

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN LERENG  
JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL  
MENGUNAKAN PROGRAM PLAXIS 8.6  
(*STABILITY ANALYSIS OF SLOPE ROAD  
EMBANKMENTS WITH GEOTEXTILE  
REINFORCEMENT USING PLAXIS 8.6 PROGRAM*)**

**(STUDI KASUS: PROYEK JALAN TOL BALIKPAPAN - SAMARINDA  
STA 2+400)**

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



**HENDRIX KUSUMA WARDANI**

**18511173**

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

**2023**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN LERENG  
JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL  
MENGUNAKAN PROGRAM PLAXIS 8.6  
(STABILITY ANALYSIS OF SLOPE ROAD  
EMBANKMENTS WITH GEOTEXTILE  
REINFORCEMENT USING PLAXIS 8.6 PROGRAM)**

**(STUDI KASUS: PROYEK JALAN TOL BALIKPAPAN - SAMARINDA  
STA 2+400)**

Disusun oleh

**HENDRIX KUSUMA WARDANI**

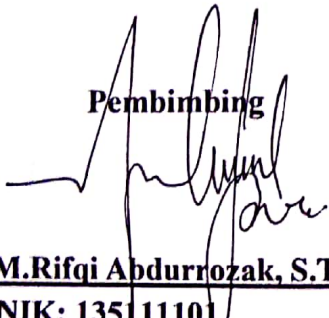
**18511173**

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

Diuji pada tanggal 28 Februari 2023

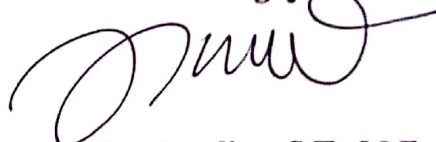
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



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

Penguji I



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

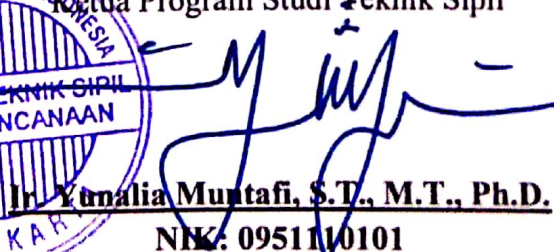
Penguji II



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

Mengesahkan

Dekan Program Studi Teknik Sipil



**In. Yonalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIK: 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 28 Februari 2023

myataan,  
  
Hendrix Kusuma Wardani  
(18511173)

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum wr. wb.*

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis 8.6 (Studi Kasus : Proyek Jalan Tol Balikpapan – Samarinda STA. 2+400)*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu 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 kepada:

1. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir.
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji I Tugas Akhir yang telah memberikan saran, kritik dan evaluasi agar kedepannya lebih baik di kemudian hari.
3. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir, yang telah memberikan kritik, saran dan memberikan evaluasi agar kedepannya lebih baik di kemudian hari.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Orang tua tercinta saya Alm.Bapak Sukri Antri Komadirat, Ibu Siti Marzuqoh serta kakak saya yang telah berkorban begitu banyak, baik material maupun spiritual, hingga selesainya Tugas Akhir ini.



6. Bapak Pradipta Nandi Wardhana, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang memberikan bimbingan serta motivasi selama masa perkuliahan.
7. Abang dan Mba kampus saya yang membantu dan memberi masukan, solusi dan motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Teman – teman seperjuangan Teknik Sipil 2018 yang selalu memberikan dukungan dan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis dalam membuat Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Semoga penelitian yang telah dilakukan dalam bentuk laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya dan dapat untuk pengembangan penelitian – penelitian selanjutnya.

Amiin.

*Wasalamualaikum Wr. Wb*

Yogyakarta, 28 Februari 2023

Hendrix Kusuma Wardani

(18511173)

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xviii
ABSTRATC	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
1.6 Studi Kasus	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil	5
2.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil	6
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan	8
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Tanah	11
3.2 Lereng	21
3.3 Analisis Stabilitas Lereng	26
3.4 Penurunan Tanah	31

3.5 Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil	32
3.6 Program Plaxis	41
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>	<b>44</b>
4.1 Tinjauan Umum	44
4.2 Data Penelitian	44
4.3 Tahapan Penelitian	45
4.4 Analisis Data	45
4.5 Pengoperasian Program <i>Plaxis</i>	49
4.6 Bagan Alir Penelitian	56
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	<b>59</b>
5.1 Gambaran Umum Analisis	59
5.2 Data Analisis Program <i>Plaxis 8.6</i>	60
5.3 Analisis Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan	62
5.4 Perhitungan Manual Penurunan Tanah Segera	82
5.5 Analisis Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil	82
5.6 Pembahasan	107
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>114</b>
6.1 Kesimpulan	114
6.2 Saran	115
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>116</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>116</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi Jalan Tol Balikpapan - Samarinda	4
Gambar 1.2 Geometri Potongan Melintang	4
Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah	12
Gambar 3.2 Penetrasi Dengan SPT	20
Gambar 3.3 Skema Pengujian Standard Penetration Test (SPT)	21
Gambar 3.4 Kelongsoran Lereng	25
Gambar 3.5 Longsoran Translasi	25
Gambar 3.6 Longsoran Rotasi	26
Gambar 3.7 Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Metode <i>Fellenius</i>	29
Gambar 3.8 Grafik <i>Influence Factor</i>	32
Gambar 3.9 (a) Tumpukan Pasir dengan Sudut Lereng Asli	33
Gambar 3.10 Geotekstil <i>Woven</i>	34
Gambar 3.11 Geotekstil <i>Non Woven</i>	34
Gambar 3.12 Geotekstil Sebagai Pemisah ( <i>Separator</i> )	35
Gambar 3.13 Timbunan di Atas Tanah Lunak	37
Gambar 3.14 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral	38
Gambar 4.1 Peta Zonasi Gempa	49
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa	49
Gambar 4.3 Kotak Dialog Create/Open Project	49
Gambar 4.4 Tab Project dari Jendela General Setting	50
Gambar 4.5 Tab Dimension dari Jendela General Setting	51
Gambar 4.6 Lembar Tab General dari Jendela Material Sets	52
Gambar 4.7 Lembar Tab Parameters dari Jendela Material Sets	53
Gambar 4.8 Jaringan Elemen Hingga ( <i>Meshing</i> )	53
Gambar 4.9 Tegangan Awal Pada Geometri	54
Gambar 4.10 Jendela Calculations dengan Lembar Tab General	55
Gambar 4.11 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau	55
Gambar 4.12 Bagan Alir Penelitian	57

Gambar 4.13 Bagan Alir Pemodelan Lereng	58
Gambar 5.1 Penampang Melintang Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta. 2+400.	62
Gambar 5.2 Pemodelan Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan	63
Gambar 5.3 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	64
Gambar 5.4 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa	64
Gambar 5.5 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	65
Gambar 5.6 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 14m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa	65
Gambar 5.7 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 14m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	66
Gambar 5.8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 14m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur & Beban Gempa	66
Gambar 5.9 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	67
Gambar 5.10 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur & Beban Gempa	67
Gambar 5.11 <i>Effective stresses</i> Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	68
Gambar 5.12 <i>Effective stresses</i> Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur & Beban Gempa	68
Gambar 5.13 Kurva SF Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi	69
Gambar 5.14 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	70
Gambar 5.15 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas & Gempa	70



Gambar 5.16 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	71
Gambar 5.17 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas & Gempa	71
Gambar 5.18 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	72
Gambar 5.19 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas & Gempa	72
Gambar 5.20 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	73
Gambar 5.21 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas & Gempa	73
Gambar 5.22 <i>Effective stresses</i> Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	74
Gambar 5.23 <i>Effective stresses</i> Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas & Gempa	74
Gambar 5.24 Kurva SF Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi	75
Gambar 5.25 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	82
Gambar 5.26 Analisis Perhitungan Manual Penurunan Tanah Segera	77
Gambar 5.27 Detail Pemasangan Lapisan Geotekstil Timbunan 12m	87
Gambar 5.28 Detail Pemasangan Lapisan Geotekstil Timbunan 14m	88
Gambar 5.29 Detail Panjang Geoteksti Berdasarkan Perhitungan Stabilitas Terhadap Guling	89
Gambar 5.30 Detail Panjang Geoteksti Berdasarkan Perhitungan Stabilitas Terhadap Geser	90
Gambar 5.31 Detail Panjang Geoteksti Berdasarkan Perhitungan Stabilitas Terhadap Eksentrisitas	91
Gambar 5.32 Detail Panjang Geoteksti Berdasarkan Perhitungan Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah	92
Gambar 5.33 Detail Panjang <i>Overlapping</i> Geotekstil Pada Timbunan 12m	93

Gambar 5.34 Detail Panjang <i>Overlapping</i> Geotekstil Pada Timbunan 14m	94
Gambar 5.35 Detail Panjang Efektif Geotekstil Pada Timbunan 12m	94
Gambar 5.36 Detail Panjang Efektif Geotekstil Pada Timbunan 14m	93
Gambar 5.37 Detail Pemasangan Geotekstil pada Lereng Timbunan	96
Gambar 5.38 Pemodelan Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil	97
Gambar 5.39 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	96
Gambar 5.40 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur & Gempa	96
Gambar 5.41 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	97
Gambar 5.42 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	97
Gambar 5.43 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	98
Gambar 5.44 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur & Gempa	98
Gambar 5.45 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	99
Gambar 5.46 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur & Gempa	99
Gambar 5.47 <i>Effective stresses</i> Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	100
Gambar 5.48 <i>Effective stresses</i> Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur & Gempa	100
Gambar 5.49 Kurva SF Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi	100
Gambar 5.50 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	101
Gambar 5.51 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas & Gempa	101

Gambar 5.52 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil	
Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	102
Gambar 5.53 <i>Total Displacement</i> Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil	
Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas & Gempa	102
Gambar 5.54 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil	
Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	103
Gambar 5.55 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil	
Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas & Gempa	103
Gambar 5.56 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil	
Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	104
Gambar 5.57 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil	
Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas & Gempa	104
Gambar 5.58 <i>Effective stresses</i> Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil	
Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	105
Gambar 5.59 <i>Effective stresses</i> Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil	
Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas	105
Gambar 5.60 Kurva SF Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi	
Paska Konstruksi	106

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan	9
Tabel 3.1 Nilai Berat Volume Tanah	13
Tabel 3.2 Nilai Koefisien Permeabilitas	14
Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	14
Tabel 3.4 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson	15
Tabel 3.5 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Kohesi	16
Tabel 3.6 Hubungan Antara Sudut Geser dengan Jenis Tanah	16
Tabel 3.7 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS	18
Tabel 3.8 Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO	19
Tabel 3.9 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng	27
Tabel 3.10 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor	27
Tabel 3.11 Nilai <i>Interface</i> Tanah Kohesif dengan Geotekstil	36
Tabel 4.1 Data Parameter Tanah	46
Tabel 4.2 Data Parameter Geotekstil <i>Woven</i> GR-300	46
Tabel 4.3 Data Parameter Beban Lalu Lintas	47
Tabel 5.1 Data Parameter Tanah	60
Tabel 5.2 Nilai Beban Lalu Lintas	61
Tabel 5.3 Data Parameter Geotekstil	62
Tabel 5.4 Titik Koordinat Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan	63
Tabel 5.5 Hasil Nilai Angka Aman Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan	75
Tabel 5.6 Hasil Penurunan Tanah Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan	76
Tabel 5.7 Rekapitulasi Perhitungan Metode <i>Fellenius</i>	80
Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Manual Penurunan Tanah Segera	84
Tabel 5.9 Data Geotekstil <i>Woven</i> 300 Gr	84
Tabel 5.10 Koefisien Daya Dukung Tanah	84
Tabel 5.11 Rekapitulasi Panjang Geotekstil	90
Tabel 5.12 Hasil Nilai Angka Aman Lereng Timbunan Perkuatan Geotekstil	106

Tabel 5.13 Hasil Penurunan Tanah Lereng Timbunan Perkuatan Geotekstil	107
Tabel 5.14 Rekapitulasi Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan	112
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Analisis Penurunan Tanah	112





## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Proyek Jalan Tol Balikpapan - Samarinda	119
Lampiran 2. Data Tanah	120
Lampiran 3. Data Technical Spesification Geotekstil Woven	121
Lampiran 4. Hasil Pemodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan	122
Lampiran 5. Hasil Pemodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan	130
Lampiran 6. Hasil Pemodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan	138
Lampiran 7. Hasil Pemodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan	146
Lampiran 8. Hasil Pemodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan	154
Lampiran 9. Hasil Pemodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan	162
Lampiran 10. Hasil Pemodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 12 m dengan Perkuatan Geotekstil	170

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

cm	= Centimeter
m	= Meter
mm	= Milimeter
Cu	= <i>Undrained shear strength</i>
$\gamma_b$	= Berat Volume Tanah ( $\text{kN/m}^3$ )
$\gamma_{\text{sat}}$	= Berat Volume Tanah jenuh ( $\text{kN/m}^3$ )
FK	= Faktor Keamanan
N	= Newton
kN	= Kilo Newton
Mpa	= Mega Pascal
%	= Persen
D	= Diameter (m)
S	= Jarak (m)
L	= Panjang (m)
SF	= <i>Safety Factor</i>
$\tau_f$	= Kuat Geser Tanah ( $\text{kN/m}^2$ )
$\tau_d$	= Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh ( $\text{kN/m}^2$ )
$\text{m}^2$	= Meter persegi
c	= Kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )
$\phi$	= Sudut geser dalam ( $^\circ$ )
$\nu$	= <i>Poissons ratio</i>
e	= Modulus young ( $\text{kN/m}^2$ )
$\psi$	= Sudut dilatasi ( $^\circ$ )
k	= Koefisien permeabilitas (cm/sec)

$g$	= Modulus geser ( $N/m^2$ )
$\sigma$	= Tegangan normal ( $N/m^2$ )
$\sigma'f$	= Tegangan normal efektif saat terjadi keruntuhan ( $N/m^2$ )
$\tau'f$	= Tegangan geser efektif saat terjadi keruntuhan ( $N/m^2$ )
$u$	= Tekanan air pori ( $kN/m^2$ )
$R$	= Jari-jari lingkaran bidang longsor (m)
$n$	= Jumlah irisan
$W_i$	= Berat massa tanah irisan ke- $i$
$N_i$	= Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
$\theta_i$	= Sudut yang didefinisikan ( $^\circ$ )
$a_i$	= Panjang lengkung lingkaran pada irisan (m)
$\alpha$	= Sudut geser singgung masing-masing irisan ( $^\circ$ )
$N'$	= Gaya normal efektif (N)
$\sigma_v$	= Tegangan normal pada bidang kontak ( $kN/m^2$ )
$T_a$	= Gaya tarik pada tulangan ( $kN/m$ )
$K_a$	= Koefisien tanah aktif
$\sigma_{hc}$	= Tekanan horizontal rata-rata pada lipatan ( $kN/m^2$ )
$S_v$	= Jarak tulangan arah vertikal (m)
$H$	= Tinggi lapisan tanah (m)
$q$	= Beban merata ( $kN/m$ )
$LO$	= Panjang overlapping (m)
$Z_i$	= Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m)

## ABSTRAK

Proyek Jalan tol Balikpapan – Samarinda terletak di Provinsi Kalimantan Timur. Kondisi tanah pada proyek ini sangat beragam. Tanah eksisting di lapangan merupakan tanah lunak. Dalam pembangunan jalan tol tersebut, tanah lunak mendapat perhatian khusus karena berdampak pada penurunan tanah atau potensi longsor yang besar. Adanya potensi longsor serta penurunan tanah yang besar maka perlu dilakukan analisis timbunan diatas tanah lunak tersebut. Analisis timbunan bertujuan untuk mengetahui angka aman terhadap longsor serta angka penurunan tanah.

Analisis stabilitas timbunan dihitung dengan metode elemen hingga menggunakan program Plaxis 8.6. Analisis yang dilakukan pada timbunan tanah asli dengan variasi tinggi timbunannya adalah 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, 12m dan 14m. Variasi pemodelan yang dilakukan pada masa konstruksi dan paska konstruksi dengan jenis timbunan tanah asli serta memperhitungkan beban gempa yang terjadi. Timbunan tanah yang aman adalah timbunan dengan memenuhi syarat angka aman  $> 1,3$ . Timbunan yang tidak aman akan diberi perkuatan menggunakan perkuatan geotekstil.

Hasil analisis yang dilakukan pada lereng asli menggunakan program Plaxis mendapatkan nilai angka aman dan penurunan tanah untuk lereng timbunan 2m, 4m, 6m, 8m, dan 10m mendapatkan angka aman yang telah disyaratkan baik masa konstruksi dan paska konstruksi Hasil analisis stabilitas pada kondisi masa konstruksi menunjukkan bahwa angka aman untuk lereng 12m dan 14m akibat beban struktur secara berturut di dapat angka aman sebesar 1,441 dan 1,293. Nilai penurunan tanah akibat beban struktur secara berturut di dapat nilai penurunan sebesar 0,176m dan 0,217m. Sedangkan nilai angka aman akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 1,439 dan 1,291. Nilai penurunan tanah akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 0,180m dan 0,223m. Pada kondisi paska kondisi paska konstruksi di dapat nilai angka aman akibat beban lalu lintas secara berturut sebesar 1,225 dan 1,138. Nilai penurunan akibat beban lalu lintas secara berturut di dapat nilai penurunan sebesar 0,196m dan 0,241m. Sedangkan nilai angka aman akibat beban lalu lintas dan beban gempa secara berturut sebesar 1,223 dan 1,136. Nilai penurunan tanah akibat beban lalu lintas dan beban gempa secara berturut di dapat nilai penurunan tanah sebesar 0,199m dan 0,243m. Hasil tersebut menunjukkan bahwa lereng timbunan 12m dan 14m belum memenuhi angka aman yang disyaratkan, maka dari itu perlu ditambahkan perkuatan geotekstil agar memenuhi syarat angka aman yaitu  $> 1,3$ . Pada lereng timbunan 12m dan 14m dengan perkuatan geotekstil dilakukan pada kondisi masa konstruksi menunjukkan bahwa angka aman untuk lereng 12m dan 14m akibat beban struktur secara berturut di dapat angka aman sebesar 1,824 dan 1,642. Nilai penurunan tanah akibat beban struktur secara berturut di dapat nilai penurunan sebesar 0,174m dan 0,214m. Sedangkan nilai angka aman akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 1,822 dan 1,637. Nilai penurunan tanah akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 0,178m dan 0,220m. Pada kondisi paska kondisi paska konstruksi di dapat nilai angka aman akibat beban lalu lintas secara berturut sebesar 1,418 dan 1,361. Nilai penurunan akibat beban lalu lintas secara berturut di dapat nilai penurunan sebesar 0,194m dan 0,238m. Sedangkan nilai angka aman akibat beban lalu lintas dan beban gempa secara berturut sebesar 1,410 dan 1,357. Nilai penurunan tanah akibat beban lalu lintas dan beban gempa secara berturut di dapat nilai penurunan tanah sebesar 0,198m dan 0,240m. Hal tersebut, menunjukkan dengan adanya penambahan perkuatan geotekstil dapat meningkatkan angka aman (*Safety Factor*) lereng timbunan.

**Kata Kunci:** Angka aman, Penurunan tanah, Geotekstil, PLAXIS 8.6

## ABSTRACT

*The Balikpapan – Samarinda toll road project is located in East Kalimantan Province. Soil conditions in this project are very diverse. The existing soil in the field is soft soil. In the construction of the toll road, soft soil receives special attention because it has an impact on land subsidence or the potential for large landslides. There is a potential for landslides and large land subsidence, it is necessary to carry out an analysis of the embankment on the soft soil. The embankment analysis aims to determine the safety rate against landslides and the rate of land subsidence.*

*Embankment stability analysis was calculated using the finite element method using the Plaxis 8.6 program. The analysis was carried out on the original soil heaps with various heap heights of 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, 12m and 14m. Variation of modeling carried out during construction and post-construction with the type of original soil embankment and did take into account the earthquake load that occurred. Safe landfills are piles that meet the requirements for a safety factor  $> 1,3$ . Unsafe embankments will be strengthened using geotextile reinforcement.*

*The results of the analysis carried out on the original slope using the Plaxis program obtained the safety factor and land settlement for embankment slopes of 2m, 4m, 6m, 8m, and 10m obtained the required safety values both during construction and after construction. that the safety factor for slopes of 12m and 14m due to structural loads are respectively 1,441 and 1,293. The value of land settlement due to structural load successively obtained a settlement value of 0,176m and 0,217m. Meanwhile, the safety factor due to structural loads and earthquake loads are 1,439 and 1,291. Land settlement values due to structural loads and earthquake loads are 0,180m and 0,223m. In post-construction conditions, the safety factor values due to traffic loads are 1,225 and 1,138, respectively. Sequence values due to traffic loads are 0,196m and 0,241m respectively. Meanwhile, the safety factor due to traffic loads and earthquake loads are respectively 1,223 and 1,136. The value of land subsidence due to traffic loads and earthquake loads respectively results in land subsidence values of 0,199m and 0,243m. These results indicate that the slopes of the 12m and 14m embankments do not meet the required safety factor, therefore it is necessary to add geotextile reinforcement to meet the requirements for a safety factor of  $> 1,3$ . On the embankment slopes of 12m and 14m with geotextile reinforcement carried out during the construction period it shows that the safety factor for slopes of 12m and 14m due to structural loads are respectively 1,824 and 1,642. The value of land settlement due to structural load is obtained a settlement value of 0,174m and 0,214m respectively. Meanwhile, the safety factor due to structural loads and earthquake loads are 1,822 and 1,637. Land settlement values due to structural loads and earthquake loads are 0,178m and 0,220m. In post-construction conditions, the safety factor values due to traffic loads are 1,418 and 1,361, respectively. Sequence values due to traffic loads are 0,194m and 0,238m respectively. Meanwhile, the safety factor due to traffic loads and earthquake loads are respectively 1,410 and 1,357. The value of land subsidence due to traffic loads and earthquake loads respectively results in land subsidence values of 0,198m and 0,240m. This shows that the addition of geotextile reinforcement can increase the safety factor of embankment slopes.*

**Keywords:** Safety Factor, Land Settlement, Geotextile, PLAXIS 8.6



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pembangunan infrastruktur di Indonesia sedang menjadi salah satu fokus pembangunan di berbagai sektor. Salah satu infrastruktur yang sedang gencar di bangun ialah jalan. Transportasi di Indonesia memiliki peranan yang penting dalam perkembangan perekonomian, maka dari itu pembangunan di sektor transportasi sedang gencar dilakukan demi tercapainya tujuan pembangunan nasional. Jalan tol Balikpapan – Samarinda STA 2+400 merupakan salah satu aspek penting dalam menjalankan roda perekonomian serta menjadi penghubung antar dua kota tersebut.

Dalam pembangunan konstruksi khususnya pada konstruksi jalan, sering ditemui peristiwa kelongsoran lereng yang kebanyakan terjadi pada saat musim penghujan. Hal ini terjadi akibat peningkatan air pori pada lereng yang berakibat terjadinya penurunan kuat geser tanah dan sudut geser dalam. Faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng dapat menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah, dan suatu gerakan akan terjadi kecuali tahanan geser pada setiap permukaan runtuh yang mungkin terjadi lebih besar dari tegangan geser yang bekerja (Bowles, 1991).

Dalam pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda terletak di Provinsi Kalimantan Timur. Kondisi pada proyek ini beragam pada STA 2+400 memiliki timbunan badan jalan tinggi dan berada diatas tanah lempung sehingga berpotensi kelongsoran, serta curah hujan yang cukup tinggi dimana setiap harinya terjadi hujan. Untuk mengatasi permasalahan di lapangan maka dibutuhkan suatu metode ataupun cara yang lebih efektif untuk memperbaiki dan memperkuat jenis tanah yang kurang baik pada lereng tersebut. Salah satu perbaikan yang dapat dilakukan yaitu dengan memberikan perkuatan sehingga dapat meningkatkan daya dukung tanah. Untuk mengatasi hal tersebut telah ditemukan suatu lapisan sintesis yang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap proses pelapukan yang diletakkan di atas tanah dasar sebelum dilakukan penimbunan tanah untuk badan jalan yang

disebut geotekstil. Geotekstil sebagai suatu terobosan dalam rekayasa perbaikan dan perkuatan tanah yang diharapkan mampu meningkatkan daya dukung tanah.

Pada kenyataan di lapangan, dibutuhkan suatu metode untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Untuk mengatasi hal tersebut maka dilakukan penelitian dengan analisis stabilitas timbunan tanah menggunakan perkuatan geotekstil dengan program komputer PLAXIS. Analisis ini dilakukan dengan tujuan mengetahui besarnya angka aman dan bidang longsor potensial pada tanah, agar perkuatan dapat efektif dan ruas jalan tol yang telah dibangun dapat berfungsi secara optimal.

## **1.2 Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana angka aman (SF) lereng timbunan asli dan besar penurunan tanah pada lereng eksisting jalan Tol Balikpapan - Samarinda sta 2+400?
2. Bagaimana angka aman (SF) lereng timbunan dan besar penurunan tanah yang terjadi pada variasi ketinggian lereng timbunan 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, 12m, dan 14m?
3. Bagaimana stabilitas lereng timbunan dan besar penurunan yang terjadi pada variasi ketinggian lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menghitung angka aman (SF) dan besar penurunan tanah pada lereng eksisting jalan Tol Balikpapan - Samarinda sta 2+400.
2. Menghitung angka aman (SF) dan besar penurunan tanah pada variasi ketinggian lereng timbunan 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, 12m, dan 14m.
3. Menghitung angka aman (SF) stabilitas lereng timbunan dan penurunan tanah yang terjadi dengan variasi tinggi timbunan dengan perkuatan geotekstil.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan mengenai desain tinggi timbunan paling efektif dan aman dan pengaruh bahan perkuatan geotekstil pada proyek jalan Tol Balikpapan - Samarinda.
2. Mengaplikasikan program komputasi yaitu *Plaxis* dalam menganalisis kestabilan lereng.
3. Menambah ilmu pengetahuan ilmu teknik sipil dan inovasi teknologi dalam rekayasa geoteknik yang dapat mempengaruhi perkembangan konstruksi di Indonesia.

#### 1.5 Batasan Penelitian

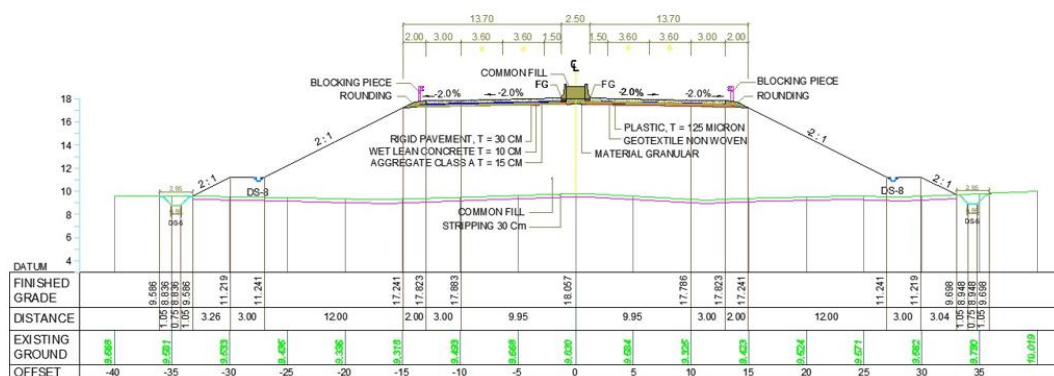
Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Timbunan lereng pada Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 2+400.
2. Data tanah asli yang digunakan dari Laporan Evaluasi Hasil Analisis Timbunan pada Proyek Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 2+400 pada tahun 2017.
3. Tinggi lereng eksisting 8m dan untuk penelitian ini tinggi timbunan adalah bervariasi dari 2m, 4m dan 6m, 8m, 10m, 12m dan 14m.
4. Variasi tinggi timbunan untuk 10m, 12m, dan 14m merupakan studi kasus khusus di penelitian ini.
5. Penelitian ini tidak memperhitungkan adanya muka air tanah.
6. Penelitian ini tidak memperhitungkan analisis biaya dan waktu.
7. Beban gempa dinamik berdasarkan data gempa untuk wilayah Kalimantan Timur.
8. Geosintetik yang digunakan adalah jenis geotekstil Woven GR 300 produksi PT. Prima Geotex Indo, dengan kuat tarik ultimit 69,34 kN/m.
9. Menganalisis stabilitas tanah timbunan dan menghitung penurunan tanah yang terjadi.
10. Metode perhitungan menggunakan program bantu *software Plaxis 8.6 2* Dimensi dan menggunakan metode *Fellenius*.

11. Pembebanan sesuai dengan peraturan dari Departemen Pekerjaan Umum tahun 2009 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan.

### 1.6 Studi Kasus

Studi kasus yang akan digunakan pada penelitian ini seperti lokasi dan potongan geometri seperti terlihat pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil**

Arsy (2018) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas timbunan pada konstruksi badan jalan dengan perkuatan geotekstil menggunakan metode *Fellenius* pada proyek Jalan Tol Solo – Kertasono STA 4+175. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil analisis stabilitas timbunan pada badan jalan tanpa menggunakan geotekstil, menggunakan perkuatan geotekstil, hubungan antara panjang geotekstil terhadap angka aman, hubungan antara jarak vertikal antar geotekstil terhadap angka aman dan hubungan antara sudut kemiringan lereng terhadap angka aman. Kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut antaranya adalah hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan tanpa menggunakan perkuatan dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,786. Sedangkan hasil analisis stabilitas timbunan jalan menggunakan perkuatan geotekstil dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual pada variasi panjang pertama, kedua dan ketiga dengan panjang geotekstil masing-masing 10m, 13m dan 15m yaitu 2,339, 2,347 dan 2,375. Hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan menggunakan perkuatan geotekstil dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual pada variasi jarak vertikal antar geotekstil pertama, kedua dan ketiga dengan Sv masing-masing 0,3m, 0,4m dan 0,6m yaitu 2,646, 2,347 dan 2,059. Kemudian hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan menggunakan perkuatan geotekstil dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual pada variasi sudut kemiringan lereng pertama, kedua dan ketiga dengan sudut masing-masing 19°, 25° dan 29° yaitu 2,440, 2,347 dan 2,355. Sehingga semakin panjang geotekstil yang digunakan, semakin rapat atau semakin kecil jarak vertikal geotekstil, dan semakin kecil sudut kemiringan lereng maka semakin besar nilai faktor keamanan yang dihasilkan.

Kafikanda (2019) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas lereng menggunakan geotekstil dengan program *GEOSLOPE* pada studi kasus di Jalan Tol



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

## 2.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil

Penelitian yang dilakukan oleh Utomo (2019) adalah mengenai analisis stabilitas lereng dengan perkuatan *soil nailing* dengan menggunakan program *Geoslope* pada studi kasus di bantaran Sungai Code, tepatnya di Padukuhan Gemawang, Desa Sinduadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui faktor keamanan lereng alami berdasarkan analisis kelongsoran metode perhitungan manual *fellenius* dan bishop yang disederhanakan. Kemudian untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan program *geoslope* dan mengetahui nilai faktor keamanan perkuatan *soil nailing* berdasarkan analisis kelongsoran metode perhitungan baji (*wedge*). Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah perhitungan manual metode *fallenius* didapatkan  $SF = 0,929 < 1,3$  (tidak aman) dan metode bishop didapatkan  $SF = 1,125 < 1,3$  (tidak aman). Sedangkan analisis program *geoslope* metode *fallenius* didapatkan  $SF = 0,933 < 1,3$  (tidak aman) dan metode bishop didapatkan  $SF = 1,125 < 1,3$  (tidak aman). Untuk perhitungan perkuatan *soil nailing* metode baji (*wedge*).

Pada sudut *nail*  $10^\circ$  didapatkan  $SF = 1,5391 > 1,3$  (aman) dan program *geoslope* didapatkan SF tanpa beban gempa  $2,294 > 1,3$  (aman) dan SF dengan beban gempa  $1,278 > 1,1$  (aman). Pada sudut *nail*  $20^\circ$  didapatkan  $SF = 1,5977 > 1,3$  (aman) dan SF dengan beban gempa  $1,503 > 1,3$  (aman). Pada sudut *nail*  $30^\circ$  didapatkan  $SF = 1,6051 > 1,3$  (aman) dan untuk program *geoslope* didapatkan SF tanpa beban gempa  $= 3,253 > 1,3$  (aman) dan SF dengan beban gempa  $= 1,653 > 1,3$  (aman). Dari hasil analisis ditemukan perbedaan nilai SF antara metode baji (*wedge*) dengan program *geoslope*, disebabkan karena metode baji (*wedge*) menggunakan bidang gelincir longsor planar dan *geoslope* menggunakan bidang gelincir longsor lingkaran.

Kartikasari (2018) melakukan penelitian menganalisis stabilitas lereng galian dengan *sheet pile* pada proyek pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo ruas Salatigakartasura. Penelitian yang dilakukan untuk melihat faktor keamanan lereng dan faktor lain yang mempengaruhi stabilitas lereng galian tersebut. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan software Plaxis versi 8.6 dan diperjelas dengan perhitungan manual menggunakan metode Fellenius. Jenis perkuatan tanah yang digunakan adalah sheet pile yang divariasikan dengan counterweight untuk mendapatkan hasil perkuatan tanah yang optimal. Hasil dari analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa pemodelan trial 1 dan 2 aman dari kelongsoran karena nilai SF lebih besar dari 1,25.

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

*Simplified.* Beban gempa dapat mempengaruhi kestabilan timbunan secara signifikan dengan rata-rata sebesar 44,4062% menurunkan tingkat kestabilan suatu timbunan.

### **2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan**

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



**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan**

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Arsy (2018)	Kafikanda (2019)	Utomo (2019)	Kartikasari (2018)	Sekarti (2018)	Wardani (2023)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode <i>Fellenius</i> Pada Proyek Jalan Tol Solo – Kertosono STA 4+175.	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil dengan Program <i>GEOSLOPE</i> Pada Studi Kasus di Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta. 1+975.	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i> dengan Menggunakan Program <i>GEOSLOPE</i> Pada Studi Kasus Bantaran Sungai Code.	Analisis Stabilitas Lereng dengan Galian dengan <i>Sheet Pile</i> Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga Kartasura.	Analisis Stabilitas Timbunan di Jalan Tol Semarang – Solo ruas Salatiga Kartasura.	Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program <i>PLAXIS</i> Pada Proyek Jalan Tol Balikpapan – Samarinda STA 2+400.
Tujuan Penelitian	Mengetahui hasil analisis stabilitas timbunan pada badan jalan tanpa menggunakan geotekstil, dengan perkuatan, hubungan antara panjang geotekstil terhadap angka aman.	Mengetahui nilai faktor keamanan pada lereng dengan diberikan perkuatan geotekstil dengan program <i>GEOSLOPE</i> .	Mengetahui faktor keamanan lereng alami berdasarkan analisis kelongsoran metode perhitungan manual <i>fallenius</i> dan Bishop yang disederhanakan.	Mengetahui faktor angka aman lereng pada galian dengan menggunakan perkuatan <i>sheet pile</i> yang divariasikan menggunakan program <i>Plaxis</i> 8.6	Mengetahui nilai faktor keamanan lereng timbunan dengan variasi penambahan trap berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan program <i>Slope/W</i> .	Mengetahui hubungan analisis stabilitas lereng dengan variasi tinggi timbunan tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program <i>Plaxis</i> .

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Arsy (2018)	Kafikanda (2019)	Utomo (2019)	Kartikasari (2018)	Sekarti (2018)	Wardani (2023)
Metode Penelitian	Analisa menggunakan perhitungan manual dengan Metode <i>Fellenius</i> dan faktor aman dengan program <i>GEOSLOPE</i> .	Analisa menggunakan <i>software Geoslope</i> untuk kestabilan lereng dan perhitungan manual.	Analisa menggunakan program <i>Geoslope</i> dan metode <i>Fellenius</i> dan Bishop untuk dibandingkan dengan perhitungan manual.	Analisa menggunakan <i>software Plaxis</i> dan perhitungan manual metode <i>Fellenius</i> .	Analisa menggunakan pengujian tanah langsung dilaboratorium dan faktor aman dengan program <i>Slope/W</i> .	Analisa menggunakan program <i>Plaxis</i> untuk kestabilan angka aman lereng dan penurunan tanah yang terjadi.
Hasil Penelitian	Hasil analisis stabilitas jalan menggunakan perkuatan dengan metode <i>Fellenius</i> secara perhitungan manual diperoleh nilai (SF) sebesar 1,786.	Faktor keamanan pada hasil analisis menggunakan program <i>Slope/W</i> diperkuat dengan geotekstil dan ditambahkan beban gempa sebesar 2.303.	Faktor aman pada sudut <i>nail</i> 10° sebesar 1,5391 dan dengan program <i>Geoslope</i> dengan beban gempar sebesar 1,278 > 1,1 (aman).	Hasil analisis nilai SF dengan perkuatan <i>sheet pile</i> pada trial 1 1,586 sedangkan untuk trial 2 1,666 dengan beban gempa.	Timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan <i>Fellenius</i> terjadi peningkatan SF sebesar 9,72%.	Hasil analisis lereng dengan program <i>Plaxis</i> 8.6 di tinggi timbunan 14 m pada masa konstruksi dan paska konstruksi setelah diberi perkuatan geotekstil dan beban gempa sebesar 1,637 dan 1,357 serta besar penurunan tanah sebesar 0,220 m dan 0,240 m.

## **BAB III**

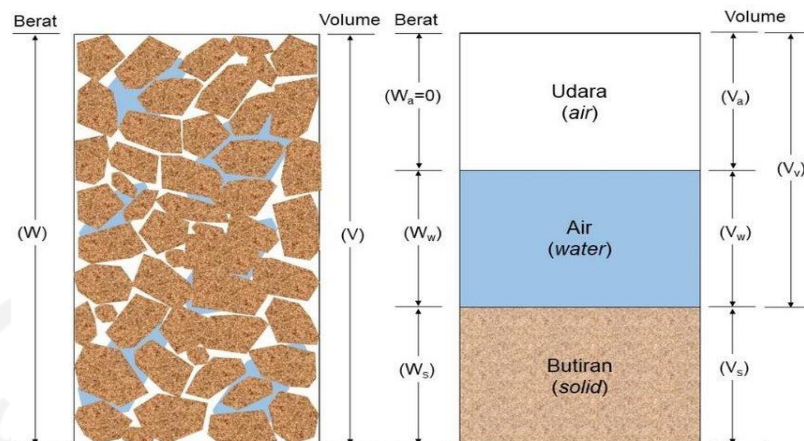
### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tanah**

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

##### **3.1.1 Properti Tanah**

Tanah terdiri dari dua atau tiga bagian, yaitu butiran tanah, air dan udara. Tanah dalam keadaan kering hanya memiliki dua bagian tanah, yaitu butiran tanah dan pori-pori udara. Pada tanah dalam kondisi jenuh hanya terdapat dua bagian yaitu butiran tanah serta air pori. Kondisi tidak jenuh tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu butiran tanah, pori-pori udara, dan air pori. Hubungan antara bagian-bagian tanah digambarkan dalam bentuk diagram fase yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah**

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Berdasarkan Gambar 3.1 diatas, suatu tanah memiliki tiga elemen dalam setiap butirnya. Ada udara, air dan padatan. Dalam setiap elemen tersebut memiliki volume dan berat masing – masing. Mengacu pada diagram fase tanah maka dapat diketahui di Persamaan 3.1 sampai dengan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$W = W_s + W_w \quad (\text{gr}) \quad (3.1)$$

dan

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (\text{cm}^3) \quad (3.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (\text{cm}^3) \quad (3.3)$$

Keterangan :

$W$  = berat total

$W_s$  = berat butiran padat

$W_w$  = berat air

$V$  = volume total

$V_s$  = volume butiran padat

$V_w$  = volume air

$V_a$  = volume udara

$V_v$  = volume rongga

1. Berat Volume Butiran Padat ( $\gamma_s$ )

Berat tanah butiran tanah kering dalam satu satuan volume butiran tanah atau



perbandingan antara berat butiran padat dengan volume butiran padat dan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.4.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (3.4)$$

2. Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air (S=1)

Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.5.

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1 + e} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (3.5)$$

Hubungan antara derajat kejenuhan, angka pori, kadar air dan berat jenis dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.6.

$$S_e = w G_s \quad (3.6)$$

Korelasi untuk menentukan berat jenis tanah ( $\gamma$ ) dan berat jenis tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Nilai Berat Volume Tanah**

No.	Jenis tanah	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	Kerikil	20 -22	15 – 17
2	Pasir	18 – 20	13 – 16
3	Lanau	18 – 20	14 – 18
4	Lempung	16 - 22	14 – 21

(Sumber: John Wiley & Sons,2000)

3. Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan terjadinya aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir melewati rongga pori. Pori – pori pada tanah saling terhubung, sehingga air dapat mengalir dari tekanan tinggi menuju tekanan yang lebih rendah. Permeabilitas artikan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga-

rongga pori tanah. Menurut Das (1983) pada buku Mekanika Tanah 1 Edisi Ke Enam untuk kisaran nilai permeabilitas pada jenis – jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2 Nilai Koefisien Permeabilitas**

No.	Jenis Tanah	k (mm/detik)
1.	Butiran Kasar	$10 - 10^3$
2.	Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir sedang	$10^{-2} - 10$
3.	Pasir halus, lanau longgar	$10^{-4} - 10^{-2}$
4.	Lanau padat, lanau berlempung	$10^{-5} - 10^{-4}$
5.	Lempung berlanau, lempung	$10^{-8} - 10^{-5}$

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

#### 4. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan nilai yang menunjukkan besarnya angka elastisitas tanah dari perbandingan antara tegangan yang terjadi . Perkiraan nilai ini dapat ditentukan dari jenis tanah seperti pada Tabel 3.3 berikut ini.

**Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah**

No.	Jenis Tanah	E (kN/m <sup>2</sup> )
1.	Lempung : Sangat lunak Lunak Sedang Keras Berpasir	300 – 3000 2000 – 4000 4500 – 9000 7000 – 20000 30000 - 42500
2.	Pasir : Berlanau Tidak padat Padat	5000 – 20000 10000 – 250000 50000 - 100000
3.	Pasir dan kerikil : Padat Tidak padat	80000 – 200000 50000 - 140000

**Lanjutan Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah**

No.	Jenis Tanah	E (kN/m <sup>2</sup> )
4.	Lanau	2000 – 20000
5.	Loses	15000 – 60000
6.	Cadas	140000 - 1400000

(Sumber: Bowles,1977)

5. *Poisson Ratio*

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuai lateral. Nilai ini dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson**

No	Jenis Tanah	Poisson <i>Ratio</i> ( $\mu$ )
1	Lempung jenuh	0,4 – 0,5
2	Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
3	Lempung berpasir	0,2 – 0,3
4	Lanau	0,3 – 0,35
5	Pasir Padat	0,2 – 0,4
6	Pasir tidak padat	0,15
7	Pasir halus	0,25
8	Batu	0,1 – 0,4
9	Loess	0,1 – 0,3

(Sumber: Hardiyatmo,2003)

6. Sudut Dilatansi ( $\psi$ )

Sudut dilatansi (*dilatancy angle*) dinyatakan dalam derajat. Pada tanah lempung biasanya menunjukkan dilatansi yang kecil ( $\psi \approx 0$ ). Lempung dan lanau biasanya memiliki sudut dilatansi yang kecil ( $\psi \approx 0$ ). Sudut dilantasi pada pasir juga tergantung pada kerapatan dan sudut gesernya, untuk pasir sudut dilatansi  $\psi = \phi - 30^\circ$  hal ini dikarenakan realistis untuk pasir sangat lepas.

7. Kohesi ( $c$ )

Kohesi adalah gaya tarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser

dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam berupa gerakan lateral tanah. Nilai ini didapat dari pengujian *triaxial* dan *direct shear test*. Nilai kohesi dapat ditentukan berdasarkan nilai  $q_c$  pada uji sondir seperti pada Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Kohesi**

No.	Konsentrasi Tanah	Tekanan Konus $q_c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Kohesi
1	Very soft	<2,50	<1,25
2	Soft	2,50 – 5,0	1,25 – 2,50
3	Medium Stiff	5,0 – 10,0	2,50 – 5,0
4	Stiff	10,0 – 20,0	5,0 – 10,0
5	Very Stiff	20,0 – 40,0	10,0 – 20,0
6	Hard	>40,0	20

(Sumber: Bowles, 1996)

#### 8. Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )

Sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah. Sudut geser tanah sama dengan kohesi yaitu untuk menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai sudut dalam didapat dari pengujian *triaxial* (*triaxial test*) dan pengujian kuat geser langsung (*direct shear test*).

Selain itu, nilai sudut geser dalam ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.6.

**Tabel 3.6 Hubungan Antara Sudut Geser dengan Jenis Tanah**

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam ( $^\circ$ )
Kerikil Kepasiran	35 - 40
Kerikil Kerakal	35 - 40
Pasir Padat	35 – 40
Pasir Lepas	30

**Lanjutan Tabel 3.6 Hubungan Antara Sudut Geser dengan Jenis Tanah**

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (°)
Lempung	25 – 30
Lanau	20 - 25

(Sumber: Bowles, 1996)

### 3.1.2 Klasifikasi Tanah

Ketika ingin merencanakan struktur sebuah bangunan gedung, jalan raya ataupun sebagainya, langkah awal yang harus dilakukan merupakan melakukan pemeriksaan kondisi tanah. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui apakah tanah tersebut sudah sesuai dengan klasifikasi yang telah ditentukan. Klasifikasi tanah merupakan penggolongan sistematis dari jenis-jenis tanah yang mempunyai sifat-sifat yang sama dalam kelompok dan sub kelompok yang sesuai dengan pemakaiannya (Das, 1998).

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

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

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

Dalam sistem USCS, tanah di klasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200 dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Kemudian klasifikasi tanah menurut sistem USCS dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS

Prosedur Klasifikasi			Symbol	Nama Jenis	Identifikasi Lab
Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 200 / Ø 0.075 mm)	Kerikil (lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 4 / Ø 4.75 mm)	Kerikil Murni (Tanpa – sedikit butir halus)	GW	Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa / tak ada butiran halus	CU = D60/D10 = 1 – 4 CC = D30 <sup>2</sup> /D10 = 1-3
		Kerikil Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butir halus)	GP	Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butira halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW
		Kerikil Berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	GM	Kerikil berlanau, kerikil mengandung pasir – lanau bergradasi buruk	Indek Plastisitas kurang dari 7
		Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	GC	Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	Indek Plastisitas lebih dari 7
	Pasir (lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 4 / Ø 4.75 mm)	Pasir Bersih (Tanpa / sedikit butiran halus)	SW	Pasir bergradasi baik, Pasir dengan sedikit pasir tanpa butiran halus	CU = D60/D10 ≥ 6 CC = D30 <sup>2</sup> /D10 = 1-3
			SP	Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC SW
		Pasir Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butir halus)	SM	Pasir berlanau, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk	Indeks Plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25
			SC	Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk	Indeks plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

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

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

Sistem klasifikasi tanah ini dapat membagi tanah ke dalam ke 8 kelompok yang diberi nama dari A-1 sampai A-8. Tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan dapat diberi nama A-8, maka pada revisi terakhir oleh sistem AASHTO dapat diabaikan. Klasifikasi tanah sistem AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut.

**Tabel 3.8 Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO**

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

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

\*© American Association of State Highway and Transportation Officials, 1978. Used by permission.

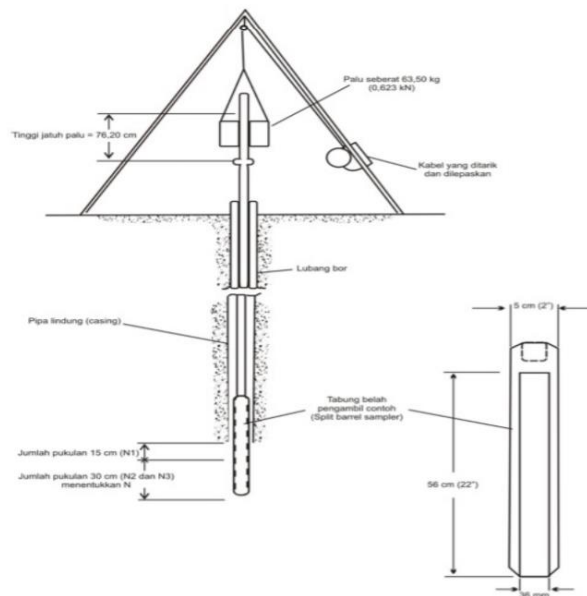
† Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30 (see Fig. 3.5).

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

### 3.1.3 Standard Penetration Test (SPT)

*Standard Penetration Test (SPT)* merupakan suatu metode uji yang dilakukan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh tanah dengan teknik penumbukan. Uji pada metode *standard penetration test (SPT)* terdiri dari uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah dan disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam metode sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg dan dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian SPT dapat dibagi dalam tiga tahap pelaksanaan serta berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap pelaksanaan. Pada tahap pertama dilakukan pencatatan sebagai dudukan, sementara jumlah pada pukulan untuk memasukkan tahap kedua dan ketiga dijumlahkan agar memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m). Detail alat pada proses SPT dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.





