

## **TUGAS AKHIR**

### **ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS V20 (*ANALYSIS OF HEAP STABILITY WITH GEOTEXTILE REINFORCEMENT USING PLAXIS V20 PROGRAM*)**

**(STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL CIBITUNG -  
CILINCING STA 4+600)**

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



**SULTAN MUHAMMAD RAMADHAN  
18511247**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2023**

## TUGAS AKHIR

### ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS V20 (ANALYSIS OF HEAP STABILTY WITH GEOTEXTILE REINFORCEMENT USING PLAXIS V20 PROGRAM)

(STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL CIBITUNG -  
CILINCING STA 4+600)

Disusun Oleh:

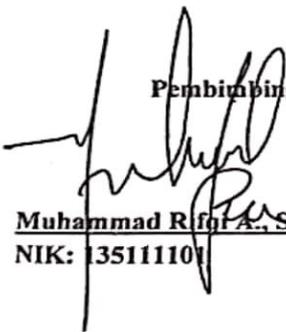
**SULTAN MUHAMMAD RAMADHAN**  
18511247

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

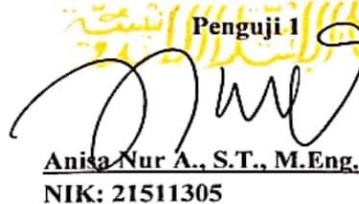
Diuji pada tanggal 19 Desember 2023

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing 1

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

Penguji 1

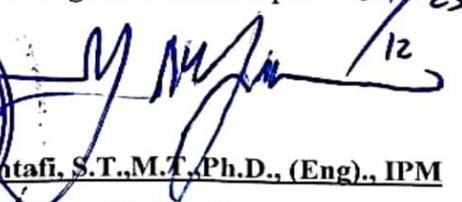
  
Anisa Nur A., S.T., M.Eng.  
NIK: 21511305

Penguji 2

  
Dr. Tr. Lalu Makrup, M.T.  
NIK: 885110106

Mengesahkan,  
Ketua Program Teknik Sipil



  
Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., (Eng)., IPM  
NIK: 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya susun untuk menyelesaikan program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia adalah hasil karya pribadi saya sendiri. Bagian-bagian tertentu yang saya kutip dari karya orang lain telah saya tuliskan dengan sumber yang jelas, mengikuti norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Jika nantinya ditemukan bahwa seluruh atau sebagian dari Tugas Akhir ini bukan karya saya sendiri atau terdapat unsur plagiasi dalam beberapa bagian, saya siap menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Yogyakarta, 19 Desember 2023

Penulis,



Sultan Muhammad Ramadhan

(18511247)

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Puji syukur *Alhamdulillah* saya panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Stabilitas Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis V20 (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA 4+600)*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi serta memperoleh Derajat Sarjana Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, ada banyak semangat, bantuan serta saran dari berbagai pihak, maka saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu, saya ingin mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak M. Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing yang memberikan kritik dan saran serta nasehat dan dukungan yang diberikan kepada saya sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji I Tugas Akhir yang telah membimbing memberikan saran, kritik, dan evaluasi agar kedepannya lebih baik di kemudian hari.
3. Bapak Dr., Ir. Lalu Makrup, M.T. selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir yang telah membimbing memberikan saran, kritik, dan evaluasi agar kedepannya lebih baik di kemudian hari.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., (Eng)., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Orang tua tercinta saya Alm. Bapak Taat Mustofa, dan Ibu Endang Sarworini yang telah berkorban begitu banyak, baik material maupun spiritual, dari awal perkuliahan hingga selesainya Tugas Akhir ini.

6. Kakak kandung saya Nadia Ulfa Ramadhani dan Adik kandung saya Ajeng Bilquista Maharani, serta saudara saya yang telah memberikan semangat yang tidak ada habisnya selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Ibu Shofwatul Fadilah, S.T.P., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang memberikan semangat, motivasi, dan bimbingan kepada saya.
8. Kawan – kawan seperjuangan Keluarga Teknik Sipil 2018 yang memberikan dukungan dan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis dalam membuat Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, semoga penelitiann yang dilakukan dalam bentuk laporan Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat dan kontribusi bagi pihak yang membacanya dan dapat untuk pengembangan penelitian – penelitian selanjutnya.

Aamiin.

*Wassalamuaiakum Wr. Wb*

Yogyakarta, 19 Desember 2023

Penulis,



Sultan Muhammad Ramadhan

(18511247)

## DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Analisis Stabilitas Timbunan tanpa Perkuatan Geotekstil	6
2.3 Analisis Stabilitas Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil	8
2.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Fellenius	9
2.5 Pengaruh Beban Gempa terhadap Faktor Aman (SF)	10
2.6 Pengaruh Penambahan Geotekstil terhadap Kelembaban Tanah	11
2.7 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan	11
BAB III LANDASAN TEORI	17
3.1 Tanah	17

3.1.1	Pengertian	17
3.1.2	Klasifikasi Tanah	17
3.1.3	Kuat Geser Tanah	20
3.2	Lereng	22
3.2.1	Pengertian Umum	22
3.2.2	Penyebab Longsor	22
3.2.3	Jenis- Jenis Kelongsoran	23
3.3	Analisis Stabilitas Lereng	24
3.3.1	Pengertian Umum	24
3.3.2	Teori Analisis Stabilitas Lereng	25
3.1.1	Metode Analisis Stabilitas Lereng	27
3.4	Penurunan Tanah	31
3.4.1	Umum	31
3.4.2	Penurunan Konsolidasi ( <i>Consolidation Settlement</i> )	31
3.5	Perkuatan Lereng menggunakan Geotekstil	33
3.4.3	Geotekstil	33
3.4.4	Jenis-Jenis Geotekstil	33
3.4.5	Mekanisme Kerja Geotekstil	35
3.6	Program <i>Plaxis</i>	36
BAB IV METODE PENELITIAN		38
4.1	Tinjauan Umum	38
4.2	Tahapan Penelitian	38
4.3	Lokasi Penelitian	39
4.4	Data Penelitian	39
4.5	Tahap Analisis	39
4.6	Parameter Tanah	40
4.7	Geotekstil	41
4.8	Beban Perkerasan dan Lalu Lintas	42
4.9	Beban Gempa	42
4.10	Pengoperasian Program <i>Plaxis</i>	44
4.10.1	<i>Plaxis Input</i>	44

4.10.2 <i>Plaxis Calculation</i>	48
4.10.3 <i>Plaxis Output</i>	50
4.11 Bagan Alir	50
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	<b>53</b>
5.1 Gambaran Umum Analisis	53
5.2 Data Penelitian	54
5.3 Analisis Lereng Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan	57
5.4 Perhitungan Manual Menggunakan Metode Fellenius	69
5.5 Perhitungan Manual Penurunan Konsolidasi Pada Lereng	74
5.6 Kebutuhan Geotekstil	76
5.6.1 Data Perhitungan Geotekstil	76
5.6.2 Menghitung stabilitas eksternal	78
5.6.3 Stabilitas Internal	83
5.6.4 Cek Gaya Tarik Tanah-Geotekstil	85
5.7 Analisis Stabilitas Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil	86
5.8 Pembahasan	99
<b>BAB VI</b>	<b>104</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>104</b>
6.1 Kesimpulan	104
6.2 Saran	105
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>106</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>109</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Jalan Tol Cibitung – Cilincing	2
Gambar 1.2 Geometri Potongan Melintang	3
Gambar 3.1 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan	27
Gambar 3.2 Geotekstil Teranyam ( <i>Woven</i> )	34
Gambar 3.3 Geotekstil Tidak Teranyam ( <i>Non Woven</i> )	35
Gambar 3.4 Redistribusi Tekanan Roda pada Perkuatan Geotekstil	35
Gambar 4.1 Peta Zonasi Gempa Indonesia	43
Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Percepatan dan Waktu	43
Gambar 4.3 Kotak Dialog Create/Open Project	44
Gambar 4.4 Tab Project dari Jendela General Setting	45
Gambar 4.5 Tab Model dari Jendela Project Properties	46
Gambar 4.6 Lembar Tab General dari Jendela Material Sets	47
Gambar 4.7 Lembar Tab Parameters dari Jendela Material Sets	48
Gambar 4.8 Jaringan Elemen Hingga ( <i>Meshing</i> )	48
Gambar 4.9 Jendela Calculations dengan Lembar Tab General	49
Gambar 4.10 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau	49
Gambar 4.11 Bagan Alir Penelitian	51
Gambar 4.12 Bagan Alir Permodelan Lereng	52
Gambar 5.1 Geometri Potongan Melintang Jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta. 4+600	56
Gambar 5.2 Permodelan Lereng Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	57
Gambar 5.3 Permodelan <i>Generate Mesh</i> Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	58
Gambar 5.4 Permodelan Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	58
Gambar 5.5 Kalkulasi Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	59

Gambar 5.6 Nilai SF Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	59
Gambar 5.7 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	60
Gambar 5.8 <i>Total Displacement</i> Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	60
Gambar 5.9 Permodelan Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	61
Gambar 5.10 Kalkulasi Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	61
Gambar 5.11 Nilai SF Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	62
Gambar 5.12 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	62
Gambar 5.13 <i>Total Displacement</i> Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	63
Gambar 5.14 SF Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan	63
Gambar 5.15 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan	64
Gambar 5.16 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 9m Tanah Asli Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan	64
Gambar 5.17 <i>Total Displacement</i> Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan	65
Gambar 5.18 Potensi Kelongsoran Timbunan 9m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan	65
Gambar 5.19 SF Akhir Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan	66
Gambar 5.20 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan	66
Gambar 5.21 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 9m Tanah Asli Akibat Beban Akhir Tanpa Perkuatan	67
Gambar 5.22 <i>Total Displacement</i> Timbunan 9 m Dengan Beban Akhir Tanah Asli Tanpa Perkuatan	67
Gambar 5.23 Potensi Kelongsoran Timbunan 9m Tanah Asli Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan	68

Gambar 5.24 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	68
Gambar 5.25 Permodelan Timbunan Dalam Metode Fellenius	69
Gambar 5.26 Transfer Gesekan Tanah-Geotekstil	85
Gambar 5.27 Permodelan Timbunan 9 m Dengan Perkuatan Geotekstil	87
Gambar 5.28 Permodelan <i>Generate Mesh</i> Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	87
Gambar 5.29 Permodelan <i>Generate Mesh</i> Timbunan 9 m Dengan Perkuatan Geotekstil	88
Gambar 5.30 Permodelan Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	88
Gambar 5.31 Kalkulasi Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	89
Gambar 5.32 Nilai SF Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	89
Gambar 5.33 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	90
Gambar 5.34 <i>Total Displacemet</i> Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	90
Gambar 5.35 Permodelan Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	91
Gambar 5.36 Kalkulasi Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	91
Gambar 5.37 Nilai SF Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	92
Gambar 5.38 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	92
Gambar 5.39 Total Displacement Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	93
Gambar 5.40 SF Timbunan 9 m Tanah Asli Beban Gempa Dengan Perkuatan Geotekstil	93

Gambar 5.41 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 9 m Tanah Asli Beban Gempa Dengan Perkuatan Geotekstil	94
Gambar 5.42 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 9m Tanah Asli Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan	94
Gambar 5.43 <i>Total Displacement</i> Timbunan 9 m Tanah Asli Beban Gempa Dengan Perkuatan Geotekstil	95
Gambar 5.44 Potensi Kelongsoran Timbunan 9m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Dengan Perkuatan	95
Gambar 5.45 SF Akhir Timbunan 9 m Tanah Asli Beban Akhir Dengan Perkuatan Geotekstil	96
Gambar 5.46 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 9 m Tanah Asli Beban Akhir Dengan Perkuatan Geotekstil	96
Gambar 5.47 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 9m Tanah Asli Akibat Beban Akhir Dengan Perkuatan	97
Gambar 5.48 <i>Total Displacement</i> Timbunan 9 m Tanah Asli Beban Akhir Dengan Perkuatan Geotekstil	97
Gambar 5.49 Potensi Kelongsoran Timbunan 9m Tanah Asli Dengan Beban Akhir Dengan Perkuatan	98
Gambar 5.50 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	98
Gambar 5.51 Perbandingan <i>Safety Factor</i> Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil	101
Gambar 5.52 Perbandingan <i>Safety Factor</i> Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil	102
Gambar 5.53 Perbandingan Konsolidasi Penurunan dengan Tinggi Timbunan	102

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan	12
Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan	13
Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan	14
Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan	15
Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan	16
Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem AASHTO	19
Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS	20
Tabel 3.3 Nilai Faktor Keamanan untuk Perancangan Lereng	25
Tabel 3.4 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor	26
Tabel 3.5 Angka Pori ( $e_o$ ) Berdasarkan Jenis Tanah	32
Tabel 3.6 Indeks Kompresi Tanah ( $C_c$ ) Berdasarkan Jenis Tanah	33
Tabel 4.1 Data Parameter Tanah	40
Tabel 4.2 Data Parameter Geotekstil <i>Woven</i> UW-250	42
Tabel 4.3 Data Beban Lalu Lintas	42
Tabel 5.1 Data Parameter Tanah	54
Tabel 5.2 Data Beban Lalu Lintas	55
Tabel 5.3 Data Parameter Geotekstil <i>Woven</i> UW-250	56
Tabel 5.4 Hasil Rekapitulasi Analisis Timbunan Tanpa Perkuatan	69
Tabel 5.5 Perhitungan Manual Dengan Metode Fellenius	73
Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Tanah Asli	75
Tabel 5.9 Data Geotekstil <i>Woven</i> UW-250	77

Tabel 5.10 Koefisien Daya Dukung Tanah	78
Tabel 5.11 Hasil Rekapitulasi Analisis Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil	99
Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Analisis Angka Aman (SF) Timbunan	100
Tabel 5.13 Rekapitulasi Penurunan Konsolidasi Pada Lereng Timbunan	101

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Parameter Tanah	110
Lampiran 2 Data <i>Technical Spesificationn Geotextile Woven</i>	111
Lampiran 3 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 5m Tanpa Perkuatan	112
Lampiran 4 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 7m Tanpa Perkuatan	120
Lampiran 5 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 11m Tanpa Perkuatan	129
Lampiran 6 Hasil Permodelan <i>Plaxis</i> Lereng Timbunan 11m Dengan Perkuatan	138

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

cm	= Centimeter
m	= Meter
mm	= Milimeter
Cu	= <i>Undrained shear strength</i>
$\gamma_b$	= Berat volume tanah ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
$\gamma_{\text{sat}}$	= Berat volume tanah jenuh ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
FK	= Faktor keamanan
kN	= Kilo newton
Mpa	= Mega pascal
D	= Diameter (m)
S	= Jarak (m)
L	= Panjang (m)
S	= <i>Safety factor</i>
$\tau_f$	= Kuat geser tanah ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$\tau_d$	= Tegang geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$\text{m}^2$	= Meter persegi
c	= Kohesi ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$\varphi$	= Sudut geser dalam ( $^\circ$ )
v	= <i>Poissons ration</i>
e	= Modulus young ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$\psi$	= Sudut dilatasi ( $^{\circ}$ )
$k$	= Koefisien permeabilitas (cm/sec)
$g$	= Modulus geser ( $\text{N/m}^2$ )
$\sigma$	= Tegangan normal ( $\text{N/m}^2$ )
$\sigma'f$	= Tegangan normal efektif saat terjadi keruntuhan ( $\text{N/m}^2$ )
$\tau'f$	= Tegangan geser efektif saat terjadi keruntuhan ( $\text{N/m}^2$ )
$u$	= Tekanan air pori ( $\text{kN/m}^2$ )
$R$	= 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 ( $\text{kN/m}^2$ )
$T_a$	= Gaya tarik pada tulangan ( $\text{kN/m}$ )
$K_a$	= Koefisien tanah aktif
$\sigma_{hc}$	= Tekanan horizontal rata-rata pada lipatan ( $\text{kN/m}^2$ )
$S_v$	= Jarak tulangan arah vertikal (m)
$H$	= Tinggi lapisan tanah (m)
$q$	= Beban merata ( $\text{kN/m}$ )

LO = Panjang overlapping (m)

Zi = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m)

## ABSTRAK

Proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing terletak pada Provinsi Jawa Barat yang bertujuan untuk meningkatkan mobilitas pada sektor industri untuk menunjang produktivitas. Kondisi tanah asli dan timbunan pada proyek ini sangat beragam. Pada pembangunan jalan tol tersebut terdapat banyak lereng timbunan tanah untuk jalan. Timbunan lereng yang dilakukan penelitian di khususkan pada lokasi ruas tol Cibitung – Cilincing Sta. 4+600 dengan tinggi lereng yang bervariasi mulai dari 5m sampai 9m. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai angka aman (SF), konsolidasi yang terjadi selama 365 hari, dan untuk mengetahui pengaruh adanya perkuatan geotekstil pada timbunan.

