, potensi kelongsoran, faktor keamanan, dan tegangan total.

4. Kurva

Selain dapat dilihat melalui output, hasil analisis juga dapat direpresentasikan dalam bentuk kurva. Kurva ini menggambarkan hasil dari semua tahapan

perhitungan dan menunjukkan dua parameter untuk membandingkan setiap tahap perhitungan. Dalam penelitian ini, kurva faktor keamanan dan kurva pergeseran vertikal akan diambil sebagai pembanding.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini dilakukan pada lereng di Jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 3+550. Penelitian ini mencakup analisis stabilitas lereng menggunakan kondisi tanah asli memakai program PLAXIS V.22, dengan *output* berupa nilai Faktor Keamanan (*Safety factor*). Parameter analisis melibatkan variasi ketinggian timbunan lereng untuk mengidentifikasi tinggi timbunan yang berpotensi mengalami kelongsoran dan akan diperkuat menggunakan perkuatan geosintetik, khususnya jenis geotekstil woven, dan perkuatan matras bambu. Penggunaan perkuatan geotekstil dan matras bambu ini akan dilakukan pada lereng dengan SF < 1,30, yang merupakan standar dalam perencanaan keamanan lereng pada konstruksi jalan tol. Melalui analisis tersebut, diharapkan dapat ditentukan kondisi yang menghasilkan faktor keamanan terbaik, sehingga dapat menjadi acuan dalam perencanaan kekuatan dan stabilitas lereng.

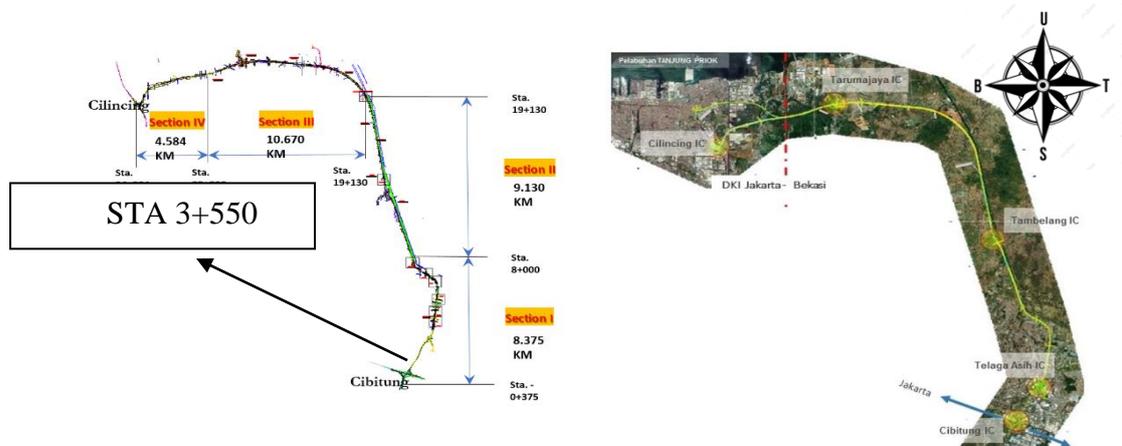
4.2 Data Penelitian

Data penelitian yang akan dianalisis pada tugas akhir ini adalah data sekunder sebagai berikut:

1. data penyelidikan tanah,
2. data Gempa,
3. peta lokasi, dan
4. gambar penampang.

4.3 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta. 3+550. Untuk peta lokasi jalan Tol Cibitung-Cilincing Sta 3+550 dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Lokasi Jalan Tol Cibitung-Cilincing STA 3+550
(Sumber: PT. CTP Tollways, 2023)

4.4 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini, proses penelitian dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu sebagai berikut:

1. Tahap pengumpulan data melibatkan pengambilan data tanah dari uji lapangan dan laboratorium yang diperlukan untuk analisis berdasarkan Laporan Analisis Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung-Cilincing.
2. Tahap analisis dan pengolahan data melibatkan pengolahan data yang telah dikumpulkan, baik data uji lapangan maupun data laboratorium. Data tersebut akan diolah menggunakan logika dan teori yang relevan, seperti analisis dengan menggunakan program PLAXIS V.22, untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik. Hasil dari program PLAXIS V.22 akan digunakan sebagai dasar untuk menentukan tindak lanjut.
3. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan melibatkan penulisan laporan yang berisi hasil analisis yang telah dilakukan. Laporan tersebut akan mencakup solusi untuk masalah-masalah yang muncul dan kesimpulan berdasarkan teori yang relevan.

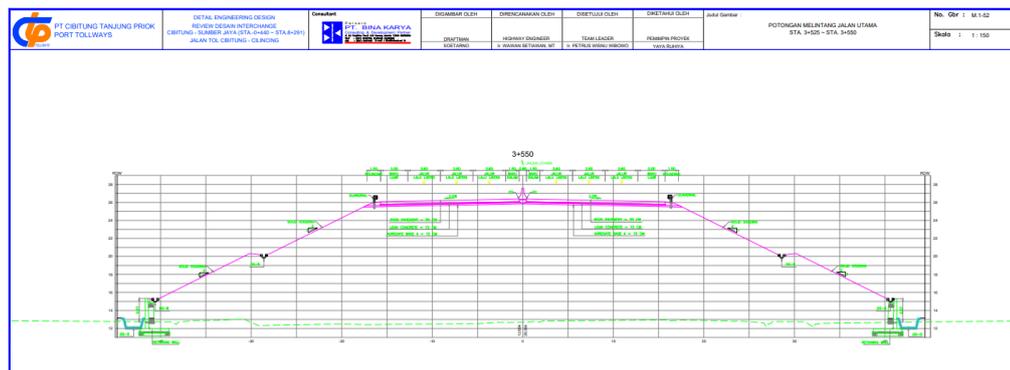
4.5 Analisis Data

Metode analisis data adalah pendekatan yang digunakan untuk mempermudah pemahaman dan penyederhanaan data yang telah diperoleh. Data

tersebut kemudian dianalisis melalui tahapan-tahapan yang sesuai. Berikut ini merupakan data yang telah dikumpulkan:

4.5.1 Data Potongan Melintang Jalan

Gambar struktur lereng pada lokasi Jalan Tol Cibitung-Cilincing dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Geometri Potongan Melintang
(Sumber: PT. CTP Tollways, 2020)

4.5.2 Parameter Tanah

Dalam analisis stabilitas lereng, parameter tanah merupakan input yang sangat penting. Parameter tanah didapatkan berdasarkan data sekunder dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Cibitung-Cilincing. Adapun input parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.1. Data Parameter Tanah Masa Konstruksi

Nama	Satuan	<i>Silty Clay</i>	<i>Sandy Silt</i>	<i>Sandy Silt</i>	<i>Clayey Sand (Timbunan)</i>
Model	-	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>
Jenis	-	<i>UNDRAINED</i>	<i>UNDRAINED</i>	<i>UNDRAINED</i>	<i>UNDRAINED</i>
γ_{unsat}	kN/ m ³	14	18	20	16
γ_{sat}	kN/ m ³	16	20	22	19
K_x	m/hari	4,500E-03	4,300E-05	4,300E-05	0,1
K_y	m/hari	4,500E-03	4,300E-05	4,300E-05	0,1
E	kN/ m ³	4000	20000	24000	11000
ν	-	0,25	0,3	0,334	0,3

Lanjutan tabel 4.1. Data Parameter Tanah Masa Konstruksi

Kohesi (C)	kN/m ²	10,1043	79,37	85	10
Sudut geser (ϕ)	o	8	30	30	25
Sudut dilantasi (ψ)	o	0	0	0	0

(Sumber: PT. Carina Griya Mandiri, 2017)

Tabel 4.2. Data Parameter Tanah Pasca Konstruksi

Nama	Satuan	<i>Silty Clay</i>	<i>Sandy Silt</i>	<i>Sandy Silt</i>	<i>Clayey Sand (Timbunan)</i>
Model	-	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>	<i>MC</i>
Jenis	-	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>	<i>DRAINED</i>
γ unsat	kN/m ³	14	18	20	16
γ sat	kN/m ³	16	20	22	19
K_x	m/hari	4,500E-03	4,300E-05	4,300E-05	0,1
K_y	m/hari	4,500E-03	4,300E-05	4,300E-05	0,1
E	kN/m ³	4000	20000	24000	11000
ν	-	0,25	0,3	0,334	0,3
Kohesi (C)	kN/m ²	10,1043	79,37	85	10
Sudut geser (ϕ)	o	8	30	30	25
Sudut dilantasi (ψ)	o	0	0	0	0

(Sumber: PT. Carina Griya Mandiri, 2017)

4.5.3 Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan dalam penelitian ini adalah geotekstil jenis woven atau geotekstil teranyam PT. Teknindo Geosistem Unggul. Informasi lebih rinci mengenai data geotekstil dapat dilihat dalam Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3. Data Parameter Geotekstil Woven

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

(Sumber: PT. Teknindo Geosistem, 2020)

4.5.4 Data Parameter Bambu

Data parameter bambu untuk penelitian ini diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan oleh Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – D.I Yogyakarta. Data parameter matras bambu berfungsi sebagai input untuk permodelan matras bambu pada aplikasi PLAXIS V.22. Berikut data parameter bambu pada Tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4. Data Parameter Matras Bambu

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Material type	Type	Elastoplastic, Isotropic	-
Prevent Punching	-	Yes	-
Normal Stiffness	EA_1 & EA_2	$4,24 \times 10^5$	Kn/m
Flexural rigidity	EI	$7,27 \times 10^4$	kNm ² /m
Weight	W	0,382	kNm/m
Poisson's Ratio	N	0,25	-
Maximum Bending Moment	M_p	568	kNm/m
Maximum Force	$N_{p,1}$ & $N_{p,2}$	450	kN/m

(Sumber: Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – D.I Yogyakarta)

4.5.5 Data Beban

Data yang diperlukan untuk menganalisis beban yang bekerja pada lereng tersebut mencakup beban perkerasan, beban lalu lintas, dan beban gempa. Informasi terkait data beban dapat ditemukan sebagai berikut.

4.5.5.1 Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Jalan Tol Cibitung-Cilincing mempunyai beban perkerasan yang digunakan sebesar 10 kN/m^2 dari data sekunder, sedangkan beban lalu lintas yang bekerja sebesar 15 kN/m^2 sesuai fungsi jalan dan sistem jaringan jalan. Beban lalu lintas dan system jaringan ditunjukkan pada Tabel 4.5.

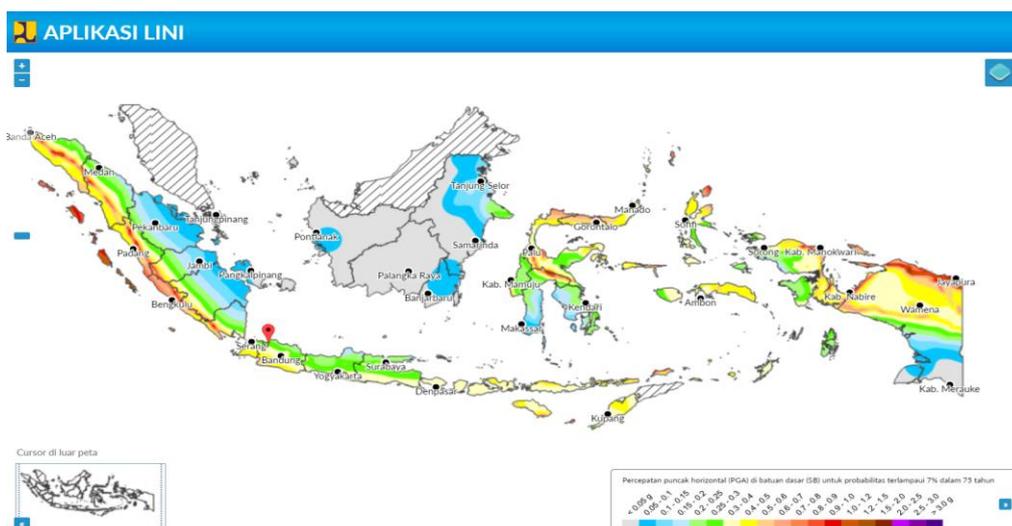
Tabel 4.5. Beban Lalu Lintas dan Sistem Jaringan

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

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

4.5.5.2 Beban Gempa

Beban gempa yang diperhitungkan dalam analisis stabilitas lereng ini adalah beban gempa dinamik. Wilayah Bekasi memiliki percepatan puncak gempa (PGA) berkisar antara 0,2 - 0,3 g. Untuk interval waktu, digunakan waktu 3,2 detik, yang dianggap sudah mencakup percepatan puncak gempa. Peta zonasi dan grafik hubungan antara percepatan gempa dan waktu gempa dapat ditemukan pada Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3. Peta Zonasi Gempa
(Sumber: Aplikasi LINI)

4.6 Variasi Permodelan

Variasi permodelan yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng ini adalah variasi ketinggian timbunan lereng dengan tinggi 3m, 6m, 9m, dan 12m dengan muka air tanah berada di kedalaman 5m dari permukaan tanah asli dengan tanpa perkuatan, menggunakan perkuatan geotekstil, dan menggunakan perkuatan matras bambu dengan asumsi perkuatan yang dipakai 1 lapis. Yang akan dimasukkan di dalam input PLAXIS V.22, kemudian dilakukan analisis terhadap beberapa faktor seperti beban lalu lintas, beban perkerasan, dan beban gempa pada lokasi yang akan di teliti untuk mengetahui nilai konsolidasi, dan faktor keamanan (*safety factor*) $SF > 1,3$, pada saat masa konstruksi, dan pasca konstruksi yang biasa digunakan dalam perencanaan keamanan lereng pada timbunan jalan tol, untuk dijadikan acuan sebagai kondisi tanah yang direkomendasikan, apabila di dalam analisis beberapa faktor tersebut tidak memenuhi nilai yang di jadikan acuan maka akan di tambahkan perkuatan geotekstil, dan matras bambu yang dimana perkuatan akan di asumsikan 1 lapis.

4.7 Analisis Data dengan Software *Plaxis*

Pada tahap analisis dalam penelitian ini, program *Plaxis* digunakan dan terdiri dari tiga tahapan, yaitu *Plaxis Input*, *Plaxis Calculation*, dan *Plaxis Output*.

4.7.1 *Plaxis Input*

1. Buka Program *Plaxis*

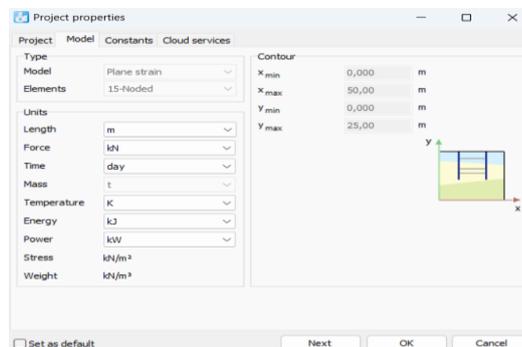
Mulailah dengan membuka aplikasi *Plaxis* dengan mengklik dua kali pada ikon program *Plaxis Input*. Setelah itu, akan muncul sebuah dialog dengan pilihan "*Create/Open Project*". Pilih "*New Project*" dan klik OK untuk membuat proyek baru, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.4. Kotak Dialog *Create/Open Project*

2. General Setting

Pada pengaturan global (*Model*) pilih analisis model *plane strain* (regangan bidang) pada kotak *general* dan pilih jenis elemen dasar *15-Node* untuk analisis dengan menghasilkan tegangan dan beban runtuh yang akurat. Dalam pilihan tab *geometry dimensions*, gunakan satuan pra-pilih dalam kotak *unit* (*Lenght = m*, *Force = kN*, *Time = day*). Dalam kotak *contour*, ukuran dari bidang gambar harus diinput, saat menginput koordinat teratas dan terbawah dari geometri yang akan dibuat. *Plaxis v22* akan menambahkan sebuah margin kecil sehingga geometri akan berada pada bidang gambar. Kemudian masukkan 0,0; 50,0; 0,0; 25,0 masing-masing pada kotak isian *Xmin*, *Xmax*, *Ymin*, dan *Ymax* dalam kotak *contour*. Kotak *Grid* berisikan nilai-nilai untuk mengatu spasi *grid*. *Grid* ini akan membentuk matriks titik-titik yang digunakan untuk memasukkan penggambaran tepat pada *grid* yang telah ada saat pembuatan model. Jarak antara titik ditentukan oleh nilai spasi disajikan pada gambar 4.5. berikut.



Gambar 4.5. Tab Project dari Jendela Model

3. Permodelan Geometri

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

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

Posisikan kursor pada pusat koordinat. Letakkan kursor pada koordinat 0,0; 0,0 ini sebagai titik awal dalam penggambaran *geometry* setelah itu gambar geometri sesuai koordinat yang sudah ditentukan.

b.  Klik tombol *standard fixities* pada *toolbar*.

c.  Klik tombol *Distributed load-load system A* pada *toolbar*.

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

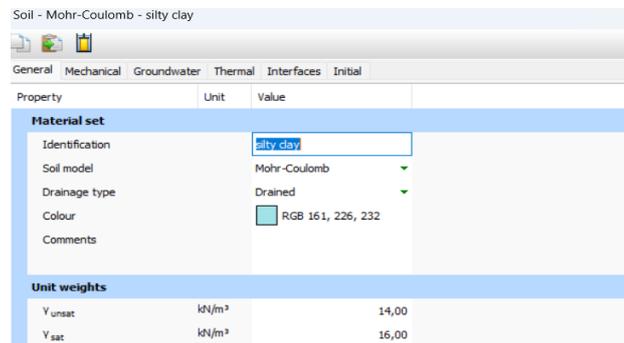
4. *Input* Parameter Material

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

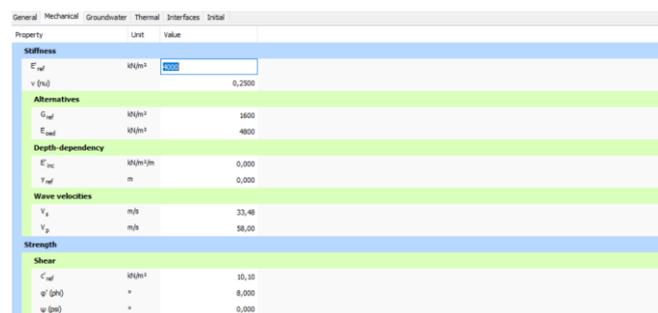


Pilih tombol *material sets* pada *toolbar*.

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



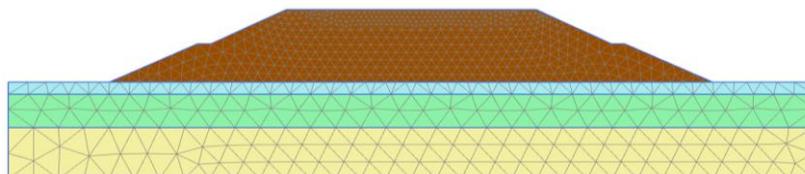
Gambar 4.6. Lembar Tab General dari Jendela Material Sets



Gambar 4.7. Lembar Tab Parameters dari Jendela Material Sets

5. Mesh Generatio

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



Gambar 4.8. Jaringan Elemen Hingga (Meshing)

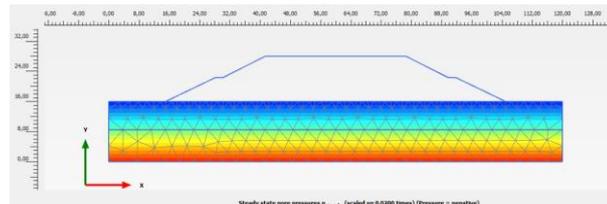
6. Intial Condition

a. Klik tombol *initial conditions* pada *toolbar*.

b.  Karena proyek ini tidak mengikuti sertakan tekanan air, maka

lanjutkan modus konfigurasi geometri awal dengan mengklik tombol sebelah kanan dari “switch”. Garis freatik secara otomatis akan terletak pada dasar geometri.

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

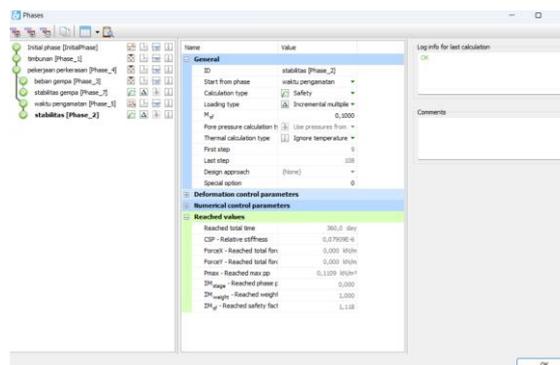


Gambar 4.9. Tegangan Awal Pada Geometri

- d. Kemudian klik *Calculate*.

4.7.2 Plaxis Calculation

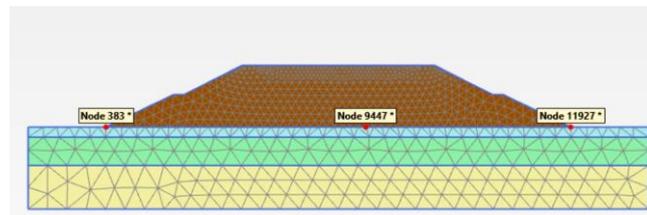
Pada bagian *calculation* (Gambar 4.10) terdapat empat lembar tab yaitu *generate*, *parameters*, *multipliers* dan *preview*. Dalam lembar tab *general*, pada *calculation type* dipilih *plastic analysis* yang digunakan untuk mengetahui besar *displacement* dari kondisi yang ditinjau, dipilih *phi/c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



Gambar 4.10. Jendela Calculations dengan Lembar Tab General



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



Gambar 4.11. Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau

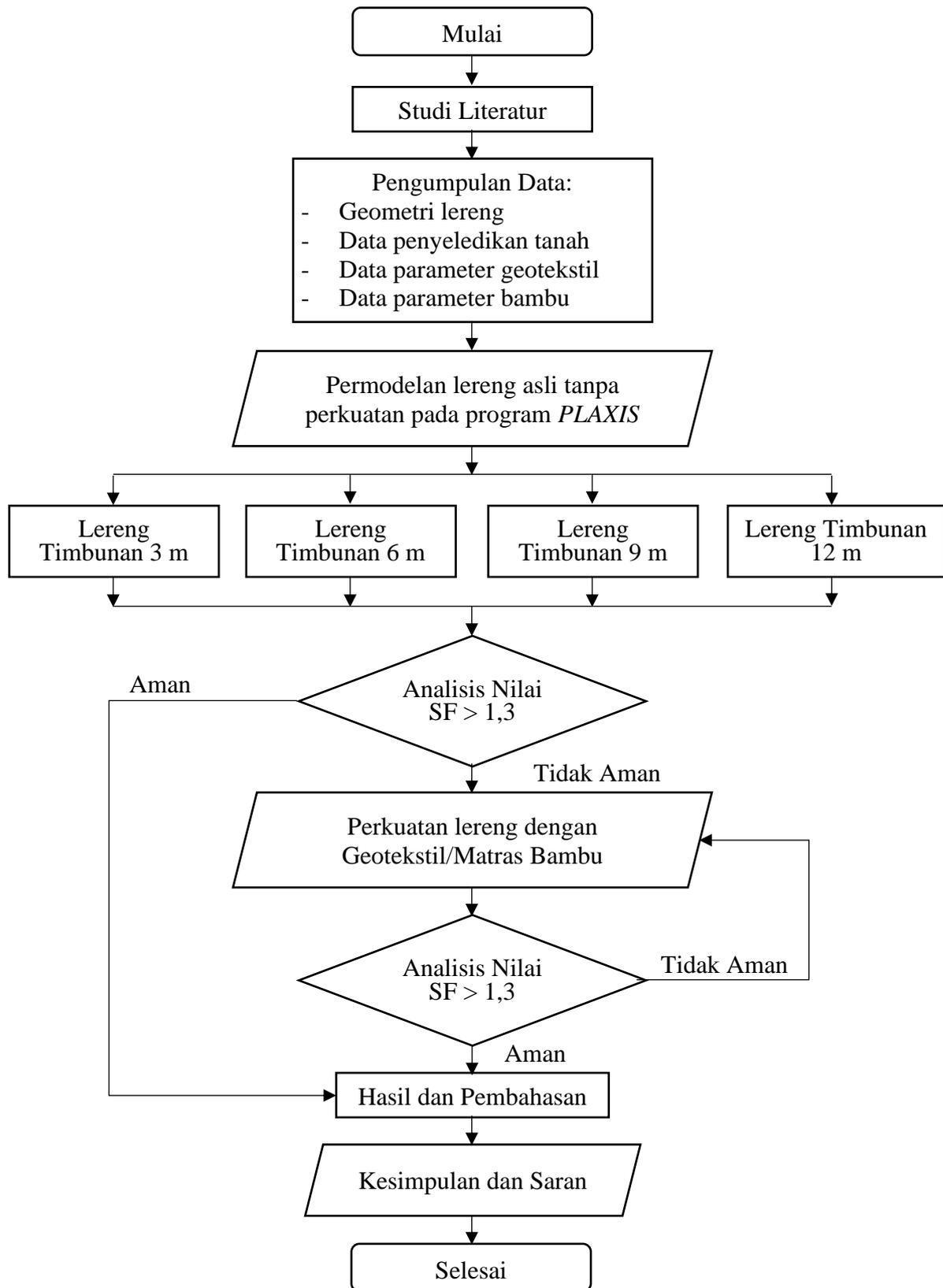
Kemudian langkah berikutnya yaitu klik tombol *calculation* untuk menjalankan analisis perhitungan.

4.7.3 Plaxis Output

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

4.8 Bagan Alir Penelitian

Prosedur penelitian atau alur penelitian pada penelitian dan Bagan Alir Permodelan Lereng kali ini dapat dilihat pada Gambar 4.12. Berikut ini.



Gambar 4.12. Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum Analisis

Pada lereng timbunan proyek jalan tol Cibitung – Cilincing di Sta 3+550 tanah lempung dan lanau mendominasi lapisan tanah sampai lapisan ketiga dengan kedalaman 16 meter, sedangkan tanah lempung berpasir yang dipadatkan digunakan untuk timbunan. Analisis variasi timbunan dilakukan untuk mengetahui ketinggian timbunan yang ditentukan apakah akan mengalami kelongsoran pada lereng. Keruntuhan pada lereng disebabkan apabila tanah timbunan sudah tidak mampu menahan gaya-gaya yang terjadi akibat beban yang ada pada saat timbunan sudah akan digunakan ataupun saat pembuatan timbunan.

Analisis pada penelitian ini memakai variasi tinggi timbunan 3m, 6m, 9m, dan 12m. Timbunan bervariasi yang dianalisis dipakai untuk mengetahui setiap lapisan timbunan yang aman terhadap beban-beban yang akan terjadi. Kondisi pada timbunan yang dianalisis terbagi menjadi dua kondisi dan parameter yang berbeda di setiap kondisi yaitu pada saat masa konstruksi dan pasca konstruksi.

Parameter beban saat masa konstruksi memakai beban struktur dari perkerasan jalan dan pada saat pasca konstruksi memakai beban lalu lintas. Pada lereng timbunan yang belum mencapai syarat angka aman (*safety factor*), dilakukan penanganan memakai perkuatan tambahan geotekstil atau matras bambu untuk mengetahui penambahan perkuatan mampu menahan kelongsoran yang dapat terjadi, dan meningkatkan angka aman dari timbunan lereng selain itu akan dilakukan juga analisis untuk mengetahui konsolidasi atau penurunan dari timbunan lereng.

5.1.1 Data Analisis Program PLAXIS V22

Kondisi lereng timbunan sesuai pada proyek jalan tol Cibitung-Cilincing Sta. 3+550. Data parameter tanah yang digunakan adalah hasil dari laboratorium data tanah pada lokasi Sta. 3+550 yang dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2,

berikut data beban, dan perkuatan yang bekerja.

1. Data beban struktur

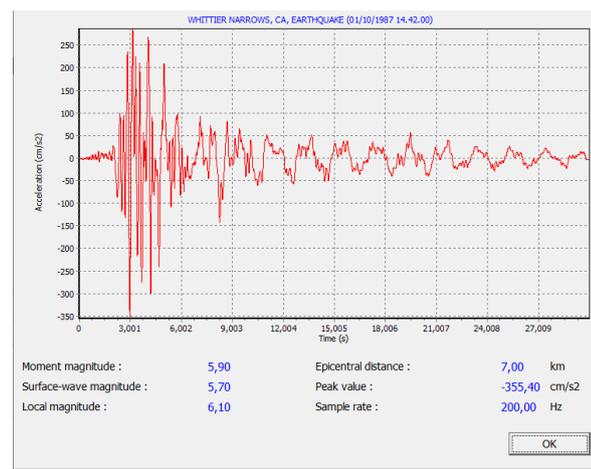
Beban struktur yang dipakai pada analisis merupakan beban merata akibat dari perkerasan jalan. Berdasarkan data yang digunakan sebagai perhitungan analisis pada proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing, beban dari struktur lapis perkerasan sebesar 10 kN/m.

2. Data beban lalu lintas

Pada bagian *input* dalam program *Plaxis* besar beban lalu lintas untuk stabilitas digunakan sebesar 15 kN/m, beban tersebut sesuai dengan data beban lalu lintas untuk stabilitas seperti disajikan pada Tabel 4.5. Kemudian pada saat kondisi pasca konstruksi beban yang digunakan adalah dari struktur dan beban lalu lintas, maka digunakan beban sebesar 25 kN/m

3. Data beban gempa

Daerah Bekasi mempunyai percepatan puncak gempa (PGA) sebesar 0,3 – 0,4g. Nilai data gempa yang didapatkan sesuai dengan data gempa di kawasan American Canyon California pada tahun 2014 akhir yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,3938 g. Waktu interval gempa yang akan diinput kedalam *Plaxis* sebesar 3,2 detik dengan perkiraan telah melewati puncak.



Gambar 5. 1 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa Whittier Narrows

(Sumber: www.usgs.gov, 2018)

4. Data geotekstil

Data geotekstil yang dipakai dari produksi dari PT. Tekindo Geosistem Unggul jenis *woven* UW 250. Nilai dari kuat Tarik ijin dan tegangannya didapat dari brosur produksi, yakni sebesar 52 kN/m, dan 20%. Oleh karena itu, nilai geotekstil yang digunakan sebagai *input* ke dalam program *plaxis* v22 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

5. Data matras bambu

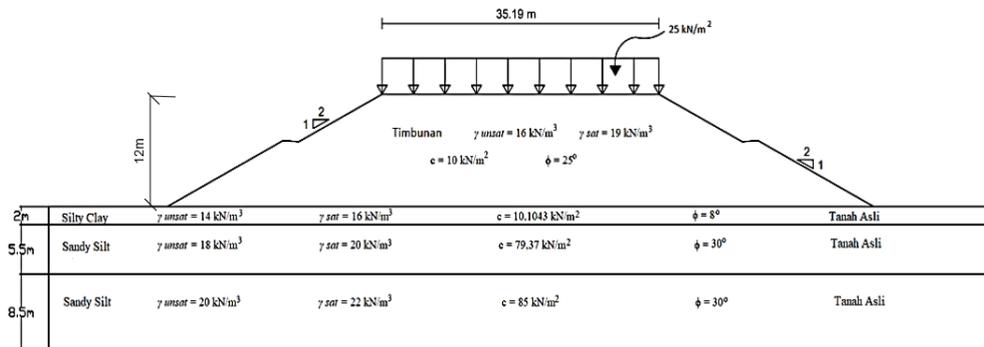
Data parameter bambu untuk penelitian ini diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan oleh Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – D.I Yogyakarta. Data parameter matras bambu berfungsi sebagai input untuk permodelan matras bambu pada aplikasi PLAXIS sesuai dengan data parameter yang ada pada tabel 4.4. untuk contoh lapis dari matras bambu disajikan pada gambar 5.2 berikut.



Gambar 5. 2 Lapis Matras Bambu

6. Kondisi eksisting lereng

Timbunan dan data yang didapatkan datanya dapat diilustrasikan menjadi bentuk gambar. Detail Kondisi eksisting timbunan dan jenis tanah asli tiap - tiap lapisan disajikan pada Gambar 5.3 berikut.



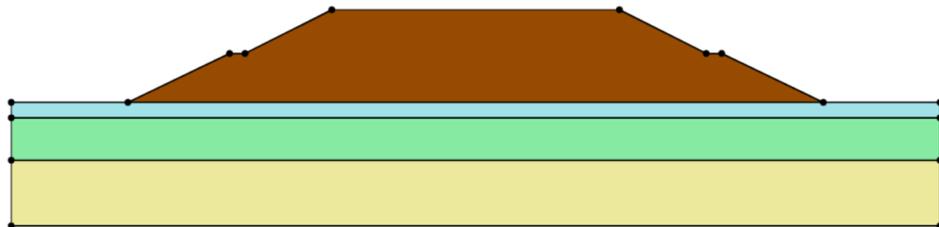
Gambar 5. 3 Geometri Eksisting Lereng

5.2 Lereng Tanpa Perkuatan

5.2.1 Akibat Beban Timbunan (Akibat Beban Sendiri)

1. Permodelan Awal Lereng

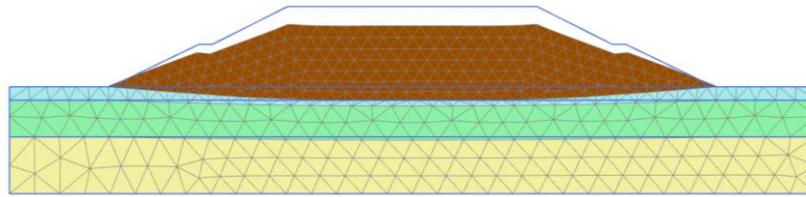
Permodelan lereng memakai eksisting tanah asli pada lokasi proyek Lebar lereng sepanjang 89,87 m yang akan beroperasi sebagai jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta 3+550 pada permodelan ini yang ditampilkan merupakan analisis lereng eksisting dengan tinggi timbunan 12 m untuk variasi tinggi timbunan tinggi 3 m, 6 m, 9m dapat dilihat pada lampiran 6, 7, dan 8 secara berturut. Permodelan akibat beban timbunan (beban sendiri) disajikan pada gambar 5.4. berikut.



Gambar 5. 4 Permodelan lereng akibat beban timbunan (Beban Sendiri)

2. Deformed Mesh

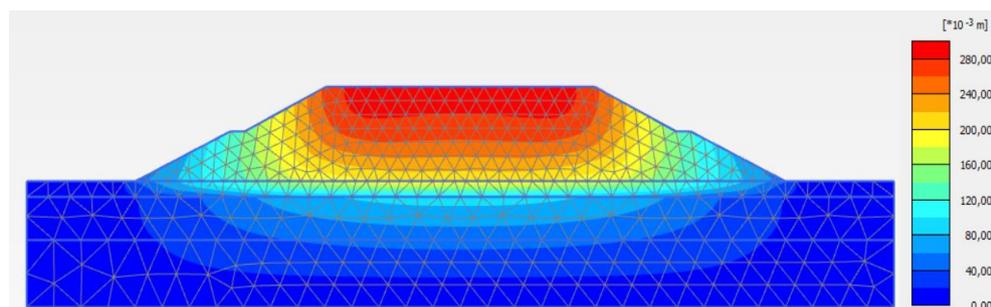
Deformed Mesh diisyaratkan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah dengan tidak beraturan dan penurunan pada bagian bentuk permukaan yang akibatkan oleh beban gravitasi dan beban timbunan. *Deformed Mesh* timbunan geometri asli akibat beban timbunan (beban sendiri) disajikan pada Gambar 5.5. berikut.



Gambar 5. 5 Deformed Mesh Pada Timbunan (Beban Sendiri)

3. *Total Displacement*

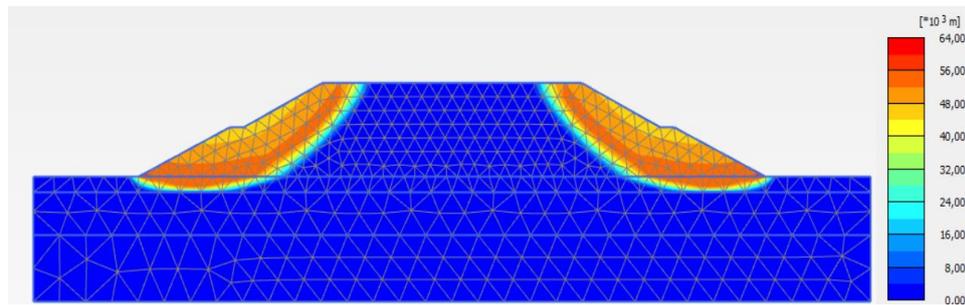
Pada lereng eksisting akibat beban timbunan terjadi displacement secara vertikal. Displacement terbesar terjadi pada atas tengah yang di tandai dengan warna oranye tua. Saat ke bawah lapisan pada tanah asli, warna oranye tua memudar hingga berubah menjadi biru tua berarti semakin kecil. Besar nilai displacement terbesar pada lereng timbunan geometri asli akibat beban timbunan adalah 0,2895 m yang dapat dilihat pada Gambar 5.6. berikut



Gambar 5. 6 Total Displacement pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)

4. *Potensi Kelongsoran*

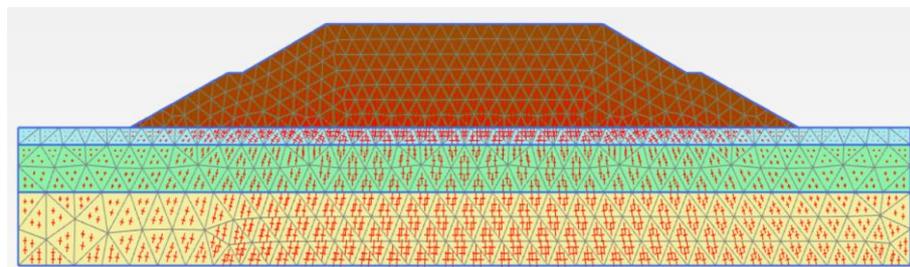
Hasil analisis program Plaxis menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah rotational slides. Dari hasil ini dapat juga dilihat zona pasif dan zona aktif yang terbentuk. Zona pasif digambarkan secara grafis dengan warna biru sedangkan zona aktif dengan warna oranye. Potensi kelongsoran dan arah pergerakan tanah pada lereng tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5. 7 Potensi Kelongsoran pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)

5. *Effective Stress*

Dari analisis *Effective Stress* menunjukkan hasil bahwa garis – garis yang mengisyaratkan arah dan besarnya tegangan efektif, tegangan efektif semakin ke bawah semakin banyak khususnya di bagian tengah timbunan hingga ke bagian bawah tanah dasar. *Effective Stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.8. berikut.



Gambar 5. 8 *Effective Stress* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)

Adapun rekapitulasi dari hasil analisis angka aman (SF) pada timbunan lereng akibat beban sendiri disajikan pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Angka Aman Lereng Eksisting dan Variasi Timbunan Akibat Beban Sendiri

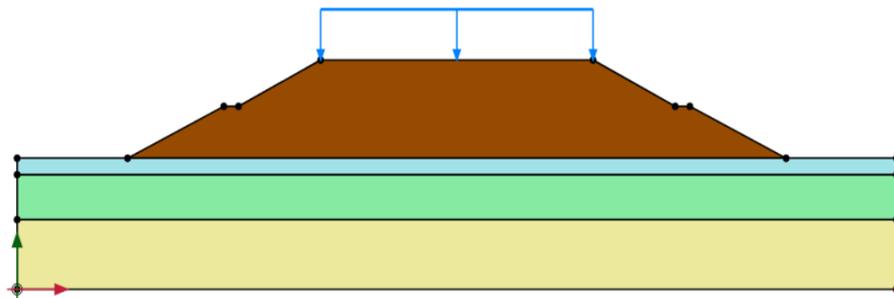
Tinggi timbunan	Angka Aman (SF)
Timbunan 3 m	2,049
Timbunan 6 m	1,405
Timbunan 9 m	1,266
Timbunan 12 m	1,149

5.2.2 Analisis masa konstruksi dan pasca konstruksi

Hasil analisis dari program *Plaxis V22* yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng eksisting dengan tinggi 12m. Timbunan tanah yang berada diatas tanah terdiri dari 3 lapisan tanah dengan kedalaman 16m. Penjabaran analisis meliputi permodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi pasca konstruksi.

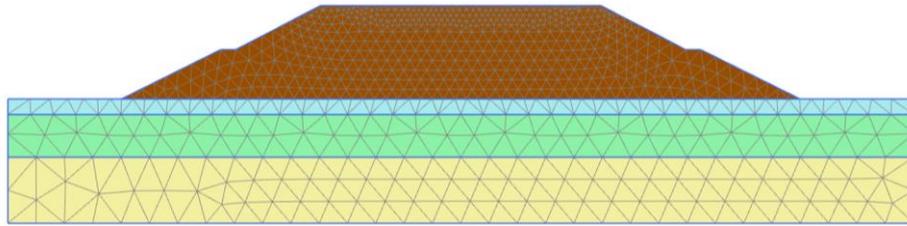
1. Permodelan awal lereng masa konstruksi

Permodelan lereng memakai tanah asli pada lokasi proyek, serta permodelan beban gempa dinamik dan beban merata. Lebar lereng sepanjang 89,87 m yang akan beroperasi sebagai jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta 3+550 pada permodelan ini yang ditampilkan merupakan analisis lereng eksisting dengan tinggi timbunan 12 m untuk variasi tinggi timbunan tinggi 3 m, 6 m, 9m dapat dilihat pada lampiran 6, 7, dan 8 secara berturut. Beban merata yang di *input* pada masa konstruksi sebesar 10 kN/m dari beban struktur perkerasan jalan Permodelan di *input* kedalam *plaxis V22* yang disajikan pada Gambar 5.9. berikut.



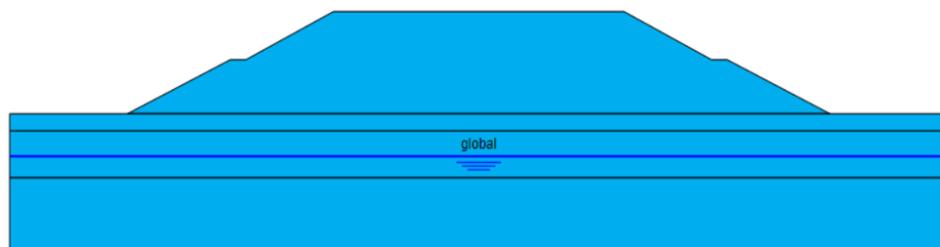
Gambar 5. 9 Permodelan Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan

Kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*), setelah dilakukan *input* parameter tanah dan bahan pada permodelan timbunan lereng. Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan disajikan pada Gambar 5.10 berikut ini.



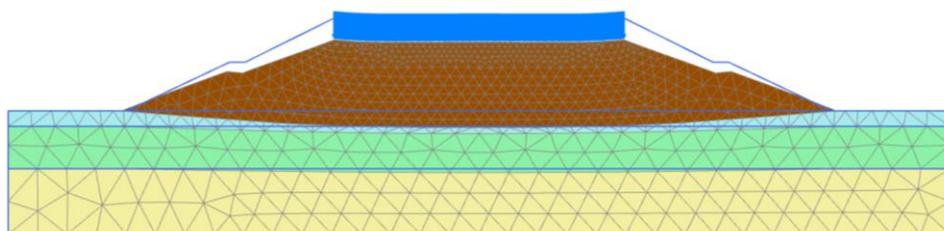
Gambar 5. 10 Meshing pada Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan

Saat *meshing* selesai dilakukan akan dilanjutkan dengan *input* muka air tanah. Pada data proyek yang didapatkan muka air tanah berada di kedalaman 5 m dari permukaan tanah asli, Hasil dari *input* muka air tanah disajikan pada Gambar 5.11. berikut.

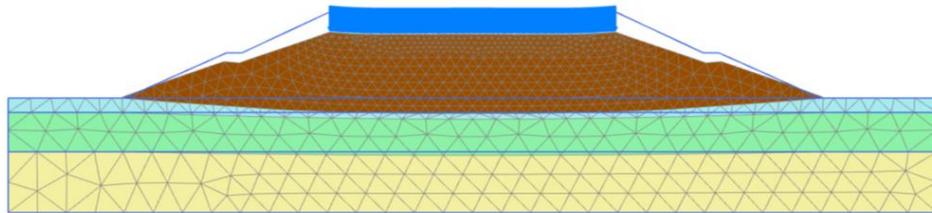


Gambar 5. 11 muka air tanah pada Lereng Timbunan 12m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi

Pada tahap berikut masuk ke tahap analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan 12 m tanpa perkuatan. Hasil *deformed mesh* pada timbunan lereng 12 m disajikan pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 berikut ini.

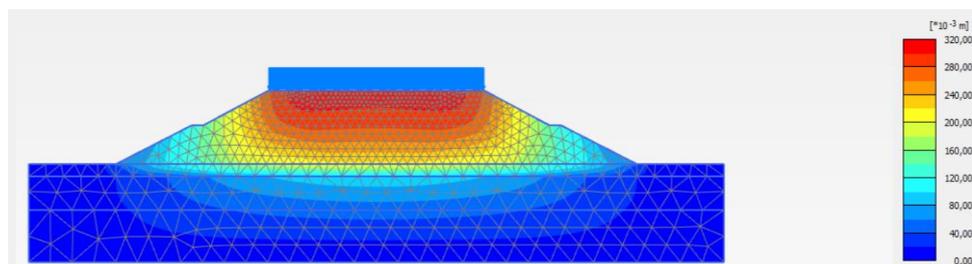


Gambar 5. 12 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

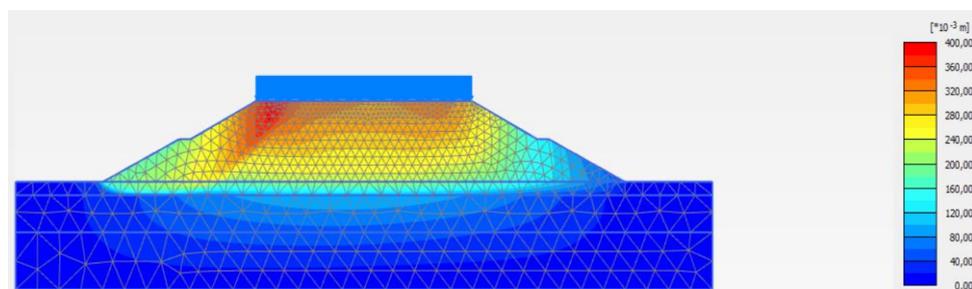


Gambar 5. 13 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

displacement terbesar pada bagian atas tengah dari timbunan sedangkan untuk timbunan yang diberi beban struktur dan gempa terjadi *displacement* pada bagian kiri lereng. Nilai total *displacement* timbunan lereng dengan beban struktur sebesar 0,396 m, kemudian timbunan lereng dengan beban struktur dan gempa sebesar 0,3916 m. Total *displacement* yang terjadi disajikan pada Gambar 5.14 dan Gambar 5.15 berikut.

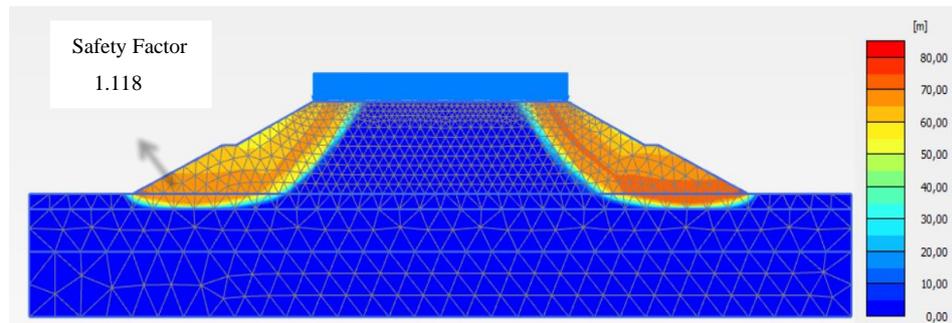


Gambar 5. 14 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

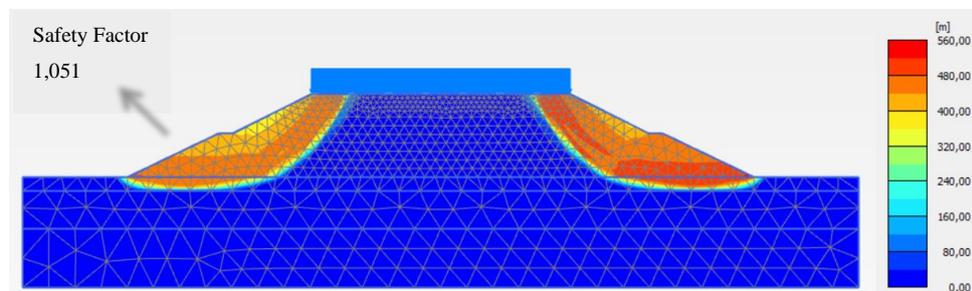


Gambar 5. 15 Total Displacement Lereng Timbunan 12m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Potensi kelongsoran akibat dari beban struktur dan beban dengan gempa disajikan pada Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 berikut.

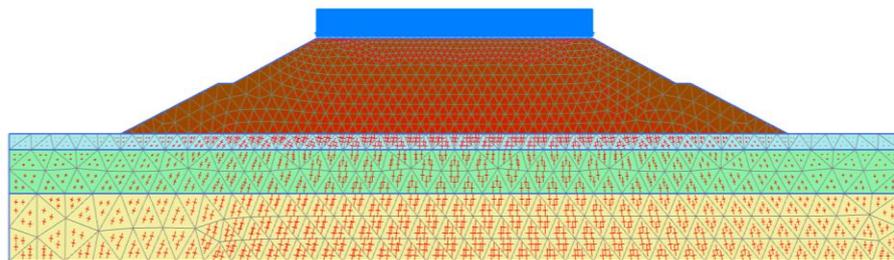


Gambar 5. 16 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

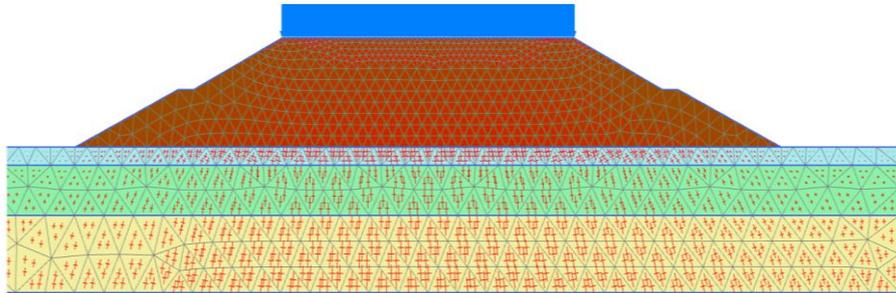


Gambar 5. 17 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

nilai *effective stresses* pada kondisi lereng timbunan 12 m yang disebabkan oleh beban struktur sebesar $-339,8 \text{ kN/m}^2$, dan tambahan beban akibat gempa sebesar $-405,0 \text{ kN/m}^2$. Hasil analisis ini disajikan pada Gambar 5.18 dan Gambar 5.19 berikut.

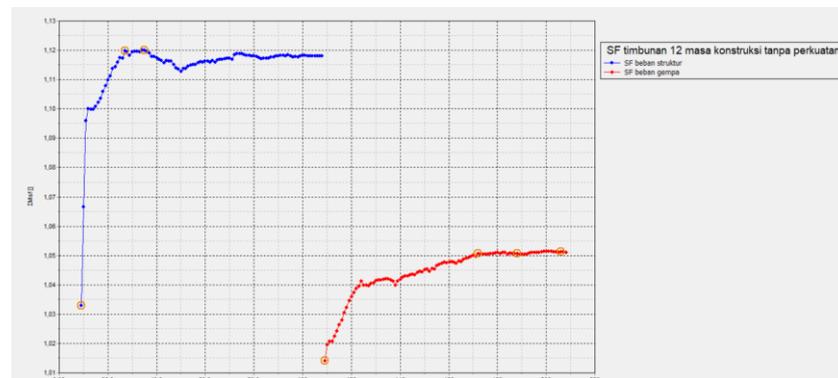


Gambar 5. 18 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 19 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai angka aman (*safety factor*) lereng timbunan 12 m yang dihasilkan dari analisis akibat beban struktur sebesar 1,118. Sementara itu, nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,051. Hasil dari analisis menunjukkan butuhnya penanganan perkuatan. Hasil nilai angka aman dapat disajikan pada kurva Gambar 5.20 berikut.

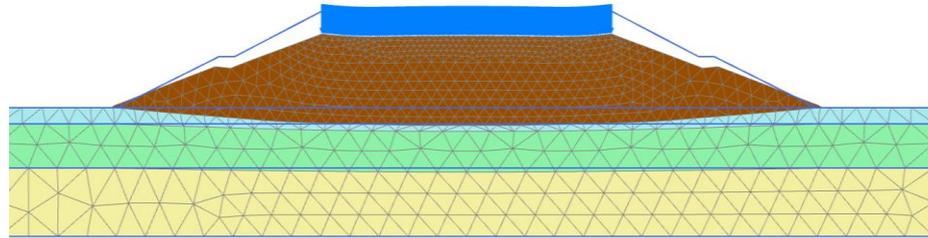


Gambar 5. 20 Kurva SF Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi

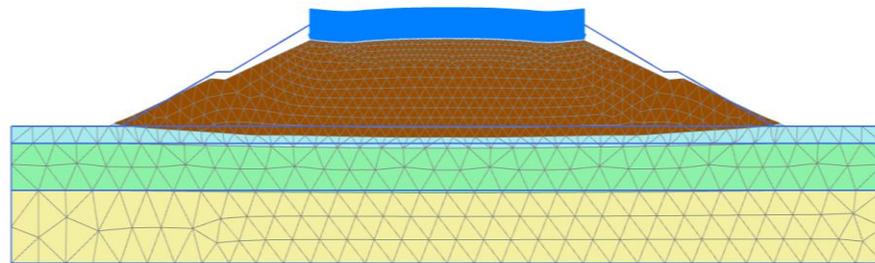
2. Kondisi pasca konstruksi

Untuk kondisi pasca konstruksi, terdapat penambahan analisis konsolidasi dengan interval waktu 365 hari. Selain itu, dalam analisis ini, beban lalu lintas menjadi parameter tambahan yang diperhitungkan. Jaringan elemen hingga (*meshing*) pada kondisi pasca konstruksi sama dengan masa konstruksi, namun dilakukan *generate* kembali karena kondisi tanah awal untuk pasca konstruksi telah selesai penimbunan dengan tinggi 12 m. Kemudian untuk analisis selanjutnya yaitu analisis perhitungan (*calculation*). Adapun hasilnya disajikan

dalam Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 sebagai berikut.

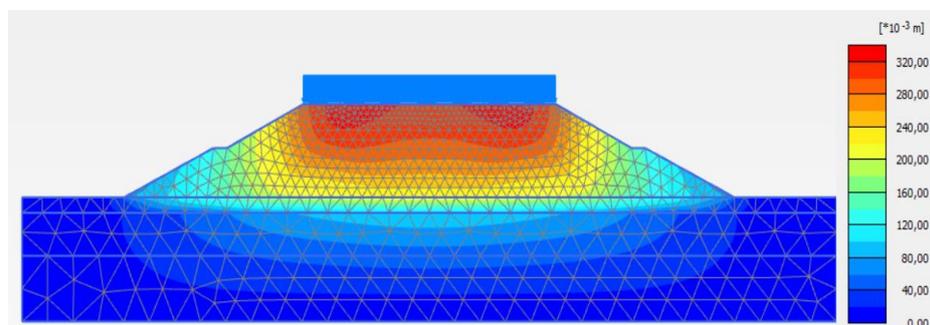


Gambar 5. 21 *Deformed Mesh* Timbunan Lereng 12 m Pasca Konstruksi akibat Beban Struktur

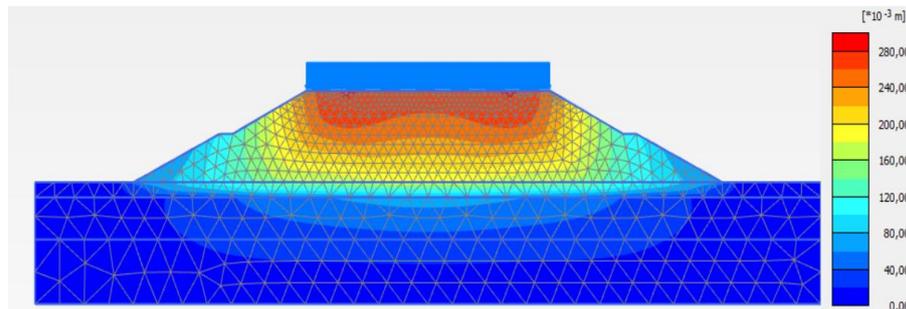


Gambar 5. 22 *Deformed Mesh* Timbunan Lereng 12 m Pasca Konstruksi akibat Beban Struktur dan Gempa

Kemudian untuk keseluruhan nilai *displacement* pada timbunan lereng 12 m pasca konstruksi akibat beban struktur perkerasan lalu lintas memiliki nilai sebesar $235,0 \times 10^{-3}$ m, sementara akibat beban dan gempa, nilainya sebesar $15,23 \times 10^{-3}$ m. Hasil dari nilai total displacement disajikan pada Gambar 5.23 dan Gambar 5.24 sebagai berikut.