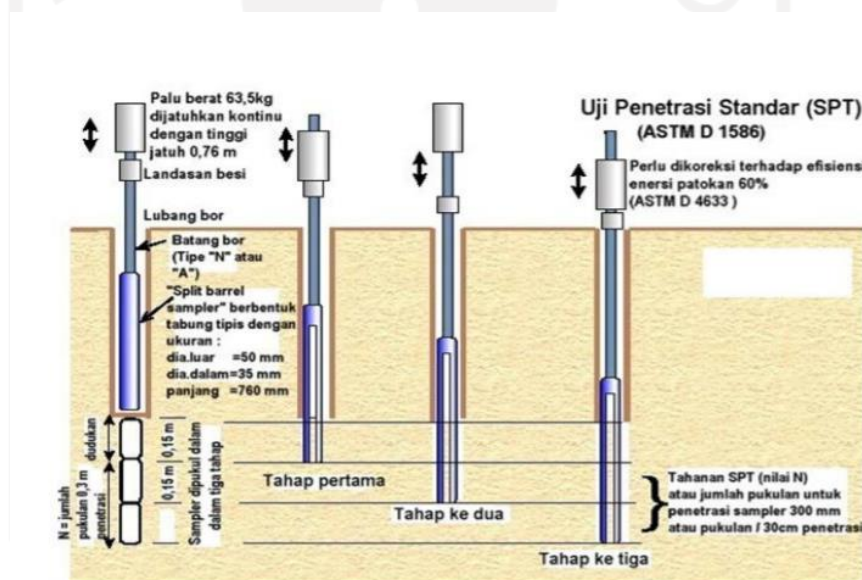
**Gambar 3.2 Penetrasi Dengan SPT**

(Sumber : SNI 4153-2008)

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

Nilai SPT dapat diperoleh dengan contoh cara yang digunakan pada tabung belah standar dipukul sedalam 15 cm (6"). Kemudian dilanjutkan pada pemukulan tahap kedua sedalam 30 cm (12"). Jumlah pukulan pada tahap kedua ini yaitu jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tabung belah standar sedalam 30 cm dan didefinisikan sebagai nilai-N. Pengujian yang lebih baik dilakukan dengan menghitung pukulan pada tiap penembusan pukulan sedalam 7,62 cm (3 inci) atau

setiap 15 cm (6 inci). Dengan metode cara ini kedalaman sembarang jenis tanah pada dasar lubang bor dapat ditaksir dan elevasi dimana gangguan dapat terjadi dalam usaha menembus lapisan yang keras seperti batu, dapat tetap dicatat. Hitung jumlah pada pukulan atau tumbukan  $N$  pada penetrasi yang pertama, penetrasi 15 cm yang kedua dan ketiga serta catat jumlah pukulan  $N$  pada setiap penetrasi 15 cm. Jumlah pada pukulan yang dihitung adalah  $N_2 + N_3$ . Kemudian nilai  $N_1$  tidak diperhitungkan karena masih dalam keadaan kotor hasil dari pengeboran. Jika nilai  $N$  lebih besar daripada 50 pukulan, maka hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter. Catat kembali jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan tersebut. Skema pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.



**Gambar 3.3 Skema Pengujian Standard Penetration Test (SPT)**  
(Sumber : SNI 4253-2008)

## 3.2 Lereng

### 3.2.1 Pengertian Umum

Lereng merupakan suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Lereng atau talud dapat terbentuk secara alami karena dari proses geologi atau juga terbentuk karena dibuat oleh manusia karena tujuan tertentu. Pada suatu tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong

sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor.

### 3.2.2 Penyebab Longsor

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

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru dan tambahan beban air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenangi di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuhan-tumbuhan yang tertiuap angin dan lain-lain.
2. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
3. Penggalian atau pemotong tanah pada kaki lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) pada bendung, sungai dan lain-lain.
5. Gempa bumi.
6. Kenaikan tekanan tanah lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral).
7. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.

### 3.2.3 Pengaruh Kelongsoran

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

1. Pengaruh Iklim

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

analisis stabilitas lereng harus berdasarkan pada kuat geser tanah yang terendah yaitu pada musim hujan, atau kuat geser pada saat tanah jenuh air.

## 2. Pengaruh air

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

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

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

## 3. Pengaruh Rangkak (*Creep*)

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

Ke dalam zona rangkak bervariasi dari beberapa sentimeter sampai beberapa meter dapat bergantung pada sifat tanah dan kondisi iklim. Kenampakan gerakan lereng akibat rangkak dapat menyebabkan hal-hal sebagai berikut ini:

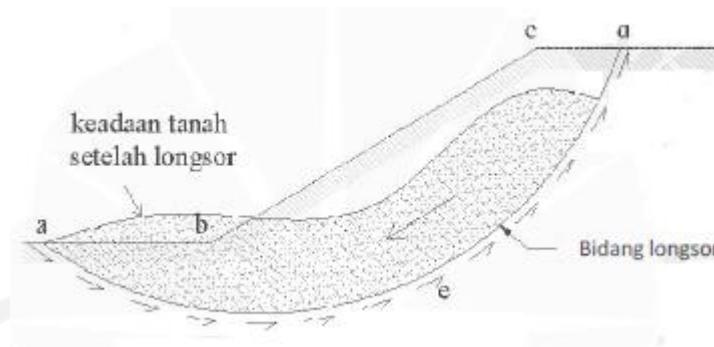
blok batuan bergerak, pohon-pohon melengkung ke atas, bagian bawah lereng melengkung dan menarik batuan, bangunan menara, monumen, dinding penahan tanah dan pondasi bergerak dan retak, jalan raya dan jalan rel keluar dari alurnya, dan batu-batu besar menggelinding.

#### **3.2.4 Jenis Longsor**

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

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

Longsoran dapat dicegah apabila gaya dorong (gaya penyebab longsor) tidak melebihi gaya perlawanan yang berasal dari tahanan geser tanah sepanjang bidang longsor seperti pada Gambar 3.4 berikut ini.



**Gambar 3.4 Kelongsoran Lereng**

(Sumber: Hardiyatmo 2010)

Berdasarkan Hardiyatmo (2010), longsoran yang sering terjadi selama ini dibagi menjadi beberapa jenis kelongsoran sebagai berikut ini.

1. Longsoran Translasi

Longsorannya ini terjadi karena bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau melombang landai. Longsoran translasi adalah gerakan di sepanjang diskontinuitas atau bidang lemah yang secara pendekatan sejajar dengan permukaan lereng, sehingga gerakan tanah secara translasi seperti pada Gambar 3.5. Dalam kondisi tanah lempung, translasi terjadi di sepanjang lapisan tipis pasir atau lanau, khususnya jika bidang lemah tersebut sejajar dengan lereng yang ada. Longsoran translasi lempung yang mengandung lapisan pasir atau lanau, dapat disebabkan oleh tekanan air pori yang cukup tinggi dalam pasir atau lanau tersebut.



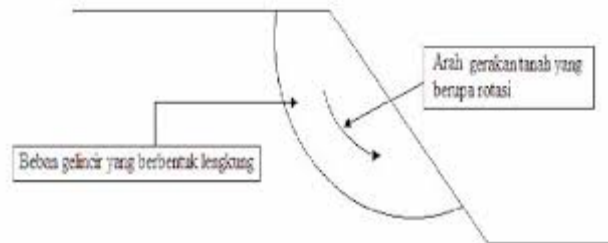
**Gambar 3.5 Longsoran Translasi**

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

2. Longsoran Rotasi

Longsoran ini dapat terjadi ketika bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung seperti pada Gambar 3.6. Longsoran rotasi mempunyai suatu bidang longsor yang melengkung ke atas, dan sering terjadi

pada massa tanah yang bergerak dalam satu kesatuan. Longsoran rotasi murni (*shump*) terjadi pada material yang relatif homogen seperti timbunan buatan (tanggul).



**Gambar 3.6 Longsoran Rotasi**

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

### 3.3 Analisis Stabilitas Lereng

#### 3.3.1 Pengertian Umum

Pada posisi permukaan tanah yang tidak horizontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya dapat terlampaui, maka akan terjadi suatu kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring yang disebut dengan analisis stabilitas lereng (Hardiyatmo, 2010).

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

#### 3.3.2 Teori Analisis Stabilitas Lereng

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

1. Kelongsoran lereng terjadi pada sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif.



3. Tanah geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperlihatkan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor.

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

Faktor keamanan suatu lereng dapat dilihat pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng.

**Tabel 3.9 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng**

<b>Faktor Keamanan (F)</b>	<b>Keadaan Lereng</b>
$F < 1,00$	Lereng dalam kondisi tidak mantap (lereng)
$1,00 < F < 1,20$	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 3.10 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor**

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

(Sumber: Bowles, 1989)

Stabilitas suatu lereng bergantung pada nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam tanah ( $\phi$ ). Tanah dengan kondisi semakin kering umumnya memiliki faktor aman yang tinggi. Sebaliknya pada kondisi tanah yang semakin jenuh umumnya nilai faktor aman semakin kecil. Hal yang menyebabkan ketidakstabilan lereng salah satunya disebabkan oleh muka air tanah yang naik sehingga menambah derajat

kejenuhan dan tekanan air pori sehingga mengurangi tegangan efektif dan kuat geser tanah.

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

Faktor aman stabilitas lereng didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan seperti pada Persamaan 3.14 berikut.

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

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

### 3.3.3 Metode Analisis Stabilitas Lereng

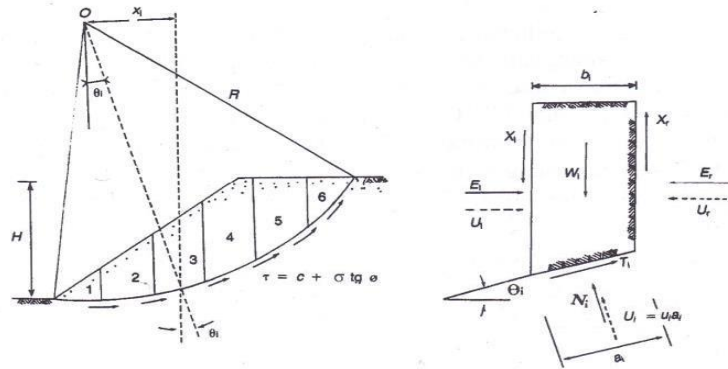
Untuk menganalisis stabilitas lereng ini ada beberapa metode, yang sering digunakan diantara lainnya adalah sebagai berikut.

#### 1. Metode *Fellenius*

Metode *Fellenius* (*Ordinary Method of Slice*) diperkenalkan pertama kali oleh Fellenius (1927, 1936) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan memiliki resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor.

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

adalah sama dengan nol, atau bias juga disebutkan bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan.



**Gambar 3.7 Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Metode Fellenius**

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Jadi total asumsi yang dibuat oleh metode ini adalah :

- Posisi gaya normal  $P$  terletak di tengah alas irisan :  $n$
- Resultan gaya antar irisan sama dengan nol :  $n - 1$

Total :  $2n - 1$

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

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (3.15)$$

Atau,

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\ &= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \end{aligned} \quad (3.16)$$

Faktor aman didefinisikan sebagai,

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

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

$$\sum Md = R \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i \quad (3.17)$$

Keterangan:

R = Jari-jari lingkaran bidang longsor.

n = Jumlah irisan.

$W_i$  = Berat massa tanah irisan ke- $i$ .

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

$\theta_i$  = Sudut yang didefinisikan.

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

$$\Sigma M_r = R \sum_{n=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.18)$$

Maka Persamaan untuk faktor aman menjadi,

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \varphi)}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.19)$$

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

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} ca_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.20)$$

Keterangan:

SF = Faktor aman

C = Kohesi tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

$\varphi$  = Sudut gesek dalam tanah ( $^\circ$ )

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

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

$u_i$  = tekanan air pori pada irisan ke- $i$  ( $\text{kN/m}^2$ )

$\theta_i$  = Sudut yang didefinisikan

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

### 3.4 Penurunan Tanah

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

#### 3.4.1 Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*)

Penurunan seketika atau penurunan elastic disebabkan dari deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Umumnya penurunan ini diturunkan dari teori elastisitas. *Immediate settlement* ini biasanya terjadi selama proses konstruksi dan paska konstruksi. Penurunan seketika terjadi dalam kondisi *undrained* (tidak ada perubahan volume). Penurunan ini terjadi dalam waktu yang singkat saat dibebani secara cepat. Besarnya penurunan elastik ini tergantung dari besarnya modulus elastisitas kekakuan tanah dan beban timbunan diatas tanah asli. Penurunan tanah yang dibutuhkan untuk perhitungan adalah *undrained* modulus dengan uji coba tanah yang diperlukan seperti SPT, Sondir (*dutch cone penetration test*), dan *Pressuremeter test*. Perhitungan untuk mencari nilai penurunan seketika dapat dilakukan dengan Persamaan 3.21 berikut ini.

$$S_i = \Delta\sigma B \frac{1-\mu_s^2}{E_s} I_p \quad (3.21)$$

Keterangan :

- $S_i$  = Penurunan seketika (m)
- $\Delta\sigma$  = Beban timbunan ( $\text{kN/m}^2$ )
- $E_s$  = Modulus elastisitas tanah
- $\mu_s$  = *Poisson's Ratio*
- $B$  = Lebar/diameter timbunan (m)
- $I_p$  = *non-dimensional influence factor*

Tegangan tanah akibat beban terbagi rata berbentuk trapesium dapat dirumuskan dengan persamaan 3.22 berikut.

$$\Delta\sigma = q \times l \quad (3.22)$$

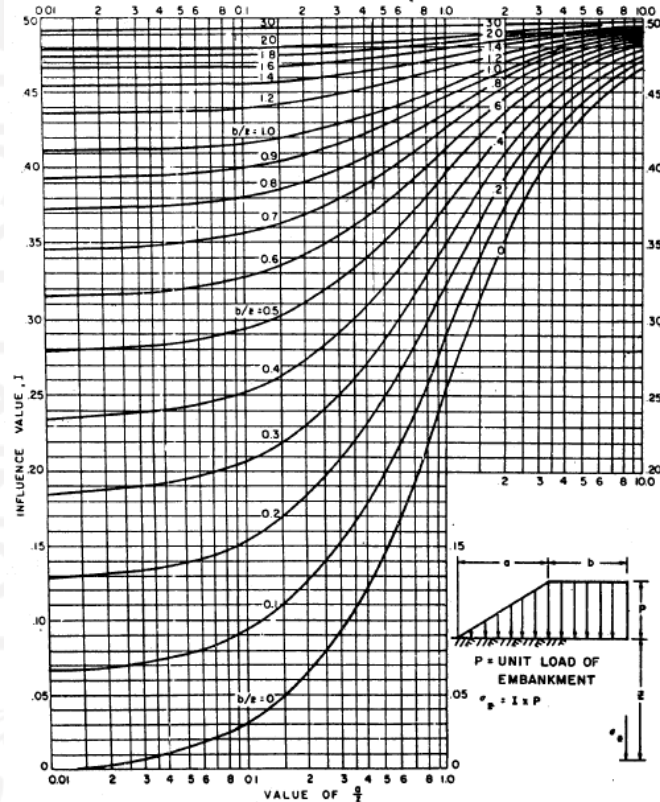
Keterangan :

$\Delta\sigma$  = Penambahan Tegangan ( $\text{kN/m}^2$ )

$q$  = Beban timbunan ( $\text{kN/m}^2$ )

$l$  = *non-dimensional influence factor*

*Influence factor* bisa di dapat dari grafik pada Gambar 3.8 berikut.



**Gambar 3.8 Grafik Influence Factor**

(Sumber: Das, B.M. 1994)

### 3.5 Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil

#### 3.5.1 Perkuatan Tanah

Seorang ahli teknik asal Perancis Henri Vidal pada tahun 1966 membuat suatu penelitian. Dari hasil penelitiannya Henri dapat disimpulkan bahwa, tumpukan pasir alam yang mempunyai sudut lereng asli tertentu, dapat stabil

dengan sudut kemiringan yang lebih besar dan jika diberi material fleksibel yang mampu menahan tarikan di dalam tumpukan pasir tersebut. Perbedaan pada tanah dengan sudut lereng asli dengan tanah yang sudah diperkuat dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini.



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

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

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

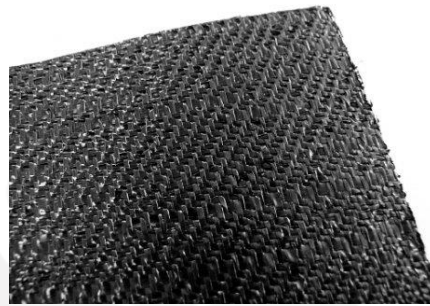
### 3.5.2 Geotekstil

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



1. Geotekstil anyam (*woven*)

Geotekstil anyam (*woven*) dibuat dengan cara dianyam seperti yang dilihat pada Gambar 3.10, geotekstil jenis ini mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi sehingga pada aplikasinya di lapangan banyak digunakan sebagai lapisan perkuatan dan sebagai palisan pemisah. Sebagai perkuatan, geotekstil *woven* berfungsi sebagai tulangan pada tanah. Sedangkan sebagai pemisah, geotekstil *woven* berfungsi memisahkan antara tanah lunak dengan tanah keras.



**Gambar 3.10 Geotekstil Woven**

(Sumber: Isparmo, 2010)

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

Geotekstil nir-anyam (*non woven*) pembuatannya tidak dengan cara dianyam, tetapi jaringan atau serat-serat pembentukannya dilekatkan atau sama lain dengan cara diikat atau dengan bahan perekat seperti yang dilihat pada Gambar 3.11 berikut.

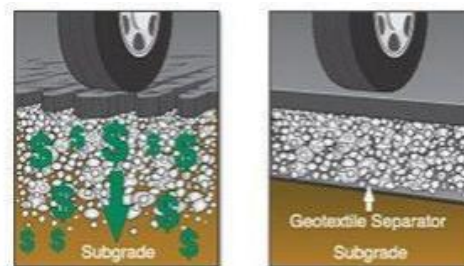


**Gambar 3.11 Geotekstil Non Woven**

(Sumber: Isparmo, 2010)

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

1. Fungsi pemisah dibutuhkan pada saat diletakkan diantara dua jenis material yang berbeda, untuk menghindari terjadinya kontaminasi dan pencampuran yang mungkin terjadi di antara kedua material tersebut. Contohnya pada penggunaan geotekstil didalam konstruksi jalan untuk memisahkan agregat dengan lapisan tanah dasar yang mempunyai daya dukung lemah seperti Gambar 3.12 berikut.



**Gambar 3.12 Geotekstil Sebagai Pemisah (*Separator*)**

(Sumber : Isparmo, 2010)

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

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

geotekstil yang diusulkan disertai dengan keterangan asumsi dan jenis bahan yang ditinjau dalam Tabel 3.11 berikut.

**Tabel 3.11 Nilai *Interface* Tanah Kohesif dengan Geotekstil**

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

(Sumber: Ismanti, 2012)

### 3.5.3 Prinsip Kerja Geotekstil

Tegangan geser yang terjadi oleh gesekan pada bidang kontak dinyatakan pada Persamaan 3.23 berikut ini.

$$T = c + \sigma_v \operatorname{tg} \varphi \quad (3.23)$$

Keterangan :

$\tau$  = Tegangan geser yang bekerja di permukaan bidang kontak antara tulangan dan butiran-butiran tanah ( $\text{kN/m}^2$ ).

$c$  = Kohesi ( $\text{kN/m}^2$ ).

$\sigma_v$  = Tegangan normal pada bidang kontak (*interface*) tanah-tulangan ( $\text{kN/m}^2$ ).

$\varphi$  = Sudut gesek antara tanah dan tulangan ( $^\circ$ ).

Gaya- gaya tarik yang akan bekerja pada geotekstil dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.24 berikut ini.

$$T_a = \tau \times b \times L \times tg \varphi \quad (3.24)$$

Keterangan :

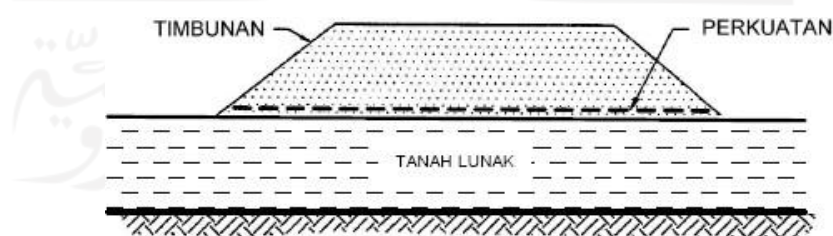
$T_a$  = Gaya tarik pada tulangan (kN/m).

$B$  = Lebar tulangan (m).

$L$  = Panjang tulangan (m).

### 3.5.4 Perkuatan Menggunakan Geotekstil

Pengaruh penting pemakaian geotekstil untuk perkuatan timbunan adalah berfungsi utama sebagai pemisah dan juga berfungsi sebagai tulangan atau perkuatan yang menaikkan kapasitas dukung tanah dasar oleh kekuatan komposit tanah dengan geotekstil. Timbunan yang dibangun pada tanah lunak mempunyai kecenderungan bergerak ke arah lateral, karena akibat dari tekanan tanah horizontal yang bekerja pada timbunan tersebut. Tekanan ini menyebabkan timbulnya tegangan geser pada dasar timbunan yang harus ditahan oleh tanah pondasi yang lunak tersebut agar tidak mengalami keruntuhan. Oleh karena itu, pada dasar timbunan dapat dipasang geotekstil dengan kuat tarik tinggi yang berguna untuk menambah nilai stabilitas timbunan tersebut seperti pada Gambar 3.13 berikut.

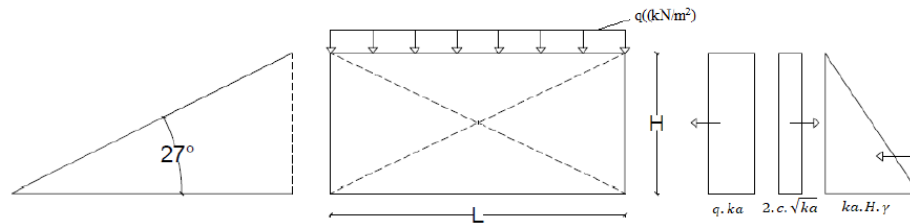


**Gambar 3.13 Timbunan di Atas Tanah Lunak**

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

Perencanaan untuk perkuatan dengan geotekstil memiliki gaya-gaya stabilitas yang perlu diperhitungkan. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan terdiri dari beberapa analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Stabilitas eksternal terdiri dari stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas, dan kapasitas dukung

tanah. Stabilitas internal berupa stabilitas terhadap gaya-gaya dan panjang efektif geotekstil. Adapun diagram distribusi tekanan tanah lateral pada lereng dapat dilihat pada Gambar 3.14 berikut ini.



**Gambar 3.14 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral**

(Sumber: Purwanto, 2012)

Untuk mendapatkan jarak arah vertikal antar lapis geotekstil ( $S_v$ ) dapat dilakukan dengan Persamaan 3.25 sampai dengan Persamaan 3.27 berikut ini.

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \left( \frac{\phi}{2} \right) \right) \quad (3.25)$$

$$\sigma_{hc} = q \cdot k_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_a} + k_a \cdot H \cdot \gamma_b \quad (3.26)$$

$$v = \frac{T_a}{\sigma_{hc} \cdot S_f} \quad (3.27)$$

Keterangan:

$K_a$  = Koefisien tanah aktif.

$\sigma_{hc}$  = Tekanan horizontal rata-rata pada lipatan ( $\text{kN/m}^2$ ).

$q$  = Beban merata ( $\text{kN/m}^2$ ).

$SF$  = Faktor aman.

$S_v$  = Jarak tulangan arah vertikal (m).

$\gamma$  = Berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ ).

$c$  = Kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$T_a$  = Kuat tarik geotekstil *allowable*.

## 1. Stabilitas Eksternal

### a. Stabilitas Terhadap Geser

Faktor aman terhadap geser dinyatakan pada Persamaan 3.28 berikut ini.

$$SF = \frac{L \cdot (1 + \gamma_b) \cdot \tan \phi}{(q \cdot k_a \cdot H + k_a \cdot H^2 \cdot \gamma_b - 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_a} \cdot H)} \quad (3.28)$$

Keterangan:

$SF$  = Faktor aman.

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

$L$  = Panjang geotekstil (m).

$H$  = Tinggi lapisan tanah (m).

$\gamma b$  = Berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ ).

$Ka$  = Koefisien tanah aktif.

$C$  = Kohesi ( $\text{kN/m}^2$ ).

$q$  = Beban merata ( $\text{kN/m}^2$ ).

b. Stabilitas Terhadap Guling

Faktor aman terhadap guling dapat dinyatakan pada Persamaan 3.29 berikut ini.

$$SF = \frac{L^2 \cdot (\frac{1}{2}q + \frac{1}{2}\gamma b \cdot H)}{(\frac{1}{2}q \cdot ka \cdot H + \frac{1}{6}ka \cdot H^2 \cdot \gamma b - 2 \cdot c \cdot \sqrt{ka} \cdot H)} \quad (3.29)$$

Keterangan:

$SF$  = Faktor aman.

$L$  = Panjang geotekstil (m).

$H$  = Tinggi lapisan tanah (m).

$\gamma b$  = Berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ ).

$c$  = Kohesi ( $\text{kN/m}^2$ ).

$q$  = Beban merata ( $\text{kN/m}^2$ ).

c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Nilai  $\frac{1}{6}L$  harus lebih besar dari nilai eksentrisitas yang dinyatakan pada Persamaan 3.30 dan Persamaan 3.31 berikut ini.

$$\frac{1}{6}L \geq e \quad (3.30)$$

$$\frac{1}{6}L \geq \frac{(\frac{1}{2}q \cdot ka \cdot H^2 + \frac{1}{6}ka \cdot H^2 \cdot \gamma b - c \cdot \sqrt{ka} \cdot H^2)}{(q \cdot L + \gamma b \cdot H \cdot L)} \quad (3.31)$$

Keterangan:

$e$  = Nilai eksentrisitas tanah (m).

$q$  = Beban merata ( $\text{kN/m}^2$ ).

$K_a$  = Koefisien tanah aktif.

$H$  = Tinggi lapisan tanah (m).

$c$  = Kohesi ( $\text{kN/m}^2$ ).

$L$  = Panjang geotekstil (m).

$\gamma_b$  = Berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Faktor keamanan terhadap kapasitas dukung tanah dinyatakan pada Persamaan 3.32 sampai dengan Persamaan 3.34 berikut ini.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{q_{ult}} \quad (3.32)$$

$$q_{ult} = c \cdot N_c + 0,5 \cdot L \cdot \gamma_b \cdot N_\gamma \quad (3.33)$$

$$q_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot L \cdot \gamma_b \cdot N_\gamma \quad (3.34)$$

2. Stabilitas Internal

a. Panjang Geotekstil *Overlapping*

Panjang geotekstil *overlapping* dapat dinyatakan pada Persamaan 3.35 berikut ini.

$$L_0 = \frac{\sigma_{hc} \times S_v \times SF}{2 \times Z_i \times \gamma_b \times \tan \varphi} \quad (3.35)$$

Keterangan:

$L_0$  = Panjang *overlapping* (m).

$\sigma_{hc}$  = Tegangan ultimit ( $\text{kN/m}^2$ ).

$S_v$  = Jarak tulangan arah vertikal (m).

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

$\gamma_b$  = Berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ ).

$SF$  = Faktor aman.



$\varphi$  = 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 3.36 berikut ini.

$$L_{ef} = \frac{SF \times S_v \times K_a \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \tan \varphi} \geq 0,5m \quad (3.36)$$

Keterangan:

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

$K_a$  = Koefisien tanah aktif .

$S_v$  = Jarak tulangan arah vertikal (m).

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

$\gamma_b$  = Berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ ).

SF = Faktor aman.

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

### 3.6 Program Plaxis

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

Model yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu model Mohr-Coulomb. Model ini merupakan model elastis – plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu E dan  $\mu$  untuk memodelkan elastisitas tanah,  $\varphi$  dan c untuk memodelkan plastisitas tanah, dan  $\psi$  sebagai sudut dilatasi. Model Mohr-Coulomb merupakan

suatu pendekatan “ordo pertama” dari perilaku tanah atau batuan. Model ini disarankan digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi. Setiap lapisan akan dimodelkan dengan sebuah nilai kekakuan rata-rata yang konstan. Karena kekakuan yang konstan, maka perhitungan cenderung cepat dan dapat diperoleh perkiraan awal dari bentuk deformasi dari model. Disamping kelima parameter dari model tersebut, kondisi tegangan awal dari tanah memegang peranan yang penting dalam hampir seluruh masalah deformasi tanah. Tegangan horizontal awal tanah harus ditentukan terlebih dahulu dengan menentukan nilai ko yang tepat (Brinkgreve, 2007).

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

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

1. *Input data*

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

2. *Calculation*

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

3. *Output*

Setelah selesai menganalisis, hasil dari analisis pada tahap *calculation* sebelumnya dapat dilihat pada tahap *output*. Hasil analisis pada tahap *output*

dapat ditampilkan dalam bentuk angka, gambar, dan kurva. *Output* yang dihasilkan dan akan ditinjau dalam penelitian ini berupa total *displacement*, potensi kelongsoran, *safety factor*, dan total *stresses*.

#### 4. *Curve*

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



## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Tinjauan Umum**

Penelitian dilakukan pada Proyek Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 2+400. Penelitian ini meliputi analisis stabilitas lereng dengan kondisi tanah asli menggunakan program *Plaxis*, kemudian didapatkan *output* berupa nilai *Safety Factor*. Parameter analisis menggunakan variasi ketinggian timbunan lereng, sehingga didapatkan tinggi timbunan yang berpotensi mengalami kelongsoran dan akan diperkuat menggunakan perkuatan dengan geosintetik jenis geotekstil woven. Penggunaan perkuatan geotekstil ini akan dilakukan pada lereng dengan  $SF < 1,30$  yang biasa digunakan dalam perencanaan keamanan lereng pada timbunan jalan tol. Dari analisis tersebut, diharapkan dapat ditentukan kondisi mana yang menghasilkan faktor keamanan (*safety factor*) yang paling baik, sehingga pada perencanaan kekuatan stabilitas lereng dapat dijadikan sebagai acuan untuk kondisi tanah yang direkomendasikan.

#### **4.2 Data Penelitian**

Data penelitian ini merupakan data sekunder Proyek Jalan Tol Balikpapan – Samarinda. Data sekunder yang diperlukan meliputi :

1. Data tanah, yang meliputi: data tanah uji lapangan dan data tanah uji laboratorium. Data tanah uji laboratorium yaitu data hasil pengujian di laboratorium yang meliputi : berat volume tanah ( $\gamma$ ), kohesi ( $c$ ), dan sudut geser dalam ( $\phi$ ).
2. Data lapisan tanah.
3. Data lereng.
4. Data Geotekstil.

### 4.3 Tahapan Penelitian

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

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

### 4.4 Analisis Data

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

#### 4.4.1 Parameter Tanah

Dalam analisis stabilitas lereng, parameter tanah merupakan input yang sangat penting, parameter tanah didapatkan berdasarkan data sekunder dari Laporan Evaluasi Hasil Analisis Stabilitas Timbunan Jalan Tol Balikpapan - Samarinda. Adapun input parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4.1 Data Parameter Tanah**

Nama	Satuan	Timbunan Pilihan	Lempung	Lempung Kaku	Batu Bara	Lempung Pasiran
			Sangat Kaku			
Simbol	-	C	C	C	C	C
$\gamma$ unsat	kN/m <sup>3</sup>	16,6	19	19	19	19
$\gamma$ sat	kN/m <sup>3</sup>	17,6	20	20	20	20
Eref	kN/m <sup>2</sup>	25000	18600	15000	15000	7200
v	-	0,3	0,25	0,25	0,25	0,25
c	kN/m <sup>2</sup>	20	336	264	264	108
$\varphi$	°	10	4	3	2	1
Kedalaman	m		(16-25)	(12-16)	(8-12)	(0-8)

(Sumber: PT. Pembangunan Perumahan, 2017)

**4.4.2 Geotekstil**

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

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

Keterangan:

 $F_g$  = Kuat tarik ijin geotekstil (kN/m), dan $\Delta l/l$  = Regangan pada geotekstil

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

**Tabel 4.2 Data Parameter Geotekstil Woven GR-300**

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	Ta	69.34	kN/m
Regangan	E	18	%
Kekakuan Normal	EA	385.222	kN/m

(Sumber: PT. Prima Geotex Indo (2021))

#### 4.4.3 Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Beban yang bekerja pada lereng ialah beban perkerasan, beban lalu lintas, dan beban gempa. Beban lalu lintas dapat dilihat berdasarkan fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 4.3 berikut ini.

**Tabel 4.3 Data Parameter Beban Lalu Lintas**

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

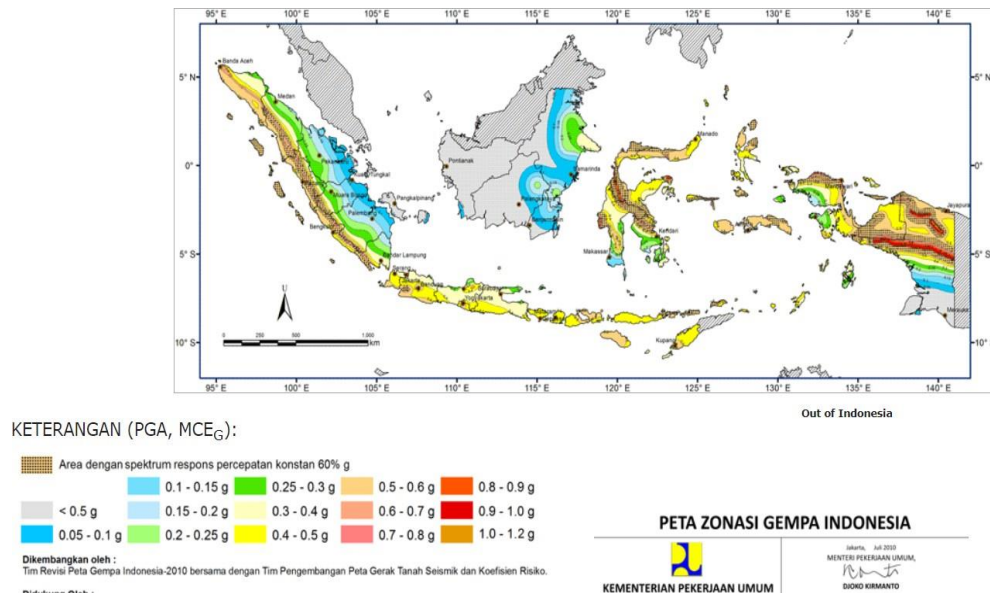
(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

#### 4.4.4 Beban Gempa

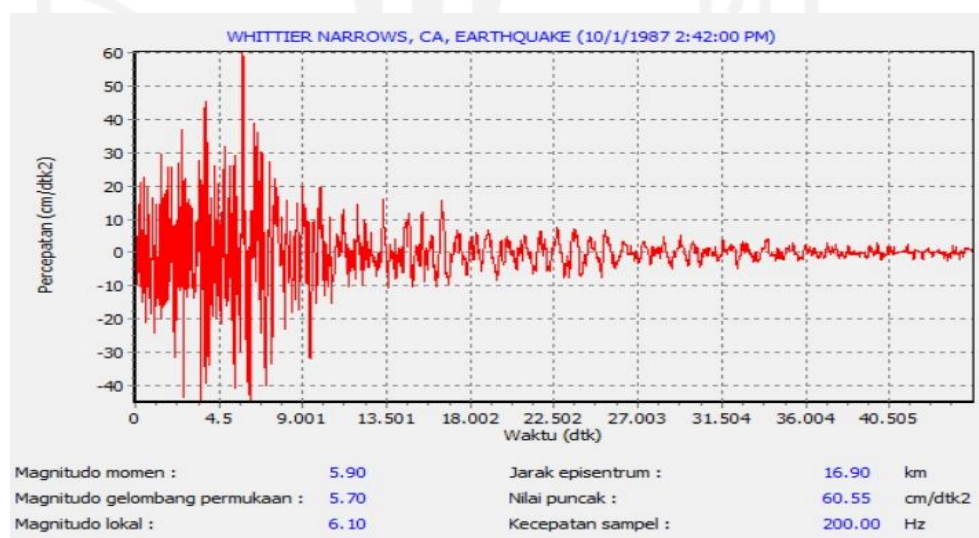
Pulau Kalimantan adalah pulau di Indonesia yang relatif paling aman dari ancaman gempa bumi. Meskipun demikian, faktor beban gempa akan tetap dimasukkan dalam analisis guna memperoleh hasil yang sekomprensif mungkin. Beban gempa nantinya akan dimasukkan dalam kalkulasi pada PLAXIS 8.6. Kalkulasi nantinya dikategorikan menjadi analisis dinamis dikarenakan beban gempa memiliki interval waktu, percepatan, dan sifatnya dinamis. Wilayah Balikpapan memiliki percepatan puncak gempa antara 0,05g – 0,1g. Berdasarkan [rsa.ciptakarya.pu.go.id](http://rsa.ciptakarya.pu.go.id), 2021, maka diambil percepatan gempa sebesar 0,0617, dengan waktu interval yang dimasukkan dalam program plaxis adalah 5,5 s karena dianggap telah melewati waktu puncak. Gambar peta zonasi gempa dan grafik



percepatan gempa dari Whittier Narrow California Indonesia dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berikut ini.



**Gambar 4.1 Peta Zonasi Gempa di Indonesia**  
(Sumber: rsa.ciptakarya.pu.go.id, 2021)



**Gambar 4.2 Hubungan anatar Percepatan Gempa dan Waktu Gempa**  
(Sumber: usgs.gov, 2018)

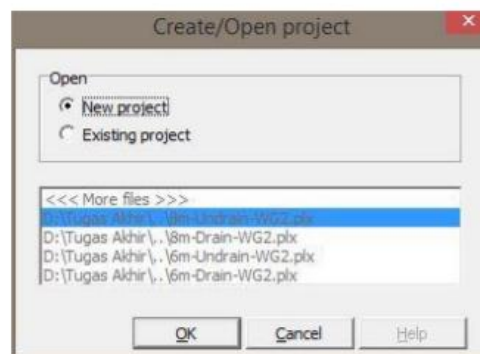
## 4.5 Pengoperasian Program *Plaxis*

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

### 4.5.1 *Plaxis Input*

#### 1. Buka Program *Plaxis*

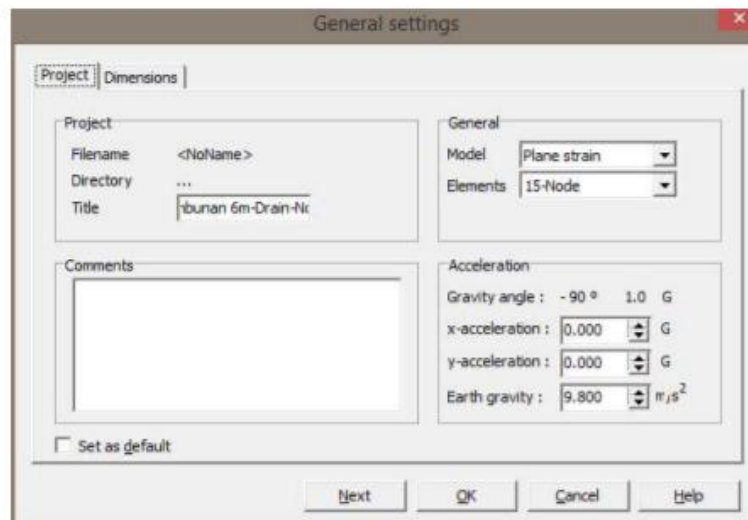
Operasikan aplikasi *Plaxis* dengan klik-ganda pada *icon* program *Plaxis input*. Kemudian akan muncul kotak dengan pilihan *create/open project*, lalu pilih *new project* dan klik OK untuk membuat pekerjaan baru seperti pada Gambar 4.3 berikut ini.



**Gambar 4.3 Kotak Dialog Create/Open Project**

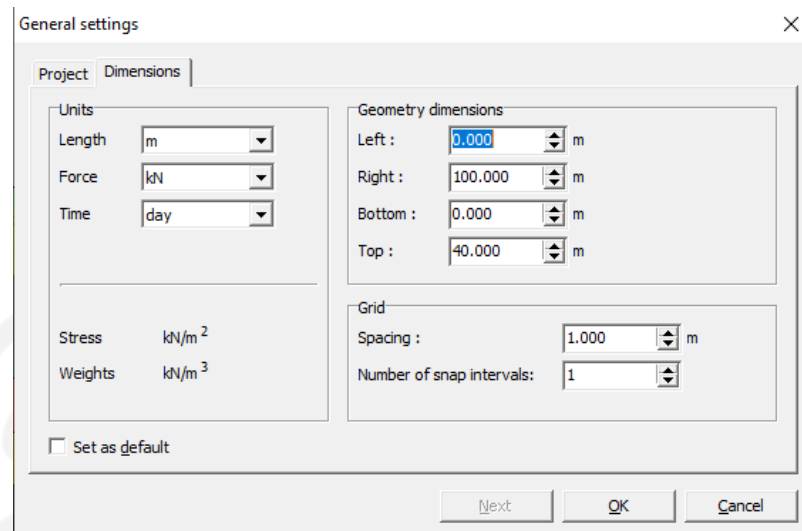
#### 2. *General Setting*

Pada pengaturan global (*general setting*) terdapat dua tab dialog, yaitu tab *project* dan *dimensions*. Pilihan lembar tab *project*, masukkan nama proyek yang akan dimodelkan pada kotak dialog *title*. Kemudian pilih analisis model *plane strain* (regangan bidang) pada kotak *general* dan pilih jenis elemen dasar *15-Node* untuk analisis dengan menghasilkan tegangan dan beban runtuh yang akurat seperti pada Gambar 4.4 berikut



**Gambar 4.4 Tab Project dari Jendela General Setting**

Dalam pilihan tab *geometry dimensions*, gunakan satuan pra-pilih dalam kotak *unit* ( $Lenght = m$ ,  $Force = kN$ ,  $Time = day$ ). Dalam kotak *geometry dimensions*, ukuran dari bidang gambar harus diinput, saat menginput koordinat teratas dan terbawah dari geometri yang akan dibuat. *Plaxis* akan menambahkan sebuah margin kecil sehingga geometri akan berada pada bidang gambar. Kemudian masukkan 0,0; 100,0; 0,0; 40,0 masing-masing pada kotak isian *left*, *right*, *bottom*, dan *top* dalam kotak dialog. Kotak *Grid* berisikan nilai-nilai untuk mengatu spasi *grid*. *Grid* ini akan membentuk matriks titik-titik yang digunakan untuk memasukkan penggambaran tepat pada *grid* yang telah ada saat pembuatan model. Jarak antara titik ditentukan oleh nilai spasi. Kemudian untuk *specing* masukkan nilai 1,0 dan 1 untuk *number of intervals* seperti pada Gambar 4.5 berikut.



**Gambar 4.5 Tab Dimension dari Jendela General Setting**

### 3. Pemodelan Geometri

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

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

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

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

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

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

### 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**

Mohr-Coulomb - Timbunan

General Parameters Interfaces

Stiffness

$E_{ref}$  : 2.500E+04 kN/m<sup>2</sup>

$\nu$  (nu) : 0.300

Strength

$c_{ref}$  : 20.000 kN/m<sup>2</sup>

$\phi$  (phi) : 10.000 °

$\psi$  (psi) : 0.000 °

Alternatives

$G_{ref}$  : 9614.645 kN/m<sup>2</sup>

$E_{oed}$  : 3.368E+04 kN/m<sup>2</sup>

Velocities

$V_s$  : 75.340 m/s

$V_p$  : 141.000 m/s

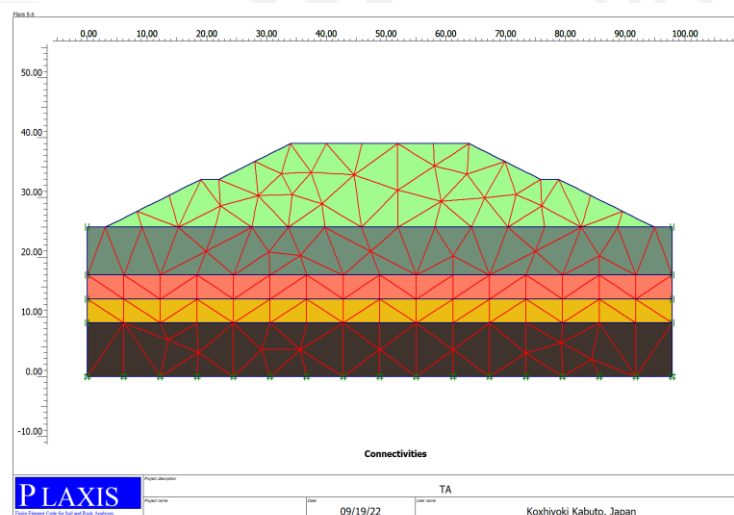
Advanced...

SoilTest Next OK Cancel

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

### 5. Mesh Generation


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




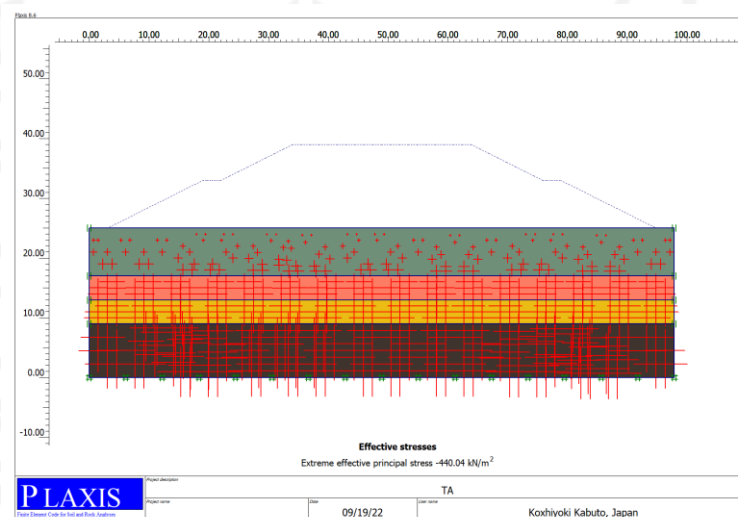
**Gambar 4.8** Jaringan Elemen Hingga (*Meshing*)

## 6. *Intial Condition*

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

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

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



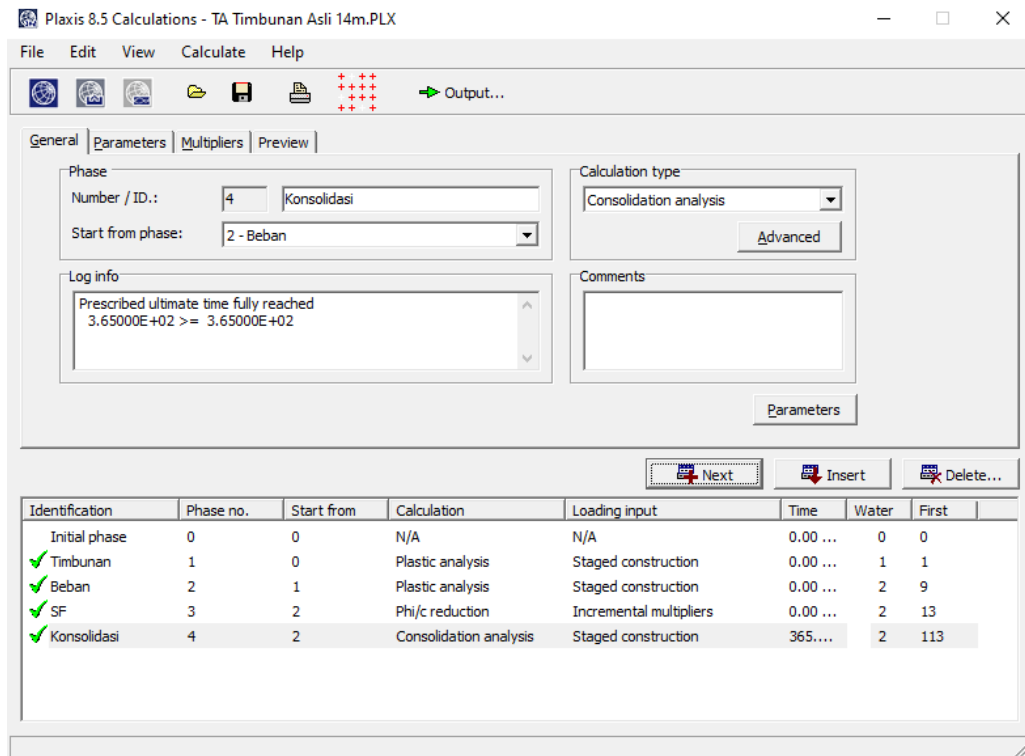
**Gambar 4.9 Tegangan Awal Pada Geometri**

d.  *Calculate* Kemudian klik *Calculate*.