Analisis stabilitas timbunan ini dilakukan perhitungan dengan metode elemen hingga menggunakan program komputasi *Plaxis V20*. Penelitian ini menggunakan variasi analisis tinggi timbunan lereng 5m, 7m, dan 11m. Untuk perencanaan perkuatan pada timbunan menggunakan jenis geotekstil *woven UW-250* produksi dari PT. Teknindo Geosistem Unggul. Timbunan tanah yang aman adalah timbunan yang memenuhi angka aman yang di syaratkan yaitu  $\geq 1,5$ . Timbunan yang tidak aman kemudian akan diberi perkuatan geotekstil. Tahap awal adalah menganalisis timbunan tanah asli yang tidak diperkuat dengan program *Plaxis V20*. Ketinggian muka air tanah terdapat di bawah lapisan tanah keras sesuai parameter pada data yang didapat.

Hasilnya nilai angka aman tanpa perkuatan geotekstil dengan beban struktur untuk timbunan 5m, 7m, dan 11m secara berturut turut yaitu 1,71; 1,54; dan 1,42. Sedangkan dengan tambahan beban gempa yaitu 1,789; 1,627; dan 1,459. Kemudian untuk perhitungan timbunan dengan perkuatan geotekstil dengan beban struktur untuk timbunan 5m, 7m, dan 11m berturut turut yaitu 4,639; 3,5; dan 2,792. Sedangkan dengan tambahan beban gempa yaitu 1,851; 1,676; dan 1,520. Untuk hasil penurunan konsolidasi pada variasi timbunan 5m, 7m, dan 11m tanpa perkuatan berturut-turut yaitu 0,1579m; 0,1928m; dan 0,2120m. Dan besar penurunan konsolidasi pada variasi tinggi timbunan 9m dengan perkuatan geotekstil didapatkan nilai sebesar 0,2118m

**Kata Kunci** : Angka Aman, Geotekstil, Plaxis, Timbunan

## **ABSTRACT**

*The construction project of the Cibitung – Cilincing Toll Road is located in the West Java Province and aims to enhance mobility in the industrial sector to support productivity. The original soil and embankment conditions in this project are highly diverse. In the construction of the toll road, there are many embankment slopes for the road. The embankment slope research is specifically focused on the location of the Cibitung – Cilincing Toll Road Section 4+600 with slope heights ranging from 5m to 9m. The purpose of this research is to obtain the factor of safety (SF) values, consolidation that occurs over 365 days, and to understand the influence of geotextile reinforcement on the embankment.*

*Stability analysis of this embankment is carried out using finite element method calculations using the Plaxis V20 computational program. This study uses variations in the analysis of embankment heights at 5m, 7m, and 11m. For embankment reinforcement planning, the chosen geotextile type is woven UW-250 produced by PT. Teknindo Geosistem Unggul. A safe soil embankment is one that meets the specified safety factor of  $\geq 1.5$ . Unstable embankments will then be reinforced with geotextile. The initial stage involves analyzing the unreinforced natural soil embankment using the Plaxis V20 program. The groundwater level is below the hard soil layer according to the parameters in the obtained data.*

*The results show the factor of safety values without geotextile reinforcement with structural load for embankments at 5m, 7m, and 11m, respectively, as follows: 1.71, 1.54, and 1.42. With the additional seismic load, the values are 1.789, 1.627, and 1.459. Then, for embankment calculations with geotextile reinforcement and structural load for embankments at 5m, 7m, and 9m, the values are 4.639, 3.5, and 2.792, respectively. With the additional seismic load, the values are 1.851, 1.676, and 1.520. The consolidation settlement results for embankment variations at 5m, 7m, and 9m without reinforcement are 0.1579m, 0.1928m, and 0.2120m, respectively. The consolidation settlement for the 9m embankment height variation with geotextile reinforcement is 0.2118m.*

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

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Saat ini pemerintah sedang gencarnya melakukan pemerataan pembangunan infrastruktur di Indonesia, hal ini dapat disebut sebagai upaya dari pemerintah untuk membangun peradaban manusia dari segi sosial dan ekonomi. Apalagi yang sudah kita ketahui Indonesia sebagai negara berkembang, pembangunan Infrastruktur sangat dibutuhkan, khususnya pada sektor transportasi. Sektor transportasi di Indonesia memiliki peranan yang penting dalam perkembangan perekonomian, oleh karena itu hal ini lah yang menjadi salah satu fokus pemerintah dalam melakukan pembangunan nasional.

Dalam rangka meningkatkan produktivitas ekonomi dan kesejahteraan masyarakat, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan aksesibilitas dan kapasitas jalan di sektor industri. Sebagai bagian dari realisasi Program Pembangunan Jangka Menengah (RPJMN) 2015-2020, pembangunan ruas jalan Tol Cibitung – Cilincing menjadi salah satu amanah pemerintah. Tujuan dari pembangunan ini adalah untuk mendukung strategi pembangunan ekonomi nasional dengan menyediakan infrastruktur jalan yang memadai. Ruas jalan Tol Cibitung – Cilincing memiliki panjang sekitar 34 km dan menghubungkan antara ruas JORR II, jalan Tol Cimanggis – Cilincing, dan ruas jalan Tol JORR I *east*.

Untuk menunjang Pembangunan Ekonomi Nasional (PEN) dan yang paling penting pula khususnya dalam pengembangan dan peningkatan kegiatan ekonomi di Pulau Jawa, maka pemerintah pusat melakukan pembangunan jalan tol Cibitung-Cilincing, yang mana proyek ini merupakan bagian dari rencana pembangunan Jalan Tol Jakarta Outer Ring Road 2 (JORR 2). Pada proses pembangunan jalan pembangunan Jalan Tol Cibitung - Cilincing ini dilakukan dengan menggunakan dinding penahan tanah. Penelitian ini melakukan analisis stabilitas timbunan tanah menggunakan perkuatan geotekstil dengan program *Plaxis V20*.

Analisis dilaksanakan dengan maksud untuk mengidentifikasi angka keamanan yang diperlukan dan daerah rawan longsor potensial pada tanah. Hal ini bertujuan agar usaha perkuatan dapat berjalan efisien dan memastikan bahwa jalan tol yang telah dibangun beroperasi secara optimal.

Ada beberapa metode dalam analisis stabilitas dengan jenis perkuatan geotekstil salah satunya dengan menggunakan program *Plaxis V20*. Geotekstil itu sendiri merupakan salah satu metode dalam Geoteknik untuk memperkuat tanah yang mana sebagai suatu terobosan dalam rekayasa perbaikan dan perkuatan tanah yang diharapkan mampu meningkatkan daya dukung tanah. Analisis dilakukan yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar angka aman dan bidang longsor potensial pada tanah agar usaha perkuatan dapat berjalan efektif dan ruas jalan tol yang telah dibangun dapat bekerja secara optimal. Dalam analisis ini geotekstil yang akan digunakan adalah jenis geotekstil Woven UW-250. Berikut untuk lokasi pada penelitian dan geometri potongan yang melintang pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2



**Gambar 1.1 Lokasi Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing**  
(Sumber: PT. Cibitung Tanjung Priok Tollways, 2020)



2. Mengetahui nilai angka aman timbunan lereng dengan variasi tinggi timbunan pada lereng asli tanpa perkuatan menggunakan program *Plaxis V20*.
3. Mengetahui angka aman timbunan lereng badan jalan dengan variasi tinggi timbunan pada lereng dengan perkuatan Geotekstil menggunakan program *Plaxis V20*.
4. Mengetahui pengaruh penambahan perkuatan geotekstil dalam meningkatkan stabilitas timbunan.
5. Mengetahui besar penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan dengan menggunakan program *Plaxis V20*.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Berdasarkan daripada tujuan penelitian diatas, maka manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

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

#### **1.5 Batasan Penelitian**

Terdapat beberapa Batasan pada penelitian ini agar dapat beerjalan secara sistematis, oleh karena nya permasalahan-permasalahan yang ada perlu dibatasi, berikut batasan-batasan yang digunakan.

1. Timbunan pada Jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta 4+600.
2. Data tanah asli yang digunakan dari laporan hasil analisis timbunan pada Tol Cibitung – Cilincing Sta 4+600.
3. Metode perencanaan geosintetik yang digunakan menggunakan geosintetik *Woven UW 250* dari PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan kuat Tarik = 52 kN/m.

4. Variasi tinggi lereng timbunan 5 m, 7 m, dan 11 m.
5. Metode perhitungan menggunakan program komputasi *Plaxis V20*.
6. Beban gempa dinamik diperhitungkan sesuai dengan kondisi gempa daerah Bekasi.
7. Beban merata yang digunakan adalah beban struktur dan beban lalu lintas standar untuk Jalan Tol.
8. Besar konsolidasi diperhitungkan pada timbunan lereng dengan asumsi waktu selama 365 hari (1 tahun).
9. Muka air tanah dipertimbangkan berdasar data di lapangan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Pada kondisi tanah yang miring atau tidak datar, gaya gravitasi cenderung mendorong tanah ke arah bawah. Jika gaya gravitasi mengatasi tahanan geseran dari tanah di area lereng, kemungkinan terjadinya kelongsoran lereng akan meningkat. Analisis stabilitas pada tanah dengan kemiringan disebut analisis stabilitas timbunan lereng. Analisis semacam ini umumnya diterapkan dalam perencanaan infrastruktur seperti jalan raya, rel kereta api, bandara, bendungan tanah, saluran, dan proyek lainnya. Evaluasi stabilitas dilakukan untuk memastikan keamanan lereng alam, timbunan tanah, maupun galian lereng (Hardiyatmo, 2010). Pekerjaan konstruksi pada jalan atau bangunan lereng kerap menghadapi masalah kelongsoran. Diantara beberapa metode perkuatan lereng konvensional, perkuatan lereng menggunakan geotekstil menjadi solusi yang efektif dan efisien dalam menghadapi permasalahan tersebut.

Lapisan geotekstil yang di tempatkan pada lereng selama pekerjaan konstruksi ataupun konstruksi ulang akan meningkatkan kestabilan lereng sehingga dimungkinkan untuk membuat lereng vertial yang lebih tinggi. Prinsip geotekstil sebagai material perkuatan bergantung pada kekuatan tariknya untuk memotong garis atau bidang keruntuhan lereng.

#### **2.2 Analisis Stabilitas Timbunan tanpa Perkuatan Geotekstil**

Hediyanto (2018) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas pada timbunan dengan perkuatan dinding kantilever dan *sheet pile* pada Bantaran Sungai Code. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor aman (SF) dari lereng eksisting, perkuatan kantilever dan perkuatan *sheet pile* menggunakan program Geoslope/w dan mengetahui pergerakan tanah pada kedua variasi perkuatan tersebut dengan pembanding pada saat terjadi gempa dan non gempa menggunakan program Sigma/w. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh faktor aman (SF) lereng

eksisting akibat berat sendiri sebesar 1,118 akibat gempa sebesar 0,565. Faktor aman (SF) lereng dengan perkuatan kantilever akibat berat sendiri sebesar 2,639 akibat gempa sebesar 1,789. Faktor aman (SF) lereng dengan perkuatan *sheet pile* kantilever akibat berat sendiri sebesar 2,726 akibat gempa sebesar 1,846. Dari perencanaan dua variasi perkuatan tersebut faktor aman (SF) > 1,5 maka lereng stabil. Diperoleh hasil terbesar pergerakan tanah perkuatan kantilever pada saat non gempa pada potongan A-A sebesar 0,7, potongan B-B sebesar 1,01m dan potongan C-C sebesar 0,1m. Hasil terbesar pergerakan tanah perkuatan *sheet pile* pada saat non gempa pada potongan A-A sebesar 0,44, potongan B-B sebesar 1,03m dan potongan C-C sebesar 0,088m.

Hayumi (2021) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas timbunan pada badan jalan dengan geotekstil dengan program *Plaxis* pada studi kasus di Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi I. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui angka keamanan, besar penurunan dan pengaruh penambahan geotekstil untuk stabilitas dan penurunan timbunan. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian tersebut yaitu pada kondisi tanah asli dengan menggunakan program *Plaxis* mengalami *soil body collapse*, sehingga angka keamanannya dihitung menggunakan metode *fellenius* yang mana dilakukan perhitungan secara manual. Sehingga didapatkan nilai angka keamanan dengan metode *fellenius* pada masa konstruksi dengan variasi timbunan 4 meter sebesar 0,996, variasi 6 meter sebesar 0,895, dan variasi 8 meter sebesar 0,820. Sedangkan pada pasca konstruksi didapatkan nilai angka keamanan dengan variasi timbunan 4 meter sebesar 0,858, variasi 6 meter sebesar 0,818, dan variasi 8 meter sebesar 0,781. Untuk hasil analisis penurunan menggunakan program *Plaxis* kondisi tanah asli pada setiap variasi timbunan terjadi *soil body collapse* pada saat dilakukan perhitungan penurunan.

### 2.3 Analisis Stabilitas Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

Kurniawan (2021) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas timbunan pada badan jalan menggunakan perkuatan geotekstil pada studi kasus Jalan Tol Indralaya – Muara Enim Seksi Prabumulih – Muara Enim, Sumatera Selatan STA 97+100. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan nilai angka aman (SF) dan beberapa besarnya nilai angka konsolidasi yang terjadi selama 365 hari atau satu tahun. Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng timbunan yang telah dilakukan, variasi ketinggian lereng timbunan berpengaruh terhadap nilai angka aman yang dihasilkan, semakin tinggi lereng timbunan maka nilai angka aman yang didapatkan semakin kecil. Perbaikan tanah (*Replacement*) tidak meningkatkan nilai angka aman yang signifikan, sedangkan perkuatan dengan geotekstil yang diterapkan pada lereng timbunan sangat berpengaruh terhadap meningkatnya nilai angka aman (SF) yang signifikan dan mencapai nilai angka aman yang disyaratkan.