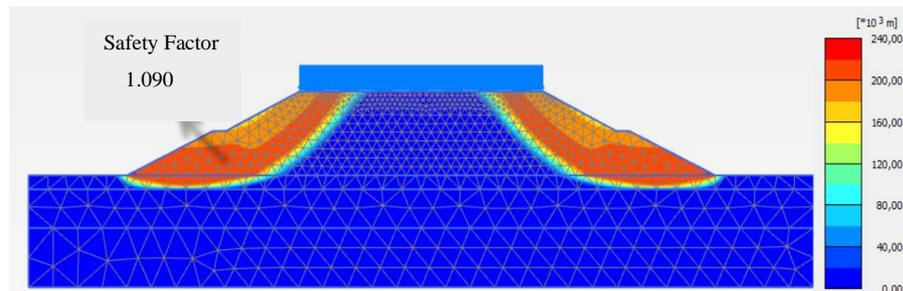


Gambar 5. 23 Nilai *Total Displacement* Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan 12 m Pasca Kontruksi Akibat Beban Lalu Lintas

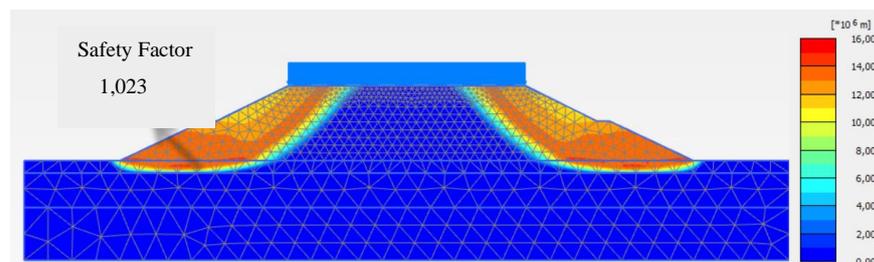


Gambar 5. 24 Nilai *Total Displacement* Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan 12 m Pasca Kontruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Kemudian untuk potensi kelongsoran pada timbunan lereng 12 m paska konstruksi disajikan pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26 sebagai berikut.

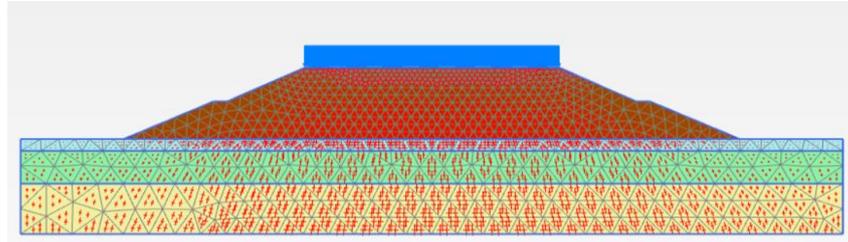


Gambar 5. 25 Potensi Kelongsoran Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan 2 m Pasca Kontruksi akibat Beban Lalu Lintas

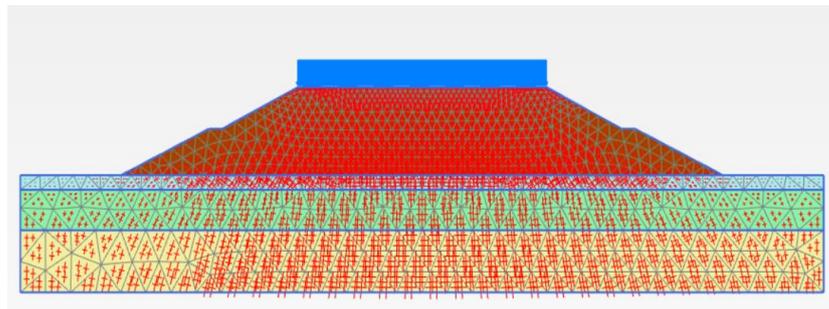


Gambar 5. 26 Potensi Kelongsoran Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan 12 m Pasca Kontruksi akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Kemudian untuk nilai effective stresses pada timbunan lereng 12 m pasca konstruksi akibat beban struktur lalu lintas mempunyai nilai sebesar $-488,0 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban struktur lalu lintas dan beban gempa mempunyai nilai sebesar $-325,8 \text{ kN/m}^2$. Adapun hasil yang di dapat disajikan pada Gambar 5.27 dan Gambar 5.28 sebagai berikut.

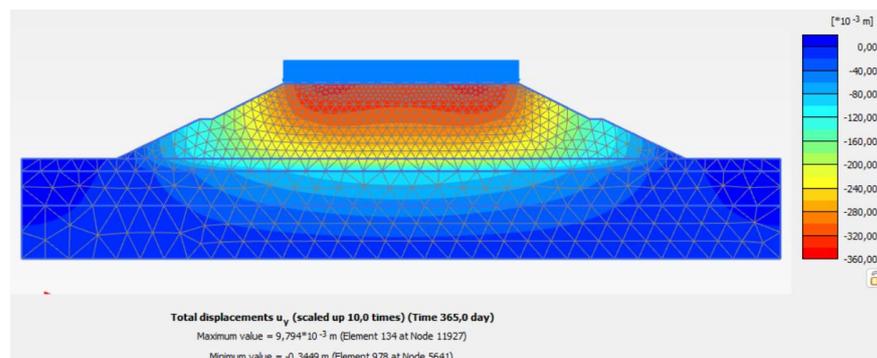


Gambar 5. 27 Nilai *Effective Stresses* pada Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan 12m Paska Kontruksi akibat Beban Struktur Lalu Lintas



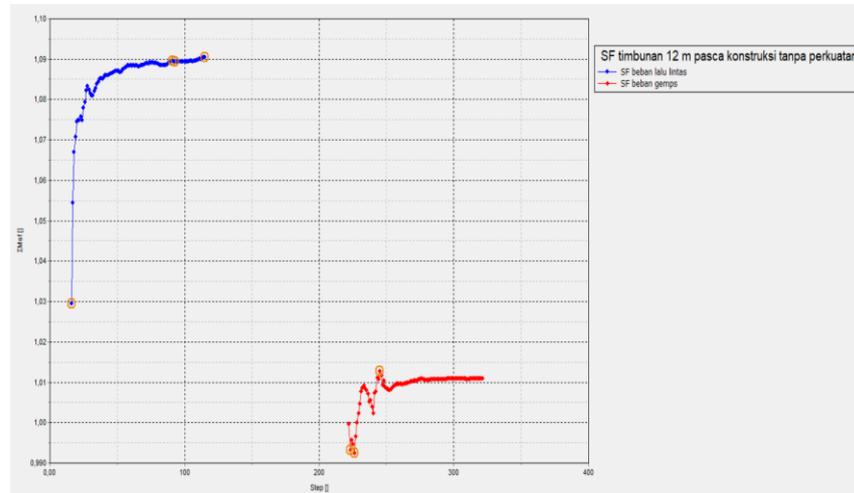
Gambar 5. 28 Nilai *Effective Stresses* pada Timbunan Lereng Tanpa Perkuatan 12m Paska Kontruksi akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa

Kemudian untuk nilai hasil konsolidasi pada timbunan lereng 12 m dengan waktu pengamatan selama 365 hari mempunyai nilai sebesar 0,3449 m, adapun hasil yang di dapat pada Gambar 5.29 sebagai berikut.



Gambar 5. 29 Nilai Konsolidasi Pada Timbunan Lereng 12 m Tanpa Perkuatan

Untuk nilai angka aman (*Safety Factor*) pada timbunan lereng 12 m meter tanpa perkuatan akibat beban struktur lalu lintas memiliki nilai sebesar 1,090 sedangkan akibat beban dan gempa nilainya sebesar 1,103. Hasil dari nilai angka aman (*Safety Factor*) disajikan dalam Gambar 5.30 berikut.



Gambar 5.30 Nilai Angka Aman (SF) Timbunan Lereng 12 m Paska Konstruksi

3. Rekapitulasi hasil angka aman (SF) dan konsolidasi

Rekapitulasi dari hasil analisis angka aman (SF) dan konsolidasi pada timbunan lereng tanpa perkuatan disajikan pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Hasil Angka Aman Lereng Eksisting dan Variasi Timbunan Aman Tanpa Perkuatan

Angka Aman (SF)	Kondisi			
	Masa Konstruksi		Pasca Konstruksi	
	Beban Struktur	Beban & Gempa	Beban Struktur	Beban & Gempa
Timbunan 3m	1,784	1,641	1,473	1,368
Timbunan 6m	1,334	1,234	1,219	1,099
Timbunan 9m	1,233	1,149	1,171	1,041
Timbunan 12 m	1,118	1,051	1,090	1,023

Dapat dilihat pada Tabel 5.6 angka aman (SF) pada timbunan 6m, 9m, dan 12m memiliki nilai *safety factor* yang kecil dari angka batas aman yang ditentukan sebesar 1,3, tetapi pada timbunan 3 m sudah memenuhi syarat $SF > 1,3$. Pada tinggi timbunan yang belum memenuhi syarat, akan dilakukan analisis tambahan dengan penanganan menggunakan perkuatan geotekstil dan matras bambu. Selanjutnya, hasil konsolidasi selama 365 hari pada timbunan lereng tanpa perkuatan disajikan pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Hasil Konsolidasi pada Timbunan Lereng eksisting dan variasi timbunan Tanpa Perkuatan

Konsolidasi Penurunan		
Timbunan	Penurunan	Satuan
3m	0,07815	m
6m	0,1522	m
9m	0,2372	m
12m	0,3449	m

5.3 Perkuatan Geotekstil

5.3.1 Data Geotekstil

1. Parameter Tanah Timbunan

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

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

2. Data Geotekstil

Pada analisis penanganan perkuatan ini menggunakan jenis geotekstil woven sebagai perkuatan pada timbunan tanah. Data geotekstil yang digunakan berasal dari pabrikasi PT. Teknindo Geosistem Unggul, dengan jenis geotekstil yang dipakai adalah woven UW-250. Nilai kuat tarik geotekstil yang dipakai sebesar 52 kN/m dan nilai regangannya sebesar 20%. Data parameter geotekstil yang akan diinput kedalam aplikasi Plaxis v22 yaitu berupa nilai *normal stiffness* (EA) yang dihitung sebagai berikut.

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

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

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

Data parameter geotekstil yang dipakai sebagai perhitungan dan *input* kedalam program Plaxis v22 disajikan pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5. 4 Data Geotekstil Woven UW-250

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

3. Koefisien daya dukung tanah

Dalam analisis perhitungan kebutuhan geotekstil, diperlukan data koefisien daya dukung tanah. Data koefisien daya dukung tanah pada penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari departemen pekerjaan umum (2009). Untuk nilai koefisien daya dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 5 Koefisien Daya Dukung Tanah Metode Meyerhof Mekanisemen Keruntuhan Geser Lokal

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

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009))

5.3.2 Stabilitas Eksternal

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

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

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

$$= 0,40586$$

- a. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 3m

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

$$= (25 \times 0,40586) + (0,40586 \times 12 \times 16) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,40586})$$

$$= 16,886 \text{ kN/m}^2$$

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

$$= \frac{26}{16,886 \times 1,5}$$

$$= 1,026 \text{ m}$$

Dilapangan dipasang SV = 1 m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 3m / 1m = 3 lapis

Pada penelitian untuk timbunan lereng 3 m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

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

$$\begin{aligned}\sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\ &= (25 \times 0,40586) + (0,40586 \times 6 \times 16) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,40586}) \\ &= 23,38 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{26}{23,38 \times 1,5} \\ &= 0,477 \text{ m}\end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 m (minimal)

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

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

- c. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 9m

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

$$\begin{aligned}SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{26}{36,3675 \times 1,5} \\ &= 0,310 \text{ m}\end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 m (minimal)

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

Pada penelitian untuk timbunan lereng 6m akan digunakan geotekstil sebanyak 4 lapis.

- d. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 12m

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

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

$$= \frac{26}{49,355 \times 1,5}$$

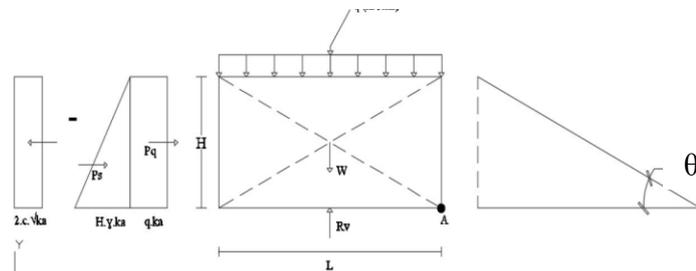
$$= 0,230 \text{ m}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = 8m / 0,5m = 24 lapis

Pada penelitian untuk timbunan lereng 8m akan digunakan geotekstil sebanyak 4 lapis.

2. Menentukan panjang geotekstil



Gambar 5. 31 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Tanah

a. Stabilitas terhadap guling

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

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

$$\Sigma MD = (\frac{1}{2} \times q \times L^2) + (\frac{1}{2} \times \gamma b \times H \times L^2)$$

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} = \frac{(\frac{1}{2} \times 25 \times L^2) + (\frac{1}{2} \times 16 \times 12,5 \times L^2)}{(25 \times 0,4058 \times 12^2) + (\frac{1}{2} \times 0,4058 \times 16 \times 12^2 \times \frac{1}{3} \times 12) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,4059} \times \frac{1}{2} \times 12^2)}$$

$$SF = \left(\frac{108,50 \times L^2}{2413,916} \right)$$

$$L^2 = \frac{2413,916 \times 1,5}{108,50/5} = 166,861 \text{ m}$$

$$L = 12,917 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan guling pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 13 m.

b. Stabilitas terhadap geser

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

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

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

$$SF = \frac{64,966 \times L}{436,412}$$

$$L = \frac{436,412 \times 1,5}{64,966} = 10,076 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan geser pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 10 m

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

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

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

$$\frac{L}{6} \geq \frac{1.683,37}{(12 \times 16 \times L) + (25 \times L)}$$

$$\frac{L}{6} \geq \frac{1.683,37}{217 \times L}$$

$$L^2 = 46,545 \text{ m}$$

$$L = 6,822 \text{ m}$$

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

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

$$Nc = 20,72$$

$$N\gamma = 10,8$$

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

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

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

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

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

$$217 L \leq 310,8 + (129,6 \times L)$$

$$L = \frac{310,8}{217 - 129,6}$$

$$L = 3,556 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan daya dukung tanah pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 4 m.

Dari keempat jenis parameter stabilitas lereng tanah diatas, panjang geotekstil yang digunakan secara maksimum sebesar 13 m. Untuk panjang kebutuhan geotekstil lereng dengan tinggi timbunan yang lain disajikan pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil

Tinggi Timbunan (H)	Stabilitas Guling	Stabilitas Geser	Stabalitas Eksentrisitas	Stabilitas Daya Dukung Tanah	Panjang Minimum (L)
3 m	3,604	1,471	1,201	-5,491	1
6 m	5,728	4,195	3,046	-36,140	4
9 m	9,858	7,105	4,928	7,888	7
12 m	12,917	10,076	6,882	3,556	10

5.3.3 Stabilitas Internal

1. Panjang *overlapping* geotekstil

a. Timbunan 3 m

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times s_v \times SF}{2 \times \gamma_b \times H \tan \phi}$$

$$L_o = \frac{16,886 \times 1 \times 1,5}{2 \times 16 \times 3 \times \tan 25} = 0,2829 \text{ m}$$

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

b. Timbunan 6 m

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times s_v \times SF}{2 \times \gamma_b \times H \tan \phi}$$

$$L_o = \frac{16,886 \times 1 \times 1,5}{2 \times 16 \times 6 \times \tan 25} = 0,2829 \text{ m}$$

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

c. Timbunan 9 m

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times s_v \times SF}{2 \times \gamma_b \times H \tan \phi}$$

$$L_o = \frac{16,886 \times 1 \times 1,5}{2 \times 16 \times 9 \times \tan 25} = 0,1886 \text{ m}$$

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

d. Timbunan 12 m

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

$$L_o = \frac{16,886 \times 1 \times 1,5}{2 \times 16 \times 12 \times \tan 25} = 0,1415 \text{ m}$$

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

2. Panjang efektif geotekstil

a. Timbunan 3 m

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

$$L_e = \frac{1,5 \times 1 \times 0,4059 \times 16 \times 3}{2 \times 16 \times 3 \times \tan 25} = 0,653 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,653 m.

b. Timbunan 6 m

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

$$L_e = \frac{1,5 \times 1 \times 0,4059 \times 16 \times 6}{2 \times 16 \times 6 \times \tan 25} = 0,653 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,653 m.

c. Timbunan 9 m

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

$$L_e = \frac{1,5 \times 1 \times 0,4059 \times 16 \times 9}{2 \times 16 \times 9 \times \tan 25} = 0,653 \text{ m}$$

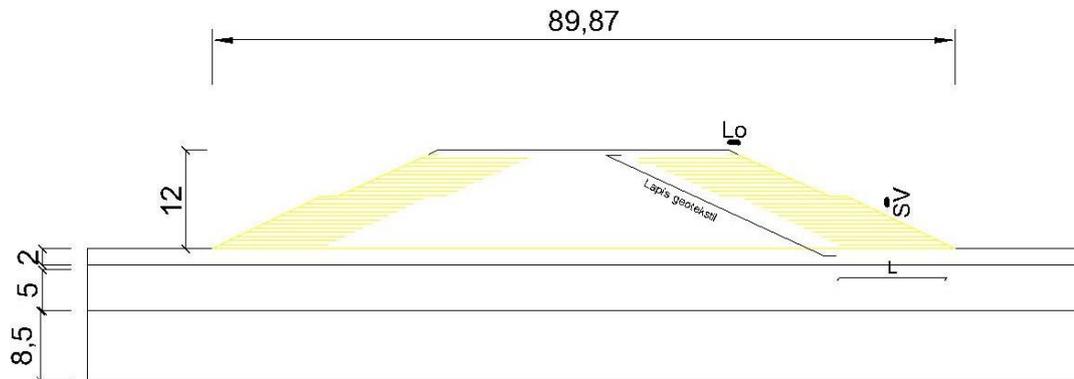
Panjang efektif yang digunakan adalah 0,653 m.

d. Timbunan 12 m

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

$$L_e = \frac{1,5 \times 1 \times 0,4059 \times 16 \times 12}{2 \times 16 \times 12 \times \tan 25} = 0,653 \text{ m}$$

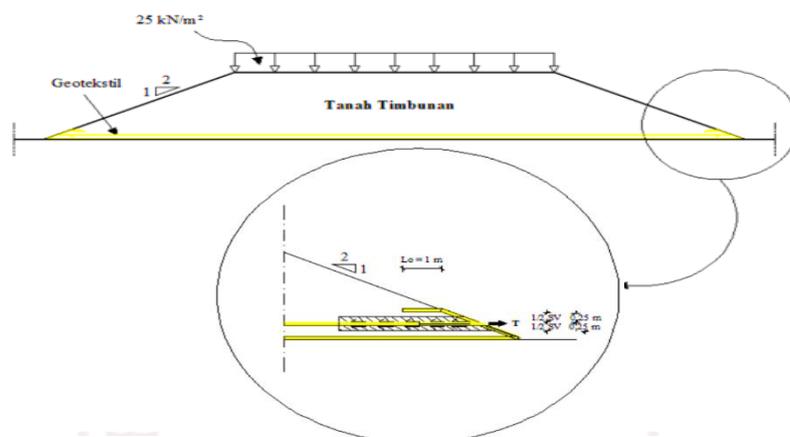
Panjang efektif yang digunakan adalah 0,653 m.



Gambar 5. 32 Detail Pemasangan Geotekstil

5.3.4 Cek Gaya Tarik Tanah Geotekstil

Untuk mengecek apakah geotekstil yang dipakai mampu menahan gaya tarik yang terjadi dengan nilai SV 0,5 m, dilakukan perhitungan tegangan geser yang bekerja. Gambar transfer gesekan tanah-geotekstil disajikan pada Gambar 5.33 berikut.



Gambar 5. 33 Gesekan Tanah-Geotekstil

saat geotekstil menerima beban dari atas (tanah) maka geotekstil akan menegang dan mentransfer tegangan tersebut ke daerah pasif. Sehingga geotekstil harus mampu menahan gaya tarik yang bekerja padanya. Sebab itu perlu dilakukan pengecekan terhadap gaya tarik yang bekerja pada geotekstil menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 T &= \tan \varphi \times 2 \times \sigma_n \times b \times L \\
 &= \tan(25) \times 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 0,5 \times 16 \right) \times 1 \times 10
 \end{aligned}$$

$$= 37,305 \text{ KN}$$

Hasil perhitungan gaya tarik yang bekerja diatas pada geotekstil sebesar 37,305kN, Diketahui bahwa jenis geotekstil yang digunakan memiliki kuat tarik sebesar 52 kN/m. Sehingga geotekstil kuat menahan gaya tarik yang akan bekerja karena $52 \text{ kN/m} > 37,305 \text{ kN}$ (aman).

5.4 Perkuatan Matras Bambu

5.4.1 Data Matras Bambu

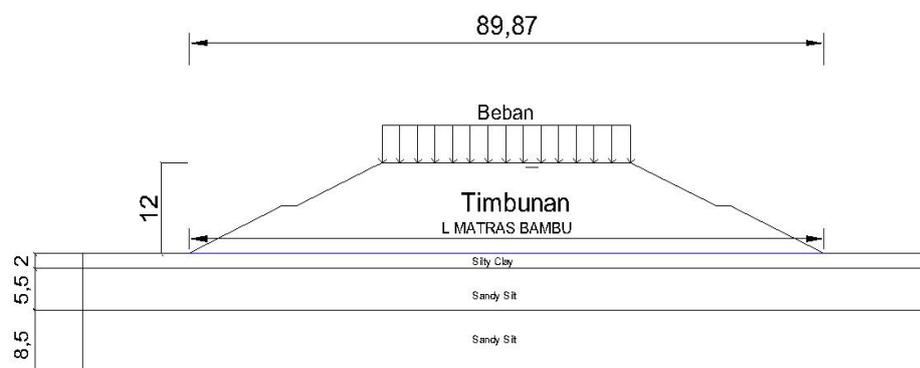
1. Parameter Tanah Timbunan

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

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

2. Data Matras Bambu

Data parameter bambu untuk penelitian ini diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan oleh Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – D.I Yogyakarta yang dapat dilihat pada tabel 4.4. Data parameter matras bambu berfungsi sebagai input untuk permodelan matras bambu pada aplikasi PLAXIS V.22 untuk detail pemasangan disajikan pada gambar 5.34 berikut.



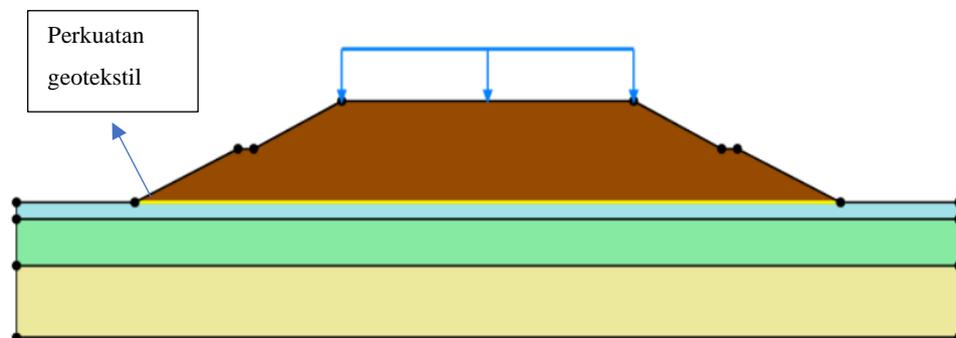
Gambar 5. 34 Detail Pemasangan Matras Bambu

5.5 Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil 1 Lapis

Dari hasil analisis yang telah dilakukan terhadap timbunan lereng tanpa adanya perkuatan, ditemukan beberapa variasi timbunan lereng, yaitu dengan tinggi 6 m, 9 m, sampai dengan timbunan lereng eksisting 12 m, masih belum memenuhi kriteria angka aman. Oleh karena itu, diperlukan analisis tambahan dengan tambahan perkuatan geotekstil. Analisis ini dilakukan dengan kondisi geometri yang sama. Hasil analisis perhitungan menggunakan program Plaxis v22 yang ditampilkan pada analisis ini adalah lereng dengan tinggi 12 m dengan perkuatan geotekstil 1 lapis. Penjelasan analisis meliputi permodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi pasca konstruksi. Untuk hasil pada analisis lereng dengan tinggi timbunan 6 m, dapat dilihat pada Lampiran 9, dan lereng dengan tinggi timbunan 9 m dapat dilihat pada Lampiran 10.

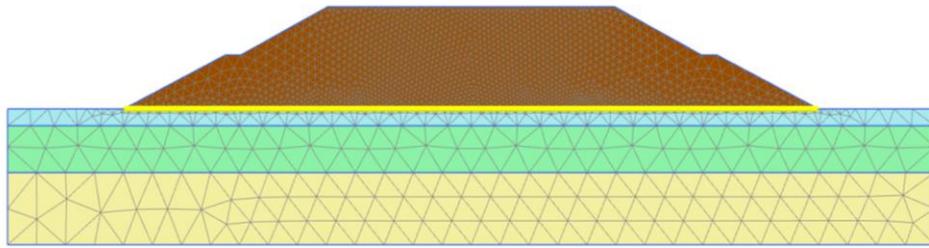
1. Permodelan awal lereng masa konstruksi

Hasil dari pemodelan awal lereng dengan perkuatan geotekstil disajikan gambar 5.35 berikut.



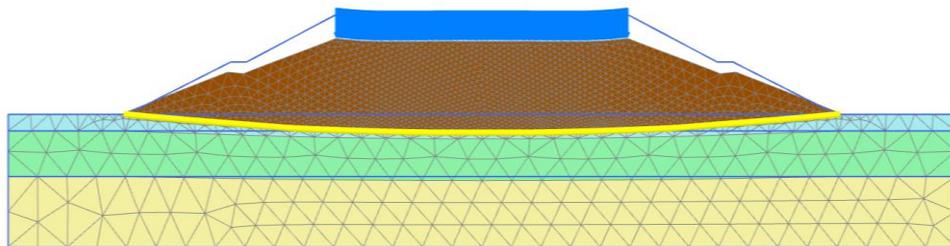
Gambar 5. 35 Permodelan Lereng Timbunan 12 m Dengan Perkuatan Geotekstil 1 lapis

Kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) disajikan pada Gambar 5.36 berikut.

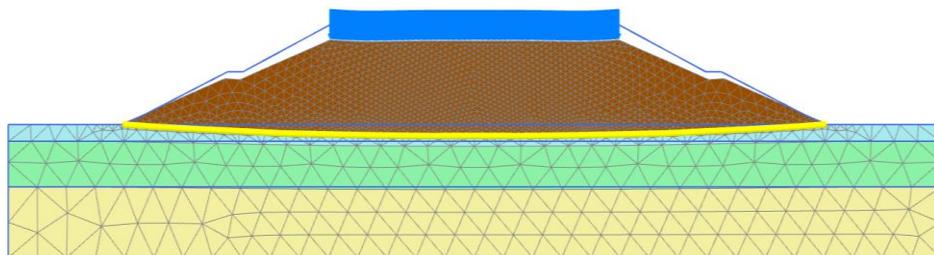


Gambar 5. 36 meshing pada lereng timbunan 12 m dengan perkuatan Geotekstil 1 Lapis

selanjutnya masuk ke tahap analisis perhitungan (*calcuation*) lereng timbunan 12 m dengan perkuatan geotekstil 1 lapis, sama seperti analisis tanpa perkuatan. Untuk hasil dari *deformed mesh* pada timbunan lereng 12 m disajikan pada Gambar 5.37 dan Gambar 5.38 sebagai berikut.

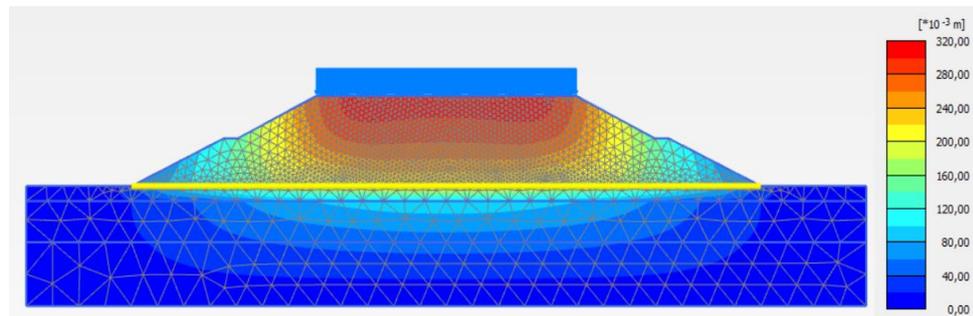


Gambar 5. 37 Deformed Mesh pada Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

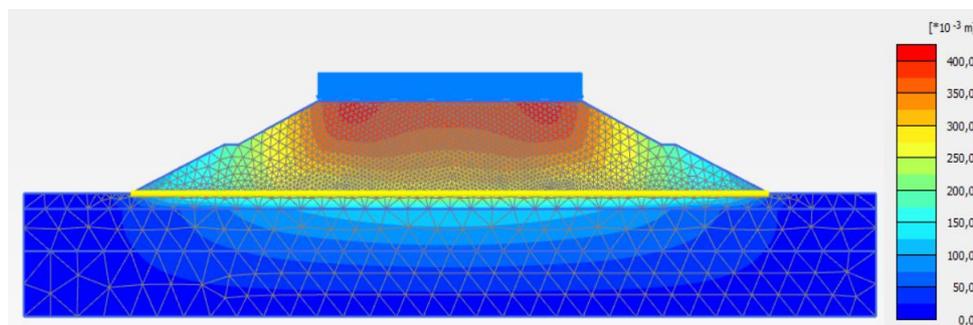


Gambar 5. 38 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai total *displacement* pada timbunan lereng dengan beban struktur sebesar 0,3095 m, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban struktur dan gempa sebesar 0,4099 m. Besarnya total *displacement* yang terjadi disajikan pada Gambar 5.39 dan Gambar 5.40 berikut.

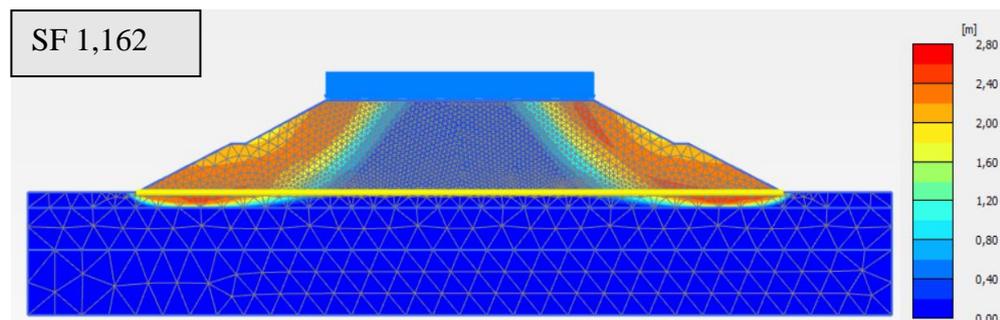


Gambar 5. 39 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

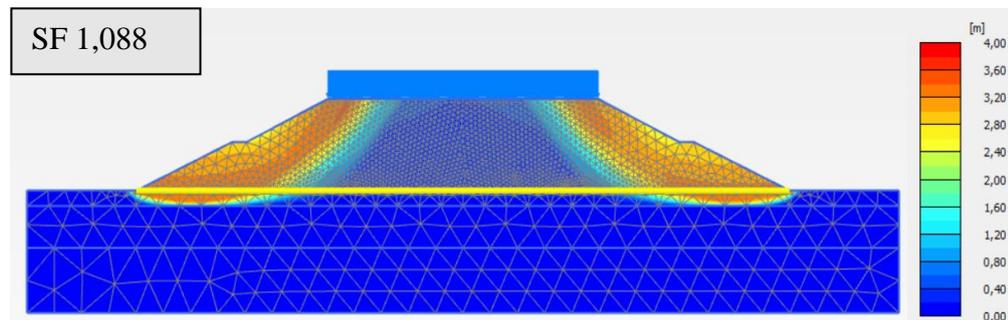


Gambar 5. 40 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

potensi kelongsoran yang terjadi akibat beban struktur dan beban dengan gempa disajikan dalam Gambar 5.41 dan Gambar 5.42 berikut.

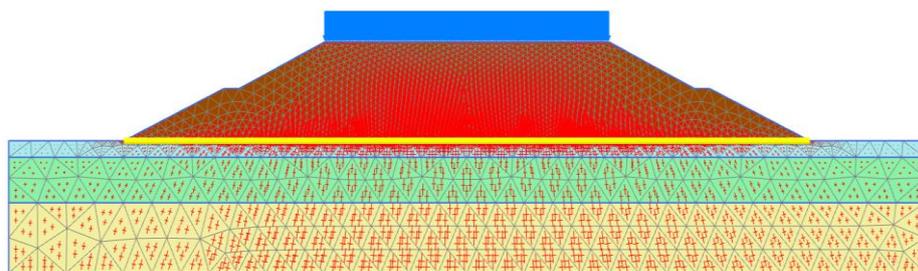


Gambar 5. 41 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

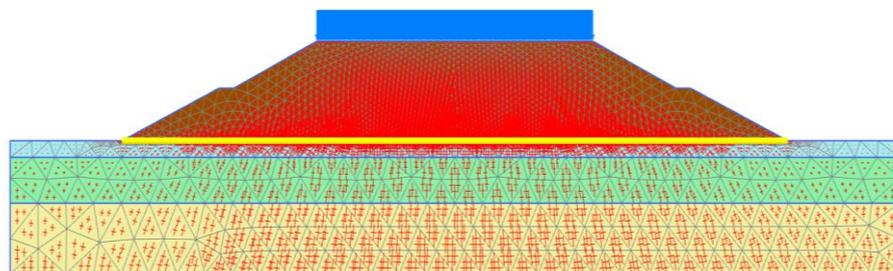


Gambar 5. 42 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Hasil *effective stresses* pada lereng timbunan 12 m akibat beban struktur sebesar $-399,7 \text{ kN/m}^2$, sementara akibat beban dan gempa sebesar $-476,8 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut disajikan dalam Gambar 5.43 dan Gambar 5.44 berikut.



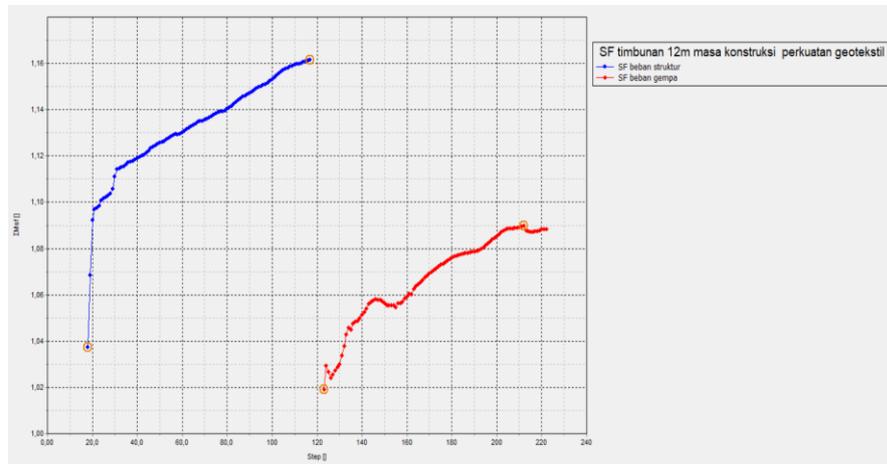
Gambar 5. 43 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 44 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Hasil dari analisis berupa nilai angka aman lereng timbunan 12 m akibat beban struktur sebesar 1,162, sementara nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,088. Hasil dari nilai angka aman disajikan dalam kurva

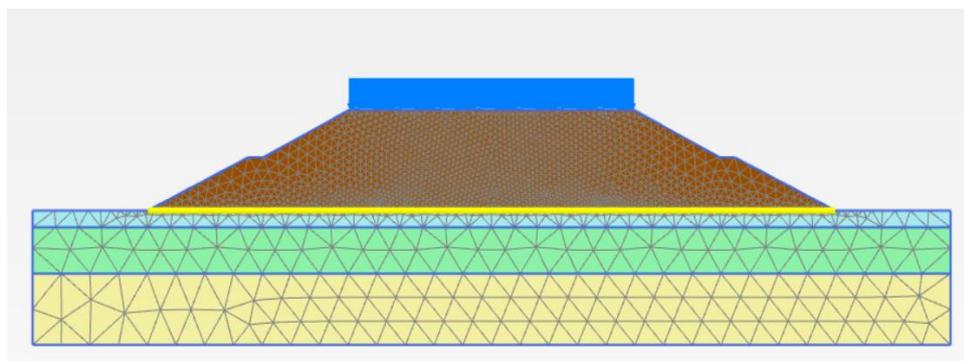
pada Gambar 5.45 berikut.



Gambar 5. 45 Kurva SF Lereng Timbunan 12 m Geotekstil 1 Lapis Masa Konstruksi

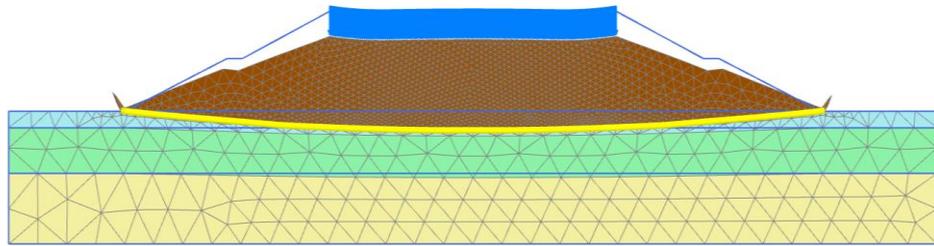
2. Kondisi pasca konstruksi

Pada saat kondisi pasca konstruksi beban lalu lintas menjadi parameter tambahan untuk proses analisis. Jaringan elemen (*meshing*) kondisi pasca konstruksi sama pada saat kondisi masa konstruksi. Dilakukan *generate* Kembali karena kondisi awal tanah pada masa konstruksi sudah selesai tertimbun. Hasil dari *generate* disajikan pada gambar 5.46 berikut.

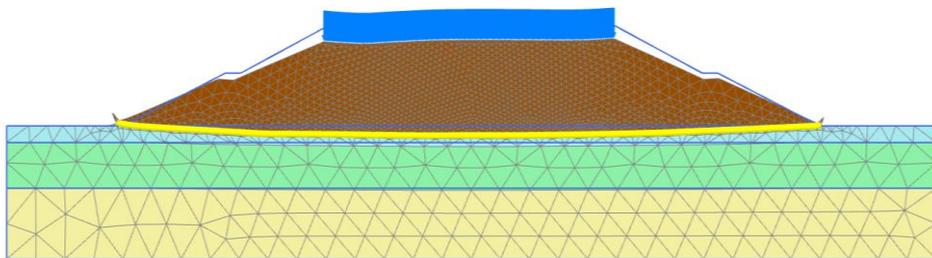


Gambar 5. 46 Hasil *Generate Mesh* timbunan 12 m pasca konstruksi Geotekstil 1 Lapis

Untuk analisis berikutnya merupakan analisis perhitungan (*calculation*) pasca konstruksi tanah asli dengan perkuatan. Sama seperti tahapan saat masa konstruksi, karena kondisi ini sudah dianggap tertimbun. Adapun hasilnya disajikan pada Gambar 5.47 dan Gambar 5.48 berikut.

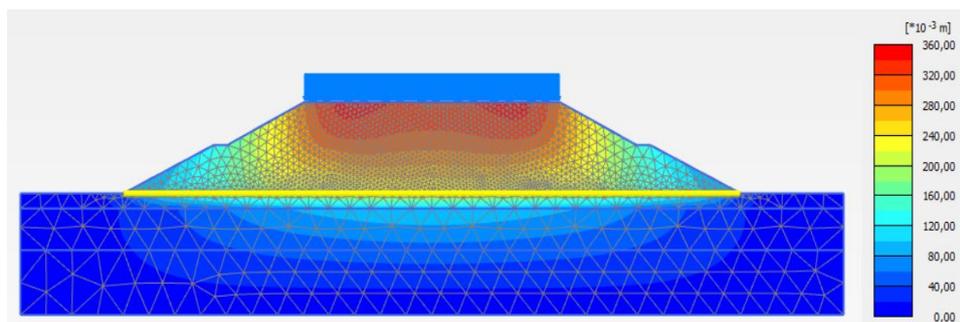


Gambar 5. 47 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil 1 Lapis

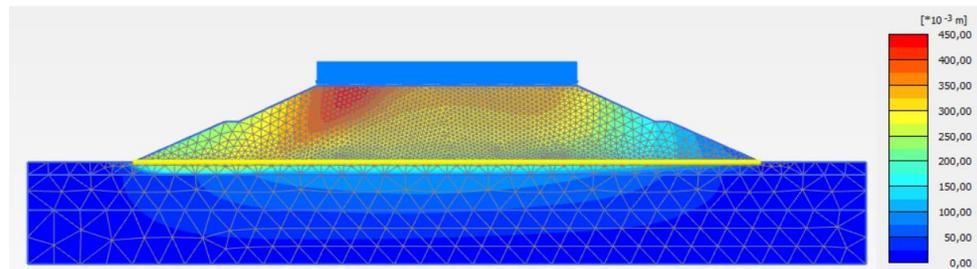


Gambar 5. 48 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil 1 Lapis

Nilai total *displacement* pada timbunan lereng dengan beban lalu lintas sebesar 0,3468 m, Sementara itu timbunan lereng dengan beban dan gempa sebesar 0,4463 m. Hasil dari total *displacement* yang terjadi disajikan pada Gambar 5.49 dan Gambar 5.50 berikut.

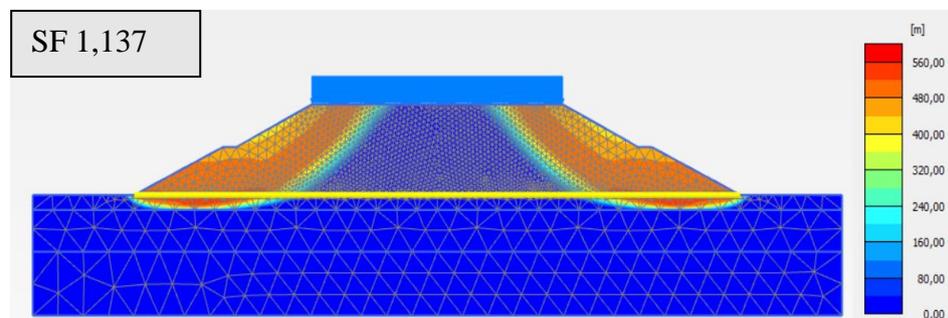


Gambar 5. 49 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil 1 Lapis

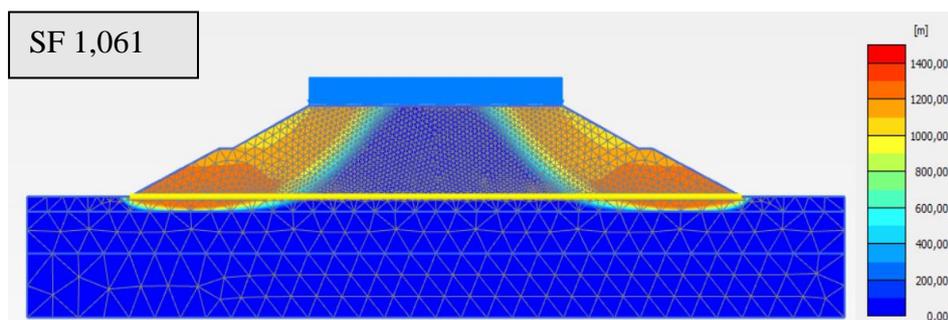


Gambar 5. 50 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil 1 Lapis

kelongsoran akibat beban lalu lintas dan beban gempa yang terjadi disajikan pada Gambar 5.51 dan Gambar 5.52 berikut.

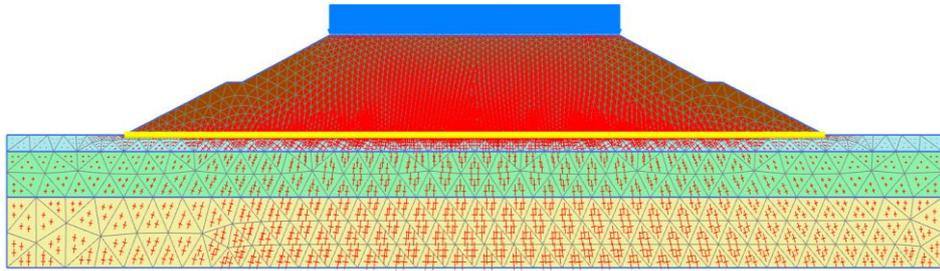


Gambar 5. 51 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil 1 Lapis

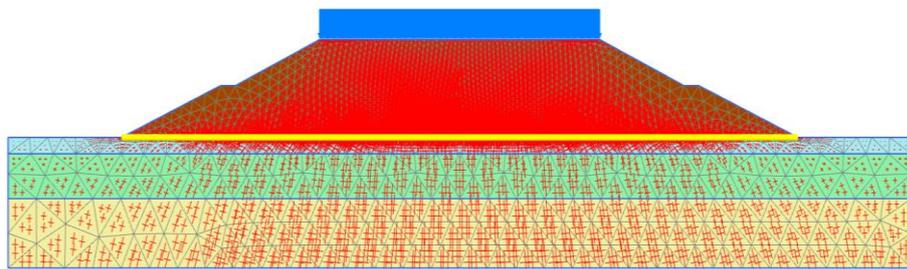


Gambar 5. 52 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil 1 Lapis

nilai effective stresses yang terjadi pada lereng timbunan 12 m akibat beban lalu lintas sebesar $-439,0 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-369,1 \text{ kN/m}^2$. Hasil perhitungan tersebut disajikan pada Gambar 5.53 dan Gambar 5.54 berikut.

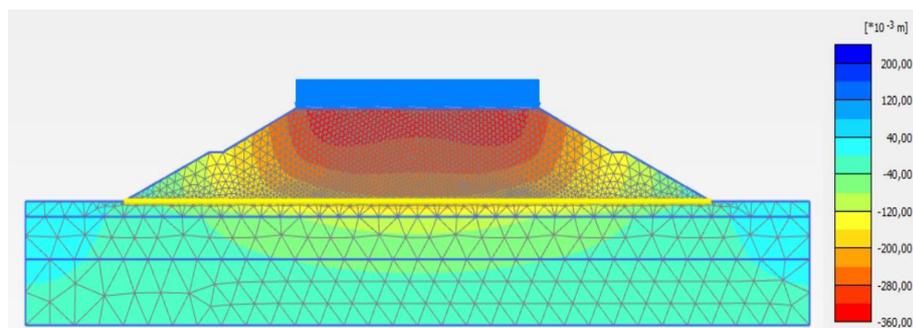


Gambar 5. 53 *Effetive Stresses* Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil 1 Lapis



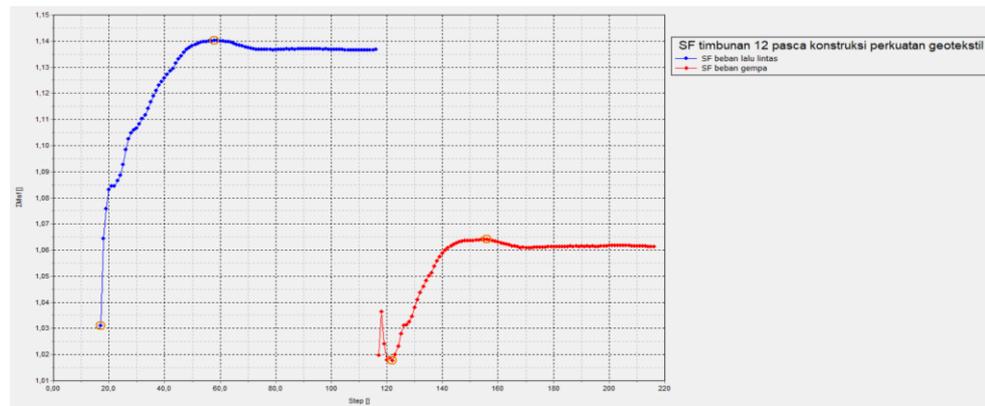
Gambar 5. 54 *Effetive Stresses* Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil 1 Lapis

Kemudian untuk hasil konsolidasi pada timbunan lereng geotekstil 1 lapis 12 m dengan waktu pengamatan selama 365 hari, memiliki nilai sebesar 0,3432 m, adapun hasil yang di dapat disajikan pada Gambar 5.55 sebagai berikut.



Gambar 5. 55 Nilai Konsolidasi Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil 1 Lapis

Hasil nilai angka aman dari lereng timbunan 12 m pasca konstruksi didapatkan dari akibat beban lalu lintas sebesar 1,137 sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,061. Nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.56 berikut.



Gambar 5. 56 Kurva SF Lereng Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Geotekstil 1 Lapis

3. Rekapitulasi hasil angka aman (SF) dan konsolidasi

Hasil dari analisis perhitungan pada timbunan lereng dengan perkuatan geotekstil untuk rekapitulasi angka aman dan konsolidasi dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5. 7 Hasil rekapitulasi pada Timbunan Lereng Dengan Geotekstil 1 Lapis

Angka Aman (SF)	Kondisi			
	Masa Konstruksi		Pasca Konstruksi	
	Beban Struktur	Beban & Gempa	Beban Struktur	Beban & Gempa
Timbunan 6 m	1,554	1,394	1,378	1,227
Timbunan 9 m	1,338	1,229	1,251	1,212
Timbunan 12 m	1,162	1,088	1,137	1,061

Tabel 5. 8 Hasil Rekapitulasi Konsolidasi Penurunan Pada Timbunan Lereng Dengan Geotekstil 1 Lapis

Konsolidasi penurunan		
Timbunan	Penurunan	Satuan
6 m	0,1495	m
9 m	0,2340	m
12 m	0,3432	m

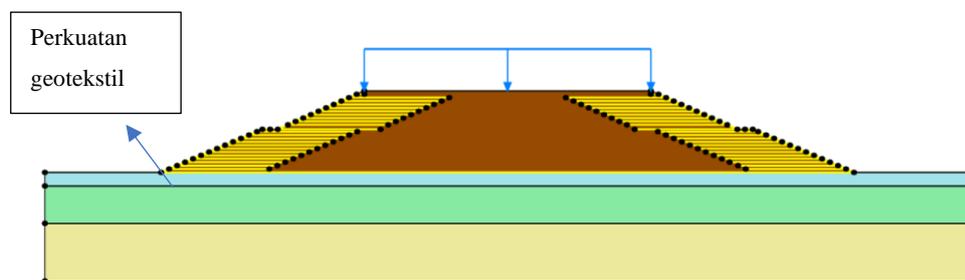
5.6 Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil Sesuai Kebutuhan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan terhadap timbunan lereng tanpa adanya perkuatan, dan dengan menggunakan perkuatan geotekstil asumsi 1 lapis,

masih ditemukan bahwa beberapa variasi timbunan lereng, yaitu 6 m, 9 m, hingga eksisting 12 m, masih belum memenuhi kriteria angka aman. Maka dari itu diperlukan analisis kembali timbunan lereng dengan tambahan perkuatan geotekstil dengan analisis kondisi geometri yang sama dan sesuai dengan perhitungan kebutuhan geotekstil. Hasil analisis perhitungan menggunakan program Plaxis V22 yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng dengan tinggi 12 m. Penjelasan analisis meliputi permodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi pasca konstruksi. Untuk hasil pada analisis lereng dengan tinggi timbunan 6 m, dan lereng dengan tinggi timbunan 9 m dapat dilihat pada Lampiran 16 dan 17.

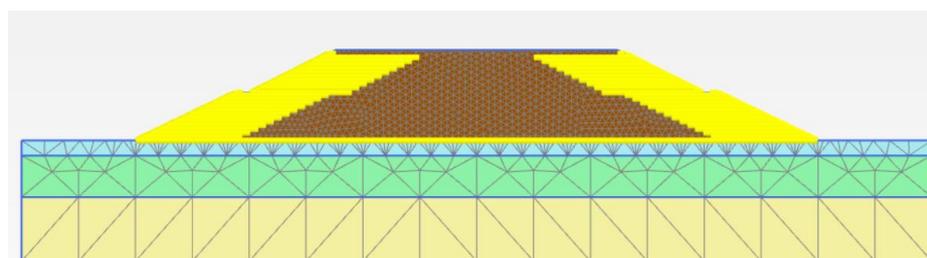
1. Permodelan awal lereng masa konstruksi

Hasil dari permodelan awal lereng dengan perkuatan geotekstil pemasangan geotekstil 1 secara mendatar dan 24 lapis kanan kiri lereng, dengan SV 0,5 m Panjang overlapping 1m, disajikan pada gambar 5.57 berikut.



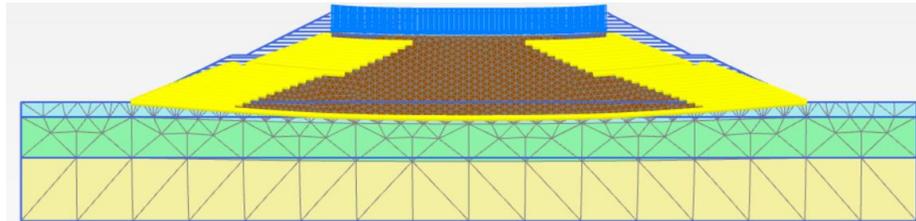
Gambar 5. 57 Permodelan Lereng Timbunan 12 m Dengan Perkuatan Geotekstil

Kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) disajikan pada Gambar 5.58 berikut

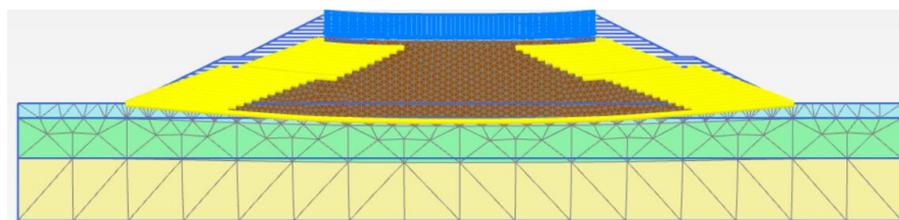


Gambar 5. 58 *meshing* pada lereng timbunan 12 m dengan perkuatan Geotekstil

Selanjutnya masuk ke tahap analisis perhitungan (*calcuation*) lereng timbunan 12 m sama seperti analisis sebelumnya. Untuk hasil dari *deformed mesh* pada timbunan lereng 12 m disajikan pada Gambar 5.59 dan Gambar 5.60 sebagai berikut.

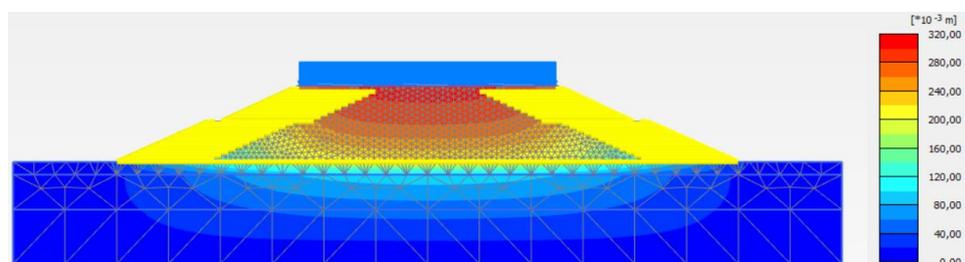


Gambar 5. 59 *Deformed Mesh* pada Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

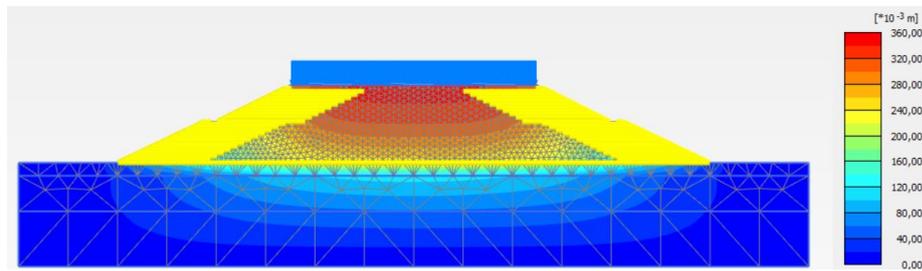


Gambar 5. 60 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai Total *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban struktur sebesar 0,3063 m, kemudian pada timbunan lereng dengan beban struktur dan gempa sebesar 0,3475 m. Besarnya total *displacement* yang terjadi disajikan pada Gambar 5.61 dan Gambar 5.62 berikut.

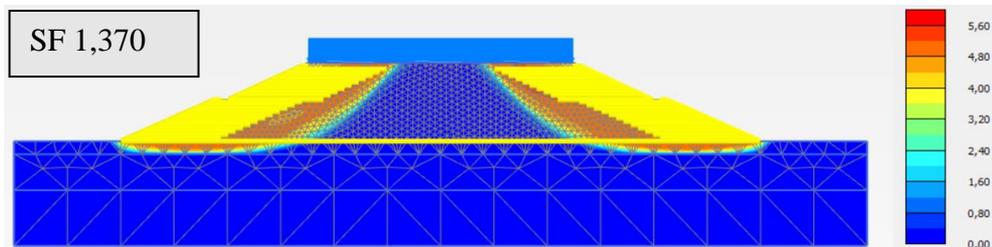


Gambar 5. 61 *Total Displacement* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

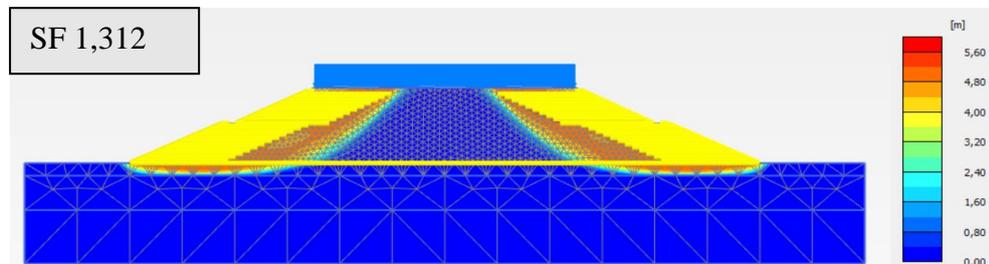


Gambar 5.62 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Kemudian potensi kelongsoran yang terjadi akibat dari beban struktur dan beban dengan gempa disajikan pada Gambar 5.63 dan Gambar 5.64 berikut.