### 4.5.2 *Plaxis Calculation*

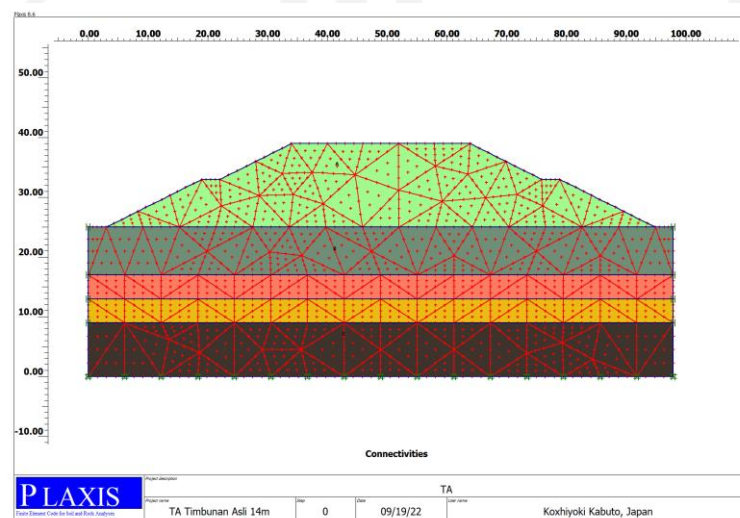
Pada bagian *calculation* (Gambar 4.10) terdapat empat lembar tab yaitu *generate*, *parameters*, *multipliers* dan *preview*. Dalam lembar tab *general*, pada *calculation type* dipilih *plastic analysis* yang digunakan untuk mengetahui besar *displacement* dari kondisi yang ditinjau, dipilih *phi/c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





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

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



**Gambar 4.11 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau**

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

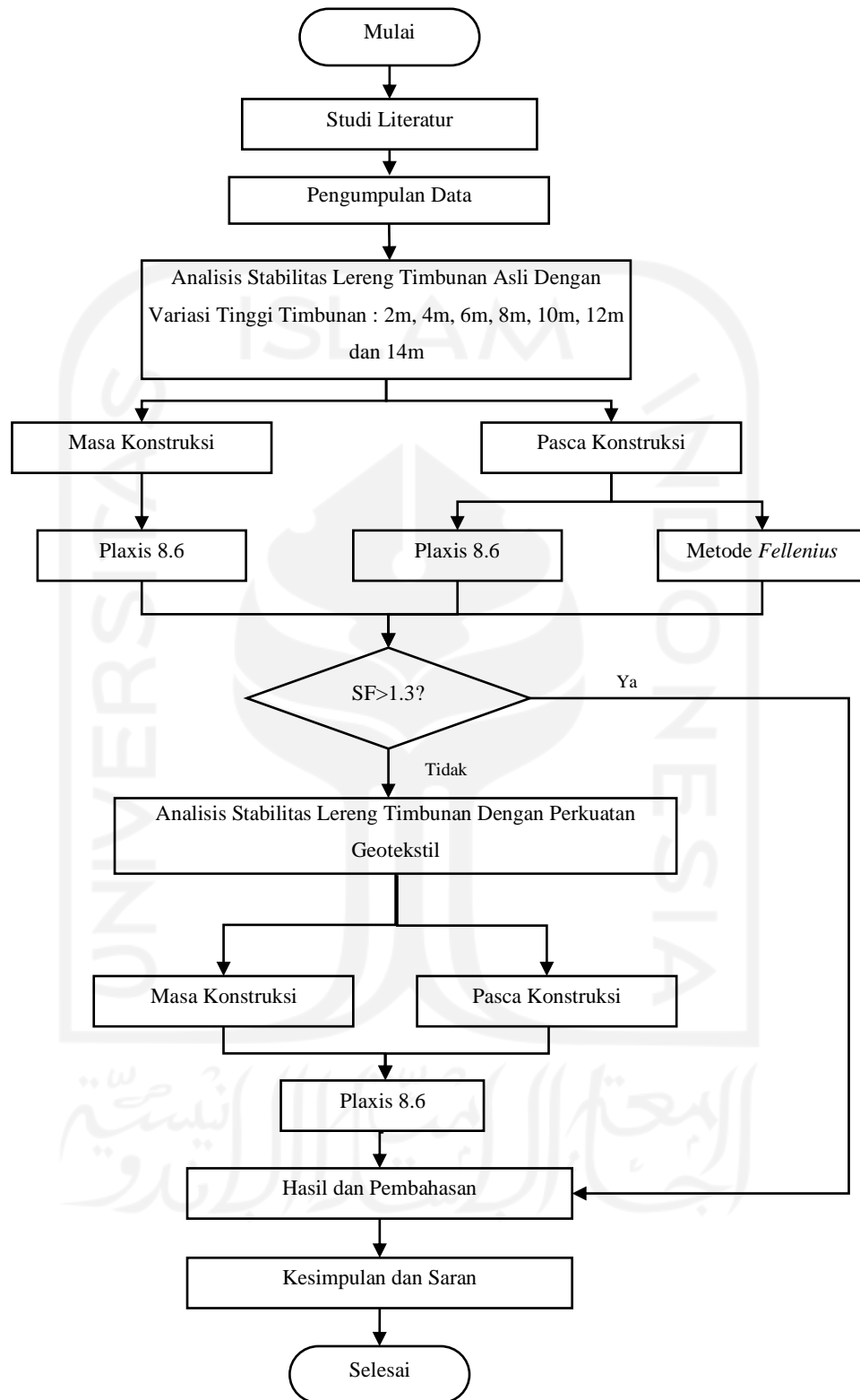
### 4.5.3 *Plaxis Output*

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

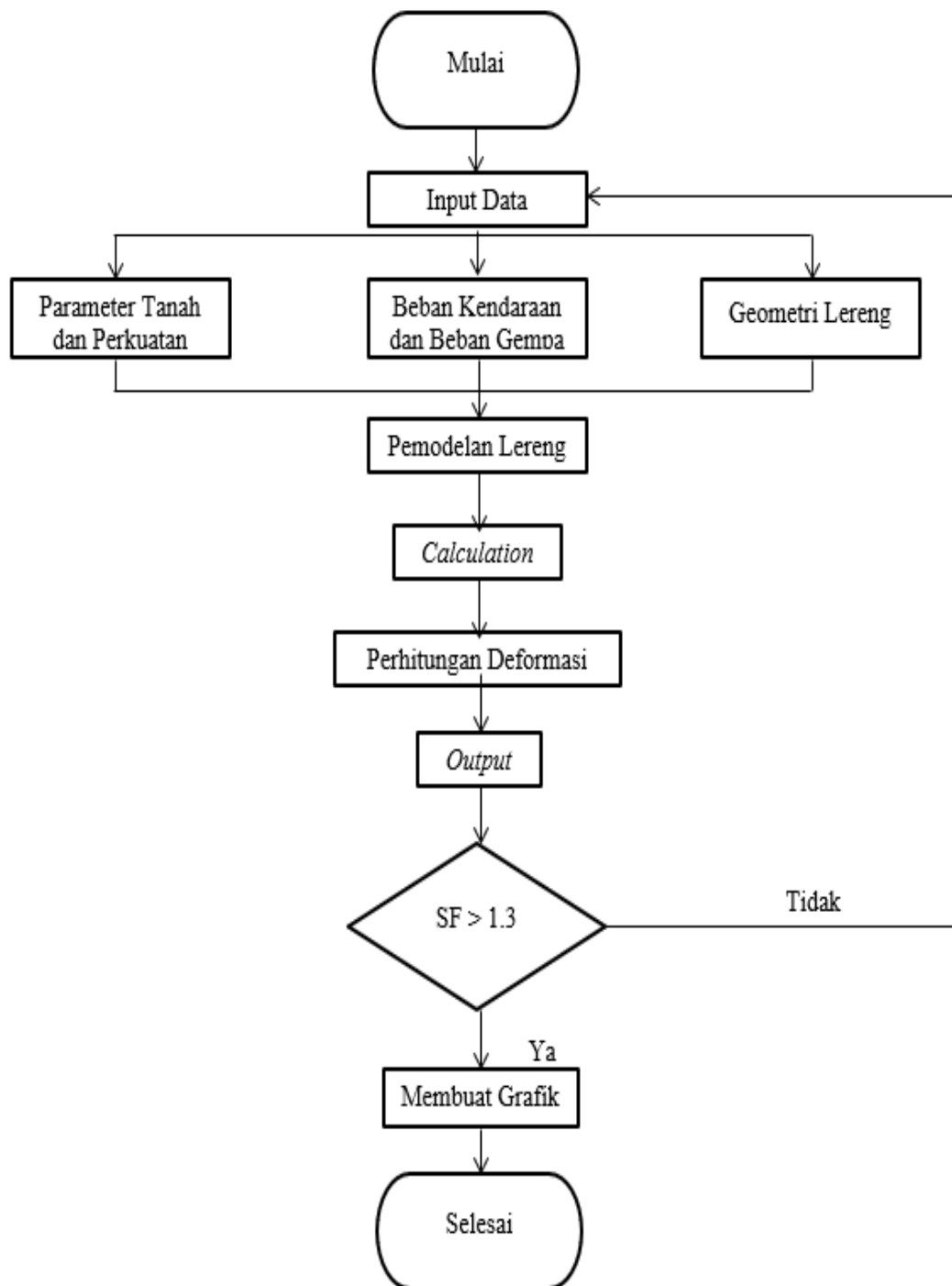
### 4.6 **Bagan Alir Penelitian**

Adapun Bagan Alir Penelitian atau *flowchart* penelitian dan Bagan Alir Pemodelan Lereng dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan 4.13 berikut ini.





**Gambar 4.12 Bagan Alir Penelitian**



**Gambar 4.13** Bagan Alir Pemodelan Lereng

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Gambaran Umum Analisis**

Pada dasarnya proyek pembangunan jalan tol Balikpapan – Samarinda terdapat beberapa lokasi yang memerlukan adanya pekerjaan timbunan agar elevasi rencana jalan dapat sesuai dengan yang direncanakan. Dengan timbunan yang relatif tinggi, sehingga diperlukan adanya suatu analisis terhadap stabilitas lereng tersebut. Sehingga dapat mengetahui kemungkinan lokasi, model kelongsoran yang terjadi, serta cara penanganannya. Jalan tol Balikpapan – Samarinda Sta. 2+400 merupakan tempat studi kasus yang akan dilakukan penelitian kali ini.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pada ketinggian berapa tanah timbunan tersebut mengalami kelongsoran atau keruntuhan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan beberapa variasi tinggi tanah timbunan. Tinggi tanah timbunan bervariasi mulai dari 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, 12m dan 14m. Dengan bervariasinya tinggi tanah timbunan, diharapkan dapat diketahui hingga ketinggian berapa kekuatan tanah asli dapat mendukung beban tanah timbunan di atasnya.

Analisis dilakukan dengan memperhatikan dua kondisi, yaitu kondisi pada masa konstruksi dan kondisi paska konstruksi. pada kondisi masa konstruksi terjadi pada saat sebelum diberlakukannya jalan oleh kendaraan dengan beban yang bekerja hanya beban perkerasan jalan serta faktor beban gempa yang terjadi. Sedangkan pada kondisi paska konstruksi terjadi setelah struktur jalan dilalui oleh kendaraan dengan beban yang bekerja berupa beban perkerasan dan beban lalu lintas serta faktor beban gempa yang terjadi.

Pada penelitian ini untuk ketinggian tanah timbunan yang mengalami keruntuhan atau kelongsoran dimana nilai angka aman (SF) tidak memenuhi persyaratan untuk lereng stabil, maka dilakukan suatu perkuatan dengan menggunakan geotekstil. Dengan menggunakan perkuatan geotekstil diharapkan mampu menahan gaya-gaya yang mendorong atau yang menyebabkan kelongsoran.

## 5.2 Data Analisis Program *Plaxis 8.6*

Dalam melakukan analisis diperlukan data-data pendukung yang diperlukan untuk penyelesaiannya baik data dari lapangan atau data dari laboratorium. Pada penelitian ini data yang digunakan meliputi data tanah, beban-beban yang bekerja, data parameter geotekstil serta geometri lereng.

### 1 Data Tanah

Dalam perencanaan, data tanah didapatkan berdasarkan data sekunder dari Laporan Evaluasi Hasil Analisis Stabilitas Timbunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5.1 Data Parameter Tanah**

Nama	Satuan	Jenis Tanah				
		Timbunan Pilihan	Lempung Sangat Kaku	Lempung Kaku	Batu Bara	Lempung Pasiran
$\gamma$ unsat	kN/m <sup>3</sup>	16,6	19	19	19	19
$\gamma$ sat	kN/m <sup>3</sup>	17,6	20	20	20	20
Eref	kN/m <sup>2</sup>	25000	18600	15000	15000	7200
v	-	0,3	0,25	0,25	0,25	0,25
c	kN/m <sup>2</sup>	20	336	264	264	108
$\varphi$	°	10	4	3	2	1
Kedalaman	m		(16-25)	(12-16)	(8-12)	(0-8)

(Sumber: PT. Pembangunan Perumahan, 2017)

### 2 Data Beban

Dalam perhitungan, beban-beban yang bekerja pada lereng meliputi beban struktur perkerasan dan beban lalu lintas yang bekerja di atas. Nilai beban struktur perkerasan sebesar 10 kN/m<sup>2</sup> dan untuk nilai beban lalu lintas sebesar 15 kN/m<sup>2</sup>. Besaran nilai tersebut sesuai dengan peraturan dari Departemen Pekerjaan Umum tahun 2009 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan yang dapat dilihat pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2 Nilai Beban Lalu Lintas**

<b>Fungsi</b>	<b>Sistem Jaringan</b>	<b>Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR)</b>	<b>Beban Lalu Lintas (kN/m<sup>2</sup>)</b>
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)

Berdasarkan tabel di atas, pada kondisi masa konstruksi dimana beban yang bekerja hanya beban perkerasan jalan yaitu sebesar 10 kN/m<sup>2</sup>. Sedangkan pada kondisi paska konstruksi beban yang bekerja berupa beban perkerasan dan beban lalu lintas sebesar 25 kN/m<sup>2</sup>.

### 3 Beban Gempa

Pulau Kalimantan adalah pulau di Indonesia yang relatif paling aman dari ancaman gempa bumi. Meskipun demikian, faktor beban gempa akan tetap dimasukkan dalam analisis guna memperoleh hasil yang sekomprensif mungkin. Beban gempa nantinya akan dimasukkan dalam kalkulasi pada PLAXIS 8.6. Kalkulasi nantinya dikategorikan menjadi analisis dinamis dikarenakan beban gempa memiliki interval waktu, percepatan, dan sifatnya dinamis. Wilayah Balikpapan memiliki percepatan puncak gempa antara 0,05g – 0,1g. Berdasarkan [rsa.ciptakarya.pu.go.id](http://rsa.ciptakarya.pu.go.id), 2021, maka diambil percepatan gempa sebesar 0,0617, dengan waktu interval yang dimasukkan dalam program plaxis adalah 5,5 s karena dianggap telah melewati waktu puncak. Gambar peta zonasi gempa dan grafik percepatan gempa dari Whitter Narrow California Indonesia dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



#### 4 Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan geotekstil jenis woven atau geotekstil jenis anyaman dari PT. Prima Geotex Indo. Adapun data parameter geotekstil yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

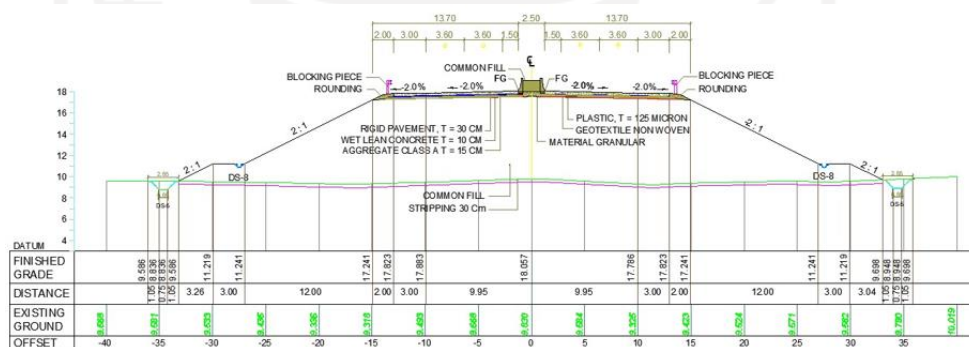
**Tabel 5.3 Data Parameter Geotekstil Woven GR-300**

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	Ta	69.34	kN/m
Regangan	E	18	%
Kekakuan Normal	EA	385.222	kN/m

(Sumber: PT. Prima Geotex Indo, 2021)

#### 5 Geometri Lereng

Geometri lereng eksisting jalan tol Balikpapan – Samarinda Sta. 2+400 dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



**Gambar 5.1 Penampang Melintang Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta. 2+400.**

#### 5.3 Analisis Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan

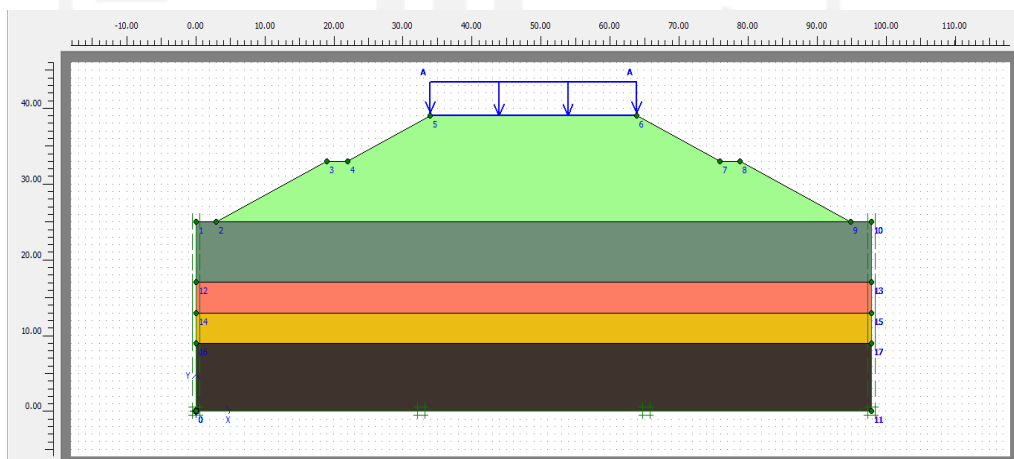
Analisis yang akan ditampilkan adalah pada lereng timbunan dengan tinggi 14 m. Sedangkan untuk hasil analisis pada timbunan 2 m, 4 m, 6 m, 8 m, 10 m, dan 12 m dapat dilihat pada Lampiran 4 – Lampiran 9. Analisis dilakukan dengan menggunakan program *Plaxis* 8.6 dan perhitungan manual menggunakan metode *Fellinius*. Hal itu dilakukan sebagai perbandingan hasil analisis antara perhitungan manual dan dengan bantuan program.

### 5.3.1 Analisis Lereng Menggunakan Program *Plaxis*

Pada analisis lereng menggunakan program *Plaxis* dilakukan dengan beberapa tahapan, mulai dari input data, perhitungan, keluaran hasil analisis dan pembuatan grafik. Pada tahap *input* data seperti pemodelan lereng dilakukan sesuai dengan geometri potongan melintang jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta. 2+400. Dengan titik-titik koordinat yang dimasukkan pada tahapan pemodelan seperti pada Tabel 5.4, pemodelan lereng pada program *Plaxis* dapat dilihat pada Gambar 5.2.

**Tabel 5.4 Titik Koordinat Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan**

No	X (m)	Y (m)	No	X (m)	Y (m)
1	0	0	12	97.9	0
2	0	25	13	0	0
3	3	25	14	3	25
4	19	33	15	94.9	25
5	22	33	16	0	17
6	34	39	17	97.9	17
7	63.9	39	18	0	13
8	75.9	33	19	97.9	13
9	78.9	33	20	0	9
10	94.9	25	21	97.9	9
11	97.9	25			



**Gambar 5.2 Pemodelan Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan**

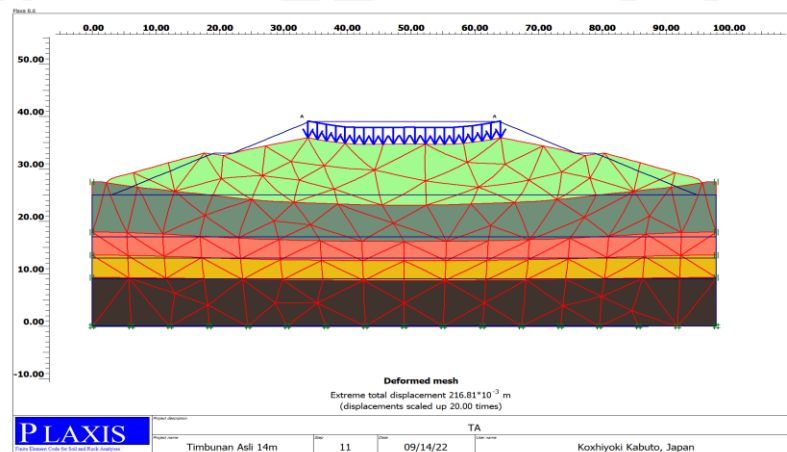
Perhitungan dilakukan dengan dua kondisi yaitu pada kondisi masa konstruksi dan pada kondisi paska konstruksi.

## 1. Masa Konstruksi

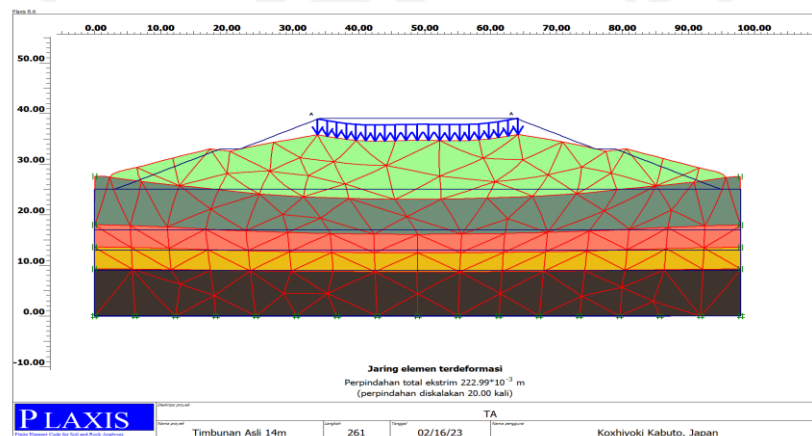
Pada kondisi masa konstruksi dimana pada kondisi ini tanah bersifat *drained*, yang berarti air mampu keluar masuk tanah pada waktu tertentu. Analisis ini akan ditambahkan dengan beban struktur dan beban gempa Hasil analisis lereng dengan menggunakan program *Plaxis* adalah sebagai berikut.

### a. *Deformed Mesh*

Hasil analisis terhadap *deformed mesh* akibat beban struktur dan beban gempa pada lereng timbunan 14 m tanpa perkuatan dengan kondisi masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan 5.4 berikut.



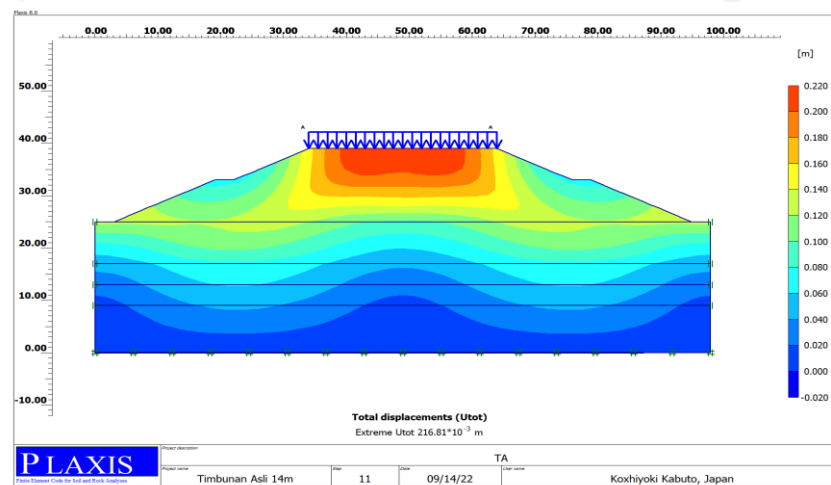
**Gambar 5.3 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



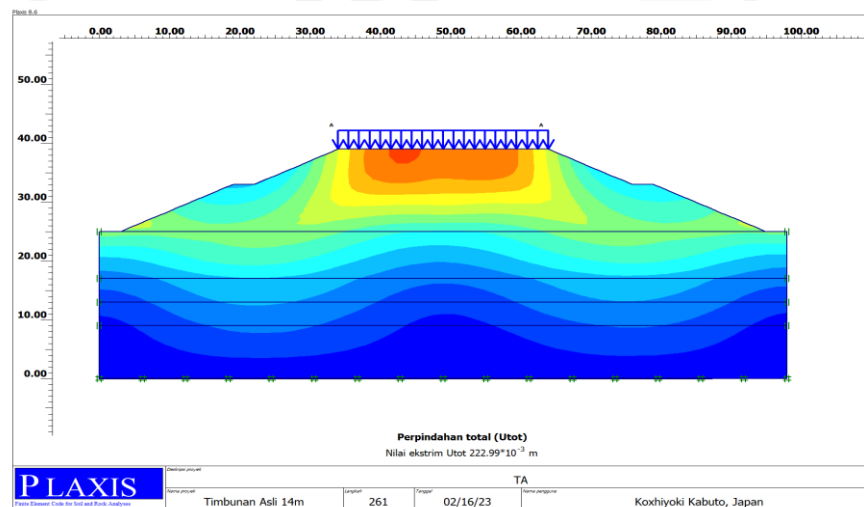
**Gambar 5.4 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

*b. Total Displacement*

Besaran nilai *displacement* yang terjadi akibat terdapat timbunan dan beban di atasnya sebesar 0,216 m. Sedangkan nilai *displacement* yang terjadi akibat terdapat timbunan, beban struktur dan beban gempa di atasnya sebesar 0,223 m. Pada Gambar 5.5 dan 5.6 menunjukkan bahwa bagian yang mengalami *displacement* terdapat pada tengah timbunan yang ditandai dengan warna merah.



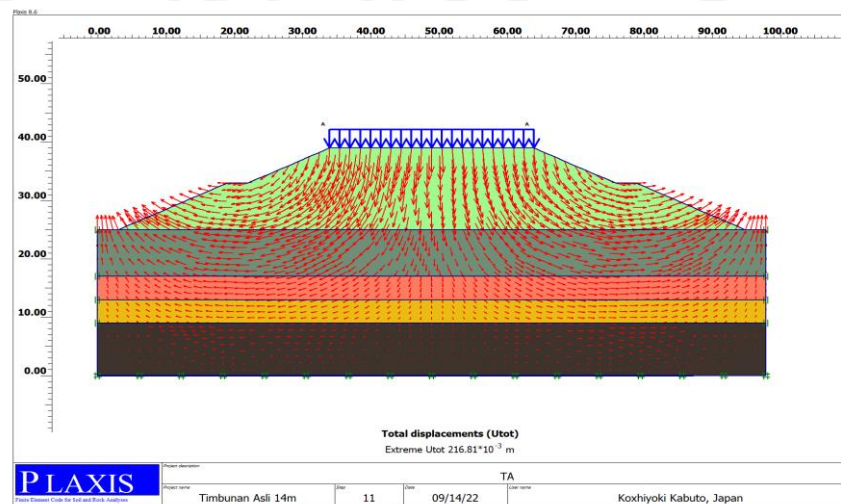
**Gambar 5.5 Total Displacement Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



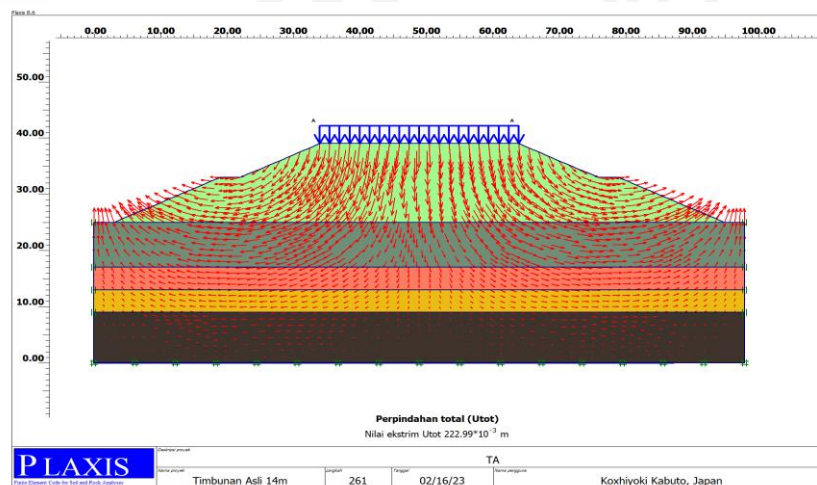
**Gambar 5.6 Total Displacement Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

### c. Pergerakan Tanah

Pergerakan tanah yang terjadi akibat terdapat timbunan dan beban di atasnya menunjukkan pergerakan tanah secara vertikal pada sisi tengah timbunan. Sedangkan pada bagian tepi timbunan arah pergerakan tanah bergerak menuju kaki lereng, arah pergerakan timbunan asli masa konstruksi akibat beban struktur dan beban gempa seperti pada Gambar 5.7 dan 5.8 berikut.



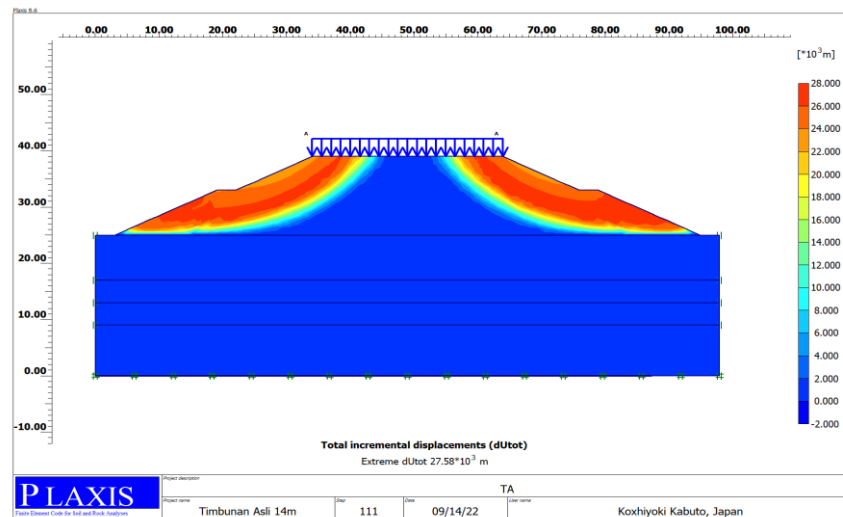
**Gambar 5.7 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



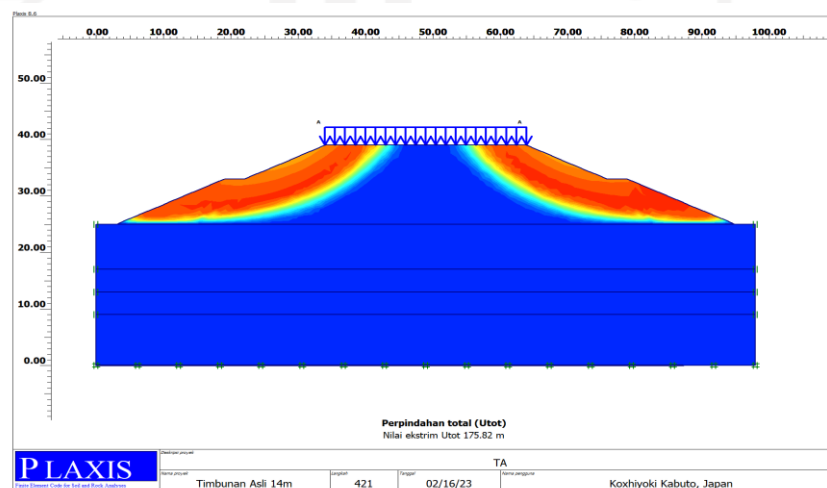
**Gambar 5.8 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

d. Bidang Longsor

Dengan adanya timbunan, beban struktur dan beban gempa yang bekerja maka memungkinkan terjadinya potensi kelongsoran. Potensi kelongsoran pada lereng timbunan 14 m terjadi pada tanah timbunan, yaitu pada bagian tepi lereng bergerak hingga kaki lereng seperti pada Gambar 5.9 dan 5.10 berikut.



**Gambar 5.9 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**

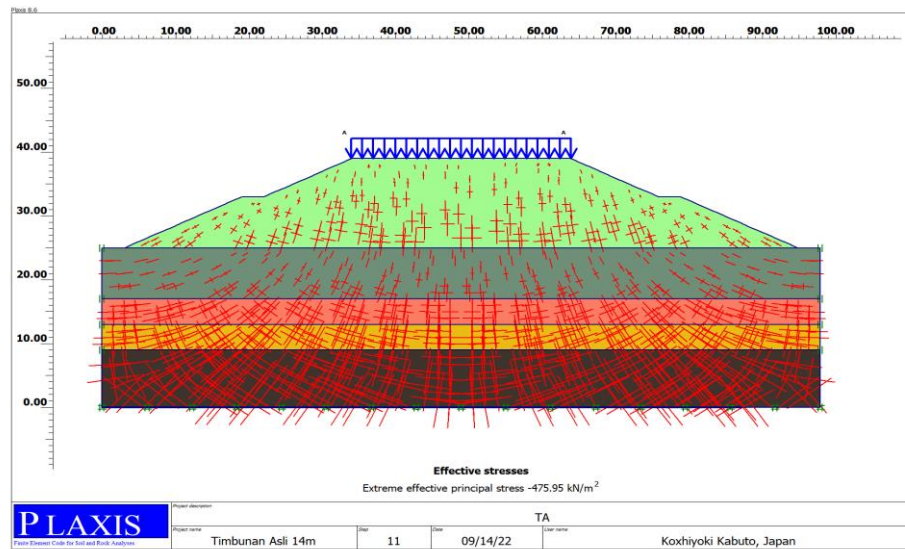


**Gambar 5.10 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

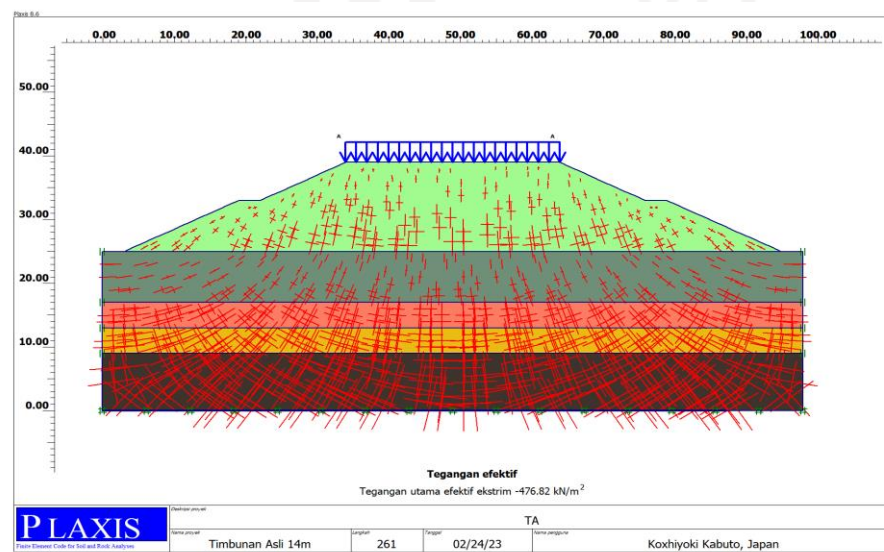


e. *Effective stresses*

Nilai *effective stresses* yang terjadi akibat lereng timbunan 14 m dan beban di atas sebesar  $-475,95 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan nilai *effective stresses* akibat beban struktur dan beban gempa sebesar  $-476,82 \text{ kN/m}^2$  tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan 5.12.



**Gambar 5.11 *Effective stresses* Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**

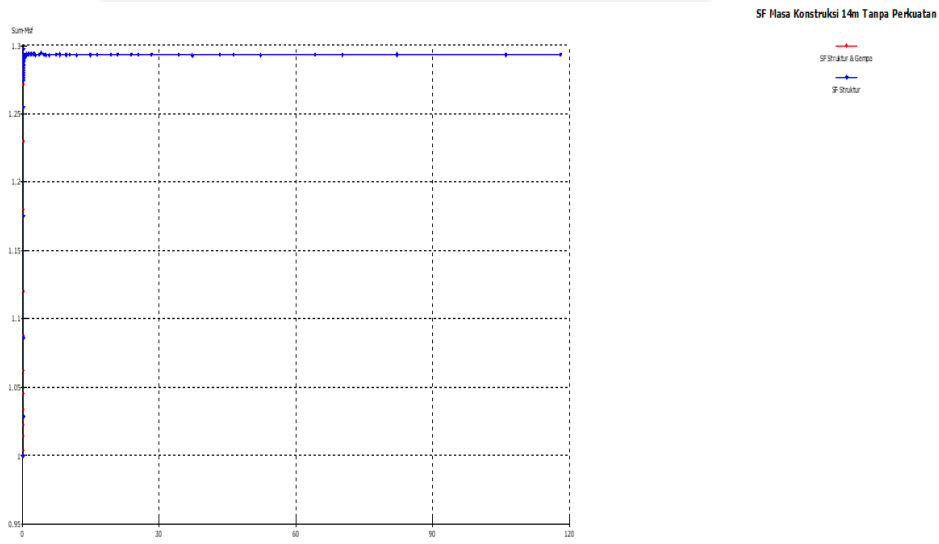


**Gambar 5.12 *Effective stresses* Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**



f. Angka Aman

Nilai angka aman yang terjadi akibat timbunan 14 m dan beban struktur di atasnya sebesar 1,293. Sedangkan nilai angka aman akibat beban struktur jalan dan beban gempa sebesar 1,291. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



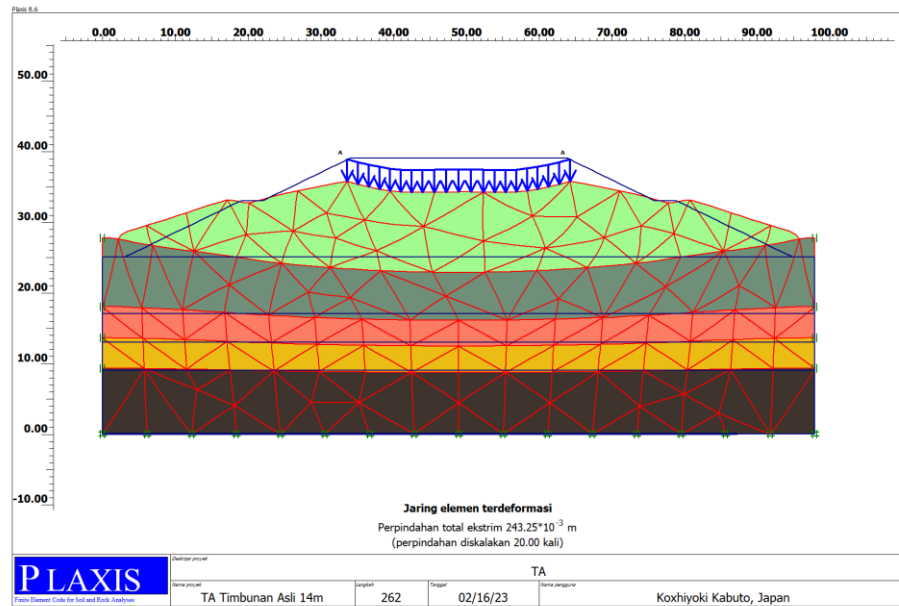
**Gambar 5.13 Kurva SF Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi**

2. Paska Konstruksi

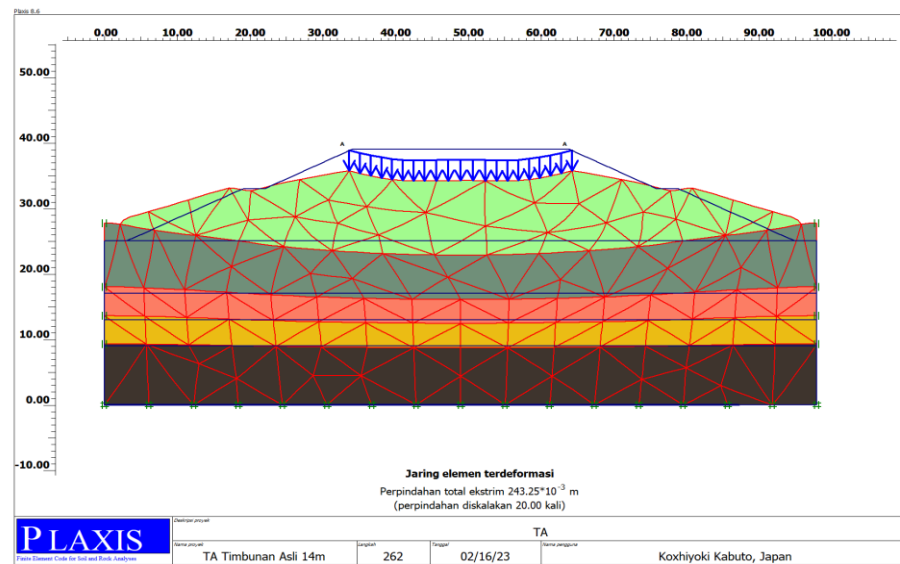
Pada kondisi paska konstruksi dimana pada kondisi ini tanah bersifat *undrained*, yang berarti air sudah tidak mampu keluar masuk tanah pada waktu tertentu. Hasil analisis lereng dengan menggunakan program *Plaxis* adalah sebagai berikut.

a. *Deformed Mesh*

Hasil analisis terhadap *deformed mesh* akibat beban lalu lintas dan beban gempa pada lereng timbunan 14 m dengan kondisi paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.14 dan 5.15 berikut.



**Gambar 5.14 Deformed Mesh Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**

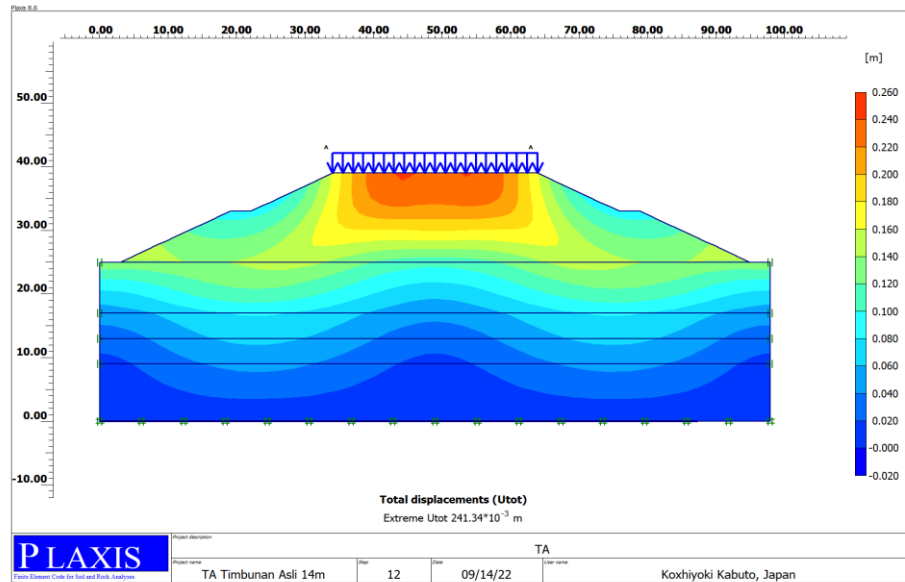


**Gambar 5.15 Deformed Mesh Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

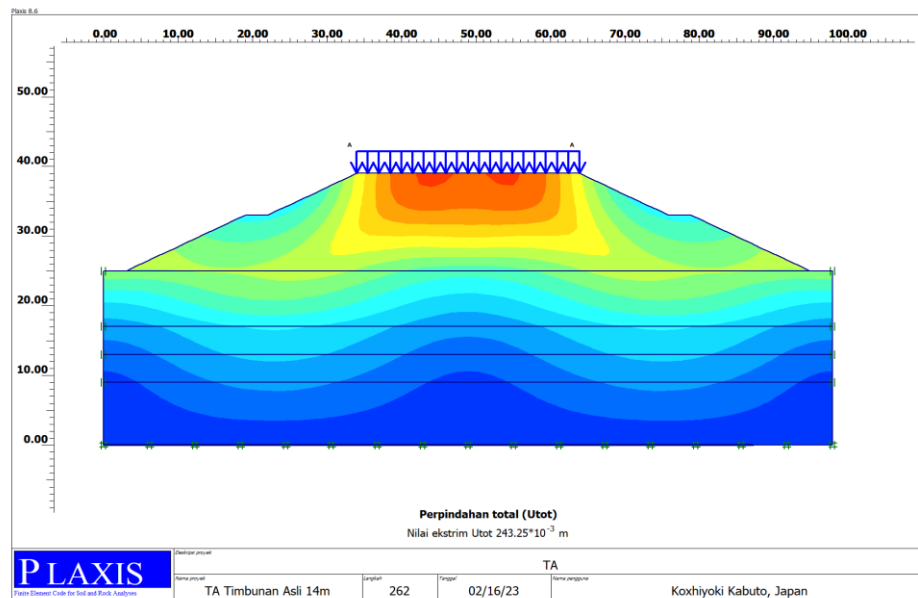
b. *Total Displacement*

Besaran nilai *displacement* yang terjadi akibat terdapat timbunan dan beban di atasnya sebesar 0,241 m. Sedangkan nilai *displacement* yang terjadi akibat terdapat timbunan, beban lalu lintas dan beban gempa di atasnya

sebesar 0,243 m. Pada Gambar 5.16 dan 5.17 menunjukkan bahwa bagian yang mengalami *displacement* terdapat pada tengah timbunan yang ditandai dengan warna merah.



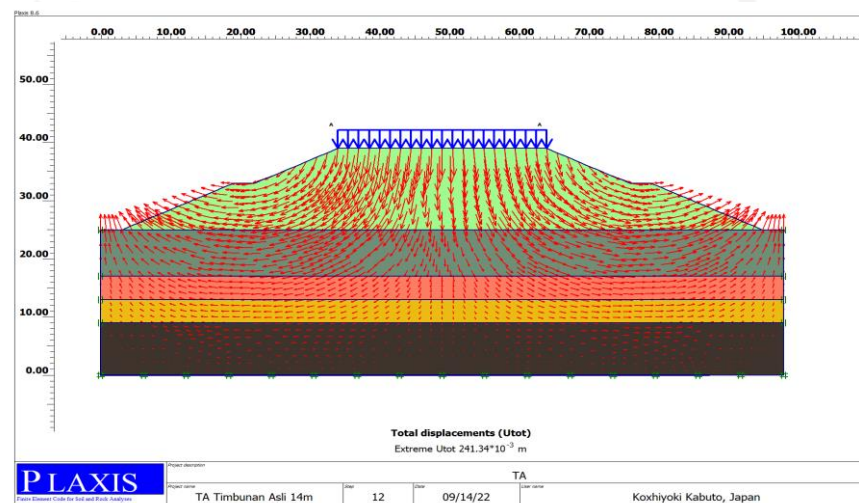
**Gambar 5.16 Total Displacement Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



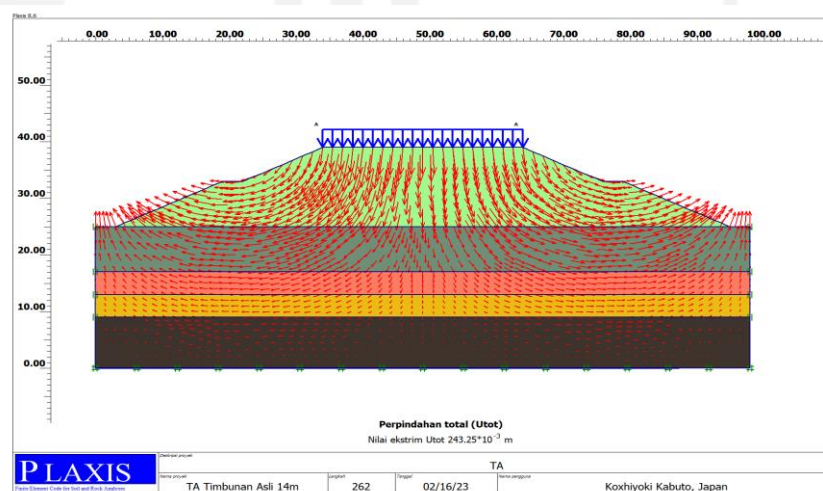
**Gambar 5.17 Total Displacement Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

### c. Pergerakan Tanah

Pergerakan tanah yang terjadi akibat terdapat timbunan dan beban di atasnya menunjukkan pergerakan tanah secara vertikal pada sisi tenggan timbunan. Sedangkan pada bagian tepi timbunan arah pergerakan tanah bergerak menuju kaki lereng, arah pergerakan timbunan asli paska konstruksi akibat beban struktur dan beban gempa seperti pada Gambar 5.18 dan 5.19 berikut.



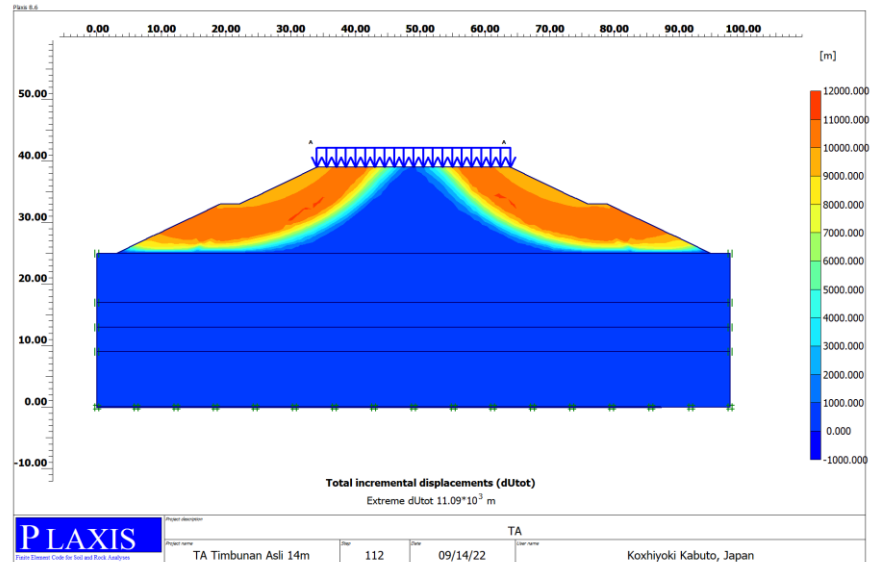
**Gambar 5.18 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



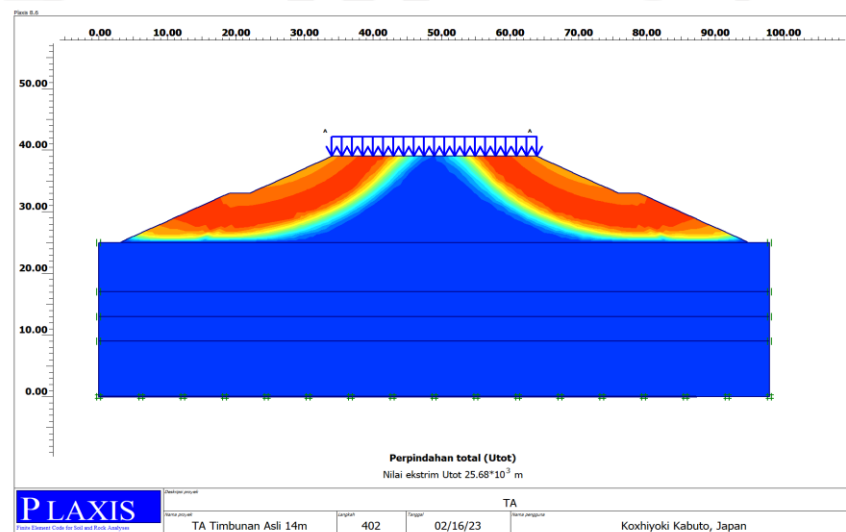
**Gambar 5.19 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

d. Bidang Longsor

Dengan adanya timbunan dan beban yang bekerja maka memungkinkan terjadinya potensi kelongsoran. Potensi kelongsoran pada lereng timbunan 14 m terjadi pada tanah timbunan, yaitu pada bagian tepi lereng bergerak hingga kaki lereng seperti pada Gambar 5.20 dan 5.21 berikut.