Penelitian yang dilakukan oleh Budiasto (2018) adalah mengenai analisis stabilitas timbunan badan jalan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis* pada jalan tol Solo-Kertosono tahap III STA 118+700-139+760. Tujuan dari penelitian tersebut untuk mengetahui angka aman dan penurunan selama 200 hari timbunan badan jalan pada tingi timbunan 2m, 4m, 6m, dan 8m dengan variasi permodelan yaitu kondisi tanah asli replacement dengan geotekstil, dan timbunan tanah asli *replacement* dengan geotekstil dan *counterweight*. Dari hasil analisis stabilitas lereng dengan program *Plaxis* didapatkan nilai angka aman yang lebih besar dari angka aman yang disyaratkan 1,4 yaitu pada timbunan 2m kondisi tanah asli dengan geotekstil 1,785 saat konstruksi dan 1,452 saat pasca konstruksi, tanah asli *replacement* 0,5 dengan geotekstil 1,859 saat konstruksi dan 1,529 saat pasca konstruksi, tanah asli *replacement* 1m dengan geotekstil 2,065 saat konstruksi dan 1,716 saat pasca konstruksi. Pada timbunan 4m kondisi tanah asli *replacement* 1m dengan geotekstil 1,645 saat konstruksi dan 1,512 saat pasca konstruksi. Pada timbunan 6m kondisi tanah asli *replacement* 1, dengan geotekstil 1,457 saat konstruksi dan 1,410 saat pasca konstruksi. Sedangkan pada timbunan 8m kondisi

tanah asli *replacement* 1m dengan geotekstil dan *counter weight* 1,504 saat konstruksi dan 1,501 saat pasca konstruksi.

#### **2.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Fellenius**

Pangemanan, dkk. (2014) melakukan sebuah penelitian tentang analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode Fellenius yang dilakukan pada studi kasus Kawasan Citraland yang bertujuan untuk mencari angka kestabilan lereng berdasarkan perhitungan angka keamanan dengan metode Fellenius dan mencari penyelesaian yang tepat untuk mengatasi bahaya kelongsoran. Kesimpulan yang diambil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada Kawasan Citraland Manado didapatkan nilai keamanan yaitu 0,193 yang menunjukkan bahwa keadaan lereng tersebut tidak stabil, sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan menggunakan *soil nail*, yaitu langkah perbaikan lereng dilakukan dengan mengurangi gaya penggerak atau momen penyebab longsor. Tindakan ini bertujuan untuk mencapai nilai keamanan sebesar 1,926, yang menunjukkan bahwa kondisi lereng menjadi stabil.

Seventuary, dkk. (2015) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas lereng dan perencanaan *Soilnailing* dengan *software* Geostudio 2007 pada studi kasus Kampus Untirta Sindangsari yang bertujuan untuk Tujuan penelitian ini adalah menganalisis stabilitas lereng dan merencanakan *soilnailing* untuk perkuatan lereng. Metode analisis stabilitas lereng yang digunakan adalah metode Fellenius, metode Bishop, metode Janbu, *software* Geostudio 2007 dan analisis stabilitas pada *soil nailing* untuk mencari nilai faktor keamanan. Kesimpulan yang diambil pada penelitian ini hasil analisis stabilitas lereng menggunakan metode Fellenius, metode Bishop, metode Janbu dan *software* GeoStudio 2007 diperoleh nilai faktor keamanan lebih kecil dari 1.50 yang berarti lereng dalam keadaan bahaya terhadap longsor. Berdasarkan hasil analisis stabilitas pada *soilnailing* untuk stabilitas eksternal terhadap keruntuhan global lereng dan pergeseran diperoleh nilai faktor keamanan 1.808 dan 1.528, sedangkan hasil analisis stabilitas internal terhadap putus tulangan dan cabut tulangan diperoleh nilai faktor keamanan 1.466 dan 1.531. Hasil analisis dengan *software* GeoStudio 2007 diperoleh nilai faktor

keamanan 1.915. Nilai faktor keamanan yang diperoleh mendekati atau lebih dari 1.50 maka desain soil nailing yang direncanakan dapat disimpulkan aman terhadap longsor.

Penelitian yang dilakukan Arsyadani & Muwaffaq (2023) adalah mengenai analisis stabilitas timbunan menggunakan metode Fellenius yang bertujuan untuk mengetahui angka keamanan lereng pada proyek *The Statup Hotel Island* di Kecamatan Karimunjawa, Kabupaten Jepara. Metode yang dianalisis menggunakan metode Fellenius dan program komputasi Plaxis V20. Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa faktor keamanan pada saat kondisi awal dengan metode Fellenius adalah sebesar 1,42 dan faktor keamanan menggunakan program komputasi Plaxis V20 sebesar 1,47. Nilai keamanan setelah diberikan perkuatan *sheetpile* sebesar 1,5666. Disimpulkan bahwa hasil yang telah diberikan perkuatan lebih stabil dibandingkan dengan sebelum diberi perkuatan.

## **2.5 Pengaruh Beban Gempa terhadap Faktor Aman (SF)**

Penelitian dari Sekarti (2018) yang melakukan penelitian dengan studi kasus di Jalan Tol Semarang – Solo ruas Salatiga Kartasura memiliki tujuan untuk mengetahui angka aman atau *safety factor* (SF) dengan variasi penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan metode *Fellenius*, *Janbu Simplified* dan *Morgenstern Price*. Hasil dari penelitian yang dilakukan yaitu terjadi peningkatan SF secara berurutan sebesar 9,72%, 9,36%, dan 10,8% dan dengan pengaruh beban gempa sebesar 1,86%, 1,94% dan 2%. Beban gempa dapat mempengaruhi kestabilan timbunan secara signifikan dengan rata-rata sebesar 44,4062% yang mana dapat menurunkan tingkat kestabilan suatu timbunan lereng.

Prabowo (2019) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas lereng pada studi kasus Jalan Tol Ngawi – Kertosono ruas Ngawi – Caruban Seksi 3.1. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui angka aman pada kondisi tanpa dan dengan beban gempa terhadap lereng tanah asli, lereng dengan geometri baru tanah asli dan timbunan dan lereng dengan geometri baru tanah asli yang diperkuat dengan geotekstil. Hasil dari penelitian ini menunjukkan stabilitas lereng asli tanpa

dan dengan beban gempa menggunakan Program *Plaxis* 8.2 secara berurutan didapati angka aman sebesar 1,338 dan 1,331, kondisi lereng dengan sudut  $76^\circ$  yang mana lereng dengan geometri baru tanah asli dan tanah timbunan tanpa diperkuat geotekstil tidak dapat diaplikasikan di lapangan karena menghasilkan angka aman 1 yang mengalami keutuhan, sedangkan kondisi lereng dengan sudut  $76^\circ$  yang diperkuat geotekstil tanpa dan dengan beban gempa menghasilkan nilai angka aman sebesar 1,737 dan 1,350 yang diaplikasikan di lapangan.

## **2.6 Pengaruh Penambahan Geotekstil terhadap Kelembaban Tanah**

Ogundare, dkk. (2018) melakukan penelitian tentang stabilisasi tanah dasar dengan dan tanpa perkuatan geotekstil non-woven dengan kondisi yang terendam dan dengan menggunakan uji *California Bearing Ratio* (CBR) untuk mengetahui peningkatan yang terjadi pada tanah dasar. Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwasannya terdapat interaksi antara tanah dan geotekstil non-woven sebagai penghubung tanah dengan bahan geotekstil non-woven yang mana dapat meningkatkan ketahanan penetrasi dan karena itu uji CBR dilakukan dalam kondisi basah. Dengan demikian, karena CBR tanah dasar digunakan sebagai kriteria untuk desain perkerasan lentur, maka ketebalan lapisan komponen (*subbase* dan *base course*) akan berkurang Ketika CBR tanah dasar tinggi sehingga dapat mengurangi biaya konstruksi pada jalan.

## **2.7 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan**

Berikut merupakan perbandingan antara penelitian atau tugas akhir ini dengan beberapa penelitian sebelumnya dapat 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	Pangemana n, dkk. (2014)	Sevenuary , dkk. (2015)	Budiasto (2018)	Sekarti (2018)	Hediyanto (2018)	Prabowo (2019)	Kurniawan (2021)	Hayumi (2021)	Arsyadani & Muwaffaq (2023)	Ogundare, dkk. (2018)	Ramadhan (2023)
Judul Penelitian	Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius	Analisis Stabilitas Lereng dan Perencanaan <i>Soilnailin</i> g dengan <i>Software</i> Geostudio 2007	Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Pada Jalan Tol Solo-Kertosono Tahap III STA 118+700-139+760	Analisis Stabilitas Timbunan Di Jalan Tol Semarang -Solo Ruas Salatiga-Kartasura	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Kantilever dan Sheetpile pada Bantaran Sungai Code	Analisis Stabilitas Lereng Pada Ruas Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus Pada Ruas Tol Ngawi-Caruban STA 128+850, Proyek Jalan Tol Ngawi-Kertosono)	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Pada Badan Jalan Dengan Menggunakan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Indralaya – Muara Enim Seksi Prabumulih – Muara Enim, Sumatera Selatan STA 97+100	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis (Studi Kasus : Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi I)	Analisis Stabilitas Lereng Untuk Mengatasi Kerawanan Longsor Menggunakan Metode Fellenius dan Program Plaxis V20	<i>Stabilization Of Subgrade Using Geosynthetics (Case Study- Geotextile) Under Soaked Condition</i>	Analisis Stabilitas Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis V20 (Studi Kasus: Proyek Tol Cibitung-Cilincing Sta 4+600)

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan**

	Penelitian Terdahulu										Penelitian Yang Dilakukan
Peneliti	Pangemanan, dkk. (2014)	Sevenuity, dkk. (2015)	Budiasto (2018)	Sekarti (2018)	Hediyanto (2018)	Prabowo (2019)	Kurniawan (2021)	Hayumi (2021)	Arsyadani & Muwaffaq (2023)	Ogundare, dkk. (2018)	Ramadhan (2023)
Tujuan Penelitian	Mengetahui kestabilan lereng berdasarkan perhitungan faktor keamanan daengan metode Fellenius.	Menganalisis stabilitas lereng dan merencanakan soil nailing untuk perkuatan lereng.	Mengetahui angka aman dan penurunan selama 200 hari timbunan badan jalan pada tinggi timbunan 2m, 4m, 6m, dan 8m dengan variasi permodelan.	Mengetahui faktor aman timbunan dengan perubahan variasi trap, variasi beban dan variasi panjang geotekstil dengan berbagai metode kesetimbangan batas menggunakan program Slope/W	Mengetahui faktor aman (SF) dari lereng eksisting, perkuatan kantilever dan perkuatan sheeppile menggunakan program Geoslope/W	Menganalisis stabilitas lereng asli menggunakan program Plaxis 8.2 pada STA 128+850 dan analisis mengenai penggunaan jenis tanah setelah pemadatan untuk bentuk lereng yang lebih tegak	Mengetahui nilai angka aman dan seberapa besarnya nilai konsolidasi yang terjadi selama 365 hari atau satu tahun.	Menganalisis timbunan tanah asli dengan metode <i>Fellenius</i> dan tanah asli dengan perkuatan geotekstil untuk mencari angka aman.	Mengetahui angka keamanan pada proyek untuk mengantisipasi terjadinya tanah longsor	Mengetahui pencegahan hilangnya kelembaban tanah dengan menggunakan geotekstil non-woven	Mengetahui faktor angka aman (SF) pada timbunan tanah asli dan tanah asli dengan perkuatan geotekstil dengan variasi tinggi timbunan menggunakan program Plaxis V20

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan**

	Penelitian Terdahulu										Penelitian Yang Dilakukan
Peneliti	Pangemanan, dkk. (2014)	Sevenuary, dkk. (2015)	Budiasto (2018)	Sekarti (2018)	Hediyanto (2018)	Prabowo (2019)	Kurniawan (2021)	Hayumi (2021)	Arsyadani & Muwaffaq (2023)	Ogundare, dkk. (2018)	Ramadhan (2023)
Metode Penelitian	Analisis dengan menghitung besarnya kekuatan geser untuk mempertahankan kestabilan lereng dan menghitung kekuatan geser yang menyebabkan kkelongsoran kemudian hasil keduanya dibandingkan.	Analisis stabilitas lereng yang digunakan adalah metode Fellenius, metode Bishop, metode Janbu, software Geostudio 2007 dan analisis stabilitas pada soil nailing untuk mencari nilai faktor keamanan	Analisis menggunakan perangkat lunak <i>Plaxis</i> untuk mendapat nilai angka aman. Sedangkan pada timbunan yang <i>Collapse</i> menggunakan metode perhitungan manual <i>Fellenius</i>	Analisa menggunakan pengujian tanah pada laboratorii um dan faktor aman dengan menggunakan program <i>Slope/W</i>	Analisa menggunakan program Geoslope untuk kestabilan lereng dengan perkuatan kantilever dan Sheet <i>pile</i> .	Analisa menggunakan Program <i>Plaxis</i> 8.2	Analisis menggunakan metode <i>Fellenius</i> dan program <i>Plaxis</i> 8.6	Penelitian dianalisis dengan program <i>Plaxis</i> V20	Penelitian dianalisis menggunakan metode Fellenius dan <i>Plaxis</i> V20	Analisa menggunakan <i>preliminary test</i> dan uji sampel tanah kemudian dilanjutkan dengan uji CBR sampel tanah tanpa dan dengan balutan geotekstil non-woven	Analisa menggunakan program <i>Plaxis</i> V20

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan

	Penelitian Terdahulu										Penelitian Yang Dilakukan
Peneliti	Pangemanan, dkk. (2014)	Sevenuary, dkk. (2015)	Budiasto (2018)	Sekarti (2018)	Hediyanto (2018)	Prabowo (2019)	Kurniawan (2021)	Hayumi (2021)	Arsyadani & Muwaffaq (2023)	Ogundare, dkk. (2018)	Ramadhan (2023)
Hasil Penelitian	Faktor keamanan yaitu 0,193 yang menunjukkan bahwa keadaan lereng tersebut tidak stabil. Kemudian dilakukan perbaikan lereng dengan cara memperkecil gaya penggerak atau momen penyebab longsor.	Faktor keamanan 1,915. Nilai faktor keamanan yang diperoleh mendekati atau lebih dari 1.50 maka desain soil nailing yang direncanakan dapat disimpulkan aman terhadap longsor.	Timbunan tanah asli memiliki angka aman yang lebih disyaratkan yaitu 1,4. Namun penurunan tanah perlu perkuatan. Setelah diperkuat	Timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan metode <i>Fellenius</i>	Faktor aman (SF) lereng dengan perkuatan dengan <i>Sheet pile</i> akibat berat sendiri sebesar 2,726 dan akibat beban gempa sebesar 1,846	Nilai angka aman yang didapatkan tanpa dan dengan beban gempa pada kondisi lereng asli dengan	Timbunan pada tanah asli 3 meter, 6 meter, 9 meter tanah asli masa konstruksi didapatkan nilai angka aman sebesar masing-masing 1,4307, 1,1987, dan 1,0784,	Timbunan tanah asli mengalami <i>Soil Body Collapse</i> . Didapatkan nilai SF dengan menggunakan metode <i>Fellenius</i> pada masa konstruksi dengan variasi	Nilai keamanan lereng pada saat awal dengan metode <i>Fellenius</i> sebesar 1,42 dan nilai keamanan menggunakan <i>plaxis v20</i> 1,47, kemudian diberikan perkuatan <i>sheetpile</i> sebesar 1,566.	Nilai CBR mengalami peningkatan yang cukup besar setelah penambahan geotekstil non-woven. Dengan kata lain penggunaan geotekstil	

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan**

	Penelitian Terdahulu										Penelitian Yang Dilakukan
Peneliti	Pangemanan, dkk. (2014)	Sevenuary, dkk. (2015)	Budiasto (2018)	Sekarti (2018)	Hediyanto (2018)	Prabowo (2019)	Kurniawan (2021)	Hayumi (2021)	Arsyadani & Muwaffaq (2023)	Ogundare, dkk. (2018)	Ramadhan (2023)
Hasil Penelitian	Sehingga didapat nilai SF 1,926 menunjukkan kondisi lereng stabil.		dengan tanah replacement dan penambahan geotekstil penurunan tanah dapat di reduksi.	terjadi peningkatan angka aman sebesar 9,72%.		program <i>Plaxis</i> berurutan sebesar 1,338 dan 1,331.	sedangkan pada saat pasca konstruksi masing-masing sebesar 1,3345, 1,1712, dan 1,0589	timbunan 4 meter sebesar 0,996, timbunan 6 meter sebesar 0,895, dan timbunan 8 meter sebesar 0,820		non-woven paling menguntungkan pada jalan tak beraspal dengan tanah dasar lunak dan dengan kondisi penetrasi yang tinggi (beban lalu lintas)	

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tanah**

##### **3.1.1 Pengertian**

Dalam konteks ilmu teknik sipil, tanah merujuk pada suatu kumpulan mineral, bahan organik, dan endapan yang relatif longgar yang terdapat di atas batuan dasar (bedrock). Hubungan antar butiran tanah yang lemah dapat disebabkan oleh zat organik, karbonat, atau oksida yang terdapat di antara partikel-partikel tersebut. Ruang di antara partikel-partikel tersebut dapat berisi udara dan air. Pembentukan tanah dapat terjadi melalui proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi. Proses ini dapat melibatkan aspek kimia, fisik, atau kombinasi keduanya.