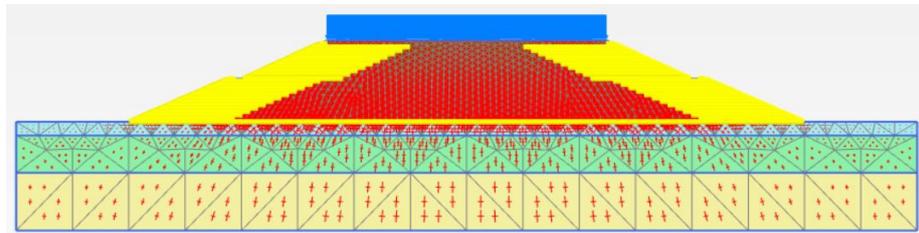


Gambar 5.63 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

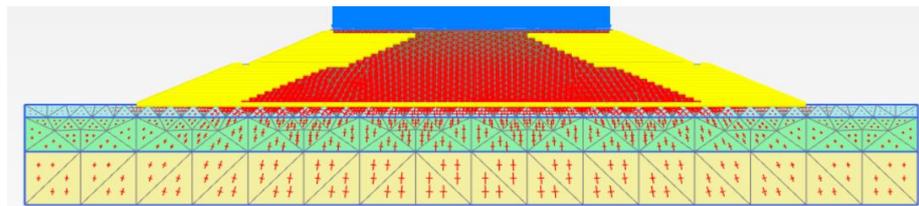


Gambar 5.64 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Selanjutnya, hasil nilai *effective stresses* pada lereng timbunan 12 m akibat beban struktur sebesar $-391,0 \text{ kN/m}^2$, kemudian akibat beban dan gempa sebesar $-433,5 \text{ kN/m}^2$. Hasil ini disajikan pada Gambar 5.65 dan Gambar 5.66 berikut.

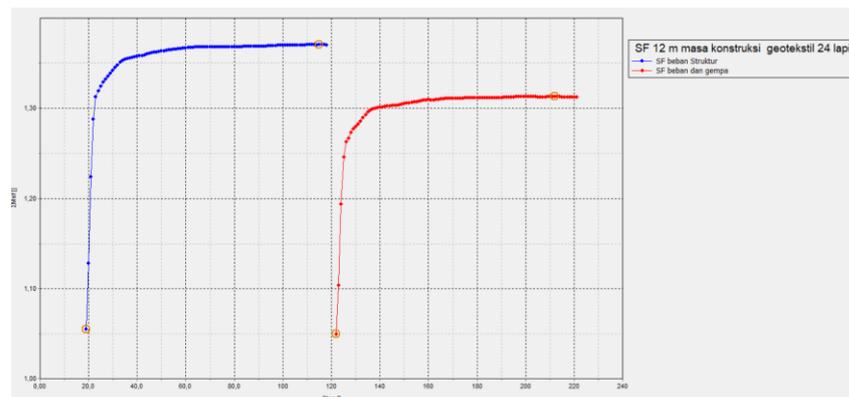


Gambar 5.65 Effetive Stresses Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5.66 Effetive Stresses Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Hasil dari analisis menunjukkan nilai angka aman lereng timbunan 12 m akibat beban struktur sebesar 1,162, kemudian nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,088. Hasil nilai angka aman disajikan pada kurva Gambar 5.67 berikut.

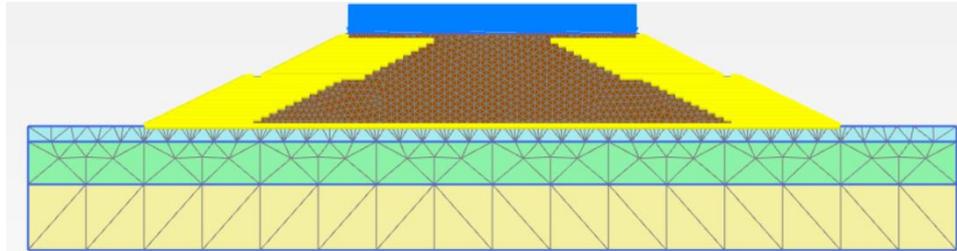


Gambar 5.67 Kurva SF Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi

2. Kondisi pasca konstruksi

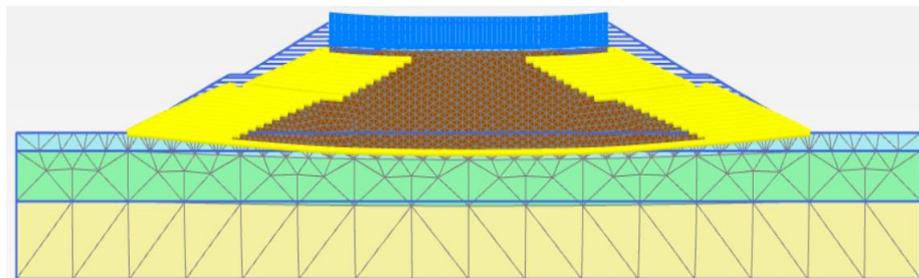
Pada saat kondisi pasca konstruksi, beban lalu lintas menjadi parameter tambahan untuk proses analisis. Jaringan elemen (*meshing*) kondisi pasca konstruksi sama pada saat kondisi masa konstruksi. Dilakukan *generate*

Kembali karena kondisi awal tanah pada masa konstruksi sudah selesai tertimbun. Hasil dari *generate* disajikan pada gambar 5.68 berikut.

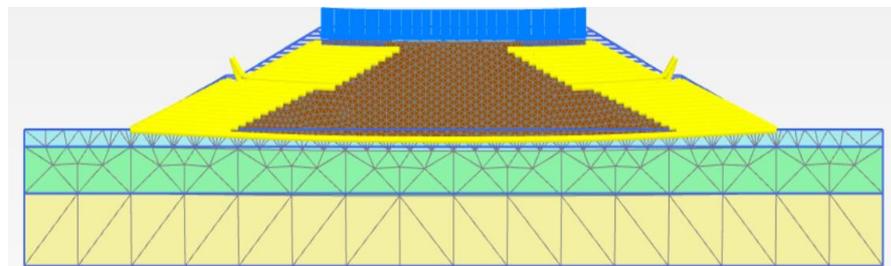


Gambar 5.68 *Generate Mesh* Timbunan 12 m Pasca Konstruksi Dengan Perkuatan Geotekstil

Kemudian, analisis berikutnya merupakan analisis perhitungan (*calculation*). Sama seperti perkuatan geotekstil dengan tahapan saat masa konstruksi tetapi yang membedakan pada kondisi ini terdapat analisis konsolidasi dengan interval waktu 365 hari. Adapun hasilnya disajikan pada Gambar 5.69 dan Gambar 5.70 berikut.



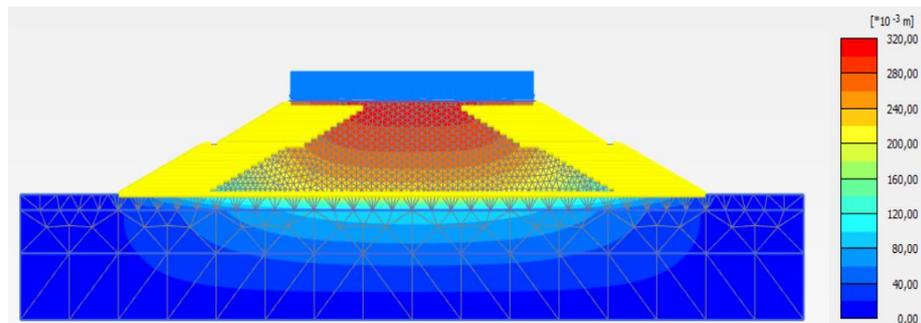
Gambar 5.69 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



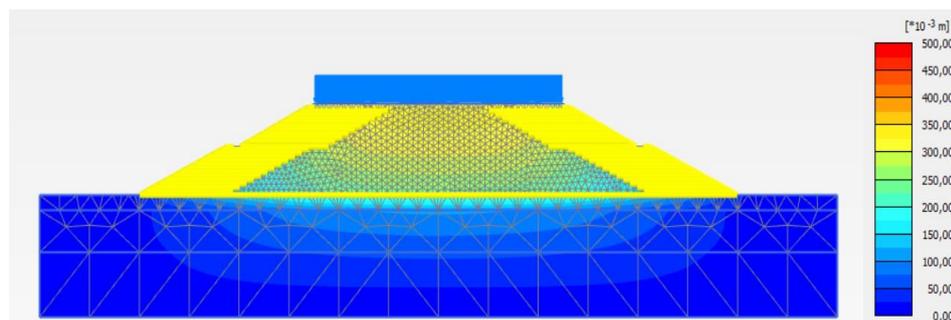
Gambar 5.70 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Hasil total *displacement* yang terjadi pada timbunan lereng dengan beban lalu

lintas sebesar 0,3081 m, sedangkan pada timbunan lereng dengan beban dan gempa sebesar 0,4843 m. Hasil dari *displacement* yang terjadi disajikan pada Gambar 5.71 dan Gambar 5.72 berikut.

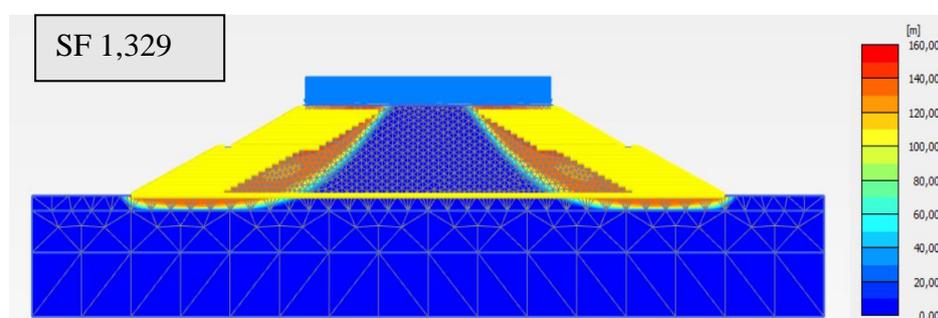


Gambar 5.71 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

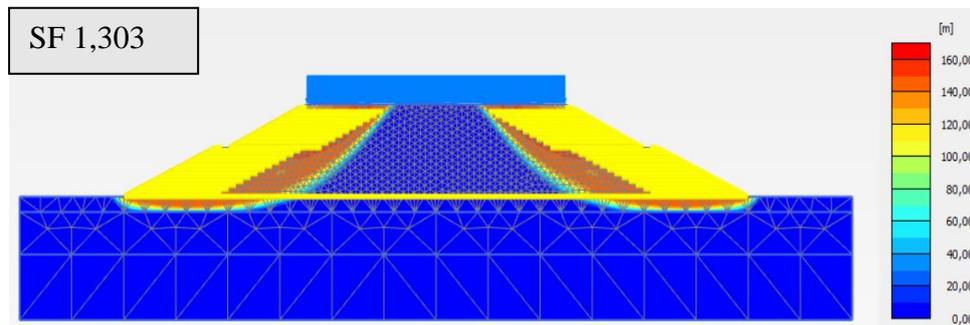


Gambar 5.72 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

kelongsoran terjadi akibat beban lalu lintas dan beban gempa yang terjadi disajikan pada Gambar 5.73 dan Gambar 5.74 berikut.

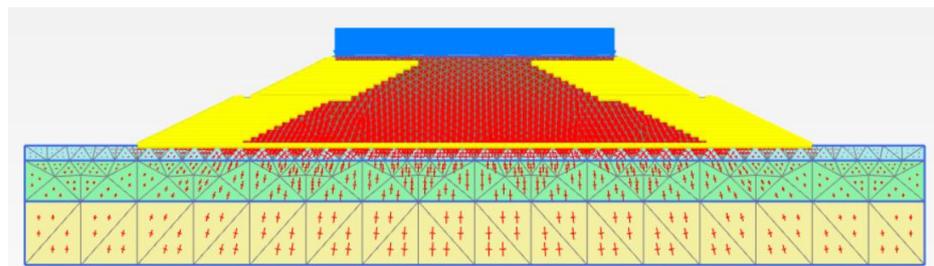


Gambar 5.73 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

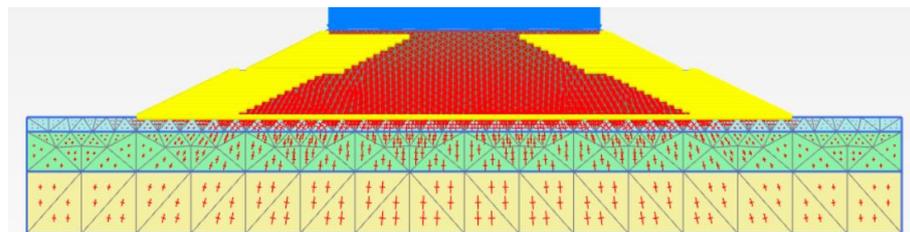


Gambar 5.74 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Untuk nilai *effective stresses* yang terjadi pada lereng timbunan 12 m akibat beban lalu lintas sebesar $-439,0 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa sebesar $-369,1 \text{ kN/m}^2$. Hasil tersebut disajikan pada Gambar 5.75 dan Gambar 5.76 berikut.

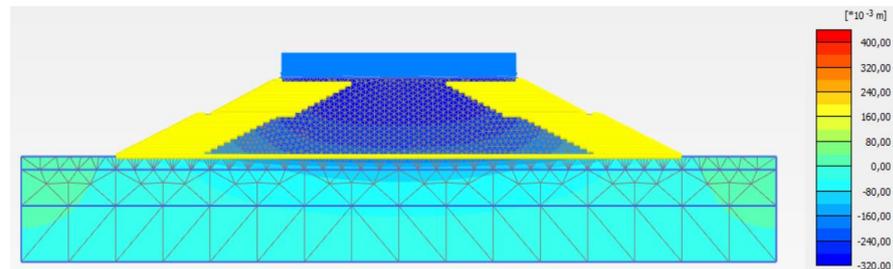


Gambar 5.75 Effetive Stresses Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



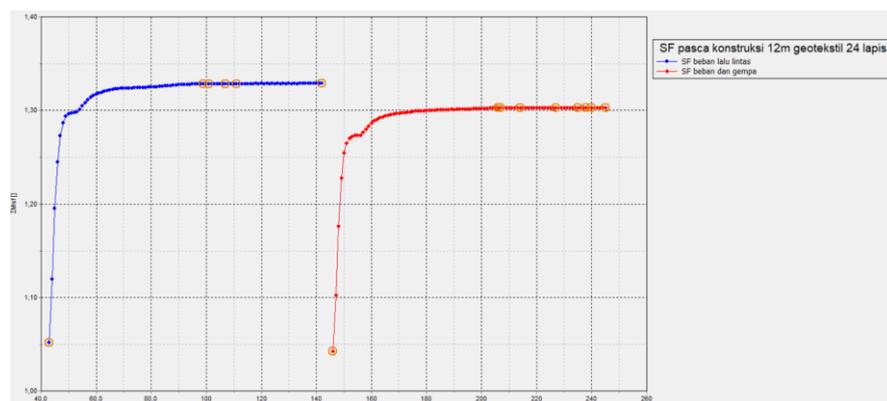
Gambar 5.76 Effetive Stresses Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

Kemudian untuk nilai hasil konsolidasi pada timbunan lereng tanah dengan perkuatan geotekstil timbunan 12 m dengan waktu pengamatan selama 365 hari mempunyai nilai sebesar 0,3144 m, adapun hasil yang di dapat disajikan pada Gambar 5.77 sebagai berikut.



Gambar 5.77 Nilai Konsolidasi Pada Timbunan Lereng 12 m Perkuatan Geotekstil

Nilai angka aman lereng timbunan 12 m pasca konstruksi dari hasil analisis akibat beban lalu lintas sebesar 1,137, kemudian untuk nilai angka aman akibat beban dan gempa sebesar 1,061. Nilai angka aman disajikan pada kurva Gambar 5.78 berikut.



Gambar 5. 78 Kurva SF Lereng 12 m Pasca Konstruksi Perkuatan Geotekstil

3. Rekapitulasi hasil angka aman (SF) dan konsolidasi
 Hasil dari analisis perhitungan pada timbunan lereng dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan untuk rekapitulasi angka aman dan konsolidasi disajikan pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5. 9 Hasil rekapitulasi pada Pada Lereng Eksisting dan Variasi Perkuatan Geotekstil Berlapis

Angka Aman (SF)	Kondisi			
	Masa Konstruksi		Pasca Konstruksi	
	Beban Struktur	Beban & Gempa	Beban Struktur	Beban & Gempa
Timbunan 6 m	2,024	1,576	1,871	1,411
Timbunan 9 m	1,580	1,387	1,501	1,323
Timbunan 12 m	1,485	1,320	1,329	1,303

Tabel 5. 10 Hasil Rekapitulasi Konsolidasi Penurunan Pada Lereng Eksisting dan Variasi Perkuatan Geotekstil Berlapis

Konsolidasi Penurunan		
Timbunan	Penurunan	Satuan
6 m	0,1377	m
9 m	0,2198	m
12 m	0,3186	m

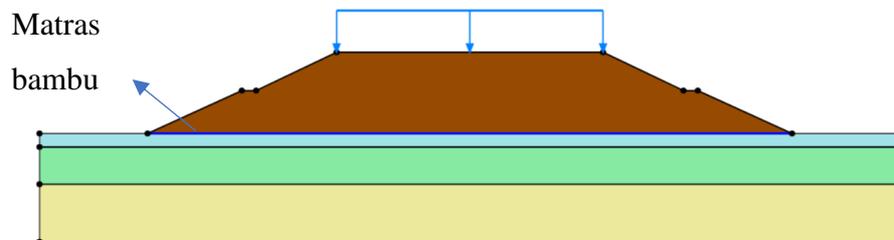
5.7 Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Matras Bambu

Dari hasil analisis yang telah dilakukan terhadap timbunan lereng tanpa adanya perkuatan, masih terdapat lereng yang belum memenuhi kriteria angka aman yaitu pada timbunan lereng 6 m sampai dengan timbunan lereng 12 m. Maka dari itu akan dilakukan analisis penanganan kembali timbunan lereng dengan memakai perkuatan yang berbeda dari geotekstil yaitu matras bambu dengan analisis kondisi geometri yang sama dan parameter perkuatan yang beda dari perkuatan geotekstil. Hasil analisis perhitungan menggunakan program Plaxis yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng dengan tinggi 12 m dengan perkuatan matras bambu. Penjelasan analisis meliputi permodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi, dan kondisi pasca konstruksi. Untuk hasil pada analisis lereng dengan tinggi timbunan 6 m, dapat dilihat pada Lampiran 11, dan lereng dengan tinggi timbunan 9 m dapat dilihat pada Lampiran 12.

1. Permodelan Awal Lereng masa konstruksi

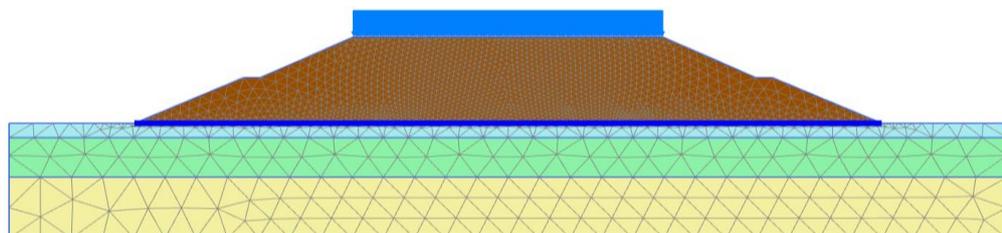
Permodelan awal lereng timbunan dengan geometri lereng yang sama pada timbunan 12 m tanpa perkuatan dan memakai perkuatan geotekstil. Pemasangan matras bambu secara mendatar dengan asumsi pemasangan

matras bambu 1 lapis yang digunakan sepanjang lereng bagian bawah dan asumsi tersebut telah mencapai Panjang total dari lereng. dan untuk permodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.79 berikut



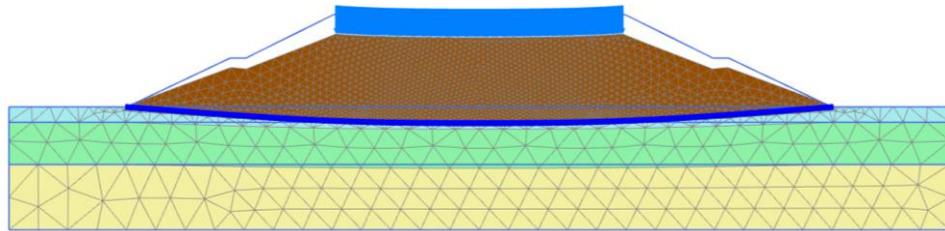
Gambar 5. 79 Permodelan Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu

Kondisi masa konstruksi pada lereng timbunan tanah dengan perkuatan matras bambu, parameter beban dan gempa yang digunakan sama dengan lereng timbunan tanpa perkuatan dan memakai perkuatan geotekstil. Hasil pada jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan disajikan pada Gambar 5.80 berikut.

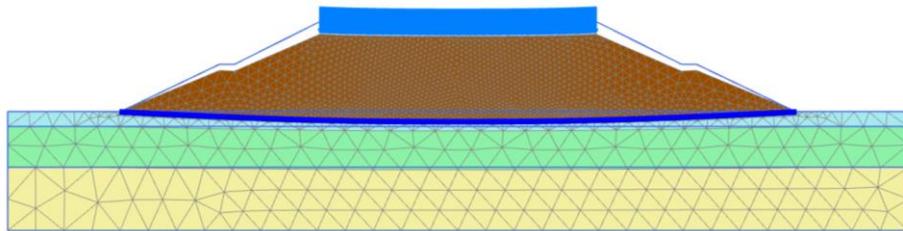


Gambar 5. 80 Meshing pada Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu

Kemudian tahap selanjutnya analisis perhitungan (*calculation*) lereng timbunan 12 m dengan perkuatan matras bambu sama seperti *calculation* tanpa perkuatan dan memakai perkuatan geotekstil Untuk hasil dari *deformed mesh* pada timbunan lereng 12 m disajikan pada Gambar 5.81 dan Gambar 5.82 sebagai berikut.

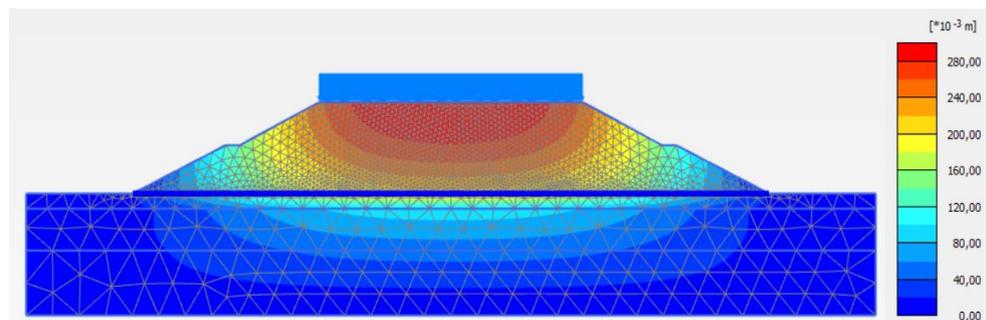


Gambar 5. 81 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

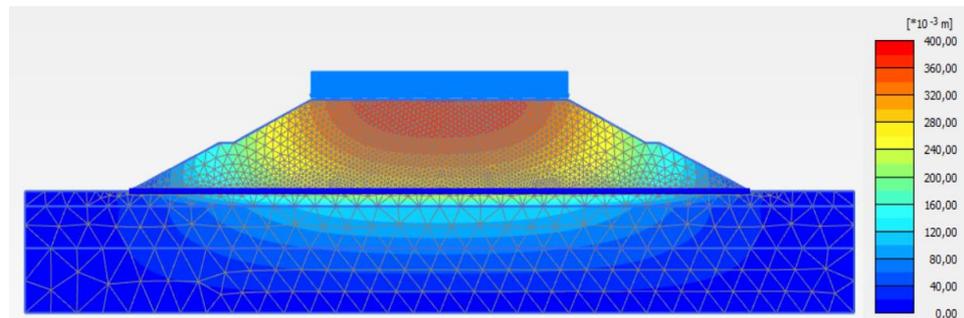


Gambar 5. 82 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai keseluruhan *displacement* pada timbunan lereng dengan beban struktur sebesar 0,2991 m, kemudian pada timbunan lereng dengan beban struktur dan gempa sebesar 0,3806 m. Besaran nilai *displacement* yang terjadi disajikan pada Gambar 5.83 dan Gambar 5.84 berikut

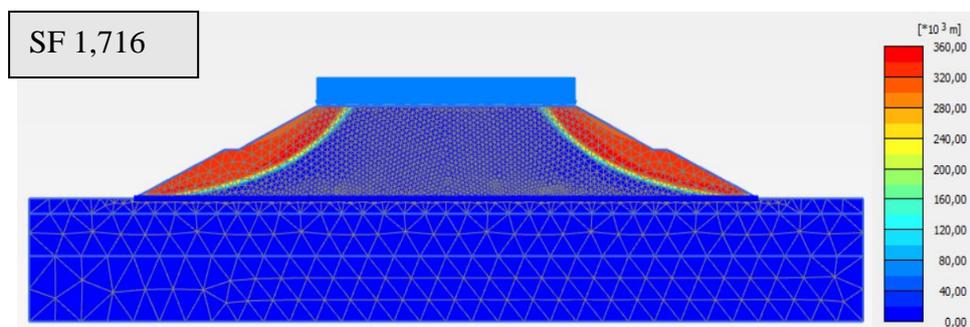


Gambar 5. 83 *Total Displacement* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

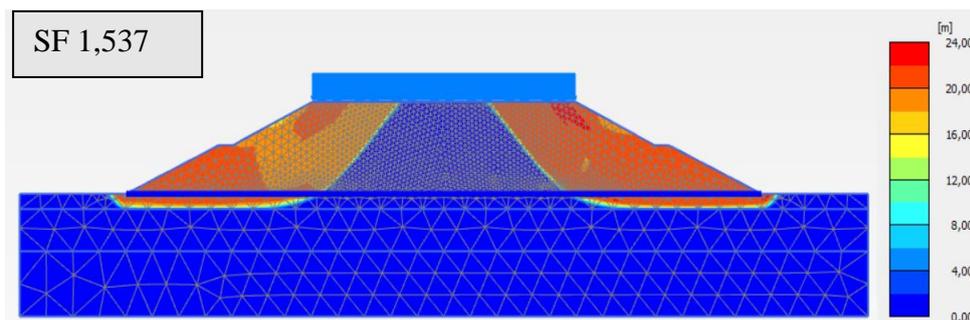


Gambar 5.84 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Potensi kelongsoran akibat beban struktur dan beban dengan gempa disajikan pada Gambar 5.85 dan Gambar 5.86 berikut.

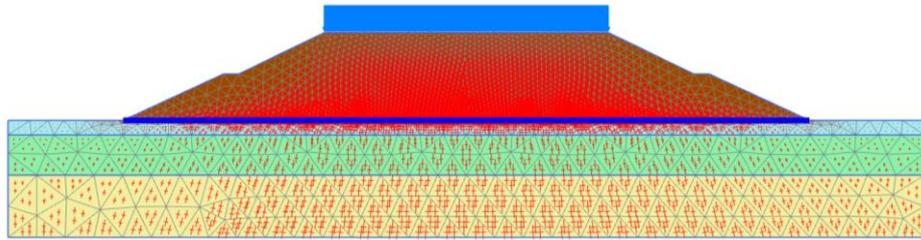


Gambar 5.85 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

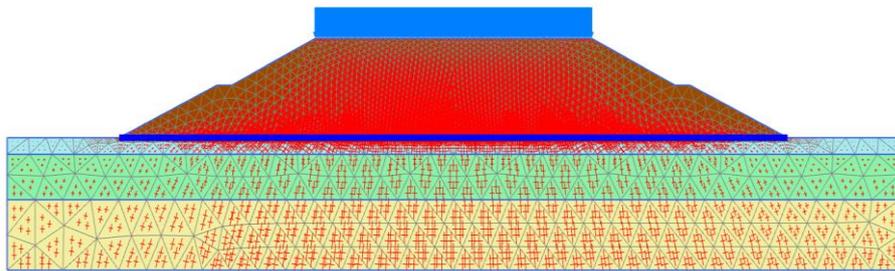


Gambar 5.86 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Nilai *effective stresses* lereng timbunan 12 m akibat beban struktur sebesar $-433,0 \text{ kN/m}^2$, kemudian akibat beban dan gempa sebesar $-479,3 \text{ kN/m}^2$. Hasil ini disajikan pada Gambar 5.87 dan Gambar 5.88 berikut.

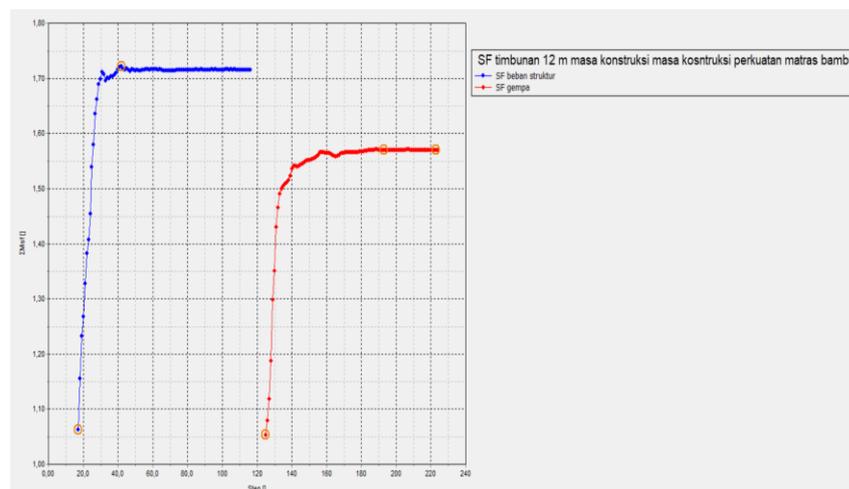


Gambar 5.87 *Effetive Stresses* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5.88 *Effetive Stresses* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

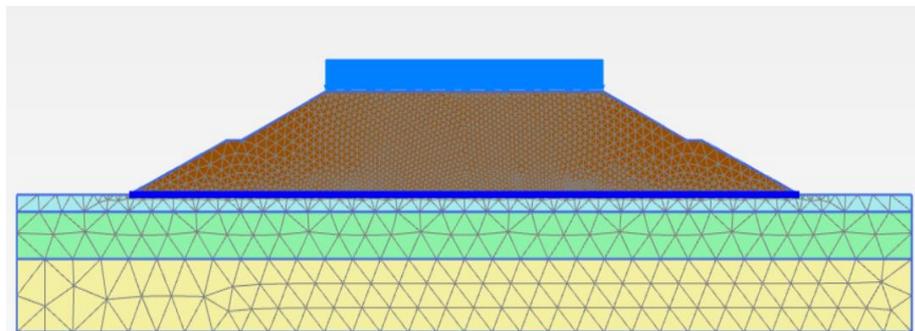
Hasil dari analisis menunjukkan nilai angka aman untuk lereng timbunan 12 m akibat beban struktur adalah 1,716, sedangkan nilai angka aman akibat beban dan gempa adalah 1,571. Informasi mengenai nilai angka aman ini disajikan dalam kurva *Safety Factor* (SF) dari Plaxis V22 pada Gambar 5.89 berikut.



Gambar 5.89 Kurva SF Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

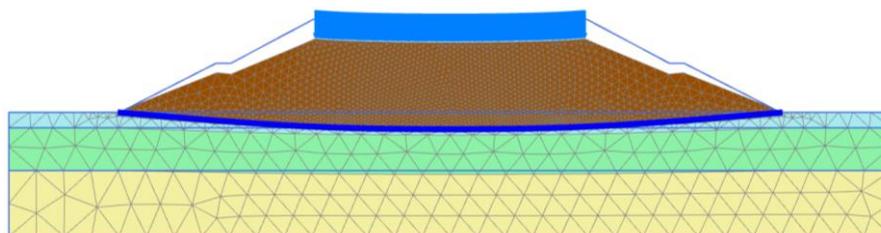
2. Pasca konstruksi

Saat masa pasca konstruksi beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 menjadi parameter tambahan untuk proses analisis. Jaringan elemen hingga (*meshing*) kondisi pasca konstruksi tetap sama dengan saat masa konstruksi. Selanjutnya dilakukan *generate* kembali karena kondisi tanah awal untuk pasca konstruksi telah selesai ditimbun 12 m, dan perkuatan matras bambu telah aktif dipasang. Hasil dari proses *generate* memunculkan kondisi *meshing* disajikan pada Gambar 5.90 berikut.

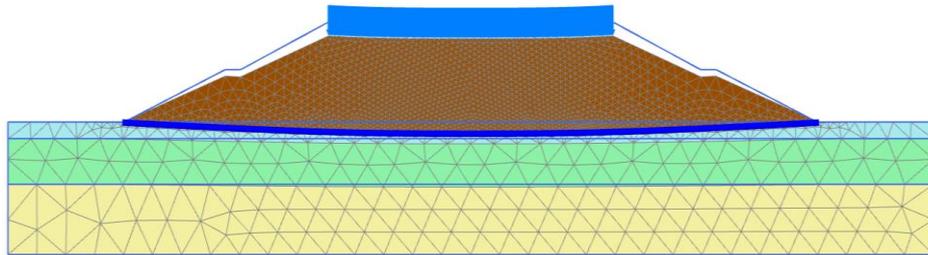


Gambar 5.90 Meshing Pada Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Kondisi Paska Konstruksi

Kemudian untuk analisis berikutnya merupakan analisis perhitungan (*calculation*) pasca konstruksi dengan perkuatan matras bambu. Sama seperti dengan tahapan saat masa konstruksi, yang berbeda adalah adanya analisis konsolidasi dengan interval waktu 365 hari. Adapun hasilnya disajikan pada Gambar 5.91 dan Gambar 5.92 berikut.

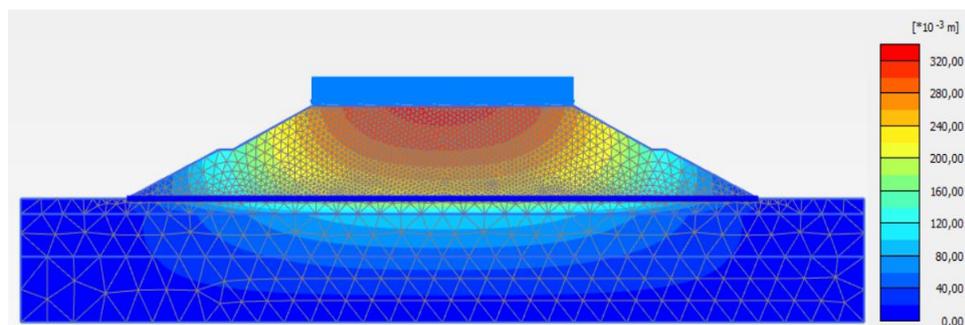


Gambar 5. 91 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Kondisi Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

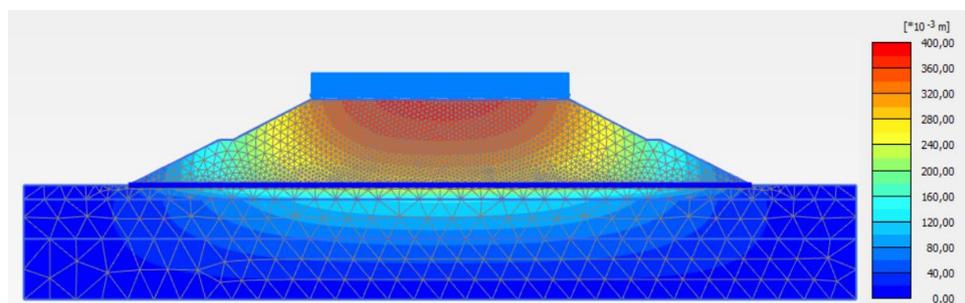


Gambar 5. 92 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Kondisi Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Hasil dari nilai keseluruhan *displacement* pada timbunan lereng dengan beban lalu lintas sebesar 0,3270 m, kemudian pada timbunan lereng dengan beban dan gempa sebesar 0,3905 m. Hasil dari keseluruhan *displacement* yang terjadi disajikan pada Gambar 5.93 dan Gambar 5.94 berikut.

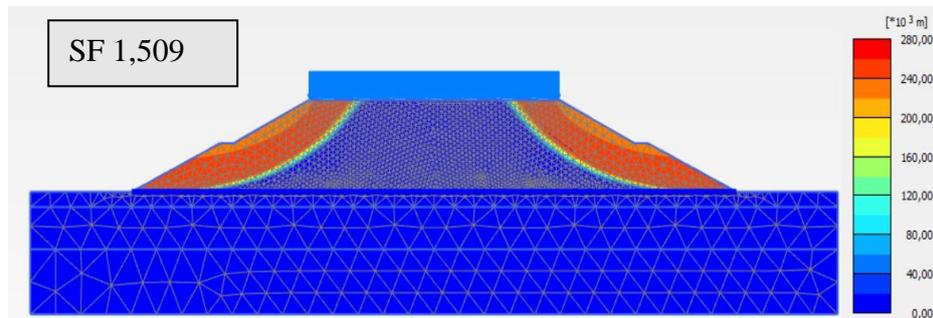


Gambar 5. 93 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

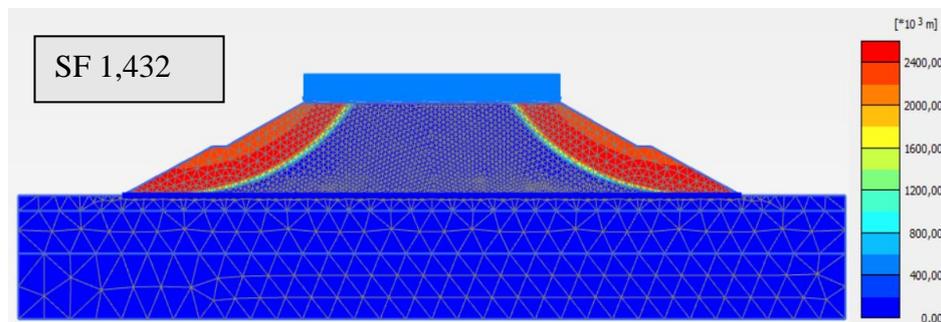


Gambar 5. 94 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Potensi kelongsoran akibat beban lalu lintas dan beban gempa yang terjadi disajikan pada Gambar 5.95 dan Gambar 5.96 berikut.

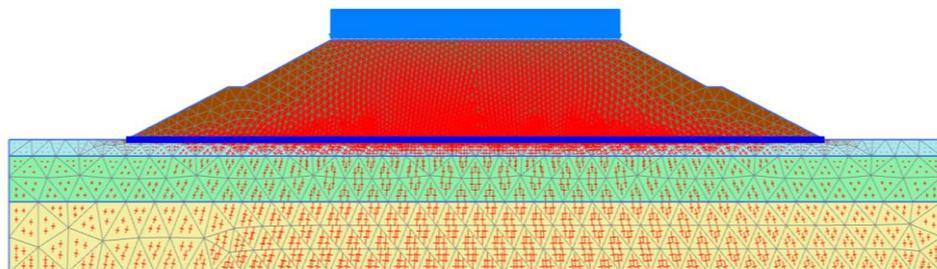


Gambar 5. 95 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas

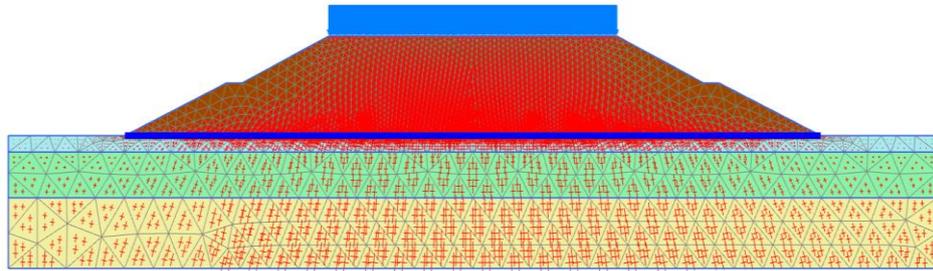


Gambar 5. 96 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Kemudian, nilai tegangan efektif yang terjadi pada lereng timbunan setinggi 12 m akibat beban lalu lintas adalah $-405,0 \text{ kN/m}^2$, sedangkan akibat beban dan gempa adalah $-481,7 \text{ kN/m}^2$. Hasil perhitungan tersebut disajikan dalam Gambar 5.97 dan Gambar 5.98 berikut.

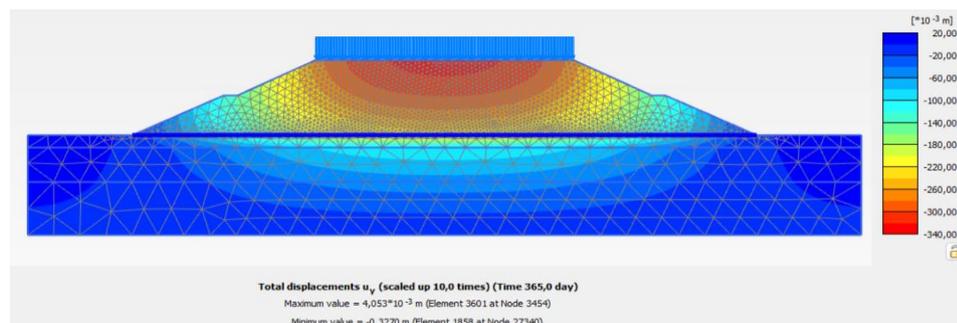


Gambar 5. 97 Effetive Stresses Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



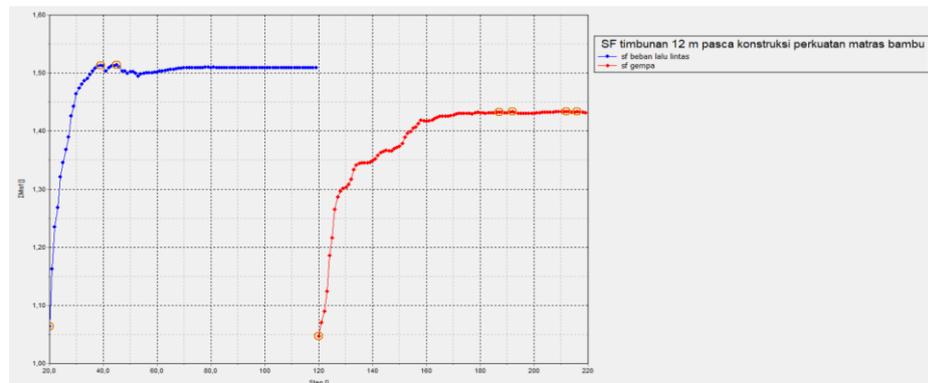
Gambar 5. 98 Effetive Stresses Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

Kemudian, untuk nilai hasil konsolidasi pada lereng timbunan dengan perkuatan matras bambu dengan waktu pengamatan selama 365 hari, memperoleh nilai sebesar 0,3270 m. Hasil ini disajikan dalam Gambar 5.99 berikut.



Gambar 5. 99 Nilai Konsolidasi Pada Timbunan Lereng Perkuatan Matras Bambu 12 m

nilai angka aman (*Safety Factor*) dari lereng timbunan 12 m pasca konstruksi akibat beban lalu lintas sebesar 1,509, sedangkan nilai angka aman (*Safety Factor*) akibat beban dan gempa sebesar 1,432. Nilai angka aman (*Safety Factor*) dapat dilihat pada Kurva SF plaxis V22 Gambar 5.100 berikut.



Gambar 5. 100 Kurva SF Timbunan 12 m Perkuatan Matras Bambu Paska Konstruksi Akibat Beban lalu lintas

3. Rekapitulasi angka aman

Hasil dari analisis perhitungan pada timbunan lereng dengan perkuatan geotekstil untuk rekapitulasi angka aman dan konsolidasi disajikan pada Tabel 5.11 dan Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Angka Aman Perkuatan Matras Bambu

Angka Aman (SF)	Kondisi			
	Masa Konstruksi		Pasca Konstruksi	
	Beban Struktur	Beban & Gempa	Beban Lalu Lintas	Beban & Gempa
Timbunan 6 m	2,031	1,901	1,841	1,467
Timbunan 9 m	1,905	1,806	1,678	1,436
Timbunan 12 m	1,716	1,571	1,509	1,432

Tabel 5. 12 Hasil Konsolidasi Penurunan Lereng Pekuatan Matras Bambu

Konsolidasi penurunan		
Timbunan	Penurunan	Satuan
6 m	0,1527	m
9 m	0,2195	m
12 m	0,3270	m

5.8 Pembahasan

5.8.1 Hasil Analisis Lereng Tanpa Pekuatan

Penelitian yang dilakukan penulis bertujuan untuk mendapatkan nilai angka yang aman pada lereng timbunan. Analisis dilakukan menggunakan program Plaxis V22 dengan variasi tinggi timbunan dan lereng eksisting, yaitu dengan ketinggian 3 m, 6 m, 9 m, dan 12 m. Analisis tersebut terbagi menjadi 3 tahapan yaitu

memperhitungkan akibat beban dari timbunan sendiri parameter yang digunakan memakai parameter data tanah asli proyek jalan tol cibitung - cilincing serta akibat kondisi saat masa konstruksi maupun pasca konstruksi. Parameter yang digunakan pada analisis saat masa konstruksi maupun pasca konstruksi adalah beban merata akibat beban struktur jalan dan beban lalu lintas kendaraan, serta beban gempa sesuai dengan zonasi gempa yang ada pada daerah Bekasi.

Berdasarkan hasil dari analisis perhitungan pada Tabel 5.2, didapat nilai angka aman akibat beban sendiri dari setiap timbunan secara berturut sebesar 2,049; 1,405; 1,266; 1,149. Selanjutnya pada Tabel 5.3 didapatkan nilai angka aman masa konstruksi pada timbunan 3 m, 6 m, 9 m, dan 12 m untuk beban struktur secara berturut sebesar 1,784; 1,334; 1,233; 1,118. Kemudian untuk beban dan gempa secara berturut sebesar 1,641; 1,234; 1,149; 1,051 dan saat pasca konstruksi akibat beban lalu lintas didapatkan nilai secara berturut sebesar 1,473; 1,219; 1,171; 1,090. Untuk beban dan gempa secara berturut sebesar 1,368; 1,099; 1,041; 1,023. Pada analisis tanpa perkuatan timbunan dengan tinggi 3 m telah memenuhi syarat yang ditentukan yaitu $SF > 1,3$ sedangkan pada timbunan 6 m sampai 12 m menghasilkan angka aman lebih kecil dari syarat angka aman yang berarti sudah tidak aman.

Penelitian ini juga mencakup nilai konsolidasi yang terjadi pada lereng selama 365 hari. Konsolidasi merupakan penurunan akibat adanya beban dan perubahan volume tanah akibat keluarnya air dalam pori tanah selama periode tertentu. Konsolidasi atau penurunan lereng timbunan tanpa perkuatan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5.4 pada tanah timbunan 3 m, 6 m, 9 m, dan 12 m didapatkan nilai konsolidasi secara berturut sebesar 0,07815 m; 0,1522; 0,2372; 0,3449.

Masih terdapat beberapa lereng timbunan yang belum memenuhi syarat angka aman untuk spesifikasi jalan tol, maka akan dilakukan penanganan dengan memberi perkuatan yang dapat menambah kekuatan pada tanah timbunan sehingga lereng timbunan dapat difungsikan sebagai jalan tol pada proyek Cibitung – Cilincing. Lereng timbunan yang perlu diberi perkuatan adalah lereng timbunan dengan tanah timbunan 6 m sampai 12 m yang angka amannya masih dibawah dari ketentuan angka aman yang telah disyaratkan.

5.8.2 Hasil Analisis Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil

Penelitian ini untuk menangani permasalahan yang terdapat di lereng timbunan yang memiliki angka aman yang rendah dari pada angka aman yang disyaratkan, maka akan dilakukan penanganan dengan perkuatan menggunakan bahan geosintetik jenis geotekstil *woven* UW 250 yang diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul. Kekuatan tarik ultimit geotekstil jenis ini sebesar 52 kN/m^2 dengan regangan 20%. Sebelum memulai analisis dilakukan perhitungan kebutuhan jumlah geotekstil yang akan dipakai. Pemasangan geotekstil dilakukan secara mendatar di atas tanah kemudian ditutup dengan tanah timbunan, bagian luar di tekuk kedalam (*overlapping*) yang fungsinya sebagai dinding penahan dan dilakukan perbandingan dengan mengasumsi 1 lapis di atas permukaan tanah.

Hasil dari analisis lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil dengan asumsi 1 lapis diatas permukaan tanah dan ditutup dengan timbunan menghasilkan angka aman dapat dilihat pada Tabel 5.7 didapatkan nilai angka aman masa konstruksi pada timbunan 6 m, 9 m, dan 12 m untuk beban struktur secara berturut sebesar 1,554; 1,338; 1,162. Kemudian untuk beban dan gempa secara berturut sebesar 1,394; 1,229; 1,088, dan saat pasca konstruksi akibat beban lalu linta didapatkan nilai secara berturut sebesar 1,378; 1,251; 1,137, untuk beban dan gempa secara berturut sebesar 1,227; 1,212; 1,061. Selanjutnya perkuatan geotekstil sesuai dengan kebutuhan pakai menghasilkan angka aman yang dapat dilihat pada tabel 5.9 didapatkan nilai angka aman timbunan 6 m, 9 m, dan 12 m pada masa konstruksi secara berturut sebesar 2,024; 1,580; 1,485, untuk beban gempa secara berturut sebesar 1,576; 1,378; 1,320. Selanjutnya untuk masa pasca konstruksi dihasilkan nilai angka aman secara berturut sebesar 1,871; 1,501; 1,329, dan beban gempa secara berturut sebesar 1,411; 1,323; 1,303. Kemudian analisis hasil konsolidasi lereng timbunan dapat dilihat pada Tabel 5.8 untuk geotekstil asumsi 1 lapis dengan, nilai konsolidasi pada timbunan 6m, 9m, 12m secara berturut sebesar 0,1495 m; 0,230 m; 0,3432 m. Kemudian untuk geotekstil dengan perhitungan sesuai kebutuhan yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 menghasilkan nilai sebesar 0,1377 m; 0,2198 m; 0,3186 m.

Berdasarkan hasil analisis, penanganan perkuatan menggunakan geotekstil dengan asumsi 1 lapis diatas permukaan tanah dan ditutup dengan timbunan. Masih

terdapat lereng yang belum mencapai syarat angka aman yang telah ditentukan yaitu $SF > 1,3$, tetapi saat analisis menggunakan perkuatan geotekstil yang telah dihitung kebutuhannya, menghasilkan angka SF yang jauh lebih besar daripada angka aman geotekstil dengan asumsi 1 lapis, dan juga konsolidasi yang dihasilkan pada analisis perkuatan geotekstil yang sudah dihitung kebutuhannya menghasilkan nilai konsolidasi yang lebih rendah, dibandingkan dengan geotekstil asumsi 1 lapis.

5.8.3 Hasil Analisis Lereng Dengan Perkuatan Matras Bambu

Pada penelitian ini untuk permasalahan pada lereng timbunan yang memiliki angka aman lebih rendah dari standar SF yang ditentukan, maka digunakan perkuatan menggunakan bahan matras bambu yang memiliki sifat *elastoplastic* yang sudah melewati pengujian laboratorium dari Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – D I Yogyakarta. Sama seperti geotekstil pada analisis menggunakan perkuatan matras bambu ini juga di asumsikan 1 lapis yang di pasang secara mendatar di atas tanah kemudian di tutup dengan timbunan di atas.

Hasil dari analisis lereng timbunan dengan perkuatan matras bambu menghasilkan angka aman yang juga lebih besar dari syarat angka aman yang ditentukan untuk spesifikasi jalan tol. Rekapitulasi angka aman lereng timbunan dengan perkuatan matras bambu dapat dilihat pada Tabel 5.11. didapatkan nilai angka aman masa konstruksi pada timbunan 6 m, 9 m, dan 12 m untuk beban struktur secara berturut sebesar 2,031; 1,905; 1,716. Kemudian untuk beban dan gempa secara berturut sebesar 1,901; 1,806; 1,571 dan saat pasca konstruksi akibat beban lalu linta didapatkan nilai secara berturut sebesar 1,841; 1,678; 1,509, untuk beban dan gempa secara berturut sebesar 1,467; 1,436; 1,432.

Hasil dari konsolidasi analisis lereng timbunan lereng timbunan dapat dilihat pada Tabel 5.12 timbunan 6 m, 9 m, dan 12 m didapatkan nilai konsolidasi secara berturut sebesar 0,1527; 0,2195; 0,3270.

5.8.4 Perbandingan Stabilitas Lereng dengan Variasi Tinggi Timbunan

Berdasarkan hasil analisis menggunakan program Plaxis V22 memiliki hasil perbandingan stabilitas lereng dengan variasi tinggi timbunan, semakin tinggi timbunan maka semakin besar potensi terjadinya kelongsoran pada lereng timbunan

tersebut. Oleh karena itu penelitian ini menggunakan tambahan geotekstil dan matras bambu sebagai perkuatan untuk tinggi timbunan yang mencapai hasil angka aman yang belum memenuhi syarat spesifikasi untuk jalan tol.

Pada penelitian ini terdapat lereng timbunan yang aman dengan variasi tinggi timbunan 3 m baik saat kondisi masa konstruksi dan pasca konstruksi sehingga tidak perlu diberi perkuatan oleh geotekstil ataupun matras bambu. Masih terdapat beberapa timbunan dengan nilai angka aman yang belum aman dan memenuhi syarat minimum sebesar SF 1,3. pada tinggi timbunan 6 m dan sampai 12 m saat masa konstruksi dan pasca konstruksi.

Selanjutnya di tambahkan Perkuatan geotekstil dan juga perkuatan matras bambu yang berfungsi untuk meningkatkan nilai angka aman lereng dengan tinggi timbunan yang belum aman. Hasil dari analisis menggunakan perkuatan geotekstil dan juga matras bambu didapatkan angka aman yang sudah memenuhi syarat angka aman yang telah disyaratkan untuk spesifikasi jalan tol. Berikut adalah rekapitulasi dari hasil analisis pada kondisi masa konstruksi dan pasca konstruksi baik tanpa perkuatan serta dengan perkuatan geotekstil, dan perkuatan matras bambu yang dapat dilihat pada Tabel 5.13, dan pada Tabel 5.14 rekapitulasi besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan asumsi waktu selama 365 hari sebagai berikut.

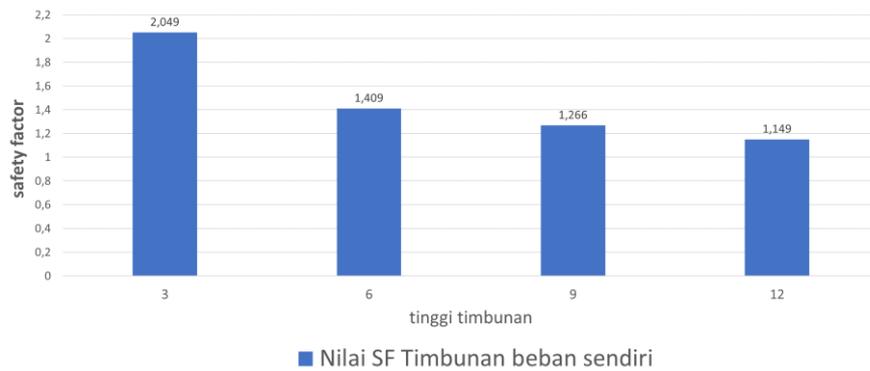
Tabel 5. 13 Rekapitulasi *Safety Factor* Lereng Timbunan Hasil Analisis

Kondisi Lereng Timbunan			Nilai SF Timbunan Sebelum diberi perkuatan				Nilai SF Timbunan diberi Geotekstil 1 lapis			Nilai SF Timbunan diberi Geotekstil Sesuai Perhitungan			Nilai SF Timbunan diberi Matras Bambu		
			3 m	6 m	9 m	12 m	6 m	9 m	12 m	6	9	12	6	9	12
Kondisi	Masa konstruksi	Beban struktur	1,784	1,334	1,233	1,118	1,554	1,338	1,162	2,024	1,580	1,485	2,031	1,905	1,716
		Beban gempa	1,641	1,234	1,149	1,051	1,394	1,229	1,088	1,576	1,387	1,320	1,901	1,806	1,571
	Pasca Konstruksi	Beban struktur	1,473	1,219	1,171	1,090	1,378	1,251	1,137	1,871	1,501	1,329	1,841	1,678	1,509
		Beban gempa	1,368	1,099	1,041	1,023	1,227	1,212	1,061	1,411	1,323	1,303	1,467	1,436	1,432
	Nilai SF Beban Sendiri		2,049	1,405	1,266	1,149									

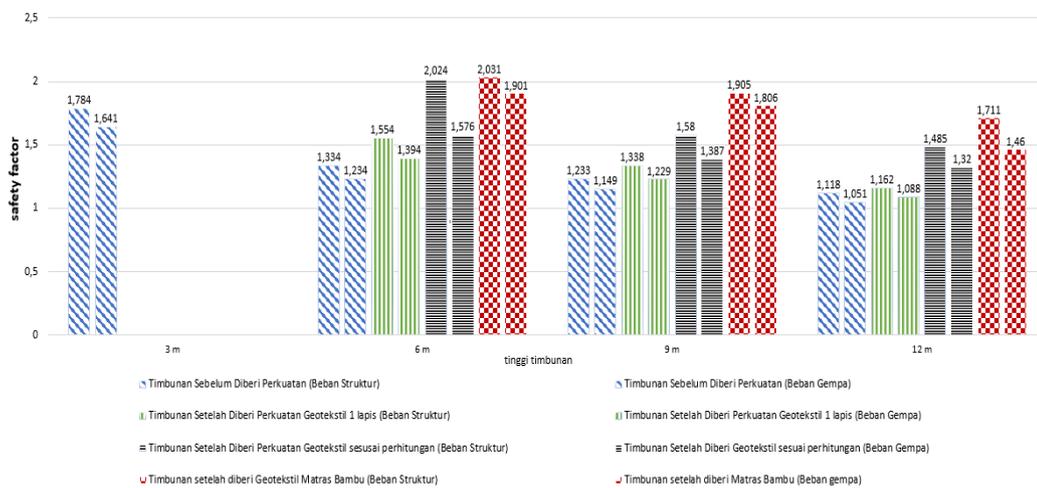
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Konsolidasi Penurunan Hasil Analisis

Timbunan	Konsolidasi Penurunan Sebelum diberi perkuatan	Konsolidasi Penurunan Geotekstil 1 Lapis	Konsolidasi Penurunan Geotekstil Sesuai Kebutuhan	Konsolidasi Penurunan Matras Bambu
	(m)	(m)	(m)	(m)
6	0,1522	0,1495	0,1377	0,1476
9	0,2372	0,2340	0,2198	0,2272
12	0,3449	0,3432	0,3186	0,3095

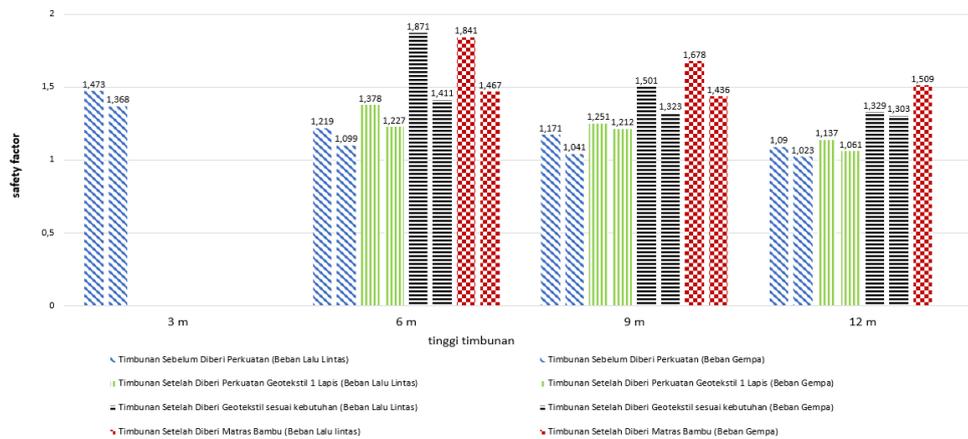
Grafik hasil rekapitulasi analisis stabilitas lereng timbunan asli pada kondisi akibat beban sendiri, masa konstruksi, dan pasca konstruksi tanpa perkuatan dengan perkuatan geotekstil dan perkuatan matras bambu, grafik hasil rekapitulasi konsolidasi penurunan lereng timbunan asli disajikan pada Gambar 5.101, Gambar 5.102, Gambar 5.103, dan Gambar 5.104 berikut.