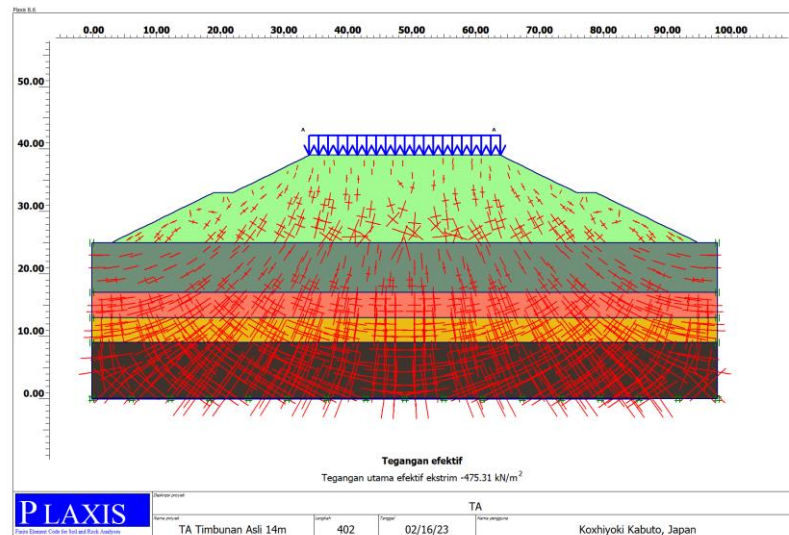
**Gambar 5.20 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstuksi Akibat Beban Lalu Lintas**



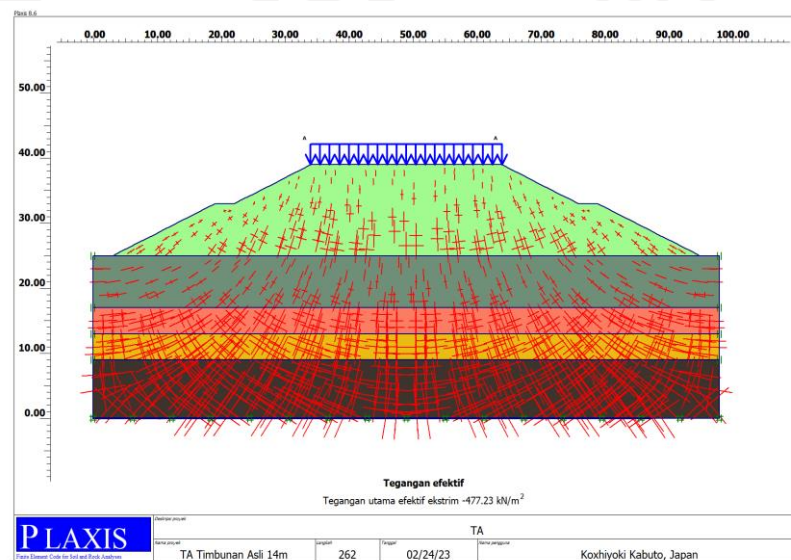
**Gambar 5.21 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstuksi Akibat Beban lalu Lintas dan Beban Gempa**

e. *Effective stresses*

Nilai *effective stresses* yang terjadi akibat lereng timbunan 14 m dan beban di atas sebesar  $-475,31 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan nilai *effective stresses* akibat beban lalu lintas dan beban gempa sebesar  $-477,23 \text{ kN/m}^2$  tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan 5.23.



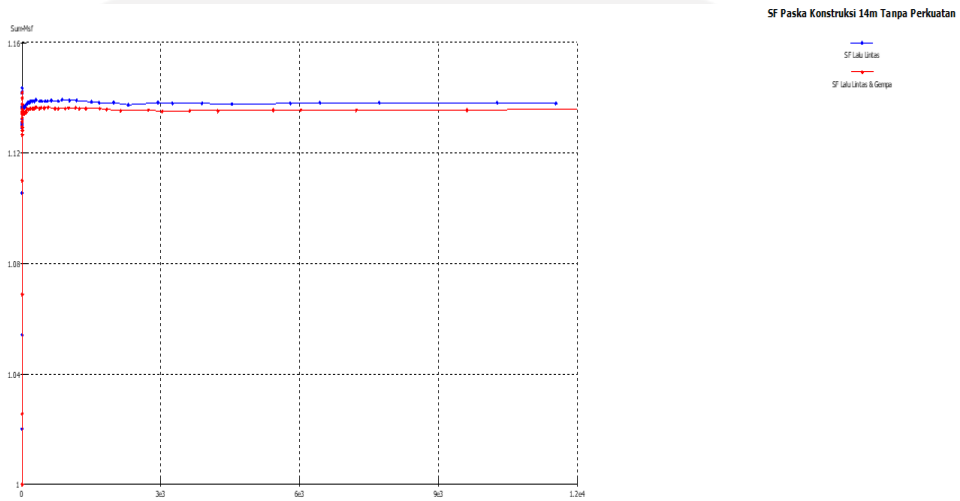
**Gambar 5.22 *Effective stresses* Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



**Gambar 5.23 *Effective stresses* Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

## f. Angka Aman

Nilai angka aman yang terjadi akibat timbunan 14 m dan beban lalu lintas di atasnya sebesar 1,138. Sedangkan nilai angka aman yang terjadi pada lereng timbunan 14 m akibat beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 1,136. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



**Gambar 5.24 Kurva SF Lereng Timbunan 14 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi**

## 3. Perbandingan Hasil Angka Aman dan Penurunan Tanah

Hasil perbandingan nilai angka aman pada lereng tanpa perkuatan dengan tinggi timbunan variasi pada kondisi masa konstruksi dan paska konstruksi dapat dilihat pada Tabel 5.5.

**Tabel 5.5 Hasil Nilai Angka Aman Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan**

No	Timbunan	Nilai Angka Aman			
		Masa Konstruksi		Paska Konstruksi	
		Beban Struktur	Beban Struktur & Gempa	Beban Lalu Lintas	Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa
1	Lereng Timbunan 2m	4,247	4,235	2,641	2,626
2	Lereng Timbunan 4m	2,720	2,709	1,940	1,919
3	Lereng Timbunan 6m	2,052	2,048	1,556	1,552



**Lanjutan Tabel 5.5 Hasil Nilai Angka Aman Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan**

4	Lereng Timbunan 8m	1,797	1,796	1,404	1,398
5	Lereng Timbunan 10m	1,601	1,599	1,334	1,331
6	Lereng Timbunan 12m	1,441	1,439	1,225	1,223
7	Lereng Timbunan 14m	1,293	1,291	1,138	1,136

Hasil nilai angka aman yang ditunjukkan pada Tabel 5.5 menunjukkan bahwa dari tinggi timbunan 2 m hingga 10 m sudah mencapai nilai angka aman (SF) yang diijinkan yaitu sebesar 1,3. Dengan begitu tinggi timbunan lereng eksisting yaitu 8 m dinilai dalam keadaan stabil, pada kondisi masa konstruksi nilai angka aman dengan beban struktur sebesar 1,797 serta nilai angka aman dengan beban struktur dan gempa sebesar 1,796. Pada kondisi paska konstruksi nilai angka aman dengan beban lalu lintas sebesar 1,404 serta nilai angka aman dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 1,398. Sedangkan pada kondisi paska konstruksi tinggi timbunan 12 m dan 14 m belum mencapai nilai angka aman yang diijinkan. Oleh karena itu tinggi timbunan 12 m dan 14 m perlu dilakukan perkuatan. Sedangkan untuk hasil penurunan tanah pada setiap ketinggian timbunan dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

**Tabel 5.6 Hasil Penurunan Tanah Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan**

No	Timbunan	Penurunan Tanah (m)			
		Masa Konstruksi		Paska Konstruksi	
		Beban Struktur	Beban Struktur & Gempa	Beban Lalu Lintas	Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa
1	Lereng Timbunan 2m	0,026	0,028	0,036	0,038
2	Lereng Timbunan 4m	0,049	0,050	0,061	0,062
3	Lereng Timbunan 6m	0,076	0,078	0,090	0,092

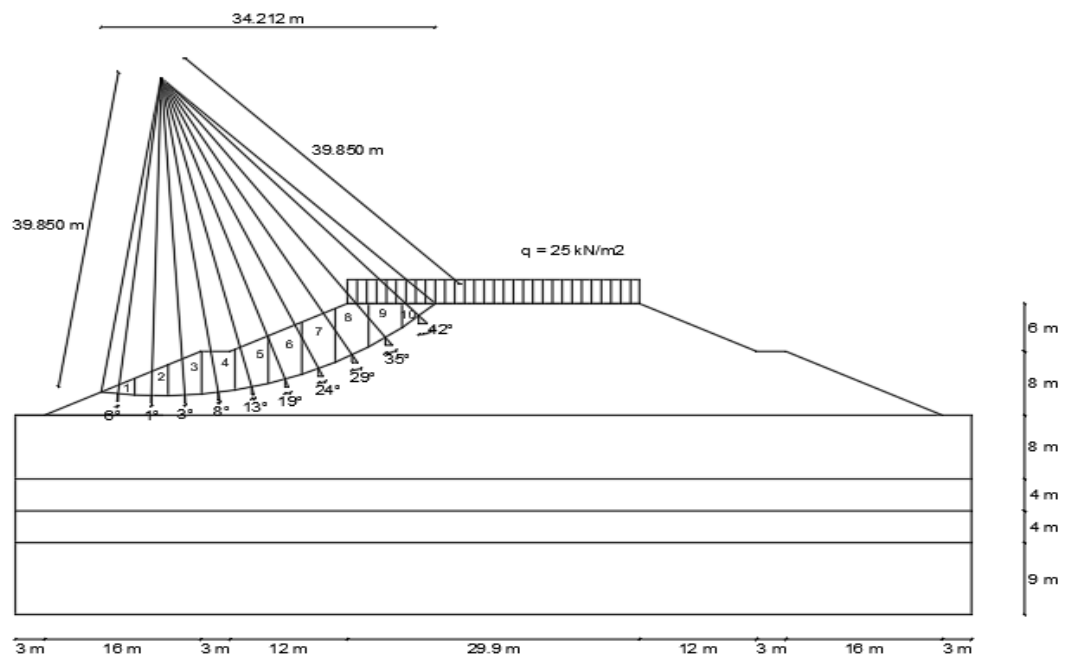


Lanjutan Tabel 5.5 Hasil Nilai Penurunan Tanah Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan

4	Lereng Timbunan 8m	0,105	0,110	0,121	0,126
5	Lereng Timbunan 10m	0,139	0,143	0,151	0,161
6	Lereng Timbunan 12m	0,176	0,180	0,196	0,199
7	Lereng Timbunan 14m	0,217	0,223	0,241	0,243

### 5.3.2 Perhitungan Manual Menggunakan Metode *Fellenius*

Pada penelitian ini perhitungan manual diperlukan untuk membandingkan hasil perhitungan menggunakan bantuan program dan dengan perhitungan manual. Dimana hasil kedua perhitungan tersebut menjadi patokan untuk nilai angka aman yang digunakan. Dari analisis yang telah dilakukan menggunakan bantuan program *Plaxis* pada lereng timbunan 14 m, didapat bidang longsor seperti pada gambar 5.25. Dari bidang longsor itulah nilai angka aman dapat diperhitungkan dengan menghitung gaya-gaya yang terjadi, seperti gaya yang menahan dan gaya yang mendorong atau melongsorkan.



Gambar 5.25 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode *Fellenius*

Pada perhitungan menggunakan metode *Fellenius*, bidang longsor dibagi menjadi 10 pias atau irisan, dengan panjang bidang longsor sebesar 34,212 m. Dengan begitu untuk setiap 1 pias memiliki panjang 3,421 m. Untuk perhitungan menggunakan metode *Fellenius* dijabarkan sebagai berikut.

#### 1 Perhitungan Berat Setiap Pias ( $W_i$ )

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Sedangkan untuk pias atau irisan yang terdapat beban di atasnya, perhitungan berat dapat dilakukan sebagai berikut.

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

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk mencari berat pada pias atau irisan. Sedangkan untuk hasil rekapitulasi berat pada masing-masing pias dapat dilihat pada Tabel 5.7.

$$W_1 = \gamma \times A_1 = (16,6 \times 3,666) = 60,856 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} W_{10} &= (\gamma \times A_1) + (q \times L) = (16,6 \times 5,380) + (25 \times 4,572) \\ &= 203,600 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### 2. Perhitungan nilai $W \sin \alpha$ untuk setiap pias

$$\begin{aligned} \text{Pias 1} &= W \times \sin \alpha \\ &= 60,856 \times \sin (-6) \\ &= -6,361 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pias 10} &= W \times \sin \alpha \\ &= 203,600 \times \sin (42) \\ &= 136,235 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk hasil rekapitulasi berat pada masing-masing pias dapat dilihat pada Tabel 5.7.

#### 3. Perhitungan nilai $W \cos \alpha$ untuk setiap pias

$$\begin{aligned} \text{Pias 1} &= W \times \cos \alpha \\ &= 60,856 \times \cos (-6) \end{aligned}$$

$$= 60,522 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Pias 10} &= W \times \cos \alpha \\ &= 203,600 \times \cos (42) \\ &= 151,305 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk hasil rekapitulasi berat pada masing-masing pias dapat dilihat pada Tabel 5.7.

4. Tahanan kelongsoran akibat komponen gesekan pada kedua lapisan

$$\begin{aligned} \text{Pias 1} &= W \cos \alpha \times \tan \varphi \\ &= 60,522 \times \tan (10) \\ &= 10,672 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pias 10} &= W \cos \alpha \times \tan \varphi \\ &= 151,305 \times \tan (10) \\ &= 26,679 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk hasil rekapitulasi berat pada masing-masing pias dapat dilihat pada Tabel 5.7.

5. Tahanan kelongsoran akibat komponen kohesi

Berdasarkan Gambar 5.15 panjang garis lengkung A ke B memiliki Panjang sebesar 37,315 m. Karena itu tahanan terhadap kelongsoran yang dikerahkan oleh komponen kohesi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \sum c_{iai} &= (20 \times 37,315) \\ &= 746,306 \text{ kN} \end{aligned}$$

6. Gaya akibat beban merata (Pq)

Pada lereng timbunan 14 m terdapat beban merata yang berada di atas timbunan. Beban merata tersebut dihasilkan dari beban perkerasan jalan dan beban lalu lintas dengan besaran  $25 \text{ kN/m}^2$ . Maka dari itu timbul gaya yang terjadi sebagai gaya yang menggerakkan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Pq &= (q \times A) \\ &= (25 \times 10,285 \times 1) \\ &= 257,125 \text{ kN} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan manual lereng timbunan 14 m menggunakan metode *Fellenius* dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

**Tabel 5.7 Rekapitulasi Perhitungan Metode *Fellenius***

No	A (m <sup>2</sup> )	W (kN)	W.sin $\Theta$ (kN/m)	W.cos $\Theta$ (kN/m)	W.cos $\Theta$ .tan $\varphi$ (kN)
1	3.666	60.856	-6.361	60.522	10.672
2	10.319	171.290	-2.989	171.264	30.199
3	15.962	264.963	13.867	264.599	46.656
4	17.606	292.265	40.675	289.420	51.033
5	19.051	316.253	71.141	308.148	54.335
6	21.545	357.640	116.436	338.156	59.626
7	22.853	379.353	154.297	346.556	61.107
8	21.654	422.562	204.862	369.581	65.167
9	14.644	347.812	199.497	284.911	50.237
10	5.3803	203.600	136.235	151.305	26.679
Jumlah	152.679	2816.595	927.661		455.711

7. Nilai angka aman (SF)

Nilai angka aman pada lereng timbunan 14 m tanpa perkuatan dengan menggunakan metode *Fellenius* adalah sebagai berikut.

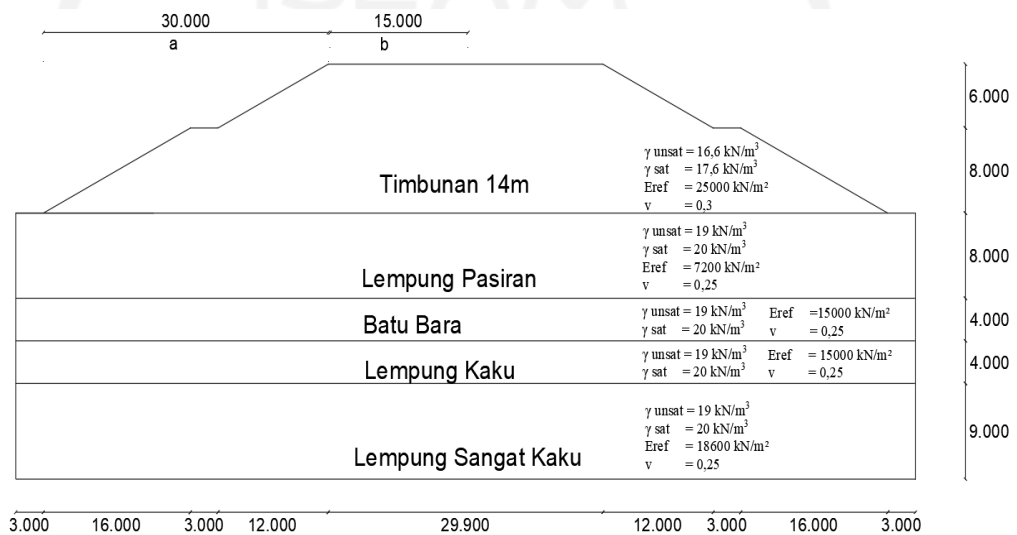
$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{(\sum c_i a_i) + (W \cos \theta \tan \varphi)}{(W \sin \alpha) + (Pq)} \\
 &= \frac{746,306 + 455,711}{927,661 + 257,125} \\
 &= 1,015
 \end{aligned}$$

Nilai angka aman yang dihasilkan dengan perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius* didapat sebesar 1,015. Nilai tersebut menandakan lereng dalam kondisi tidak stabil dan berpotensi mengalami kelongsoran. Hasil tersebut memiliki selisih perbedaan dengan perhitungan dengan menggunakan bantuan program *Plaxis* yang memiliki nilai angka aman sebesar 1,136. Hal tersebut menunjukkan bahwa perhitungan dengan metode *Fellenius* dan program *Plaxis* bahwa kondisi lereng dalam kondisi yang tidak stabil.

## 5.4 Perhitungan Manual Penurunan Tanah Segera

Analisis perhitungan penurunan segera pada lereng timbunan sta 2+400 dihitung untuk membandingkan hasil penurunan tanah segera menggunakan perhitungan manual dan program *Plaxis* 8.6. Perhitungan ini menggunakan contoh perhitungan pada lereng timbunan 14 m, berikut merupakan Langkah-langkah perhitungan segera.

### 1. Menentukan nilai *influence factor* ( $I_p$ )



**Gambar 5.26 Analisis Perhitungan Manual Penurunan Segera**

Dari Gambar 5.26 didapat nilai  $a = 30$  m dan nilai  $b = 15$  m, tambahan tegangan vertical di lapis 1 yang dimana  $z = 8$  m maka:

$$a/z = 30/8 = 3,75$$

$$b/z = 15/8 = 1,875$$

Berdasarkan Gambar 3.8 Grafik *Influence Factor* maka didapatkan nilai *Influence Factor* pada tanah lapis 1 = 0,56.

### 2. Distribusi Tegangan Tanah ( $\Delta p$ )

$$\begin{aligned} \Delta p \text{ tanah lapis 1} &= q \times I_p \\ &= 16,6 \times 14 \times 0,56 \\ &= 130,144 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

### 3. Penurunan Segera ( $S_i$ )

$$S_i \text{ tanah lapis 1} = \Delta \sigma B \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_p$$

$$= 130,144 \times 15 \frac{1-0,25^2}{7200} 0,56$$

$$= 0,142 \text{ m}$$

Untuk lapisan nilai  $S_i$  selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.8.

#### 4. Rekapitulasi Hasil Penurunan Segera

Hasil Perhitungan manual penurunan segera pada lereng timbunan asli 14 m dapat dilihat pada Tabel 5.8.

**Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Manual Penurunan Tanah Segera**

Nomer Lapisan	Kedalaman (m)	( $\Delta H$ ) (m)	$I_p$	$E_s$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\mu_s$	$1 - \mu_s$	( $\Delta p$ ) (kN/m <sup>2</sup> )	$S_i$ (m)
1	0 - 8	8	0,56	7200	0,25	0,9375	130,144	0,142
2	8 - 12	4	0,47	15000	0,25	0,9375	109,228	0,048
3	12 - 16	4	0,42	15000	0,25	0,9375	97,608	0,038
4	16 - 25	9	0,34	18600	0,25	0,9375	79,016	0,020
Total Penurunan Pada Timbunan 14 m								0,248

Berdasarkan perhitungan manual penurunan segera pada lereng timbunan 14 m adalah sebesar 0,248 m. Selisih perhitungan manual dengan analisis lereng timbunan 14 m paska konstruksi menggunakan program *software Plaxis 8.6* tidak signifikan. Karena penurunan segera pada lereng timbunan 14 m dengan program *Plaxis 8.6* adalah sebesar 0,241 m.

#### 5.5 Analisis Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil

Perkuatan lereng dengan geotekstil dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan nilai angka aman atau meningkatkan kestabilan lereng. Lembaran geotekstil disusun dari lapisan paling bawah timbunan dengan panjang dan ketentuan yang telah diperhitungkan.

### 5.5.1 Data Parameter Geotekstil

#### 1. Parameter tanah timbunan

tanah yang digunakan dan diberi perkuatan geotekstil adalah pada tanah timbunan. Hal ini dikarenakan, kelongsoran atau bidang longsor terjadi pada bagian tanah timbunan. Parameter tanah timbunan yang akan digunakan untuk mendesain perkuatan geotekstil adalah sebagai berikut.

- a. Berat volume tanah ( $\gamma$ ) : 16,6 kN/m<sup>3</sup>
- b. Kohesi ( $c$ ) : 20 kN/m<sup>2</sup>
- c. Sudut gesek dalam ( $\varphi$ ) : 10°

#### 2. Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan dalam penelitian adalah geotekstil jenis *woven* atau anyaman produksi dari PT. Prima Geotex Indo. Geotekstil yang digunakan adalah 300 Gr dengan kekuatan tarik sebesar 69,34 kN/m dan dengan nilai regangan sebesar 18 %. Oleh karena itu, nilai kekakuan normal (EA) yang digunakan sebagai nilai yang di masukan ke dalam program *Plaxis* dapat di hitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} EA &= \frac{Fg}{\Delta l/l} \\ &= \frac{69,34}{0,18} \\ &= 385 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Nilai kuat tarik yang diperbolehkan ( $T_{all}$ ) merupakan nilai kuat tarik yang telah dikurangi dengan nilai angka aman. Dengan nilai angka aman yang digunakan adalah sebesar 2. Perhitungan nilai kuat tarik yang diperbolehkan ( $T_{all}$ ) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_{all} &= \frac{T_{ult}}{SF_{geo}} \\ &= \frac{69,34}{2} \\ &= 34,670 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Data-data yang digunakan untuk perhitungan geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

**Tabel 5.9 Data Geotekstil Woven 300 Gr**

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tarik ultimit	$T_{ult}$	69,34	kN/m
Kuat tarik <i>allowable</i>	$T_{all}$	34,670	kN/m
Regangan	$\varepsilon$	18	%
Kekakuan normal	$EA$	385,222	kN/m

(Sumber: PT. Prima Geotex Indo, 2021)

3. Nilai koefisien daya dukung tanah

Pada analisis perhitungan kebutuhan geotekstil dibutuhkan data koefisien daya dukung tanah. Nilai koefisien tanah yang digunakan dalam analisis adalah menggunakan data yang didapat dari departemen pekerjaan umum (2009). Nilai koefisien daya dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

**Tabel 5.10 Koefisien Daya Dukung Tanah**

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
10	8.85	2.47	1.22	26	22.25	11.85	12.54
11	8.8	2.71	1.44	27	23.94	13.2	14.47
12	9.28	2.97	1.69	28	25.8	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	18.4	22.4
15	10.98	3.94	2.65	31	32.67	20.63	25.9
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	13.1	5.26	4.07	34	42.16	29.44	41.06
19	13.93	5.8	4.68	35	46.12	33.3	48.03
20	14.83	6.4	5.39	36	50.59	37.75	56.31
21	15.82	7.07	6.2	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	8.2	39	67.87	55.96	92.25
24	19.32	9.6	9.44	40	75.31	64.2	109.41
25	20.72	10.66	10.8	41	83.86	73.9	130.22

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)



### 5.5.2 Perhitungan Geotekstil

Dalam perencanaan perkuatan menggunakan geotekstil, stabilitas eksternal dan stabilitas internal perlu ditinjau. Dengan melakukan perhitungan terhadap stabilitas eksternal dan stabilitas internal, desain geotekstil dapat ditentukan. Pada analisis menggunakan perkuatan geotekstil, timbunan yang diperkuat adalah timbunan dengan tinggi 12 m dan 14 m. hal itu karena tinggi timbunan tersebut dengan tanpa menggunakan perkuatan memiliki nilai angka aman  $< 1,3$  atau tidak stabil.

#### 1. Stabilitas Eksternal

Stabilitas eksternal diperlukan untuk menentukan jarak arah vertikal minimal lapisan geotekstil (SV) dan panjang minimum geotekstil yang digunakan (L). dalam perhitungan, nilai angka aman yang digunakan dalam perhitungan adalah sebesar 1,5. Perhitungan stabilitas eksternal adalah sebagai berikut.

##### a. Menentukan jarak vertikal minimal antar lapis geotekstil (SV)

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \\ &= \tan^2\left(45 - \frac{10}{2}\right) \\ &= 0,7041 \end{aligned}$$

Jarak vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 12 m

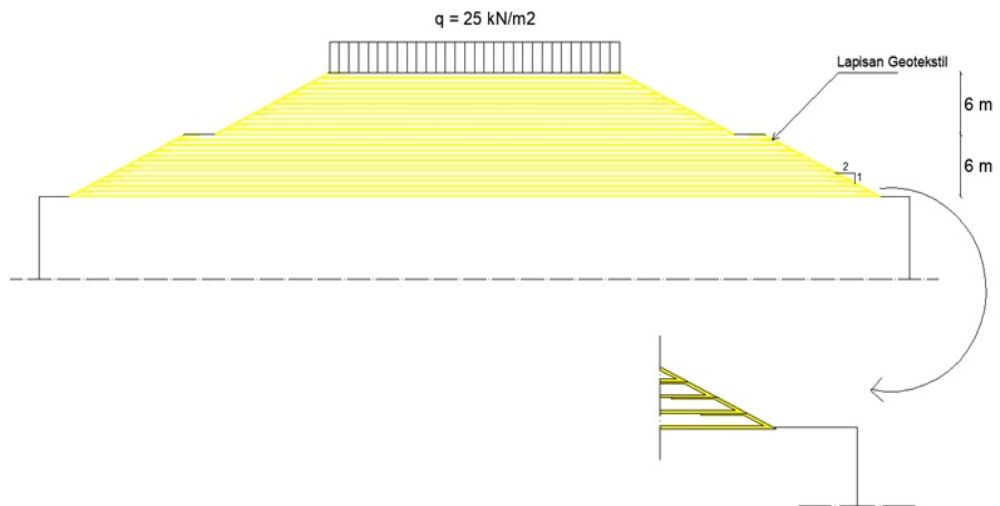
$$\begin{aligned} \sigma_{hc} &= (q \times K_a) + (K_a \times H \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{K_a}) \\ &= (25 \times 0,7041) + (0,7401 \times 12 \times 16,6) - (2 \times 20 \times \sqrt{0,7401}) \\ &= 124,293 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{34,67}{124,293 \times 1,5} \\ &= 0,186 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak vertikal minimal antar lapis geotekstil sebesar 0,5 m

$$\begin{aligned} \text{Banyak lapis geotekstil teoritis} &= \frac{12}{0,5} \\ &= 24 \text{ buah} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, sketsa lapisan geotekstil pada timbunan 12m dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut.



**Gambar 5.27 Detail Pemasangan Lapisan Geotekstil Timbunan 12 m**

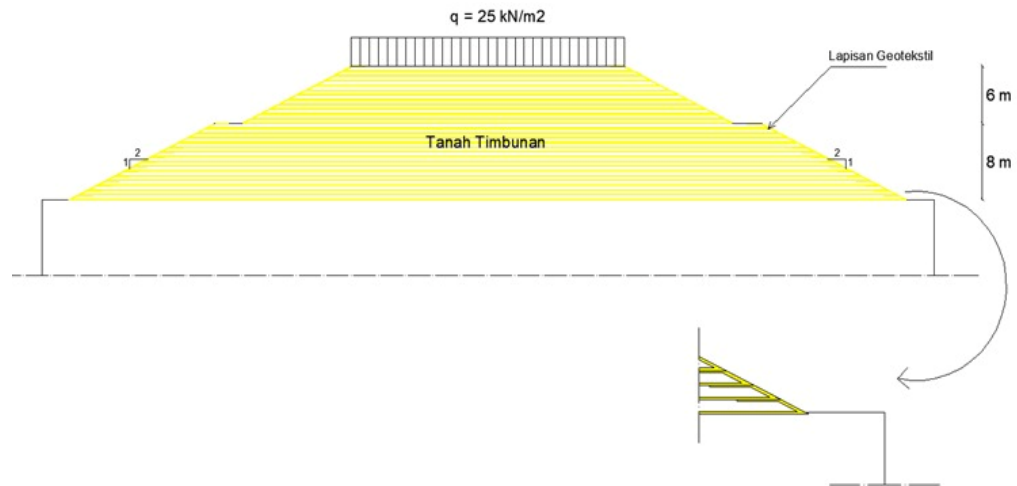
- b. Jarak vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 14 m

$$\begin{aligned}
 \sigma_{hc} &= (qxKa) + (KaxHxyb) - (2xcx\sqrt{Ka}) \\
 &= (25 \times 0,7041) + (0,7401 \times 14 \times 16,6) - (2 \times 20 \times \sqrt{0,7401}) \\
 &= 147,668 \text{ kN/m}^2 \\
 SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\
 &= \frac{34,67}{147,668 \times 1,5} \\
 &= 0,157 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak vertikal minimal antar lapis geotekstil sebesar 0,5 m

$$\begin{aligned}
 \text{Banyak lapis geotekstil teoritis} &= \frac{14}{0,5} \\
 &= 28 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, sketsa lapisan geotekstil pada timbunan 14m dapat dilihat pada Gambar 5.28 berikut.



**Gambar 5.28 Detail Pemasangan Lapisan Geotekstil Timbunan 14 m**

c. Perhitungan panjang geotekstil

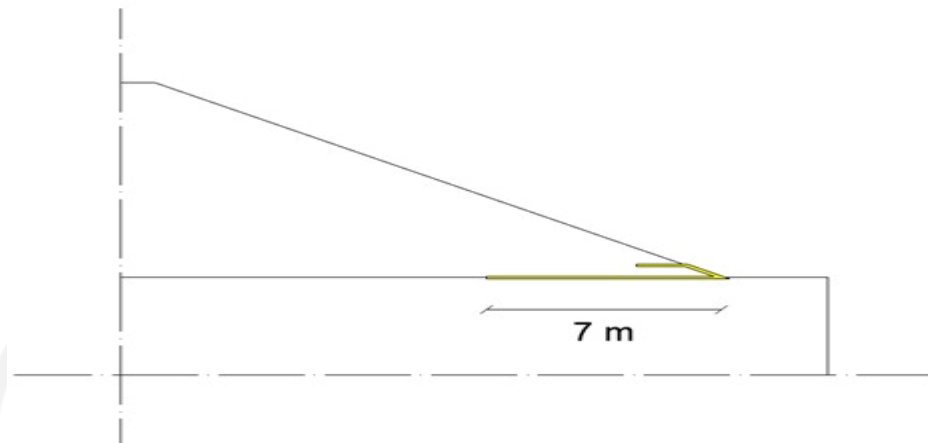
Perhitungan panjang geotekstil pada timbunan 14 m.

1) Stabilitas terhadap guling

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{\sum MR}{\sum MD} \\
 &= \frac{\left(\frac{1}{2}xqxL^2\right) + \left(\frac{1}{2}x\gamma bxHxL^2\right)}{\left(qxKax\frac{1}{2}xH^2\right) + \left(\frac{1}{2}xKax\gamma bxH^2x\frac{1}{3}xH\right) - \left(2xcx\sqrt{Kax}\frac{1}{2}xH^2\right)} \\
 &= \frac{\left(\frac{1}{2}x25xL^2\right) + \left(\frac{1}{2}x16,6x14xL^2\right)}{\left(25x0,7041x\frac{1}{2}x14^2\right) + \left(\frac{1}{2}x0,7401x16,6x14^2x\frac{1}{3}x14\right) - \left(2x20x\sqrt{0,7041}x\frac{1}{2}x14^2\right)} \\
 &= \frac{128,7xL^2}{3780,995}
 \end{aligned}$$

$$L = 6,638\text{m}$$

Maka panjang geotekstil untuk menahan stabilitas terhadap guling diambil sepanjang 7 m. Berdasarkan perhitungan diatas, sketsa stabilitas terhadap guling pada timbunan 14m dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut.



**Gambar 5.29 Detail Panjang Geotekstil Berdasarkan Perhitungan Stabilitas Terhadap Guling**

2.) Stabilitas terhadap geser

$$SF = \frac{(qx \tan \delta xL) + (Hxybx \tan \delta xL)}{(qxKaxH) + (0,5xKaxybxH^2) - (2xcx\sqrt{KaxH})}$$

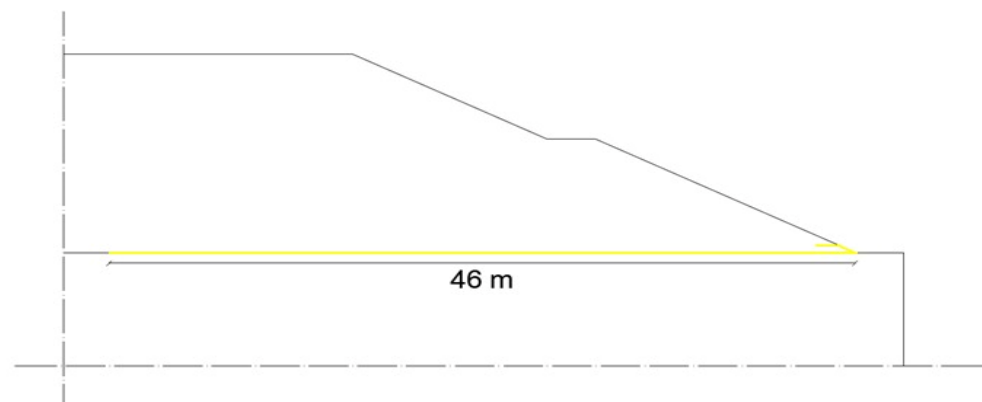
Dengan nilai  $\delta = \frac{2}{3} \times 10 = 6,667$

$$SF = \frac{(25x \tan 6,667xL) + (14x16,6x \tan 6,667xL)}{(25x0,7041x14) + (0,5x0,7041x16,6x14^2) - (2x20x\sqrt{0,7041x14})}$$

$$= \frac{30,086L}{921,946}$$

$$L = 45,966\text{m}$$

Maka panjang geotekstil untuk menahan stabilitas terhadap geser diambil sepanjang 46 m. Berdasarkan perhitungan diatas, sketsa stabilitas terhadap geser pada timbunan 14m dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut.

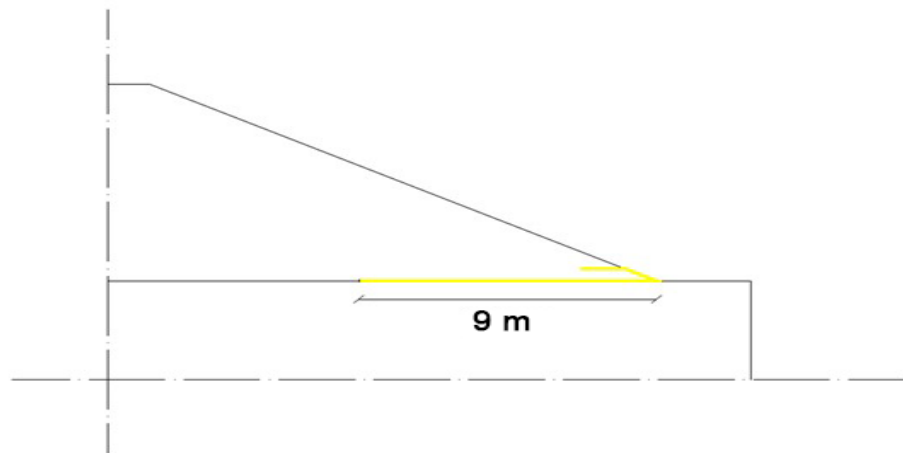


**Gambar 5.30 Detail Panjang Geotekstil Berdasarkan Perhitungan Stabilitas Terhadap Geser**

## 3.) Stabilitas terhadap eksentrisitas

$$\begin{aligned} \frac{1}{6}xL &\geq e \\ e &= \frac{\sum MD}{Rv} \\ &= \frac{(qKax\frac{1}{2}xH^2) + (\frac{1}{2}xKax\gamma bxH^2 x\frac{1}{3}xH) - (2xcx\sqrt{Ka}x\frac{1}{2}xH^2)}{(Hx\gamma bxL) + (qxL)} \\ \frac{L}{6} &\geq \frac{3780,995}{257,4L} \\ L &= 9,388 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka panjang geotekstil untuk menahan stabilitas terhadap eksentrisitas diambil sepanjang 9 m. Berdasarkan perhitungan diatas, sketsa stabilitas terhadap eksentrisitas pada timbunan 14m dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut.



**Gambar 5.31 Detail Panjang Geotekstil Berdasarkan Perhitungan Stabilitas Terhadap Eksentrisitas**

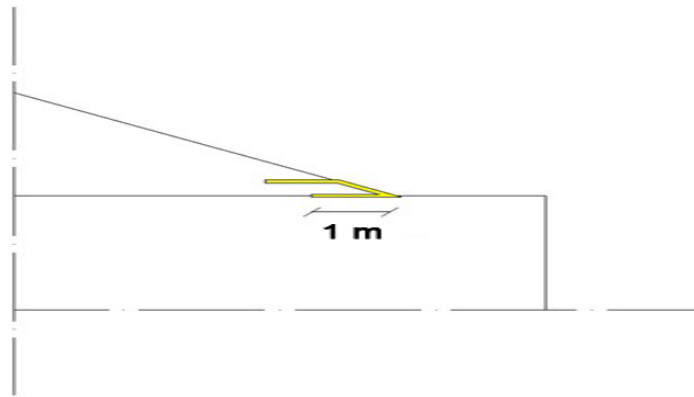
## 4.) Stabilitas terhadap daya dukung tanah

$$\begin{aligned} \varphi &= 10 \\ Nc &= 8,85 \\ Nq &= 2,47 \\ N\gamma &= 1,22 \\ L &\leq \frac{\sigma_{ult}}{(H+\gamma b)+q} \\ \sigma_{ult} &= ((cxNc) + (0,5xLx\gamma bxN\gamma))xSF \\ L &\leq \frac{((cxNc)+(0,5xLx\gamma bxN\gamma))xSF}{(H+\gamma b)+q} \end{aligned}$$

$$\leq \frac{((20 \times 8,85) + (0,5 \times L \times 16,6 \times 1,22)) \times 1,5}{(14 + 16,6) + 25}$$

$$L = 1,096 \text{ m}$$

Maka panjang geotekstil untuk menahan stabilitas terhadap daya dukung tanah diambil sepanjang 1 m. Berdasarkan perhitungan diatas, sketsa stabilitas terhadap daya dukung tanah pada timbunan 14m dapat dilihat pada Gambar 5.32 berikut.



**Gambar 5.32 Detail Panjang Geotekstil Berdasarkan Perhitungan Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah**

Berdasarkan hasil dari keempat perhitungan yang ada dalam stabilitas eksternal, maka panjang geotekstil yang digunakan diambil adalah panjang minimum yaitu sepanjang 46 m. Rekapitulasi perhitungan panjang geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.11.

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Panjang Geotekstil**

Tinggi Timbunan (m)	Stabilitas Guling (m)	Stabilitas Geser (m)	Stabilitas Eksentrisitas (m)	Stabilitas Daya Dukung (m)	Panjang Minimum (m)
12	5,446	37,205	7,702	1,270	37
14	6,638	45,966	9,388	1,096	46

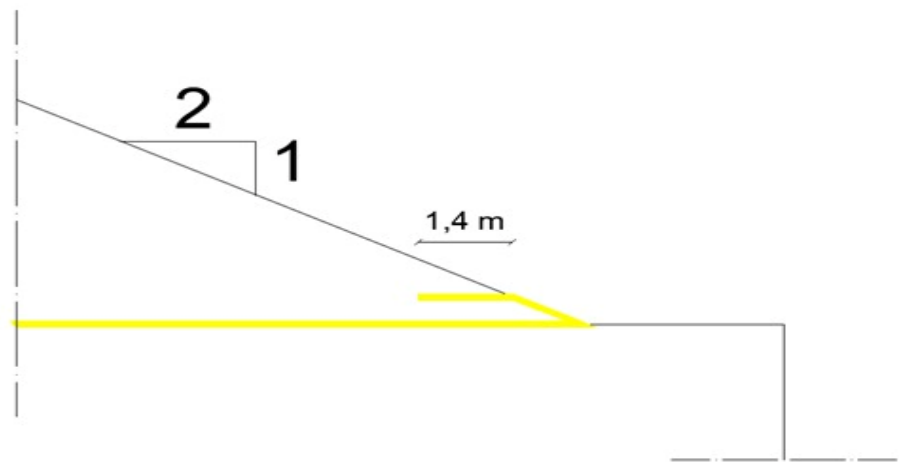
## 2. Stabilitas Internal

### a. Panjang *overlapping* geotekstil ( $L_o$ )

#### 1.) Timbunan 12 m

$$\begin{aligned} L_o &= \frac{\sigma_{hc} \times SV \times SF}{2 \times \gamma_b \times H \times \tan \varphi} \\ &= \frac{124,293 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 16,6 \times 12 \times \tan 10} \\ &= 1,327 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka panjang *overlapping* geotekstil diambil sepanjang 1,4 m. Berdasarkan perhitungan diatas, sketsa panjang *overlapping* pada timbunan 12m dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut.

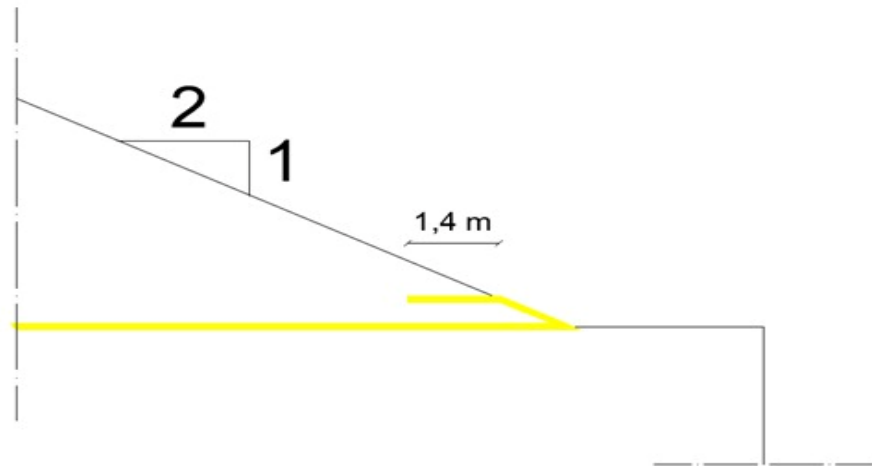


**Gambar 5.33 Detail Panjang *Overlapping* Geotekstil Pada Timbunan 12m**

#### 2.) Timbunan 14 m

$$\begin{aligned} L_o &= \frac{\sigma_{hc} \times SV \times SF}{2 \times \gamma_b \times H \times \tan \varphi} \\ &= \frac{147,668 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 16,6 \times 14 \times \tan 10} \\ &= 1,351 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka panjang *overlapping* geotekstil diambil sepanjang 1,4 m. Berdasarkan perhitungan diatas, sketsa panjang *overlapping* pada timbunan 12m dapat dilihat pada Gambar 5.34 berikut.



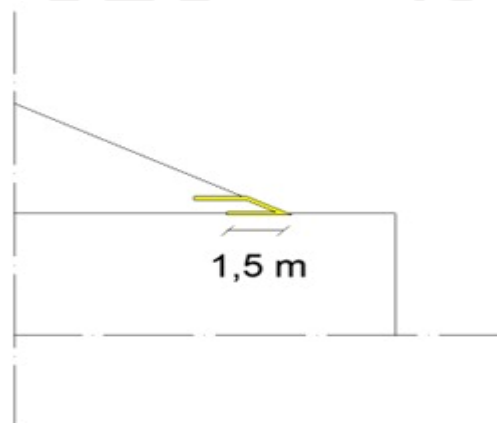
**Gambar 5.34 Detail Panjang *Overlapping* Geotekstil Pada Timbunan 14m**

b. Panjang efektif geotekstil

1.) Timbunan 12 m

$$\begin{aligned}
 Le &= \frac{SFxSVxKax\gamma bxH}{2xybxHx \tan \varphi} \\
 &= \frac{1,5x0,5x0,7041x16,6x12}{2x16,6x12x \tan 10} \\
 &= 1,497\text{m}
 \end{aligned}$$

Maka panjang efektif geotekstil diambil sepanjang 1,5 m. Berdasarkan perhitungan diatas, sketsa panjang efektif geotekstil pada timbunan 12m dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut.



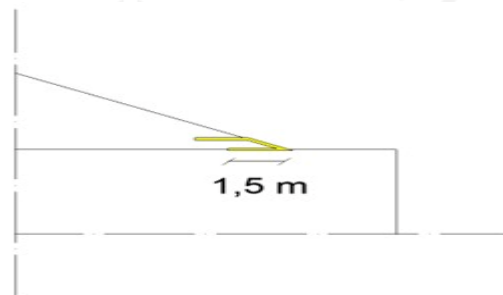
**Gambar 5.35 Detail Panjang Efektif Geotekstil Pada Timbunan 12m**



2.) Timbunan 14 m

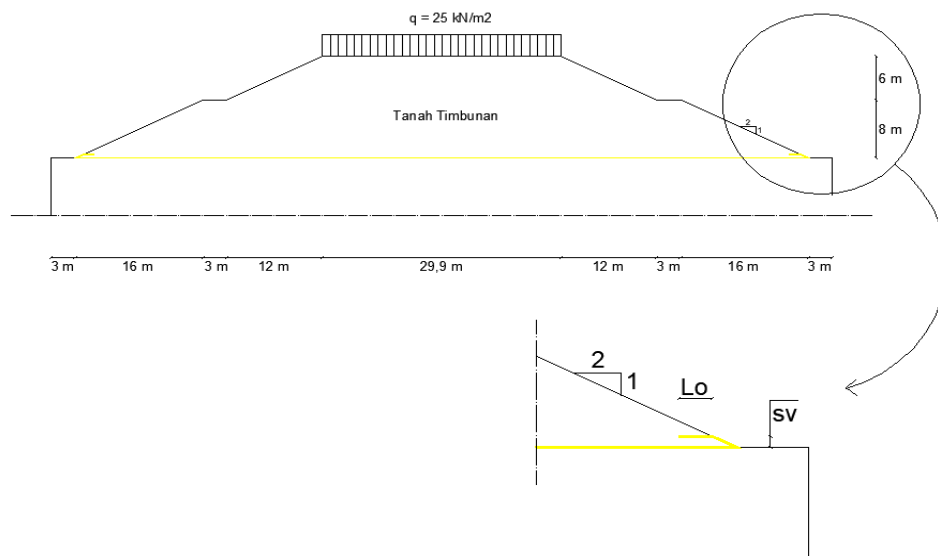
$$\begin{aligned}
 Le &= \frac{SFxSVxKax\gamma bxH}{2xybxHx \tan \varphi} \\
 &= \frac{1,5x0,5x0,7041x16,6x14}{2x16,6x14x \tan 10} \\
 &= 1,497\text{m}
 \end{aligned}$$

Maka panjang efektif geotekstil diambil sepanjang 1,5 m. Berdasarkan perhitungan diatas, sketsa panjang efektif geotekstil pada timbunan 12m dapat dilihat pada Gambar 5.36 berikut.



**Gambar 5.36 Detail Panjang Efektif Geotekstil Pada Timbunan 14m**

Sketsa penggunaan perkuatan geotekstil pada lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut.