Proses fisik pembentukan tanah dapat mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, akibat erosi, pengaruh angin, air, es, aktivitas manusia, atau degradasi partikel tanah karena fluktuasi suhu dan cuaca. Partikel tanah dapat memiliki berbagai bentuk, termasuk bulat, bergerigi, atau bentuk lainnya. Pelapukan batuan dapat terjadi secara kimia melalui interaksi dengan oksigen, karbon dioksida, air (baik yang bersifat alkali maupun asam), dan proses kimia lainnya. Jika hasil pelapukan telah terangkut dari lokasi asalnya, disebut sebagai tanah terangkut (transported soil). Sebaliknya, jika tanah masih berada di lokasi asalnya, disebut sebagai tanah residual (residual soil) (Hardiyatmo, 2010).

##### **3.1.2 Klasifikasi Tanah**

Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem atau cara mengumpulkan dan mengelompokkan tanah berdasarkan kesamaan dan kemiripan sifat dan kemiripan sifat dan ciri morfologi, fisika, dan kimia, serta mineralogi, kemudian diberi nama agar mudah dikenal, diingat, dipahami dan digunakan serta dapat dibedakan satu dengan lainnya. Atau dapat juga disebut dengan pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda tetapi masih mempunyai sifat yang sama kedalam kelompok-kelompok berdasarkan pemakasian pemakainya.

Tujuan dari sistem klasifikasi tanah ini yaitu digunakan dalam melakukan analisis yang mendalam terhadap kondisi tanah, penguji perlu mengidentifikasi sifat teknis tanah, termasuk karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan parameter lainnya. (Bowles,1989). Klasifikasi tanah ini sangat bermanfaat dalam perancangan, memberikan panduan melalui pendekatan empiris yang didasarkan pada pengalaman dari tahun sebelumnya., dan juga apabila tanah belum sesuai dengan klasifikasi, dapat dilakukan upaya seperti perkuatan tanah agar tanah tersebut mampu menopang struktur di atasnya.

Terdapat beberapa macam sistem klasifikasi tanah yang ada, dan dari beberapa macam sistem klasifikasi tanah yang ada, ada terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang paling umum digunakan untuk hasil kembangan dari sistem klasifikasi yang telah ada. Sistem tersebut yakni sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan juga sistem klasifikasi menurut USCS (*Unified Soil Clasification System*).

#### 1. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*)

Sistem klasifikasi tanah ini dikembangkan sejak tahun 1929 adalah sistem yang biasa digunakan untuk keperluan jalan raya. Sistem klasifikasi ini membagi tanah menjadi tujuh kelompok besar yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah diklasifikasikan berdasarkan presentase jumlah butiran tanah yang lolos no 200 dan nilai batas indeks konsistensi atau batas susut, batas plastis, ataupun batas cair nya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem AASHTO****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.	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)

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

Sistem klasifikasi tanah USCS, tanah di klasifikasikan ke dalam tanah dalam dua kelompok terbesar berikut ini.

- a. Tanah berbutir kasar, yaitu presentase tanah yang tertahan pada ayakan saringan no 200 lebih dari 50%. Simbol yang digunakan adalah G (*gravel*) atau tanah yang berkerikil) dan S (*sand atau tanah yang berpasir*). Selain itu juga dinyatakan dengan gradasi pada tanah dengan simbol W yaitu untuk tanah ber gradasi baik (*well graded*) dan P untuk tanah ber gradasi buruk (*poorly graded*)
- b. Tanah berbutir halus, yaitu presentase tanah yang lolos pada ayakan saringan no 200 50% atau lebih. Simbol yang digunakan adalah M (*silt atau lanau*), C (*clay atau lempung*), O (organik bisa berupa lempung organik atau lanau organik), dan PT digunakan untuk tanah gambut atau tanah yang mempunyai kadar organik yang tinggi. Plastisitas dinyatakan dengan L untuk plastisitas rendah (*low plasticity*) dan H untuk plastisitas yang tinggi (*high*

*plasticity*). Kemudian klasifikasi tanah menurut sistem USCS dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3. 2 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 butiran halus)	GW	Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa / tak ada butiran halus	CU = D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> = 1 – 4 CC = D <sub>30</sub> <sup>2</sup> /D <sub>10</sub> = 1-3	
			GP	Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butira halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW	
		Kerikil Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butiran halus)	GM	Kerikil berlanau, kerikil mengandung pasir – lanau bergradasi buruk	Indek Plastisitas kurang dari 7	
			GC	Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	Indek Plastisitas lebih dari 7	
	Pasir (lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 4 / Ø 4.75 mm)	Pasir Bersih (Tanpa / sedikit butiran halus)	SW	Pasir bergradasi baik, Pasir dengan sedikit pasir tanpa butiran halus	CU = D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> ≥ 6 CC = D <sub>30</sub> <sup>2</sup> /D <sub>10</sub> = 1-3	
			SP	Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC SW	
		Pasir Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butiran halus)	SM	Pasir berlanau, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk	Indeks Plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25	
			SC	Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk	Indeks plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25	

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

### 3.1.3 Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser tanah dapat diartikan sebagai kemampuan maksimum tanah untuk bertahan terhadap usaha perubahan bentuk pada kondisi tekanan dan kelembaban tertentu (Head,1982). Keruntuhan geser tanah yang terjadi bukan diakibatkan oleh hancurnya pada butiran tanah tersebut, tetapi dikarenakan disebabkan oleh gerak relatif antara pada butiran tanah tersebut. Menurut teori Mohr (1910) menyatakan bahwa kondisi keruntuhan pada suatu bahan biasa terjadi yang diakibatkan oleh adanya kombinasi campuran keadaan yang kritis dari tegangan normal dan juga tegangan geser. Hubungan dari fungsi antara pada tegangan normal dan tegangan geser tersebut dinyatakan dalam Persamaan 3.1 berikut.

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

dengan:

$\tau$  = Tegangan geser ( $\text{kN/m}^2$ )

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

Dengan hal ini, dapat diartikan jika tanah yang mendapati pembebanan maka akan ditahan oleh:

1. Kohesi tanah bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, dan umumnya tidak dipengaruhi oleh tegangan normal yang bekerja pada bidang geser, dan
2. Gesekan antara butir-butir tanah meningkat seiring dengan peningkatan tegangan normal pada bidang geser.

Berdasarkan Columb (1776) mendefinisikan  $\tau$  yang dapat dilihat pada Persamaan 3.2 berikut ini

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

dengan:

$\tau$  = Kuat geser tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

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

$\sigma$  = Tegangan normal pada bidang runtuh ( $\text{kN/m}^2$ )

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

Parameter untuk kuat geser pada tanah ditentukan melalui uji dengan laboratorium kepada sampel pada tanah asli (*undisturbed*), tanah tersebut itu diambil dengan berhati-hati supaya tidak merubah kondisi aslinya (dapat berupa kadar air, susunan butiran), dikarenakan hal ini dapat berakibat fatal yang terjadi pada sampel. Terdapat beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah sebagai berikut.

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

## **3.2 Lereng**

### **3.2.1 Pengertian Umum**

Lereng merupakan permukaan pada tanah yang miring atau tidak horizontal dan membentuk suatu sudut tertentu terhadap suatu bidang yang horizontal. Lereng atau dapat disebut talud dapat terbentuk secara alami karena dari proses geologi ataupun juga terbentuk karena dibuat atau rekayasa oleh manusia karena tujuan dan maksud tertentu. Lereng yang mengalami keruntuhan secara teknis dapat dikatakan telah kehilangan kestabilannya karena mempunyai nilai keamanan yang rendah. Pada suatu tempat yang 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 gaya potensial gravitasi dan menyebabkan terjadinya tanah longsor.

### **3.2.2 Penyebab Longsor**

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

1. Pemberian tambahan beban pada lereng dapat berasal dari berbagai sumber, seperti konstruksi bangunan baru, peningkatan beban air yang meresap ke dalam pori-pori pada tanah atau berkumpul di permukaan tanah, dan beban dinamis dari tumbuhan yang terpengaruh oleh angin dan faktor lainnya..
2. Penambangan atau pengurukan pada tanah di lereng bukit.
3. Perubahan posisi pada muka air secara cepat (*rapid drawdown*) (pada bendungan, sungai dan lain-lain).
4. Kenaikan Tekanan lateral dari air yang memenuhi celah-celah tanah dapat menyebabkan peningkatan tekanan pada tanah ke arah lateral.
5. Penurunan pada tahanan geser tanah yang membentuk lereng dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kenaikan kadar air, peningkatan tekanan air pori, tekanan rembesan akibat genangan air di dalam tanah, keberadaan lempung yang rentan terhadap pembengkakan dan penyusutan, dan faktor-faktor lainnya.
6. Gempa Bumi

### 3.2.3 Jenis- Jenis Kelongsoran

Menurut Hardiyatmo (2006) menyatakan karakteristik kegagalan pada lereng dapat dibagi kedalam jenis longsoran berikut.

#### 1. Longsoran Rotasional

Longsoran rotasional biasanya terjadi pada lereng dengan tanah yang homogen. Daerah longsoran berbentuk lingkaran dan dalam, serta massa tubuh longsoran cenderung menyatu, meskipun terkadang terlihat retakan pada beberapa bagian atas longsoran, longsoran rotasional dapat terjadi pada timbunan atau galian.

#### 2. Longsoran Translasiional

Longsoran translasiional terjadi pada bidang geser datar dan massa tanah yang longsor berbentuk baji. Bidang tanah longsor dapat terjadi pada lapisan tanah lempung lunak dengan kekuatangeser rendah, atau diselingi dengan lapisan lanau antara dua lapisan lempung. Medan longsor juga biasanya mengikuti arah permukaan batuan dasar (*bed rock*).

#### 3. Longsoran Aliran

Longsoran yang terjadi dalam bentuk arus debris atau lumpur adalah gerakan material lapisan tanah dangkal yang berdekatan dengan permukaan. Arus lumpur melibatkan pergerakan tanah yang lembek dan jenuh, menyerupai gerakan air turun ke bawah. Longsoran seringkali terjadi tanpa peringatan, terutama setelah hujan deras atau di wilayah barat ketika salju mulai meleleh. Kejadian aliran lumpur ini umumnya terjadi pada lereng yang curam, di mana tanah pembentukannya terdiri dari pasir atau lanauan dengan sedikit atau tanpa kandungan lumpur tanah liat.

#### 4. Longsoran Blok

Longsoran ini terjadi dalam bentuk blok banyak dari material tanah atau batuan yang berjalan dalam satu kesatuan dan itu terjadi pada bidang longsor tertentu, atau dapat disebut di sepanjang kekar (*joint*) batuan. Pada bidang longsor umumnya terdiri dari material lemah atau kekar. Longsoran balok dapat juga terdiri atas unit tunggal maupun banyak yang berjalan pada rentang waktu yang berbeda. Longsoran pada tipe ini sangat berbahaya, karena dapat terjadi sangat cepat dan tanpa tanda-tanda awal atau secara tiba-tiba.

## 5. Runtuhan Batuan

Runtuhan batuan terjadi dalam bentuk jatuhnya batuan-batuan ke permukaan jalan. Batu yang runtuh diakibatkan pelapukan. Pelapukan pada lapisan batuan yang terletak di bawahnya dapat menyebabkan keruntuhan batuan massif, yang dapat terjadi secara umum akibat proses pelapukan, presipitasi hujan, atau pencairan es.

## 6. Rayapan (*Creep*)

Rayapan atau *Creep* yaitu Gerakan tanah atau batuan pembentuk lereng yang kontinyu ke arah tertentu. Rayapan ini, bisa terjadi pada tanah di dekat permukaan maupun kedalaman tertentu. Umumnya, besar kecilnya Gerakan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kuat geser lempung, sudut lereng, tinggi lereng, waktu, kondisi kelembaban dan ketebalan zona rayapan yang efektif. Di lereng yang mengalami rayapan, gerakan terjadi secara perlahan. Rayapan menerus dapat terjadi ketika tegangan geser rendah dan berlangsung dalam jangka waktu yang lama, seringkali tanpa adanya penyebab yang jelas untuk keruntuhan lereng. Fenomena rayapan menerus ini umumnya terjadi pada tanah lempung dan batuan yang mengalami beban berlebihan. beban.

### 3.3 Analisis Stabilitas Lereng

#### 3.3.1 Pengertian Umum

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal, gaya gravitasi memiliki kecenderungan untuk mendorong tanah ke arah bawah. Apabila gaya gravitasi mencapai tingkat di mana resistensi terhadap geseran oleh tanah pada bidang longsor melebihi batas tertentu, maka kemungkinan terjadinya kelongsoran lereng akan meningkat.

Analisis pengkajian stabilitas pada permukaan tanah yang cenderung miring ini dikenal sebagai analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng ini kompleks karena melibatkan banyak faktor yang signifikan dalam perhitungan. Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil analisis tersebut meliputi kondisi tanah yang bersifat lapisan-lapisan, sifat kuat geser tanah yang bersifat anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah, dan sejumlah faktor lainnya. (Hardiyatmo, 2014).

### 3.3.2 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Menurut Hardiyatmo (2010) tujuan dari analisis untuk stabilitas yaitu bertujuan untuk menentukan faktor keamanan dari bidang longsor yang berpotensi. Untuk itu dalam analisis stabilitas lereng, terdapat beberapa gagasan yang dibuat, yaitu sebagai berikut.

1. Longsoran pada lereng biasanya terjadi sepanjang suatu permukaan bidang tertentu, dan situasi ini dapat dianggap sebagai masalah dalam dimensi dua.
2. Massa pada tanah yang mengalami longsor dianggap sebagai benda yang besar atau massif
3. Tanah yang mengalami geseran di setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung pada orientasi permukaan longsor; dengan kata lain, kekuatan geser tanah dianggap isotropis.
4. Faktor keamanan dapat diinterpretasikan dengan menunjukkan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang potensial longsor, serta kekuatan rata-rata tanah sepanjang permukaan longsor.