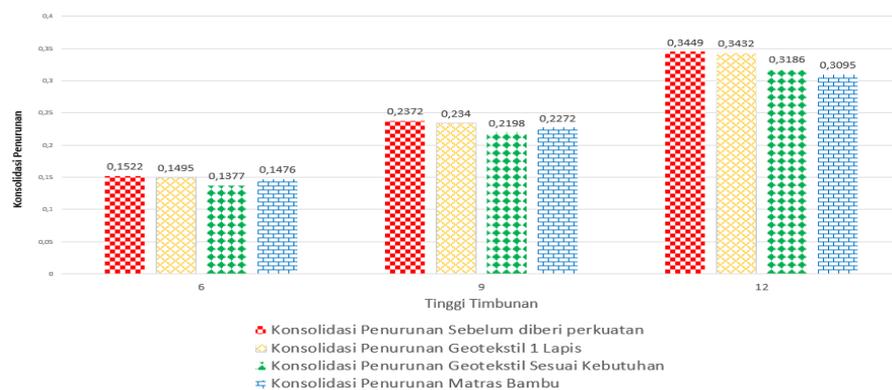
Gambar 5. 101 Grafik Hubungan Hasil SF Akibat Beban Sendiri



Gambar 5. 102 Grafik Hubungan Hasil SF Terhadap Timbunan Masa konstruksi



Gambar 5. 103 Grafik Hubungan Hasil SF Terhadap Timbunan Masa Pasca Konstruksi



Gambar 5. 104 Perbandingan Konsolidasi Penurunan dengan Tinggi Timbunan

Dari grafik tersebut didapatkan hasil lereng timbunan dengan tinggi 12 m sudah mencapai batas syarat standar SF pada saat diberi perkuatan Geotekstil sesuai dengan kebutuhan dan perkuatan Matras Bambu. Sedangkan pada timbunan 3 m sudah tidak perlu diberi perkuatan karena sudah melewati batas aman dari syarat angka aman untuk spesifikasi jalan tol. Kemudian nilai konsolidasi penurunan yang dihasilkan selama permodelan di estimasikan dalam satu tahun pada kondisi lereng timbunan dengan perkuatan matras bambu memiliki nilai yang lebih kecil pada timbunan 12m dan aman dari pada lereng timbunan tanpa perkuatan dan memakai perkuatan geotekstil, tetapi pada timbunan 6m dan 9m perkuatan geotekstil dengan perhitungan sesuai kebutuhan menghasilkan konsolidasi yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan matras bambu ataupun tanpa perkuatan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

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

1. Hasil analisis dari nilai angka aman akibat beban sendiri dari setiap timbunan secara berturut sebesar 2,049; 1,405; 1,266; 1,149.
2. Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan saat masa konstruksi menghasilkan angka aman untuk lereng timbunan asli tanpa perkuatan dengan variasi tinggi timbunan 3 m, 6 m, 9 m, 12 m akibat beban struktur secara berurut didapatkan angka aman sebesar 1,784; 1,334; 1,233; 1,118 sedangkan akibat beban gempa sebesar 1,641; 1,234; 1,149; 1,051
Kemudian pada saat kondisi paska konstruksi didapatkan angka beban lalu lintas secara berturut sebesar 1,473; 1,219; 1,171; 1,090 dan untuk beban gempa sebesar 1,368; 1,099, 1,041; 1,023. Sedangkan untuk nilai konsolidasi yang estimasinya 365 hari pada variasi timbunan 6 m; 9 m; 12 m. nilainya sebesar 0,1522; 0,2372; 0,3449.
3. Hasil angka aman yang didapat pada analisis stabilitas lereng masa konstruksi memakai perkuatan geotekstil 1 lapis pada timbunan 6 m, 9 m, 12 m akibat beban struktur jalan sebesar 1,554; 1,338; 1,162, dan untuk beban gempa 1,394; 1,229; 1,088.
Sedangkan pada saat pasca konstruksi sebesar 1,378; 1,251; 1,137 untuk beban lalu lintas dan 1,227; 1,212; 1,061. untuk beban gempa. Nilai konsolidasi variasi timbunan 6 m; 9 m; 12 m. Yang dihasilkan selama analisis yang estimasi waktunya 365 hari memiliki nilai sebesar 0,1495; 0,2340; 0,3432.
4. Kemudian hasil angka aman yang didapat pada analisis stabilitas lereng masa konstruksi memakai perkuatan geotekstil dengan lapis sesuai perhitungan

pada timbunan 6 m, 9 m, 12 m akibat beban struktur jalan sebesar 2,024; 1,580; 1,485, dan untuk beban gempa 1,576; 1,387; 1,320.

Sedangkan pada saat pasca konstruksi sebesar 1,871; 1,501; 1,329 untuk beban lalu lintas dan 1,411; 1,323; 1,303. untuk beban gempa. Nilai konsolidasi variasi timbunan 6 m; 9 m; 12 m. Yang dihasilkan selama analisis yang estimasi waktunya 365 hari memiliki nilai sebesar 0,1377; 0,2198; 0,3186.

5. Angka aman yang didapatkan dari hasil analisis stabilitas lereng masa konstruksi dengan perkuatan matras bambu dengan asumsi pemasangan 1 lapis pada timbunan 6 m, 9 m, 12 m secara berturut akibat beban struktur jalan sebesar 2,031; 1,905; 1,711. Untuk beban gempa nilai sebesar 1,901; 1,806; 1,711.

Pada kondisi pasca konstruksi angka aman beban lalu lintas secara berturut sebesar 1,841; 1,678; 1,509. Sedangkan akibat beban gempa sebesar 1,467; 1,436; 1,432. Nilai konsolidasi yang dihasilkan selama analisis yang estimasi waktunya 365 hari memiliki nilai sebesar 0,1476; 0,2272; 0,3095.

6. Perbandingan hasil angka aman (*safety factor*) tanpa perkuatan, memakai perkuatan geotekstil, dan perkuatan matras bambu terhadap variasi dan eksisting tinggi timbunan 3 m, 6 m, 9 m, 12 m.

- a. Masa konstruksi

Hasil angka aman tanpa perkuatan akibat beban struktur secara berturut menghasilkan nilai sebesar 1,784; 1,334; 1,233; 1,118. Untuk beban gempa nilainya sebesar 1,641; 1,234; 1,149; 1,051. Sedangkan setelah diberi perkuatan geotekstil 1 lapis nilainya sebesar 1,554; 1,338; 1,162 untuk beban struktur dan 1,394; 1,229; 1,088. untuk beban gempa. Selanjutnya untuk perkuatan geotekstil sesuai dengan perhitungan akibat beban struktur secara berturut sebesar 2,024; 1,580; 1,485, dan untuk beban gempa 1,576; 1,387; 1,320. Kemudian angka aman dari perkuatan matras bambu secara berturut untuk beban struktur sebesar 2,031; 1,905; 1,711. Untuk beban gempa sebesar 1,901; 1,806; 1,711.

b. Pasca konstruksi

Nilai angka aman tanah tanpa perkuatan akibat beban lalu lintas secara berturut sebesar 1,473; 1,219; 1,171; 1,090 untuk beban gempa sebesar 1,368; 1,099, 1,041; 1,023. Kemudian setelah memakai perkuatan geotekstil 1 lapis sebesar 1,986; 1,724; 1,424 untuk beban lalu lintas dan 1,717; 1,467; 1,307 untuk beban gempa. Selanjutnya Selanjutnya untuk perkuatan geotekstil sesuai dengan perhitungan akibat beban lalu lintas sebesar 1,841; 1,678; 1,509. Sedangkan akibat beban gempa sebesar 1,467; 1,436; 1,432. Kemudian setelah diberi perkuatan matras bambu untuk beban lalu lintas sebesar 1,841; 1,678; 1,509. Untuk beban gempa sebesar 1,841; 1,678; 1,509.

Hasil dari analisis stabilitas lereng dengan tanah tanpa perkuatan di tinggi timbunan 3 m sudah mencapai angka aman dari pada tinggi timbunan 6 m sampai 12 m, sehingga sudah memenuhi syarat SF yang di tentukan sehingga tidak dilakukan penanganan menggunakan perkuatan geotekstil ataupun matras bambu. Saat menggunakan perkuatan geotekstil sesuai dengan perhitungan. Angka aman yang dihasilkan juga jauh lebih besar, daripada sebelum diberi perkuatan dan juga dilakukan percobaan menggunakan perkuatan matras bambu yang juga menghasilkan angka aman jauh lebih besar dibandingkan tanpa memakai perkuatan.

7. Perbandingan konsolidasi lereng tanpa perkuatan timbunan untuk tinggi timbunan memakai perkuatan geotekstil, dan perkuatan matras bambu terhadap variasi tinggi timbunan 6 m, 9 m, 12 m dengan estimasi 365 hari.

a. Tanpa perkuatan

Hasil dari konsolidasi secara berturut kondisi lereng tanpa perkuatan sebesar 0,1522 m; 0,2372 m; 0,3449 m.

b. Perkuatan geotekstil 1 lapis

Hasil dari konsolidasi secara berturut kondisi lereng dengan perkuatan geotekstil 1 lapis sebesar 0,1369 m; 0,2133 m; 0,3144 m.

c. Perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan

Hasil dari konsolidasi secara berturut kondisi lereng dengan perkuatan geotekstil sesuai kebutuhan sebesar 0,1377 m; 0,2198 m; 0,3186 m.

d. Perkuatan matras bambu

Hasil dari konsolidasi secara berturut kondisi lereng dengan perkuatan matras bambu sebesar 0,1476 m; 0,2272 m; 0,3095 m.

Hasil dari analisis konsolidasi di estimasikan 365 hari tanpa perkuatan dan menggunakan perkuatan geotekstil nilainya masih lebih besar dari pada konsolidasi dengan menggunakan perkuatan matras bambu pada timbunan 12 m, tetapi pada timbunan 6m, dan 9 m konsolidasi yang di hasilkan dengan menggunakan perkuatan geotekstil relatif lebih kecil, hal ini juga berpengaruh pada lapis yang di pakai pada masing masing perkuatan. Nilai dari matras bambu relatif lebih kecil dibandingkan lereng tanpa perkuatan ataupun memakai perkuatan geotekstil pada timbunan 12 m, sehingga lereng timbunan 12 m merupakan batas tinggi timbunan yang dapat ditimbun pada kondisi tanah proyek jalan tol Cibitung – Cilincing di Sta 3+550.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian studi kasus yang telah dilakukan terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran sebagai berikut.

1. Pada penelitian ini saat menganalisis hanya menggunakan asumsi pada saat memakai perkuatan jenis matras bambu, untuk penelitian lebih lanjut dapat di pertimbangkan analisis perhitungan dan variasi jumlah lapisan matras bambu pada timbunan sehingga dapat diketahui bagaimana pengaruh jumlah lapisan terhadap stabilitas timbunan.
2. Penelitian selanjutnya dapat dipertimbangkan untuk memperhitungkan konsolidasi pada massa konstruksi.
3. Peneliti yang akan melanjutkan penelitian lebih lanjut bisa dilakukan peninjauan bahan tambahan untuk tanah seperti bahan kimia kapur, semen dan lainnya.

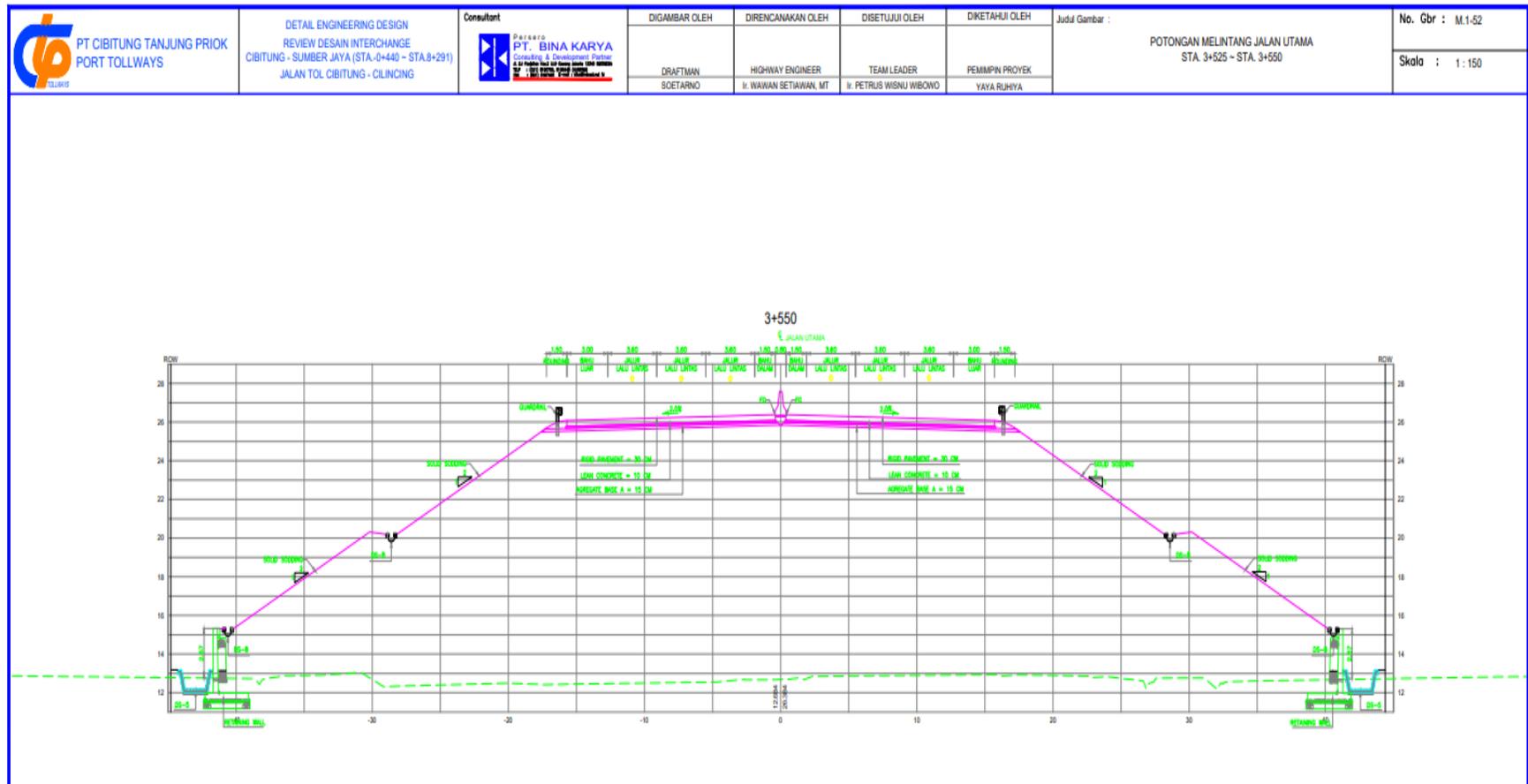
DAFTAR PUSTAKA

- Arsy, Aisyah. 2018. *Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius (Study Kasus: Proyek Jalan Tol Solo-Kertosono STA 4+175)*. dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. *SNI 8460-2017. Persyaratan Perencanaan Geoteknik*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- Bowles, J.E. 1997, *Foundation Analysis and Design*, 5th Ed., McCraw-Hill, International Editions, Singapore.
- Bowles, Joseph E., Hainim Johan K. 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, B. M. 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*. USA: Cengage Learning.
- Das, B.M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Edisi Pertama. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Bina Marga, 2009, *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*, No 003/BM/2009, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga Direktorat Bina Teknik, Jakarta Selatan.
- Elias, V., Christopher, B.R., and Berg, R.R. (2001). *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines*, FHWA-NHI-00-043. Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Fadly Achmad. 2010. *Studi Identifikasi Penyebab Longsor Di Botu*, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo.
- Hardiyatmo, H. C. 2018. *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Daerah Istimewa Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 1*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2012. *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hediyanto, Rizaldi. 2018. *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Kantilever dan Sheeppile Pada Bantaran Sungai Code*. dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.

- Isparmo, 2010. *Geotextile Woven, Definisi dan Fungsi*. (<http://geotextile.web.id//geotextile-woven-definisi-dan-fungsi.html>. Diakses 10 Juni 2023)
- Kafilanda, D.W. 2019. *Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil Dengan Program Geoslope Studi Kasus Jalan Tol Balikpapan-Samarinda, Pada Sta. I+975*. dspace.uui.ac.id. Yogyakarta
- Mohammad Raffael Ardiansyah. 2023 *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Menggunakan Software Geostudio 2023*, ejournal.unesa.ac.id
- Pradhana, R. 2018. *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus: Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis, Daerah Istimewa Yogyakarta)*. Dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- PT. Teknindo Geosistem Unggul. (Tanpa Tahun). *Technical Spesification. Geotextile Woven*. Surabaya.
- Purwanto, Edy. 2012. *Hand Out Mata Kuliah Perkuatan Tanah*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- PUSKIM. 2014. *Peta Zonasi Gempa* (<http://puskim.pu.go.id/peta-zonasi-gempa/>). Diakses 12 Juni 2023.
- Ready, B., & Nurtjahjaningtyas, I. 2020. *Analysis of slope stability in soft soil using hardening soil modeling and strengthening of bamboo mattress*. GEOMATE Journal, 19(73), 226-234.
- Sekarti, D.N.A. 2018. *Analisis Stabilitas Timbunan di Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Salatiga Kartasura*. dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- Sosrodarsono, Sunyono, Ir. dan Nakazawa, K. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Tri Sutrisno Bahri. 2021. *Analisis Pengujian Perkuatan Matras Cerucuk Bambu Untuk Timbunan Badan Jalan di Atas Tanah Lunak (Studi Kasus: Proyek Jalan Frontage Juanda, Sidoarjo)*. Undergraduate thesis, Universitas Narotama.
- Utomo, B.P. 2019. *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Dengan Menggunakan Program Geoslope Pada Bantaran Sungai Code*. dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- Verhoef, P.N.W.1985. *Geologi voor de civil ingeneur*, TH,Delft.
- Wardana, IG. N. 2011. *Pengaruh Perubahan Muka Air Tanah dan Terasering Terhadap Perubahan Kestabilan Lereng*, Jurnal Teknik Sipil Vol.15, No.1, Januari 2011, Bali.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Geometri Penampang Melintang



Lampiran 2 Data Hasil Uji Lab Sampel Tanah

DATA LABORATORIUM DAN QUARRY

PROYEK JALAN TOLL CIBITUNG – CILICING SEKSI 1



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

DATA LABORATORIUM

No	Depth	STA	Borlog	LL	PL	PI	Clay	Activity	Ysat	c	φ
	m			%	%	%	%		kN/m3	kN/m2	degree
1	2	3+400	BH-27	81.72	31.62	50.1	49	1.022	16.71	21	15
2	2	3+550	BH-25	79.9	37.71	42.19	50	0.844	16.3	10.3	8
3	2	3+550	BH-26	80.5	31.94	48.56	52	0.934	16.36	10.9	8
4	2	7+500	BH-28	81.18	31.88	49.3	52	0.948	16.73	19.7	15
5	4	7+500	BH-28	81.54	31.9	49.64	50	0.993	16.81	21.9	16
6	6	7+500	BH-28	81.41	31.82	49.59	48	1.033	16.86	23.7	18



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

Lampiran 3 Data SPT pada Sta 3+550



PROJECT : RENCANA PEMBANGUNAN JALAN TOL LINGKAR LUAR JAKARTA II, RUAS CIBITUNG - CILINCING		BORING NO : BH-25								
LOCATION : BUP WANAJAYA (STA. 3+550 - TITIK 2)		ELEVATION : 0,00 m (MTS) SHEET NO : 1								
DATE	DEPTH (m)	BORING PROFILE	STANDARD PENETRATION TEST				REMARK	QU POCKET PENETRO METER	CORE RECOVERY %	LITHOLOGIC DESCRIPTION
			N = Number of Blows	P = Penetration (cm)						
			0 10 20 30 40 50 60	N/P	N/P	N/P				
15 Sept 17	± 0.00									Kordinat : X = 732127 Y = 9307817
	-2.00			12 / 15	14 / 15	17 / 15	N = 31			Lempung lanauan, merah Contoh : 1 (- 1,50 +- 2,00) m SPT : 1 (-2,00 +- 2,45) m Lanau pasiran membatu, coklat
				17 / 15	20 / 15	23 / 15	N = 43			SPT : 2 (- 4,00 +- 4,45) m Lanau pasiran membatu, coklat
				19 / 15	23 / 15	26 / 15	N = 49			SPT : 3 (- 6,00 +- 6,45) m Lanau pasiran membatu, coklat
	-7.50			18 / 15	22 / 15	25 / 15	N = 47			SPT : 4 (- 8,00 +- 8,45) m Lanau pasiran, abu-abu
				20 / 15	26 / 15	29 / 15	N = 55			SPT : 5 (- 10,00 +- 10,45) m Lanau pasiran, abu-abu
				25 / 15	30 / 10	-	N > 60			SPT : 6 (- 12,00 +- 12,25) m Lanau pasiran, abu-abu

Lampiran 4 Data Technical Spesification Geotextile Woven

UnggulTex

POLYPROPYLENE WOVEN GEOTEXTILES

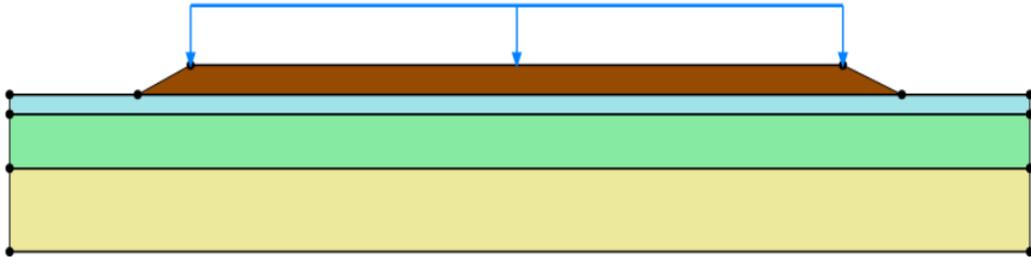
TECHNICAL SPESIFICATIONS

PROPERTIES	UNIT	TEST METHOD	UW - 150	UW - 200	UW - 250
Physical Properties					
Mass	g/m ²	ASTM D 5261-92	150	200	250
Thickness	mm	ASTM D 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
Grasp 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

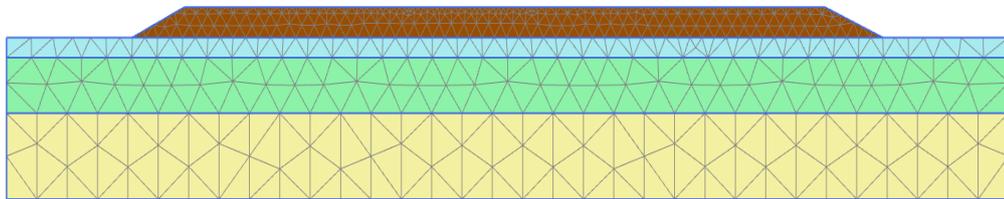
All information, illustration and specification are based on the latest product information available at the time of printing. The right is reserved to make changes at any time without notice.

Lampiran 5 Kurva S Masa Penelitian

No	Bulan Ke-			1				2				3				4				5			
	Minggu Ke-			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2		
	Kegiatan	Jam	Bobot																				
1	Persiapan																						
	Identifikasi Masalah	12	6.45%	1.29%	2.58%	2.58%																	
	Studi Pustaka	24	12.90%	3.23%	2.42%	2.42%	2.42%																
2	Pengumpulan Data																						
	Pengumpulan Data Pendukung	10	5.38%					1.34%	2.02%	2.02%													
3	Analisis dan Pembahasan																						
	Pemodelan dan Analisis Lereng Asli	20	10.75%							3.58%	3.58%	3.58%											
	Pemodelan dan Analisis Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	20	10.75%											3.58%	3.58%	3.58%							
	Pemodelan dan Analisis Lereng dengan Perkuatan Matras Bambu	20	10.75%													3.58%	3.58%	3.58%					
4	Penyusunan Laporan																						
	Laporan Proposal Penelitian	40	21.51%					5.58%	5.38%	5.38%	5.38%												
	Laporan Hasil Penelitian	40	21.51%													3.58%	4.30%	7.57%	4.04%	2.02%			
	Total Jam	186	100%																				
	Rencana Kegiatan Mingguan (Jam)				1.29%	5.81%	5.00%	2.42%	7.80%	7.80%	6.72%	7.39%	2.02%	3.58%	7.17%	10.75%	7.17%	7.17%	4.30%	7.57%	4.04%	2.02%	
	Rencana Kegiatan Kumulatif (Jam)				1.29%	7.10%	12.10%	14.52%	22.31%	30.11%	36.83%	44.22%	46.24%	49.82%	56.99%	67.74%	74.91%	82.08%	86.38%	93.95%	97.98%	100.00%	

Lampiran 6 Hasil Permodelan *Plaxis* Lereng Timbunan 3 m Tanpa Perkuatan

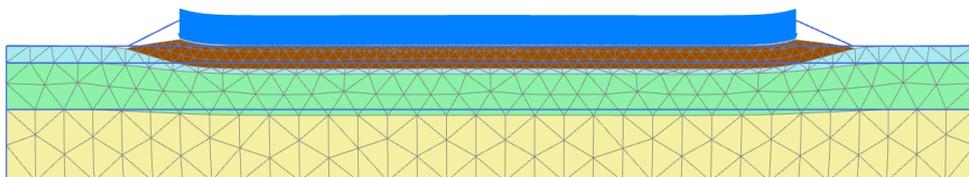
Gambar L-6.1 Permodelan Lereng Timbunan 3 m Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



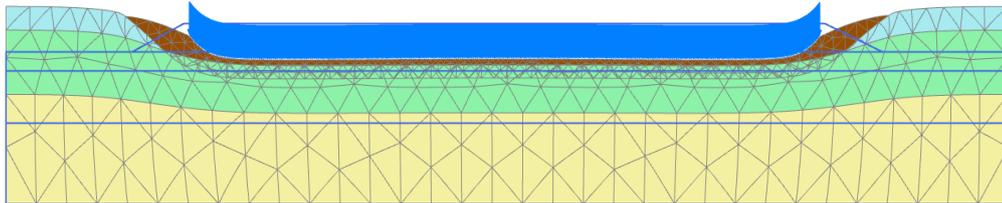
Gambar L-6.2 *Meshing* pada Lereng Timbunan 3 m Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



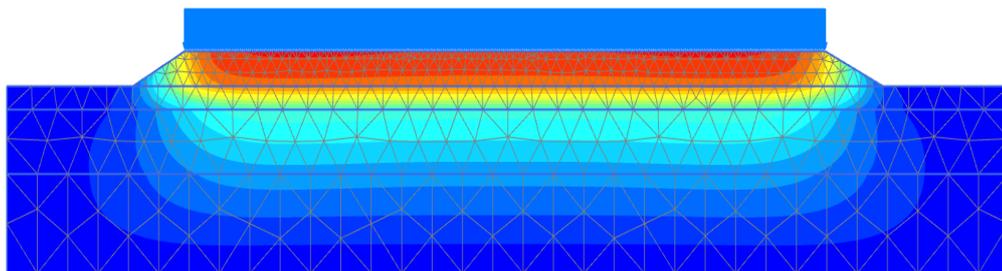
Gambar L-6.3 *Flow Conditions* pada Lereng Timbunan 3 m Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



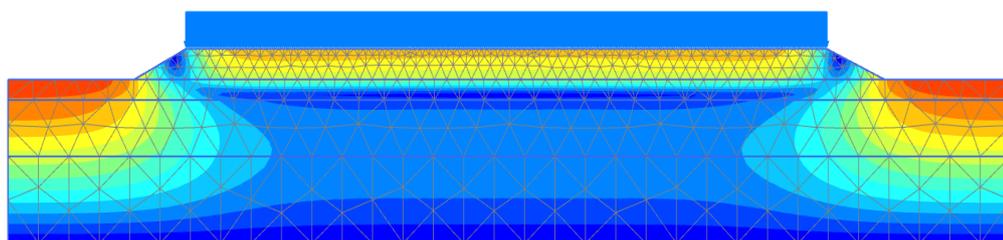
Gambar L-6.4 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 3 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



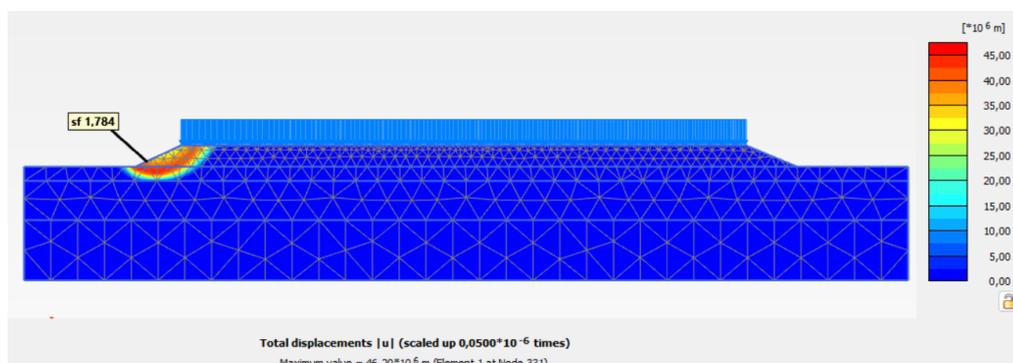
Gambar L-6.5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 3 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



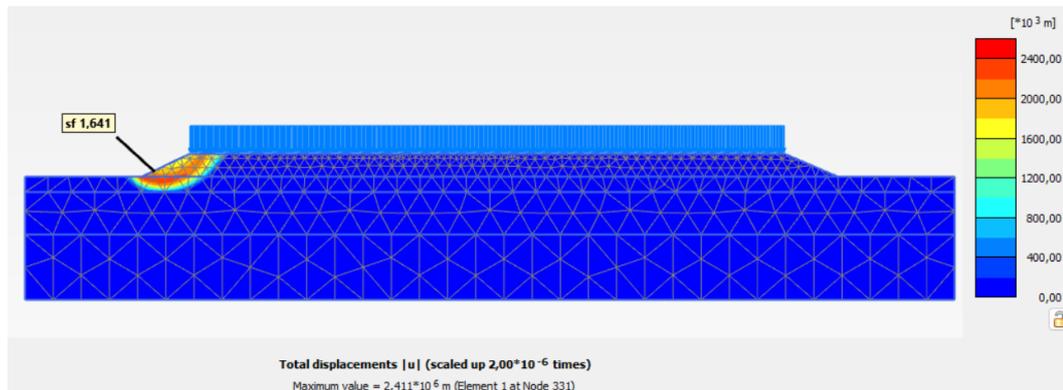
Gambar L-6.6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 3 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



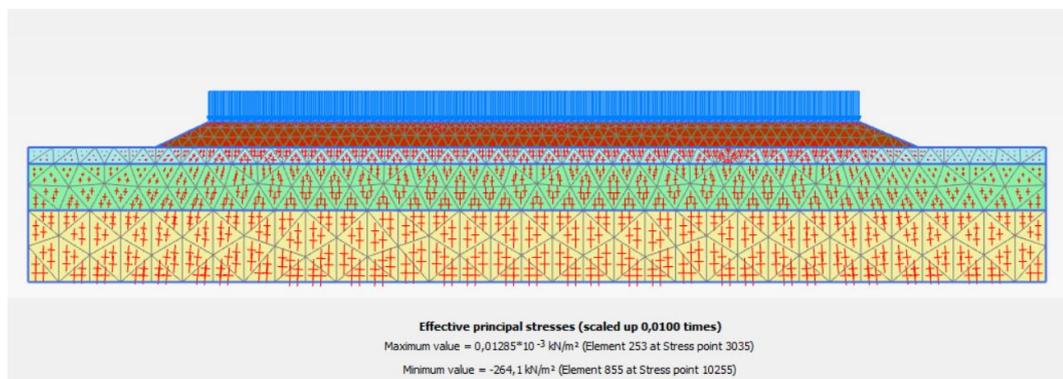
Gambar L-6.7 *Total Displacement* Lereng Timbunan 3 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



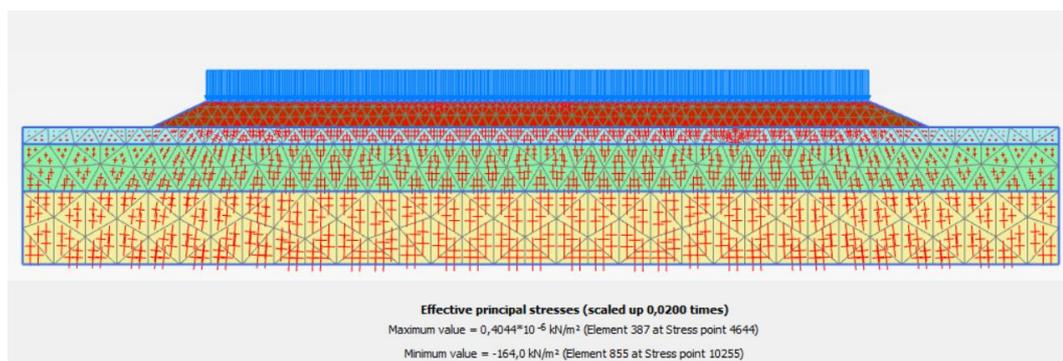
Gambar L-6.8 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 3 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



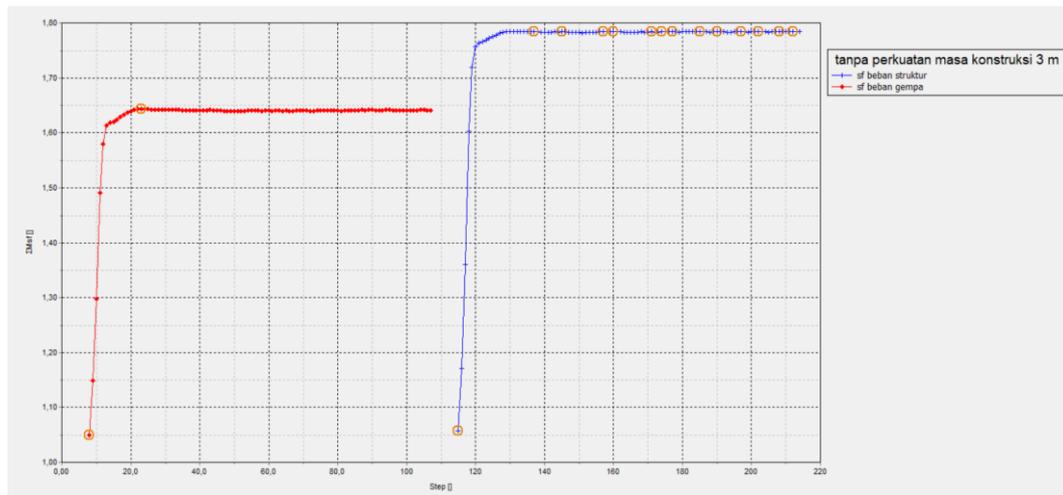
Gambar L-6.9 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 3 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



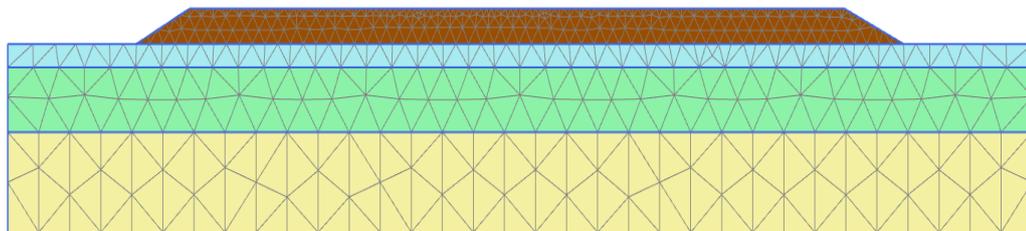
Gambar L-6.10 Effective Stresses Lereng Timbunan 3 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



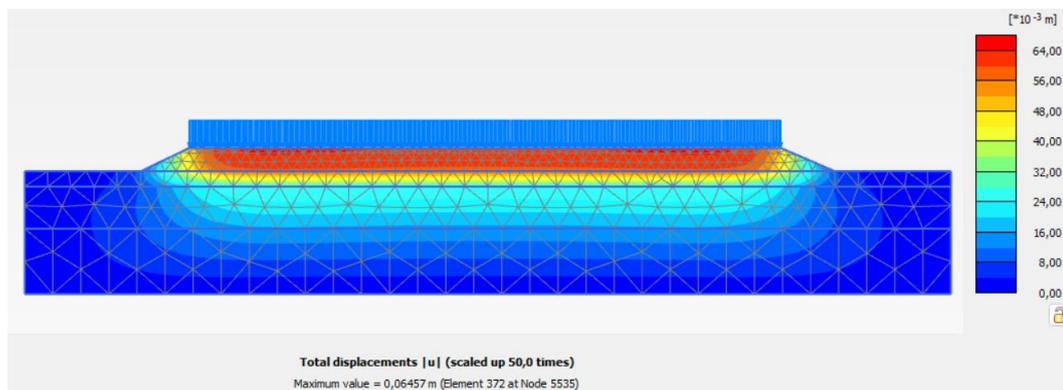
Gambar L-6.11 Effective Stresses Lereng Timbunan 3 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



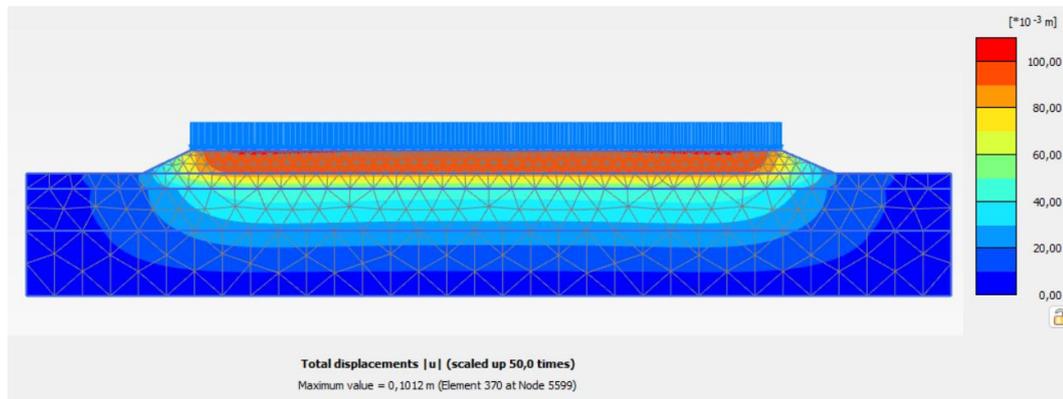
Gambar L-6.12 Kurva SF Lereng Timbunan 3 m Masa Konstruksi



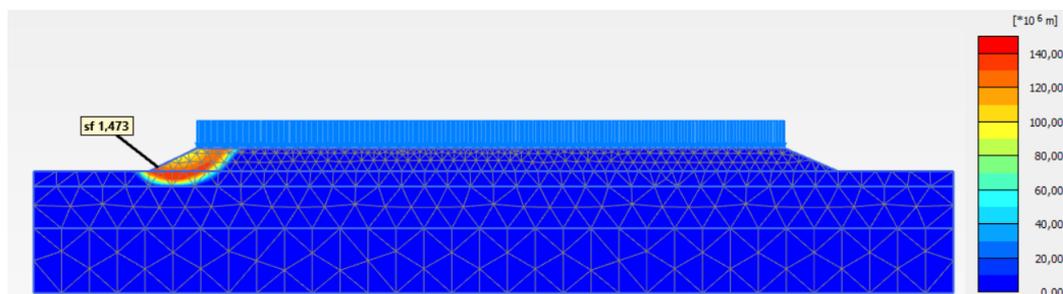
Gambar L-6.13 Meshing pada Lereng Timbunan 3 m pasca Konstruksi Tanpa Perkuatan



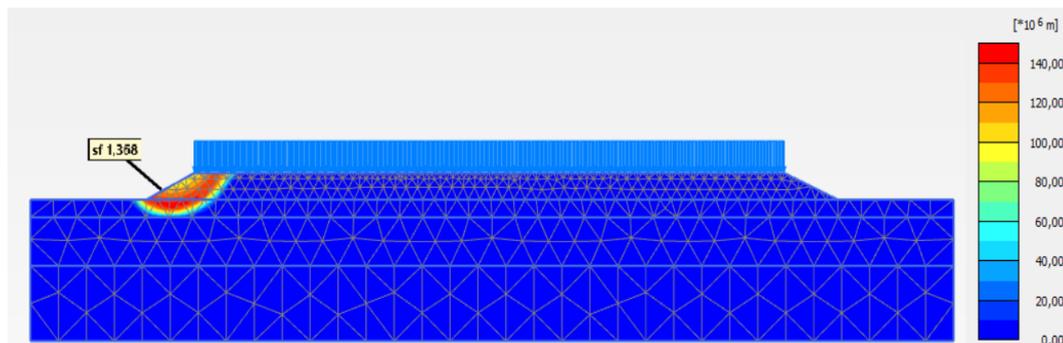
Gambar L-6.14 Total Displacement Lereng Timbunan 3 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



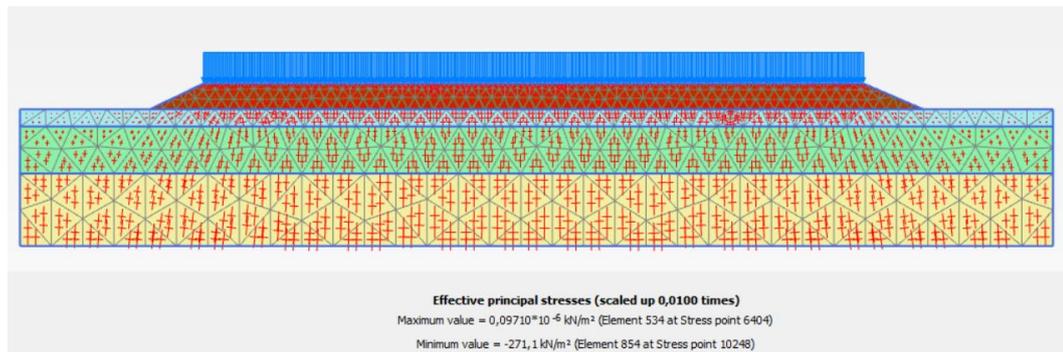
Gambar L-6.15 Total Displacement Lereng Timbunan 3 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



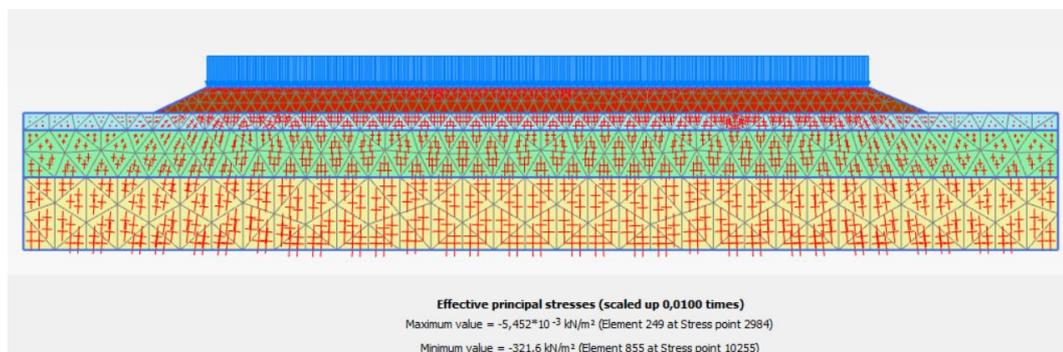
Gambar L-6.16 potensi kelongsoran Lereng Timbunan 3 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



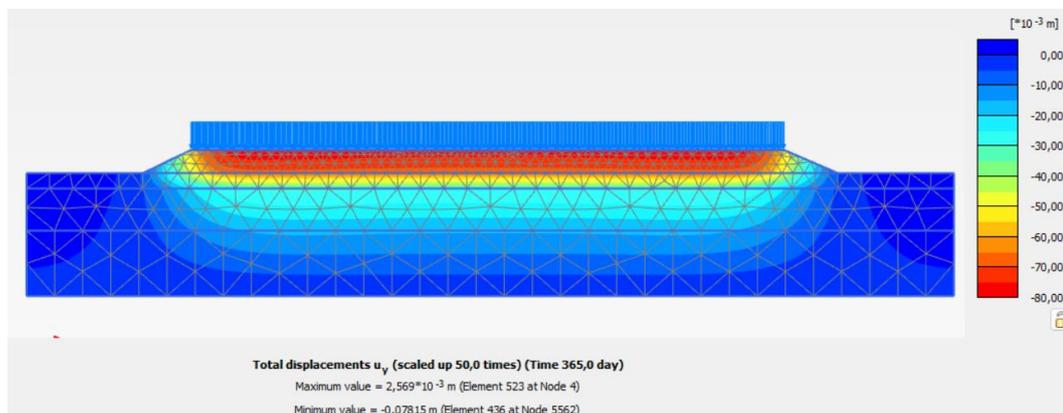
Gambar L-6.17 potensi kelongsoran Lereng Timbunan 3 m Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa



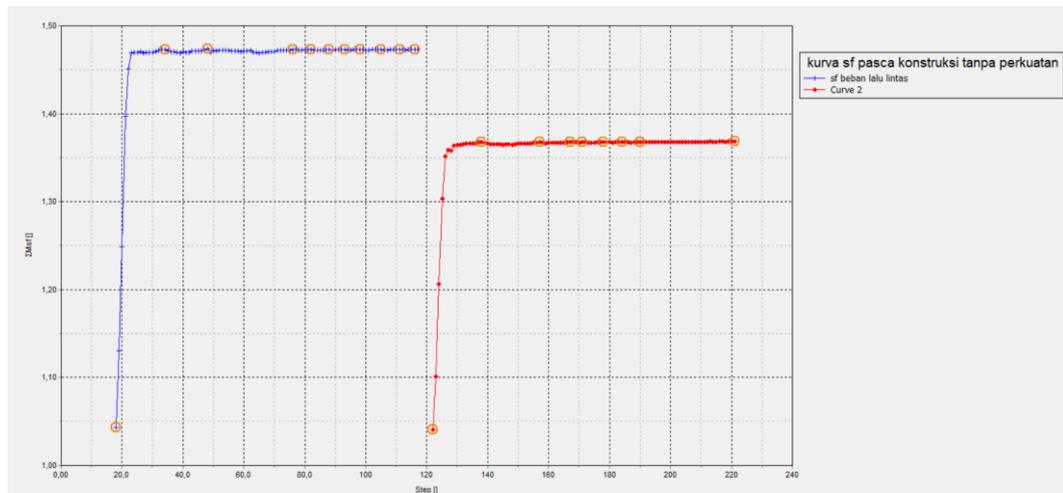
Gambar L-6.18 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 3 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



Gambar L-6.19 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 3 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

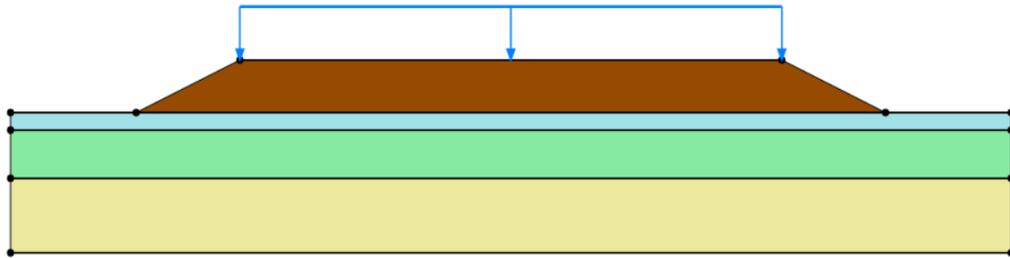


Gambar L-6.20 Konsolidasi Lereng Timbunan 3 m Tanpa Perkuatan

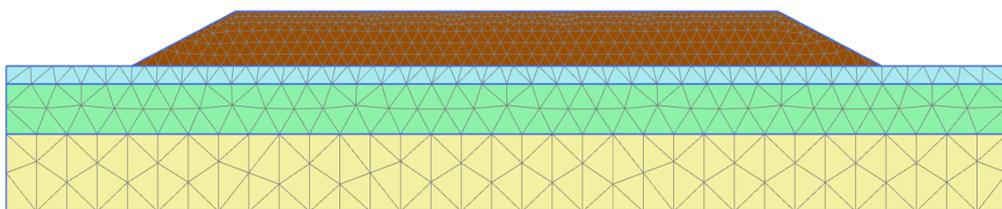


Gambar L-6.21 Kurva SF Lereng Timbunan 3 m Pasca Konstruksi

Lampiran 7 Hasil Permodelan Plaxis Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan



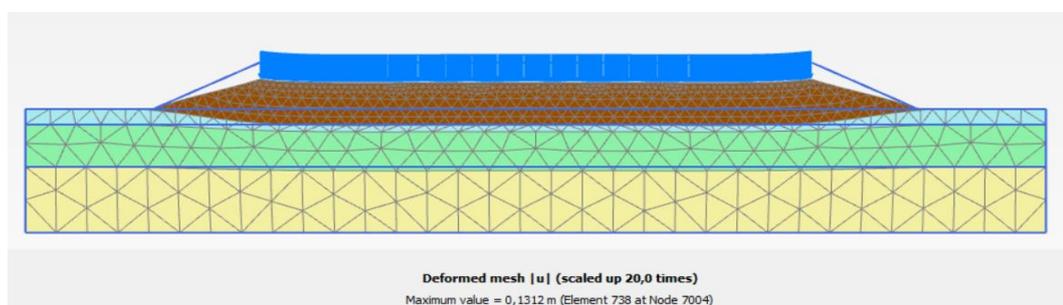
Gambar L-7.1 Permodelan Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



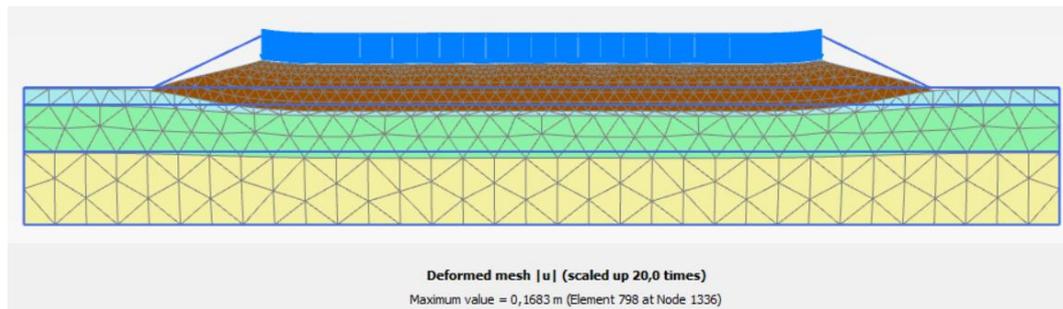
Gambar L-7.2 Meshing pada Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



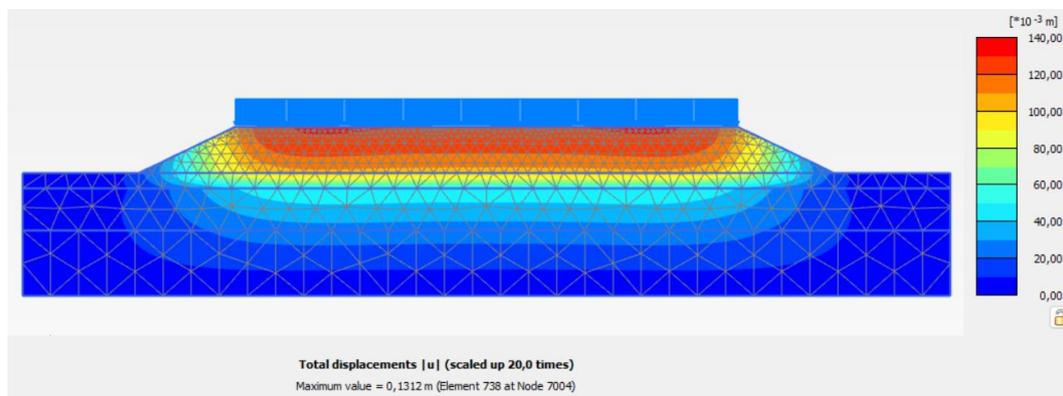
Gambar L-7.3 Flow Conditions pada Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



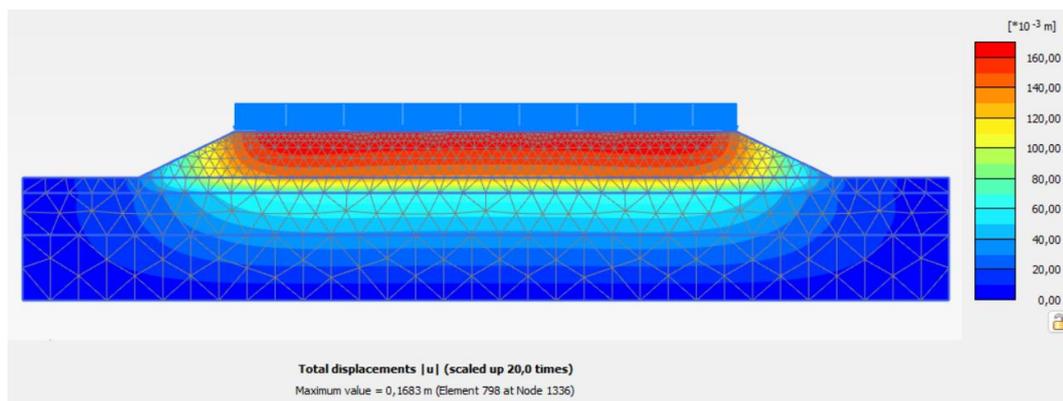
Gambar L-7.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



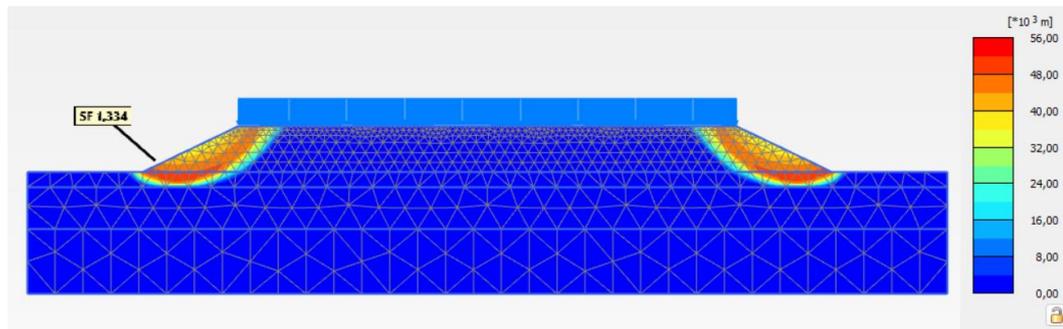
Gambar L-7.5 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



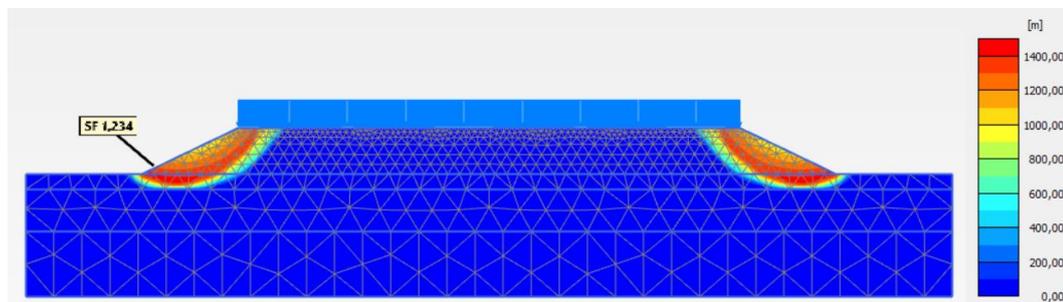
Gambar L-7.6 Total Displacement Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