**Gambar 5.37 Detail Pemasangan Geotekstil Pada Lereng Timbunan**

### 3. Cek gaya tarik tanah-geotekstil

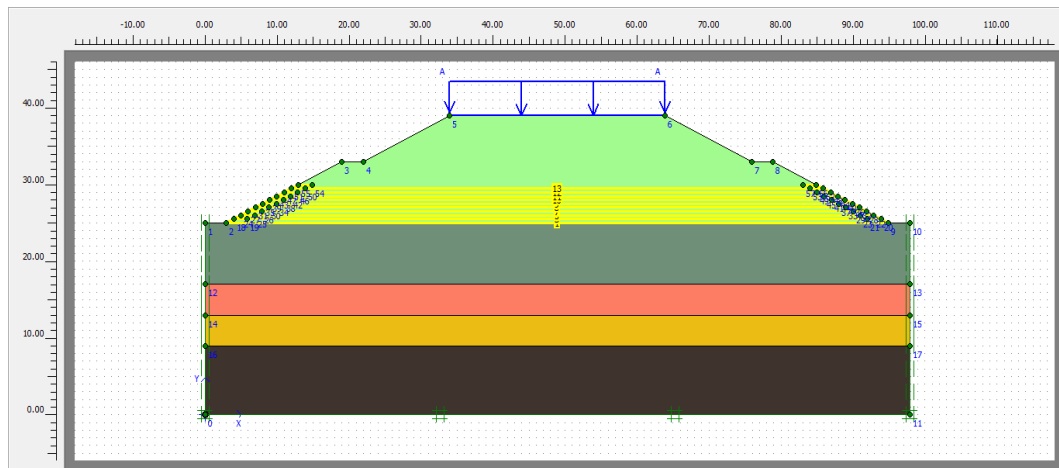
Ketika geotekstil menerima beban dari tanah di atasnya, maka geotekstil akan menegang dan mentransfer tegangan tersebut ke daerah pasif. Oleh karena itu untuk mengecek apakah geotekstil yang akan digunakan mampu untuk menahan gaya tarik, perlu dilakukan suatu perhitungan. Perhitungan gaya tarik pada geotekstil adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T &= \tan \varphi \times 2 \times \sigma_n \times b \times L \\
 &= \tan 10^\circ \times 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 0,5 \times 16,6\right) \times 1 \times 46 \\
 &= 67,272 \text{ kN} < 69,34 \text{ kN (Aman)}
 \end{aligned}$$

Gaya tarik pada geotekstil memiliki nilai sebesar 67,272 kN. Sedangkan nilai kuat tarik dari jenis geotekstil yang digunakan yaitu 69,34 kN. Maka dari itu kekuatan geotekstil kuat untuk menahan gaya tarik yang bekerja.

### 5.5.3 Analisis Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program *Plaxis*

Analisis lereng timbunan yang diperkuat geotekstil pada program *Plaxis* akan menghasilkan suatu analisis yang diharapkan dapat meningkatkan nilai aman dari stabilitas lereng. Pada analisis yang akan ditampilkan adalah timbunan dengan tinggi 14 m. Sedangkan analisis pada timbunan dengan tinggi 12 m dapat dilihat pada Lampiran 10. Tahapan awal yang perlu dilakukan dalam analisis menggunakan program *Plaxis* yaitu dengan melakukan *input* data seperti pemodelan lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil yang dapat dilihat pada Gambar 5.38 berikut.



**Gambar 5.38** Pemodelan Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

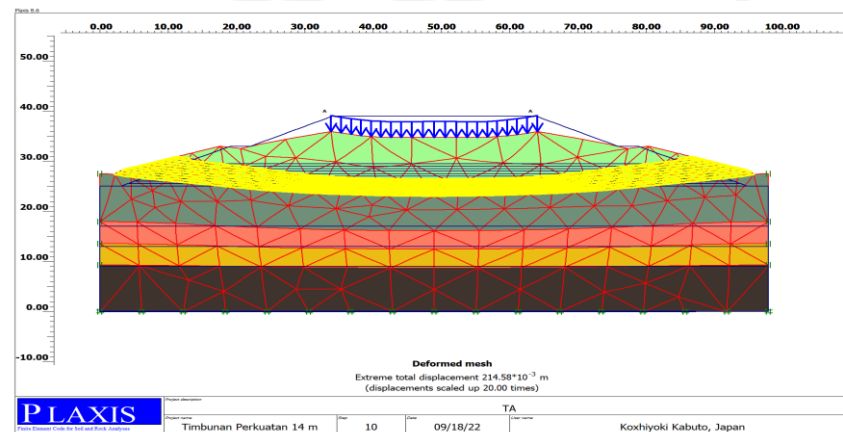
Perhitungan dilakukan dengan dua kondisi yaitu pada kondisi masa konstruksi dan pada kondisi paska konstruksi.

1. Masa Konstruksi

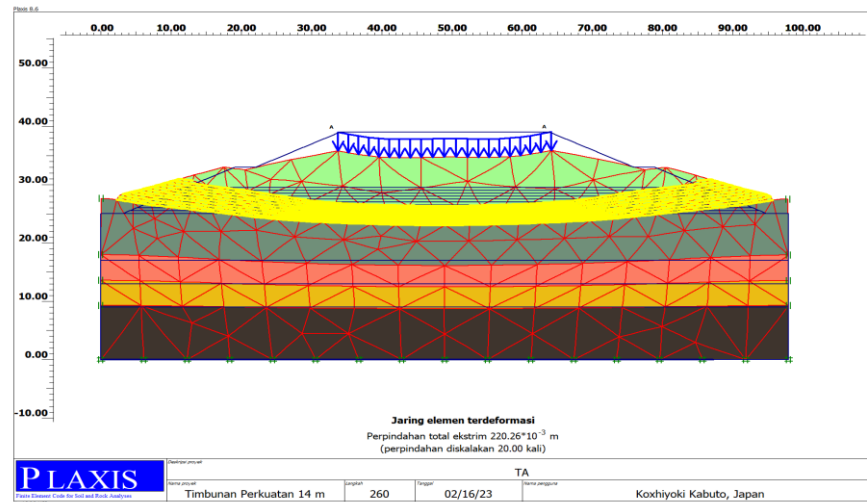
Pada kondisi masa konstruksi dimana pada kondisi ini tanah bersifat *drained*, yang berarti air mampu keluar masuk tanah pada waktu tertentu. Hasil analisis lereng dengan menggunakan program *Plaxis* adalah sebagai berikut.

a. *Deformed Mesh*

Hasil analisis terhadap *deformed mesh* akibat beban struktur dan beban gempa pada lereng timbunan 14 m dengan perkuatan geotekstil pada kondisi masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.39 dan 5.40 berikut.



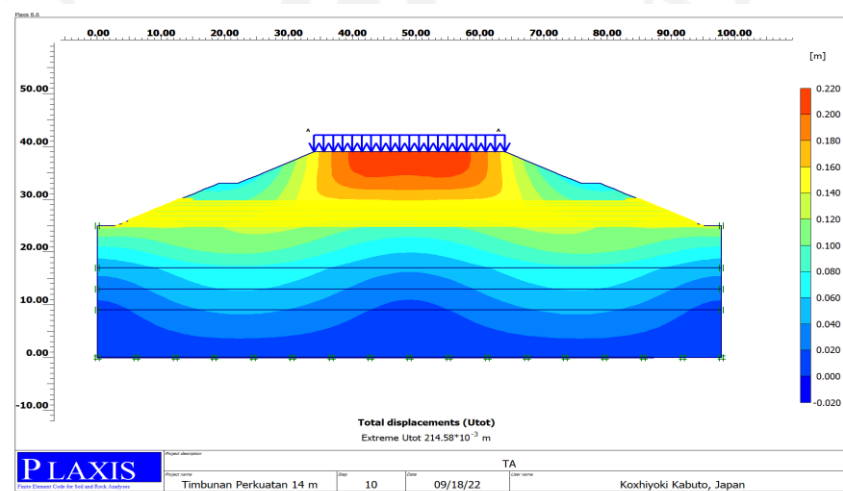
**Gambar 5.39** *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



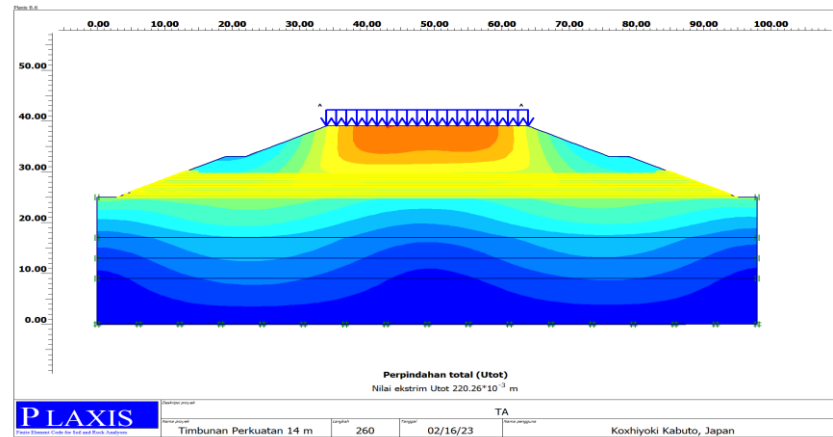
**Gambar 5.40 Deformed Mesh Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

b. *Total Displacement*

Besaran nilai *displacement* yang terjadi akibat terdapat timbunan dan beban di atasnya sebesar 0,214 m. Sedangkan nilai *displacement* yang terjadi akibat terdapat timbunan, beban struktur dan beban gempa sebesar 0,220 m. Pada Gambar 5.41 dan 5.42 menunjukkan bahwa bagian yang mengalami *displacement* terdapat pada tengah timbunan yang ditandai dengan warna merah.



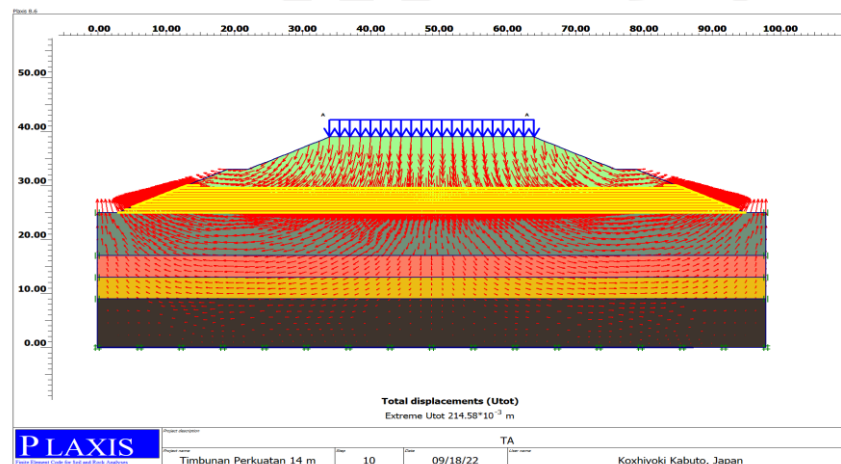
**Gambar 5.41 Total Displacement Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



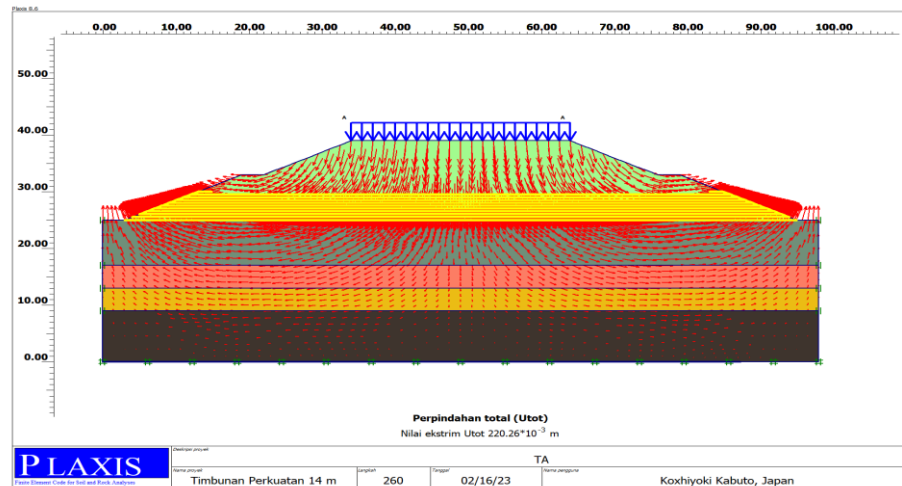
**Gambar 5.42 Total Displacement Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

c. Pergerakan Tanah

Pergerakan tanah yang terjadi akibat terdapat timbunan dan beban di atasnya menunjukkan pergerakan tanah secara vertikal pada sisi tengah timbunan dan pada bagian tepi timbunan bergerak menuju kaki lereng. Dengan adanya perkuatan geotekstil, kedua arah pergerakan tanah tersebut dapat berkurang atau tertahan. Arah pergerakan timbunan asli masa konstruksi akibat beban struktur dan beban gempa timbunan 14 m dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.43 dan 5.44 berikut.



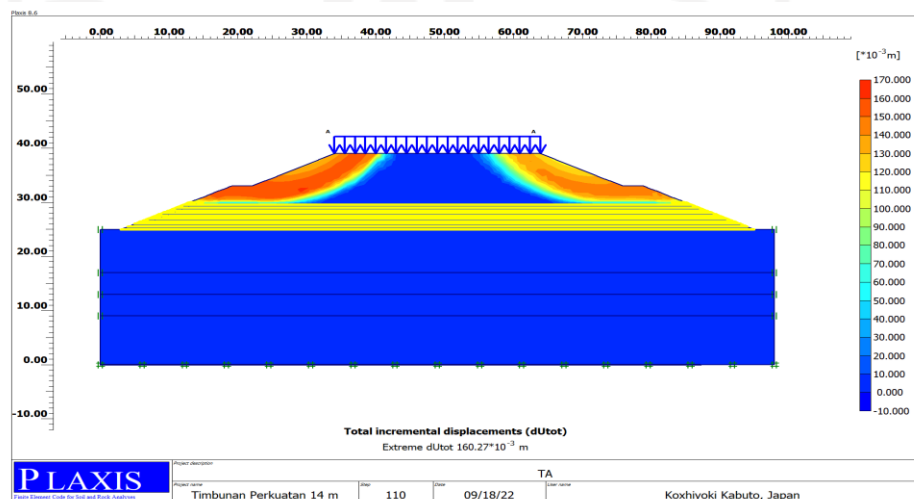
**Gambar 5.43 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



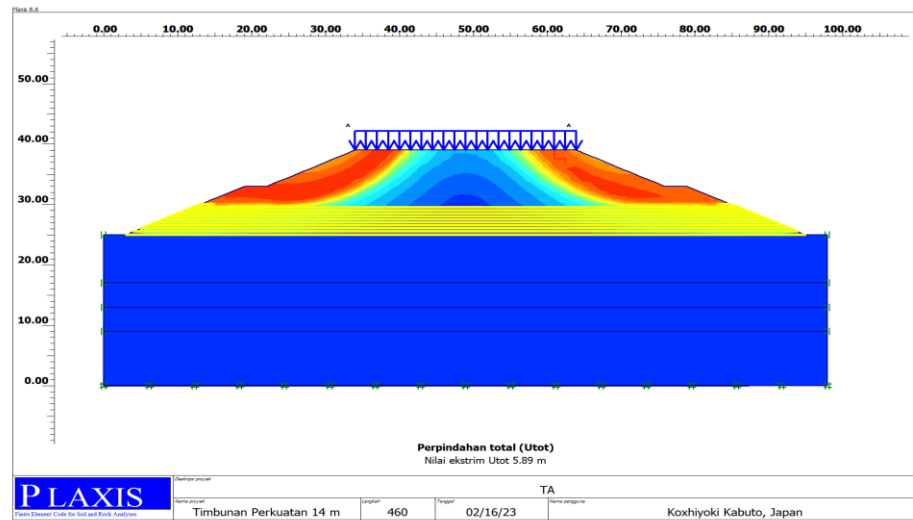
**Gambar 5.44 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

d. Bidang Longsor

Dengan adanya timbunan dan beban yang bekerja, maka memungkinkan terjadinya potensi kelongsoran. Dengan adanya perkuatan geotekstil, bidang longsor yang terjadi mengalami perubahan. Potensi kelongsoran pada lereng timbunan 14 m dengan perkuatan geotekstil terjadi pada tanah timbunan, beban struktur dan beban gempa yaitu pada bagian tepi lereng bergerak hingga badan lereng seperti pada Gambar 5.46 dan 5.46 berikut.



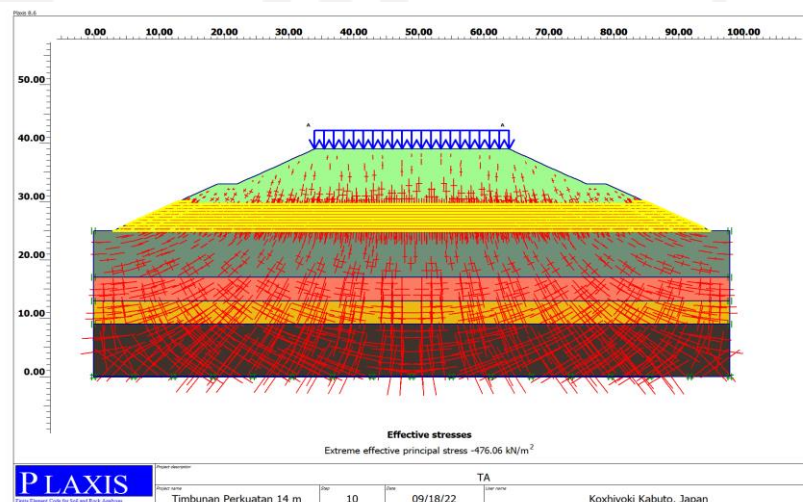
**Gambar 5.45 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



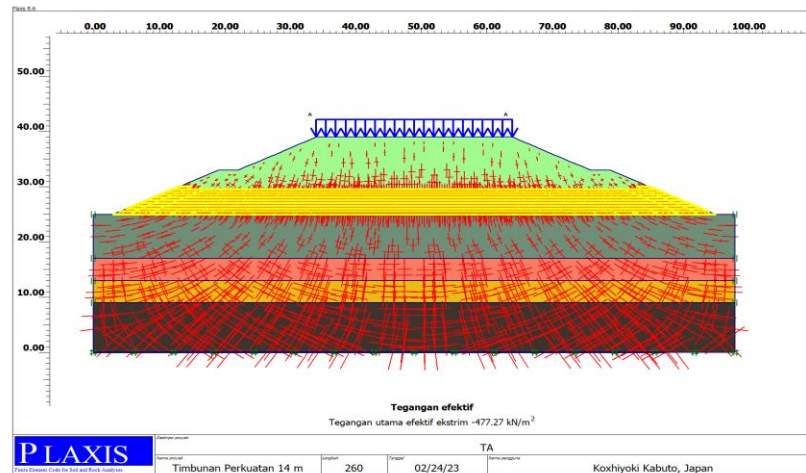
**Gambar 5.46** Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa

e. *Effective stresses*

Nilai *effective stresses* yang terjadi akibat lereng timbunan 14 m dengan perkuatan geotekstil dan beban di atas sebesar  $-476,06 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan nilai *effective stresses* akibat beban struktur dan beban gempa sebesar  $-477,27 \text{ kN/m}^2$ . Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.47 dan 5.48 berikut.



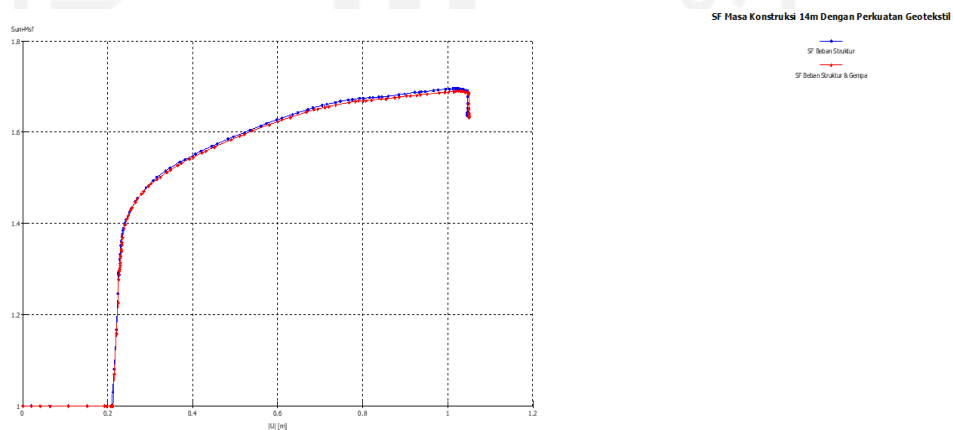
**Gambar 5.47** *Effective stresses* Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



**Gambar 5.48 Effective stresses Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

f. Angka Aman

Nilai angka aman yang terjadi pada kondisi masa konstruksi di timbunan 14 m akibat beban struktur dengan perkuatan geotekstil sebesar 1,642. Sedangkan nilai angka aman pada timbunan 14 m akibat beban struktur dan beban gempa dengan perkuatan geotekstil sebesar 1,637. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.49 berikut.



**Gambar 5.49 Kurva SF Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi**

2. Paska Konstruksi

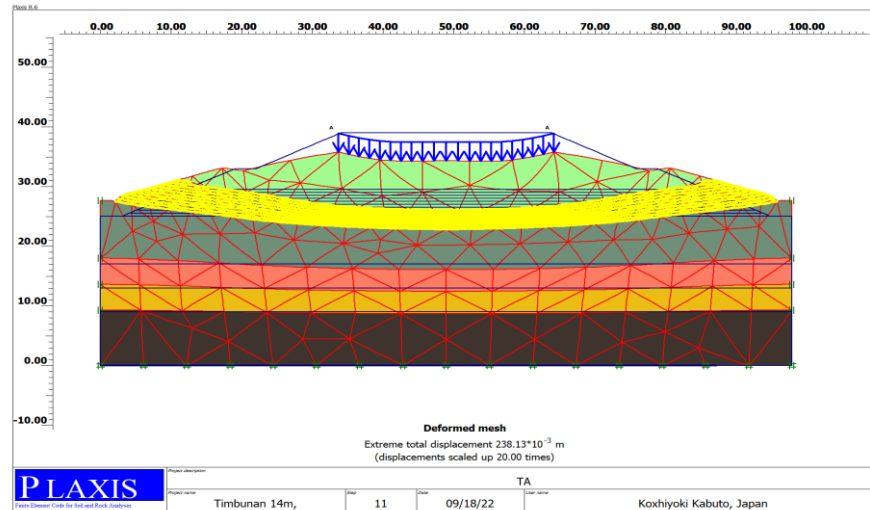
Pada kondisi paska konstruksi dimana pada kondisi ini tanah bersifat *undrained*, yang berarti air sudah tidak mampu keluar masuk tanah pada waktu



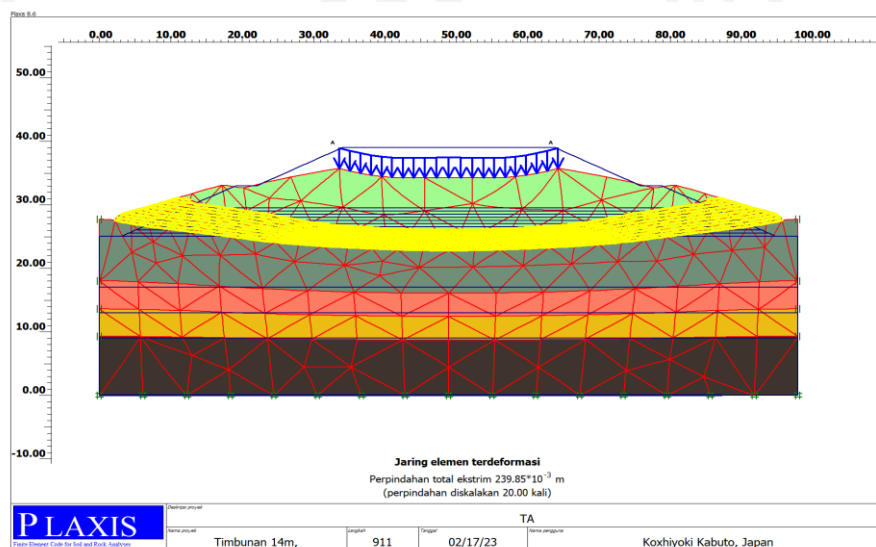
tertentu. Hasil analisis lereng dengan menggunakan program *Plaxis* adalah sebagai berikut.

a. *Deformed Mesh*

Hasil analisis terhadap *deformed mesh* akibat beban lalu lintas dan beban gempa pada lereng timbunan 14 m dengan perkuatan geotekstil pada dapat dilihat pada Gambar 5.50 dan 5.51 berikut.



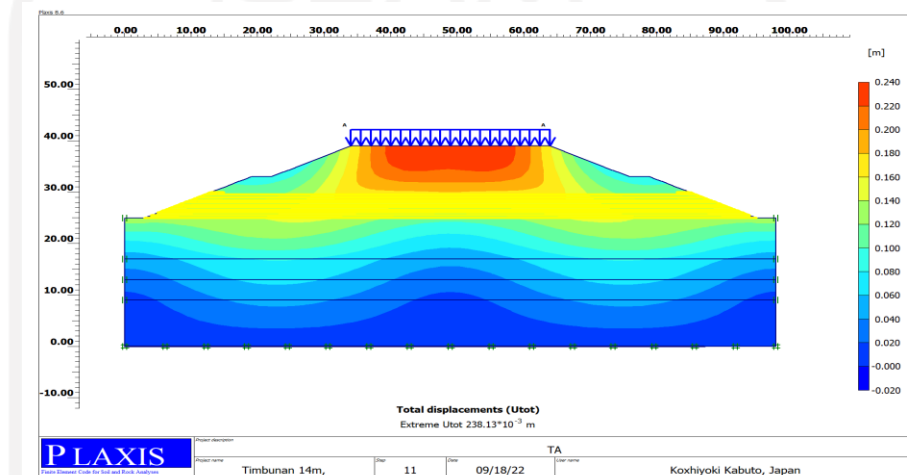
**Gambar 5.50 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



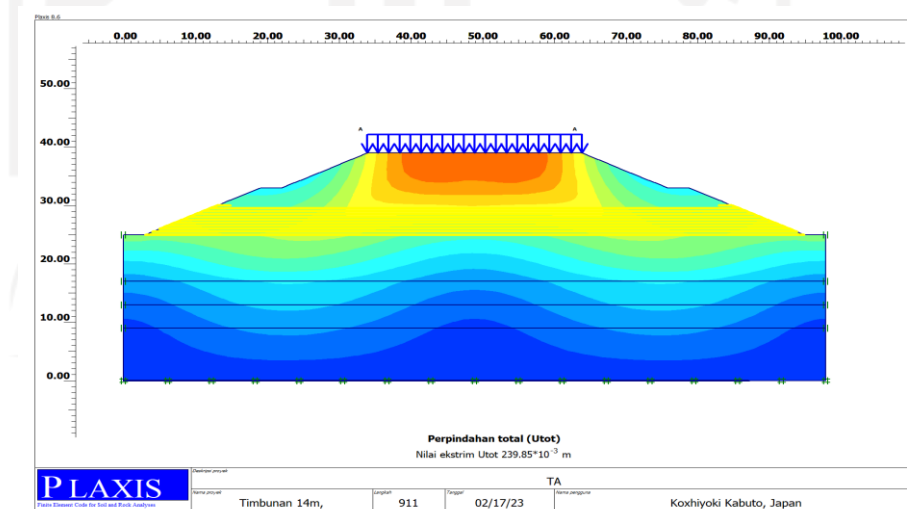
**Gambar 5.51 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

b. *Total Displacement*

Besaran nilai *displacement* yang terjadi akibat terdapat timbunan dan beban di atasnya sebesar 0,238 m. sedangkan nilai *displacement* yang terjadi akibat terdapat timbunan, beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 0,240 m Pada Gambar 5.52 dan 5.53 menunjukkan bahwa lereng timbunan 14 m dengan perkuatan geotekstil, bagian yang mengalami *displacement* terdapat pada tengah timbunan yang ditandai dengan warna merah.



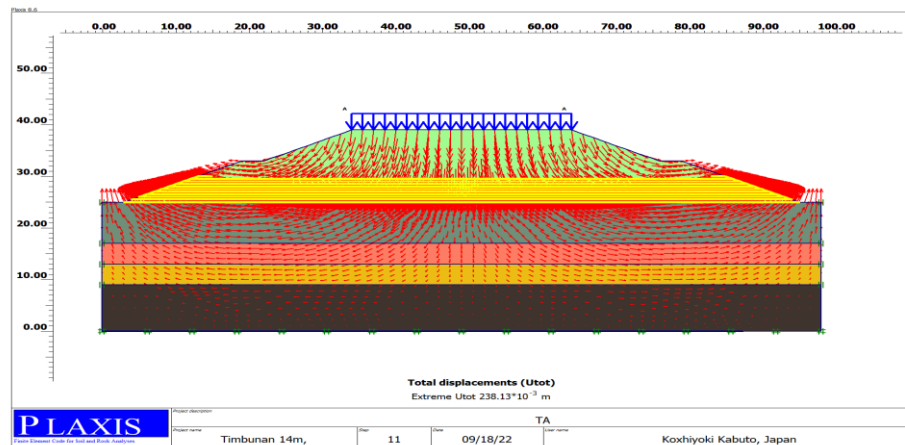
**Gambar 5.52 Total Displacement Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



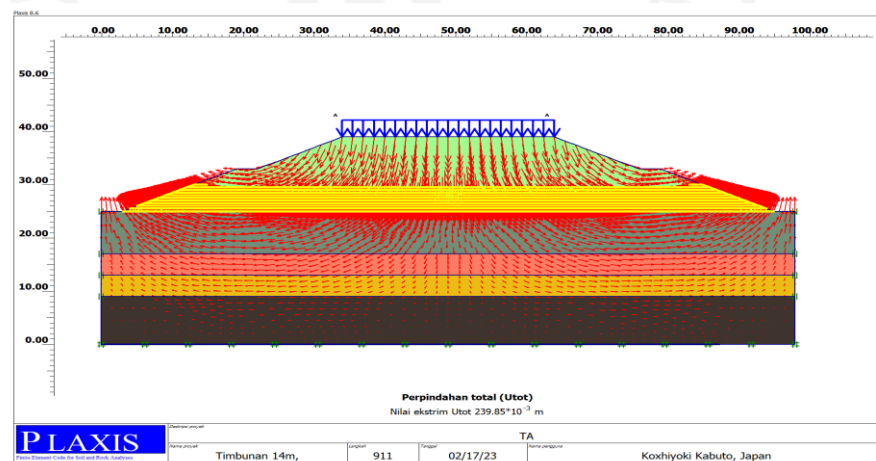
**Gambar 5.53 Total Displacement Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

### c. Pergerakan Tanah

Pergerakan tanah yang terjadi akibat terdapat timbunan dan beban di atasnya menunjukkan pergerakan tanah secara vertikal pada sisi tengah timbunan dan pada bagian tepi timbunan bergerak menuju kaki lereng. Dengan adanya perkuatan geotekstil, kedua arah pergerakan tanah tersebut dapat berkurang atau tertahan. Arah Pergerakan tanah lereng timbunan 14 m akibat beban lalu lintas dan beban gempa dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.54 dan 5.55 berikut.



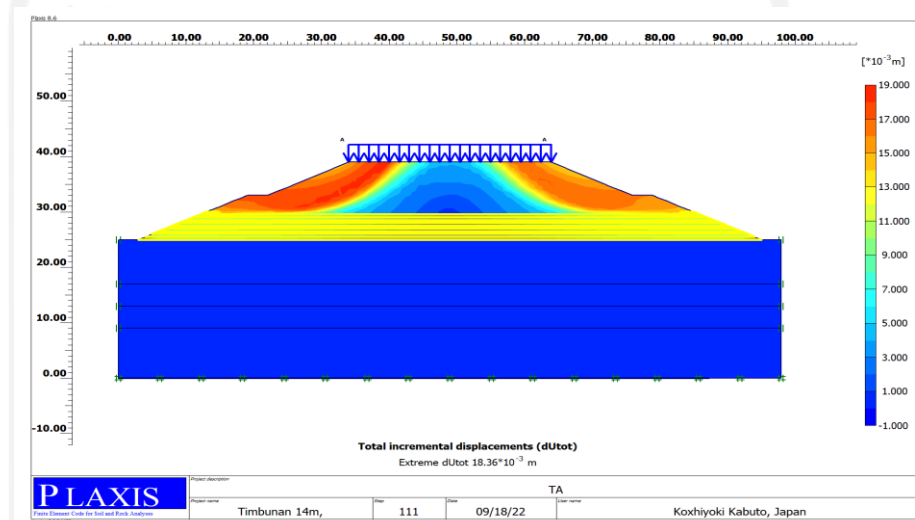
**Gambar 5.54 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



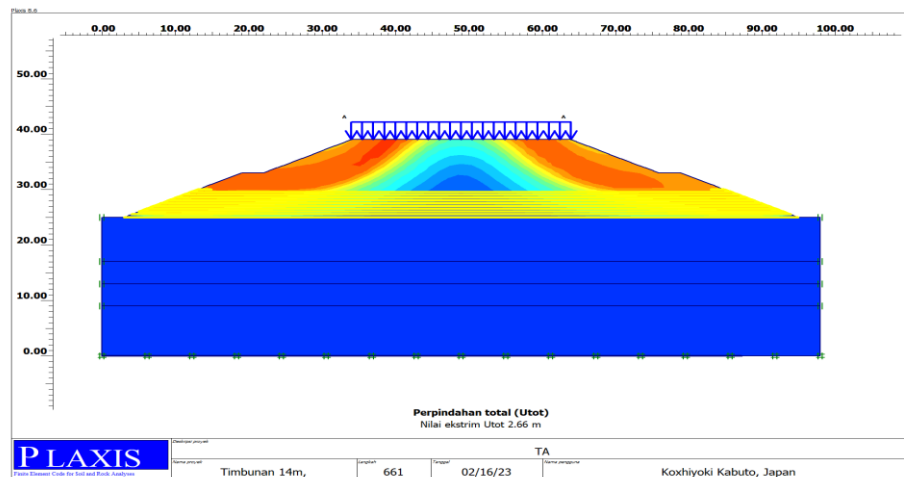
**Gambar 5.55 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

#### d. Bidang Longsor

Dengan adanya timbunan, beban lalu lintas dan beban gempa yang bekerja, maka memungkinkan terjadinya potensi kelongsoran. Dengan adanya perkuatan geotekstil, bidang longsor yang terjadi mengalami perubahan. Potensi kelongsoran pada lereng timbunan 14 m dengan perkuatan geotekstil terjadi pada tanah timbunan, yaitu pada bagian tepi lereng bergerak hingga badan lereng seperti pada Gambar 5.56 dan 5.57 berikut.



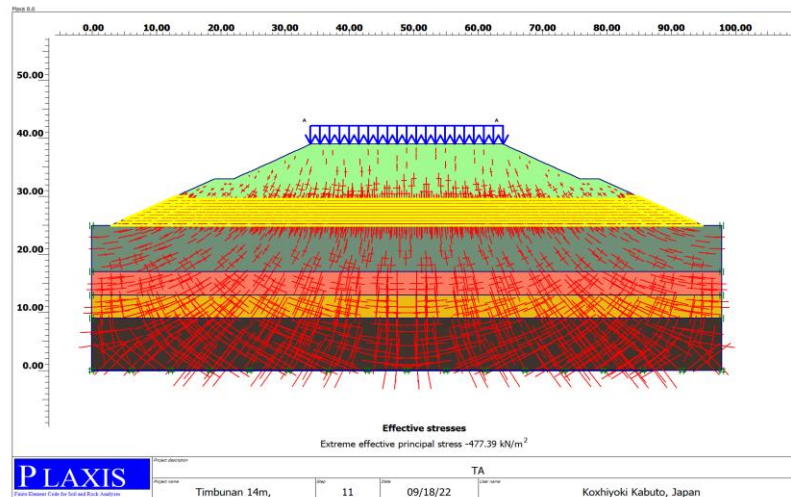
**Gambar 5.56 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstuksi Akibat Beban Lalu Lintas**



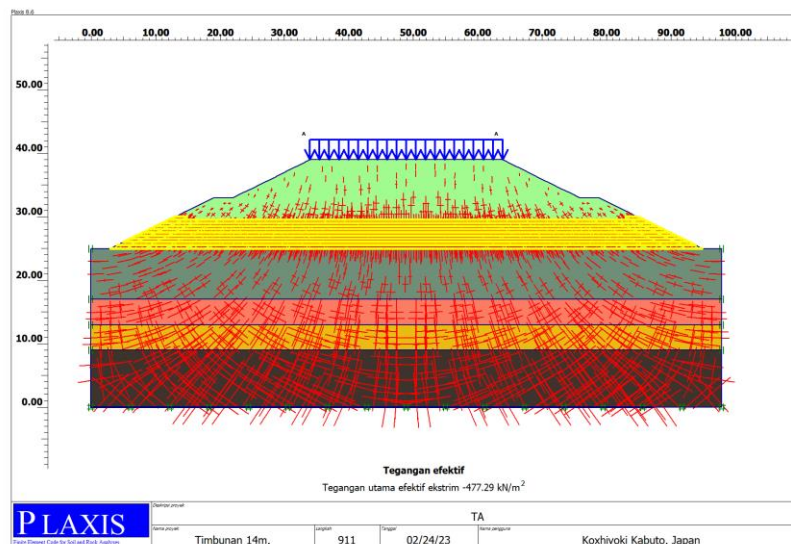
**Gambar 5.57 Bidang Longsor Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstuksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

e. *Effective stresses*

Nilai *effective stresses* akibat lereng timbunan 14 m dengan perkuatan geotekstil dan beban di atas sebesar  $-477,39 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan nilai *effective stresses* akibat beban struktur dan beban gempa sebesar  $-477,29 \text{ kN/m}^2$ . Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.58 dan 5.59 berikut.



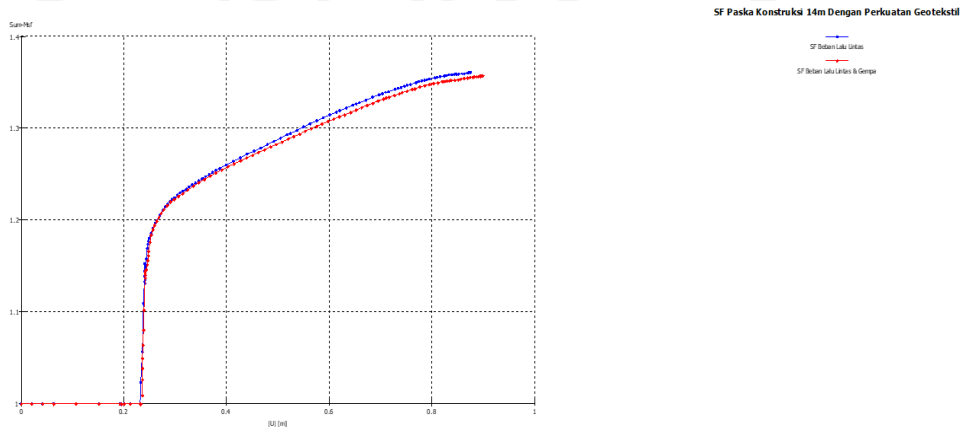
**Gambar 5.58 *Effective stresses* Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



**Gambar 5.59 *Effective stresses* Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

f. Angka Aman

Nilai angka aman yang terjadi pada kondisi paska konstruksi di timbunan 14 m akibat beban lalu lintas dengan perkuatan geotekstil sebesar 1,361. Sedangkan nilai angka aman pada timbunan 14 m akibat beban lalu lintas dan beban gempa dengan perkuatan geotekstil sebesar 1,357. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.60 berikut.



**Gambar 5.60 Kurva SF Lereng Timbunan 14 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi**

3. Perbandingan Hasil Angka Aman dan Penurunan Tanah

Hasil perbandingan nilai angka aman pada lereng dengan perkuatan geotekstil dengan tinggi timbunan 12 m dan 14 m pada kondisi masa konstruksi dan paska konstruksi dapat dilihat pada Tabel 5.12.

**Tabel 5.12 Hasil Nilai Angka Aman Lereng Timbunan Perkuatan Geotekstil**

No	Tinggi Timbunan	Nilai Angka Aman			
		Masa Konstruksi		Paska Konstruksi	
		Beban Struktur	Beban Struktur dan Beban Gempa	Beban Lalu Lintas	Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa
1	Timbunan 12 m	1,824	1,822	1,418	1,410
2	Timbunan 14 m	1,642	1,637	1,361	1,357

Hasil nilai angka aman yang ditunjukkan pada Tabel 5.11 menunjukkan bahwa lereng timbunan yang telah diperkuat dengan geotekstil dari tinggi timbunan 12 m hingga 14 m sudah mencapai nilai angka aman (SF) yang diizinkan yaitu sebesar 1,3. Sedangkan untuk hasil penurunan tanah pada timbunan dengan tinggi 12 m dan 14 m dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

**Tabel 5.13 Hasil Penurunan Lereng Timbunan Perkuatan Geotekstil**

No	Tinggi Timbunan	Penurunan Tanah (m)			
		Masa Konstruksi		Paska Konstruksi	
		Beban Struktur	Beban Struktur dan Beban Gempa	Beban Lalu Lintas	Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa
1	Timbunan 12 m	0,174	0,178	0,194	0,198
2	Timbunan 14 m	0,214	0,220	0,238	0,240

## 5.6 Pembahasan

Analisis lereng Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta. 2+400 dilakukan untuk mengetahui faktor aman dari lereng eksisting, mencari pada ketinggian berapa tanah timbunan tersebut mengalami kelongsoran atau keruntuhan, serta mencari faktor aman dari lereng dengan menggunakan perkuatan geotekstil. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan beberapa variasi tinggi tanah timbunan. Tinggi tanah timbunan bervariasi mulai dari 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, 12m dan 14m. Dengan bervariasinya tinggi tanah timbunan, diharapkan dapat diketahui hingga ketinggian berapa kekuatan tanah asli dapat mendukung beban tanah timbunan di atasnya serta memperhitungkan beban gempa yang terjadi. Penelitian ini dianalisis dengan dua kondisi seperti pada kondisi masa konstruksi dan paska konstruksi yang bertujuan untuk membandingkan hasil yang diperoleh. Analisis dilakukan dengan perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius* dan menggunakan bantuan program *Plaxis 8.6*.

Dari hasil analisis lereng timbunan eksisting dinilai dalam keadaan stabil, pada kondisi masa konstruksi nilai angka aman dengan beban struktur sebesar 1,797



serta nilai angka aman dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 1,796. Pada kondisi paska konstruksi nilai angka aman dengan beban lalu lintas sebesar 1,404 serta nilai angka aman dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 1,398. Hasil tersebut telah memenuhi syarat angka aman lereng yaitu  $> 1,3$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa kekuatan tanah asli mampu menahan timbunan dan beban yang bekerja di atasnya dengan baik dan stabil.

Pada penelitian ini, tidak hanya membahas dan mencari tahu nilai angka aman lereng eksisting. Namun juga mencari sampai dengan ketinggian berapa kekuatan tanah asli dapat mendukung beban timbunan dan beban lalu lintas di atasnya. Dengan variasi ketinggian yang telah ditetapkan, hasil analisis menggunakan program *Plaxis* lereng timbunan tanpa perkuatan baik pada kondisi masa konstruksi maupun paska konstruksi memiliki hasil yang berbeda-beda. Timbunan lereng 2 m, pada kondisi masa konstruksi nilai angka aman dengan beban struktur sebesar 4,247 serta nilai angka aman dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 4,235. Pada kondisi paska konstruksi nilai angka aman dengan beban lalu lintas sebesar 2,641 serta nilai angka aman dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 2,626. Timbunan lereng 4 m, pada kondisi masa konstruksi nilai angka aman dengan beban struktur sebesar 2,720 serta nilai angka aman dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 2,709. Pada kondisi paska konstruksi nilai angka aman dengan beban lalu lintas sebesar 1,940 serta nilai angka aman dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 1,919. Timbunan lereng 6 m, pada kondisi masa konstruksi nilai angka aman dengan beban struktur sebesar 2,052 serta nilai angka aman dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 2,048. Pada kondisi paska konstruksi nilai angka aman dengan beban lalu lintas sebesar 1,556 serta nilai angka aman dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 1,552. Timbunan lereng 8 m, pada kondisi masa konstruksi nilai angka aman dengan beban struktur sebesar 1,797 serta nilai angka aman dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 1,796. Pada kondisi paska konstruksi nilai angka aman dengan beban lalu lintas sebesar 1,404 serta nilai angka aman dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 1,398. Timbunan lereng 10 m, pada kondisi masa konstruksi nilai angka aman dengan beban struktur sebesar 1,601 serta nilai angka aman dengan beban struktur



dan beban gempa sebesar 1,599. Pada kondisi paska konstruksi nilai angka aman dengan beban lalu lintas sebesar 1,334 serta nilai angka aman dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 1,331. Timbunan lereng 12 m, pada kondisi masa konstruksi nilai angka aman dengan beban struktur sebesar 1,441 serta nilai angka aman dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 1,439. Pada kondisi paska konstruksi nilai angka aman dengan beban lalu lintas sebesar 1,225 serta nilai angka aman dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 1,223. Timbunan lereng 14 m, pada kondisi masa konstruksi nilai angka aman dengan beban struktur sebesar 1,293 serta nilai angka aman dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 1,291. Pada kondisi paska konstruksi nilai angka aman dengan beban lalu lintas sebesar 1,138 serta nilai angka aman dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 1,136. Dari hasil analisis tersebut, dapat diketahui bahwa lereng timbunan mulai mengalami atau berpotensi terjadi kelongsoran atau keruntuhan pada ketinggian 12 m dan 14 m. pada ketinggian tersebut kekuatan tanah sudah tidak mampu mendukung beban timbunan dan beban lalu lintas di atasnya atau memiliki nilai angka aman  $> 1,3$ .

Dalam penelitian ini juga melakukan analisis penurunan tanah yang terjadi. Hasil analisis menggunakan program *Plaxis* lereng timbunan tanpa perkuatan baik pada kondisi masa konstruksi maupun paska konstruksi memiliki hasil yang berbeda-beda. Timbunan lereng 2 m, pada masa konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban struktur sebesar 0,026 m, serta nilai penurunan tanah dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 0,028 m. Pada paska konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas sebesar 0,036 m serta nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 0,038 m. Timbunan lereng 4 m, pada masa konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban struktur sebesar 0,049 m, serta nilai penurunan tanah dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 0,050 m. Pada paska konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas sebesar 0,061 m serta nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 0,062 m. Timbunan lereng 6 m, pada masa konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban struktur sebesar 0,076 m, serta nilai penurunan tanah dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 0,078 m. Pada paska konstruksi nilai penurunan tanah

dengan beban lalu lintas sebesar 0,090 m serta nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 0,092 m. Timbunan lereng 8 m, pada masa konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban struktur sebesar 0,105 m, serta nilai penurunan tanah dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 0,110 m. Pada paska konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas sebesar 0,121 m serta nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 0,126 m. Timbunan lereng 10 m, pada masa konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban struktur sebesar 0,139 m, serta nilai penurunan tanah dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 0,143 m. Pada paska konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas sebesar 0,151 m serta nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 0,161 m. Timbunan lereng 12 m, pada masa konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban struktur sebesar 0,176 m, serta nilai penurunan tanah dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 0,180 m. Pada paska konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas sebesar 0,196 m serta nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 0,199 m. Timbunan lereng 14 m, pada masa konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban struktur sebesar 0,217 m, serta nilai penurunan tanah dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 0,223 m. Pada paska konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas sebesar 0,241 m serta nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 0,243 m.

Analisis menggunakan perhitungan manual dengan metode *Fellenius* dilakukan pada lereng timbunan 14 m. Perhitungan ini dilakukan untuk membandingkan hasil antara perhitungan manual dan perhitungan menggunakan program bantuan *Plaxis*. Dari perhitungan tersebut didapatkan hasil bahwa nilai angka aman yang didapat sebesar 1,015. Jika dibandingkan dengan hasil menggunakan program *Plaxis* dengan nilai angka aman sebesar 1,136, terdapat selisih perbedaan hasil. Hal itu dapat disebabkan karena pengambilan cakupan bidang longsor yang membuat terdapat perbedaan hasil angka aman. Namun, kedua analisis tersebut tetap menandai bahwa lereng tersebut dalam keadaan labil atau berpotensi terjadi longsor karena nilai angka aman  $< 1,3$ .

Lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil dilakukan pada lereng timbunan dengan ketinggian 12 m dan 14 m. Analisis dilakukan menggunakan program *Plaxis* baik dalam kondisi masa konstruksi maupun paska konstruksi. Timbunan lereng 12 m, pada kondisi masa konstruksi nilai angka aman dengan beban struktur sebesar 1,824 serta nilai angka aman dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 1,822. Pada kondisi paska konstruksi nilai angka aman dengan beban lalu lintas sebesar 1,418 serta nilai angka aman dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 1,410. Nilai penurunan tanah pada timbunan lereng 12 m kondisi masa konstruksi dengan beban struktur sebesar 0,174 m, serta nilai penurunan tanah dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 0,178 m. Pada kondisi paska konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas sebesar 0,194 m, serta nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 0,198 m. Timbunan lereng 14 m, pada kondisi masa konstruksi nilai angka aman dengan beban struktur sebesar 1,642 serta nilai angka aman dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 1,637. Pada kondisi paska konstruksi nilai angka aman dengan beban lalu lintas sebesar 1,361 serta nilai angka aman dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 1,357. Nilai penurunan tanah pada timbunan lereng 14 m kondisi masa konstruksi dengan beban struktur sebesar 0,214 m, serta nilai penurunan tanah dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 0,220 m. Pada kondisi paska konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas sebesar 0,238 m, serta nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 0,240 m. Hasil analisis tersebut menunjukkan adanya kenaikan nilai angka aman dan penurunan nilai penurunan tanah yang terjadi setelah diberi perkuatan geotekstil dan sudah melebihi syarat aman lereng timbunan untuk spesifikasi jalan sebesar nilai angka aman  $> 1,3$ . Maka timbunan lereng 12 m dan 14 m dengan perkuatan dianggap aman dan stabil.