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

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

**Tabel 3. 3 Nilai Faktor Keamanan untuk Perancangan Lereng**

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

(Sumber: Sosrodarsono, 2003)

**Tabel 3. 4 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor**

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

(Sumber: Bowles, 1989)

Stabilitas suatu lereng bergantung pada nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam tanah ( $\phi$ ). Tanah yang mengalami penurunan kadar kelembaban umumnya memiliki faktor keamanan yang tinggi. Sebaliknya, pada kondisi tanah yang semakin jenuh, faktor keamanan cenderung menurun. Salah satu faktor yang dapat menyebabkan ketidakstabilan lereng adalah kenaikan muka air tanah, yang dapat meningkatkan tingkat kejenuhan dan tekanan air pori, sehingga mengurangi tegangan efektif dan kekuatan geser tanah..

Dalam bukunya yang dikutip oleh Hardiyatmo (2010), Terzaghi membagi pengaruh terhadap stabilitas suatu lereng menjadi dua, yakni pengaruh dari luar yang menyebabkan peningkatan gaya geser tanpa adanya perubahan pada nilai kekuatan geser tanah. Sementara itu, pengaruh dari dalam termanifestasi dalam bentuk longsoran yang umumnya terjadi tanpa adanya perubahan pada kondisi eksternal atau gempa bumi.

Faktor keamanan dalam konteks stabilitas lereng dijelaskan sebagai nilai perbandingan antara gaya penahan dan gaya yang menyebabkan pergerakan, sebagaimana dinyatakan dalam Persamaan 3.3 berikut.

$$F = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (3.3)$$

dengan :

$\tau$  = Tahan geser yang dapat dikerahkan tanah ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$\tau_d$  = Tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

F = Faktor aman

### 3.1.1 Metode Analisis Stabilitas Lereng

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

#### 1. Metode *Fellenius* (*Ordinary Method of Slice*)

Analisis stabilitas dengan menggunakan Metode *Fellenius* (*Ordinary Method of Slice*) diperkenalkan oleh Fellenius (1927, 1936) yang menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan dan kiri dari sembarang irisan memiliki resultan nol yang ada pada arah tegak lurus di bidang longsor.

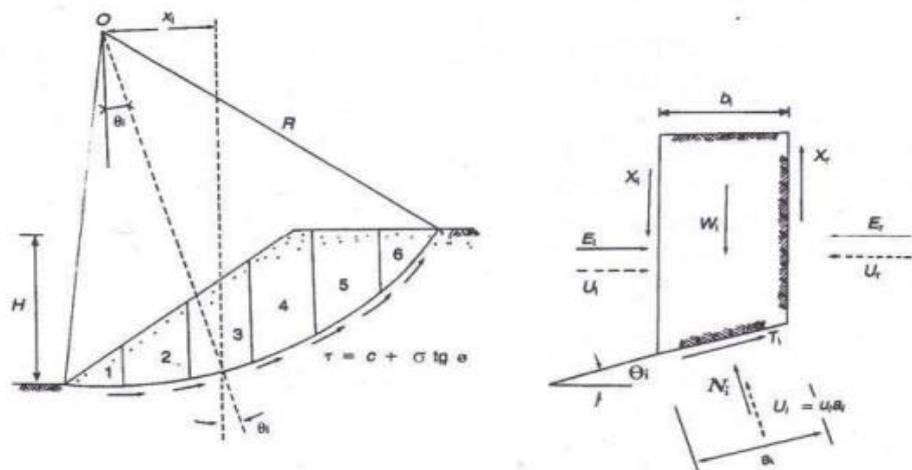
Dalam metodenya, Fellenius menjelaskan dengan mengasumsikan bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi suatu blok tanah yang membentuk lingkaran (sirkuler) pada permukaan longsor, dengan titik O sebagai pusat rotasi. Dalam pendekatan ini, diasumsikan bahwa gaya normal P bekerja di tengah-tengah setiap irisan. Selain itu, dianggap bahwa resultan gaya antar irisan pada setiap irisan adalah nol, atau dengan kata lain, gaya-gaya antar irisan diabaikan.

Maka 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

Ilustrasi mengenai pemodelan metode *Fellenius* dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3.1 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan**

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Dengan anggapan tersebut maka dapat diuji persamaan keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi dan diperoleh suatu nilai Faktor Keamanan anggap ini menunjukkan keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya bekerja dapat dilihat pada Persamaan 3.4 sampai Persamaan 3.6 berikut ini.

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (3.4)$$

Atau

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i \quad (3.5)$$

$$N_i = W_i \cos \theta_i - u_i a_i \quad (3.6)$$

Sehingga rumus yang digunakan untuk menghitung faktor aman dapat dilihat pada Persamaan (3.7) berikut ini.

$$F = \frac{\text{jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \\ = \frac{\sum M_r}{\sum M_d} \quad (3.7)$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah  $R \sin \theta$  yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.8) berikut.

$$\sum M_d = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (3.8)$$

Keterangan :

R = Jari-jari lingkaran pada bidang longsor

n = Jumlah irisan

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

$N_i$  = Resultann gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

$\theta_i$  = Sudut yang diartikan

Dengan menggunakan cara yang sama, momen yang menahan pada tanah akan longsor dapat dilihat pada Persamaan (3.9) berikut.

$$\sum M_r = R \sum_{i=1}^{i=n} (c a_i + N_i \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.9)$$

Maka rumus untuk faktor aman seperti pada persamaan (3.10) berikut.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c a_i + N_i t g \varphi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.10)$$

Apabila Ketika terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor ( $M_d$ ), hal ini disebabkan oleh resultan gaya akibat tekanan air pori yang melewati titik pusat lingkaran. Faktor aman tersebut menjadi seperti pada Persamaan (3.11) berikut.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c a_i + N_i t g \varphi) t g \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.11)$$

Keterangan :

F	= Faktor nilai aman
C	= Kohesi pada tanah ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$\varphi$	= Sudut gesek dalam tanah ( $^\circ$ )
$a_i$	= Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-I (m)
$W_i$	= Berat pada irisan tanah ke-I ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$u_i$	= Tekanan air pori pada irisan ke-I (m)
$\theta_i$	= Sudut yang didefinisikan-

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

Metode Fellenius menghasilkan faktor keamanan yang lebih rendah daripada metode tersebut perhitungan yang lebih akurat. Besar kecilnya nilai *error* tergantung dari *safety factor*, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori. Meskipun analisisnya ditinjau Mengingat tegangan total, kesalahan analitik masih merupakan fungsi dari faktor tersebut Aman dan lingkaran tengah sudut. Metode ini telah banyak digunakan dalam praktek karena Perhitungan sederhana dan metode yang salah yang terjadi dalam keamanan.

## 2. Metode Bishop

Dalam metode Bishop, diasumsikan bahwasannya resultan gaya pada sisi potongan yaitu sejajar dengan horizontal, artinya  $X_1 - X_2 = 0$ . Dengan menyelesaikan suatu gaya-gaya vertikal, kita dapat memperoleh Persamaan 3.12 sebagai berikut.

$$W = N' \cdot \cos\alpha + u \cdot \cos\alpha - \frac{c'}{SF} \sin\alpha - \frac{N'}{SF} \tan\phi' \sin\alpha \quad (3.12)$$

Dilakukan substitusi nilai  $1 = b \cdot \sec\alpha$ , maka didapatkan Persamaan 3.20 untuk nilai angka aman sebagai berikut.

$$SF = \frac{1}{\sum W \sin\alpha} \sum \left[ (c' \cdot b + (W - u \cdot b) \tan\phi') \frac{\sec\alpha}{1 - \frac{\tan\alpha \tan\phi'}{SF}} \right] \quad (3.13)$$

Keterangan:

- $SF$  = Angka aman
  - $\phi$  = Sudut geser dalam
  - $\alpha$  = Sudut geser singgung masing-masing irisan
  - $c'$  = Kohesi tanah efektif
  - $l$  = Panjang dasar
  - $N'$  = Gaya normal efektif
  - $u$  = Tekanan air pori pada pusat dasar
  - $W$  = Berat total irisan
3. Metode Elemen Hingga

Metode keseimbangan batas memungkinkan untuk melakukan evaluasi lereng secara cepat, namun dalam prosesnya memperbolehkan hitungan yang sama antara lereng timbunan baru, lereng yang baru digali, dan lereng alami (Hardiyatmo, 2003). Metode keseimbangan batas mengabaikan tegangan-tegangan di dalam lereng yang sangat dipengaruhi oleh  $K_0$ , yaitu rasio tegangan lateral terhadap tegangan vertikal efektif. Namun distribusi tegangan dalam pada tiga lereng tersebut tentu akan berbeda sehingga mempengaruhi stabilitasnya.

Clough dan Woodward (1967) adalah yang pertama kali memperkenalkan metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*), namun penggunaannya terbatas hanya pada lereng dengan struktur pada tanah yang kompleks. Pada metode elemen hingga

dapat membantu pengaruh pada penimbunan dan penggalian yang dilakukan secara bertahap, dengan itu pengaruh sejarah pada tegangan dalam tanah terhadap deformasinya dapat dicari. Akan tetapi, kualitas metode elemen hingga secara langsung bergantung pada kemampuan dari model konstitutif yang dipilih, yang secara realistis mensimulasi kelakuan non-linier dari tanah pembentuk lereng timbunan. Dalam aplikasinya model konstitutif hanya dapat benar-benar dikembangkan dengan uji lapangan kualitas tinggi yang didukung dengan pengamatan di lapangan.

### **3.4 Penurunan Tanah**

#### **3.4.1 Umum**

Pengaplikasian beban di atas lapisan tanah dapat menyebabkan partikel tanah mengalami peningkatan tegangan, yang pada gilirannya mengakibatkan penurunan tanah (*settlement*). Deformasi partikel tanah dan pelepasan air atau udara melalui pori-pori tanah menjadi faktor-faktor yang memicu penurunan ini. Secara umum, tanah yang lunak cenderung mengalami penurunan yang signifikan, yang pada gilirannya dapat menimbulkan masalah dalam proyek-proyek konstruksi. Penurunan konsolidasi yang besar terjadi pada tanah saat tanah mengalami pembebanan merupakan penyebab utama penurunan yang signifikan.

#### **3.4.2 Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)**

Penurunan konsolidasi, yang juga dikenal sebagai penurunan primer atau penurunan tanah, disebabkan oleh beban yang diterapkan pada tanah. Akibatnya, tekanan air pori meningkat dan air cenderung keluar atau mengalir keluar dari pori-pori tanah, menyebabkan penurunan volume tanah. Pada jenis tanah lunak, penurunan konsolidasi utamanya tergantung pada sejarah geologis tanah. Pada kedalaman tertentu, tanah telah mengalami tegangan efektif pra-konsolidasi, yaitu tegangan efektif maksimum yang pernah terjadi sebelumnya. Tegangan efektif pra-konsolidasi dapat lebih kecil atau sama dengan tegangan overburden efektif saat ini. Istilah "*normally consolidated*" mengacu pada kondisi di mana tegangan overburden efektif saat ini merupakan tegangan maksimum yang pernah dialami oleh tanah tersebut. Perhitungan untuk mencari nilai penurunan normally consolidated dapat dilakukan dengan Persamaan 3.14 berikut.

$$S_c = H \frac{C_c}{1+e_o} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \quad (3.14)$$

Dengan:

$S_c$  = Penurunan Primer (m)

$\Delta p$  = Perubahan tegangan vertikal (kN/m<sup>2</sup>)

$C_c$  = Indeks kompresi tanah

$e_o$  = Angka pori

$H$  = Tebal lapisan tanah (m)

$P_o$  = Tekanan overburden efektif (kN/m<sup>2</sup>)

Beberapa parameter yang diperlukan untuk menghitung besarnya penurunan suatu lapisan tanah yaitu angka pori tanah ( $e_o$ ) dan Indeks Kompresi Tanah ( $C_c$ ) berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5 Angka Pori ( $e_o$ ) Berdasarkan Jenis Tanah**

<b>Tipe Tanah</b>	<b>Angka Pori (<math>e_o</math>)</b>
Pasir Lepas Dengan Butiran Seragam	0,8
Pasir Padat Dengan Butiran Seragam	0,45
Pasir Berlanau Yang Lepas Dengan Butiran Bersudut	0,65
Pasir Berlanau Yang Padat Dengan Butiran Bersudut	0,4
Lempung Kaku	0,6
Lempung Lembek	0,9 – 1,4
Tanah	0,9
Lempung Organik Lembek	2,5 – 3,2
<i>Glacial Till</i>	0,3

(Sumber : Das, 1988)

**Tabel 3.6 Indeks Kompresi Tanah (Cc) Berdasarkan Jenis Tanah**

Jenis Tanah	Cc
Pasir Padat	0,0005 – 0,01
Pasir Tidak Padat	0,025 – 0,05
Lempung Agak	0,03 – 0,06
Lempung Kenyal	0,06 – 0,15
Lempung Medium s/d Lunak	0,15 – 1,0
Tanah Organik	1,0 – 4,5
Batu/Cadas	0

### 3.5 Perkuatan Lereng menggunakan Geotekstil

#### 3.4.3 Geotekstil

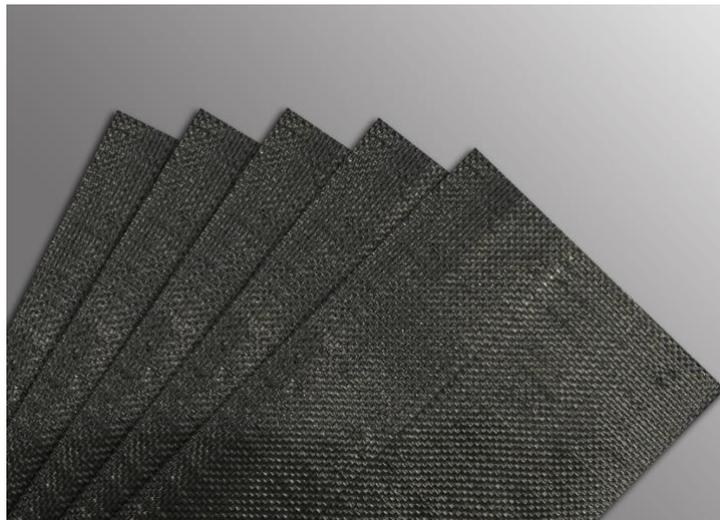
Geotekstil merupakan lembaran yang berbentuk sintetis yang tipis, fleksibel dan berpori yang serinngkali digunakan untuk stabilisasi dan perbaikan pada tanah ataupun yang dikaitkan dengan pekerjaan sipil. Penggunaan geotekstil merupakan cara yang modern dalam usaha dalam perkuatan tanah yang lunak, dalam hal ini memiliki kemampuan untuk melindungi, memperkuat, melindungi atau mengeringkan. Menurut Bina Marga (2009), geotekstil adalah geosintetik yang lolos air yang berasal dari bahan tekstil. Geotekstil digunakan pada pondasi, tanah, batuan, bumi ataupun aplikasi geoteknik lainnya yang berfungsi ssebagai pelengkap dalam suatu produk, struktur maupun sistem buatan manusia. Bahan dasar pada pembuatan geotekstil yaitu benang dan serat polimer, seperti *polyester* (PET), *polypropylene* (PP), *polyamide* (PM), dan *polyethylene* (PE). Untuk menggabungkan pita sehingga menjadi struktur lembaran, jenis geotekstil dibagi berdasarkan metode-metode yang digunakan.