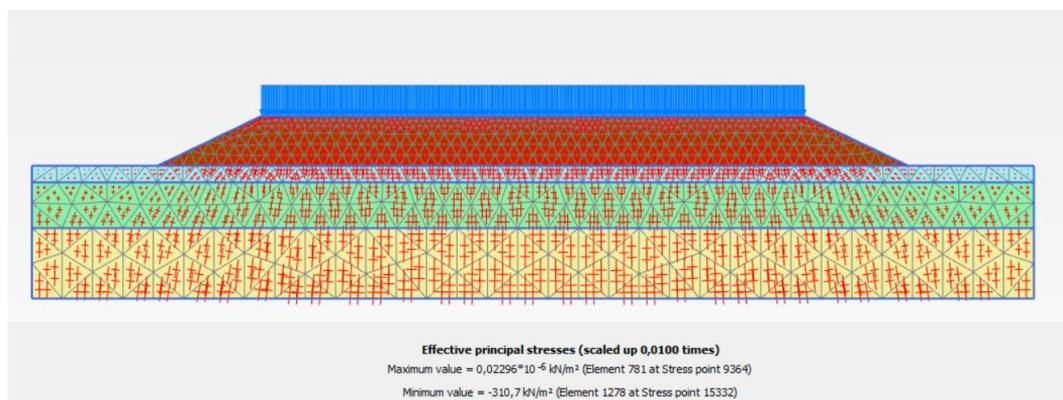
Gambar L-7.7 Total Displacement Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



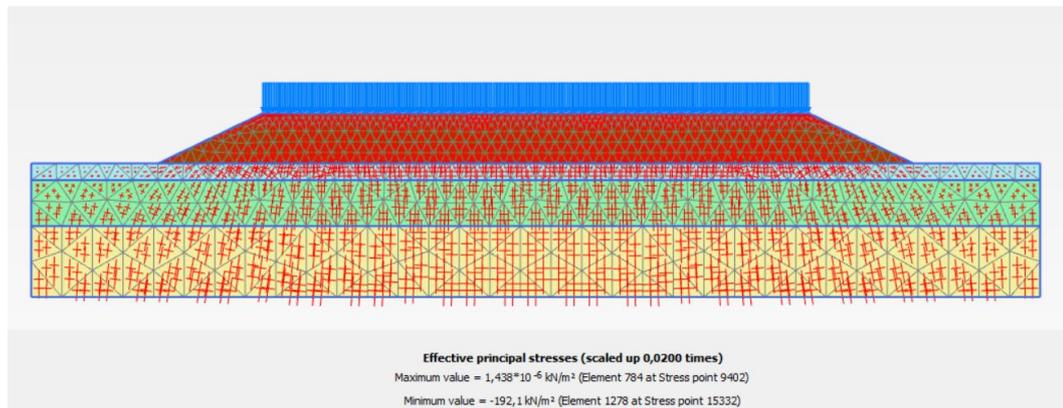
**Gambar L-7.8 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi
Akibat Beban Struktur**



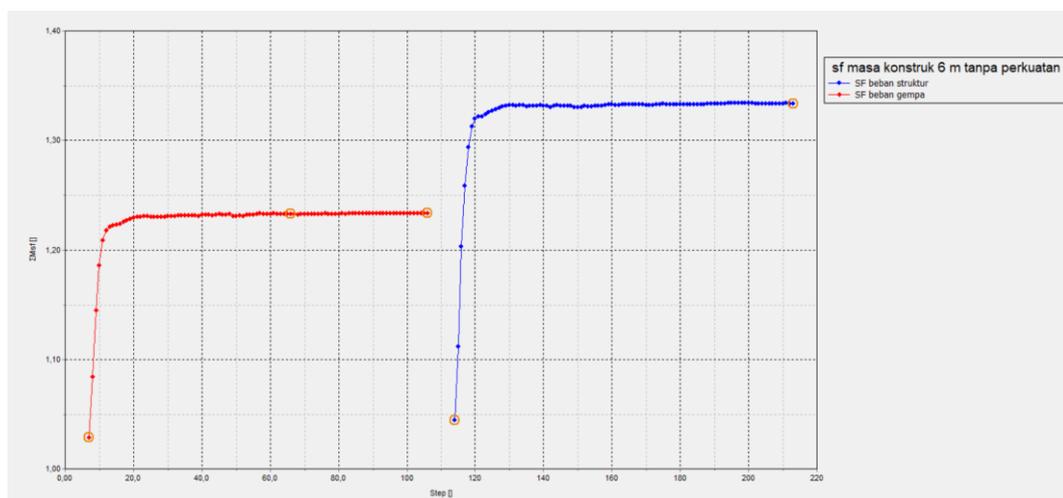
**Gambar L-7.9 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi
Akibat Beban dan Gempa**



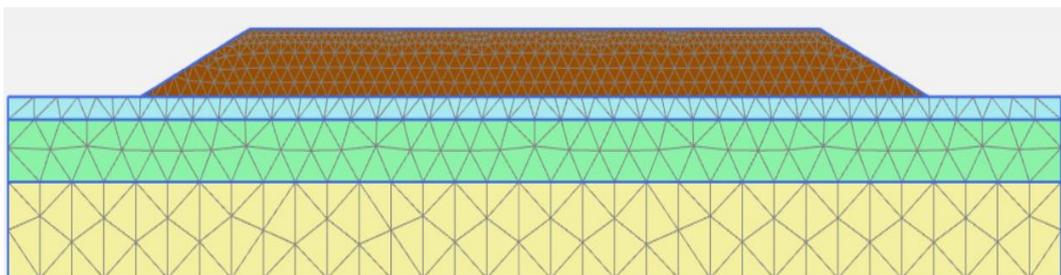
**Gambar L-7.10 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi
Akibat Beban Struktur**



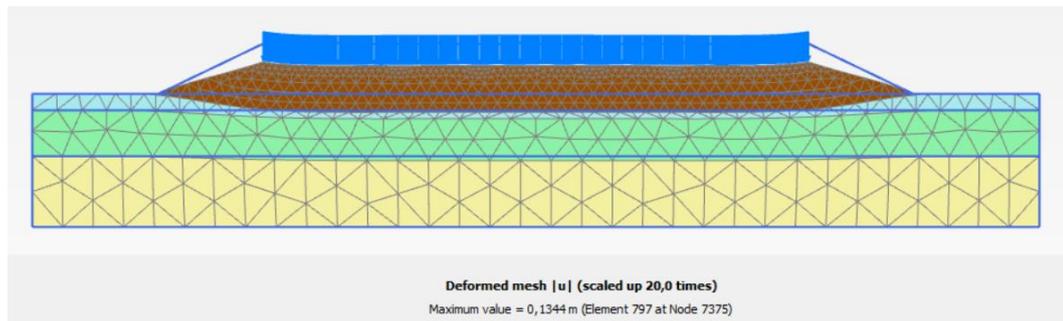
Gambar L-7.11 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



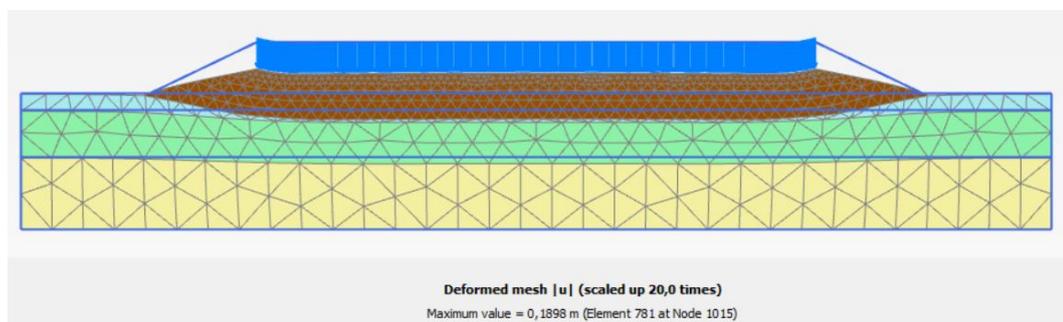
Gambar L-7.12 Kurva SF Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi



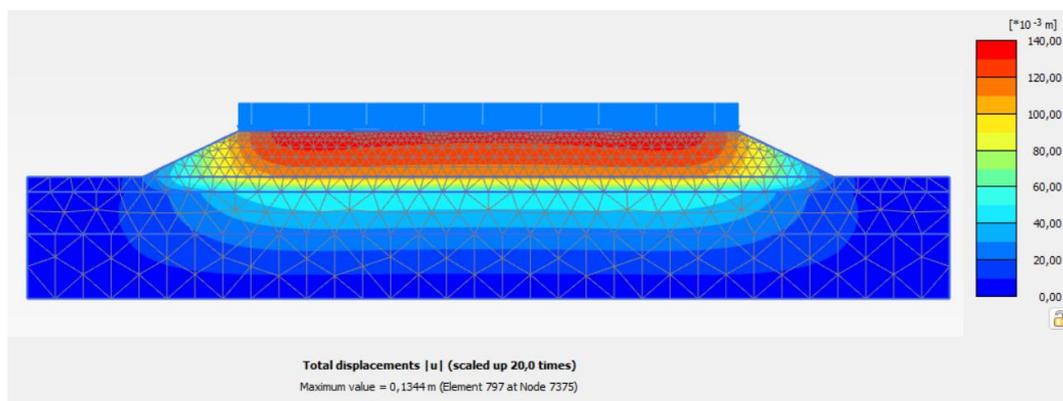
Gambar L-7.13 *Meshing* pada Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Tanpa Perkuatan



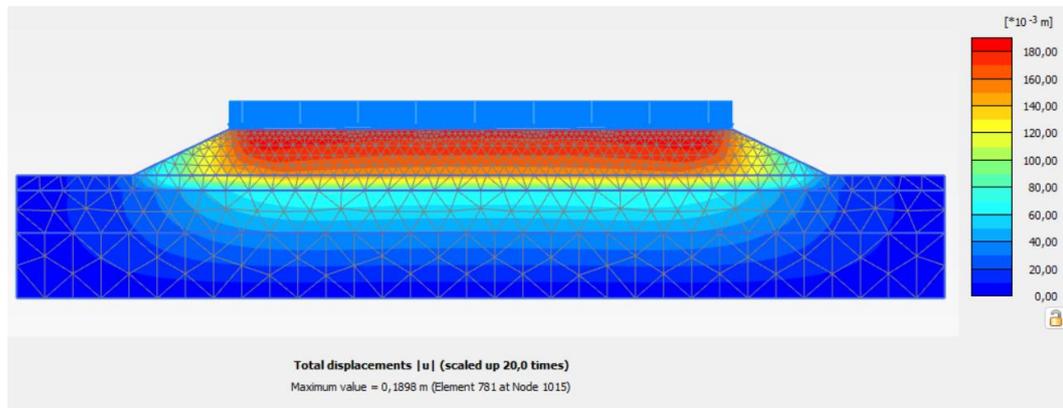
Gambar L-7.14 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi
Akibat Beban Lalu Lintas



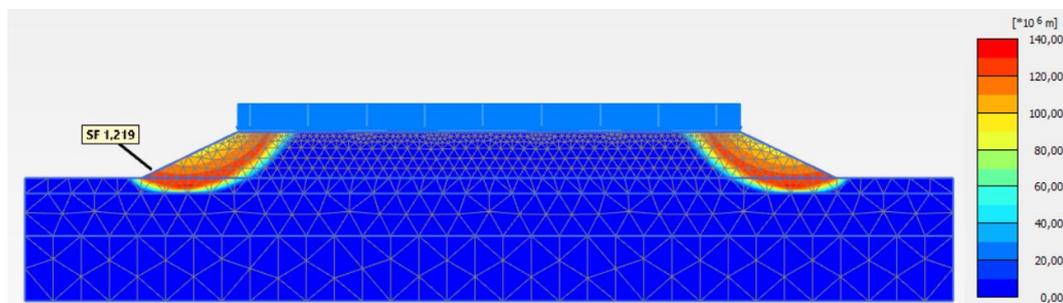
Gambar L-7.15 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi
Akibat Beton dan Gempa



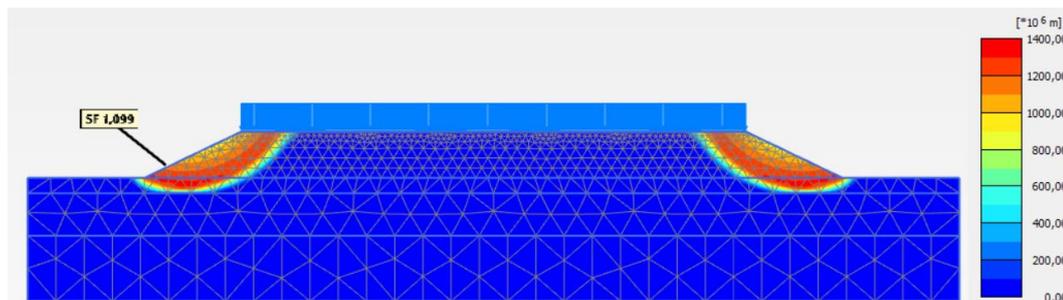
Gambar L-7.16 *Total Displacement* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi
Akibat Beban Lalu Lintas



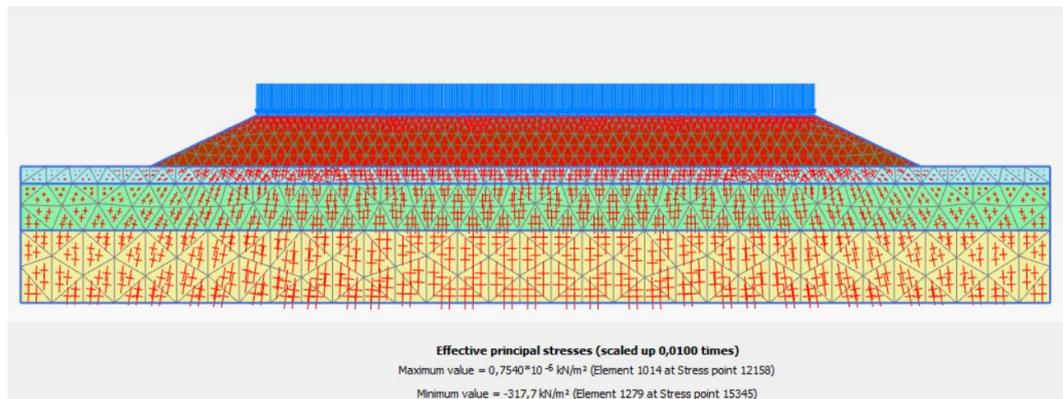
Gambar L-7.17 Total Displacement Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



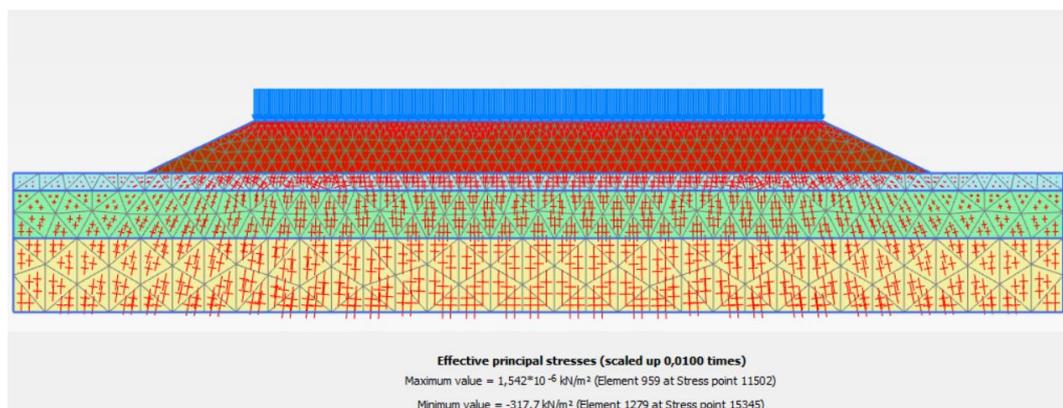
Gambar L-7.18 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



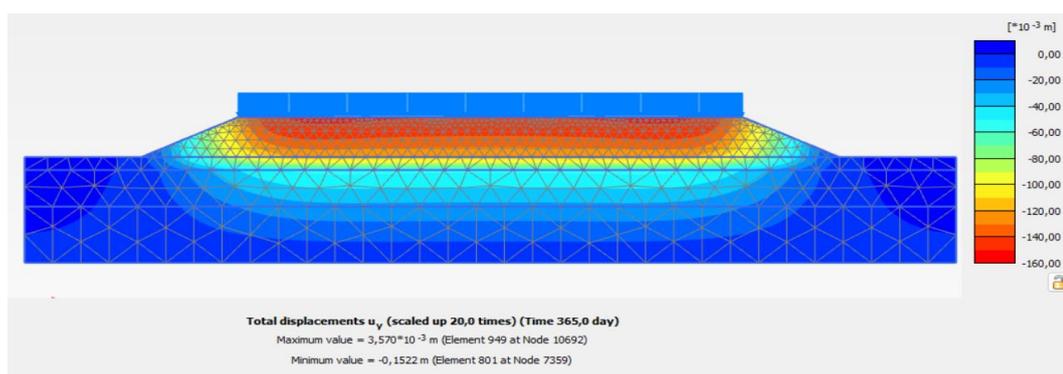
Gambar L-7.19 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



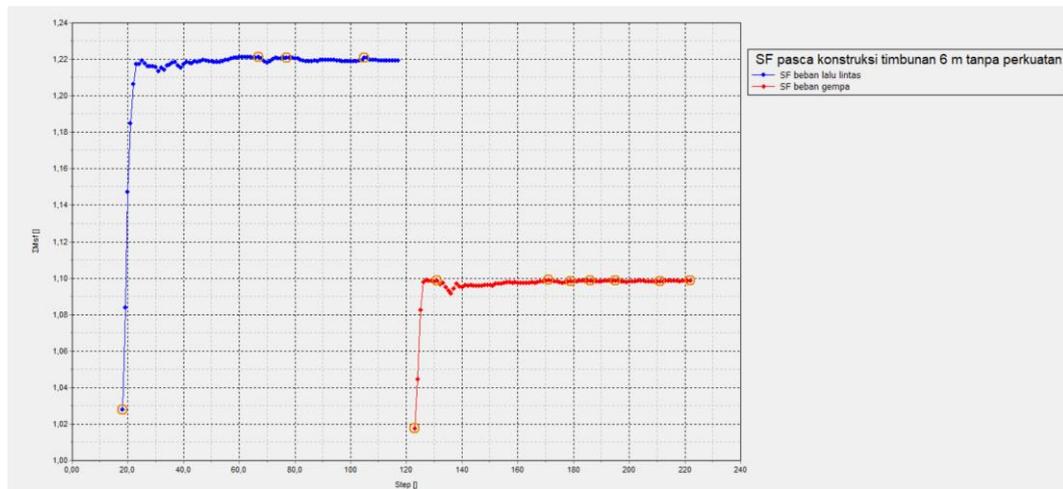
Gambar L-7.20 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



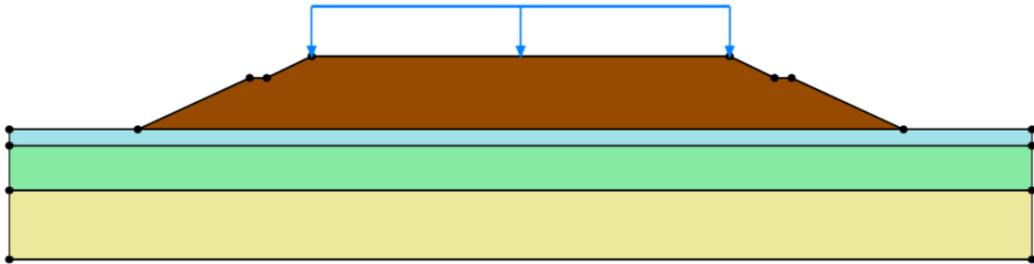
Gambar L-7.21 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



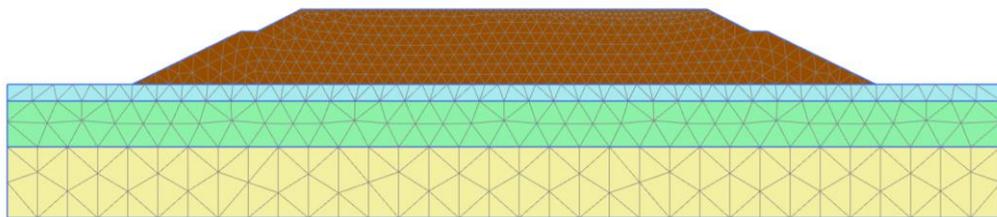
Gambar L-7.22 Konsolidasi Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi



Gambar L-7.23 Kurva SF Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi

Lampiran 8 Hasil Permodelan Plaxis Lereng Timbunan 9 m Tanpa Perkuatan

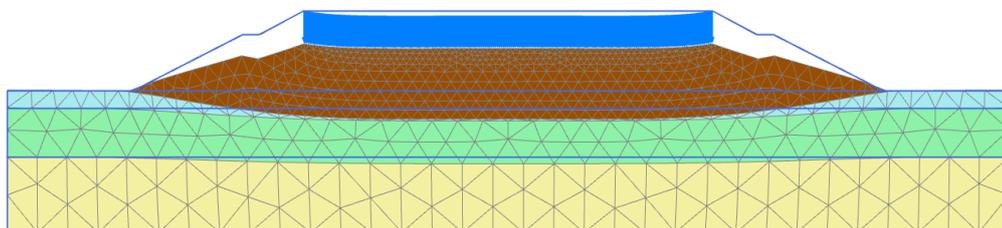
Gambar L-8.1 Permodelan Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



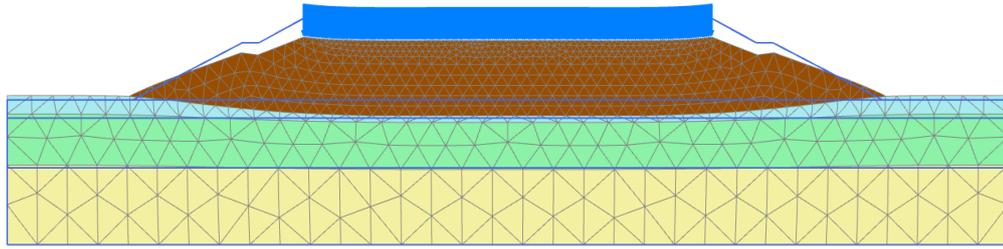
Gambar L-8.2 Meshing pada Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



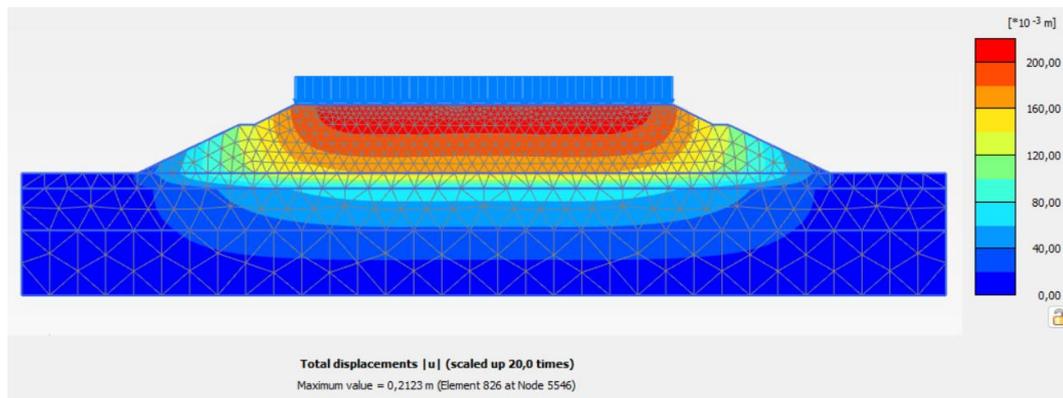
Gambar L-8.3 Flow Conditions Stresses pada Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Tanpa Perkuatan



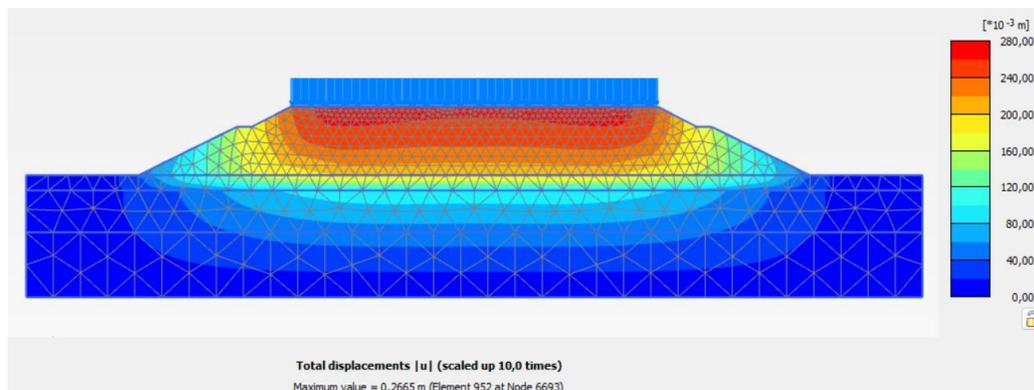
Gambar L-8.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



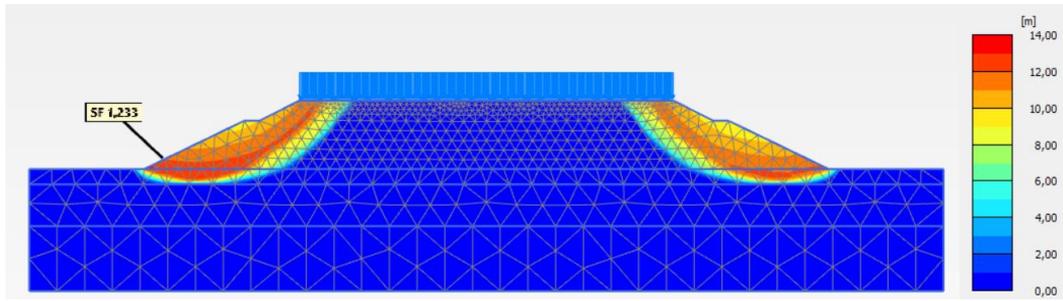
**Gambar L-8.5 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi
Akibat Beban dan Gempa**



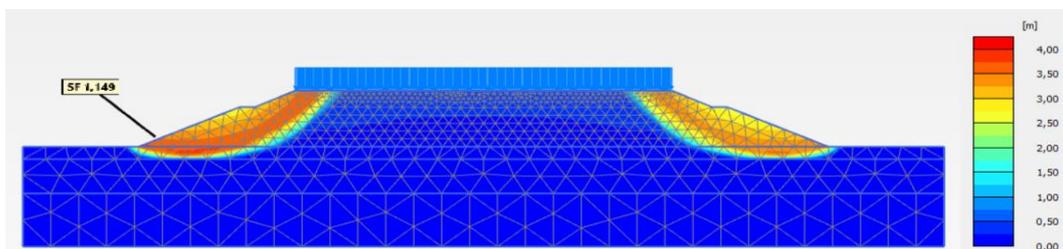
**Gambar L-8.6 Total Displacement Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi
Akibat Beban Struktur**



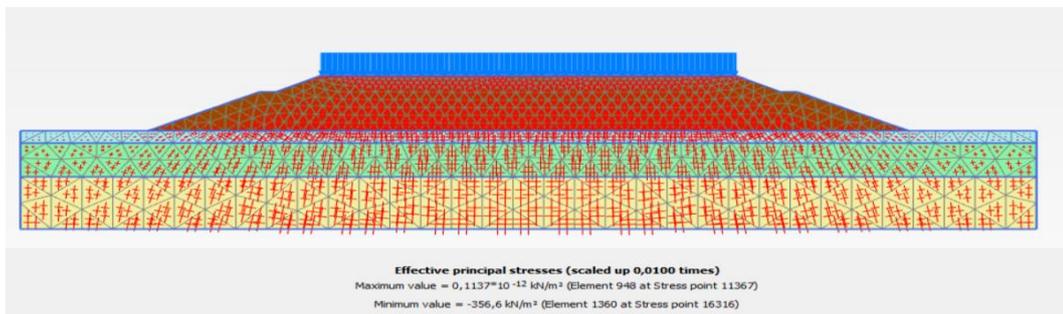
**Gambar L-8.7 Total Displacement Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi
Akibat Beban dan Gempa**



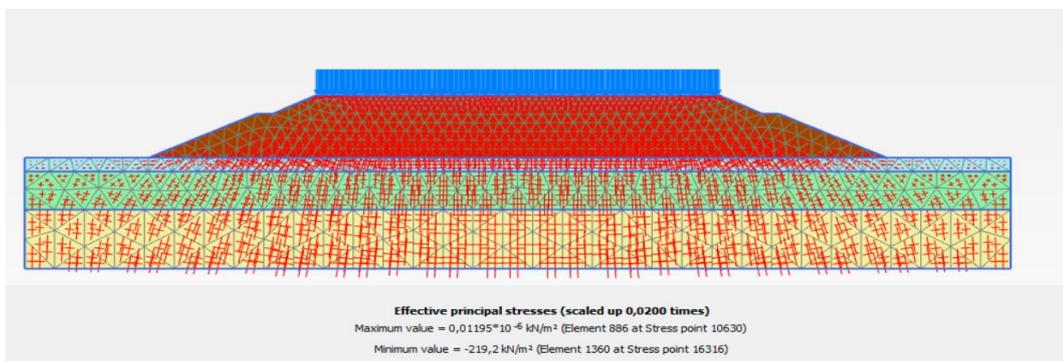
Gambar L-8.8 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



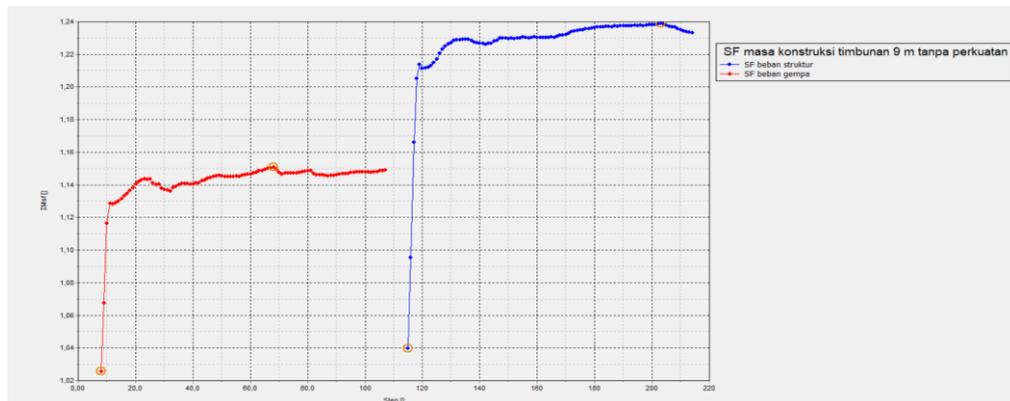
Gambar L-8.9 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



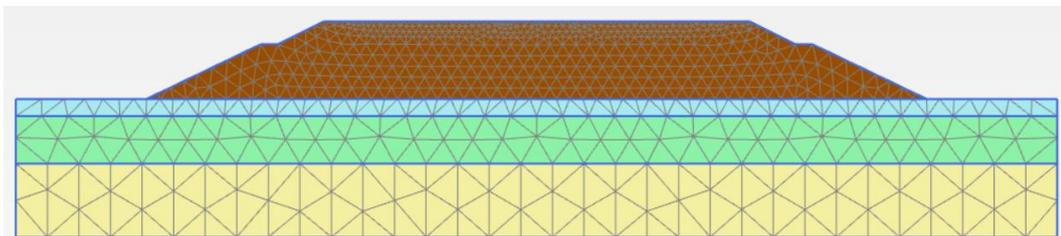
Gambar L-8.10 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



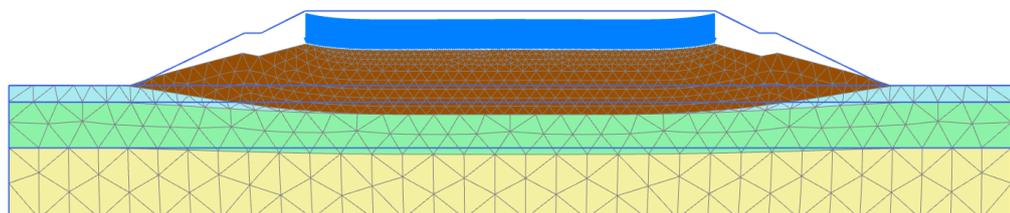
Gambar L-8.11 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



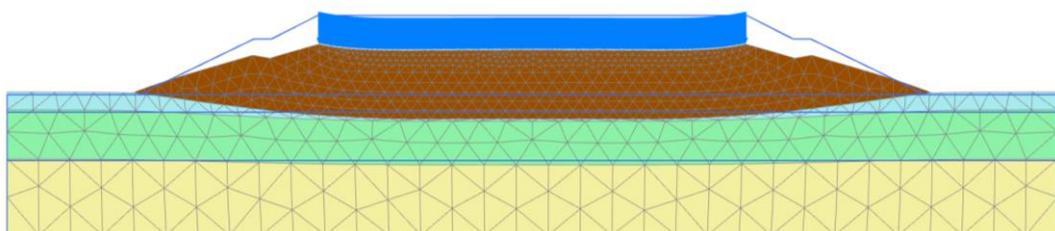
Gambar L-8.12 Kurva SF Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi



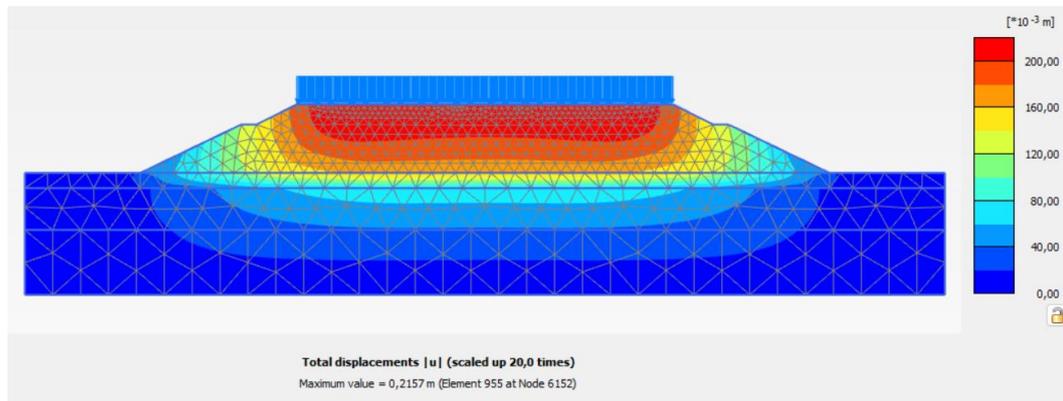
Gambar L-8.13 Meshing pada Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Tanpa Perkuatan



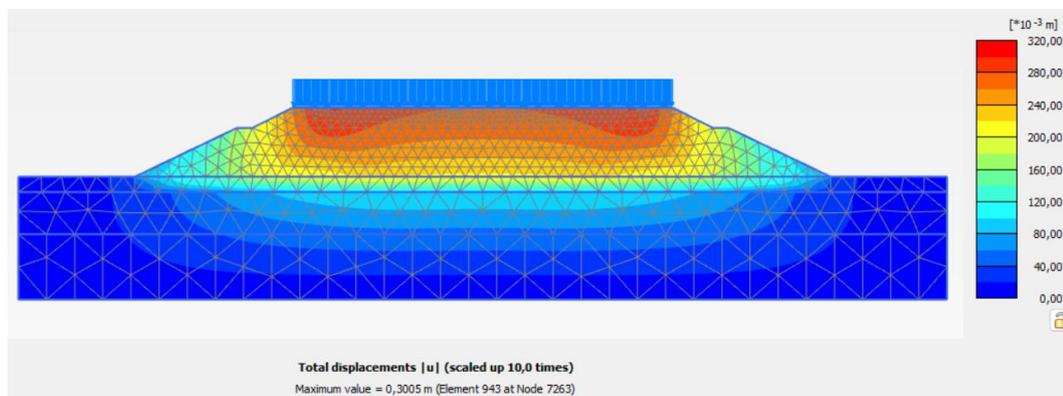
Gambar L-8.14 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



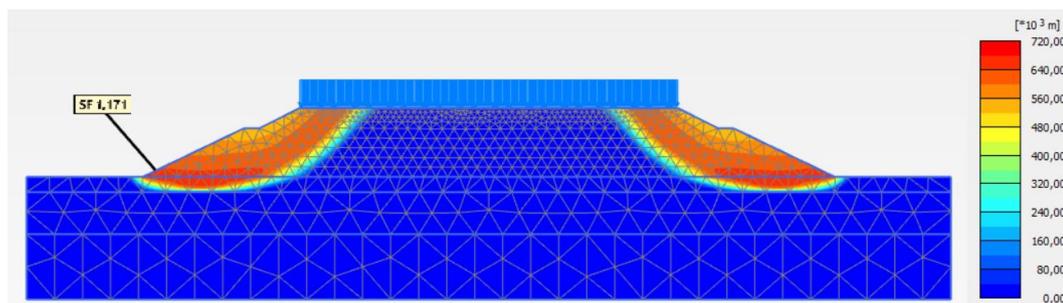
Gambar L-8.15 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa



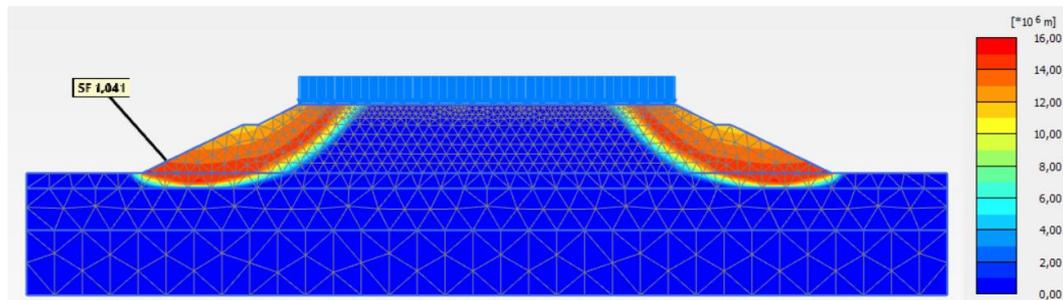
Gambar L-8.16 Total Displacement Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



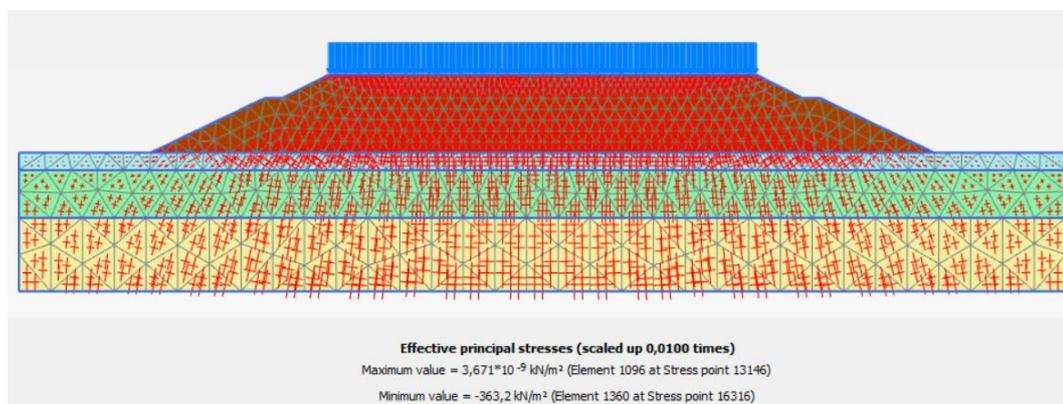
Gambar L-8.17 Total Displacement Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



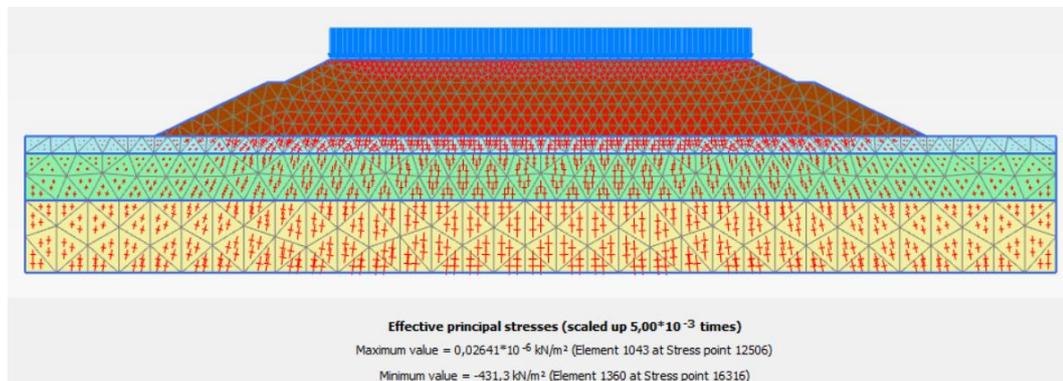
Gambar L-8.18 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



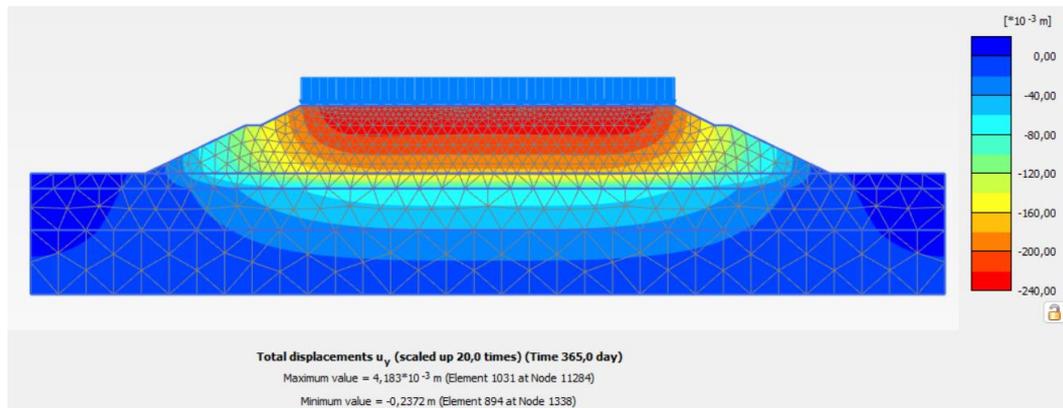
Gambar L-8.19 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa



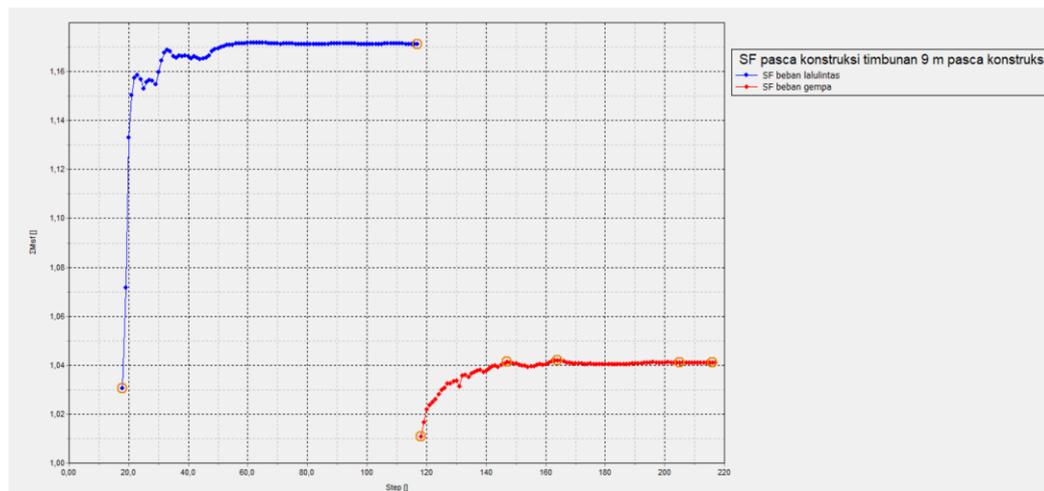
Gambar L-8.20 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



Gambar L-8.21 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa

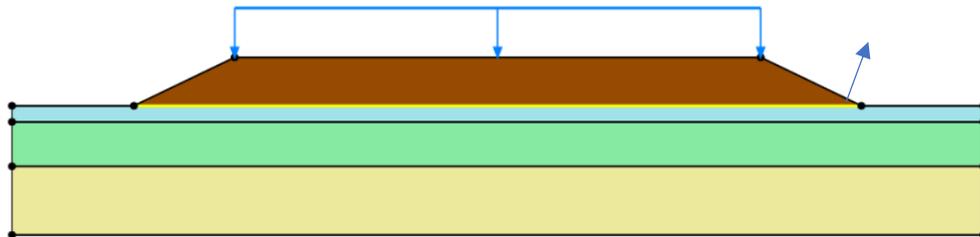


Gambar L-8.22 Konsolidasi timbunan 9 m tanpa perkuatan Pasca Konstruksi

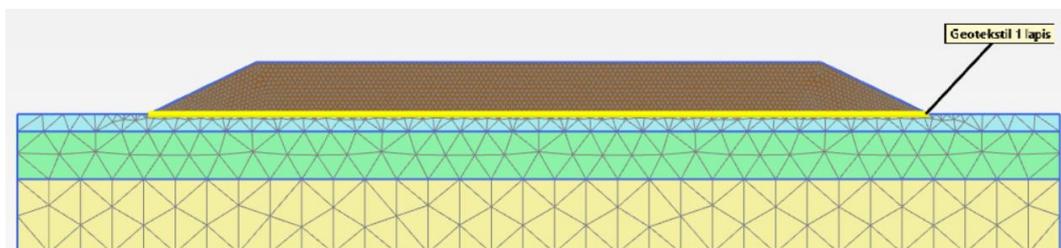


Gambar L-8.23 Kurva SF Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi

Lampiran 9 Hasil Permodelan Plaxis Lereng Timbunan 6 m Dengan Perkuatan Geotekstil



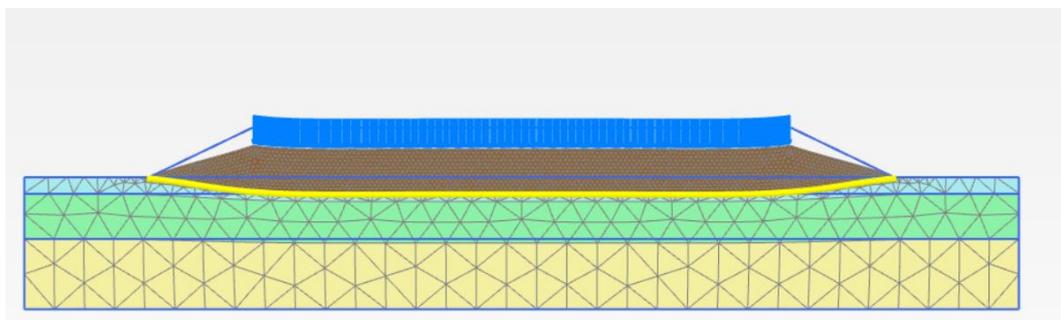
Gambar L-9.1 Pemodelan Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Perkuatan Geotekstil



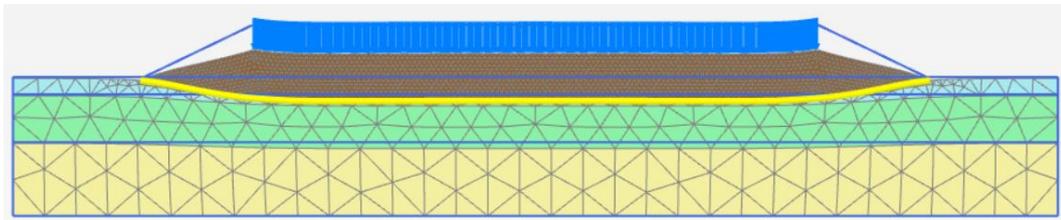
Gambar L-9.2 Meshing pada Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Perkuatan Geotekstil



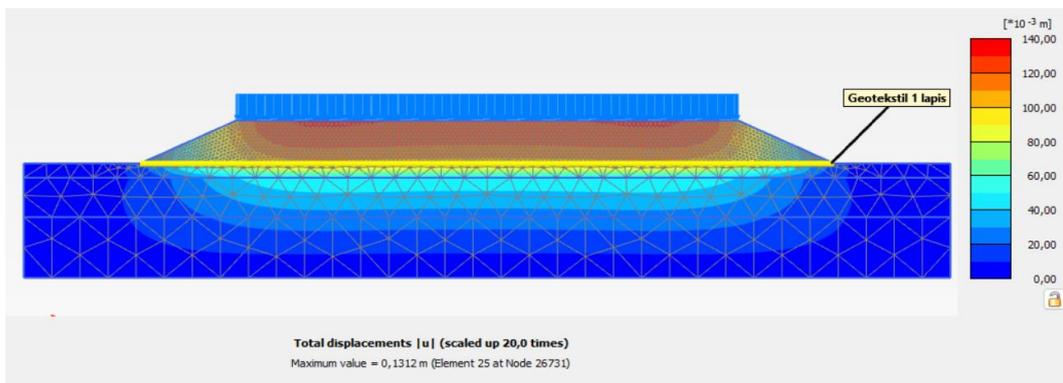
Gambar L-9.3 Flow Conditions pada Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Dengan Perkuatan Perkuatan Geotekstil



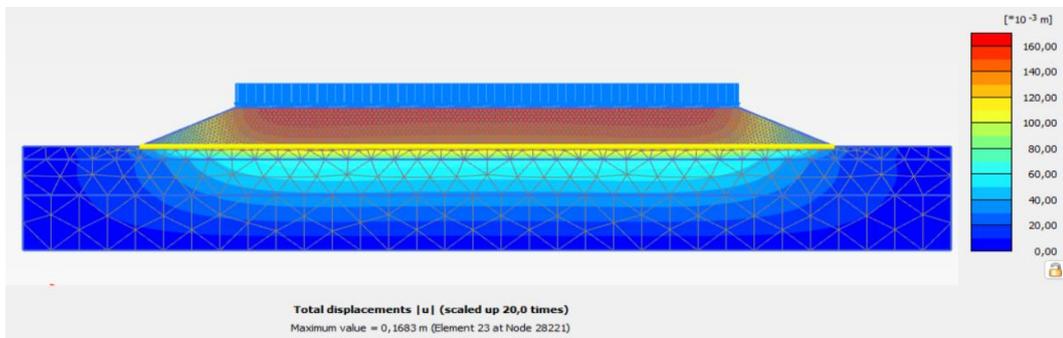
Gambar L-9.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Perkuatan Geotekstil



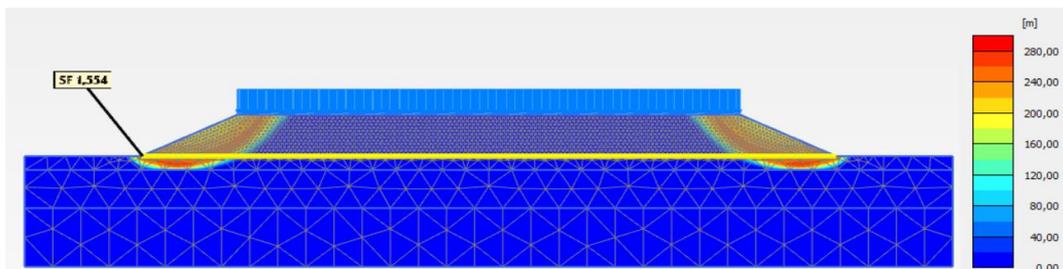
Gambar L-9.5 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil



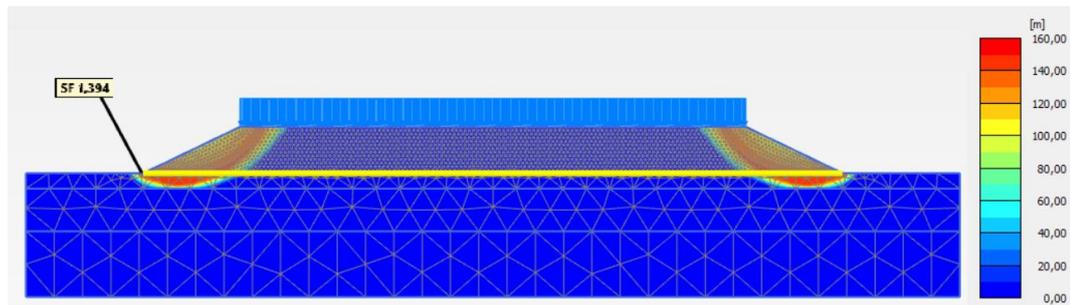
Gambar L-9.6 Total Displacement Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Perkuatan Geotekstil



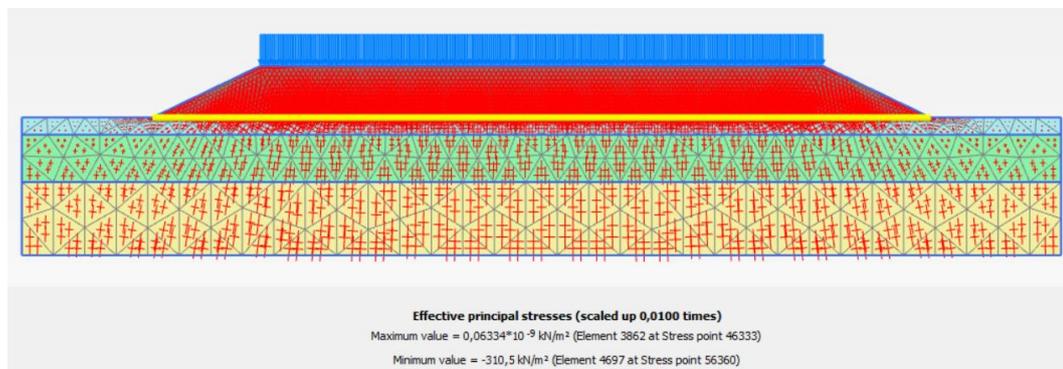
Gambar L-9.7 Total Displacement Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil



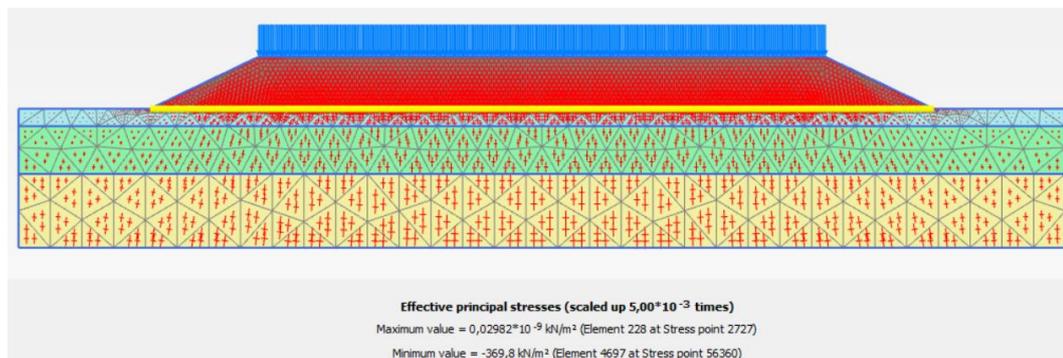
Gambar L-9.8 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Perkuatan Geotekstil



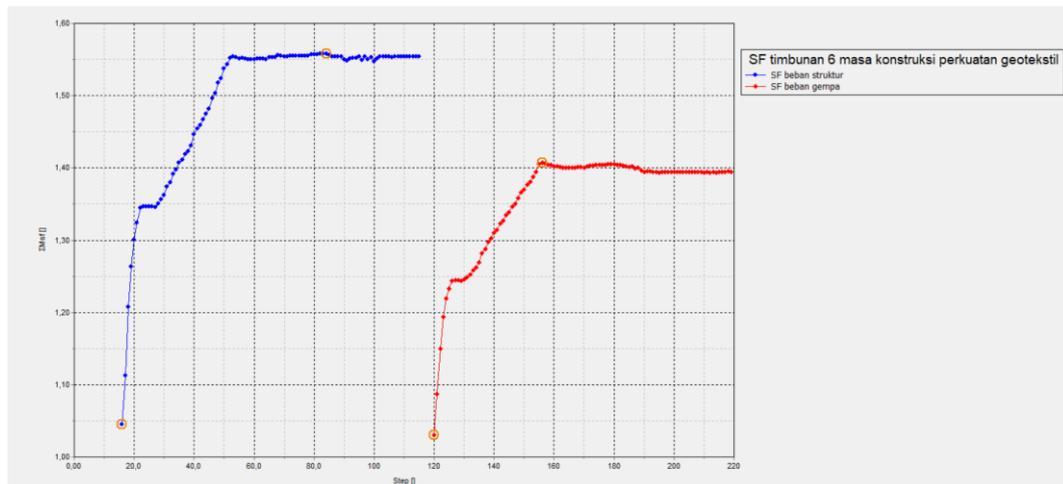
Gambar L-9.9 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil



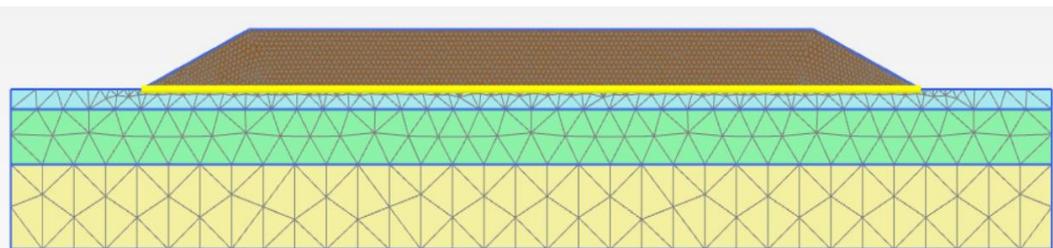
Gambar L-9.10 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Perkuatan Geotekstil