Rekapitulasi analisis lereng timbunan pada Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 2+400 dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Analisis *Safety Factor* Seluruh Lereng Timbunan

Kondisi Lereng Timbunan			Nilai SF Timbunan Sebelum di beri Geotekstil							Nilai SF Timbunan Setelah di beri Geotekstil	
			2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	12m	14m
Kondisi Tanah Asli	Masa Konstruksi	Beban Struktur	4,247	2,720	2,052	1,797	1,601	1,441	1,293	1,824	1,642
		Beban & Gempa	4,235	2,709	2,048	1,796	1,599	1,439	1,291	1,822	1,637
	Paska Konstruksi	Beban Lalu Lintas	2,641	1,940	1,556	1,404	1,334	1,225	1,138	1,418	1,361
		Beban & Gempa	2,626	1,919	1,552	1,398	1,331	1,223	1,136	1,410	1,357

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Analisis Penurunan Tanah Seluruh Lereng Timbunan

Kondisi Lereng Timbunan			Nilai Penurunan Tanah Timbunan Sebelum di beri Geotekstil (m)							Nilai Penurunan Tanah Timbunan Setelah di beri Geotekstil (m)	
			2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	12m	14m
Kondisi Tanah Asli	Masa Konstruksi	Beban Struktur	0,026	0,049	0,076	0,105	0,139	0,176	0,217	0,174	0,214
		Beban & Gempa	0,028	0,050	0,078	0,110	0,143	0,180	0,223	0,178	0,220
	Paska Konstruksi	Beban Lalu Lintas	0,036	0,061	0,090	0,121	0,151	0,196	0,241	0,194	0,238
		Beban & Gempa	0,038	0,062	0,092	0,126	0,161	0,199	0,243	0,198	0,240

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil analisis lereng timbunan eksisting, pada kondisi masa konstruksi nilai angka aman dengan beban struktur sebesar 1,797, nilai angka aman dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 1,796. Pada kondisi paska konstruksi nilai angka aman dengan beban lalu lintas sebesar 1,404 serta nilai angka aman dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 1,398. Hasil tersebut telah memenuhi syarat angka aman lereng yaitu  $> 1,3$ . Nilai penurunan tanah pada masa konstruksi dengan beban struktur sebesar 0,105 m, nilai penurunan tanah dengan beban struktur dan beban gempa sebesar 0,110 m. Pada paska konstruksi nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas sebesar 0,121 m, nilai penurunan tanah dengan beban lalu lintas dan beban gempa sebesar 0,126 m.
2. Hasil analisis stabilitas pada kondisi masa konstruksi menunjukkan bahwa angka aman untuk lereng 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, 12m dan 14m akibat beban struktur secara berturut di dapat angka aman sebesar 4,247; 2,720; 2,052; 1,797; 1,601; 1,441; dan 1,293. Nilai penurunan tanah akibat beban struktur secara berturut di dapat nilai penurunan sebesar 0,026m; 0,049m; 0,076m; 0,105m; 0,139m; 0,176m; dan 0,217. Sedangkan nilai angka aman akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 4,235; 2,709; 2,048; 1,796; 1,599; 1,439; dan 1,291. Nilai penurunan tanah akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 0,028m; 0,050m; 0,078m; 0,110m; 0,143m; 0,180m; dan 0,223m.

Pada kondisi paska kondisi paska konstruksi di dapat nilai angka aman akibat beban lalu lintas secara berturut sebesar 2,641; 1,940; 1,556; 1,404; 1,334; 1,225; dan 1,138. Nilai penurunan akibat beban lalu lintas secara berturut di dapat nilai penurunan sebesar 0,036m; 0,061m; 0,090m; 0,121m; 0,151m; 0,196m; dan 0,241m. Sedangkan nilai angka aman akibat beban lalu lintas dan

beban gempa secara berturut sebesar 2,626; 1,919; 1,552; 1,398; 1,331; 1,223; dan 1,136. Nilai penurunan tanah akibat beban lalu lintas dan beban gempa secara berturut di dapat nilai penurunan tanah sebesar 0,038m; 0,062m; 0,092m; 0,126m; 0,161m; 0,199m; dan 0,243m.

3. Dari hasil akhir analisis lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil dilakukan pada timbunan 12m dan 14m. Hasil analisis stabilitas dengan perkuatan geotekstil pada kondisi masa konstruksi menunjukkan bahwa angka aman untuk lereng 12m dan 14m akibat beban struktur secara berturut di dapat angka aman sebesar 1,824 dan 1,642. Nilai penurunan tanah akibat beban struktur secara berturut di dapat nilai penurunan sebesar 0,174m dan 0,214m. Sedangkan nilai angka aman akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 1,822 dan 1,637. Nilai penurunan tanah akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 0,178m dan 0,220m.

Pada kondisi paska kondisi paska konstruksi di dapat nilai angka aman akibat beban lalu lintas secara berturut sebesar 1,418 dan 1,361. Nilai penurunan akibat beban lalu lintas secara berturut di dapat nilai penurunan sebesar 0,194m dan 0,238m. Sedangkan nilai angka aman akibat beban lalu lintas dan beban gempa secara berturut sebesar 1,410 dan 1,357. Nilai penurunan tanah akibat beban lalu lintas dan beban gempa secara berturut di dapat nilai penurunan tanah sebesar 0,198m dan 0,240m.

## 6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran pada penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengaruh jumlah pemasangan lapisan perkuatan geotekstil pada tanah timbunan.
2. Pada penelitian selanjutnya dicari perbandingan alternatif perkuatan yang lain, sehingga dapat dilakukan perbandingan alternatif perkuatan.
3. Untuk penelitian lebih lanjut perlu dilakukan dengan membandingkan analisis menggunakan program lainnya seperti Xstable, Geoslope, Rocscience, atau plaxis edisi terbaru dan lain sebagainya, untuk selanjutnya dibandingkan hasil analisis menggunakan Plaxis 8.6.

## DAFTAR PUSTAKA

- 1726:2019, S. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. In *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.
- Arsy, Aisyah. (2018). Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius (Study Kasus: Proyek Jalan Tol Solo-Kertasono STA 4+175). [dspace.uui.ac.id](http://dspace.uui.ac.id). Yogyakarta.
- Bowles, J.E. (1989). Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Terjemahan. Erlangga. Jakarta.
- Das, B.M. (1988). Mekanika Tanah (*Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*). Edisi Pertama. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Das, B.M. (1994). Mekanika Tanah (*Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*). Jilid II. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (1994). Mekanika Tanah 2. Edisi Pertama. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (1996). Mekanika Tanah I. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2002). Mekanika Tanah I. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2006). Mekanika Tanah I. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2008). Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya. Edisi Pertama. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2010). Mekanika Tanah 1. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.



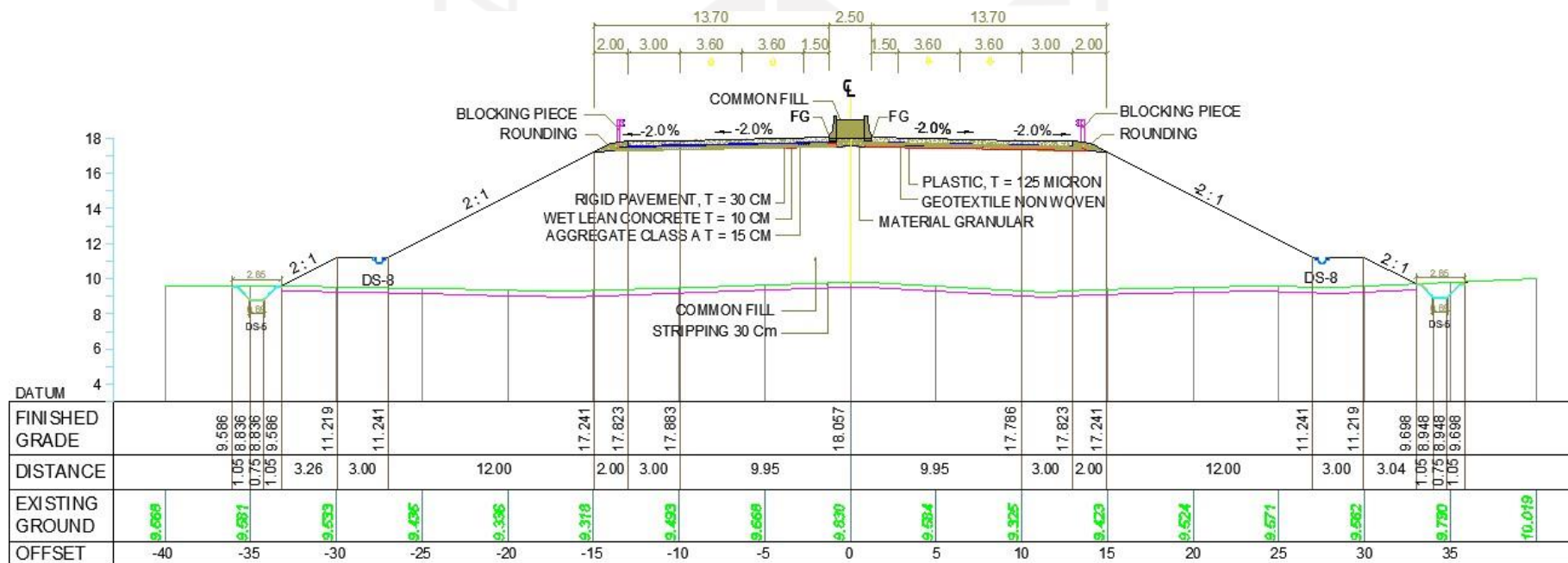
- Hardiyatmo, H. C. (2003). *Mekanika Tanah II*. Edisi Ke III Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C. (2011). *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta:Gajah Mada University Press.
- Isparmo, 2010. Geotextile Woven, Definisi dan Fungsi. (<http://geotextile.web.id/geotextile-woven-definisi-dan-fungsi.html>. Diakses 15 November 2020)
- Kafikanda, D.W. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil Dengan Program *Geoslope* Studi Kasus Jalan Tol Balikpapan-Samarinda, Pada Sta. 1+975. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Kartikasari, Dewi. (2018). Analisis Stabilitas Lereng Dengan *Sheetpile* Pada Proyek Jalan Tol Semarang - Solo Ruas Salatiga - Kartasura. [dspace.uii.ac.id](http://dspace.uii.ac.id). Yogyakarta.
- Purwanto, Edy. (2012). *Hand Out Mata Kuliah Perkuatan Tanah*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- PT. Prima Geotex Indo (2021). Technical Spesification. Geotextile Woven. Banten.
- Sekarti, D.N.A. (2018). Analisis Stabilitas Timbunan di Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Salatiga Kartasura. [dspace.uii.ac.id](http://dspace.uii.ac.id). Yogyakarta.
- Sosrodarsono, Sunyono, Ir. dan Nakazawa , K. (2000). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Utomo, B.P. (2019). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing* Dengan Menggunakan Program *Geoslope* Pada Bantaran Sungai Code. [dspace.uii.ac.id](http://dspace.uii.ac.id). Yogyakarta.



# LAMPIRAN

**Lampiran 1. Data Proyek Jalan Tol Balikpapan - Samarinda**

Gambar Geometri Potongan Melintang Sta 2+400 Jalan Tol Balikpapan - Samarinda





## Lampiran 2. Data Tanah

Data Parameter Tanah Timbunan Sta 2+400 Jalan Tol Balikpapan – Samarinda

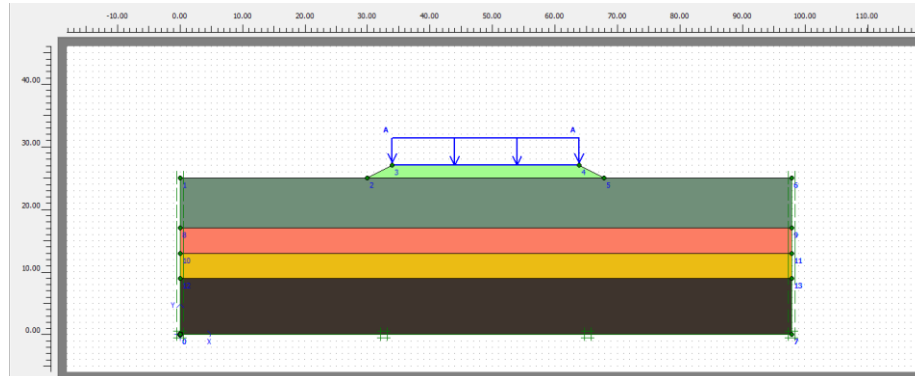
Sta 2+400												
Kedalaman (m)			Jenis Tanah	NSPT	Simbol	Parameter Short Term						
						Kondisi	$\gamma$ unsat (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ sat (KN/m <sup>3</sup> )	E (KN/m <sup>2</sup> )	U	c <sub>u</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	$\phi$
0	-	8	Lempung Pasiran	18	C	Undrained	15	16	7200	0,25	108	1,00
8	-	12	Batu Bara	44	C	Undrained	19	20	15000	0,25	264	2,00
12	-	16	Lempung Kaku	44	C	Undrained	19	20	15000	0,25	264	3,00
16	-	25	Lempung Sangat Kaku	56	C	Undrained	19	20	18600	0,25	336	4,00
			Timbunan Pilihan	-	C	Undrained	16,6	17,6	25000	0,3	20	10,00

### Lampiran 3. Data *Technical Specification* Geotekstil Woven

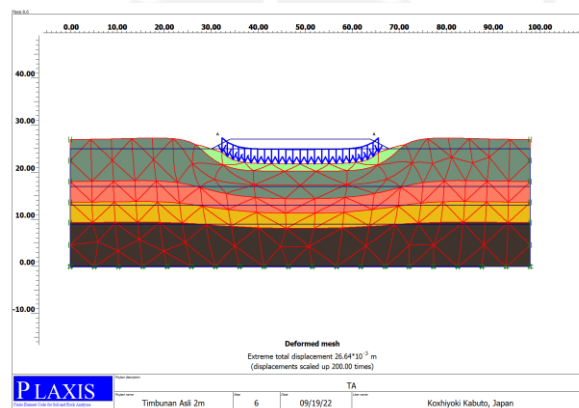
 <b>TECHNICAL DATA SHEET OF WOVEN POLYPROPYLENE (PP)</b>						
ITEM	TEST METHODE	UNIT	150 Gr	200 Gr	250 Gr	300 Gr
<b>PHYSICAL</b>						
Mass	-	Gr/sqm	150	200	250	300
Thickness	-	mm	0.92 - 1.07	0.99 - 1.1	1.1 - 1.2	-
Polymer	-	-	PP	PP	PP	PP
Colour (Warna)	-	-	Hitam			
<b>MECHANICAL</b>						
<b>Tensile Strength</b> Machine Direction (Warp) Cross Machine Dir. (Weft)	ASTM D 4595	kN/m	30 30	37.4 34.1	48.25 45.13	69.34 60.6
<b>Elongation</b> Machine Direction (Warp) Cross Machine Dir. (Weft)	ASTM D 4595	%	21 20	41.4 34.1	19 18	18 17
<b>Grab Tensile</b> Machine Direction (Warp) Cross Machine Dir. (Weft)	ASTM D 4632	N	1023 948	1610 1170	1500 1300	2500 2000
<b>Trapezoidal Tear Strength</b> Machine Direction (Warp) Cross Machine Dir. (Weft)	ASTM D 4533	N	568 512	1030 612	950 900	1600 1500
<b>Trapezoidal Tear Strength</b>	ASTM D 4833	N	284	537	650	800
<b>HYDRAULIC</b>						
Effective Opening Size	ASTM D 4751	mm	0.3	0.383	0.05	0.0081
Flow Rate		l/sqm/sec	22	20	18	17
Permeability	ASTM D 4491	Cm/sec	-	0.0057	0.017	0.01
<b>ENVIRONMENTAL</b>						
Effect of Soil Alkalinity	-	-	nil	nil	nil	nil
Effect of Soil Acidity	-	-	nil	nil	nil	nil
Effect of U.V Light	-	-	nil	nil	nil	nil
<b>DIMENSION</b>						
Roll Width	-	m	4			
Roll Length	-	m	150/200	150/200	150	150
Roll Diameter	-	m	0.25	0.3	0.4	0.45


[www.primageotex.co.id](http://www.primageotex.co.id)

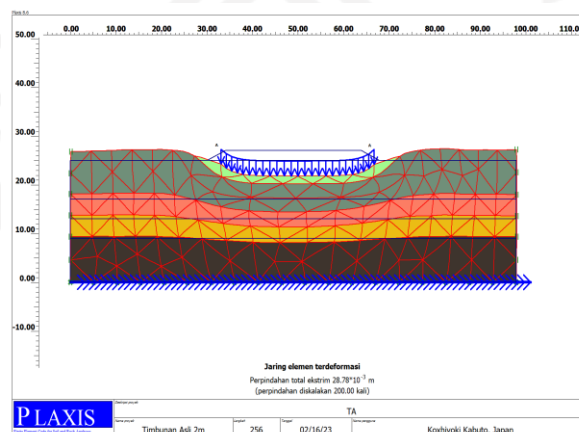
#### Lampiran 4. Hasil Pemodelan *Plaxis* Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan



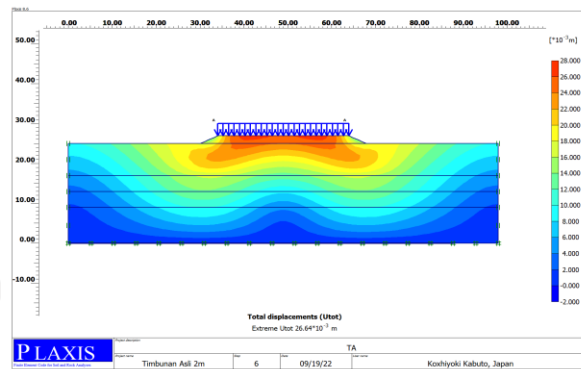
Gambar L-4.1 Pemodelan Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan



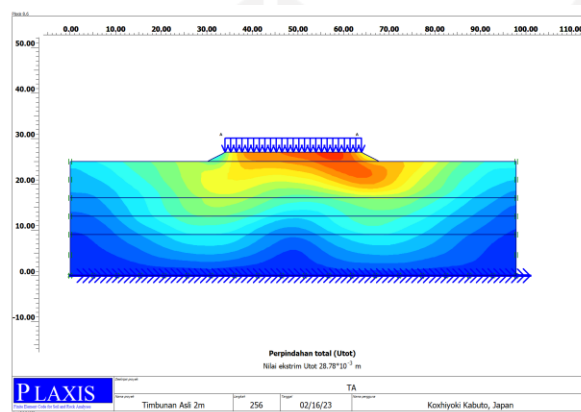
Gambar L-4.2 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



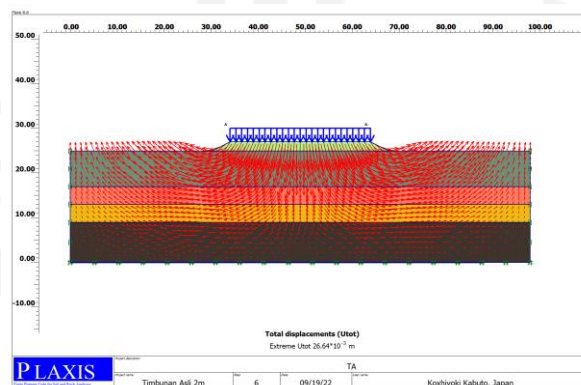
Gambar L-4.3 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa



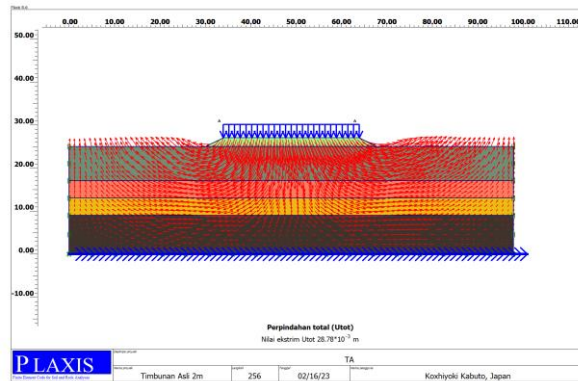
**Gambar L-4.4 Total Displacement Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



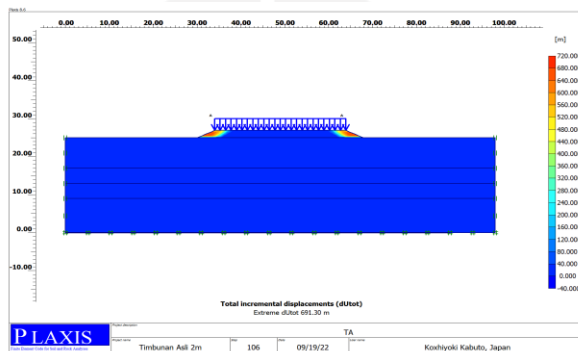
**Gambar L-4.5 Total Displacement Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**



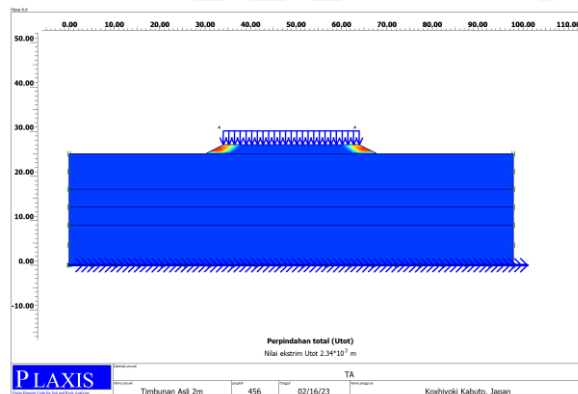
**Gambar L-4.6 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



**Gambar L-4.7 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

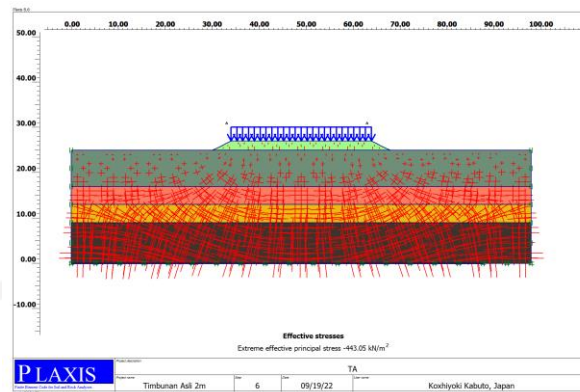


**Gambar L-4.8 Bidang Longsor Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**

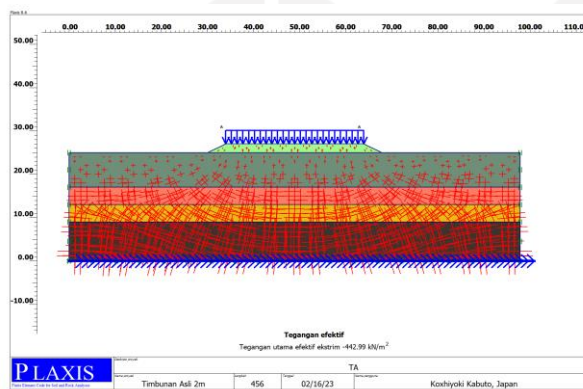


**Gambar L-4.9 Bidang Longsor Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

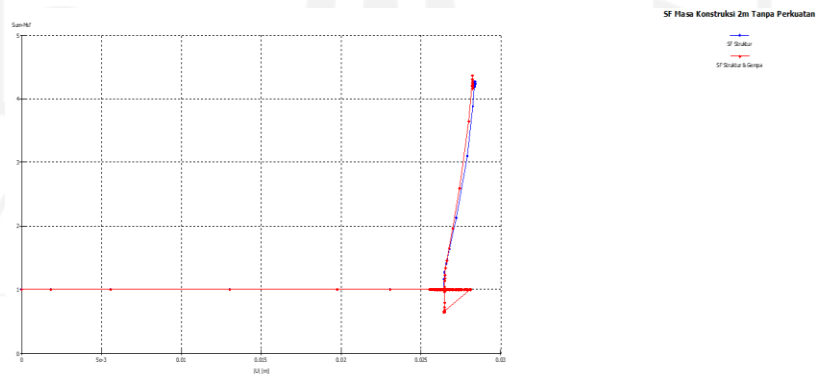




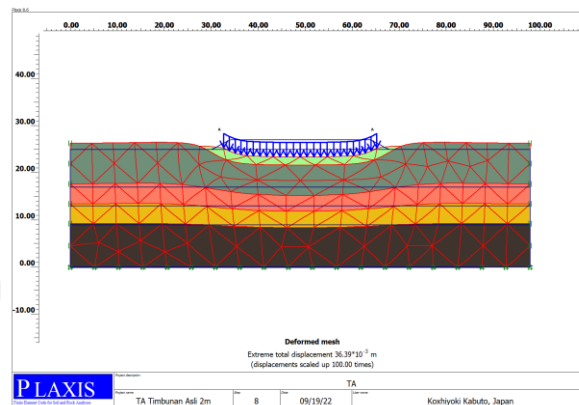
Gambar L-4.10 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



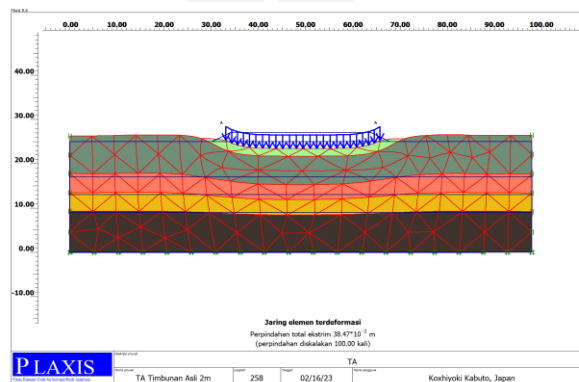
Gambar L-4.11 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban gempa



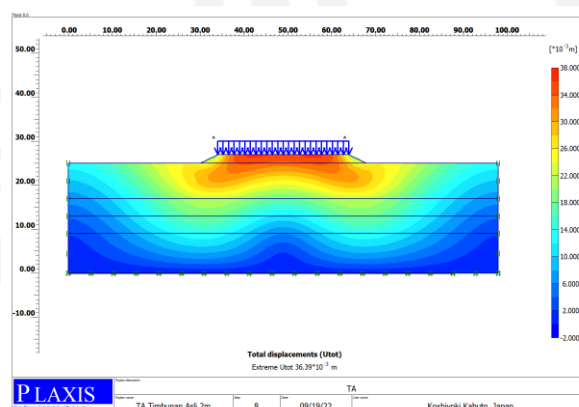
Gambar L-4.12 Kurva SF Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi



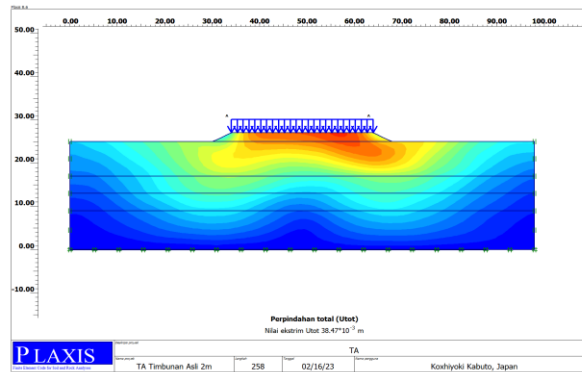
Gambar L-4.13 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



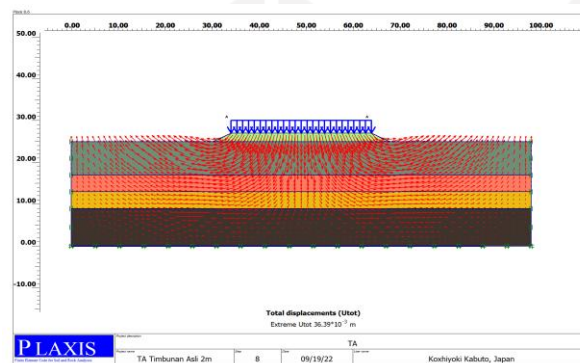
Gambar L-4.14 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa



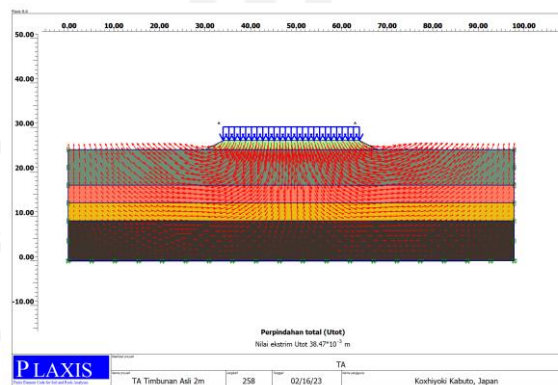
Gambar L-4.15 *Total Displacement* Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



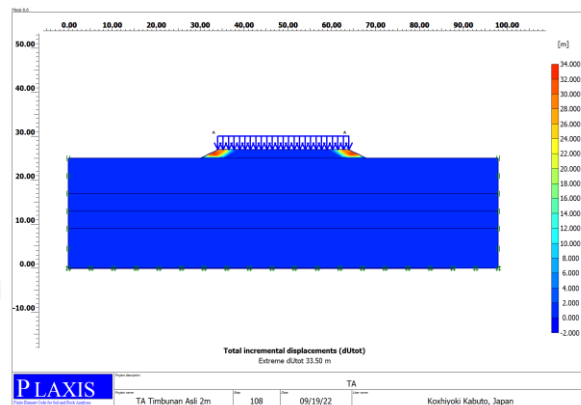
**Gambar L-4.16 Total Displacement Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



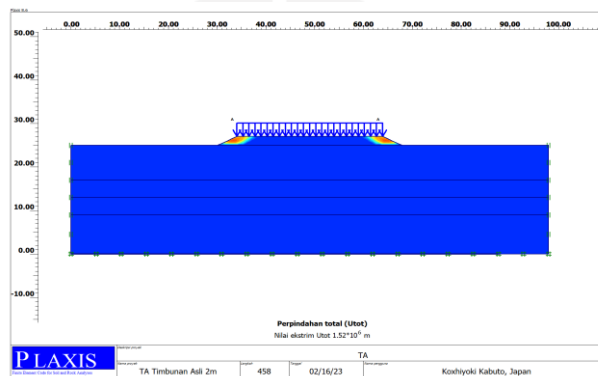
**Gambar L-4.17 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



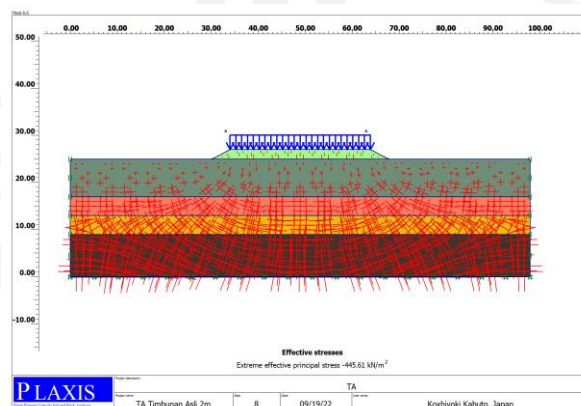
**Gambar L-4.18 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



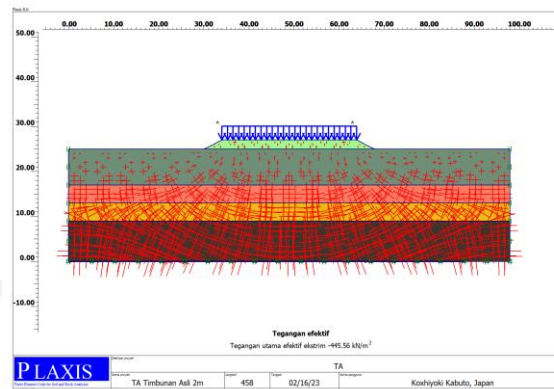
**Gambar L-4.19 Bidang Longsor Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



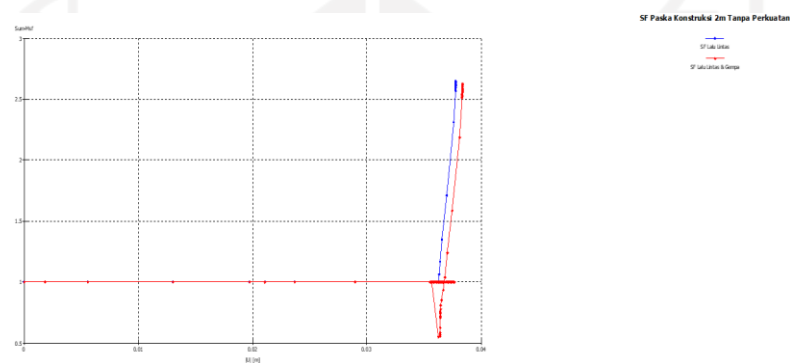
**Gambar L-4.20 Bidang Longsor Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



**Gambar L-4.21 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**

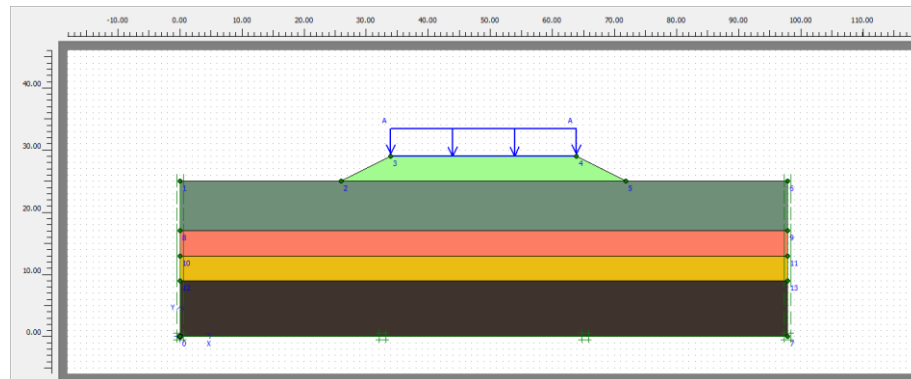


**Gambar L-4.22 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

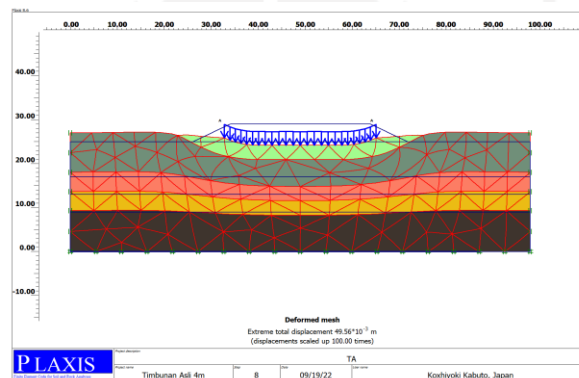


**Gambar L-4.23 Kurva SF Lereng Timbunan 2 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi**

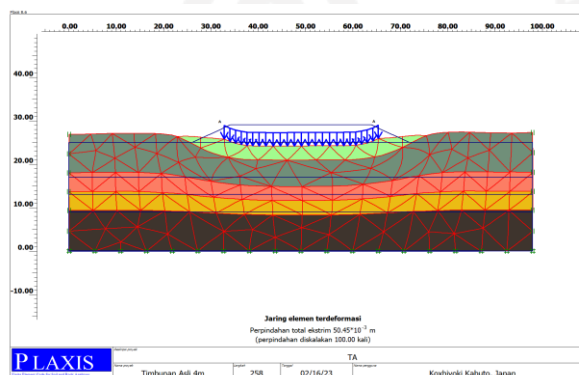
**Lampiran 5. Hasil Pemodelan *Plaxis* Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan**



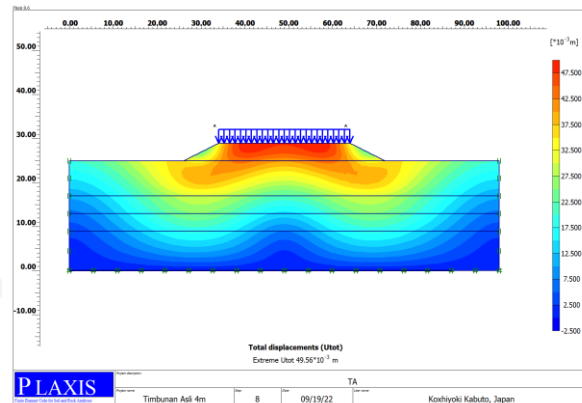
**Gambar L-5.1 Pemodelan Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan**



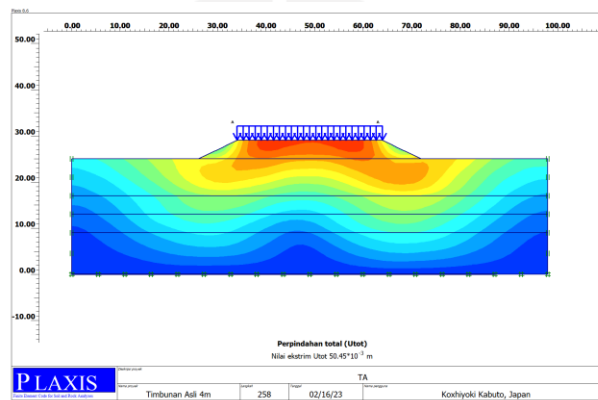
**Gambar L-5.2 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



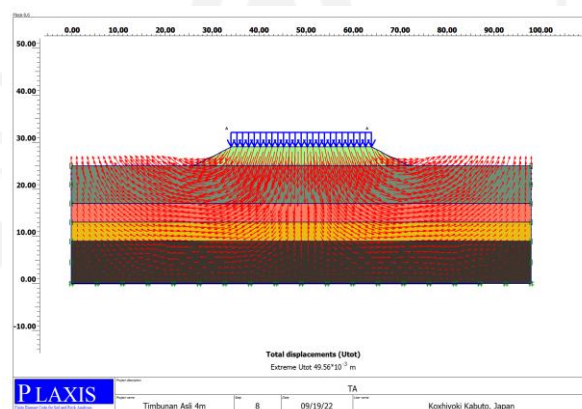
**Gambar L-5.3 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**



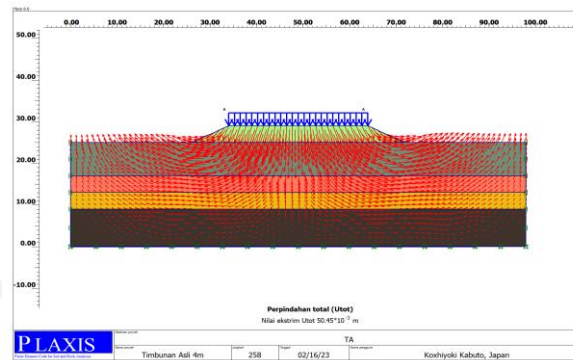
**Gambar L-5.4 Total Displacement Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



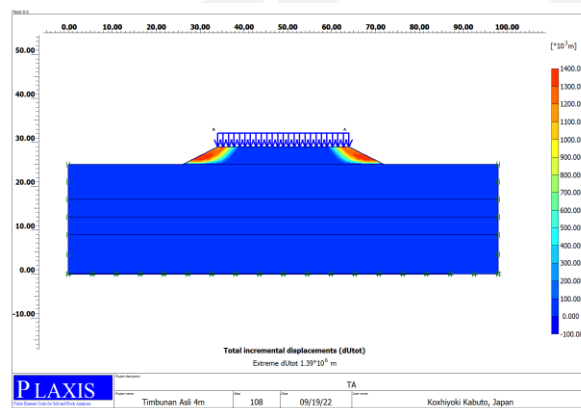
**Gambar L-5.5 Total Displacement Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**



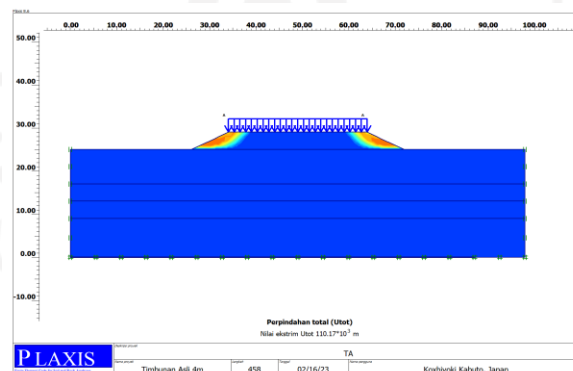
**Gambar L-5.6 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



**Gambar L-5.7 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

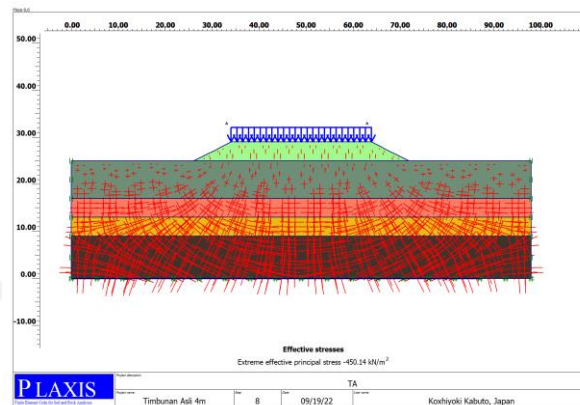


**Gambar L-5.8 Bidang Longsor Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**

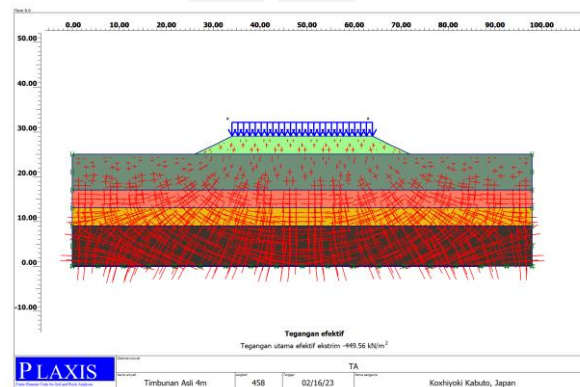


**Gambar L-5.9 Bidang Longsor Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

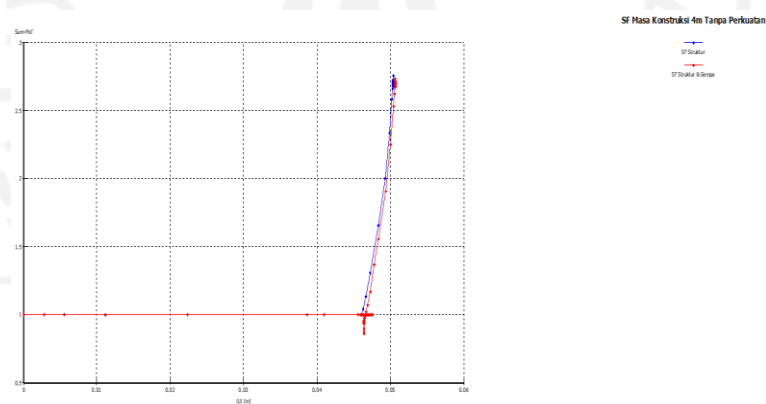




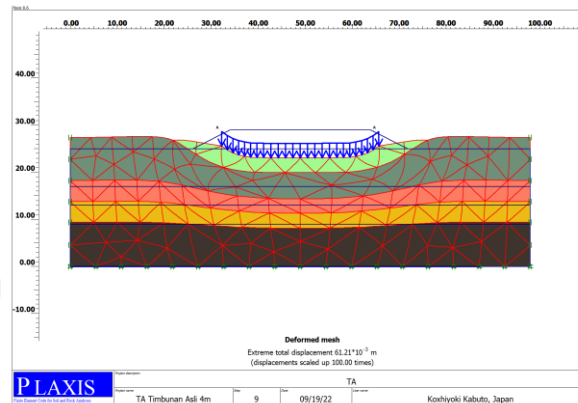
Gambar L-5.10 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



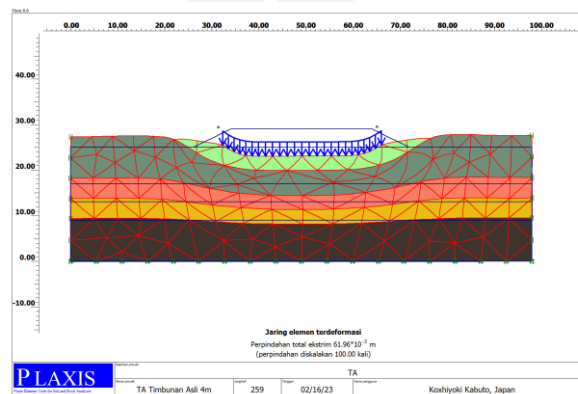
Gambar L-5.11 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



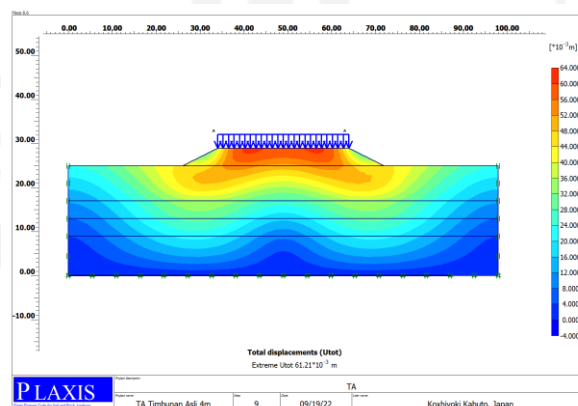
Gambar L-5.12 SF Kurva Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi



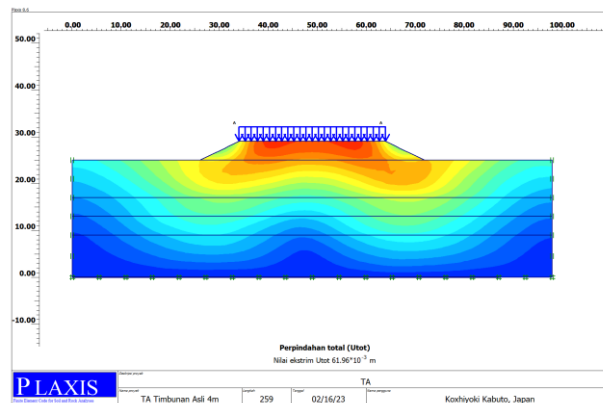
**Gambar L-5.13 Deformed Mesh Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



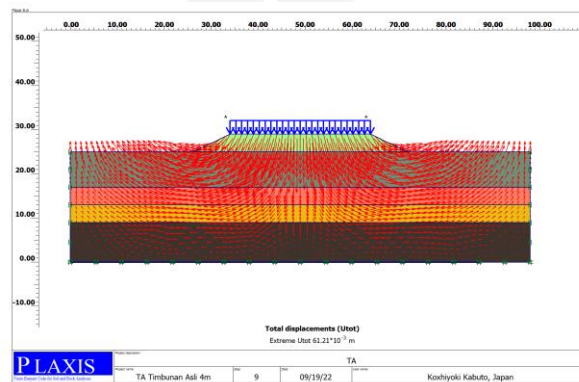
**Gambar L-5.14 Deformed Mesh Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



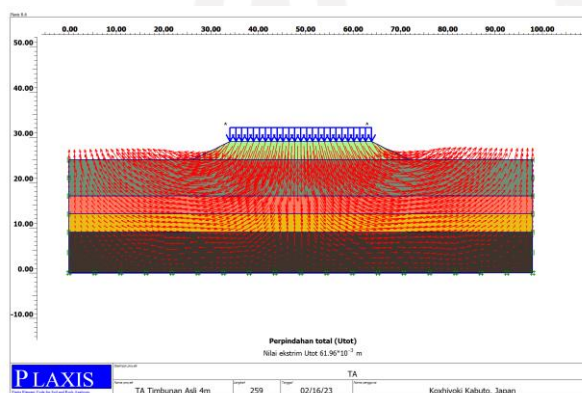
**Gambar L-5.15 Total Displacement Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



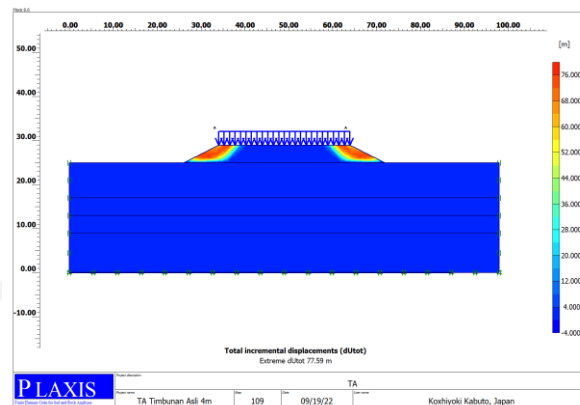
**Gambar L-5.16 Total Displacement Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



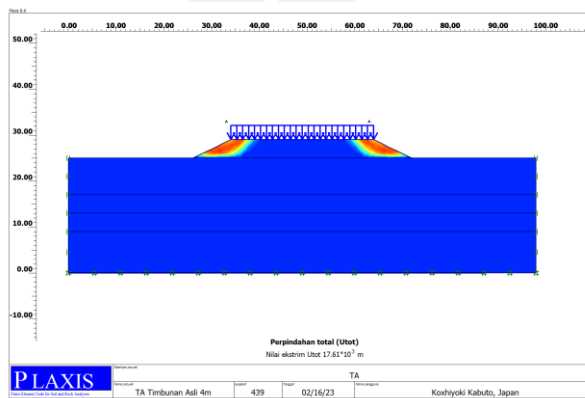
**Gambar L-5.17 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



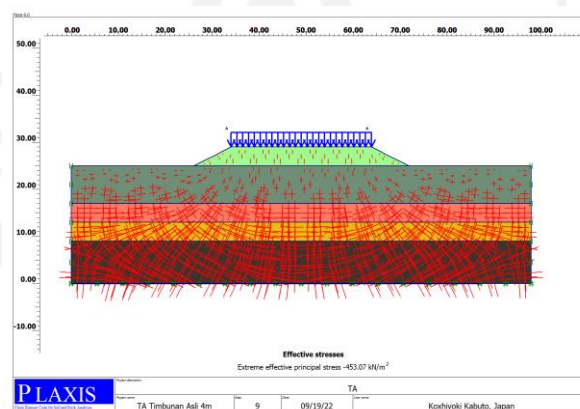
**Gambar L-5.18 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