#### 3.4.4 Jenis-Jenis Geotekstil

Berdasarkan cara pembuatannya, geotekstil dibedakan menjadi dua jenis sebagai berikut ini.

1. Geotekstil teranyam (*woven*)

Seperti nama nya Geotekstil teranyam (*woven*) dibuat dengan cara dianyam seperti dilihat pada Gambar 3.2 Geotekstil jenis ini memiliki bentuk yang menyerupai karung beras berbahan serat sintetis teranyam dengan perlindungan anti ultra violet dan memiliki warna hitam. Fungsi dari geotekstil teranyam adalah sebagai bahan stabilisasi tanah dasar terutama tanah lunak agar tanah tersebut bisa terlapisi dan tidak mengalami penurunan. Geotekstil jenis ini memiliki kekuatan tarik yang relatif tinggi, sehingga seringkali digunakan di lapangan sebagai lapisan perkuatan dan sebagai pemisah. Dalam peran perkuatan tanah, geotekstil jenis ini bertindak sebagai penguat struktural pada tanah. Sementara itu, dalam peran sebagai pemisah, geotekstil teranyam berfungsi untuk memisahkan tanah lunak dan tanah keras.



**Gambar 3.2 Geotekstil Teranyam (*Woven*)**

(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul, 2021)

## 2. Geotekstil Tidak Teranyam (*Non Woven*)

Tidak seperti halnya pada Geotekstil *woven*, Geotekstil jenis ini produksinya tidak melibatkan teknik anyaman, melainkan dengan cara mengikat atau menyatukan serat-serat pembentuknya menggunakan pengikatan atau bahan perekat. Geotekstil jenis ini memiliki bentuk seperti karpet kain yang umumnya berbahan dasar bahan polimer *polyester* (PET) atau *polypropylene* (PP) seperti yang dilihat pada Gambar 3.3 berikut.

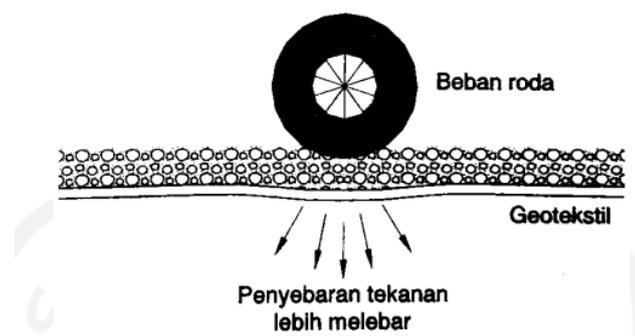


**Gambar 3.3 Geotekstil Tidak Teranyam (*Non Woven*)**

(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul, 2021)

#### 3.4.5 Mekanisme Kerja Geotekstil

Pada pelaksanaan konstruksi jalan yang menggunakan perkuatan geotekstil berguna menghindari terjadinya keruntuhan lokal pada tanah lunak yang memiliki daya dukung tanah yang rendah. Pada saat tanah dan geotekstil digabungkan, maka material komposit tanah yang diperkuat akan menghasilkan kuat tekan dan kuat Tarik yang tinggi, maka hal ini dapat menahan gaya yang bekerja dan deformasi. Tidak hanya itu, geotekstil juga berfungsi untuk menstabilkan lereng yang curam ( $<70^\circ$ ) serta meningkatkan nilai angka kemannya seperti Gambar 3.4 berikut.



**Gambar 3.4 Redistribusi Tekanan Roda pada Perkuatan Geotekstil**

(Sumber: Hardiyatmo, 2013)

### 3.6 Program *Plaxis*

Program *Plaxis* yaitu merupakan salah satu perangkat lunak komputer yang dapat digunakan untuk mempermudah dalam menganalisis pada bidang geoteknik. Program *Plaxis* itu sendiri dirancang berdasarkan dengan metode elemen hingga berbentuk dua dimensi yang dapat digunakan secara khusus guna menganalisis stabilitas dan deformasi untuk bermacam implementasi dalam bidang geoteknik, seperti untuk daya dukung pada tanah. Kondisi lapangan juga dapat dimodelkan dalam regangan (*plane-strain*) maupun secara axisymmetric. Program ini mengadopsi model antarmuka grafis yang *user-friendly*, yang memungkinkan para pengguna untuk membuat model geometri dan elemen jaringan berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat sub-program, yang mencakup input perhitungan, output, dan kurva..

Terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan pada tahapan pada program *Plaxis* berikut ini.

#### 1. *Input data*

Pada tahap pertama yaitu input data ialah permodelan yang berupa data pada geometri dinding penahan tanah dan lereng yang nantinya akan dianalisis, material tanah, pembebanan, *meshing*, dan *initial condition*. Sehingga nantinya model yang dihasilkan yaitu menggambarkan kondisi yang riil pada lapangan.

#### 2. *Calculation*

Pada *Plaxis Calculation Program* digunakan setelah proses input pada pekerjaan yang kita tinjau telah selesai. Untuk pada tahap ini, analisis yang dilakukan sesuai dengan kebutuhan terhadap model yang sudah diartikan dalam input data.

#### 3. *Output*

Setelah menyelesaikan proses analisis, output dari perhitungan pada tahap sebelumnya dapat dilihat pada tahap output. Hasil analisis pada tahap ini dapat disajikan dalam bentuk angka, gambar, serta kurva. Output yang dihasilkan dan yang akan dievaluasi dalam penelitian ini mencakup perpindahan total, potensi longsor, faktor keamanan, dan tegangan total.

#### 4. *Curve*

Selanjutnya *Plaxis Curves Program* dapat dipakai untuk menggambar kurva hubungan beban atau waktu terhadap *displacement*, diagram tegangan-tegangan dari lokasi yang sebelumnya dipilih pada *Calculation Program (Select point for curve)*. *Curve* menggambarkan hasil dari semua tahapan perhitungan, menampilkan dua parameter untuk memungkinkan melihat perbandingan dari masing-masing pada tahap perhitungan. Dan *Curve* yang juga akan diambil sebagai perbandingan dalam penelitian kali ini adalah *curve* dari *safety factor* dan *curve vertical displacement*.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Tinjauan Umum**

Metode penelitian merupakan sebuah langkah yang dilakukan oleh peneliti untuk mengumpulkan data dan melakukan analisis pada data yang telah didapatkan. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis stabilitas timbunan pada badan jalan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis V20* dengan hasil berupa nilai angka keamanan dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 7 meter, dan 11 meter. Kemudian dari hasil analisis yang dilakukan diharapkan dapat menghasilkan nilai faktor keamanan yang paling baik pada kondisi yang akan ditinjau, sehingga pada perencanaan perkuatan stabilitas timbunan pada badan jalan dapat dijadikan acuan terhadap kondisi dan pembebanan tertentu.

#### **4.2 Tahapan Penelitian**

Penelitian ini memiliki proses yang dibagi dalam beberapa tahap seperti berikut ini.

##### **1. Pengumpulan data**

Dimana tahap ini untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan agar mencapai tujuan penelitian maka perlu dilakukan pengumpulan data. Tahap ini mencakup tahap untuk pengambilan data tanah yang dibutuhkan guna keperluan analisis pada proyek jalan tol Cibitung – Cilincing STA 4+600.

##### **2. Pengolahan dan analisis data**

Tahap ini merupakan tahapan dimana data yang sudah diperoleh kemudian diolah dan dilakukan analisis stabilitas timbunan pada badan jalan. Pengolahan data dilakukan dengan menginput data ke dalam *software Plaxis V20* dengan tinggi timbunan 5m, 7m, dan 11m pada keadaan timbunan tanah asli dan timbunan tanah asli dengan geotekstil.

##### **3. Hasil dan Kesimpulan**

Tahapan ini merupakan tahapan penarikan hasil dan kesimpulan yang telah didapatkan pada tahapan pengolahan data dan analisis data. Hasil yang

ditemukan dari masalah-masalah yang timbul maka dapat didapatkan solusi dan kesimpulan berdasarkan teori yang sudah ada.

#### **4.3 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian yang akan diteliti berada pada Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA 4 + 600.

#### **4.4 Data Penelitian**

Data yang akan dimanfaatkan dalam penelitian ini terdiri dari data sekunder, yaitu sebagai berikut.

1. Data tanah.
2. Data lapisan tanah.
3. Data lereng.
4. Data geotekstil.

#### **4.5 Tahap Analisis**

Adapun tahapan analisis yang digunakan pada penelitian ini menggunakan program *Plaxis V20* sebagai berikut ini.

##### *1. Plaxis input*

Dalam menggunakan program *Plaxis* untuk melakukan analisis stabilitas timbunan, terlebih dahulu melakukan *input* data yang ada dilapangan.

##### *2. Plaxis calculations*

*Plaxis calculations* digunakan setelah proses *input* pekerjaan yang ditinjau selesai. Program *Plaxis calculations* dapat secara otomatis terbuka setelah memilih *toolbar calculate* di akhir *input* program, bila kalkulasi tidak dilakukan langsung setelah proses *input*, maka kita dapat membuka program ini dengan memilih *calculation program* pada *start menu*.

### 3. *Plaxis output*

Tahap ini akan menampilkan hasil yang didapat dari analisis data yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya sebagai berikut.

- a. Nilai angka keamanan (*safety factor*) dengan variasi tinggi timbunan 5m, 7m, dan 11m pada keadaan timbunan tanah asli.
- b. Nilai angka keamanan (*safety factor*) dengan variasi tinggi timbunan 5m, 7m, dan 11m setelah ditambah dengan perkuatan geotekstil.

### 4.6 Parameter Tanah

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

**Tabel 4.1 Data Parameter Tanah**

Parameter Tanah	Satuan	Timbunan 1	Timbunan 2	Tanah Liat Berlumpur	Lanau Berpasir	Pasir
Jenis		Drained	Undrained	Drained	Undrained	Drained
Model	-	MC	MC	MC	MC	MC
H	m	1.4	1	3.6	1.2	2.2
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	15.6	17	16.5	16.7	17.7
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	5.6	7	6.5	6.7	7.7
qc	Kg/cm <sup>2</sup>	4	19	10	17	120
fr	%	2.55	1	1.53	0.94	0.16
C	kN/m <sup>3</sup>	18.01	18.01	42.92	5	5

Lanjutan Tabel 4.1 Data Parameter Tanah

Parameter Tanah	Satuan	Timbunan 1	Timbunan 2	Tanah Liat Berlumpur	Lanau Berpasir	Pasir
Sudut Geser ( $\phi$ )	o	37.89	37.89	24.39	24.39	38.16
poisson ratio ( $\nu$ )		0.33	0.3	0.33	0.3	0.3
Eu	kPa	4502	-	10729	-	-
Eref	kPa	19000	19000	120000	17000	8583

(Sumber: PT. Cibitung Tanjung Priok Tollways, 2020)

#### 4.7 Geotekstil

Nilai geotekstil yang digunakan sebagai input pada program *Plaxis* itu berupa nilai *normal stiffness* (EA) yang dapat dihitung dengan Persamaan 4.1 berikut.

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

dengan:

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

$\Delta l/l$  = Regangan pada geotekstil

Geotekstil yang dipakai merupakan produk yang diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul. Tipe geotekstil yang digunakan adalah geotekstil woven atau teranyam. Informasi mengenai data geotekstil dapat dirujuk pada Tabel 4.2 di bawah ini.

**Tabel 4.2 Data Parameter Geotekstil Woven UW-250**

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

Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul (2020)

#### 4.8 Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Data beban perkerasan yang akan digunakan adalah sebesar 10 kN/m<sup>2</sup> dari data sekunder dan sedangkan data beban lalu lintas 15 kN/m<sup>2</sup> yang digunakan dengan menggunakan acuan pada Departemen Pekerjaan Umum (2009) yang dapat dilihat berdasarkan fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 4.3 berikut.

**Tabel 4.3 Data Beban Lalu Lintas**

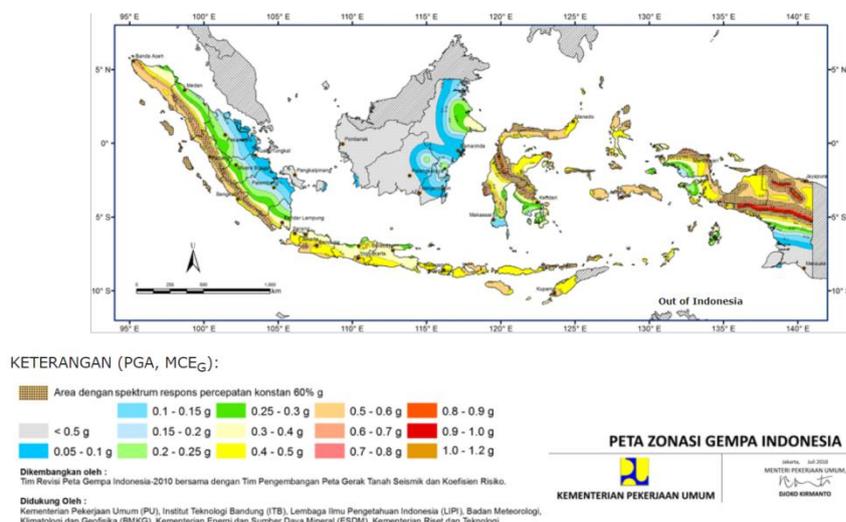
Fungsi Jalan	Sistem Jaringan	LHR	Beban Lalu Lintas (kN/m <sup>2</sup> )
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Sekunder	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

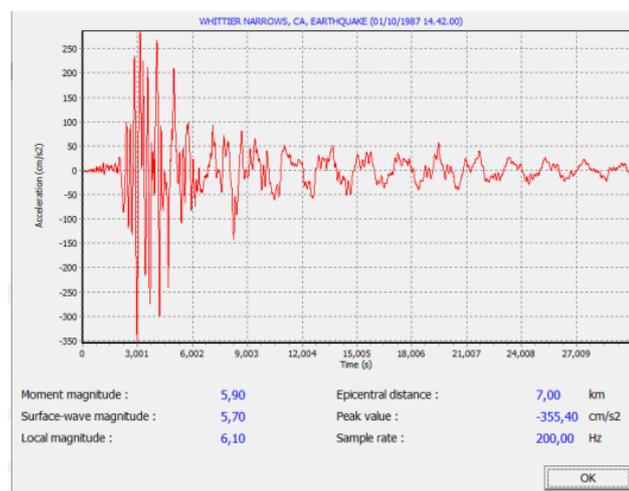
#### 4.9 Beban Gempa

Untuk beban gempa yang digunakan pada analisa stabilitas lereng ini merupakan beban gempa dinamis. Berdasarkan peta zonasi gempa yang ada di Indonesia, besaran percepatan puncak gempa pada wilayah Bekasi sebesar 0,3 – 0,4

g. Data yang relevan dengan durasi gempa terkait dapat ditentukan di Kawasan Whittier Narrows, California, pada tahun 1987, dengan percepatan puncak gempa mencapai 3,5g. Untuk interval waktu yang akan dianalisis, diambil sebesar 5,5 detik dengan asumsi bahwa periode tersebut sudah melibatkan percepatan puncak gempa. Peta zonasi dan grafik yang menunjukkan hubungan antara percepatan gempa dan waktu gempa dapat diakses pada Gambar 4.1 dan 4.2 berikut ini..