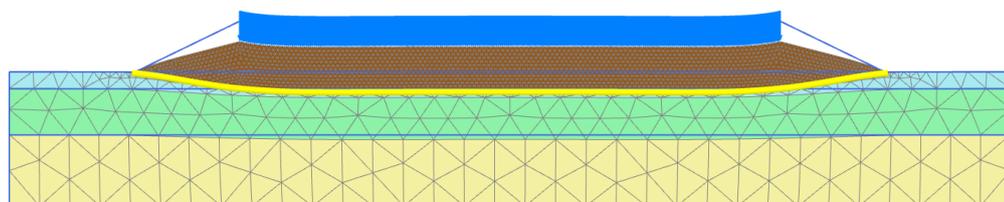
Gambar L-9.11 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil



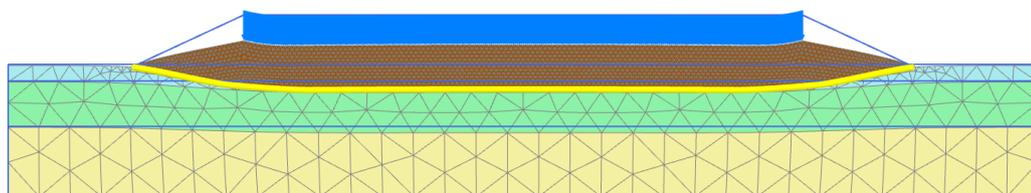
Gambar L-9.12 Kurva SF Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Perkuatan Geotekstil



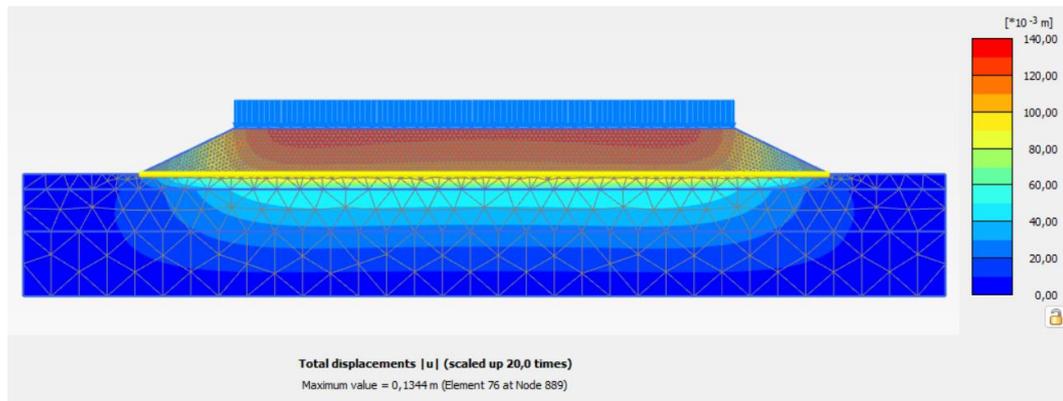
Gambar L-9.13 Meshing pada Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Perkuatan Geotekstil



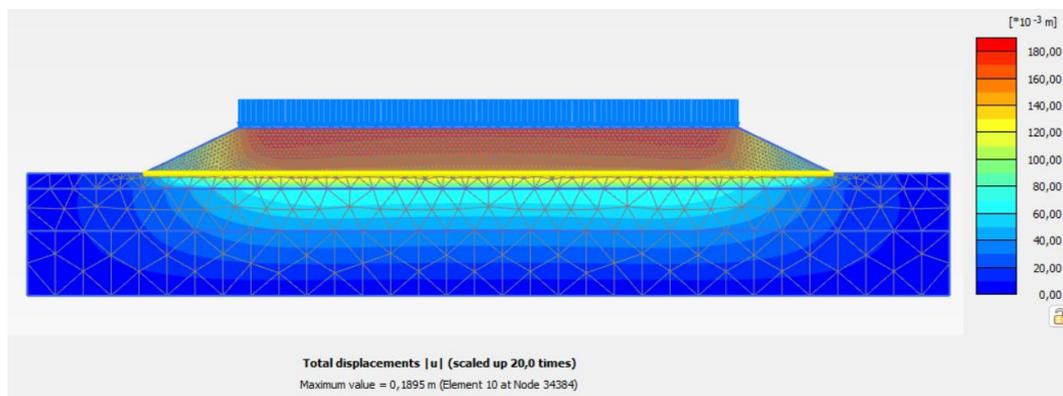
Gambar L-9.14 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Geotekstil



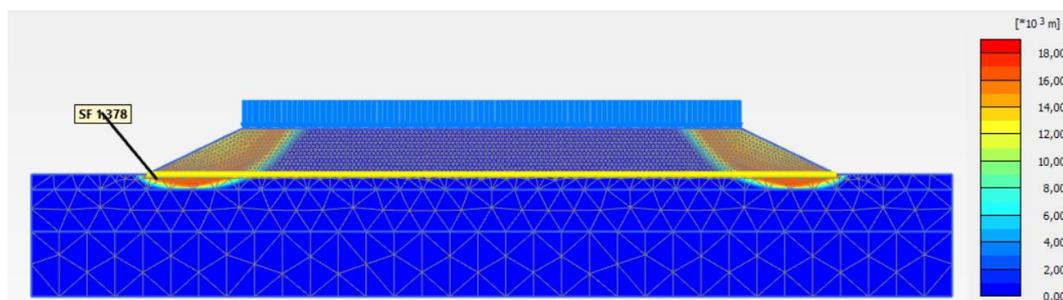
Gambar L-9.15 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa Perkuatan Geotekstil



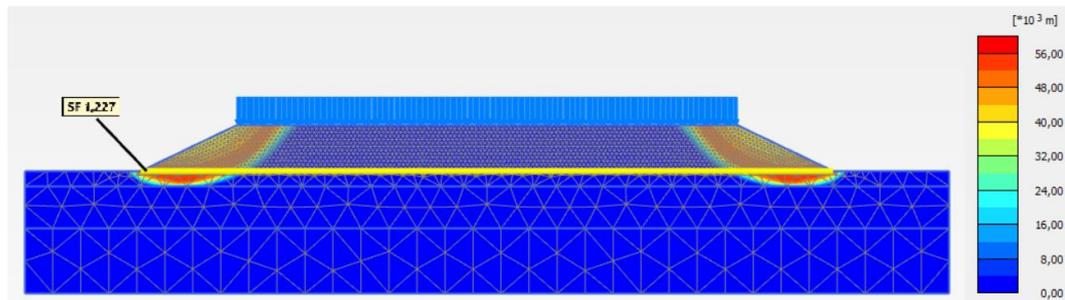
Gambar L-9.16 Total Displacement Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Geotekstil



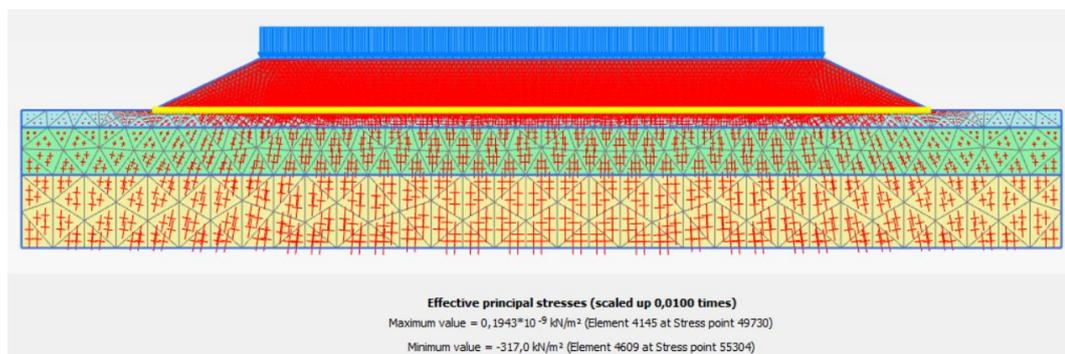
Gambar L-9.17 Total Displacement Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil



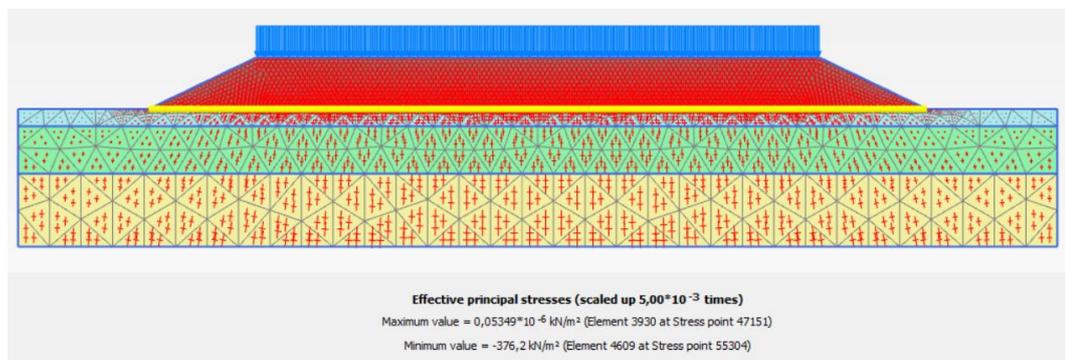
Gambar L-9.18 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Geotekstil



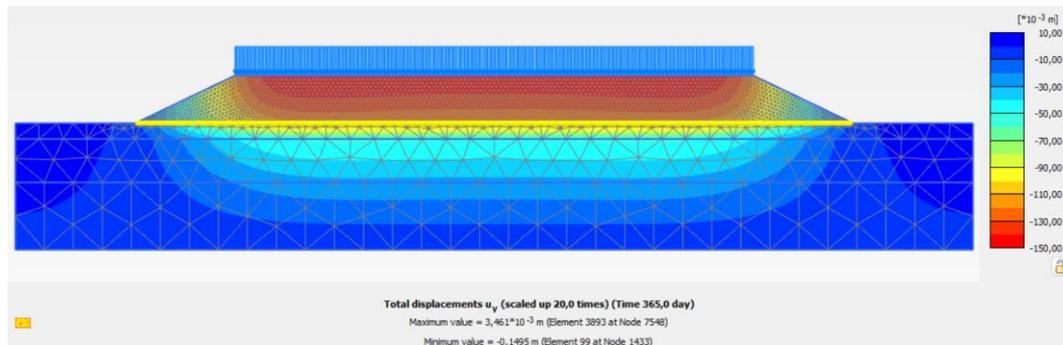
Gambar L-9.19 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil



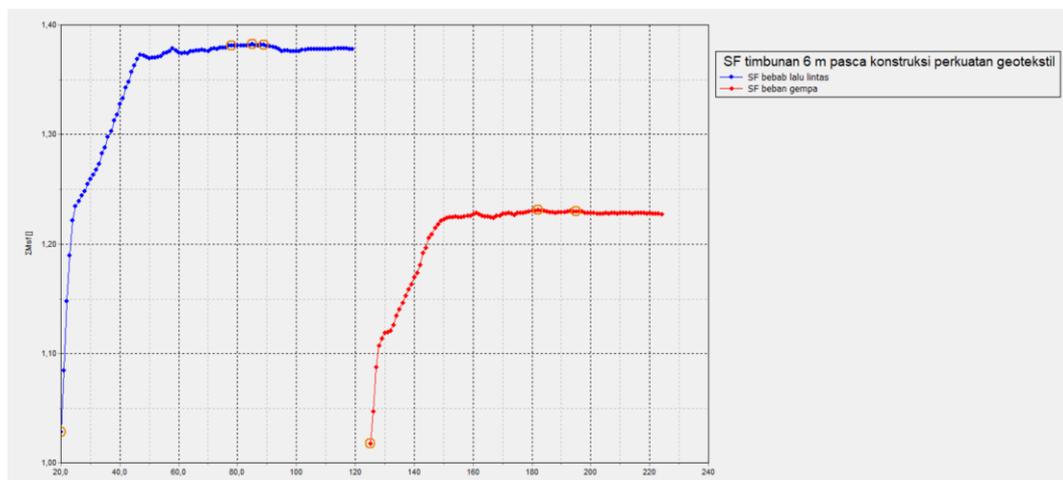
Gambar L-9.20 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Geotekstil



Gambar L-9.21 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil

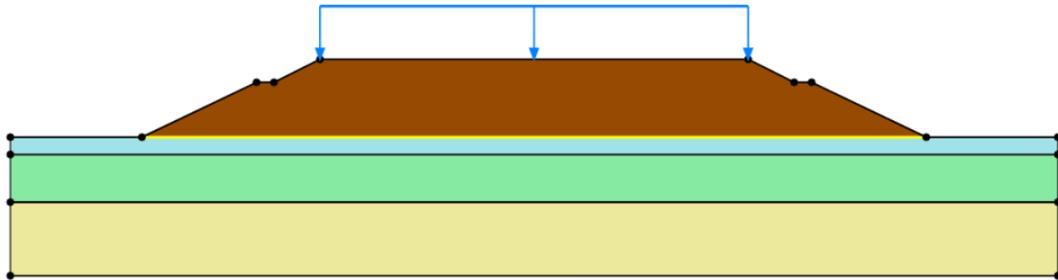


Gambar L-9.22 Konsolidasi Timbunan 6 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi

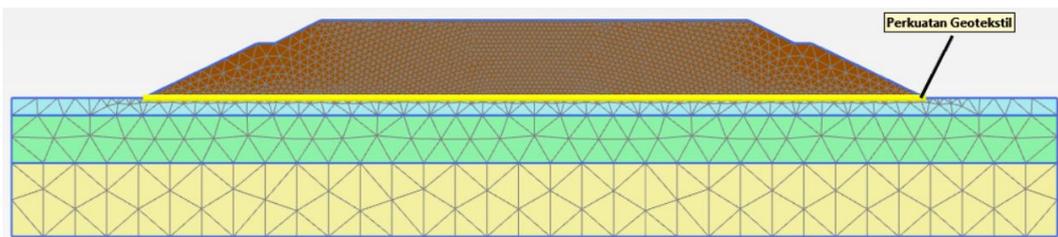


Gambar L-9.23 Kurva SF Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Perkuatan Geotekstil

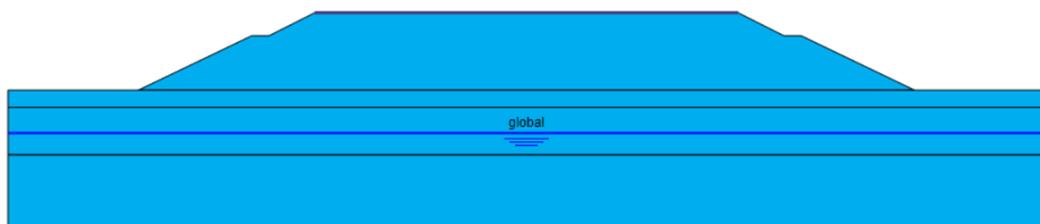
Lampiran 10 Hasil Permodelan Plaxis Lereng Timbunan 9 m Dengan Perkuatan Geotekstil



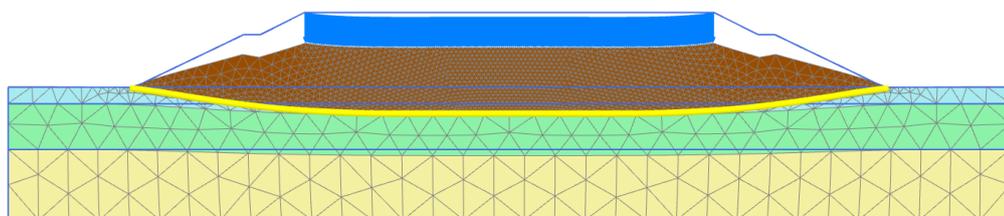
Gambar L-10.1 Pemodelan Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Perkuatan Geotekstil



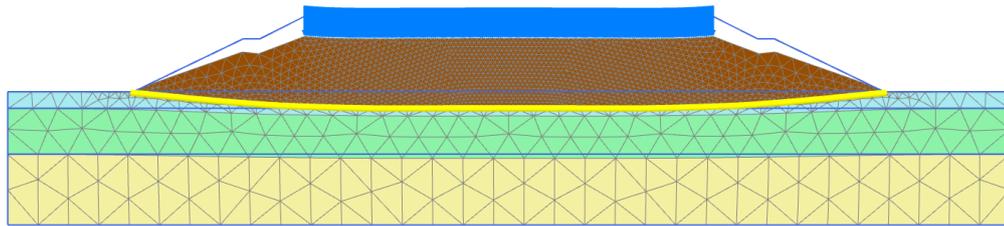
Gambar L-10.2 Meshing pada Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Perkuatan Geotekstil



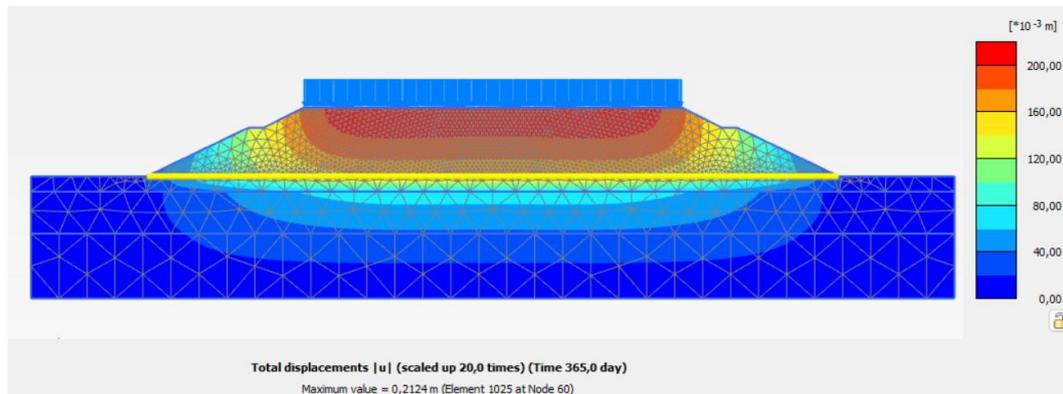
Gambar L-10.3 Flow Conditions pada Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Dengan Perkuatan Geotekstil



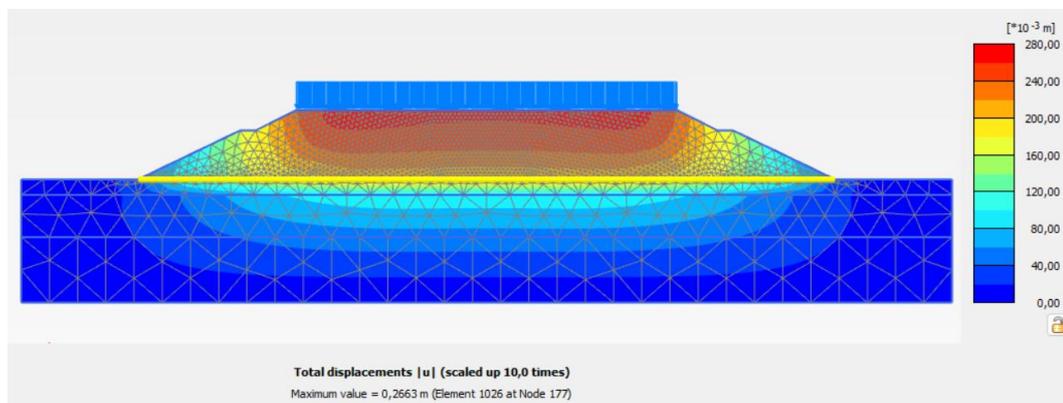
Gambar L-10.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Perkuatan Geotekstil



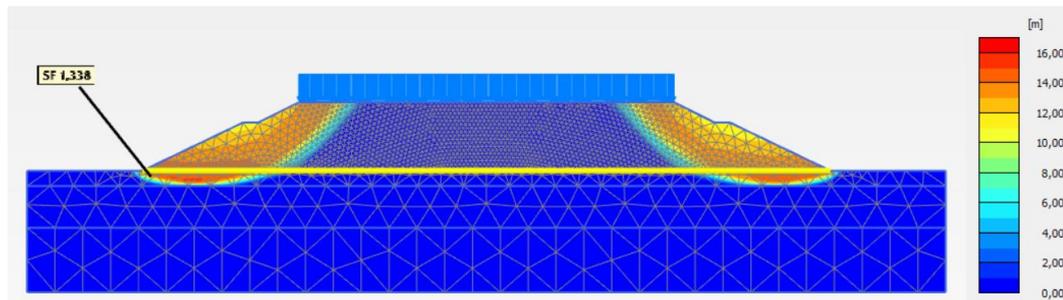
Gambar L-10.5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi
Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil



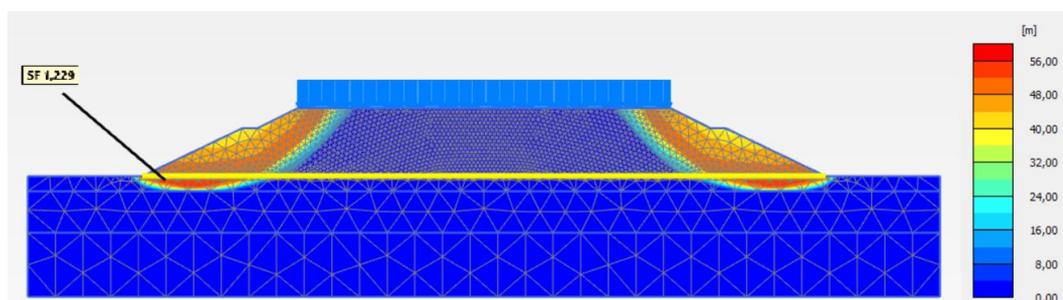
Gambar L-10.6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 9 m Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur Perkuatan Geotekstil



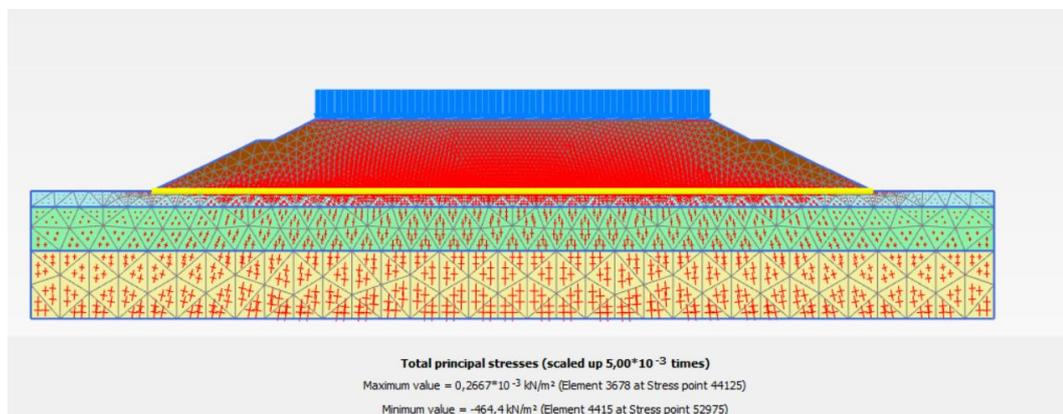
Gambar L-10.7 *Total Displacement* Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi
Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil



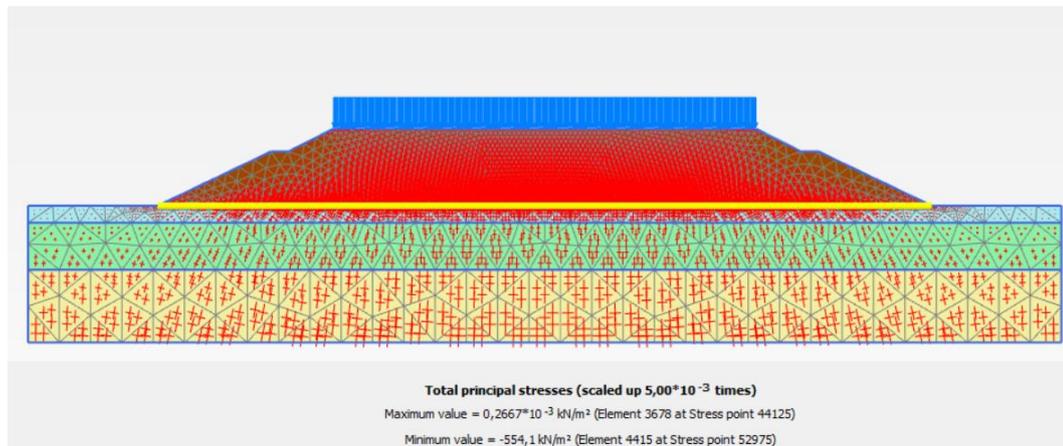
**Gambar L-10.8 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur Perkuatan Geotekstil**



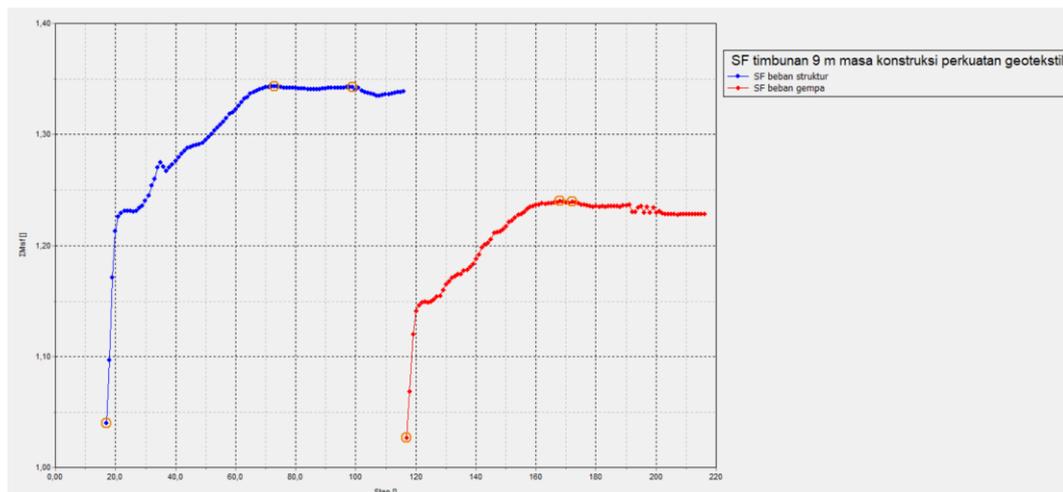
**Gambar L-10.9 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil**



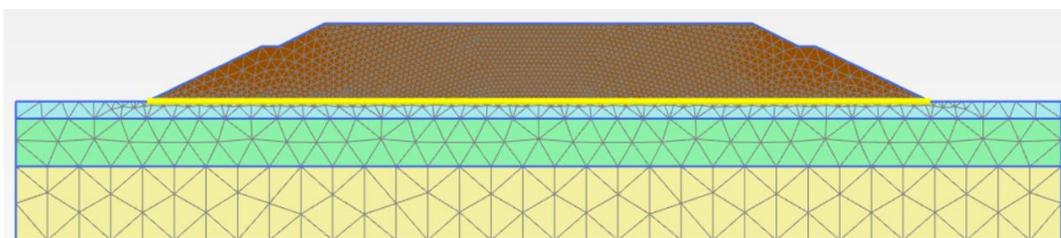
**Gambar L-10.10 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi
Akibat Beban Struktur Perkuatan Geotekstil**



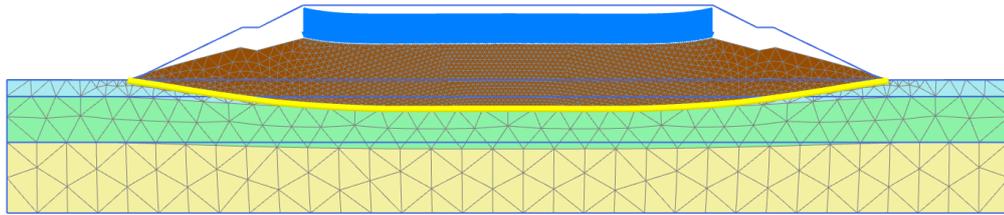
Gambar L-10.11 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil



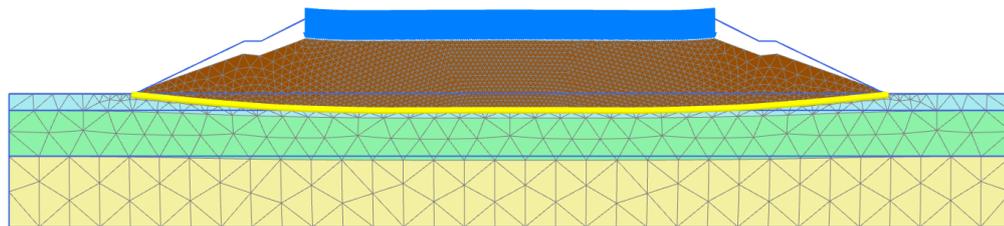
Gambar L-10.12 Kurva SF Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Perkuatan Geotekstil



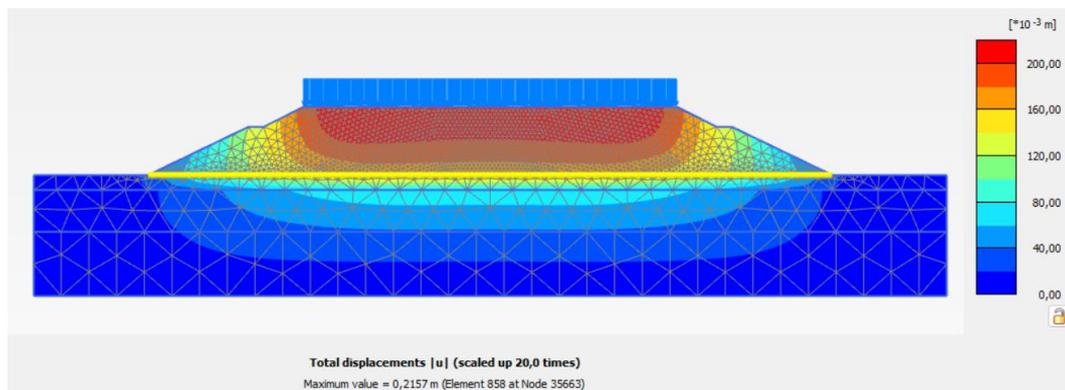
Gambar L-10.13 Meshing pada Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Dengan Perkuatan Geotekstil



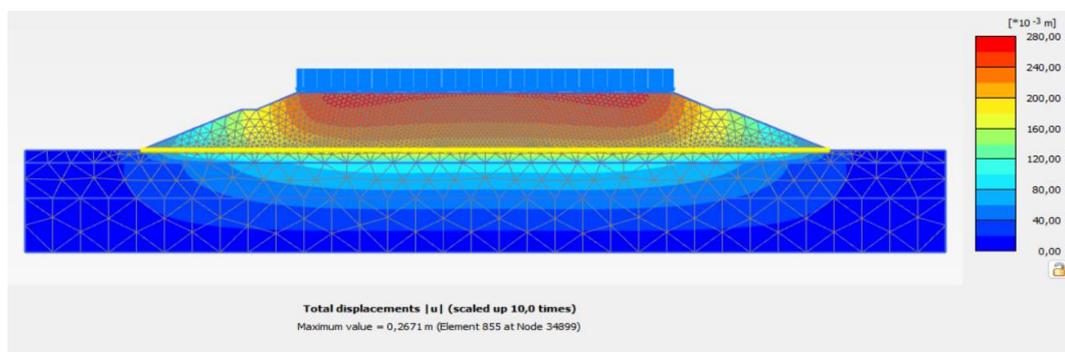
Gambar L-10.14 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Geotekstil



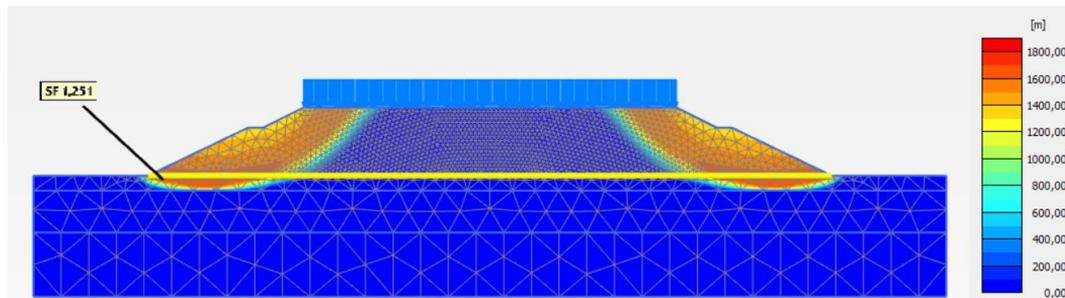
Gambar L-10.15 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 9 m Tanah Asli Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa Perkuatan Geotekstil



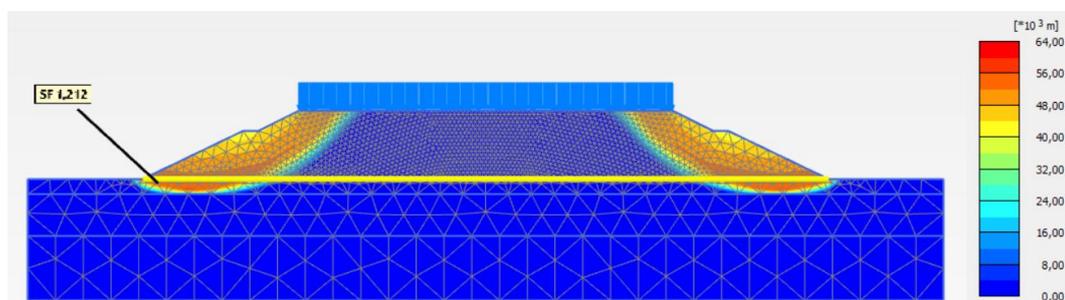
Gambar L-10.16 *Total Displacement* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Geotekstil



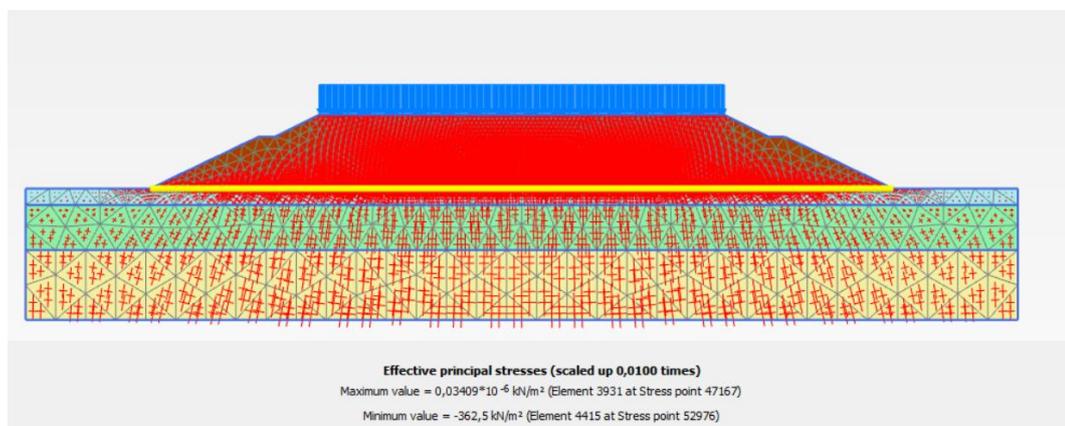
Gambar L-10.17 *Total Displacement* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil



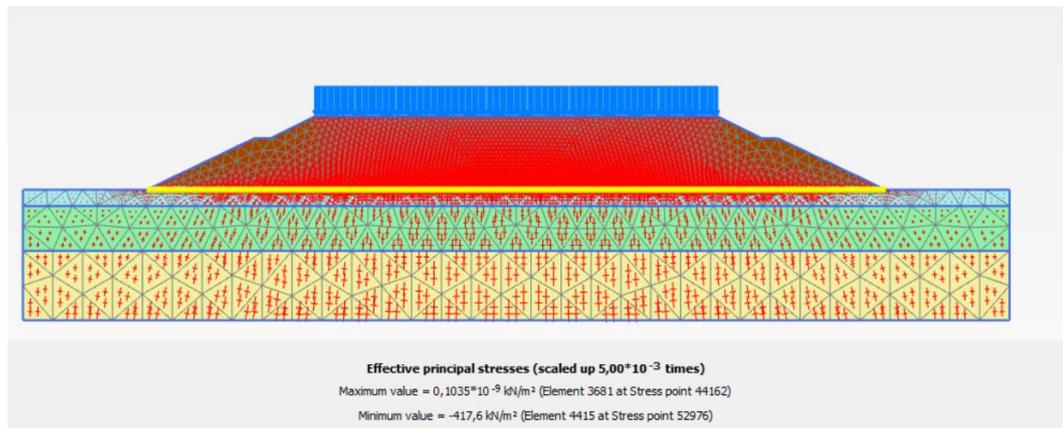
**Gambar L-10.18 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Pasca
Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Geotekstil**



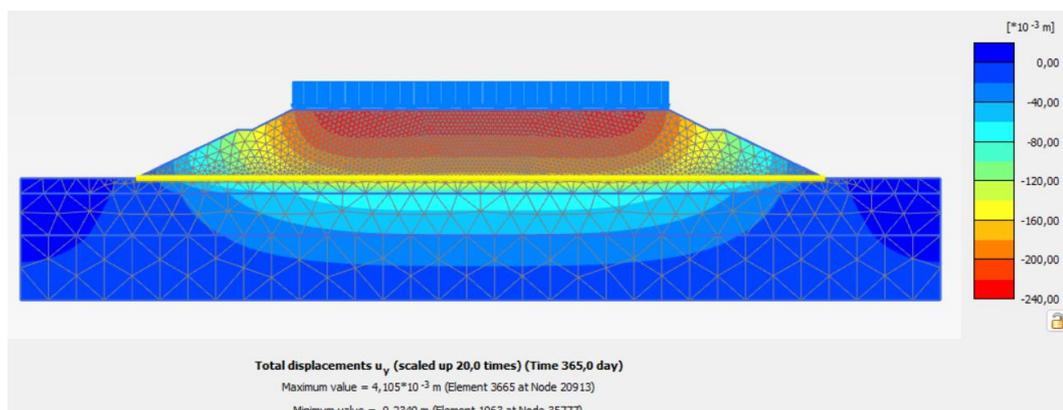
**Gambar L-10.19 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Pasca
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil**



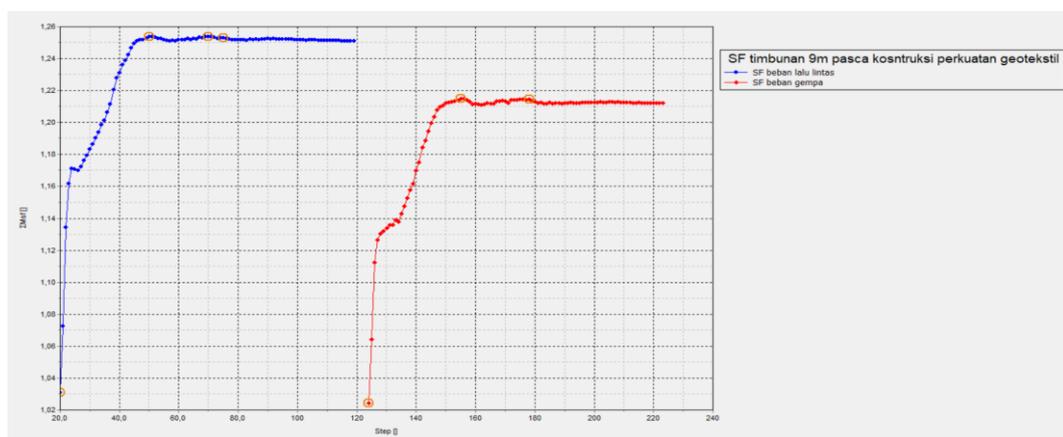
**Gambar L-10.20 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi
Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Geotekstil**



Gambar L-10.21 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Geotekstil

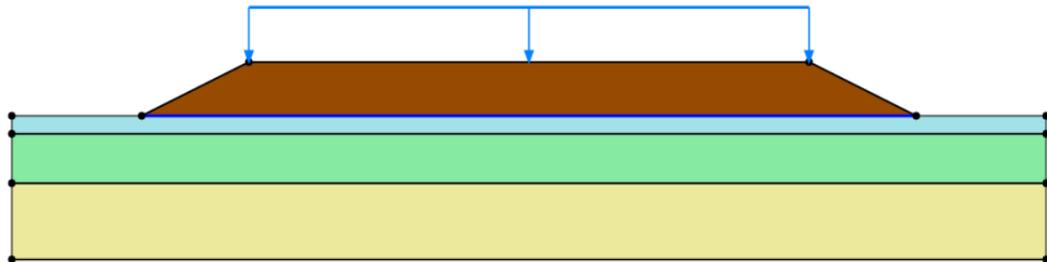


Gambar L-10.22 Konsolidasi Timbunan 9 m Perkuatan Geotekstil Pasca Konstruksi

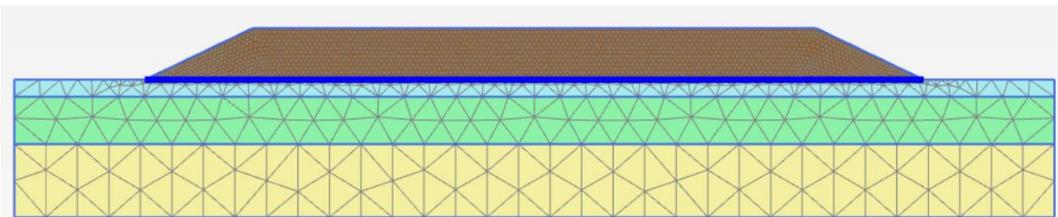


Gambar L-10.23 Kurva SF Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Perkuatan Geotekstil

Lampiran 11 Hasil Permodelan Plaxis Lereng Timbunan 6 m Dengan Perkuatan matras bambu



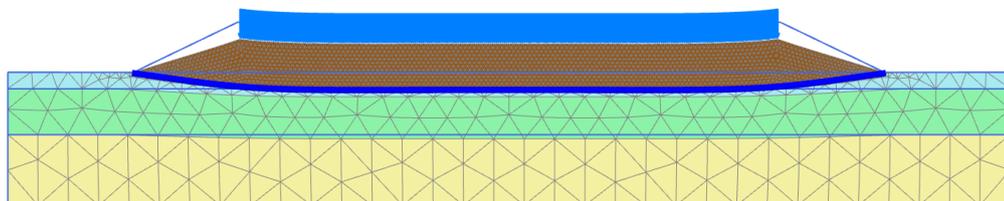
Gambar L-11.1 Permodelan Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Dengan Perkuatan Matras Bambu



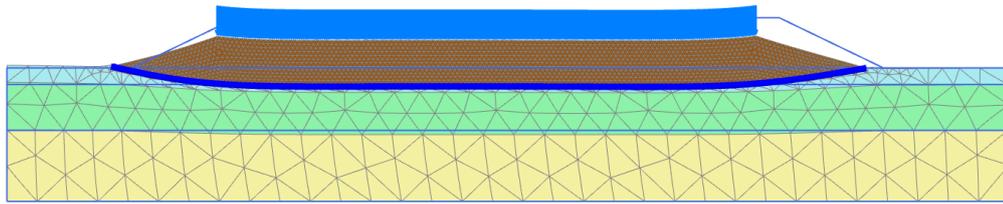
Gambar L-11.2 Meshing pada Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Dengan Perkuatan Matras Bambu



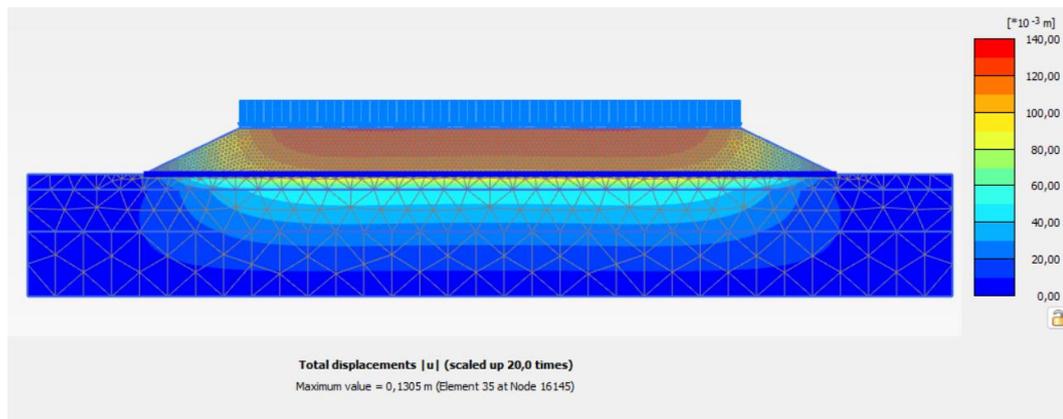
Gambar L-11.3 Flow Conditions pada Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Dengan Perkuatan Matras Bambu



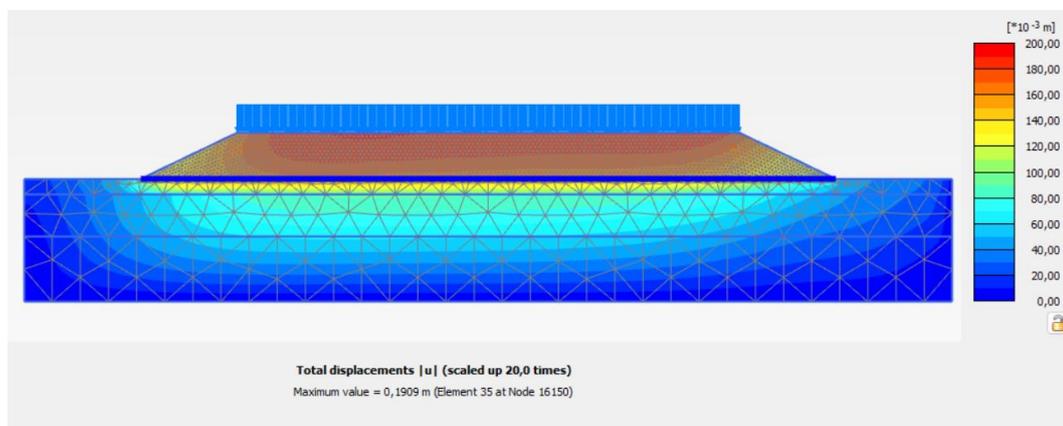
Gambar L-11.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Perkuatan Matras Bambu



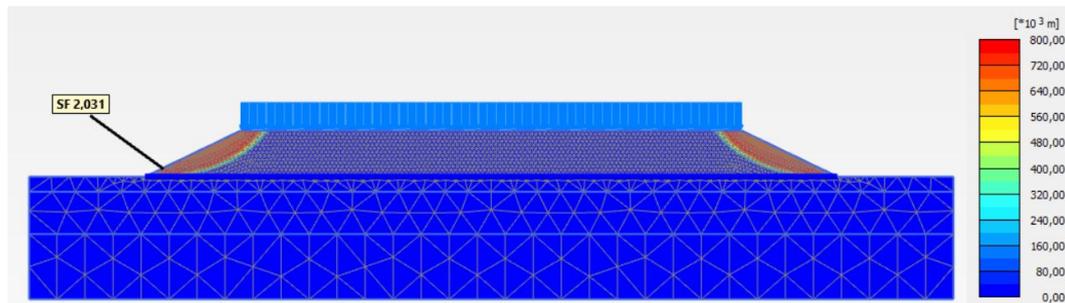
Gambar L-11.5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi
Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu



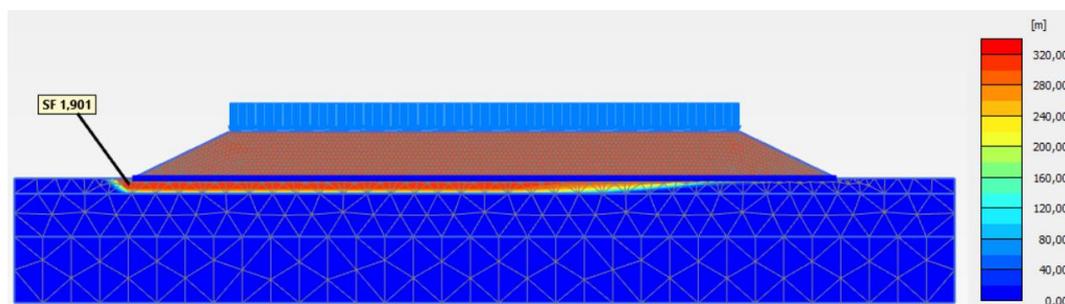
Gambar L-11.6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi
Akibat Beban Struktur Perkuatan Matras Bambu



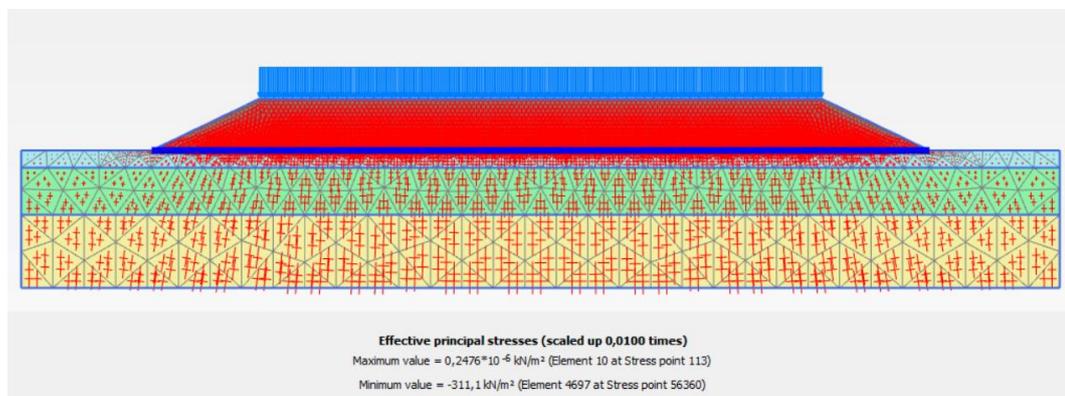
Gambar L-11.7 *Total Displacement* Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi
Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu



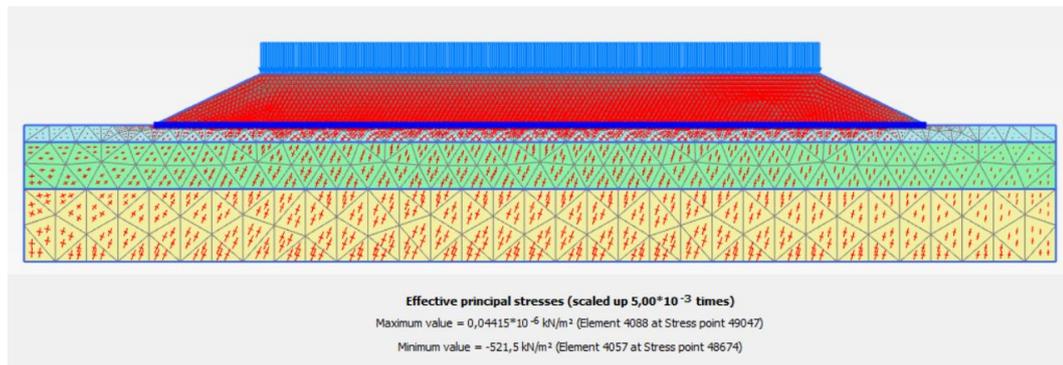
**Gambar L-11.8 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur Perkuatan Matras Bambu**



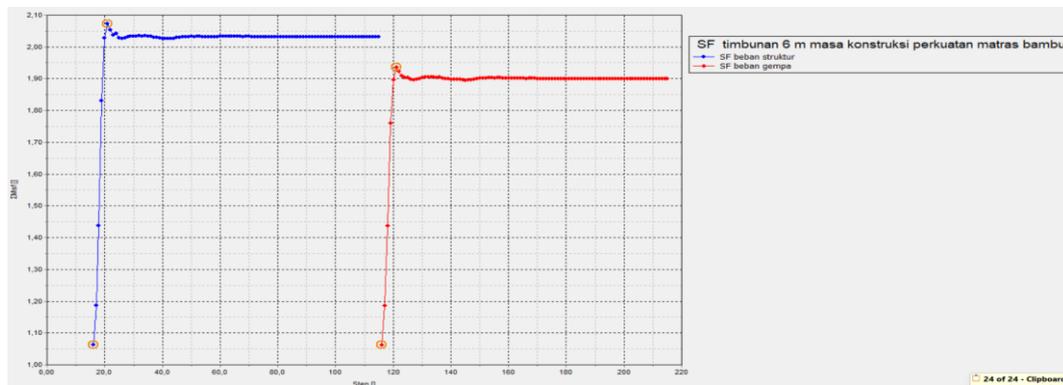
**Gambar L-11.9 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu**



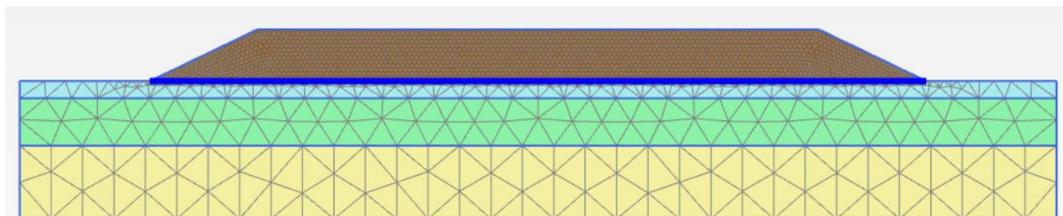
**Gambar L-11.10 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi
Akibat Beban Struktur Perkuatan Matras Bambu**



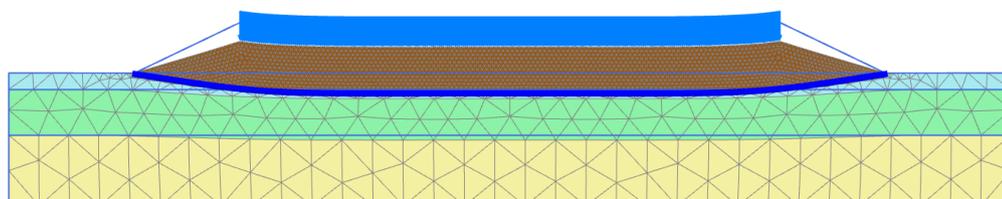
Gambar L-11.11 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu



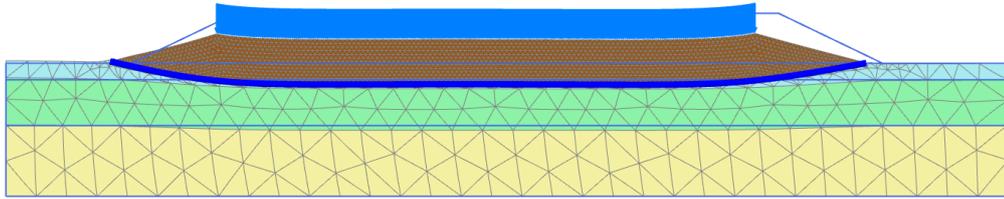
Gambar L-11.12 Kurva SF Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi



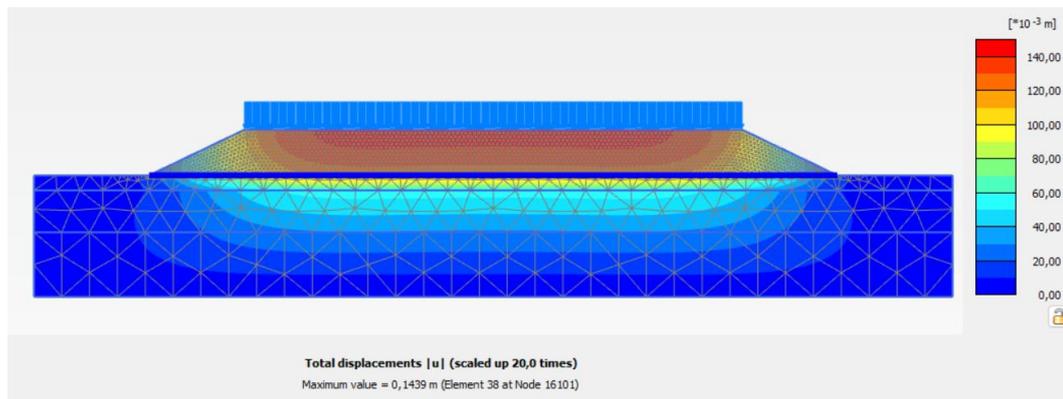
Gambar L-11.13 *Meshing* pada Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Dengan Perkuatan Matras Bambu



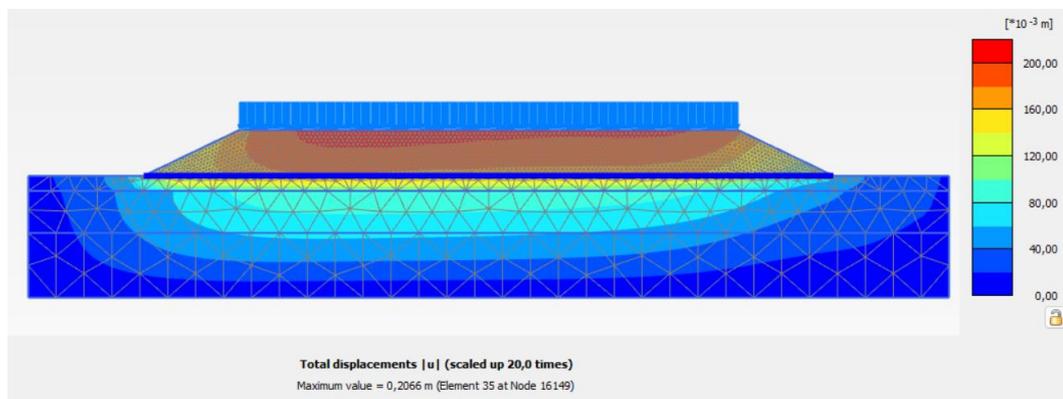
Gambar L-11.14 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Matras Bambu