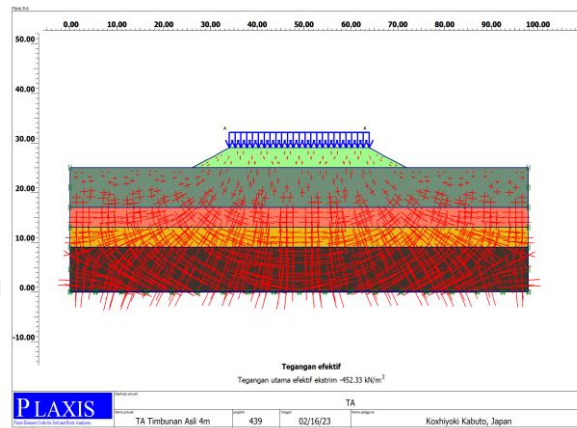
**Gambar L-5.19 Bidang Longsor Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



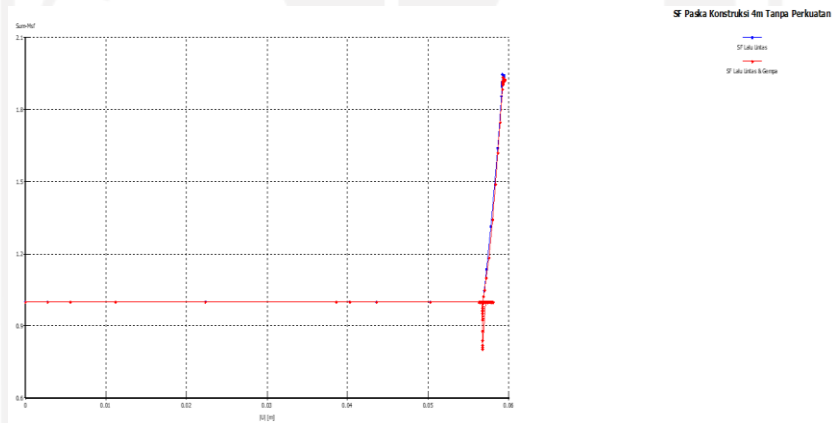
**Gambar L-5.20 Bidang Longsor Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



**Gambar L-5.21 Effective Stresses Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**

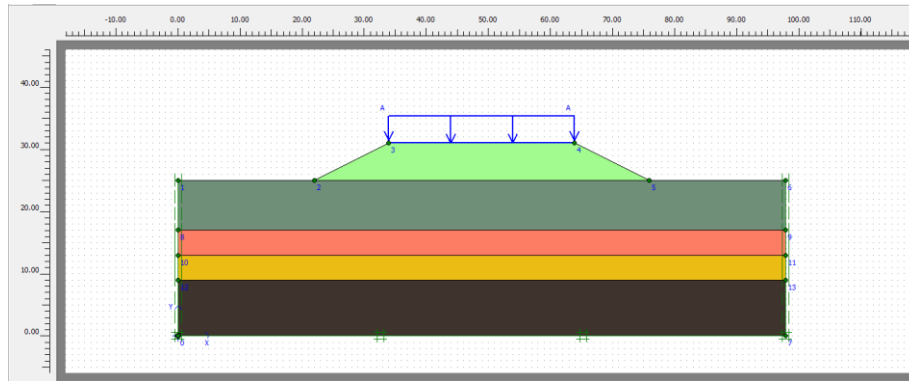


**Gambar L-5.22 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

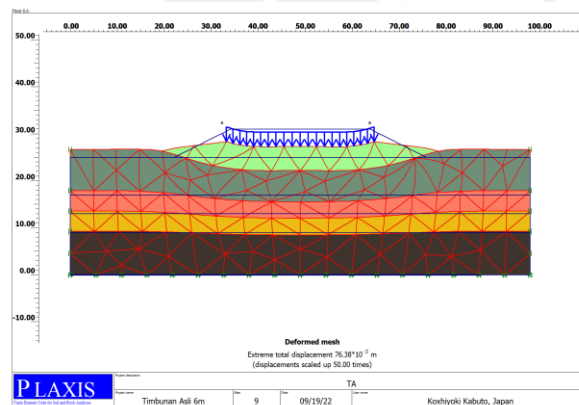


**Gambar L-5.23 Kurva SF Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi**

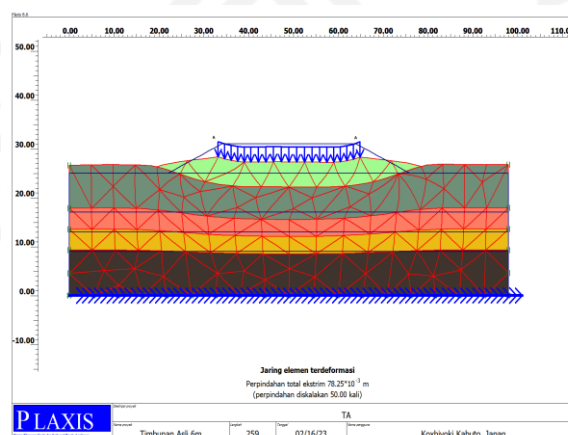
**Lampiran 6. Hasil Pemodelan *Plaxis* Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan**



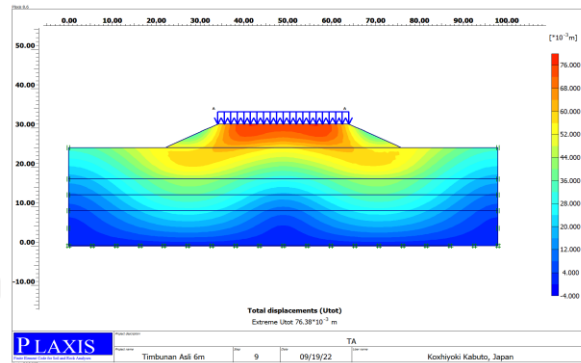
**Gambar L-6.1 Pemodelan Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan**



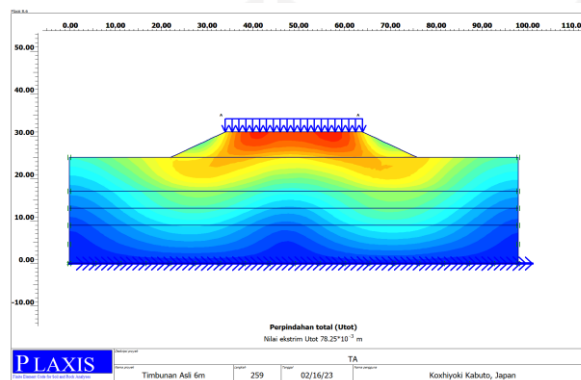
**Gambar L-6.2 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



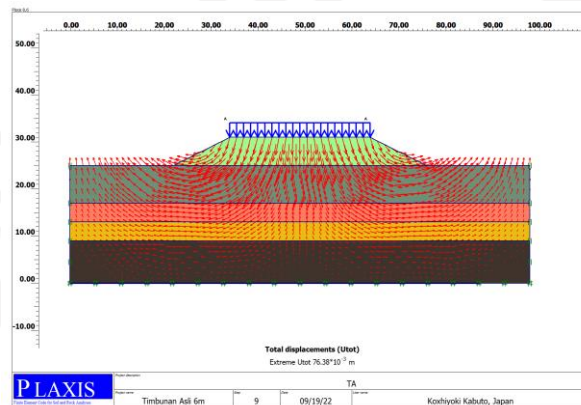
**Gambar L-6.3 Deformed Mesh Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**



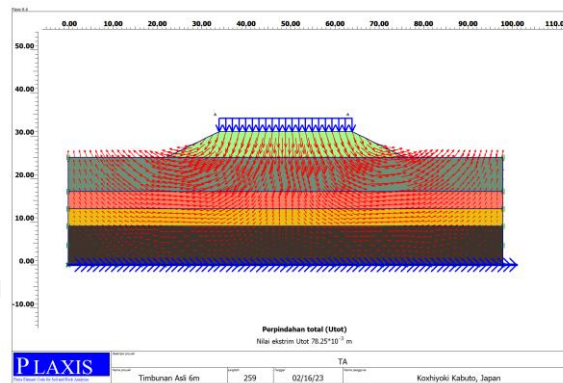
**Gambar L-6.4 Total Displacement Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



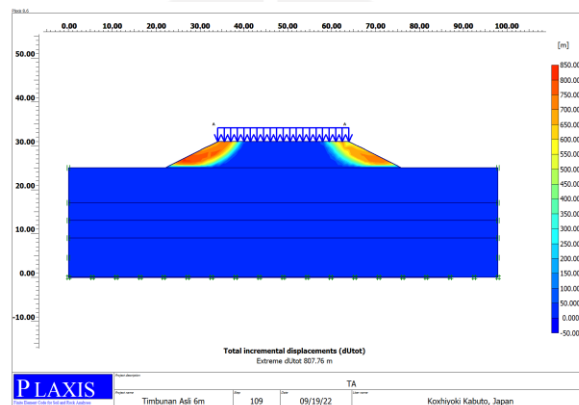
**Gambar L-6.5 Total Displacement Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**



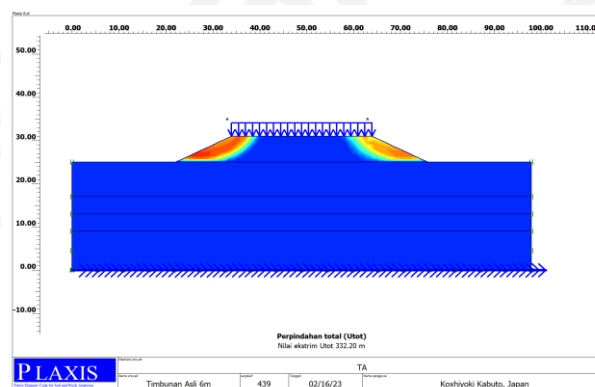
**Gambar L-6.6 Arah Pergerakan tanah Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



**Gambar L-6.7 Arah Pergerakan tanah Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

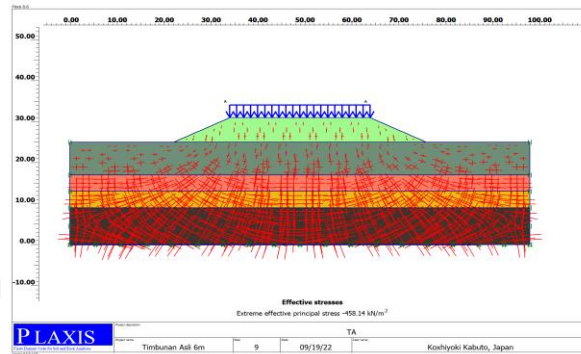


**Gambar L-6.8 Bidang Longsor Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**

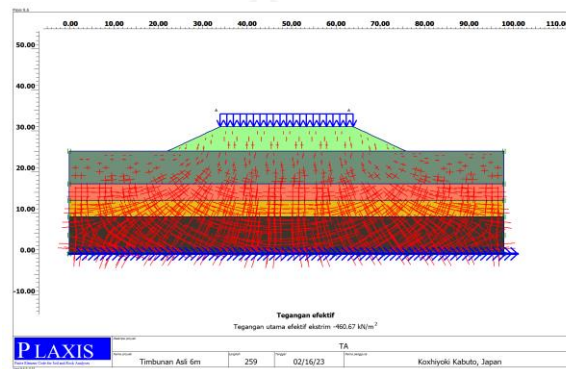


**Gambar L-6.9 Bidang Longsor Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

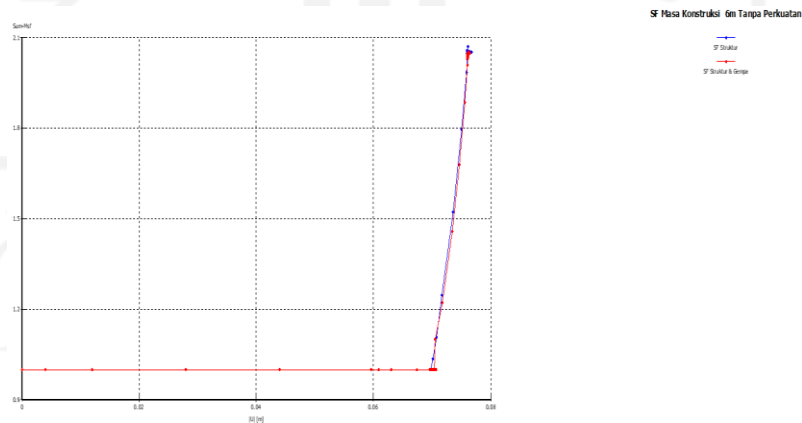




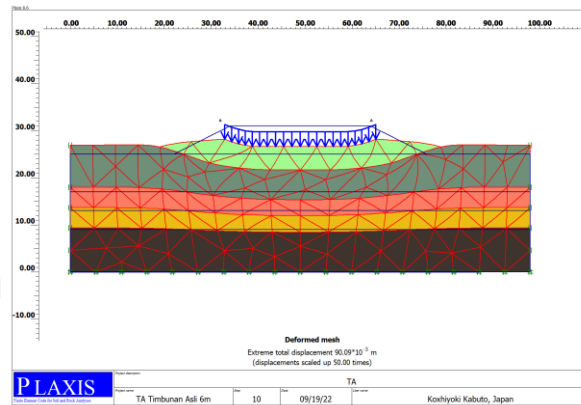
Gambar L-6.10 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



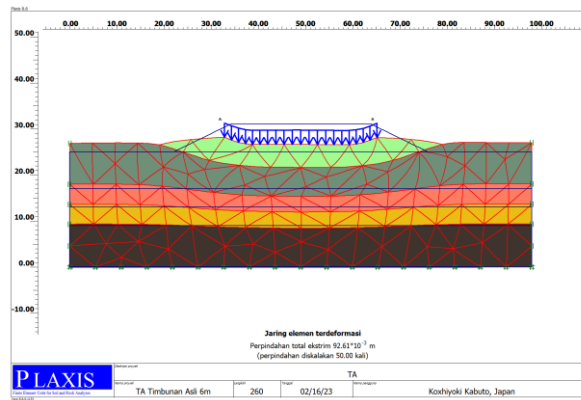
Gambar L-6.11 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa



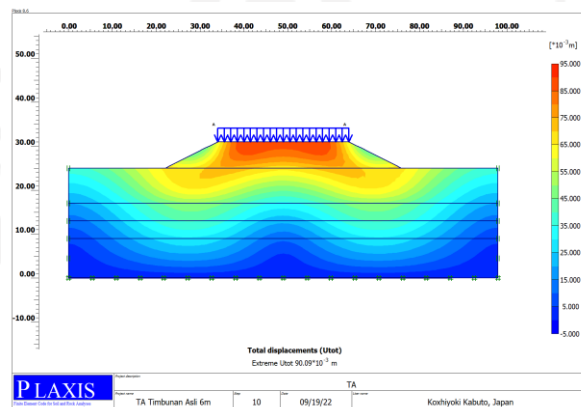
Gambar L-6.12 Kurva SF Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi



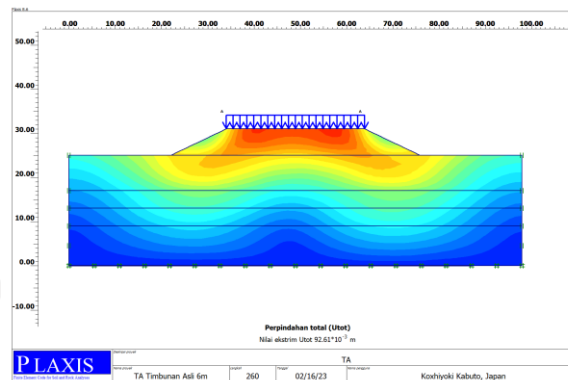
Gambar L-6.13 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



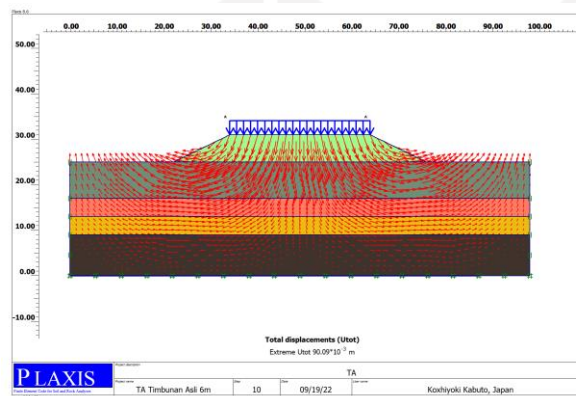
Gambar L-6.14 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa



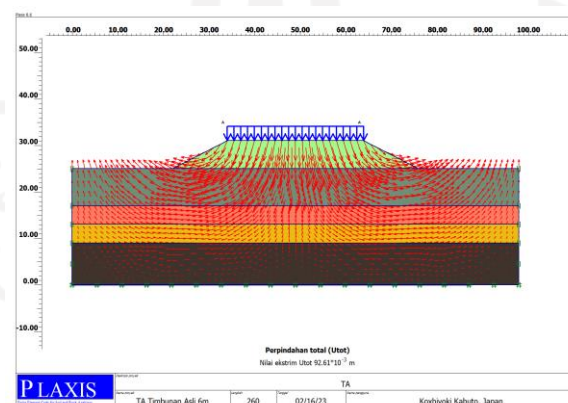
Gambar L-6.15 *Total Displacement* Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



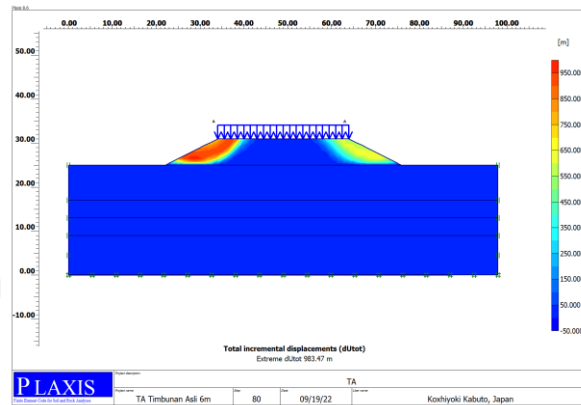
**Gambar L-6.16 Total Displacement Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



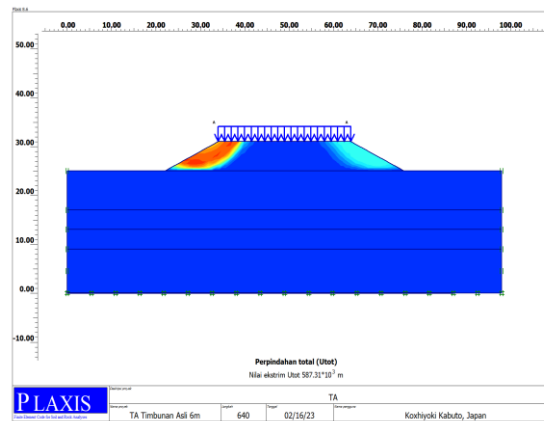
**Gambar L-6.17 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



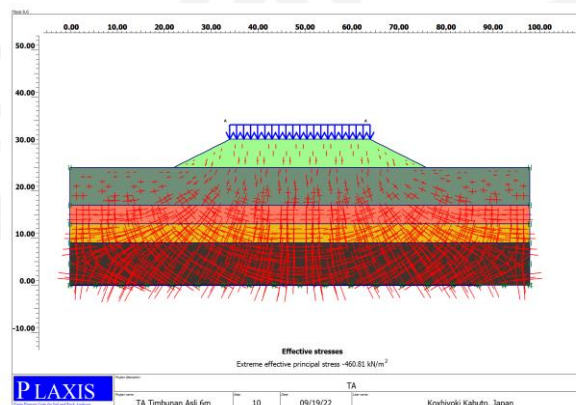
**Gambar L-6.18 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



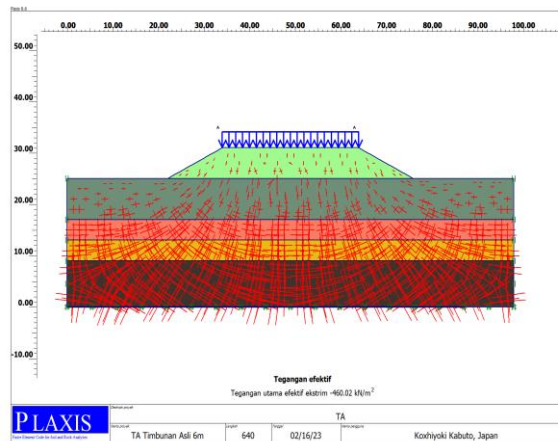
**Gambar L-6.19 Bidang Longsor Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



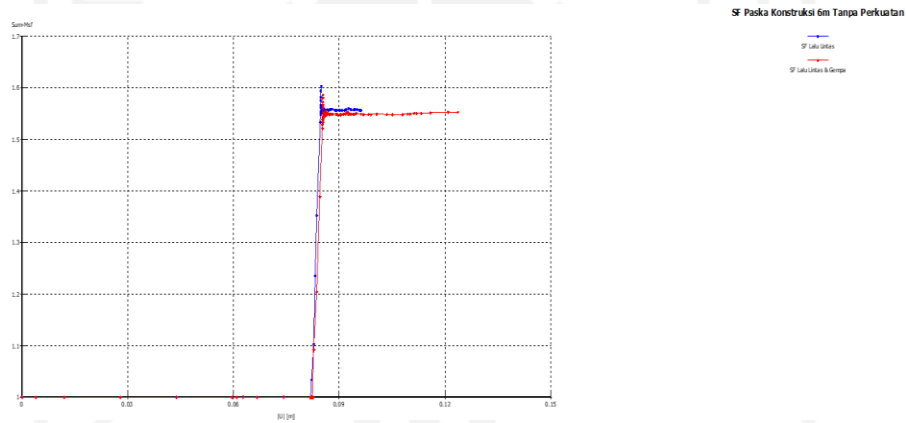
**Gambar L-6.20 Bidang Longsor Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



**Gambar L-6.21 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**

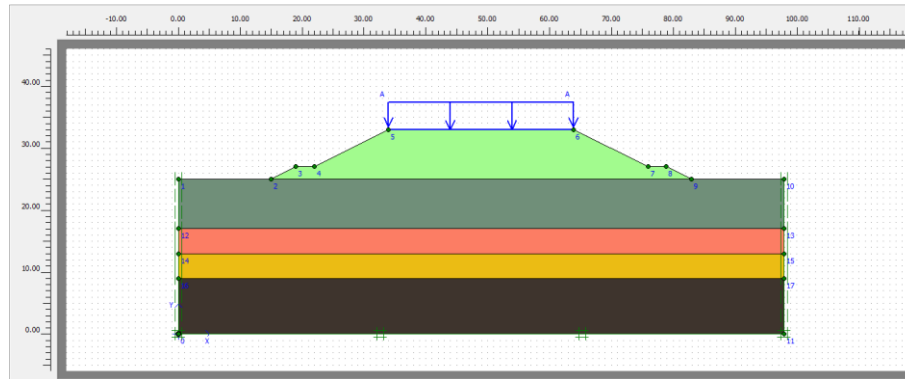


**Gambar L-6.22 Effective Stresses Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

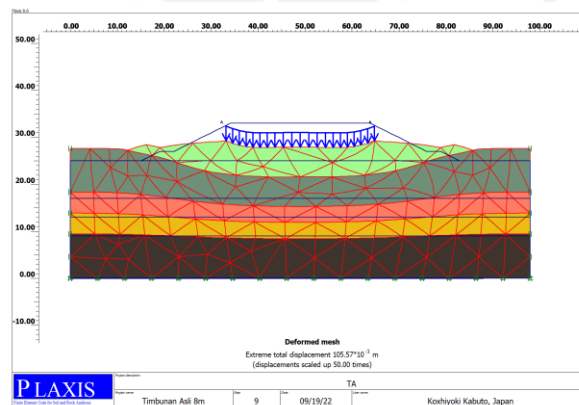


**Gambar L-6.23 Kurva SF Lereng Timbunan 6 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi**

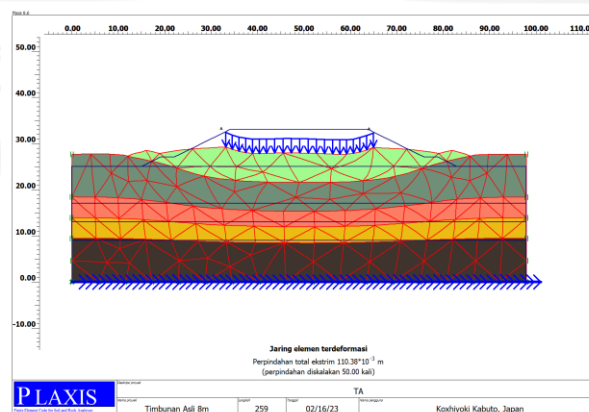
## Lampiran 7. Hasil Pemodelan *Plaxis* Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan



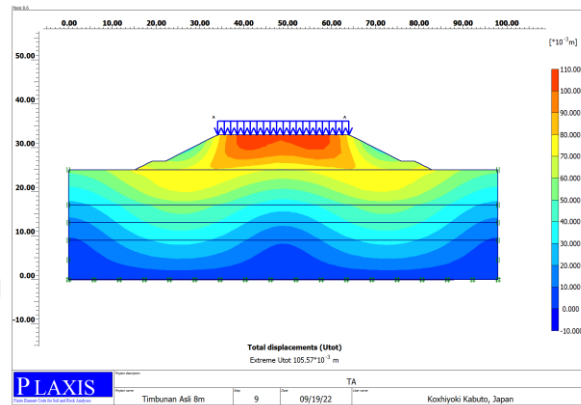
Gambar L-7.1 Pemodelan Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan



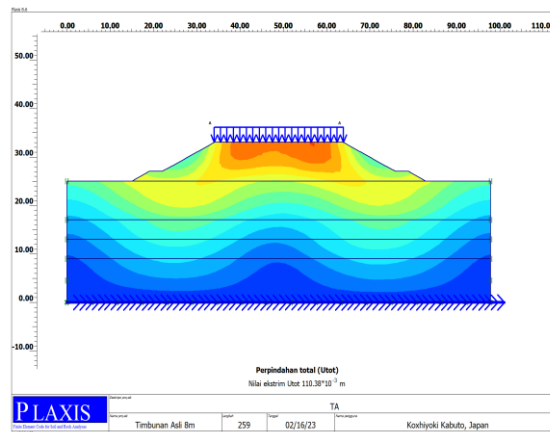
Gambar L-7.2 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan  
Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



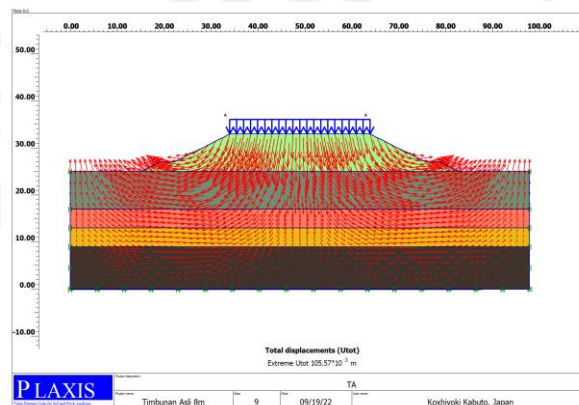
Gambar L-7.3 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan  
Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa



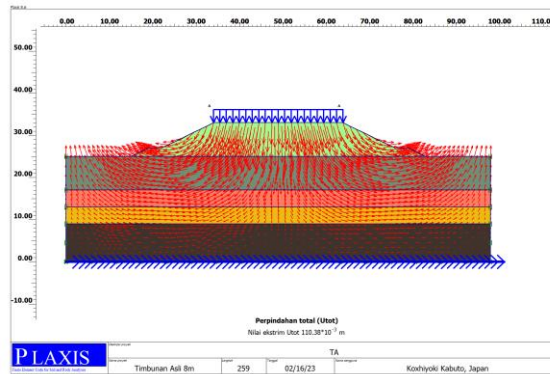
**Gambar L-7.4 Total Displacement Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



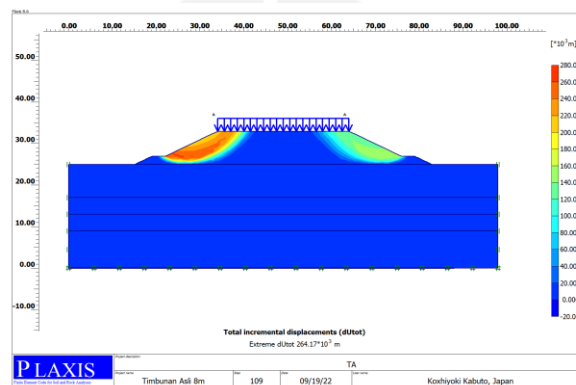
**Gambar L-7.5 Total Displacement Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**



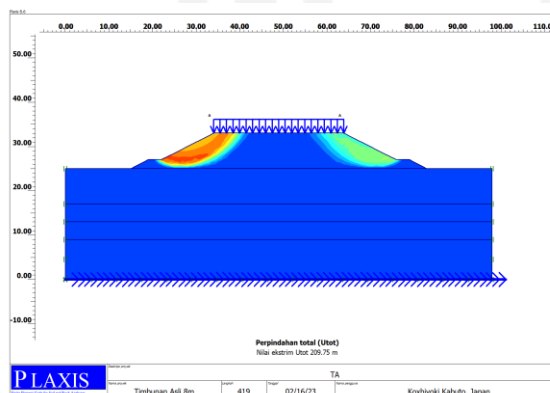
**Gambar L-7.6 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



**Gambar L-7.7 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

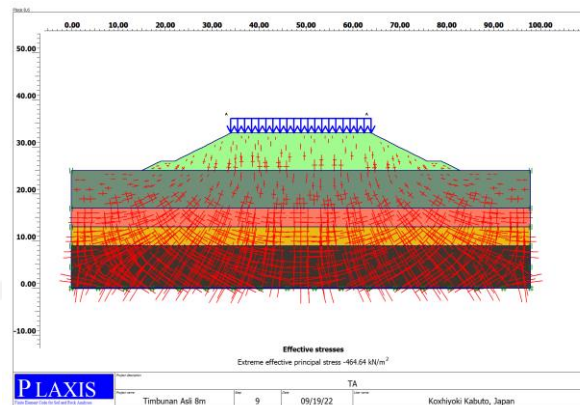


**Gambar L-7.8 Bidang Longsor Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**

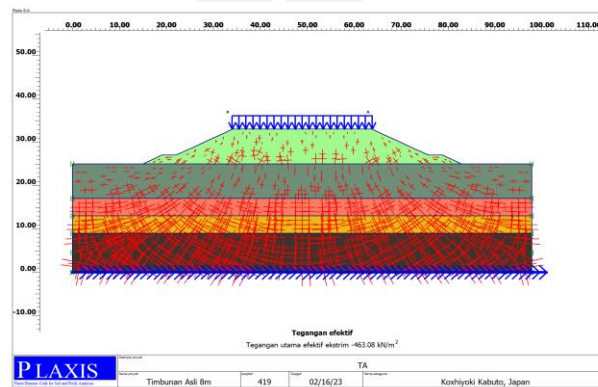


**Gambar L-7.9 Bidang Longsor Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

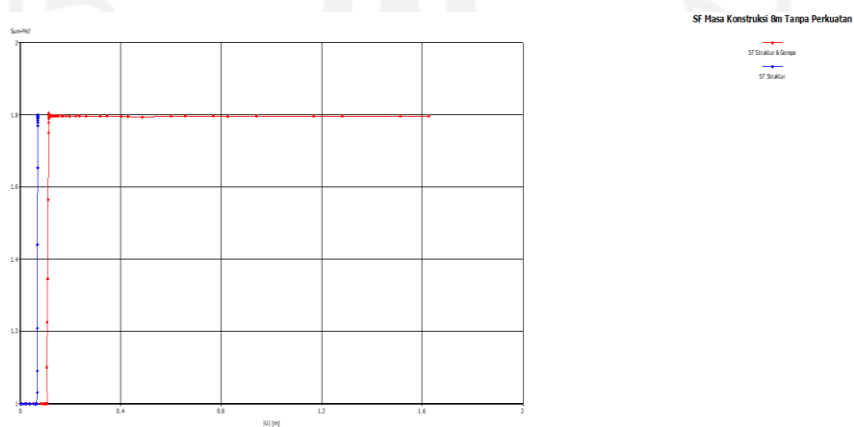




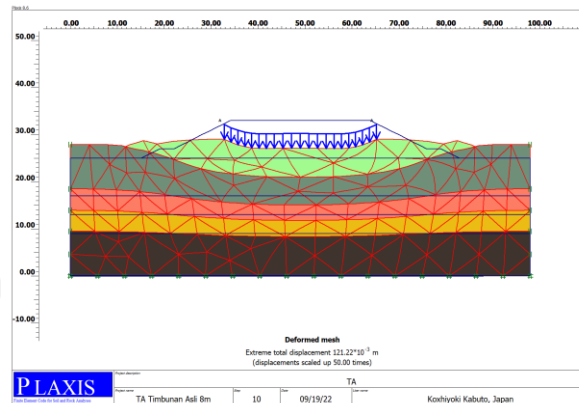
Gambar L-7.10 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



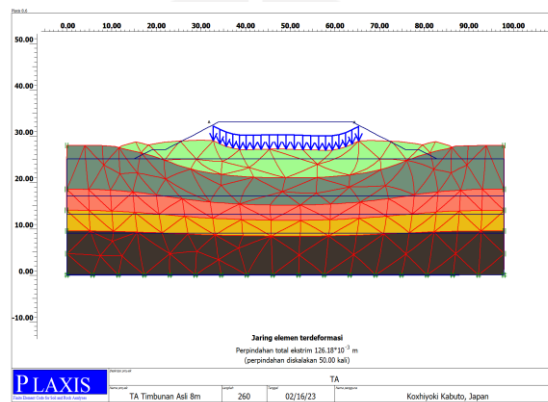
Gambar L-7.11 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa



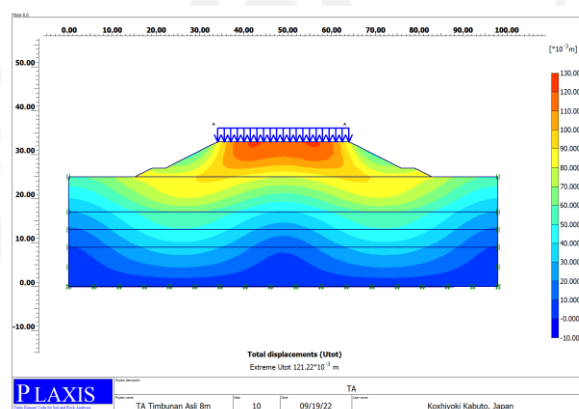
Gambar L-7.12 Kurva SF Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi



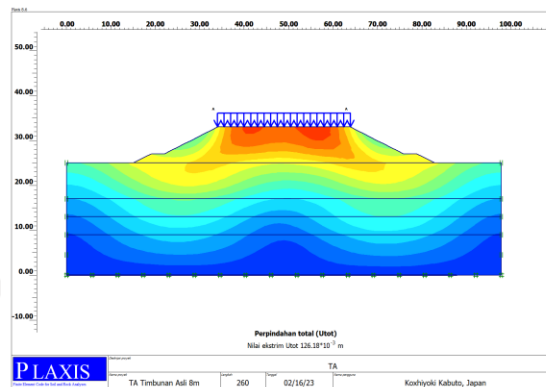
Gambar L-7.13 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



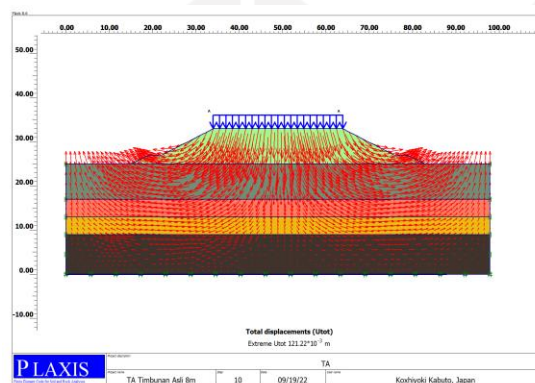
Gambar L-7.14 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa



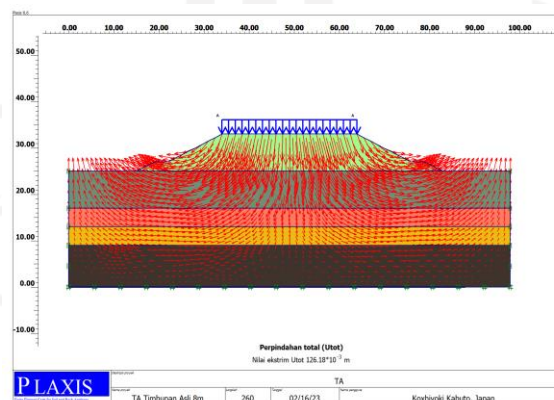
Gambar L-7.15 *Total Displacement* Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



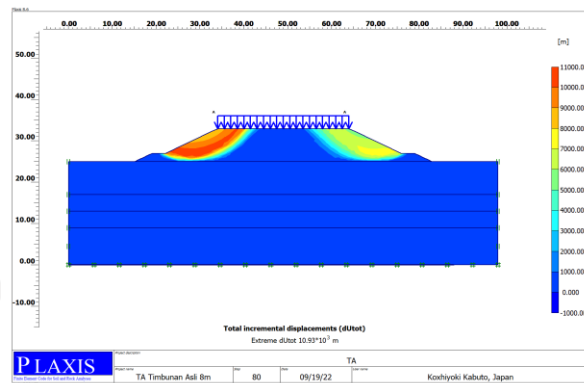
**Gambar L-7.16 Total Displacement Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban gempa**



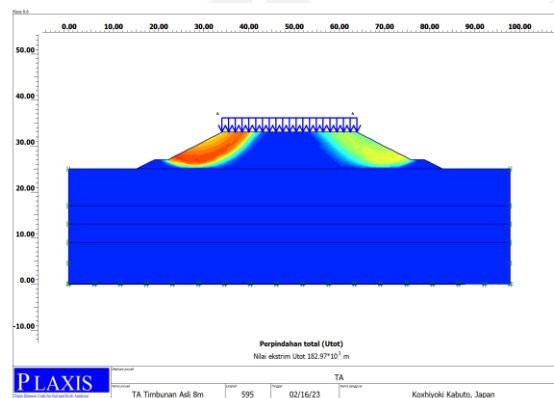
**Gambar L-7.17 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



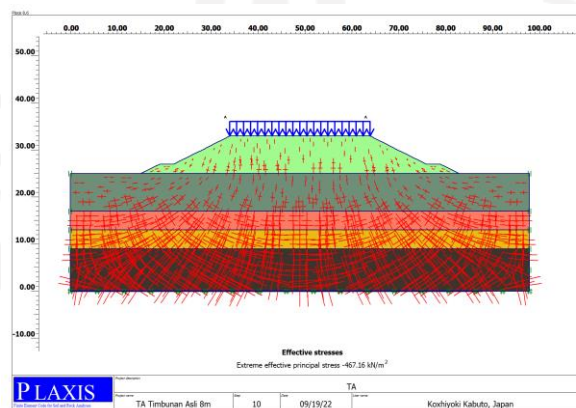
**Gambar L-7.18 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



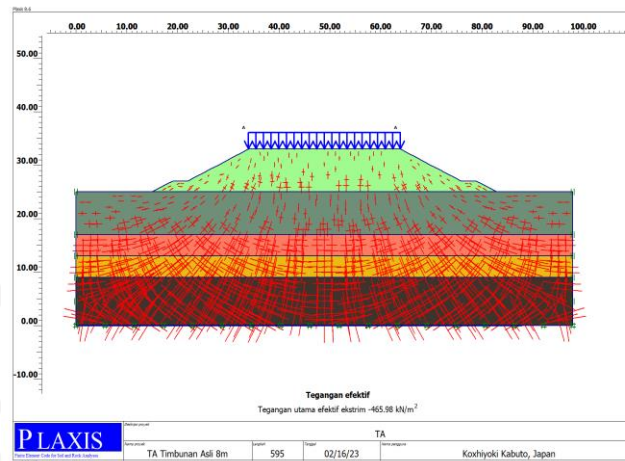
**Gambar L-7.19 Bidang Longsor Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



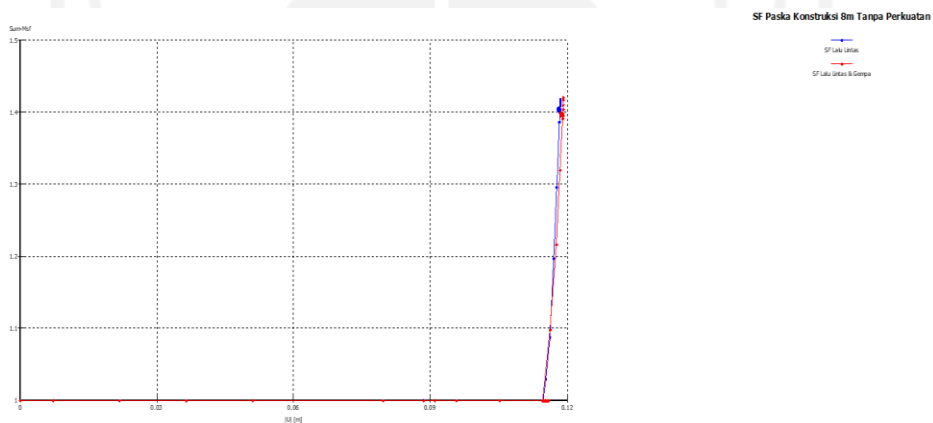
**Gambar L-7.20 Bidang Longsor Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



**Gambar L-7.21 Effective Stresses Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**

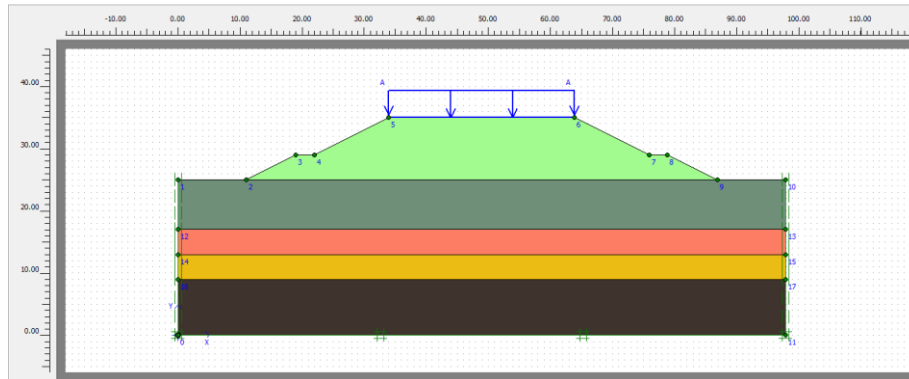


**Gambar L-7.22 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

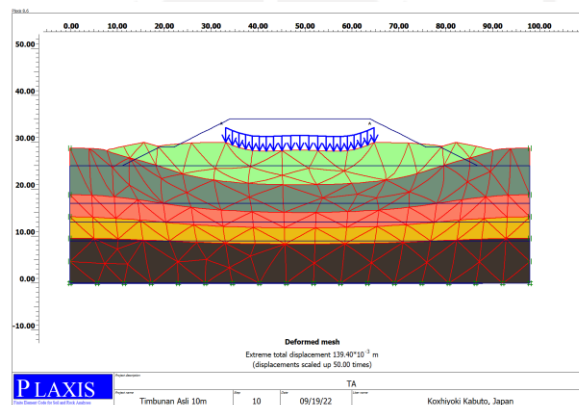


**Gambar L-7.23 Kurva SF Lereng Timbunan 8 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi**

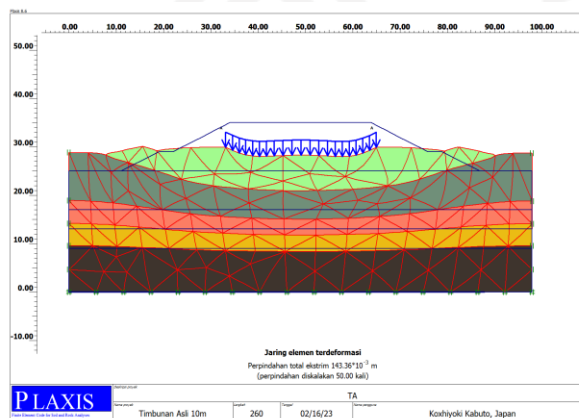
**Lampiran 8. Hasil Pemodelan *Plaxis* Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan**



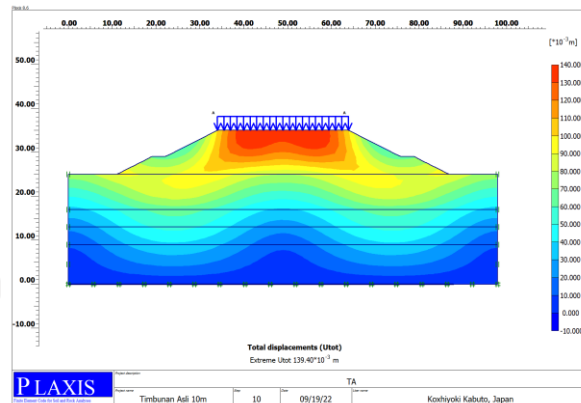
**Gambar L-8.1 Pemodelan Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan**



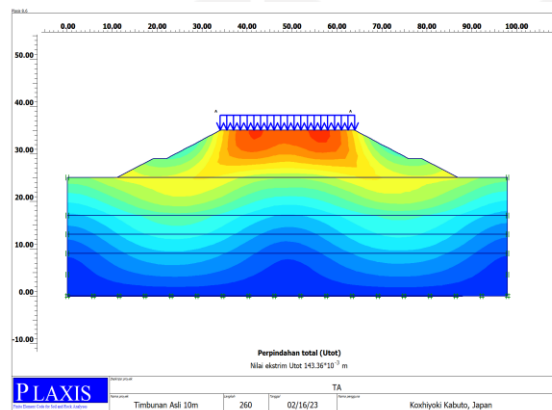
**Gambar L-8.2 Deformed Mesh Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



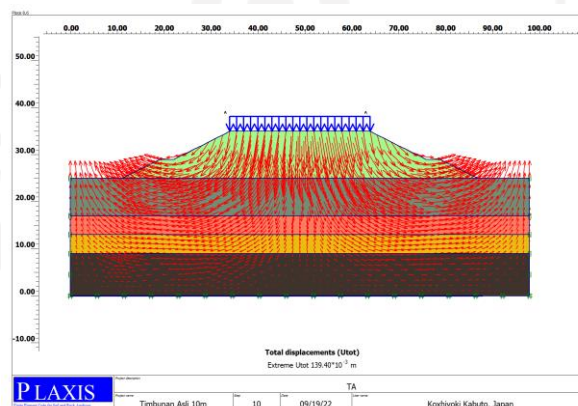
**Gambar L-8.3 Deformed Mesh Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**



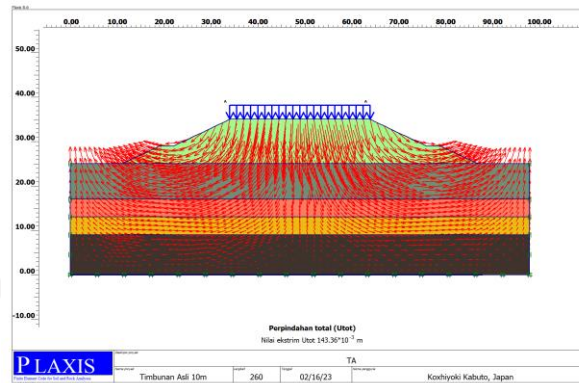
**Gambar L-8.4 Total Displacement Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



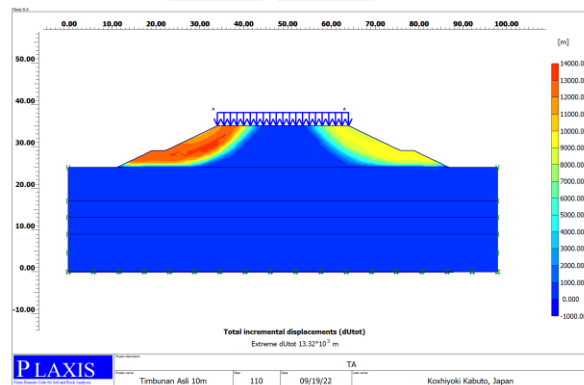
**Gambar L-8.5 Total Displacement Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**



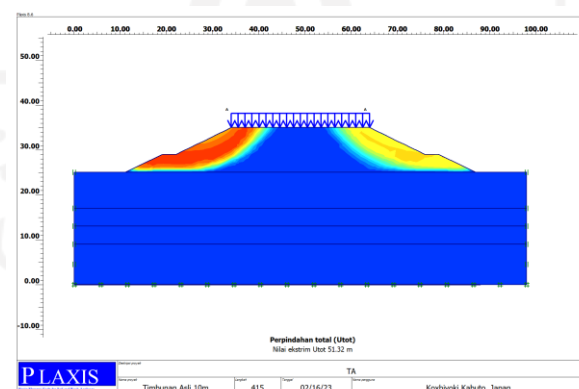
**Gambar L-8.6 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