**Gambar 4.1 Zonasi Peta Gempa Indonesia**  
(Sumber: puskim.pu.go.id, 2010)



**Gambar 4.2 Grafik Korelasi Antara Percepatan dan Waktu**  
(Sumber: usgs.gov, 2020)

## 4.10 Pengoperasian Program *Plaxis*

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

### 4.10.1 *Plaxis Input*

#### 1. Buka Program *Plaxis*

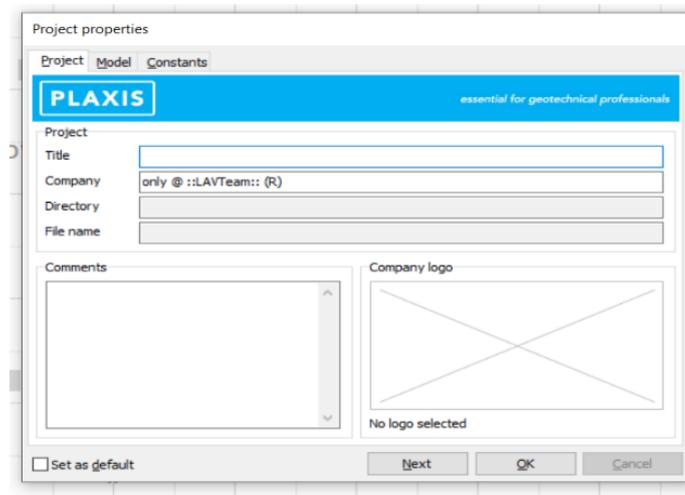
Operasikan aplikasi *Plaxis* dengan klik-ganda pada *Icon* program *Plaxis input*. Kemudian akan muncul kotak dengan pilihan *create/open project*, lalu pilih *Start a new project* untuk membuat pekerjaan baru seperti pada Gambar 4.3 berikut.



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

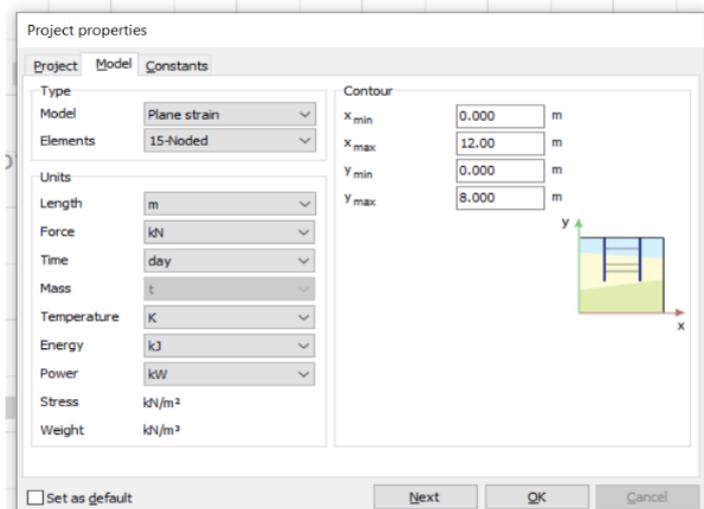
#### 2. Project Properties

Pada properti proyek (*project properties*) terdapat tiga tab dialog, yaitu tab project, model dan constans. Pilihan lembar tab project, masukkan nama proyek yang akan dimodelkan pada kotak dialog title seperti pada Gambar 4.4 berikut.



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

Pada tab *model* kemudian pilih tipe analisis model *plane strain* (regangan bidang) pada kotak *type* dan pilih jenis elemen dasar *15-Noded* untuk analisis dengan menghasilkan tegangan dan beban runtuh yang akurat. Lalu pada kotak *Units* gunakan satuan pra-pilih (*Lenght = m, Force = kN, Time = day*). Selanjutnya, pada tab *kontur*, diminta untuk memasukkan dimensi bidang gambar saat memasukkan koordinat atas dan bawah untuk geometri yang akan dibuat. Plaxis akan menambahkan margin kecil untuk menempatkan geometri pada bidang gambar. Selanjutnya, silakan masukkan nilai 0,0; 12,0; 0,0; 8,0 masing-masing pada kolom X min, X max, Y min, dan Y max dalam kotak dialog. Rinciannya dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah ini.



**Gambar 4.5 Tab Model dari Jendela Project Properties**

### 3. Pemodelan Geometri

Pada penggambaran model geometri yaitu dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut.

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

Posisikan letakkan kursor pada pusat koordinat dan tentukan koordinat 0,0 sebagai titik awal untuk menggambarkan geometri. Kemudian, gambar geometri sesuai dengan koordinat yang telah ditetapkan sebelumnya..

- b.  Klik tombol *Distributed load-load system A* pada *toolbar*. Kemudian klik pada titik awal dan titik akhir di geometri yang menerima beban, kemudian klik kanan pada mouse untuk mengakhiri masukan beban merata. Masukkan nilai beban merata ( $-25\text{kN/m}^2$ ).

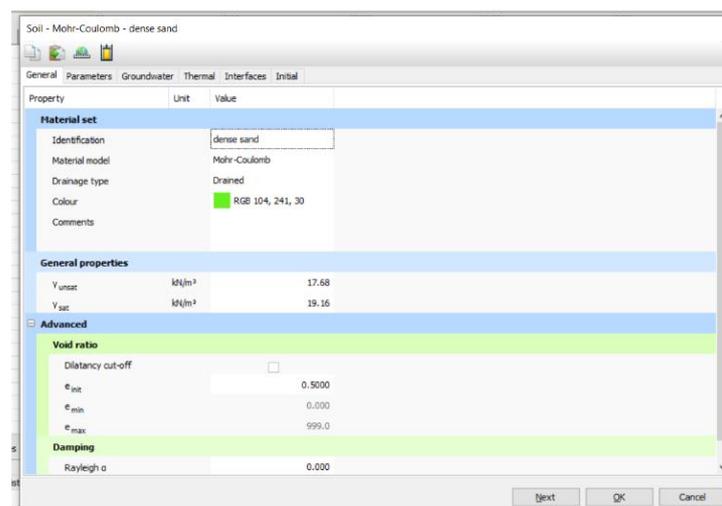
### 4. *Input* Parameter Material

Untuk memasukkan data material ke dalam program ini, Anda dapat memilih antara menggunakan tombol "material sets" pada toolbar atau melalui opsi yang tersedia dalam menu material. Pilihlah tombol "material sets" pada toolbar.

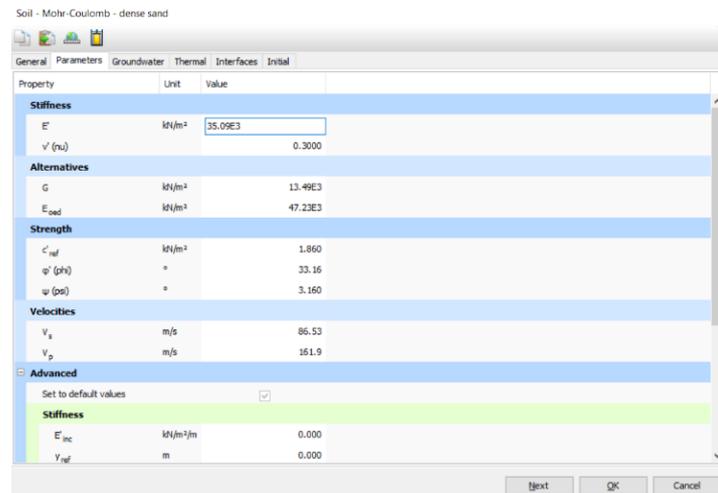
- a. Tekan opsi (baru) di bagian bawah jendela material sets. Pada saat itu, akan muncul sebuah kotak dialog yang memiliki tiga tab, yaitu umum,

parameter, air tanah, termal, antarmuka, awal (lihat Gambar 4.6 dan Gambar 4.7).

- b. Pada kotak dialog material sets, di dalam tab umum, masukkan "Silty Firm" dalam kotak identifikasi.
- c. Selanjutnya, pilih model bahan Mohr-Coulomb dari kotak kombinasi model bahan dan "drained" dari kotak kombinasi tipe bahan.
- d. Masukkan nilai yang akan diinput pada *general properties* dan pada kotak *permeability* sesuai dengan sifat material yang digunakan
- e. Pergi ke tab menu parameter yang memiliki empat lembar-tab, dan masukkan nilai sesuai dengan sifat material yang digunakan. Karena model pada geometri tidak melibatkan antarmuka, Anda dapat melewati lembar-tab ketiga. Setelah itu, klik OK untuk menyimpan data material.
- f. Geser dan lepaskan kumpulan data dari jendela material sets ke dalam klaster tanah pada bidang gambar dengan mengklik dan menarik. Material akan dianggap telah dimasukkan ke dalam bidang gambar ketika warna bidang gambar berubah.
- g. Kemudian klik tombol OK pada jendela *material sets* untuk menutup basis data.



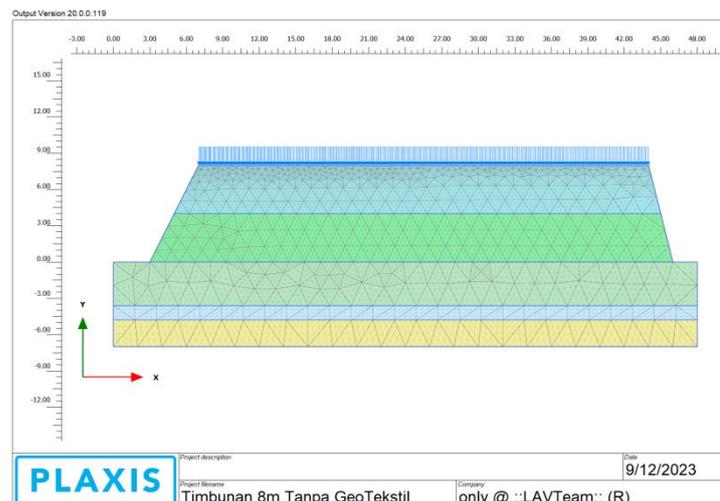
**Gambar 4.6 Lembar Tab General dari Jendela Material Sets**



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

#### 5. *Mesh Generation*

Kemudian, tekan opsi Generate Mesh di toolbar atau pilih susunan dari menu mesh. Setelah menyusun jaringan elemen, sebuah jendela baru akan terbuka untuk menunjukkan tata letak elemen hingga mencapai bentuk seperti yang terlihat pada Gambar 4.8 di bawah ini. Selanjutnya, klik tombol <update> untuk kembali ke mode input geometri.

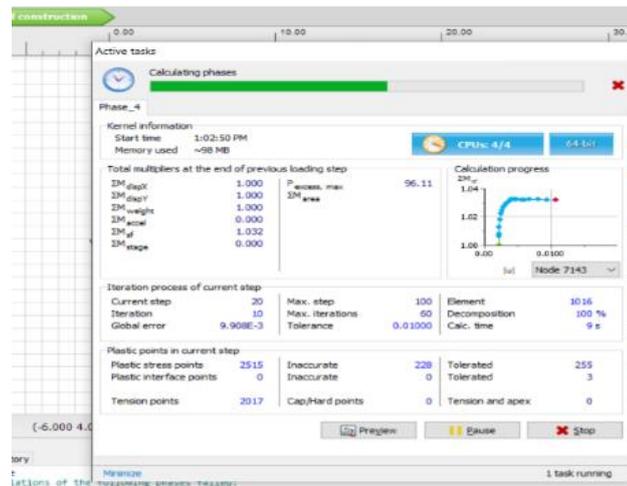


**Gambar 4.8 Jaringan Elemen Hingga (*Meshing*)**

#### 4.10.2 *Plaxis Calculation*

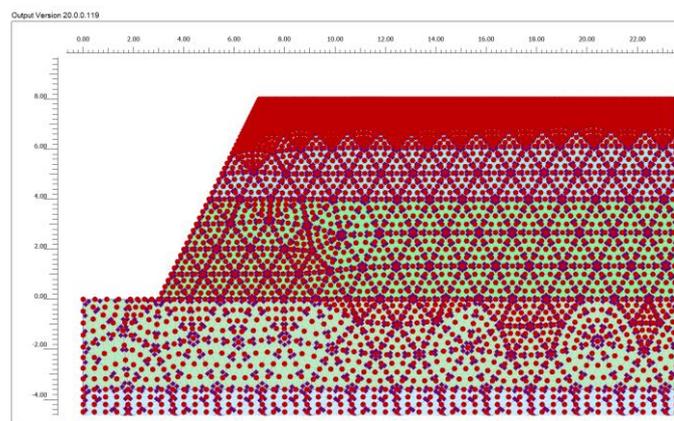
Pada bagian perhitungan (lihat Gambar 4.10), terdapat empat tab, yaitu generate, parameters, multipliers, dan preview. Pada tab umum, pada jenis

perhitungan, pilih analisis plastis yang akan digunakan untuk menentukan sejauh mana perubahan posisi dari kondisi yang sedang dianalisis. Selanjutnya, pilih reduksi  $\phi/c$  untuk menentukan nilai faktor keamanan. Sementara itu, pada tab parameter, pilih konstruksi bertahap untuk masukan pembebanan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.10 berikut ini.



**Gambar 4.9** Jendela Calculations dengan Lembar Tab General

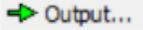
Langkah berikutnya adalah memilih titik yang akan diinspeksi untuk direpresentasikan dalam bentuk kurva dengan mengklik tombol pilih titik untuk kurva, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 di bawah ini.



**Gambar 4.10** Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau

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

### 4.10.3 *Plaxis Output*

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

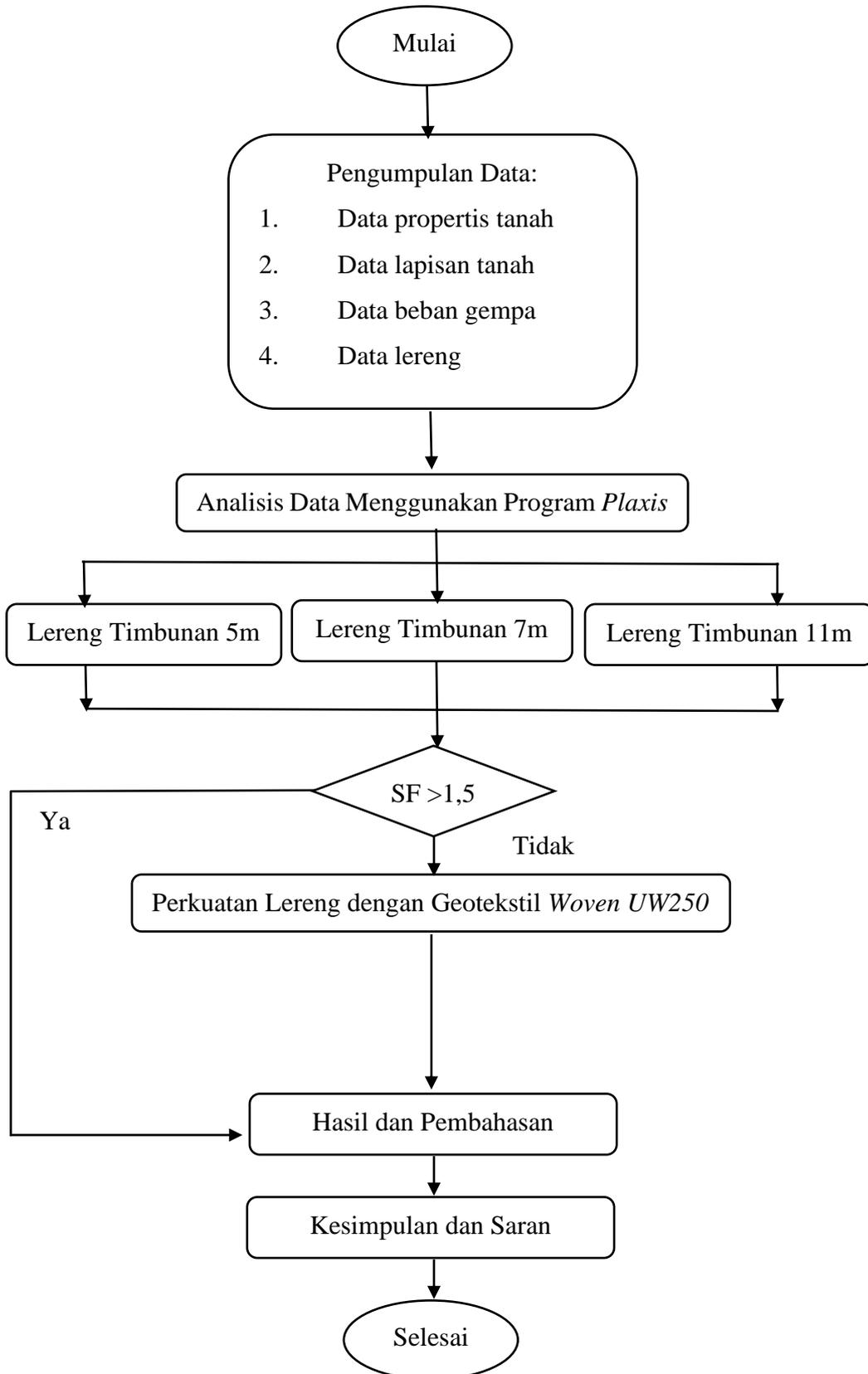
Hasil dari *calculation* pada program komputasi *Plaxis* akan menghasilkan data-data sebagai berikut.

a. Nilai angka aman (SF) pada lereng timbunan asli, lereng timbunan dengan perkuatan.