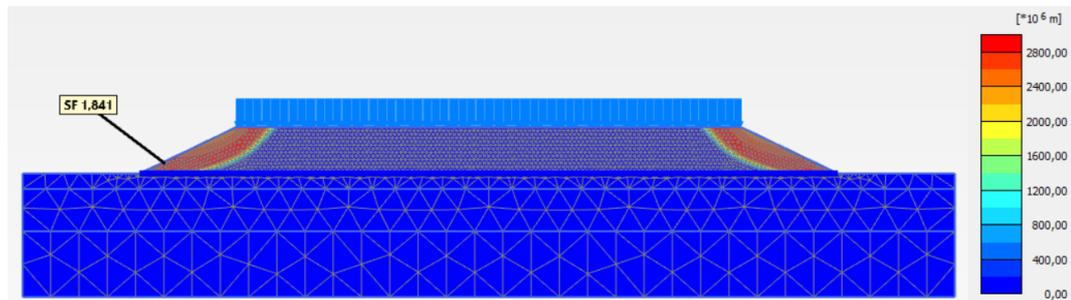
Gambar L-11.15 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa Perkuatan Matras Bambu



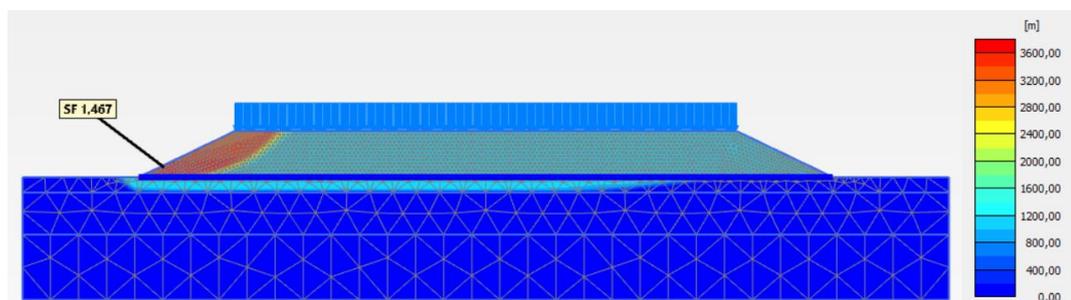
Gambar L-11.16 *Total Displacement* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Matras Bambu



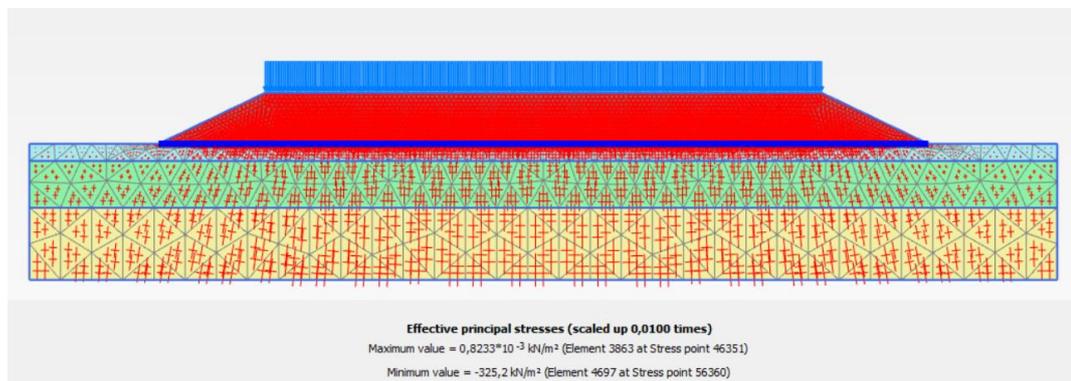
Gambar L-11.17 *Total Displacement* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu



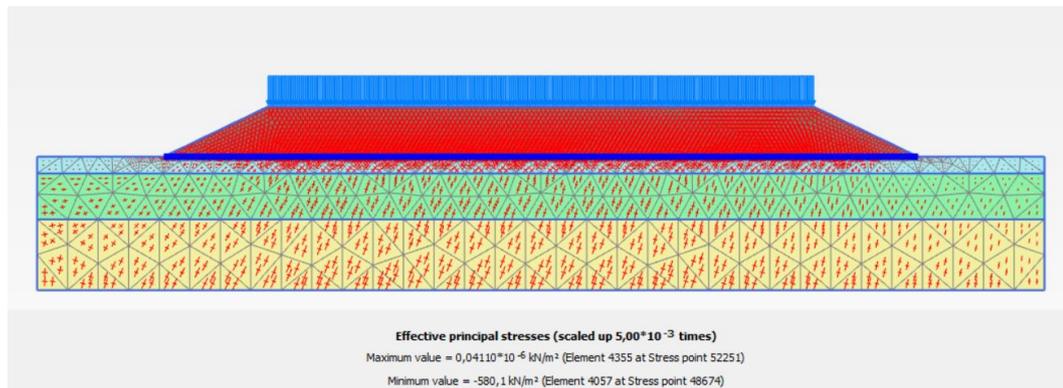
Gambar L-11.18 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Matras Bambu



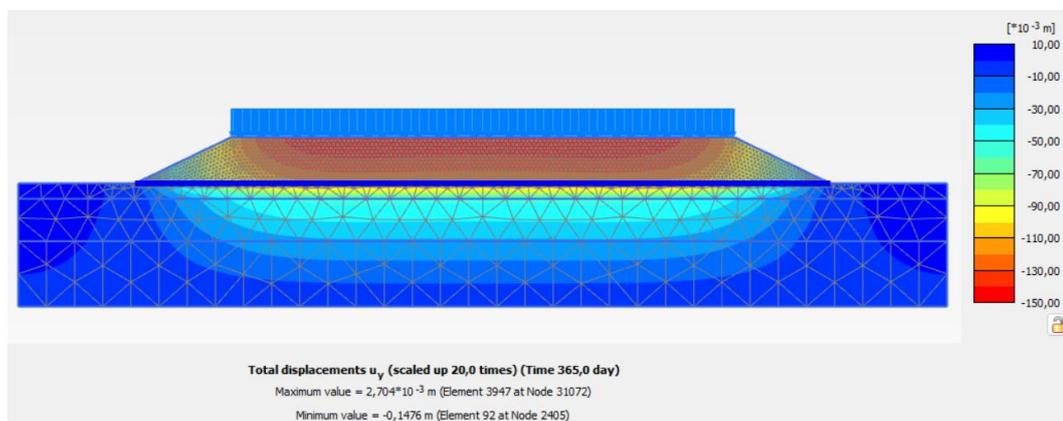
Gambar L-11.19 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu



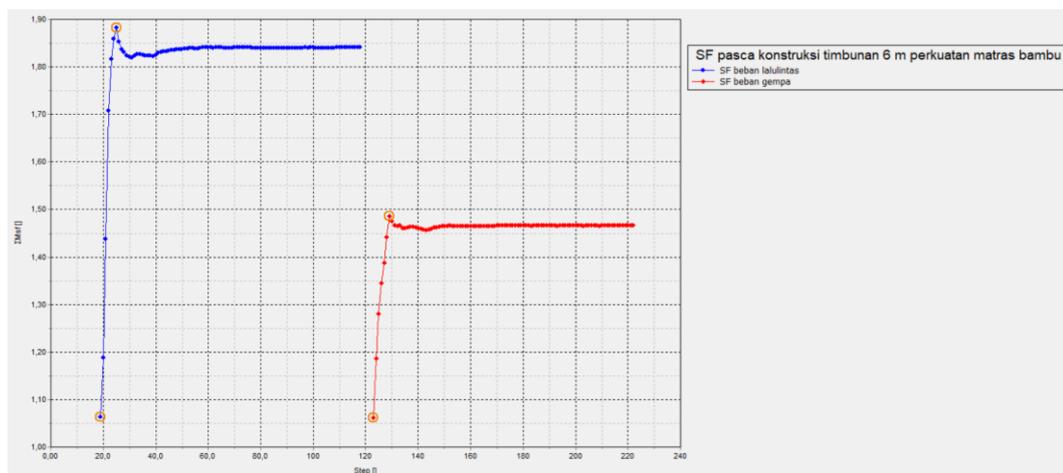
Gambar L-11.20 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Matras Bambu



Gambar L-11.21 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu

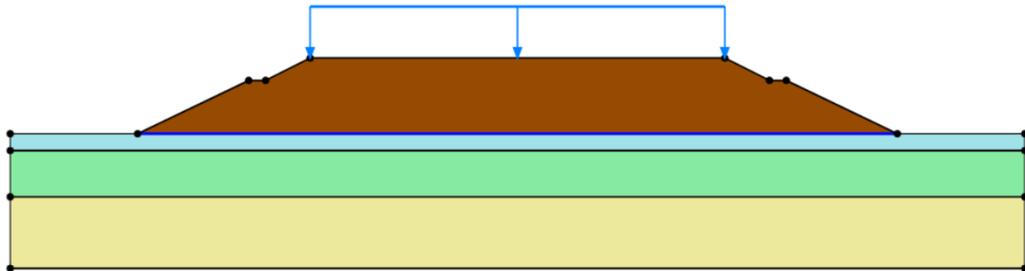


Gambar L-11.22 Konsolidasi Lereng Timbunan 6 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi

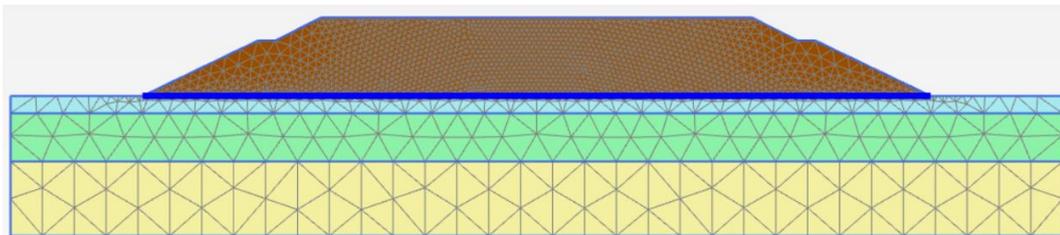


Gambar L-11.23 Kurva SF Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi

Lampiran 12 Hasil Permodelan Plaxis Lereng Timbunan 9 m Dengan Perkuatan matras bambu



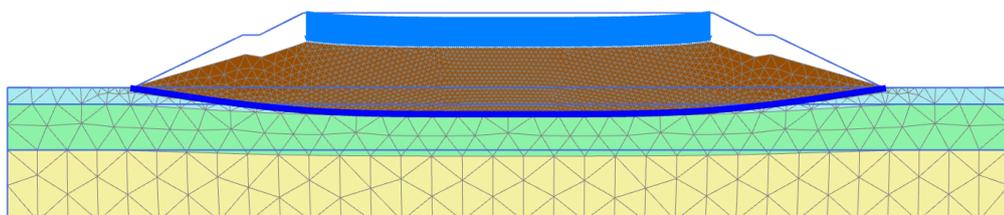
Gambar L-12.1 Permodelan Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Dengan Perkuatan Matras Bambu



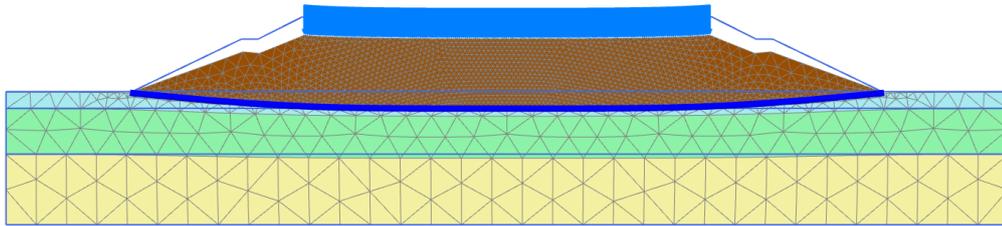
Gambar L-12.2 Meshing pada Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Dengan Perkuatan Perkuatan Matras Bambu



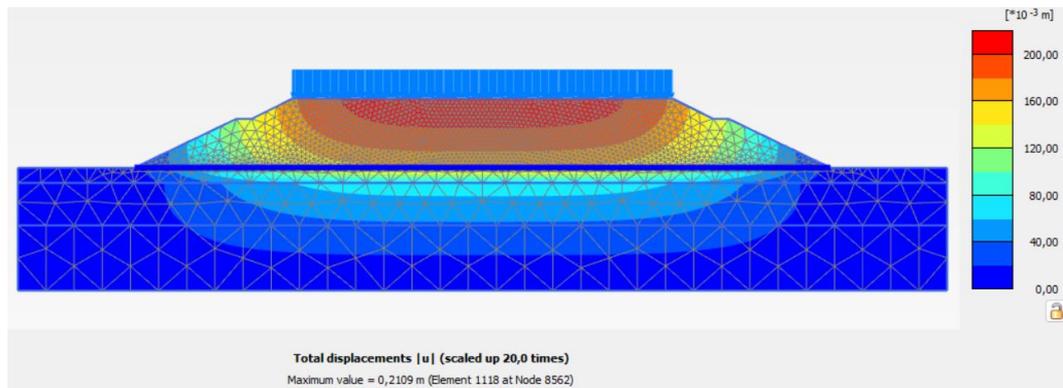
Gambar L-12.3 Flow Conditionts pada Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Dengan Perkuatan Matras Bambu



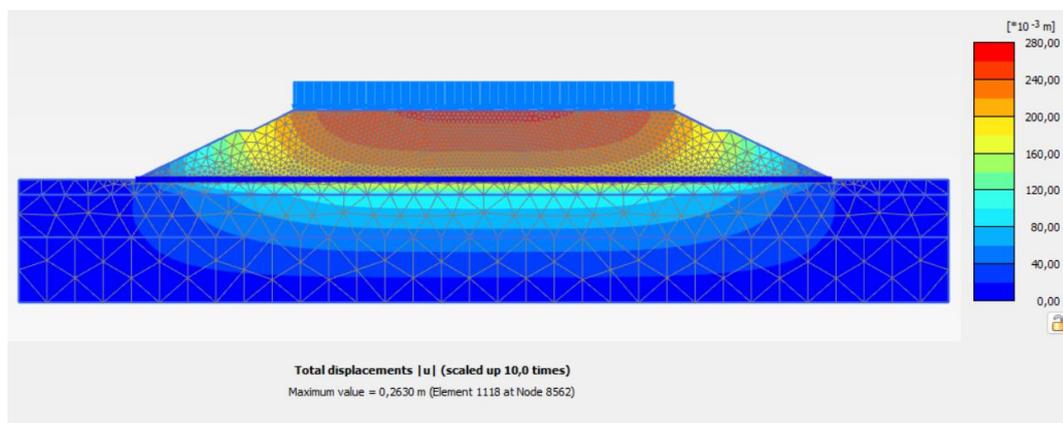
Gambar L-12.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Perkuatan Matras Bambu



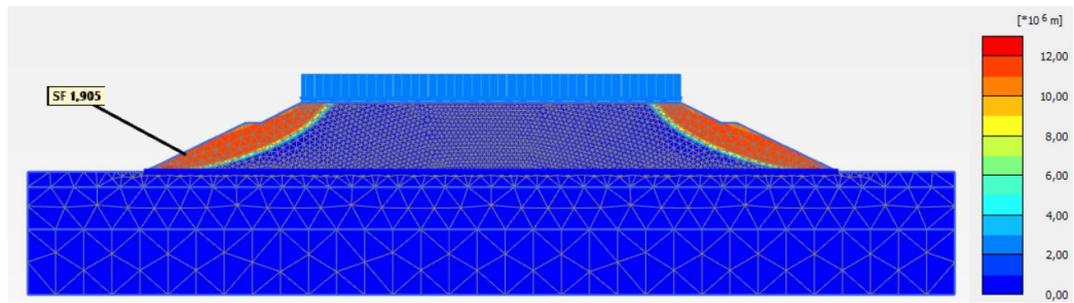
Gambar L-12.5 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu



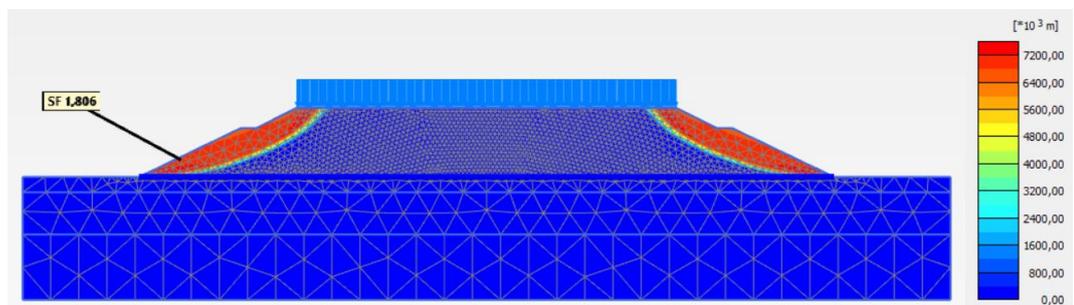
Gambar L-12.6 Total Displacement Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Perkuatan Matras Bambu



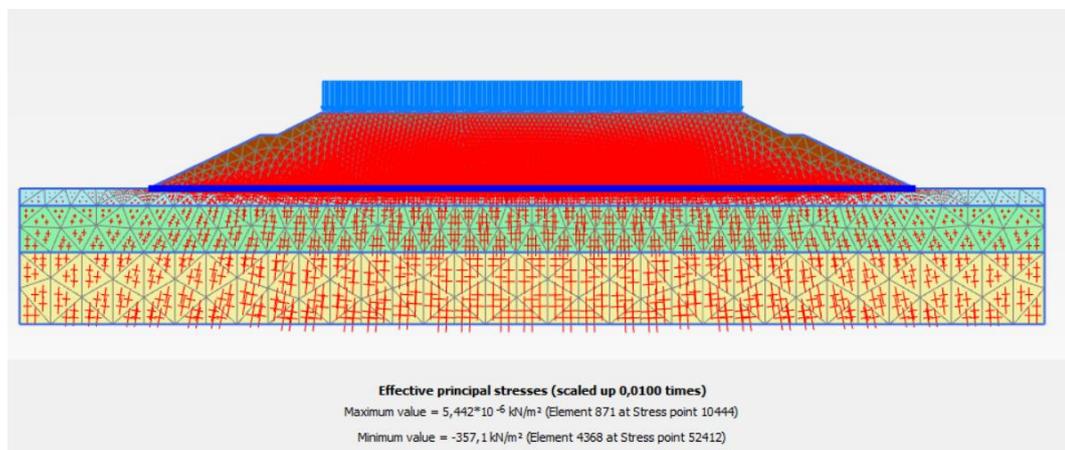
Gambar L-12.7 Total Displacement Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu



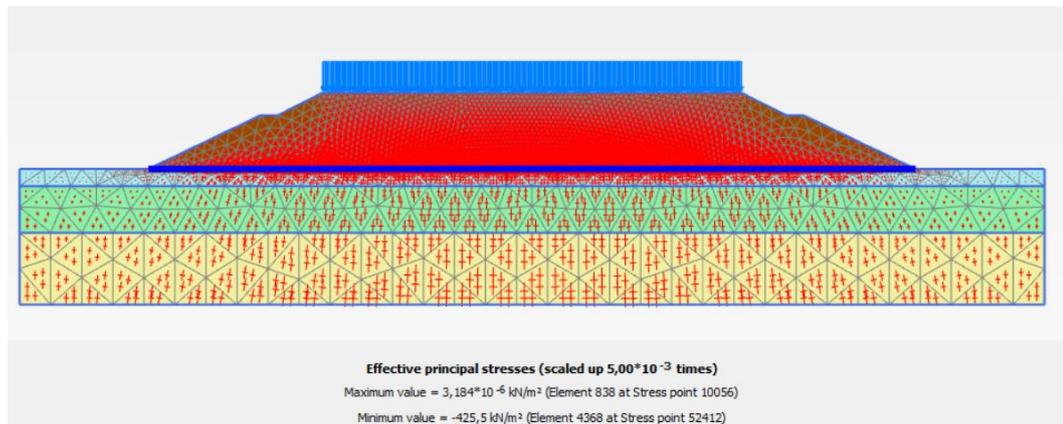
**Gambar L-12.8 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Masa
Konstruksi Akibat Beban Struktur Perkuatan Matras Bambu**



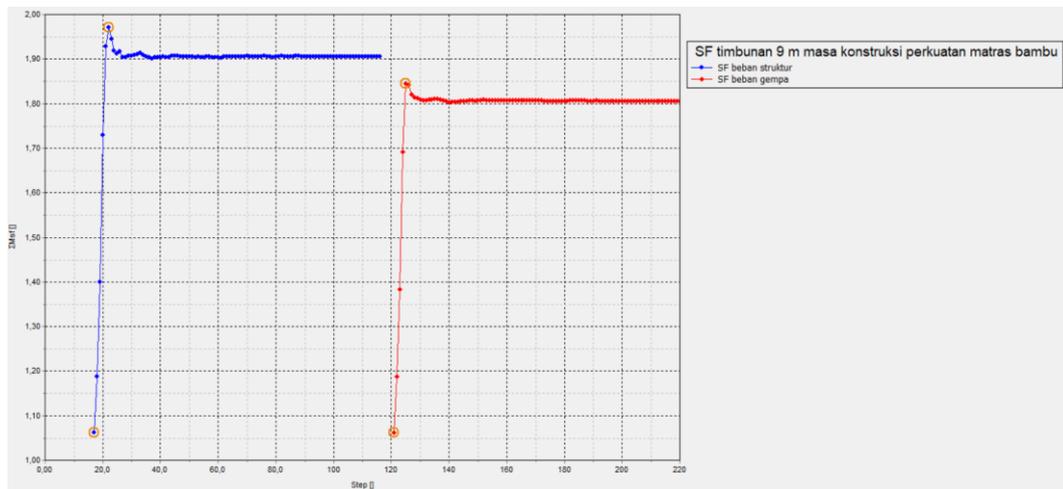
**Gambar L-12.9 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Masa
Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu**



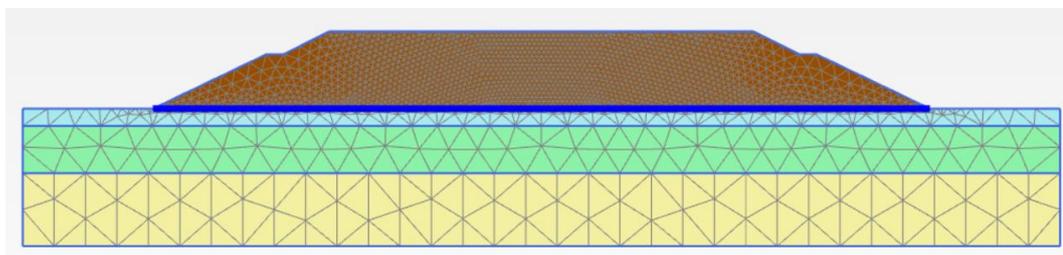
**Gambar L-12.10 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi
Akibat Beban Struktur Perkuatan Matras Bambu**



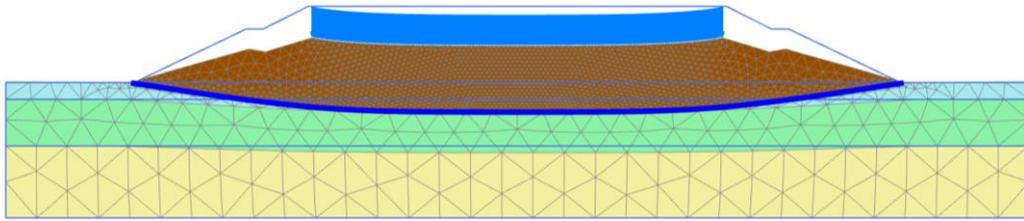
Gambar L-12.11 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu



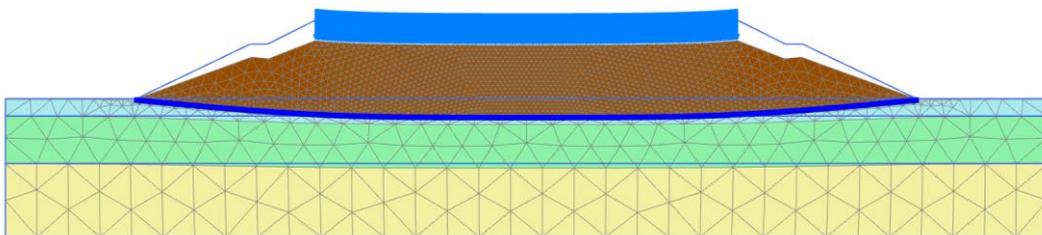
Gambar L-12.12 Kurva SF Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Perkuatan Matras Bambu



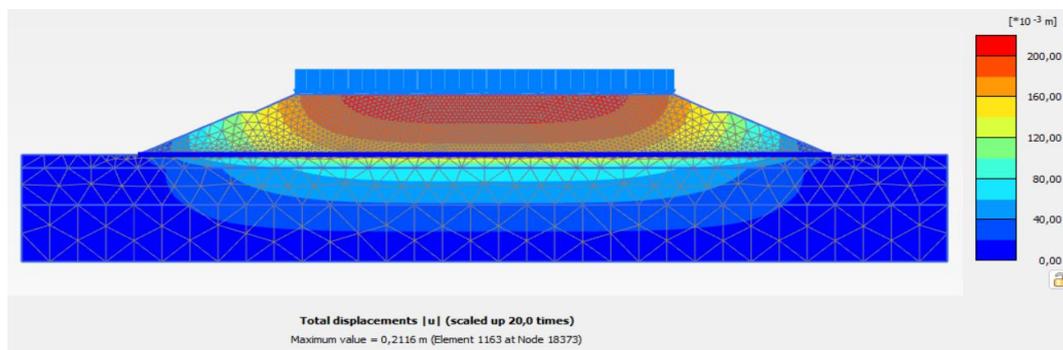
Gambar L-12.13 *Intial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Dengan Perkuatan Matras Bambu



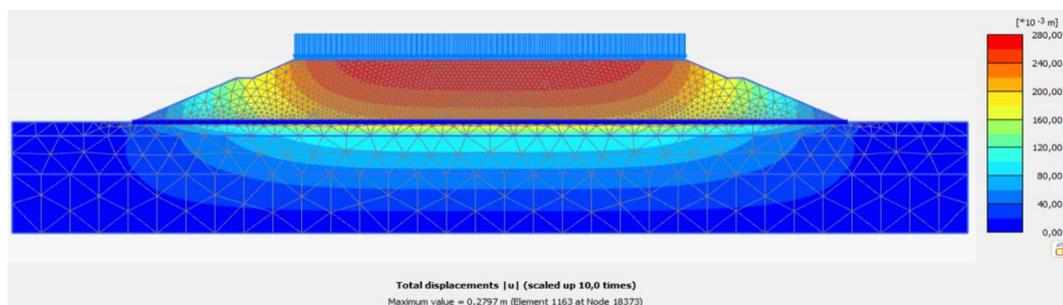
Gambar L-12.14 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Matras Bambu



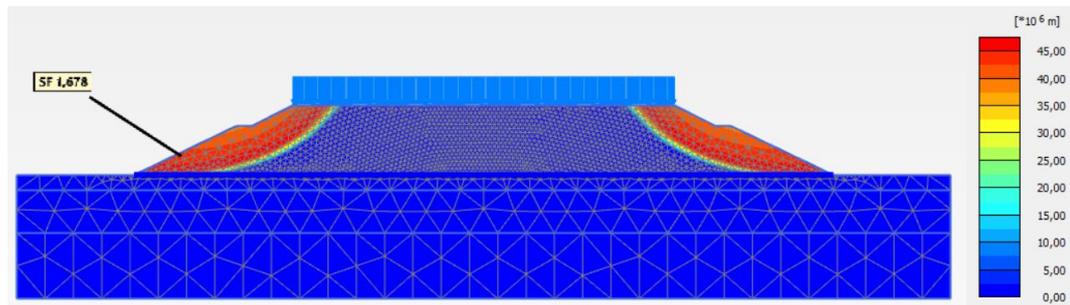
Gambar L-12.15 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa Perkuatan Matras Bambu



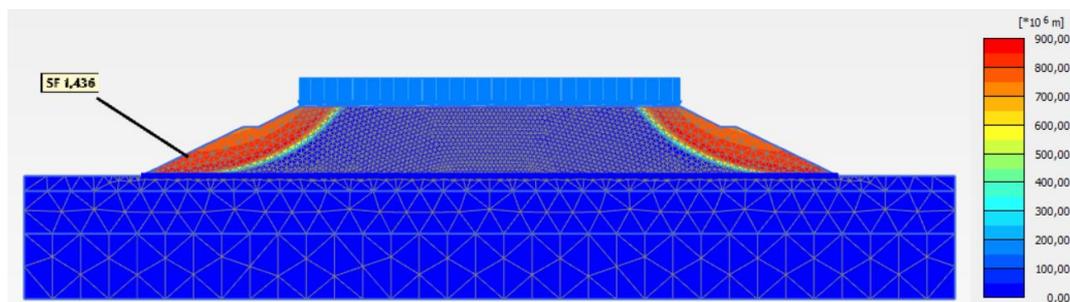
Gambar L-12.16 *Total Displacement* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Matras Bambu



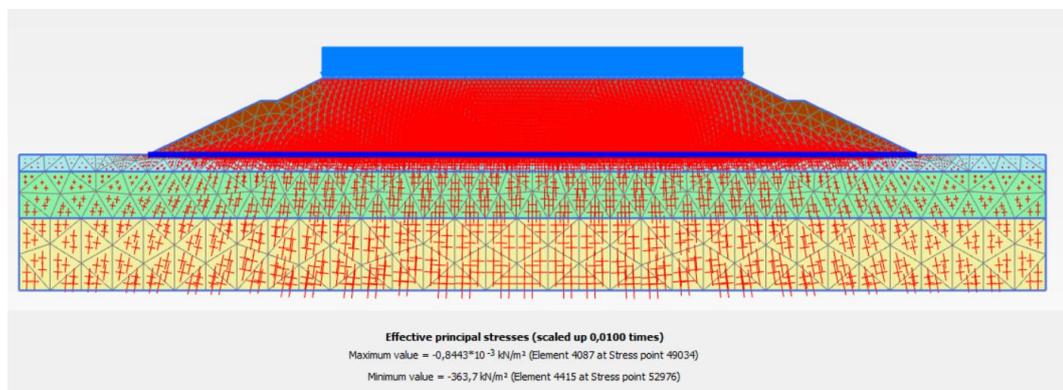
Gambar L-12.17 *Total Displacement* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu



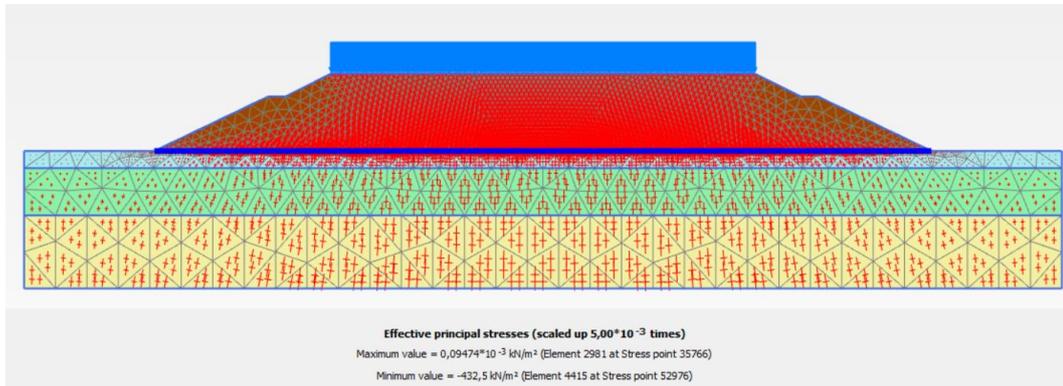
Gambar L-12.18 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Matras Bambu



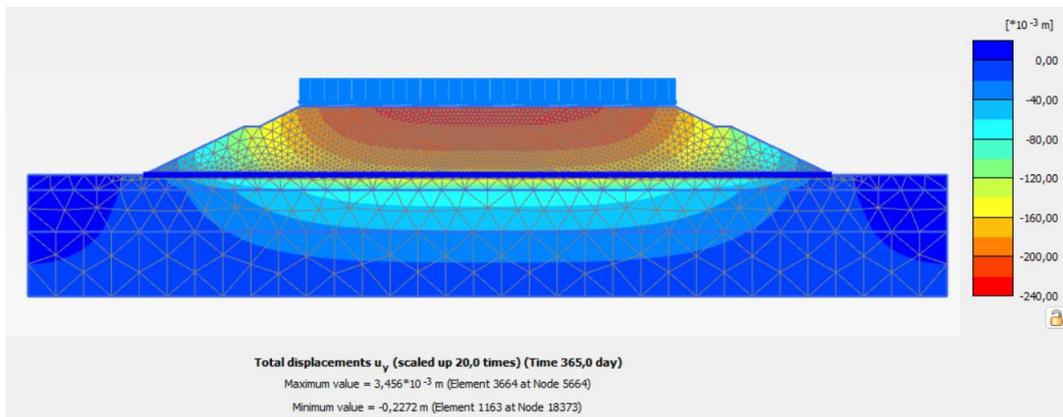
Gambar L-12.19 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu



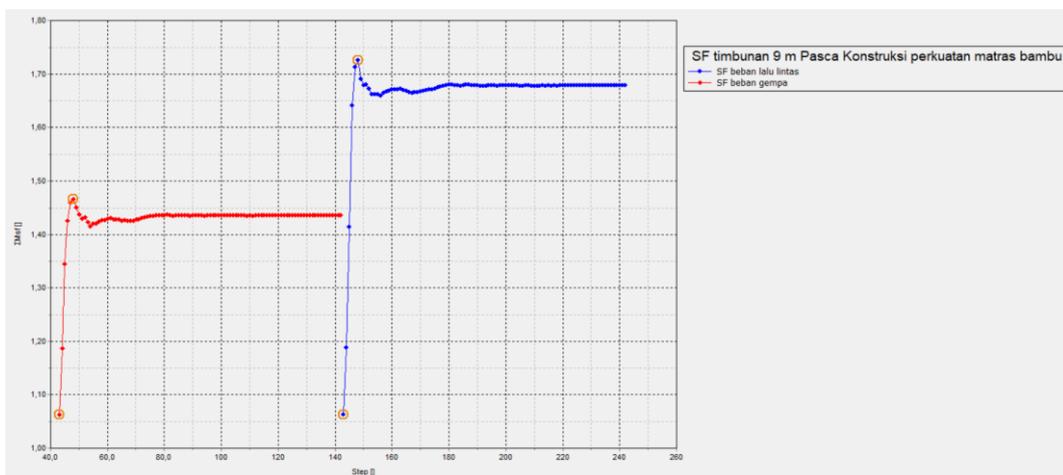
Gambar L-12.20 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Matras Bambu



Gambar L-12.21 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Perkuatan Matras Bambu



Gambar L-12.22 Konsolidasi Lereng Timbunan 9 m Perkuatan Matras Bambu Pasca Konstruksi

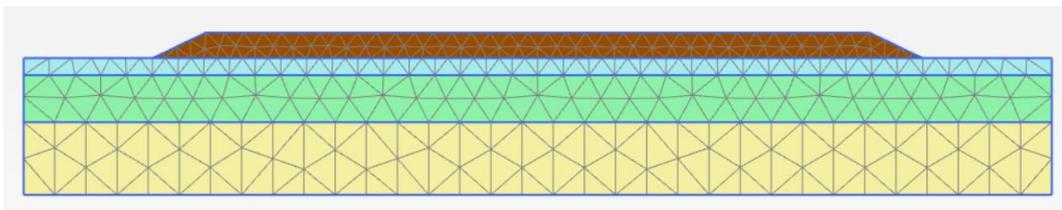


Gambar L-12.23 Kurva SF Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Perkuatan Matras Bambu

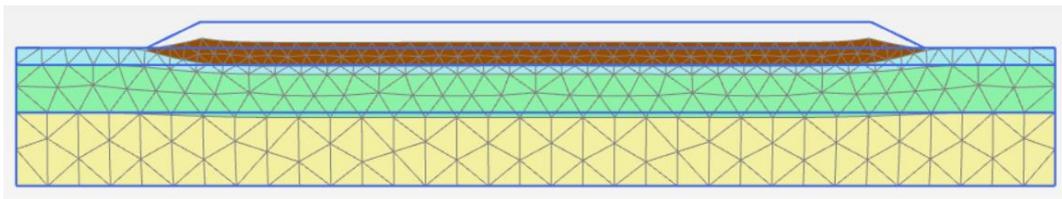
Lampiran 13 Hasil Permodelan Plaxis Lereng Timbunan 3 m beban sendiri



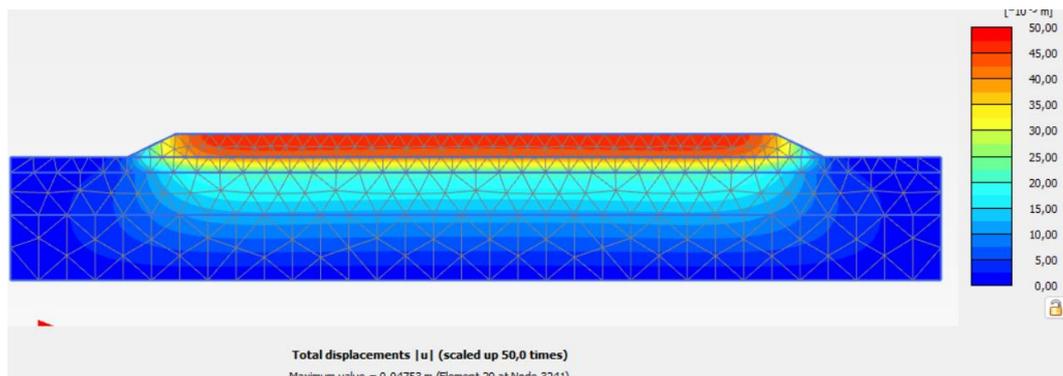
Gambar L-13.1 Permodelan Lereng Timbunan 6 m akibat beban sendiri



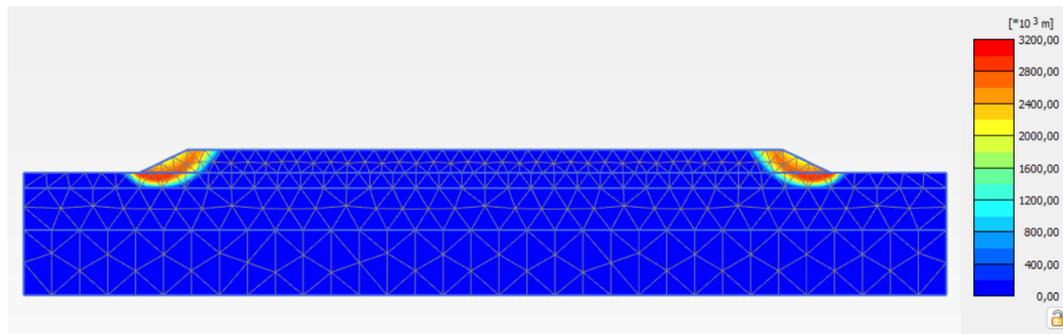
Gambar L-13.2 Meshing Lereng Timbunan 6 m akibat beban sendiri



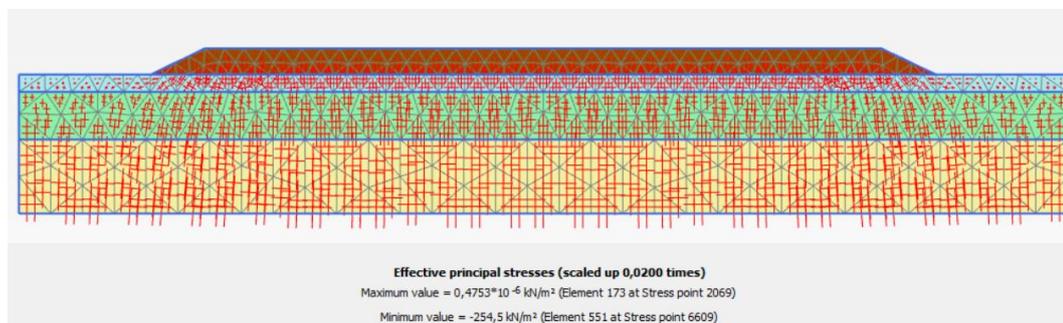
Gambar L-13.3 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 m akibat beban sendiri



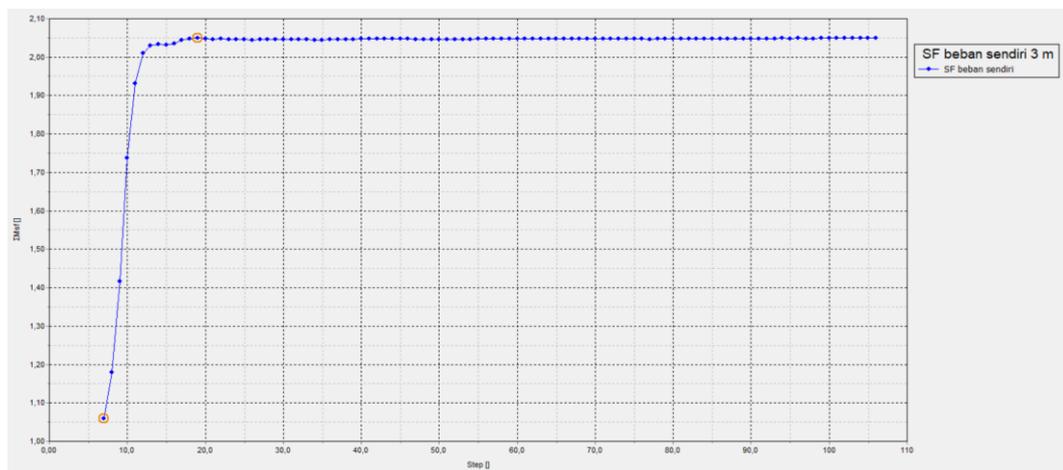
Gambar L-13.4 Total Displacement Lereng Timbunan 3 m akibat beban sendiri



Gambar L-13.5 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 3 m akibat beban sendiri



Gambar L-13.6 Effective Stress Lereng Timbunan 3 m akibat beban sendiri

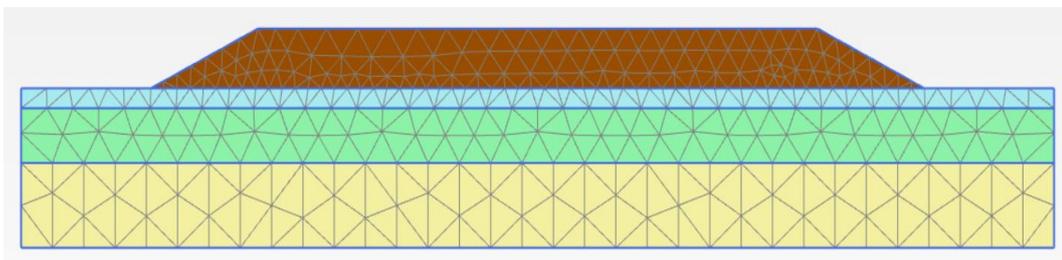


Gambar L-13.7 Kurva SF Lereng Timbunan 3 m akibat beban sendiri

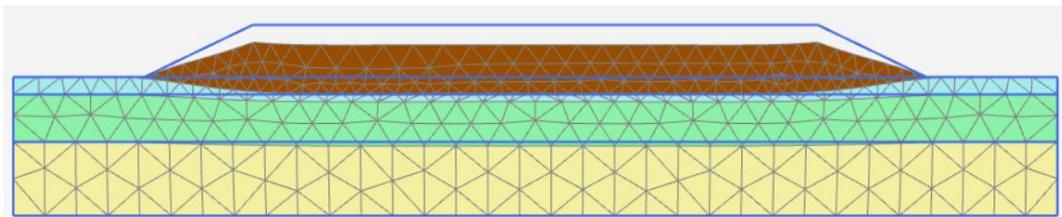
Lampiran 14 Hasil Permodelan Plaxis Lereng Timbunan 6 m beban sendiri



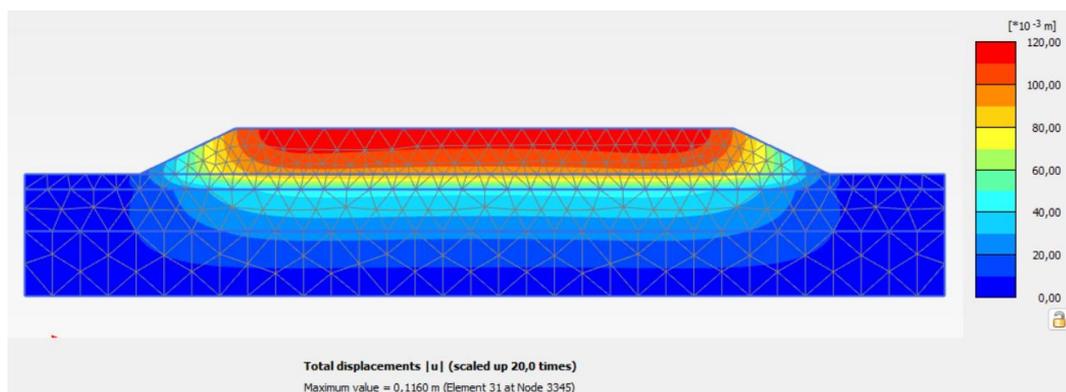
Gambar L-14.1 Permodelan Lereng Timbunan 6 m akibat beban sendiri



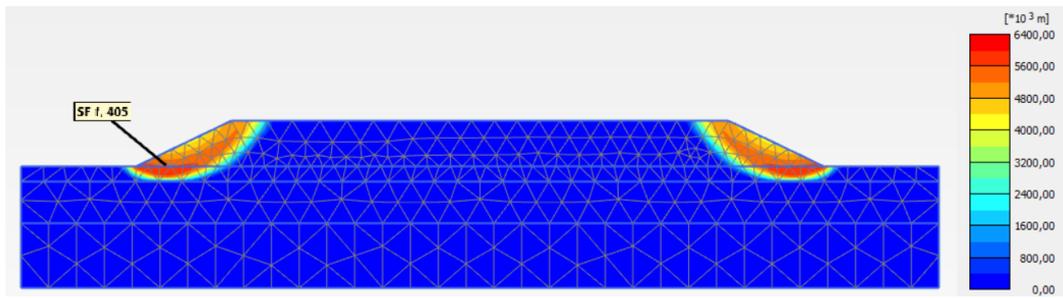
Gambar L-14.2 Meshing Lereng Timbunan 6 m akibat beban sendiri



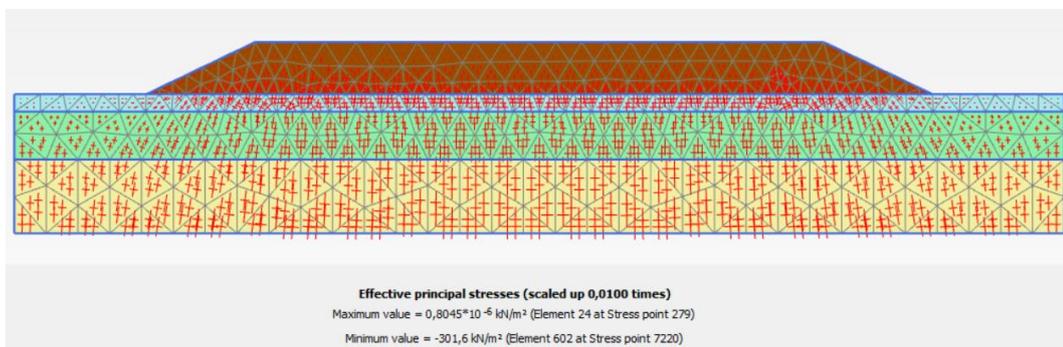
Gambar L-14.3 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 m akibat beban sendiri



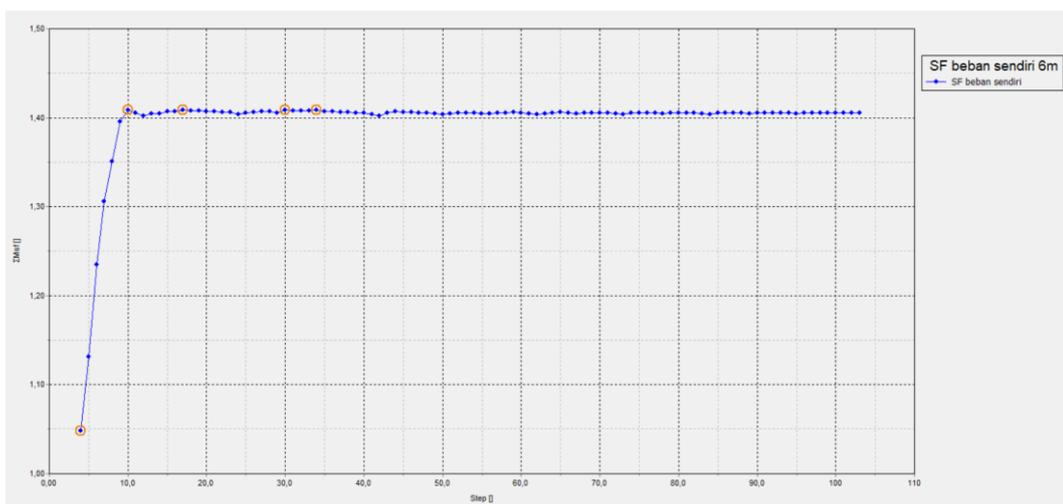
Gambar L-14.4 Total Displacement Lereng Timbunan 6 m akibat beban sendiri



Gambar L-14.5 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m akibat beban sendiri

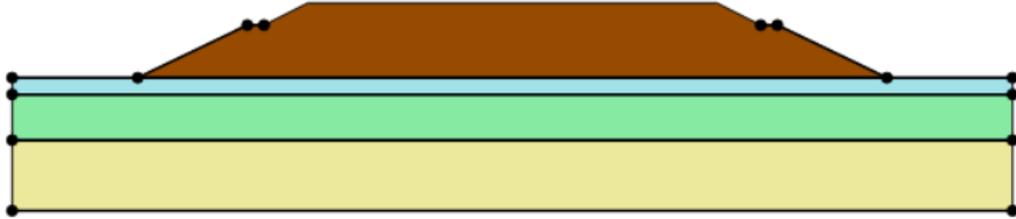


Gambar L-14.6 Effective Stress Lereng Timbunan 6 m akibat beban sendiri

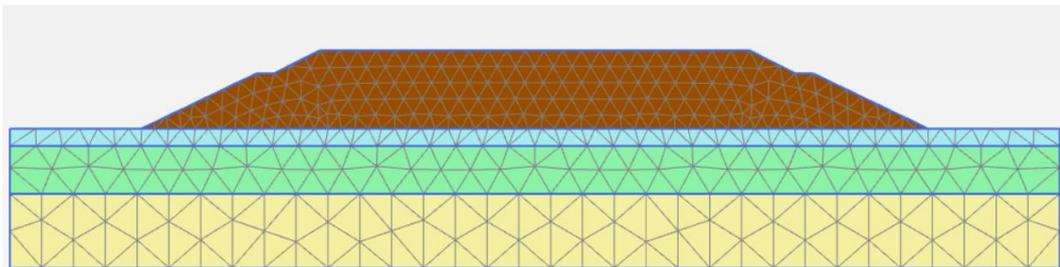


Gambar L-14.7 Kurva SF Lereng Timbunan 6 m akibat beban sendiri

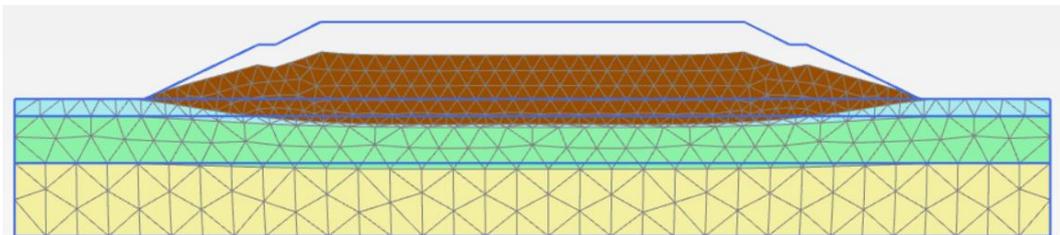
Lampiran 15 Hasil Permodelan Plaxis Lereng Timbunan 9 m beban sendiri



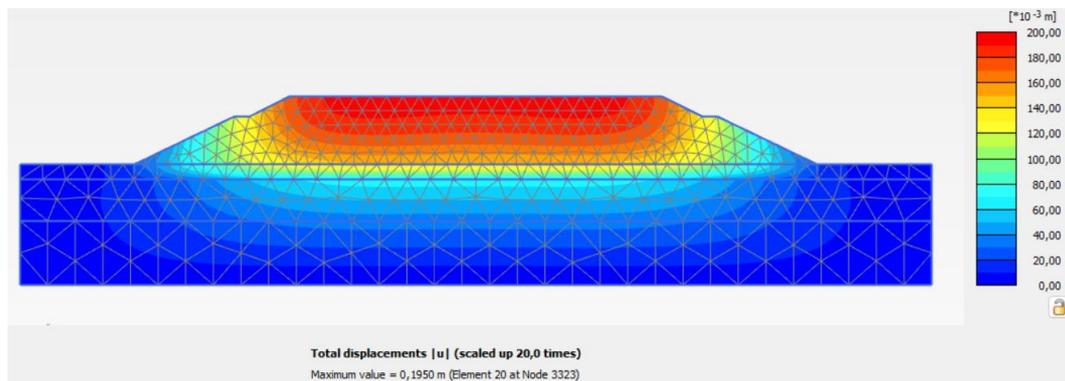
Gambar L-15.1 Permodelan Lereng Timbunan 9 m akibat beban sendiri



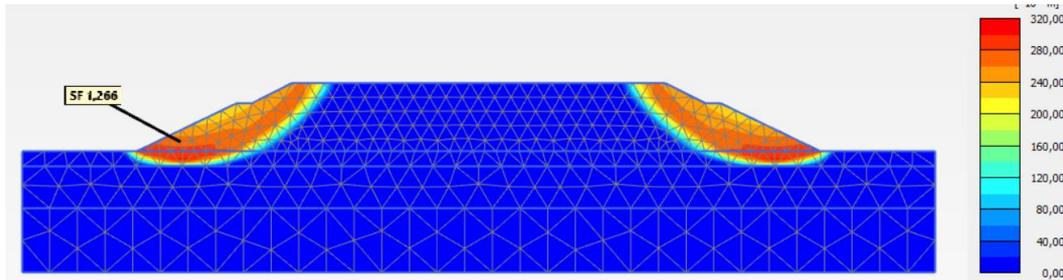
Gambar L-15.2 Meshing Lereng Timbunan 9 m akibat beban sendiri



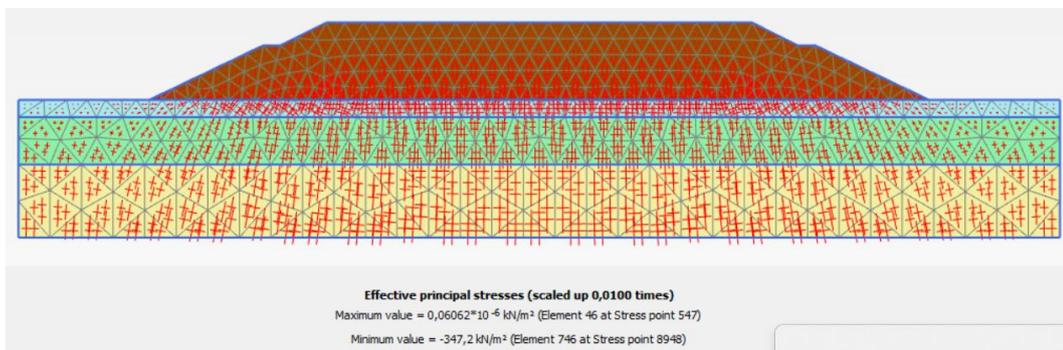
Gambar L-15.3 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 m akibat beban sendiri



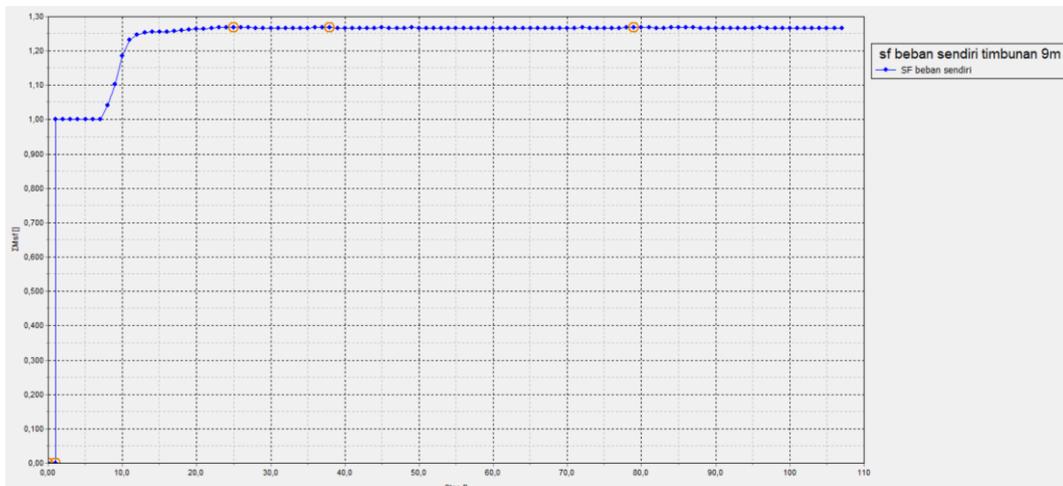
Gambar L-15.4 Total Displacement Lereng Timbunan 9 m akibat beban sendiri



Gambar L-15.5 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m akibat beban sendiri