**Gambar L-8.7 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

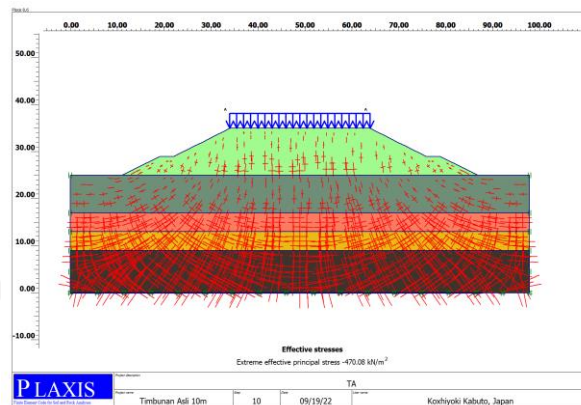


**Gambar L-8.8 Bidang Longsor Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**

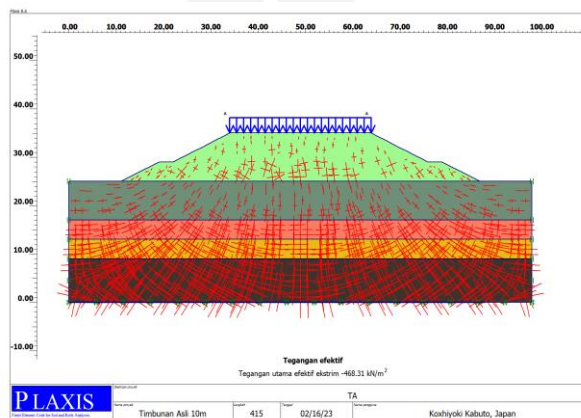


**Gambar L-8.9 Bidang Longsor Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

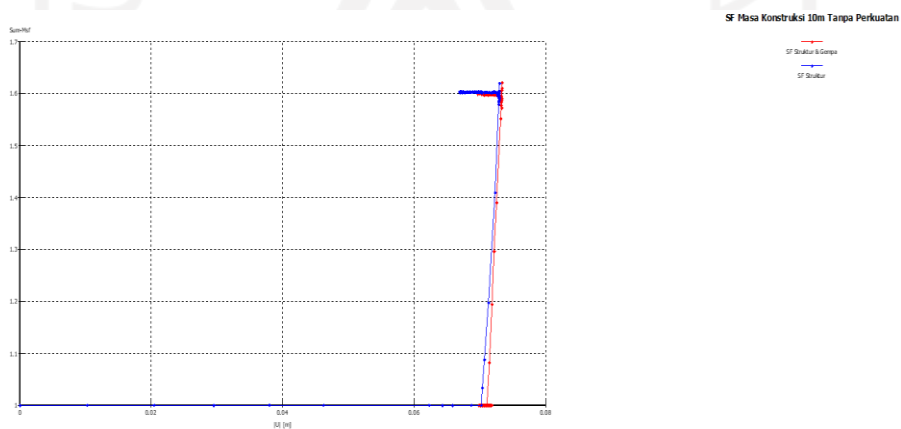




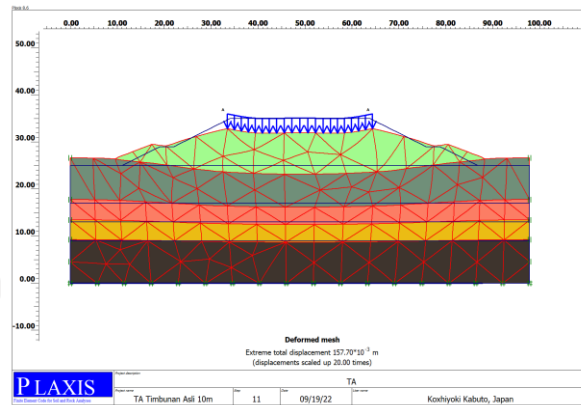
Gambar L-8.10 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



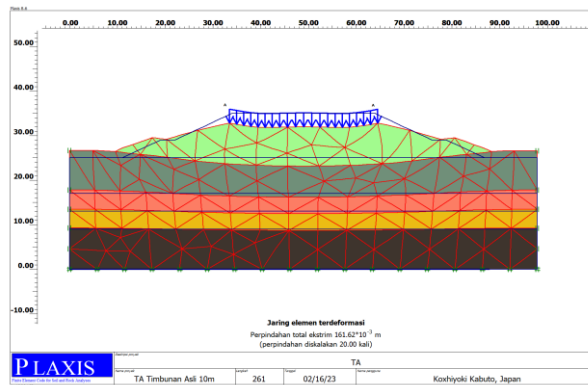
Gambar L-8.11 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa



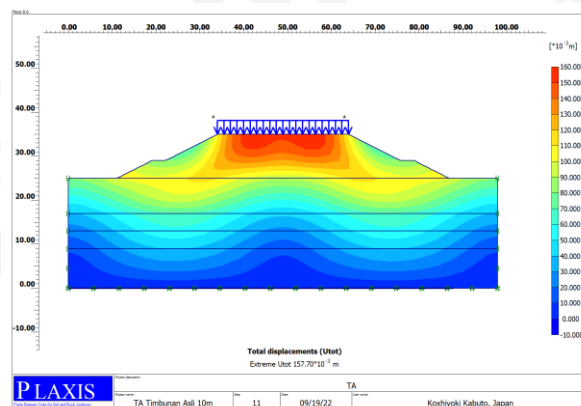
Gambar L-8.12 Kurva SF Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi



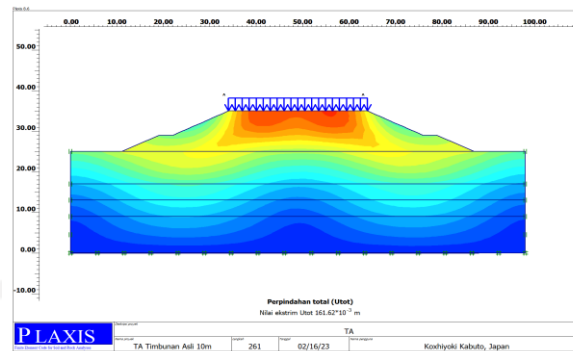
Gambar L-8.13 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



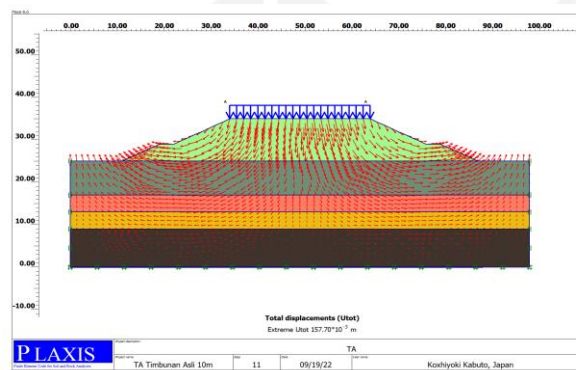
Gambar L-8.14 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa



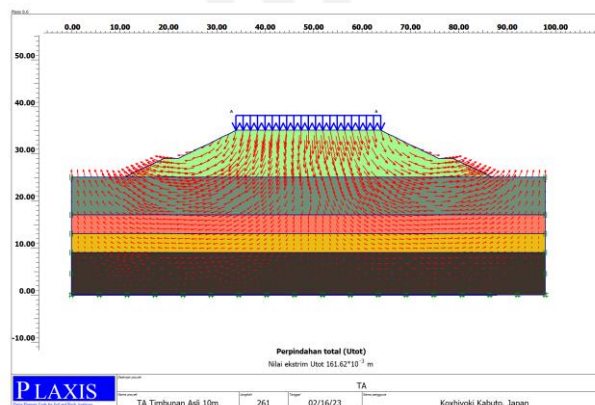
Gambar L-8.15 *Total Displacement* Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



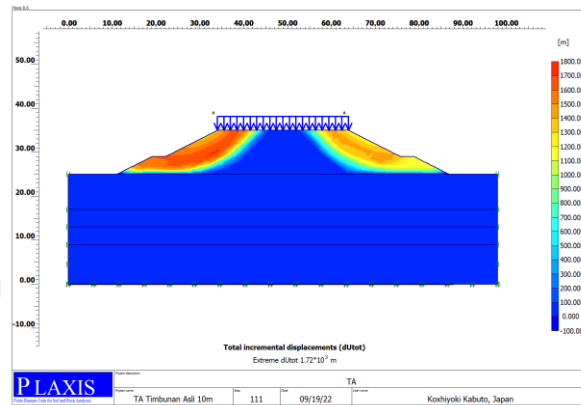
**Gambar L-8.16 Total Displacement Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



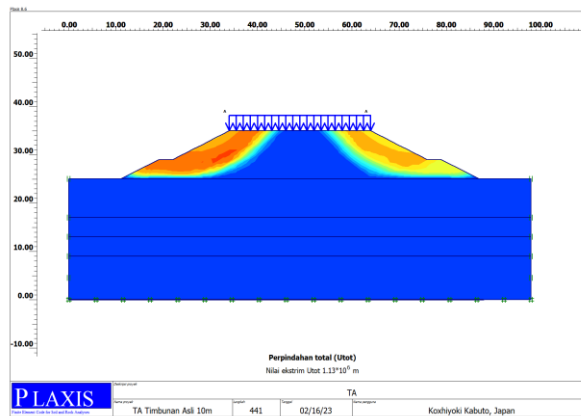
**Gambar L-8.17 Arah Gerakan Tanah Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



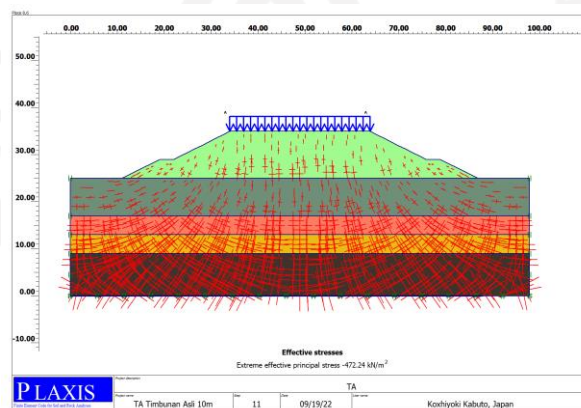
**Gambar L-8.18 Arah Gerakan Tanah Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



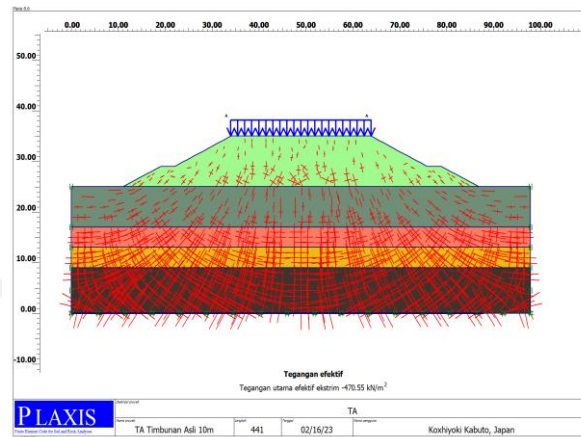
**Gambar L-8.19 Bidang Longsor Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



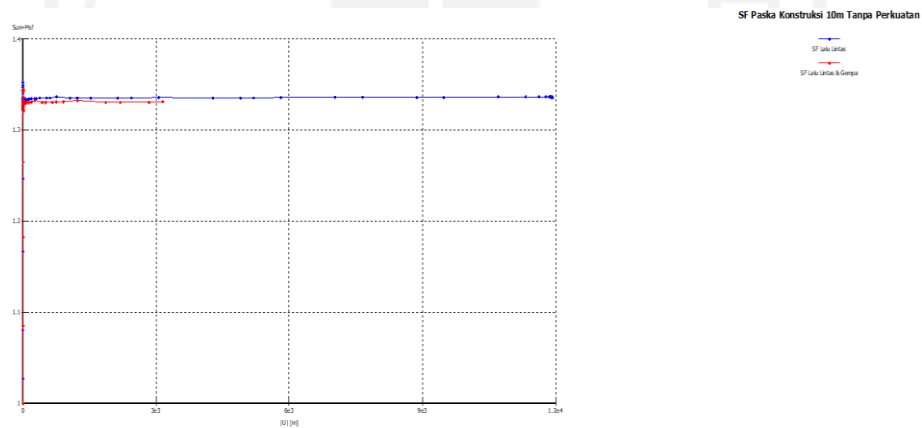
**Gambar L-8.20 Bidang Longsor Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



**Gambar L-8.21 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**

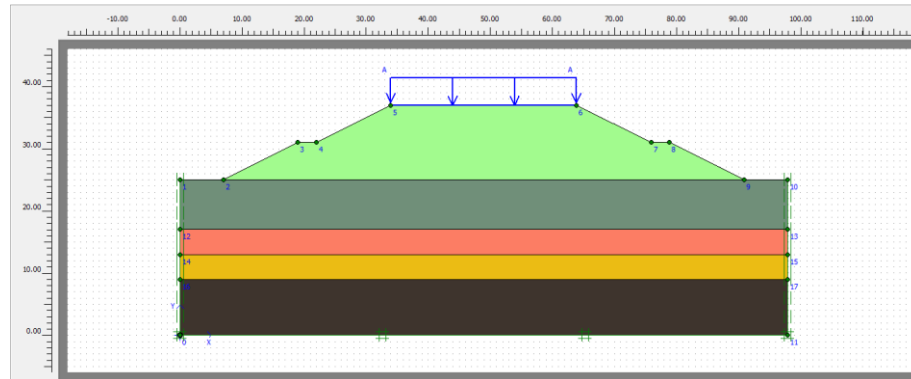


**Gambar L-8.22 Effective Stresses Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

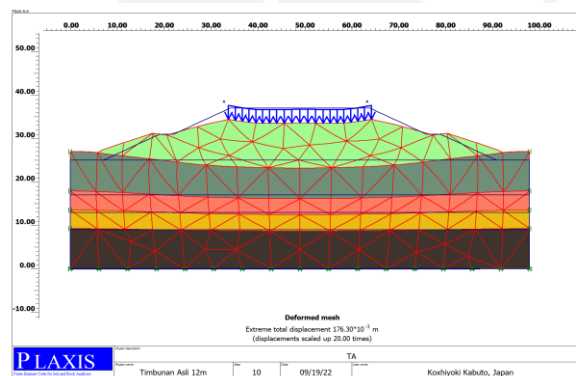


**Gambar L-8.23 Kurva SF Lereng Timbunan 10 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi**

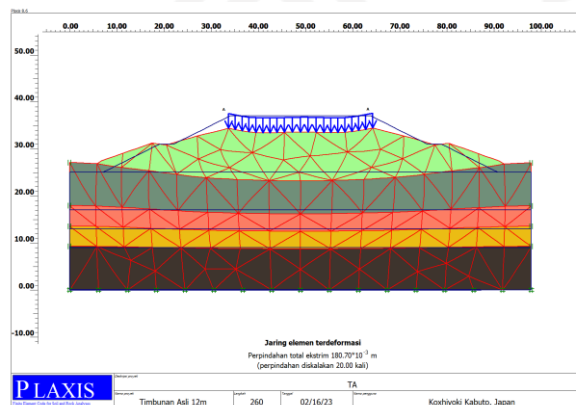
## Lampiran 9. Hasil Pemodelan *Plaxis* Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan



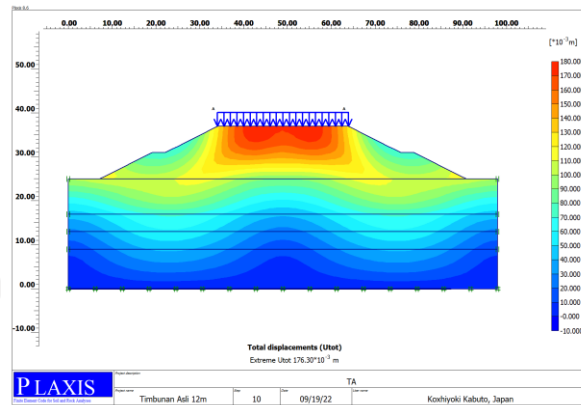
Gambar L-9.1 Pemodelan Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan



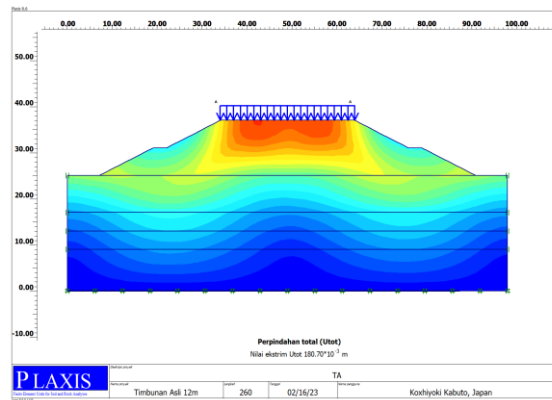
Gambar L-9.2 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



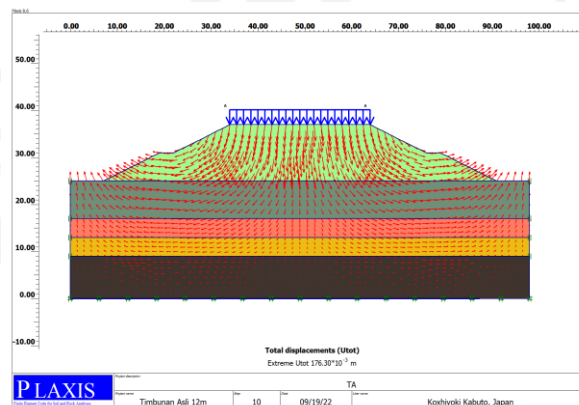
Gambar L-9.3 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa



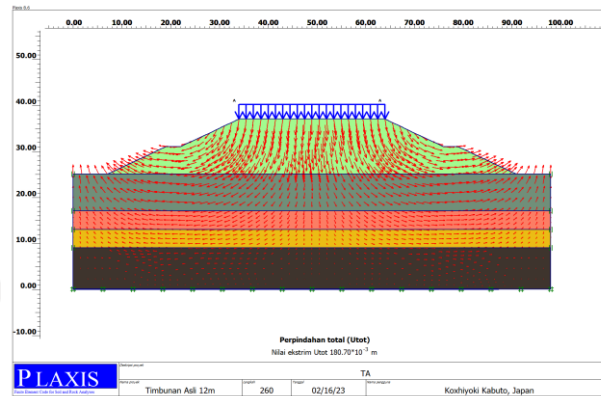
**Gambar L-9.4 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



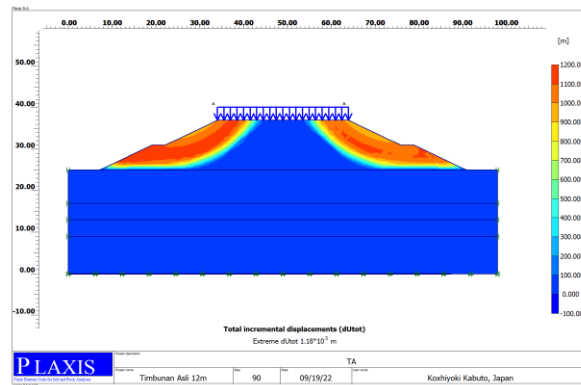
**Gambar L-9.5 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**



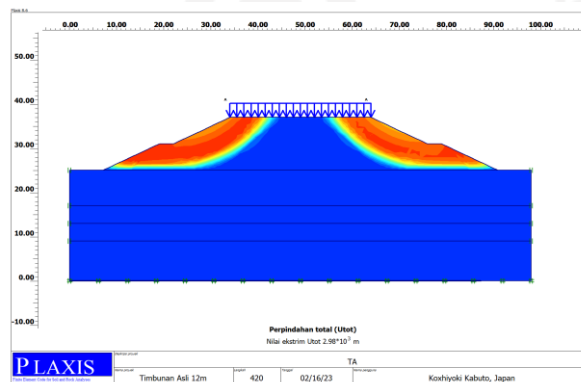
**Gambar L-9.6 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



**Gambar L-9.7 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban gempa**

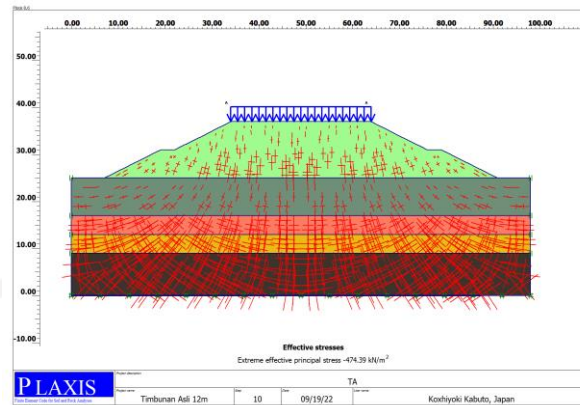


**Gambar L-9.8 Bidang Longsor Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**

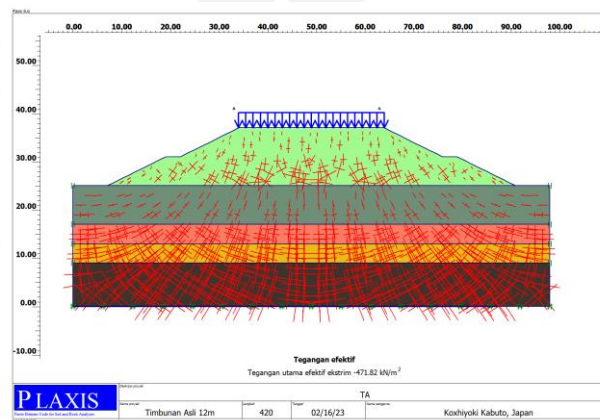


**Gambar L-9.9 Bidang Longsor Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

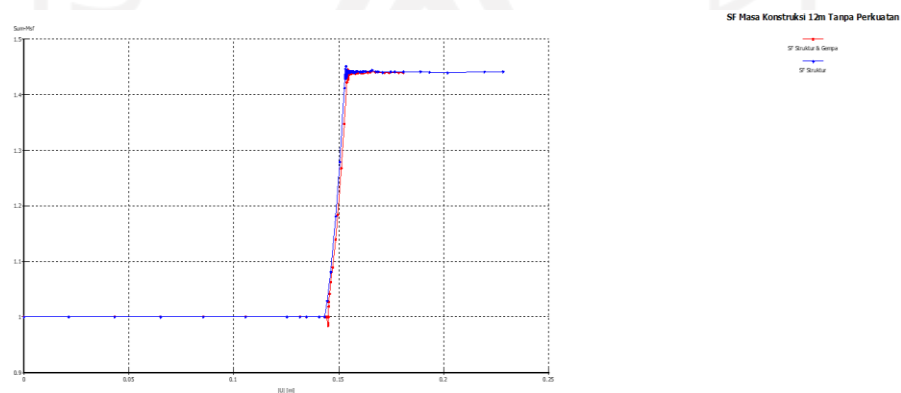




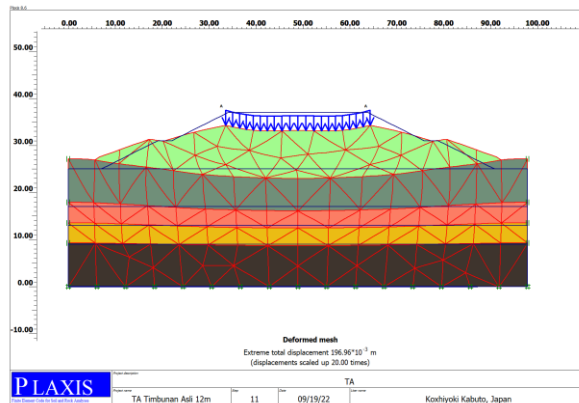
**Gambar L-9.10** *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



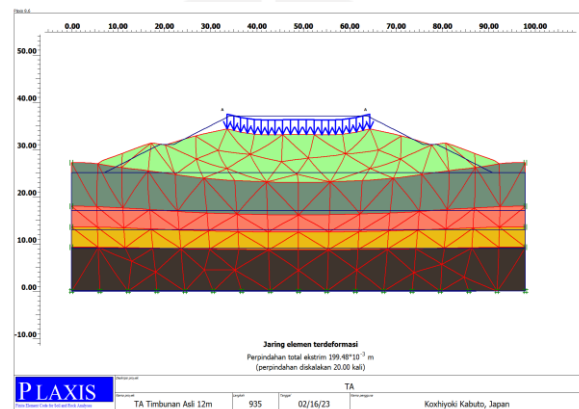
**Gambar L-9.11** *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa



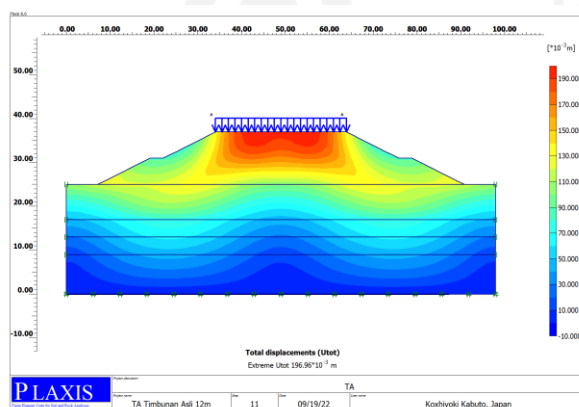
**Gambar L-9.12** Kurva SF Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Masa Konstruksi



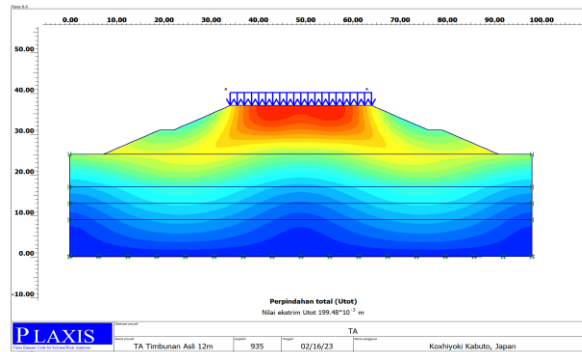
Gambar L-9.13 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



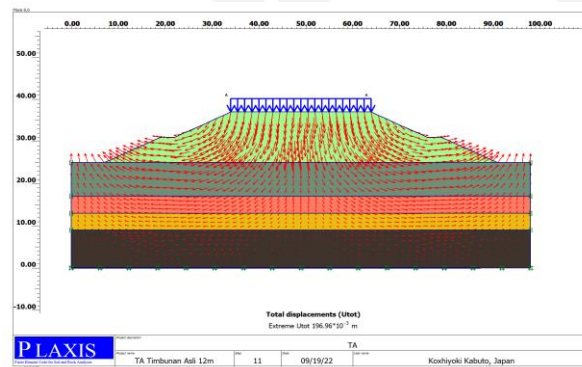
Gambar L-9.14 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa



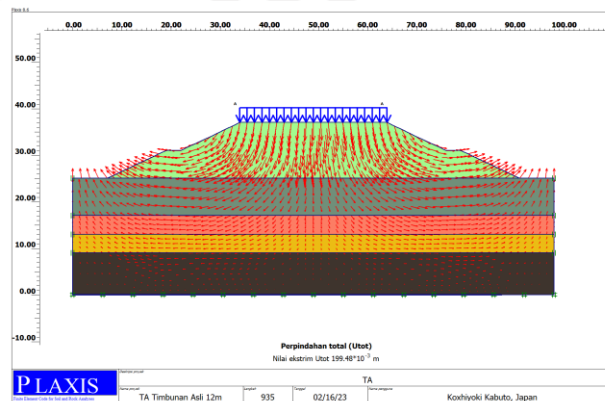
Gambar L-9.15 *Total Displacement* Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



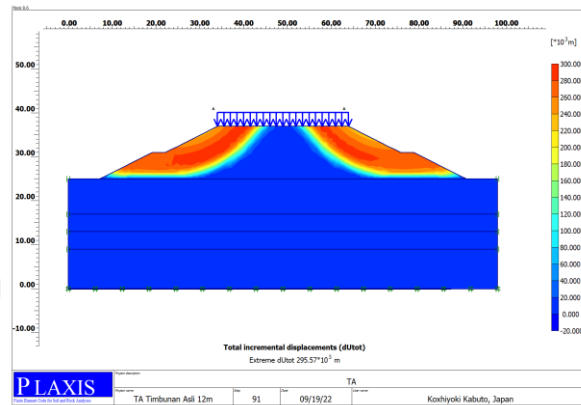
**Gambar L-9.16 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



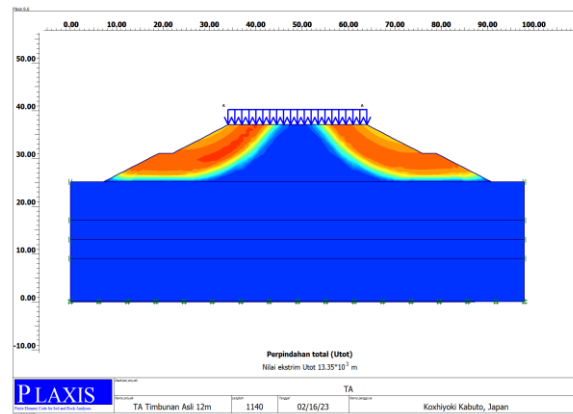
**Gambar L-9.17 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



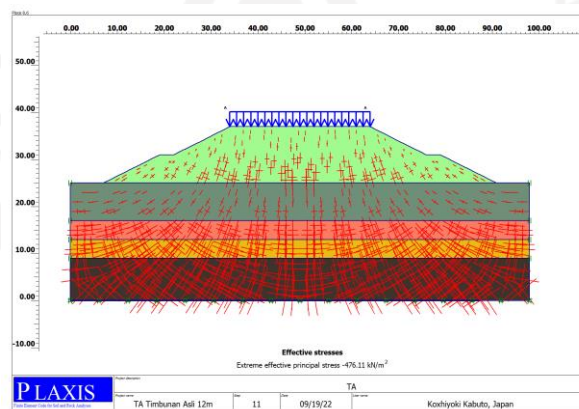
**Gambar L-9.18 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



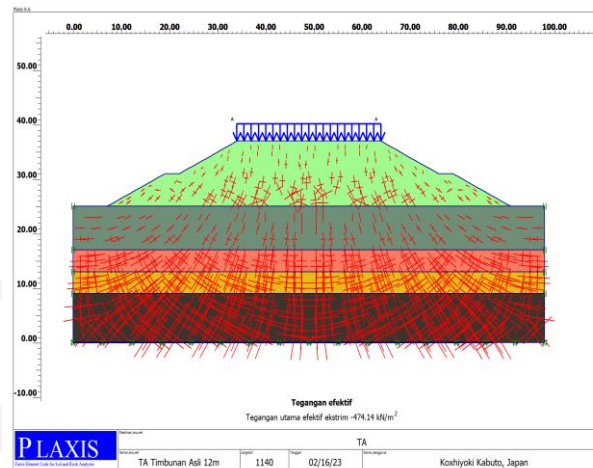
**Gambar L-9.19 Bidang Longsor Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



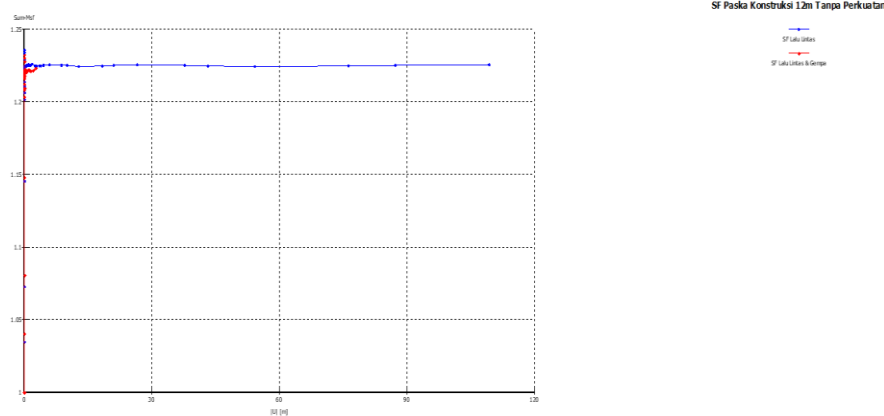
**Gambar L-9.20 Bidang Longsor Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



**Gambar L-9.21 Effective Stresses Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**

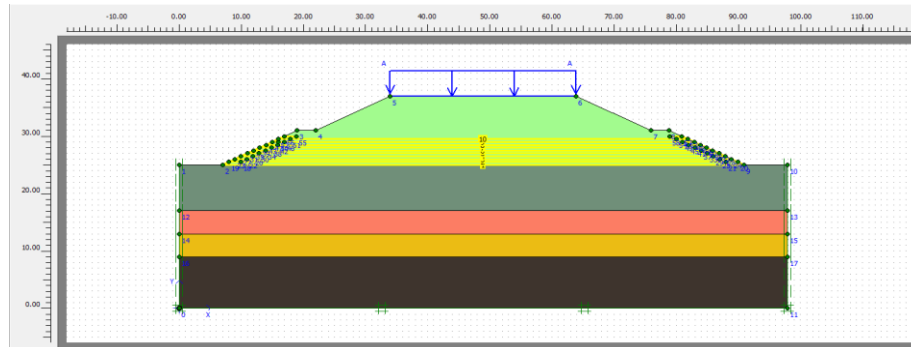


**Gambar L-9.22 Effective Stresses Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**

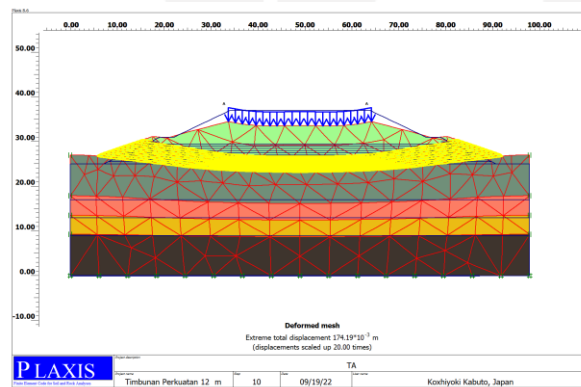


**Gambar L-9.23 Kurva SF Lereng Timbunan 12 m Tanpa Perkuatan Kondisi Paska Konstruksi**

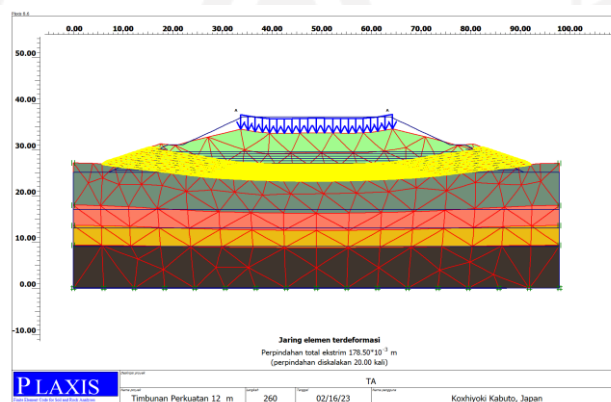
**Lampiran 10. Hasil Pemodelan *Plaxis* Lereng Timbunan 12 m dengan Perkuatan Geotekstil**



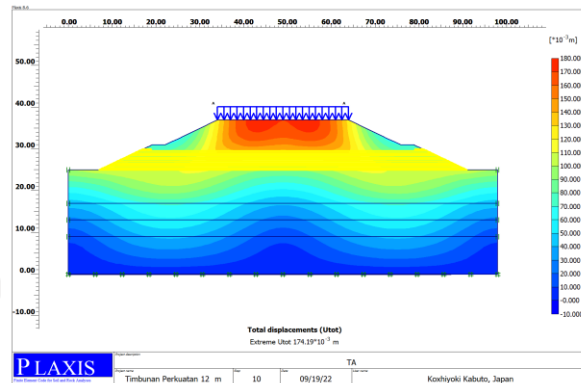
**Gambar L-10.1 Pemodelan Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil**



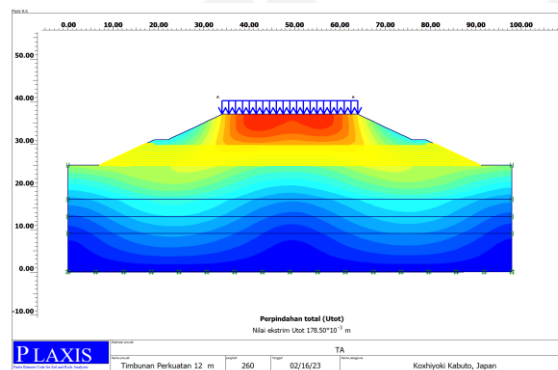
**Gambar L-10.2 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



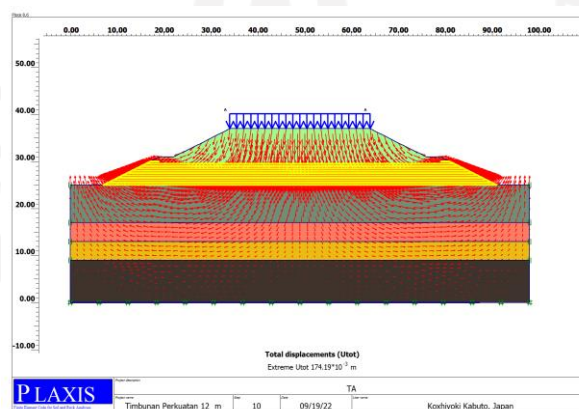
**Gambar L-10.3 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**



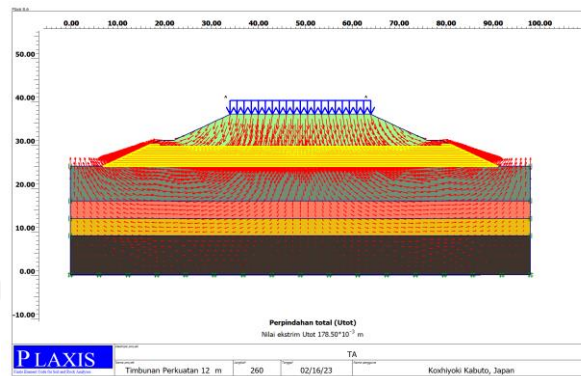
**Gambar L-10.4 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



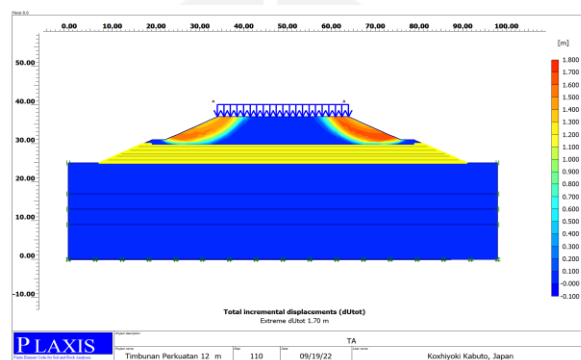
**Gambar L-10.5 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**



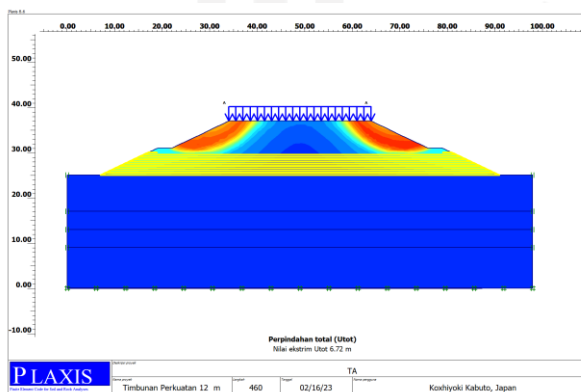
**Gambar L-10.6 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**



**Gambar L-10.7 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

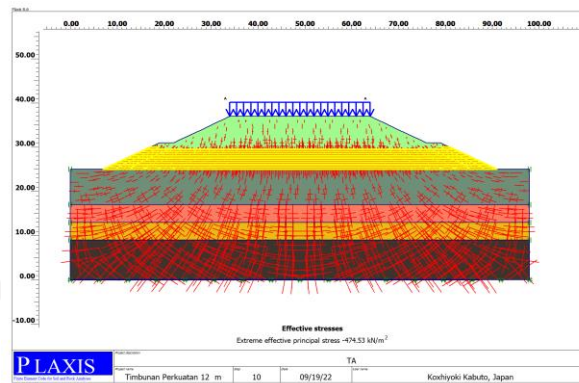


**Gambar L-10.8 Bidang Longsor Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur**

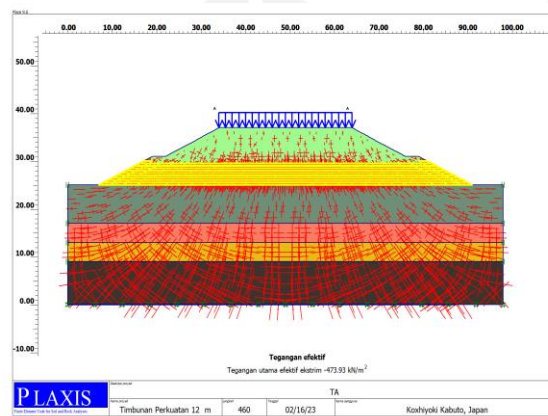


**Gambar L-10.9 Bidang Longsor Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa**

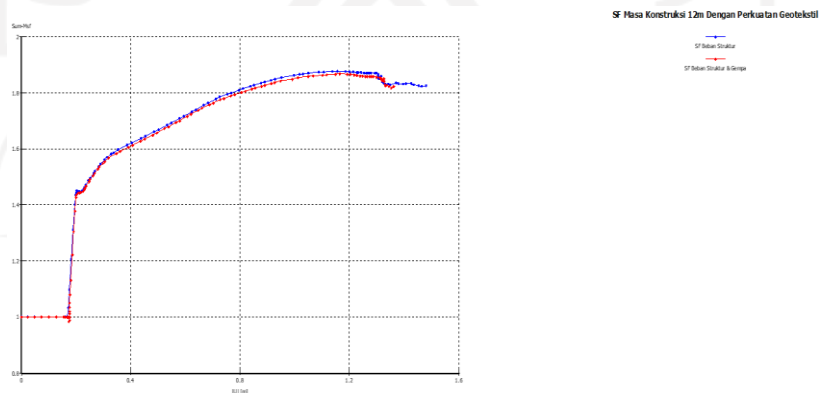




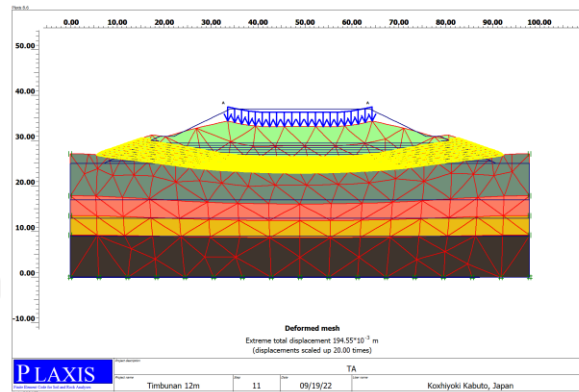
**Gambar L-10.10** *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



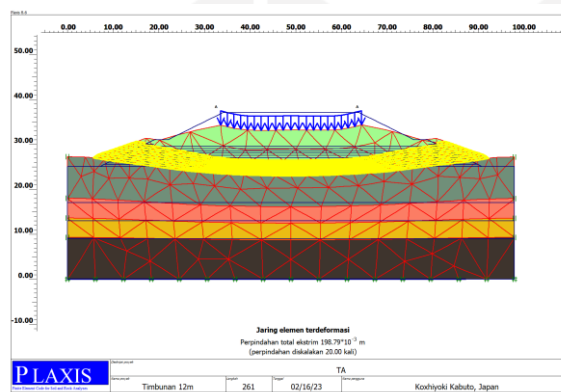
**Gambar L-10.11** *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa



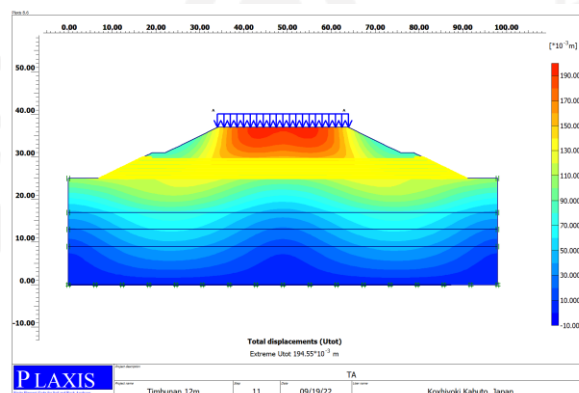
**Gambar L-10.12** Kurva SF Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Masa Konstruksi



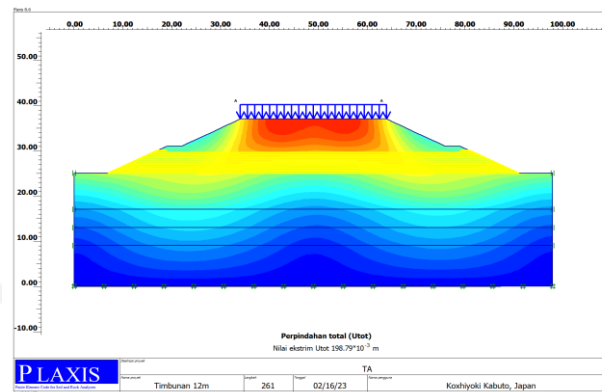
**Gambar L-10.13 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



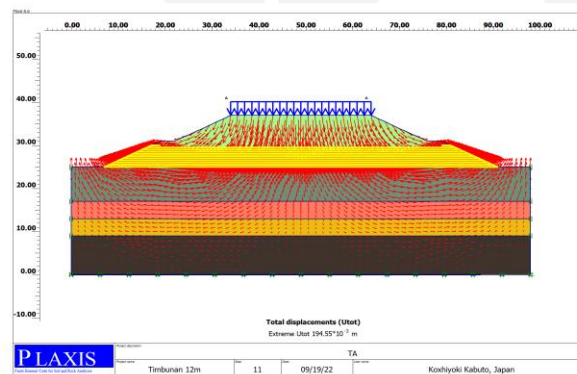
**Gambar L-10.14 Deformed Mesh Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



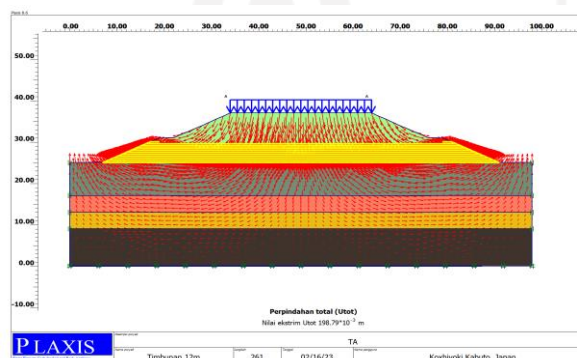
**Gambar L-10.15 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



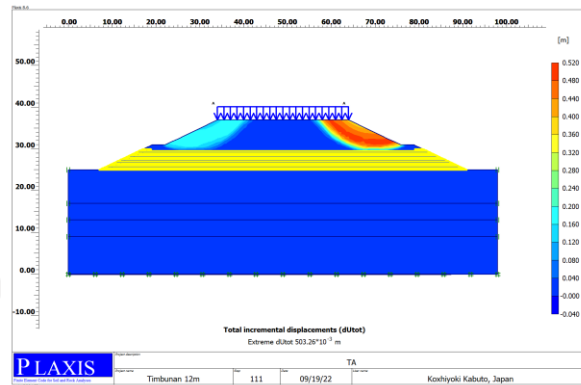
**Gambar L-10.16 Total Displacement Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



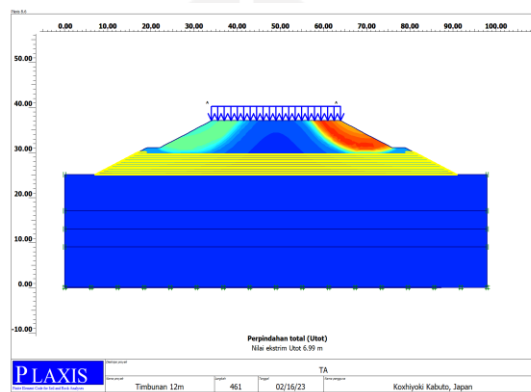
**Gambar L-10.17 Arah Pergerakan Lereng Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



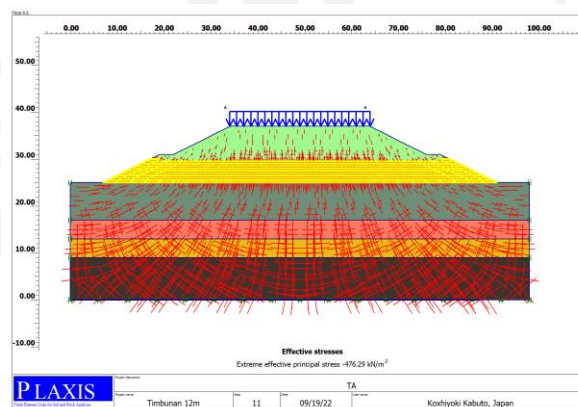
**Gambar L-10.18 Arah Pergerakan Lereng Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



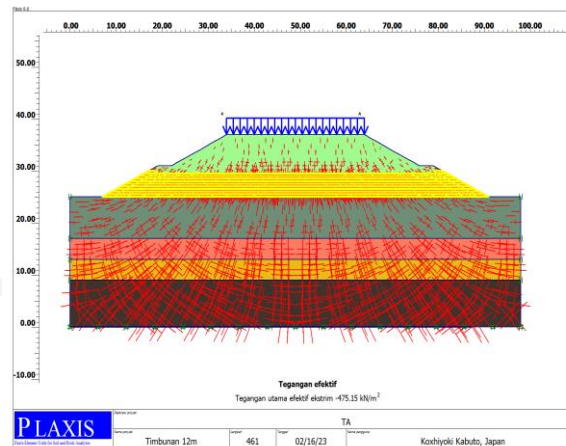
**Gambar L-10.19 Bidang Longsor Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



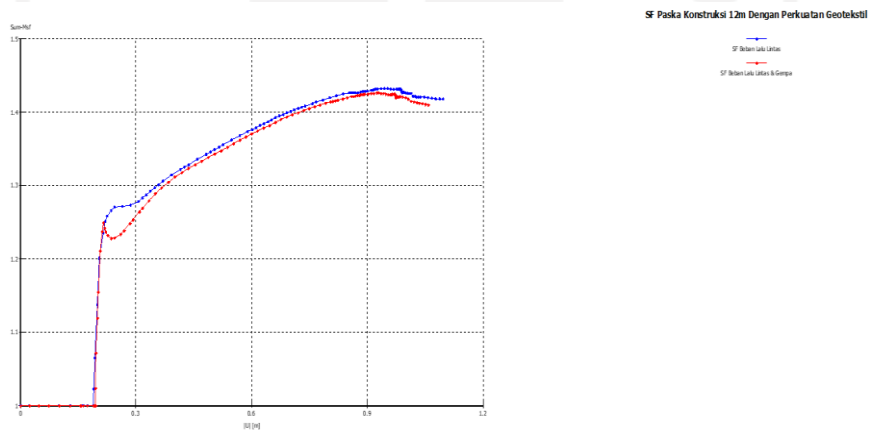
**Gambar L-10.20 Bidang Longsor Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



**Gambar L-10.21 Effective Stresses Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas**



**Gambar L-10.22 *Effective Stresses* Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa**



**Gambar L-10.23 Kurva SF Lereng Timbunan 12 m Perkuatan Geotekstil Kondisi Paska Konstruksi**