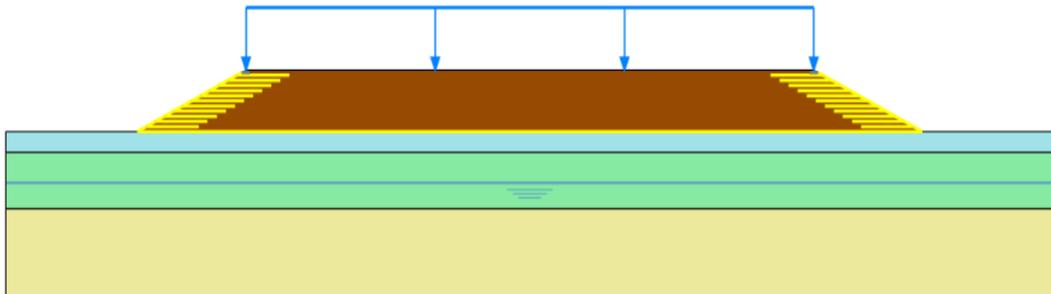


Gambar L-15.6 Effective Stress Lereng Timbunan 9 m akibat beban sendiri

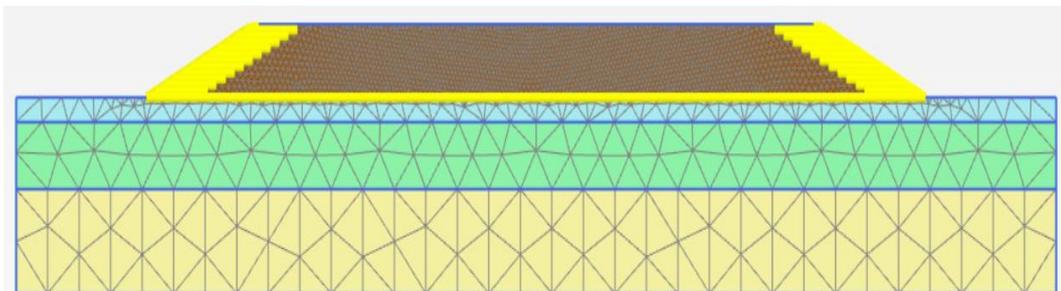


Gambar L-15.7 Kurva SF Lereng Timbunan 9 m akibat beban sendiri

Lampiran 16 Hasil Permodelan Plaxis Lereng Timbunan 6 m geotekstil berlapis



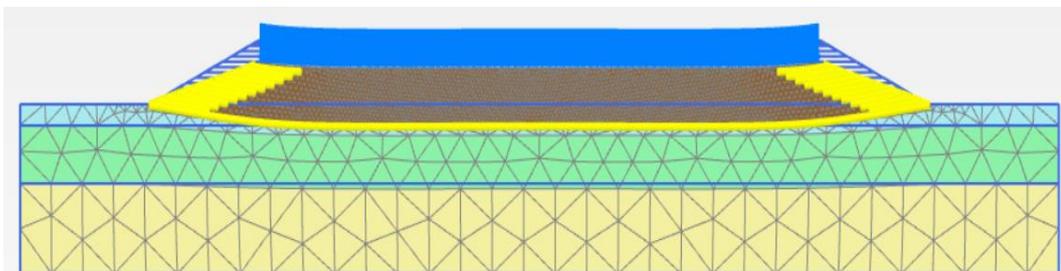
Gambar L-16.1 Pemodelan Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Geotekstil Berlapis



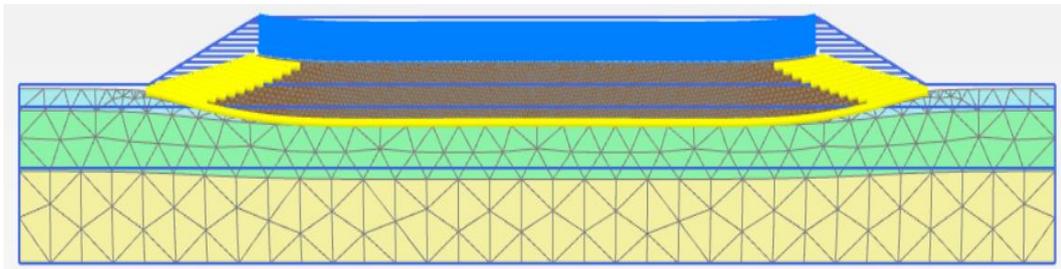
Gambar L-16.2 Meshing pada Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Geotekstil Berlapis



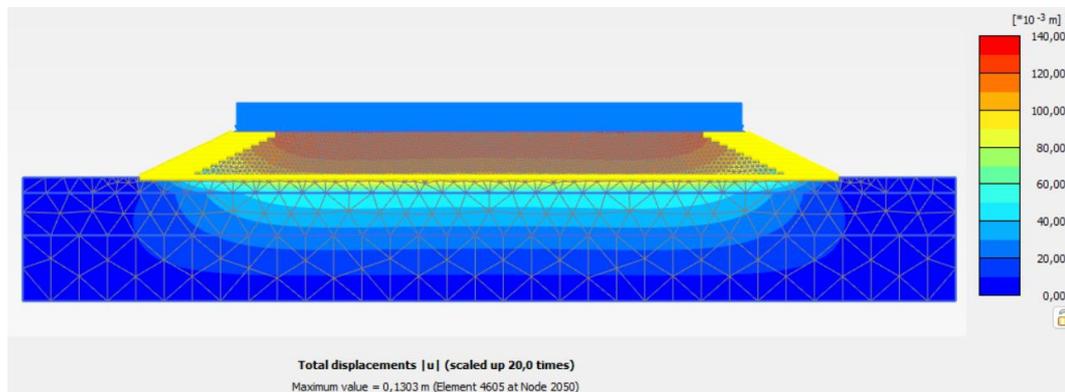
Gambar L-16.3 *Flow Conditions* pada Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Geotekstil Berlapis



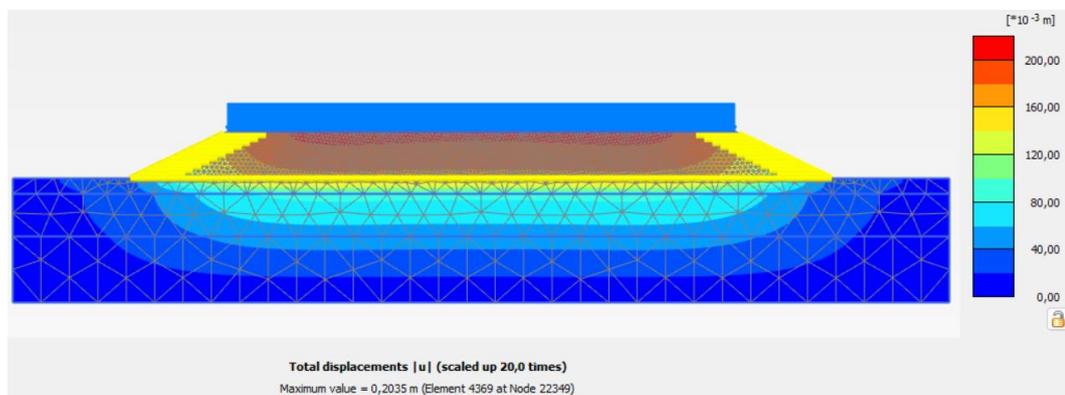
Gambar L-16.4 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Geotekstil Berlapis



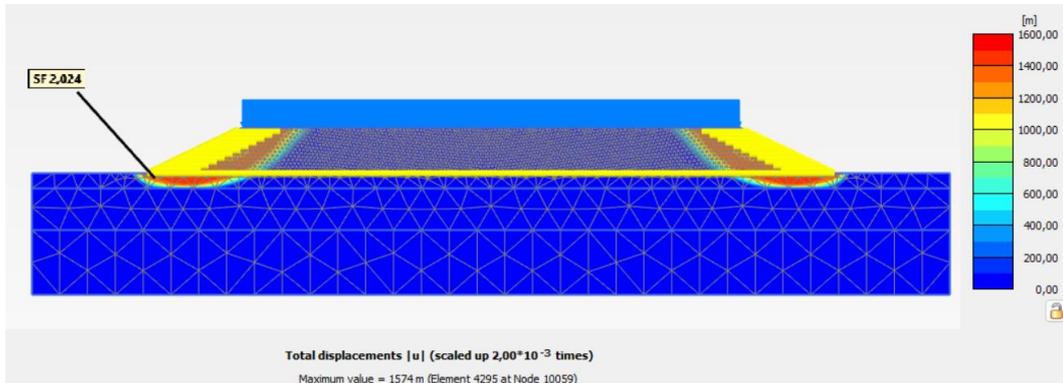
Gambar L-16.5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis



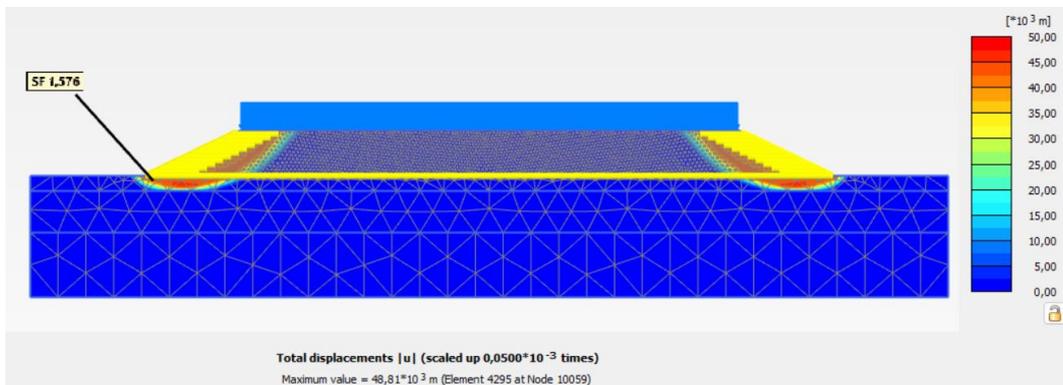
Gambar L-16.6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Geotekstil Berlapis



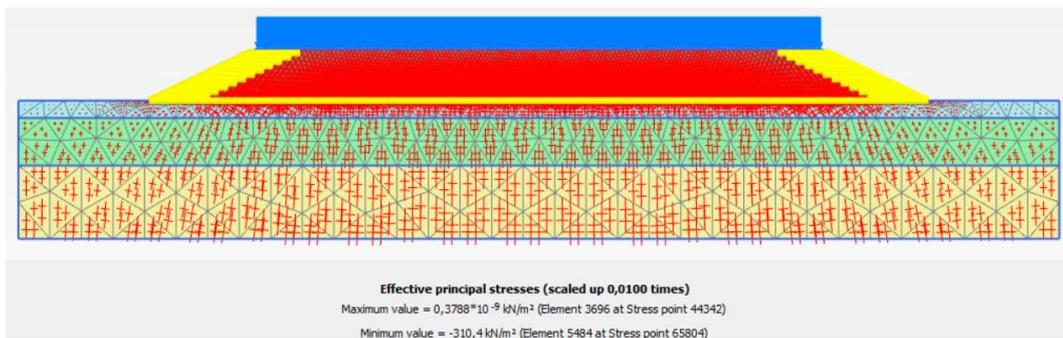
Gambar L-16.7 *Total Displacement* Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis



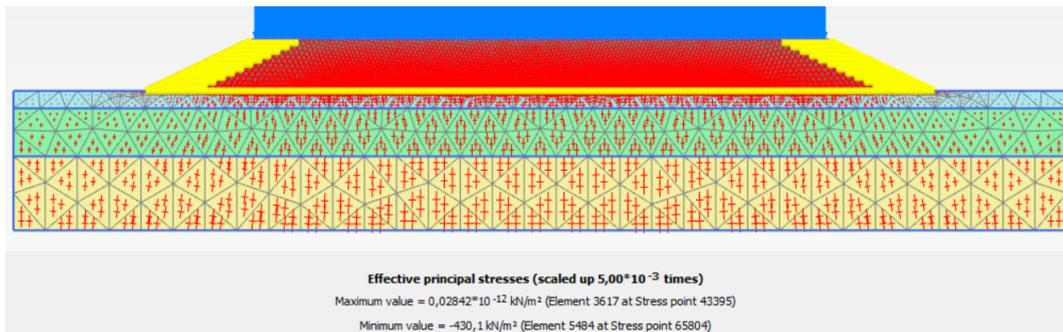
Gambar L-16.8 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Geotekstil Berlapis



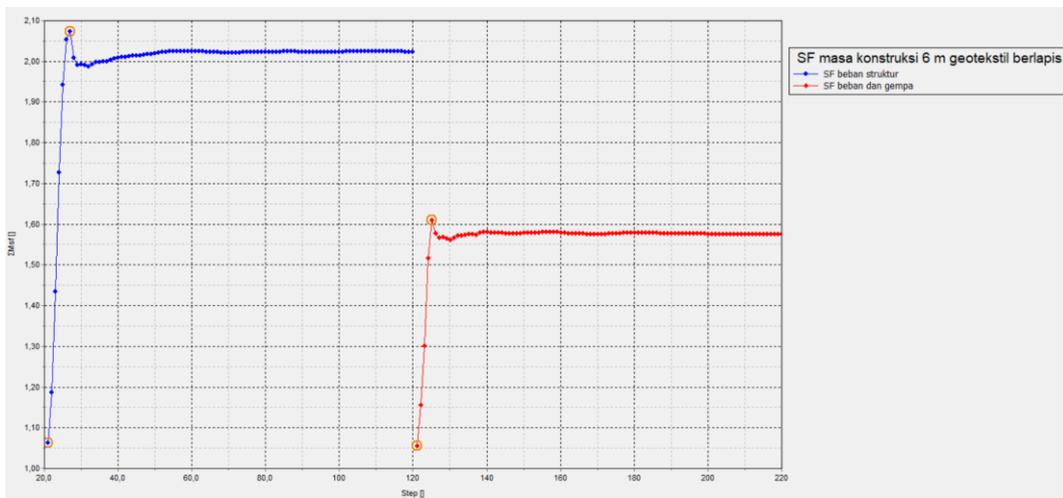
Gambar L-16.9 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis



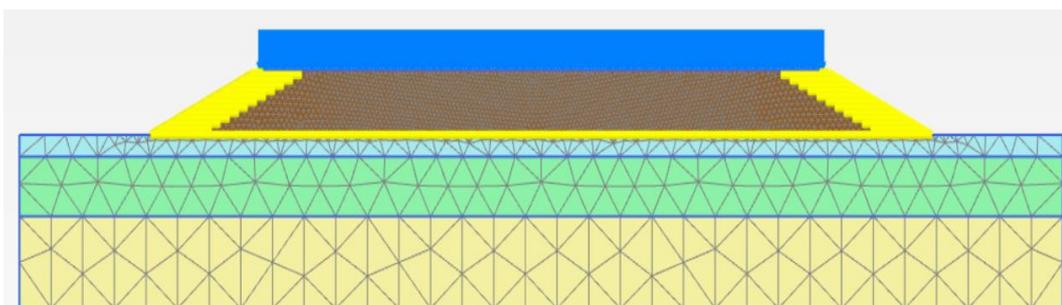
Gambar L-16.10 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Geotekstil Berlapis



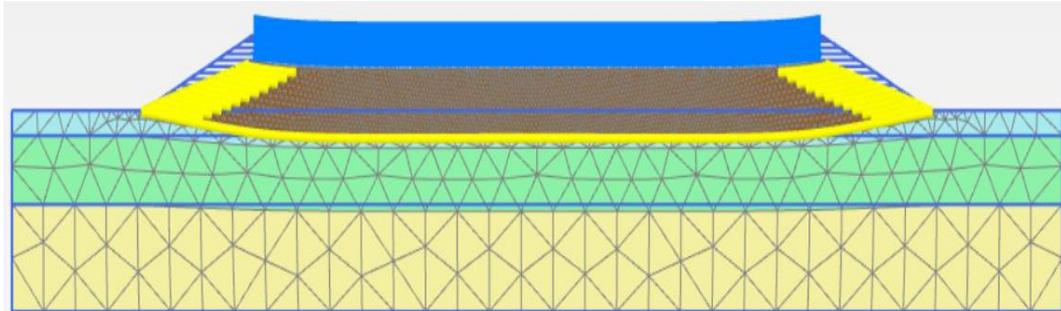
Gambar L-16.11 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis



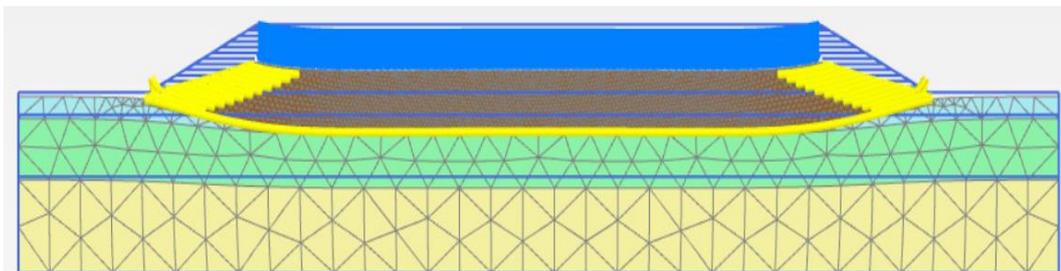
Gambar L-16.12 Kurva SF Lereng Timbunan 6 m Masa Konstruksi Geotekstil Berlapis



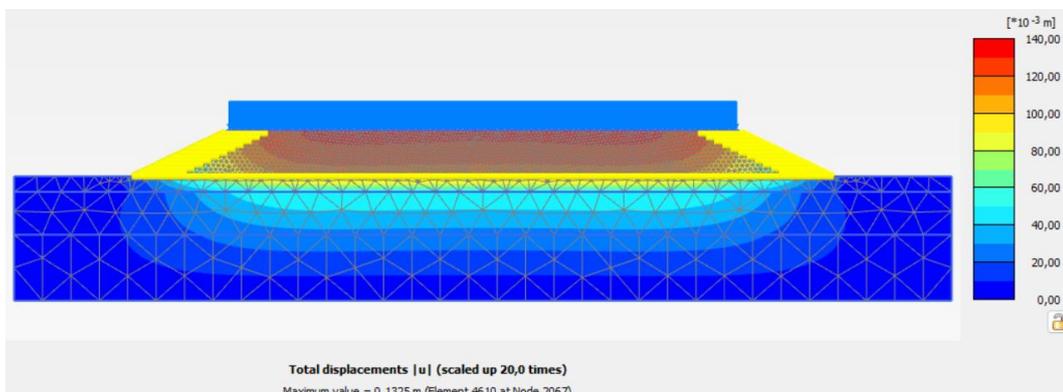
Gambar L-16.13 Meshing pada Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Geotekstil Berlapis



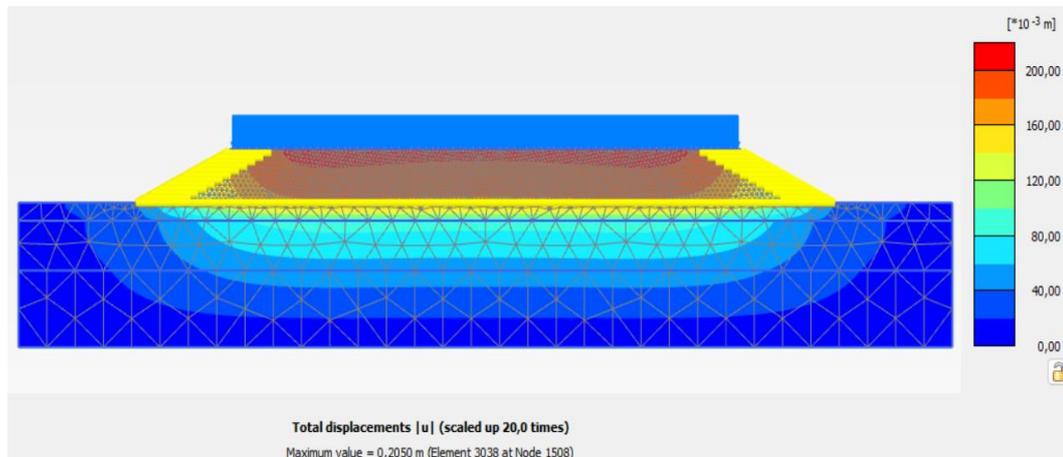
Gambar L-16.14 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Perkuatan Geotekstil Berlapis



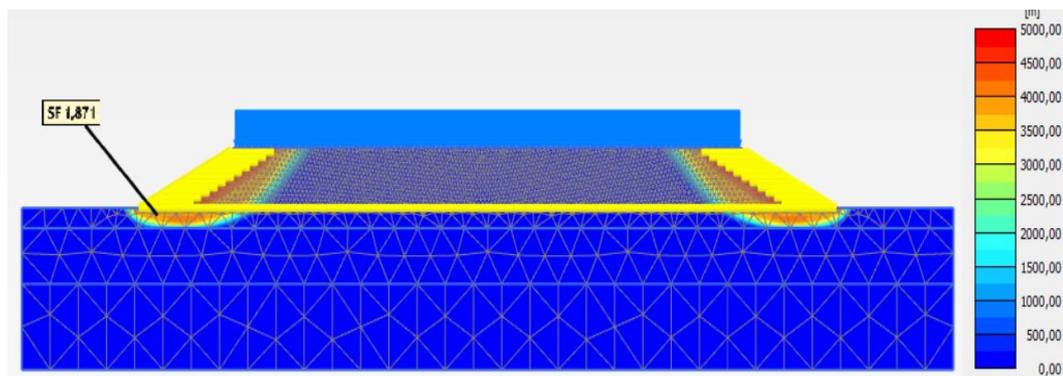
Gambar L-16.15 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa Geotekstil Berlapis



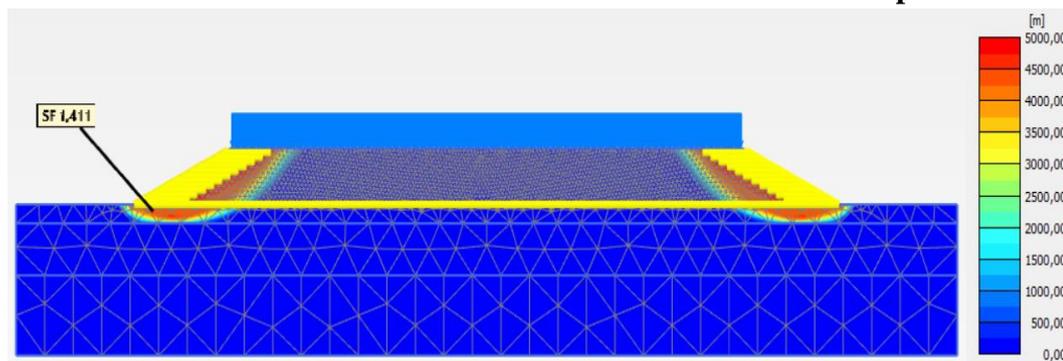
Gambar L-16.16 *Total Displacement* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil Berlapis



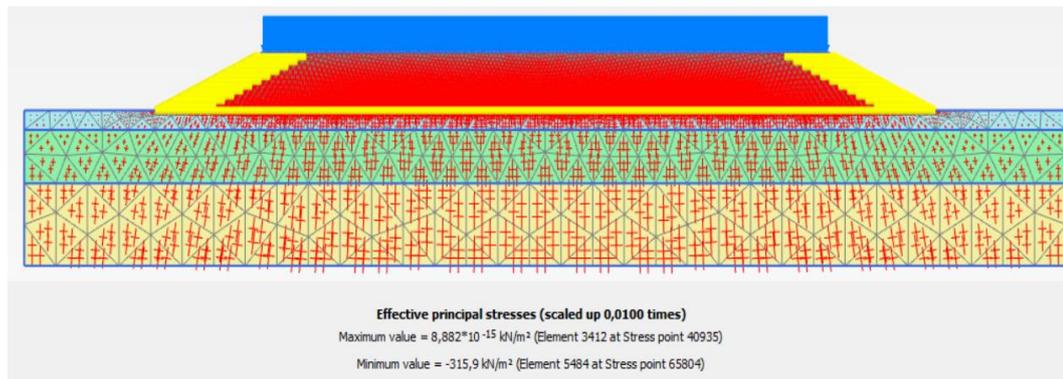
Gambar L-16.17 Total Displacement Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis



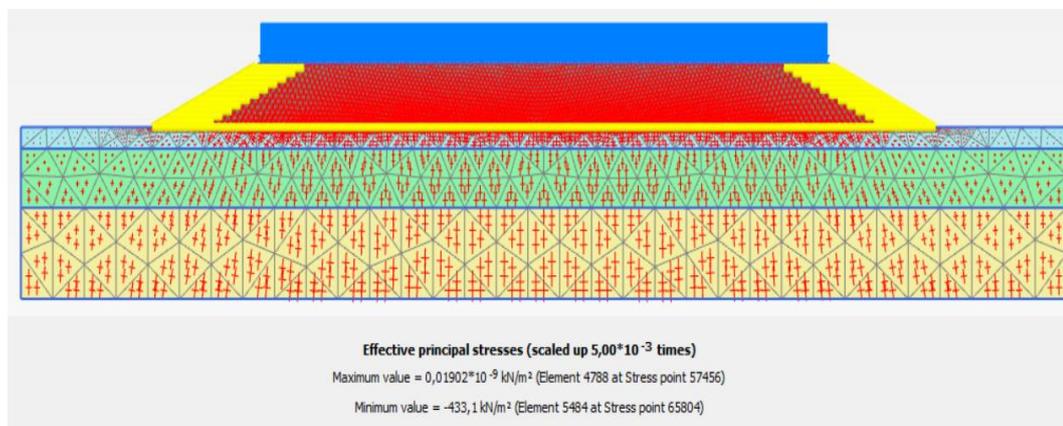
Gambar L-16.18 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil Berlapis



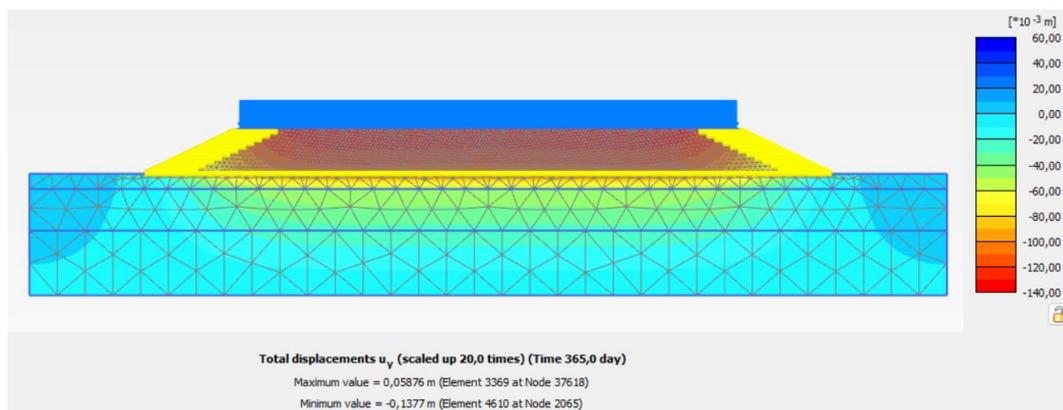
Gambar L-16.19 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis



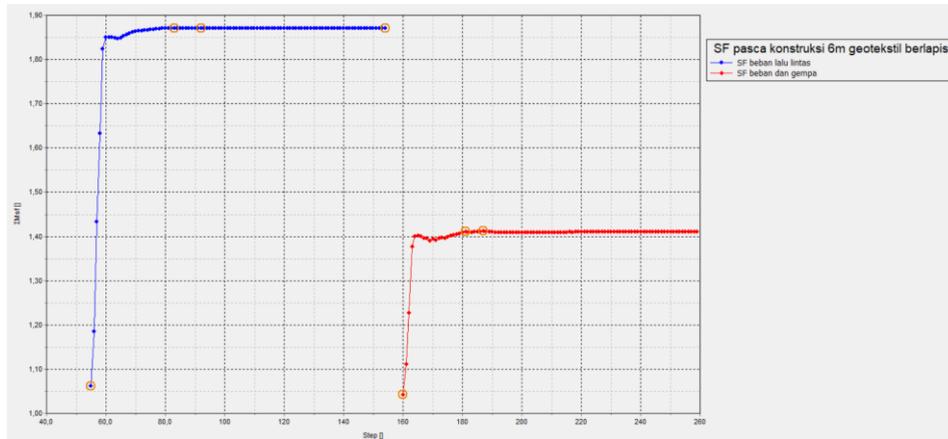
Gambar L-16.20 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil Berlapis



Gambar L-16.21 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis

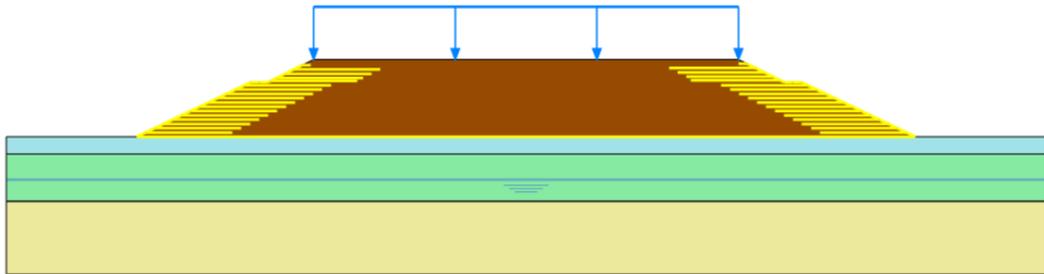


Gambar L-16.22 Konsolidasi Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Geotekstil Berlapis

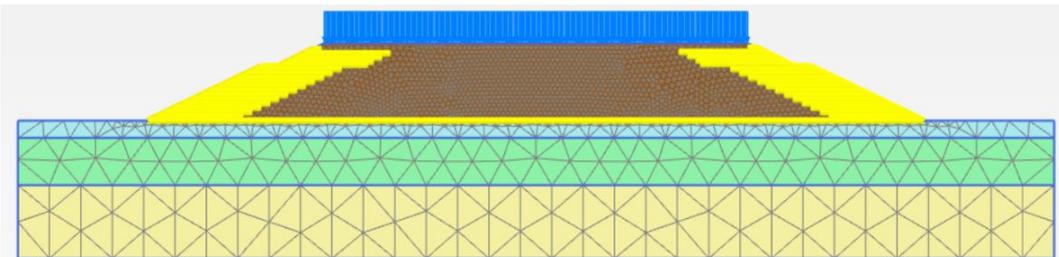


Gambar L-16.23 Kurva SF Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Geotekstil Berlapis

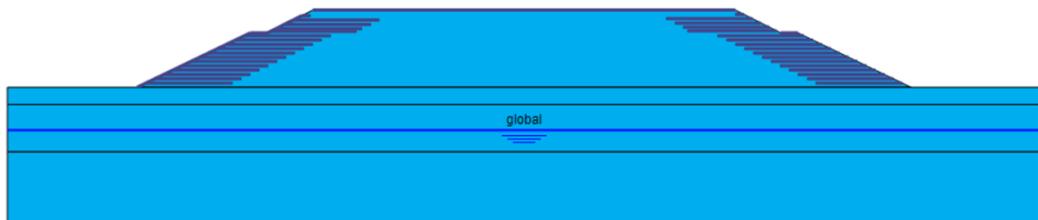
Lampiran 17 Hasil Permodelan Plaxis Lereng Timbunan 9 m geotekstil berlapis



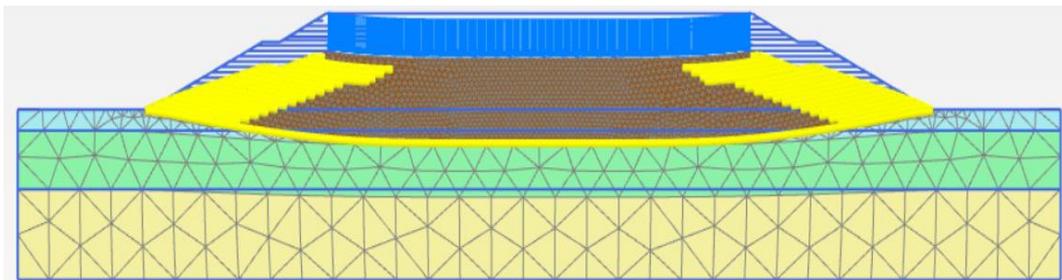
Gambar L-17.1 Pemodelan Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Perkuatan Geotekstil



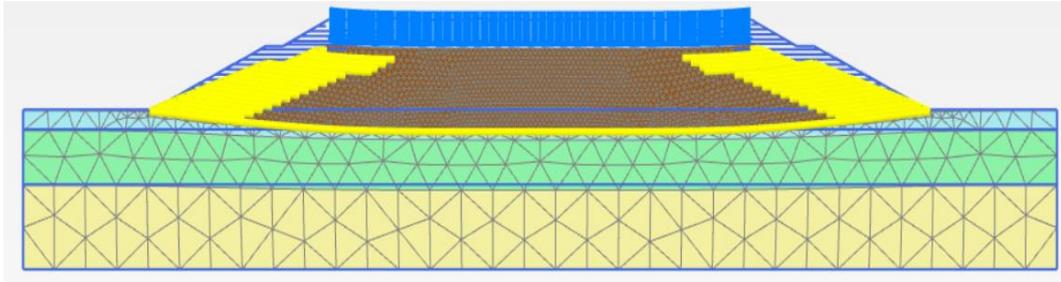
Gambar L-17.2 Meshing pada Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Perkuatan Geotekstil



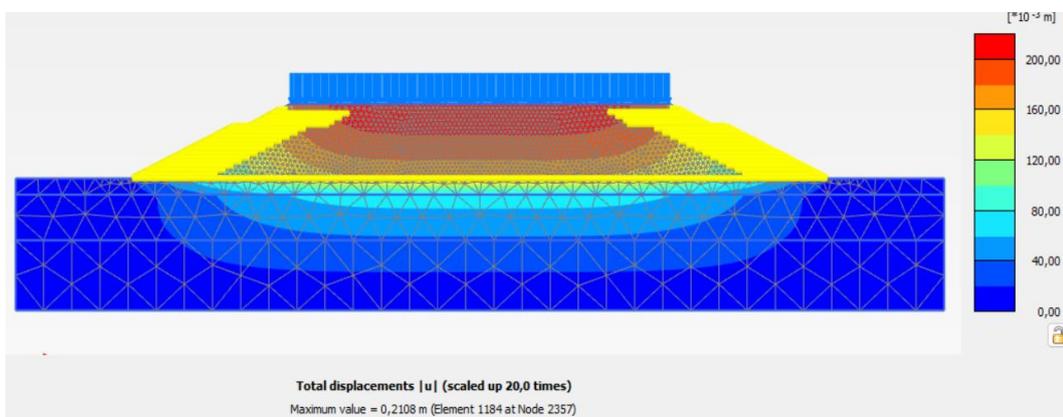
Gambar L-17.3 Flow Conditions pada Lereng Timbunan 9 m Konstruksi Dengan Perkuatan Geotekstil



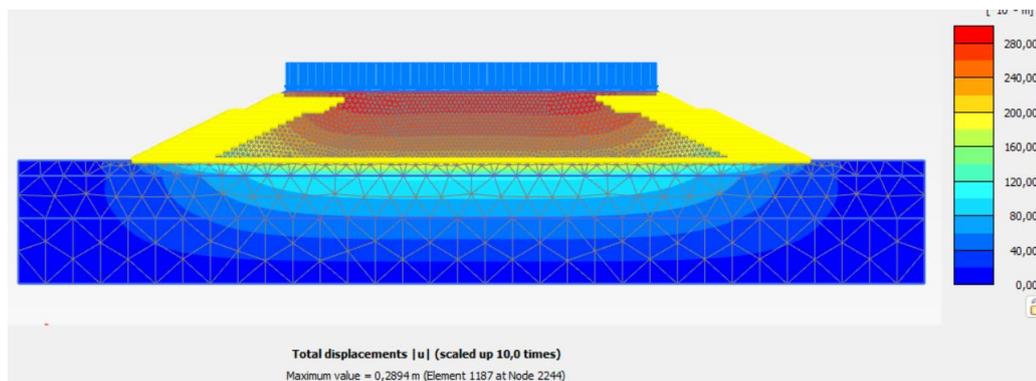
Gambar L-17.4 Deformed Mesh Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Perkuatan Geotekstil



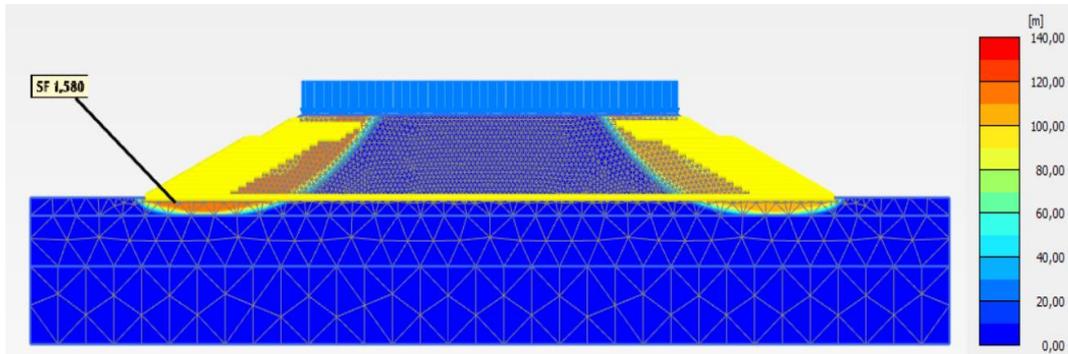
Gambar L-17.5 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis



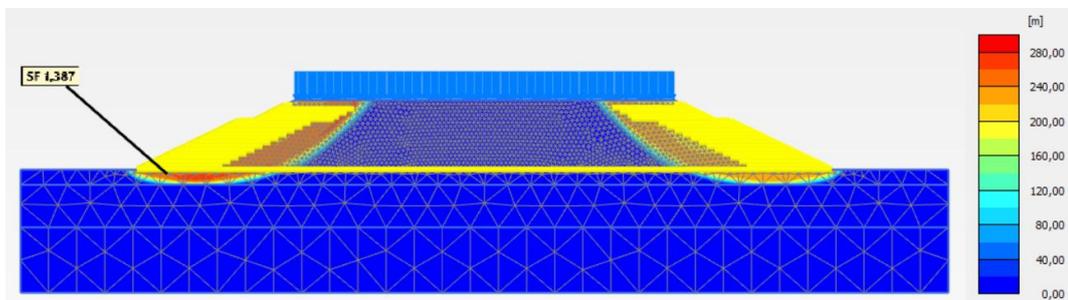
Gambar L-17.6 *Total Displacement* Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Geotekstil Berlapis



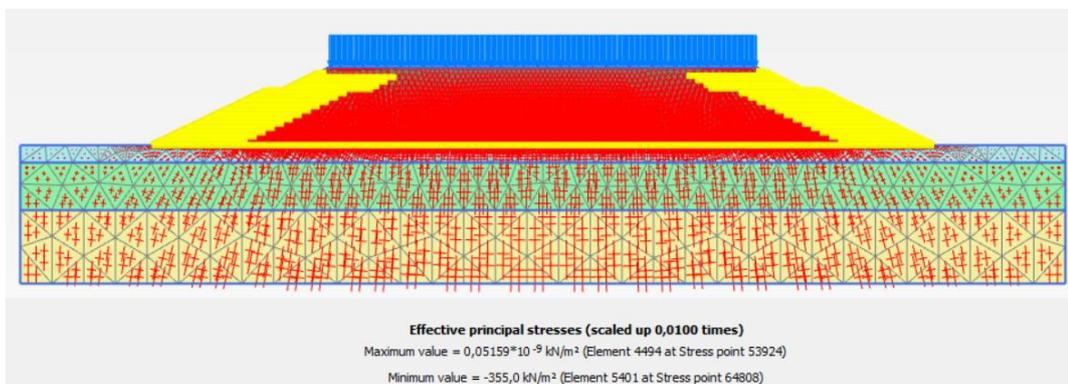
Gambar L-17.7 *Total Displacement* Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis



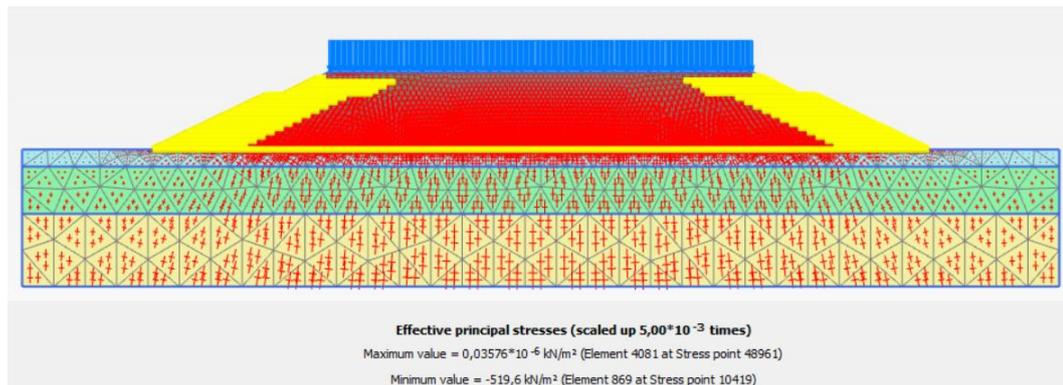
Gambar L-17.8 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Geotekstil Berlapis



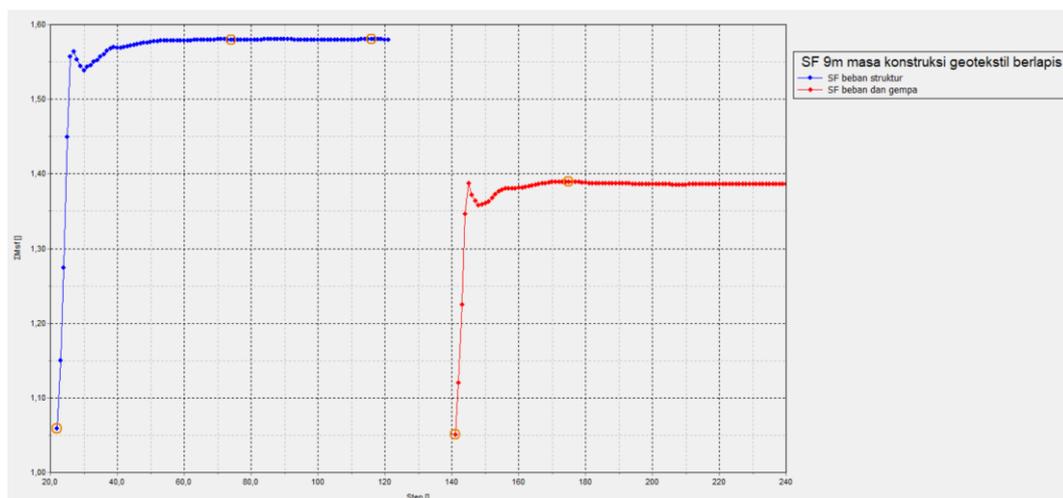
Gambar L-17.9 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis



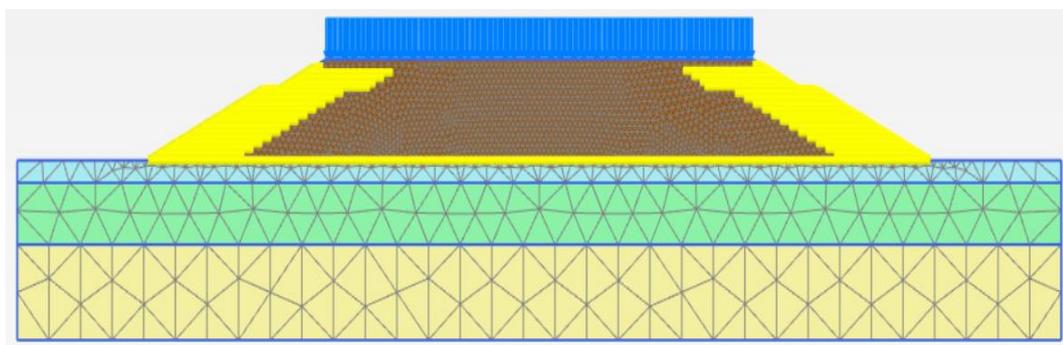
Gambar L-17.10 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Geotekstil Berlapis



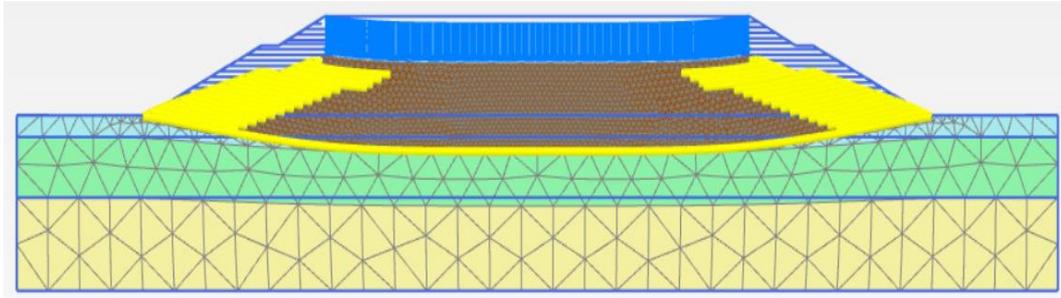
Gambar L-17.11 Effective Stresses Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis



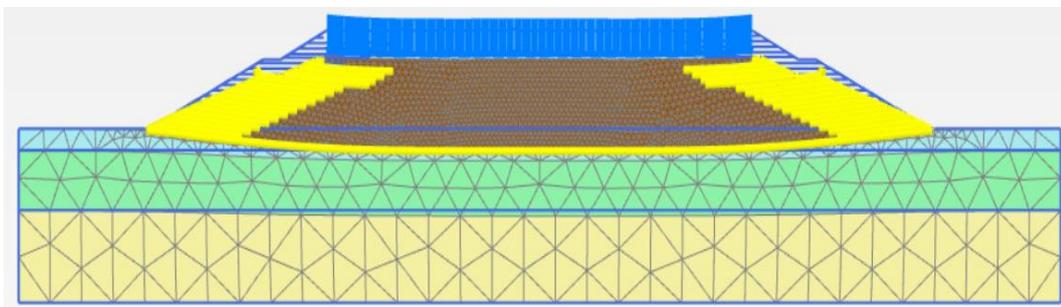
Gambar L-17.12 Kurva SF Lereng Timbunan 9 m Masa Konstruksi Geotekstil Berlapis



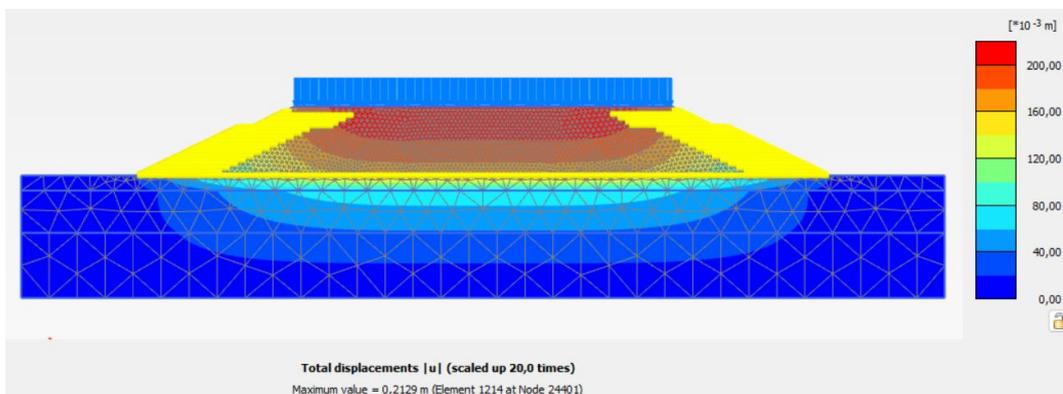
Gambar L-17.13 Meshing pada Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Dengan Geotekstil Berlapis



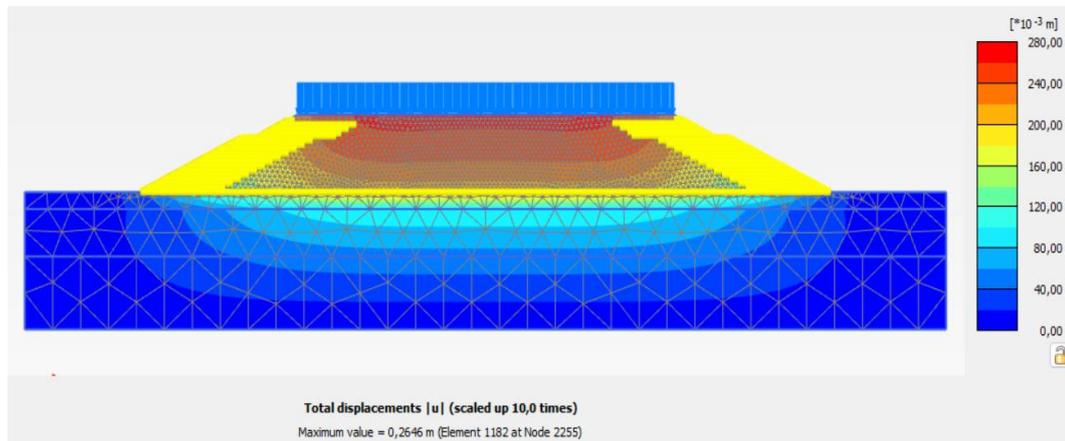
Gambar L-17.14 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil Berlapis



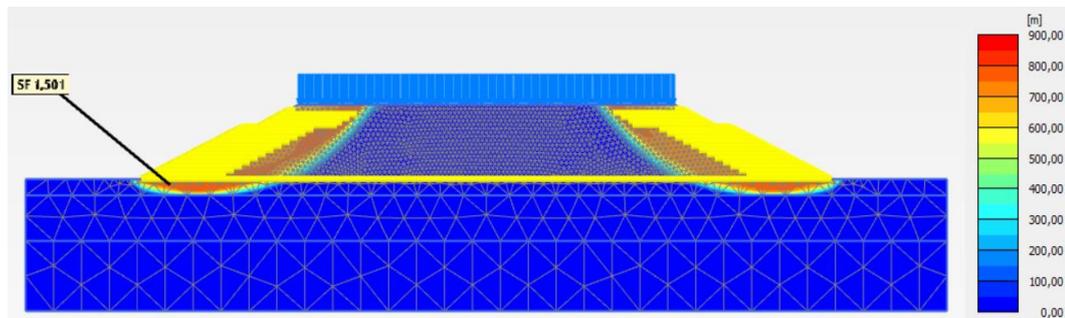
Gambar L-17.15 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beton dan Gempa Geotekstil Berlapis



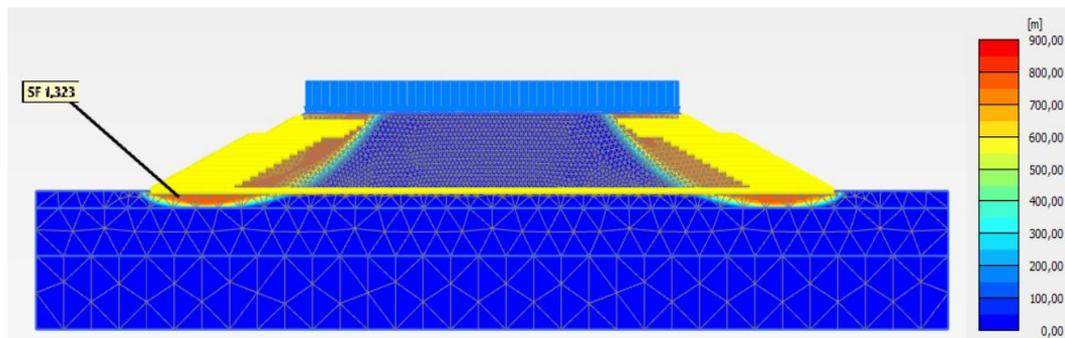
Gambar L-17.16 *Total Displacement* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil Berlapis



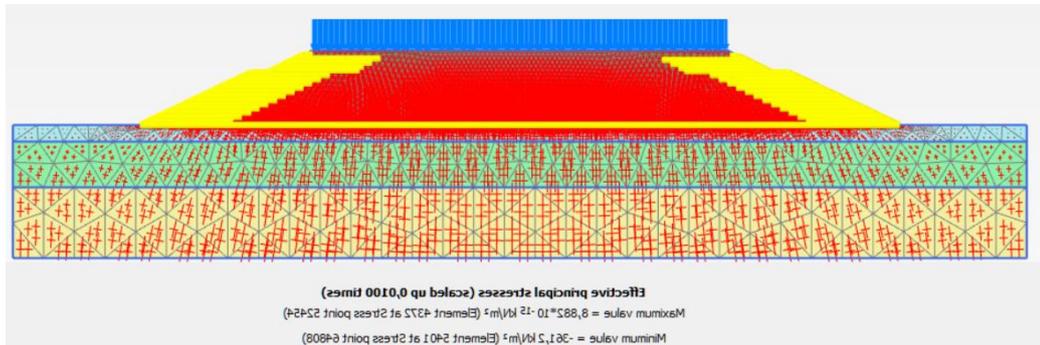
Gambar L-17.17 Total Displacement Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis



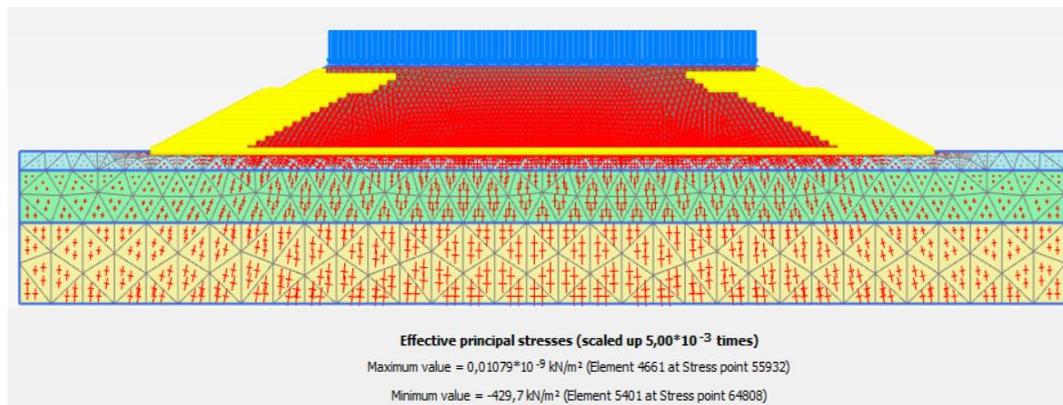
Gambar L-17.18 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil Berlapis



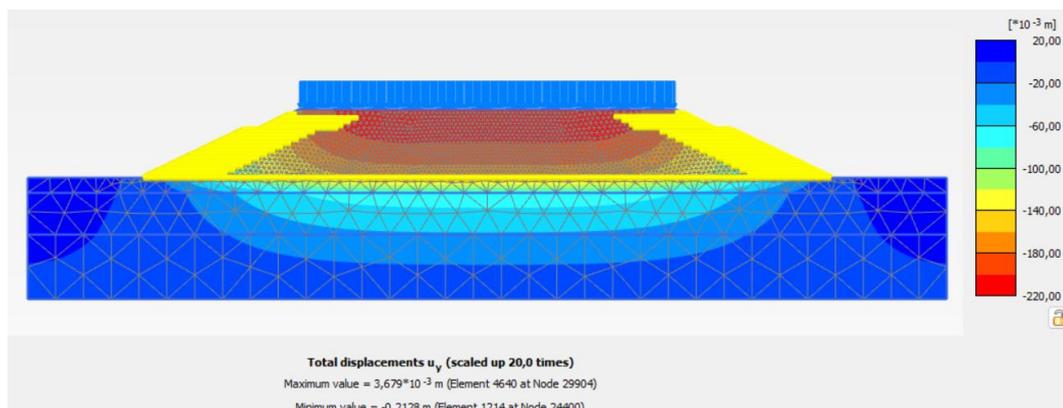
Gambar L-17.19 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis



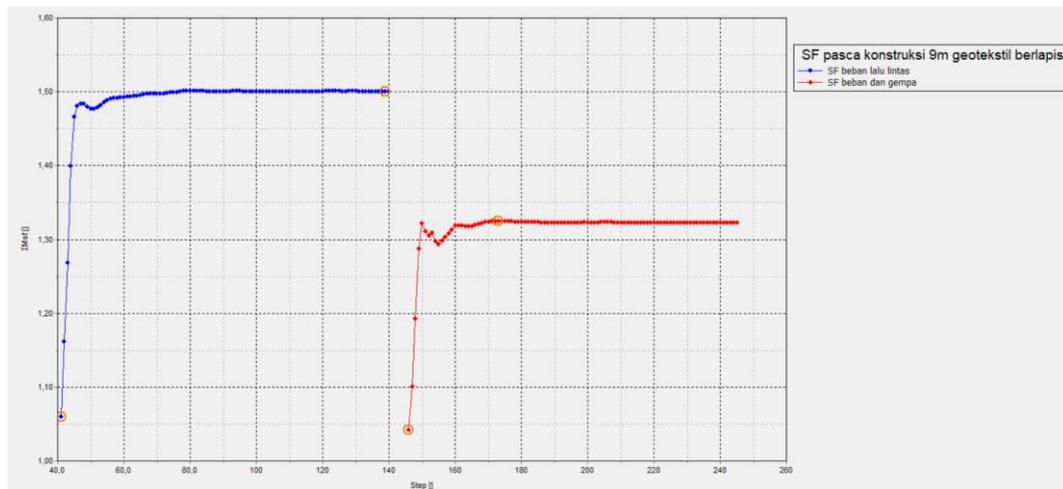
Gambar L-17.20 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas Geotekstil Berlapis



Gambar L-17.21 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Akibat Beban dan Gempa Geotekstil Berlapis



Gambar L-17.22 Konsolidasi Lereng Timbunan 6 m Pasca Konstruksi Geotekstil Berlapis



Gambar L-17.23 Kurva SF Lereng Timbunan 9 m Pasca Konstruksi Geotekstil Berlapis