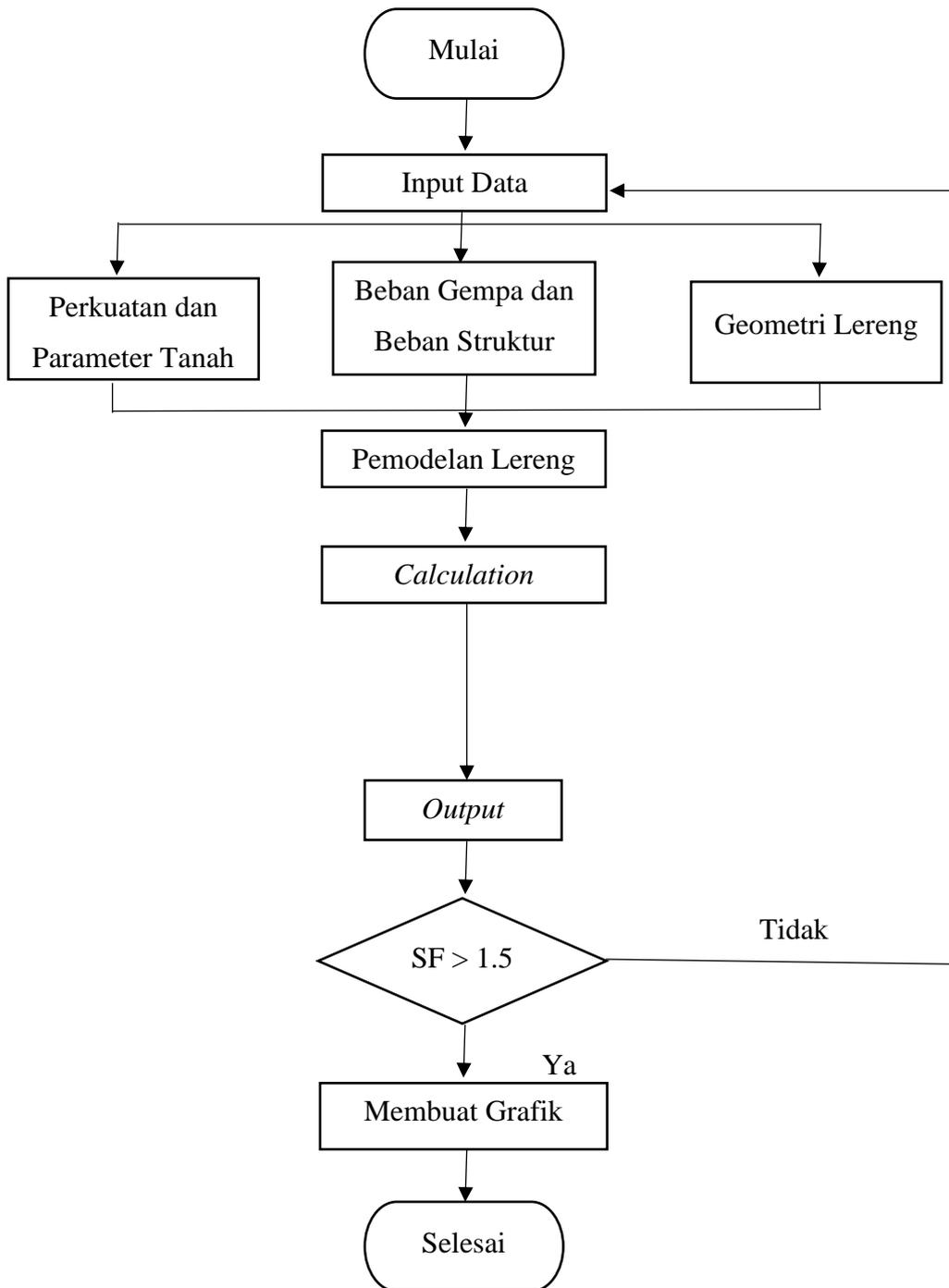
b. Besarnya penurunan konsolidasi yang akan terjadi selama 365 hari (1 tahun).

### 4.11 **Bagan Alir**

Bagan alir atau langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



**Gambar 4.11 Bagan Alir Penelitian**



**Gambar 4.12** Bagan Alir Permodelan Lereng

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

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

Kondisi pada lereng timbunan yang digunakan pada proyek pembangunan jalan tol Cibitung – Cilincing ini adalah area studi kasus yang akan di lakukan oleh penelitian pada kali ini. Analisis stabilitas timbunan ini dilakukan menggunakan program komputasi *Plaxis V20* pada kondisi tanah yang asli dan kondisi tanah dengan perkuatan geotekstil untuk mengetahui pada ketinggian timbunan yang sudah ditentukan apakah akan mengalami kelongsoran pada lereng. Pada Keruntuhan yang terjadi juga dapat disebabkan oleh ketidakmampuan pada tanah pada timbunan untuk menahan gaya-gaya yang muncul akibat beban selama pembuatan timbunan atau pada saat timbunan tersebut digunakan.

Untuk mengetahui pada ketinggian berapa tanah pada timbunan tersebut mengalami kelongsoran atau keruntuhan maka dilakukan beberapa variasi tinggi lereng timbunan yang akan di tinjau sebesar 5m, 7m, dan 11 m. Dengan bervariasinya tinggi tanah pada timbunan, maka diharapkan dapat diketahui hingga pada ketinggian berapa kekuatan tanah asli dapat mendukung beban tanah timbunan di atasnya.

Dalam penelitian ini untuk tinggi tanah timbunan yang mengalami keruntuhan atau dapat diartikan bahwa nilai angka aman (SF) tidak memenuhi syarat untuk kestabilan lereng, maka dilakukan perkuatan dengan geotekstil untuk menahan gaya-gaya yang menyebabkan kelongsoran. Selain itu dicari juga penurunan konsolidasi lereng timbunan dengan asumsi waktu 365 hari (1 tahun).

## 5.2 Data Penelitian

Pada saat melakukan analisis stabilitas lereng timbunan pada penelitian ini, dibutuhkan data yang ada di lapangan dan didapatkan dari PT. Cibitung Tanjung Priok Tollways selaku pelaksana proyek. Berikut adalah data parameter tanah, beban-beban yang bekerja, data geotekstil serta geometri lereng.

### 1. Data Tanah

**Tabel 5.1 Data Parameter Tanah**

Parameter Tanah	Satuan	Timbunan 1	Timbunan 2	Tanah Liat Berlumpur	Lanau Berpasir	Pasir
Jenis		Drained	Undrained	Drained	Undrained	Drained
Model	-	MC	MC	MC	MC	MC
H	m	1.4	1	3.6	1.2	2.2
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	15.6	17	16.5	16.7	17.7
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	5.6	7	6.5	6.7	7.7
qc	Kg/cm <sup>2</sup>	4	19	10	17	120
fr	%	2.55	1	1.53	0.94	0.16
C	kN/m <sup>3</sup>	18.01	18.01	42.92	5	5
Sudut Geser ( $\phi$ )	o	37.89	37.89	24.39	24.39	38.16
poisson ratio ( $\nu$ )		0.33	0.3	0.33	0.3	0.3
Eu	kPa	4502	-	10729	-	-
Eref	kPa	19000	19000	120000	17000	8583

(Sumber: PT. Cibitung Tanjung Priok Tollways, 2020)

## 2. Data Beban

Beban-beban perkerasan yang akan digunakan adalah sebesar  $10 \text{ kN/m}^2$  untuk beban lalu lintas dan  $15 \text{ kN/m}^2$  untuk nilai beban struktur yang bekerja di atasnya yang di dapat dari data sekunder dengan menggunakan acuan pada Departemen Pekerjaan Umum (2009) yang dapat dilihat berdasarkan fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 5.2 berikut.

**Tabel 5.2 Data Beban Lalu Lintas**

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

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

## 3. Beban Gempa

Berdasarkan peta zonasi gempa yang ada di Indonesia, besaran percepatan puncak gempa pada wilayah Bekasi sebesar  $0,3 - 0,4 \text{ g}$ . Data yang sesuai dengan durasi gempa tersebut ada pada Kawasan *Whitter Narrows, California* pada tahun 1987 dengan percepatan puncak gempa sebesar  $3,5 \text{ g}$ . Sedangkan untuk waktu interval yang akan dianalisis diambil sebesar  $5,5$  detik dengan asumsi telah melewati percepatan puncak gempa. Beban gempa nantinya akan dimasukkan dalam perhitungan pada *Plaxis V20*. perhitungan nantinya dikategorikan menjadi analisis dinamis dikarenakan beban gempa memiliki interval waktu, percepatan, dan sifatnya dinamis. Peta zonnasi serta

grafik hubungan antara percepatan gempa dan waktu gempa dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2.

#### 4. Data Geotekstil

Data geotekstil yang akan digunakan diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul. Jenis geotekstil yang akan digunakan adalah geotekstil woven atau geotekstil teranyam. Untuk rincian parameter geotekstil yang akan digunakan, bisa ditemukan pada Tabel 5.3 di bawah ini.

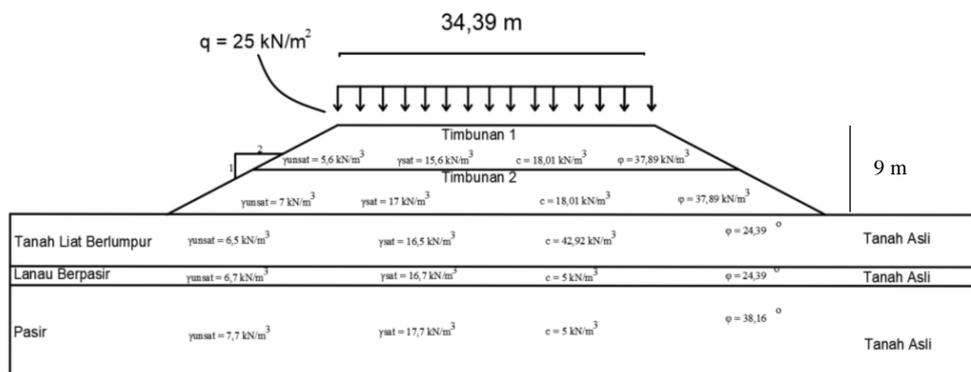
**Tabel 5.3 Data Parameter Geotekstil Woven UW-250**

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

Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul (2020)

#### 5. Geometri Lereng

Timbunan dan data tanah yang sudah di dapatkan datanya dapat diilustrasikan menjadi bentuk gambar. Kondisi eksisting timbunan dan jenis tanah asli setiap lapisan pada jalan tol Cibitung-Cilincing Sta. 4+600 dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



**Gambar 5.3 Geometri Potongan Melintang Jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta. 4+600**

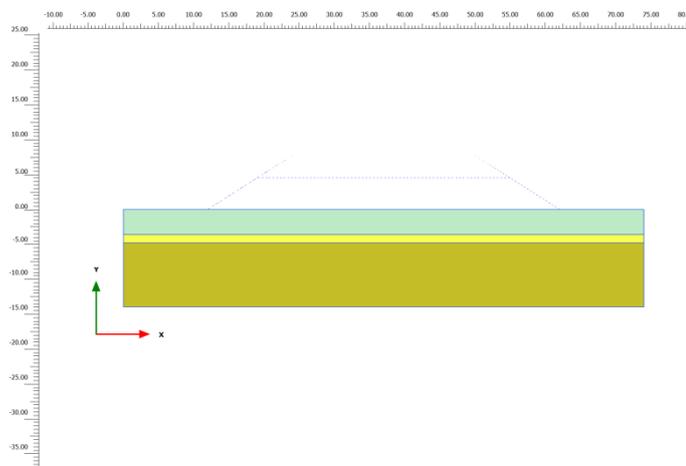
### 5.3 Analisis Lereng Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan

Tujuan analisis ini adalah untuk mengidentifikasi tingkat keamanan dan besaran penurunan yang terjadi pada timbunan dengan variasi ketinggian 5m, 7m, dan 11m, baik pada tanah asli maupun dengan perkuatan geotekstil. Dalam analisis ini, faktor yang dipertimbangkan meliputi beban perkerasan, lalu lintas dan juga beban gempa. Perhitungan analisis tersebut, dilakukan dengan menggunakan program *Plaxis V20* dan perhitungan manual menggunakan metode Fellenius.

#### 5.3.1 Analisis Lereng Menggunakan Program *Plaxis*

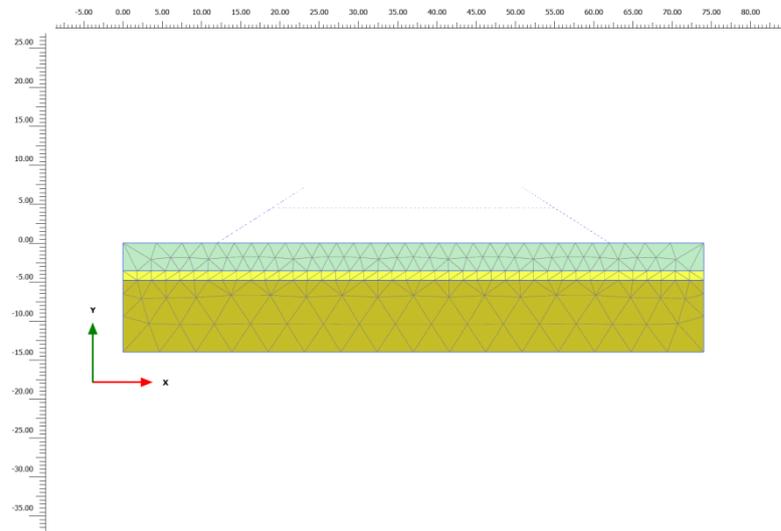
Pada analisis lereng menggunakan program komputasi *Plaxis* dilakukan dengan beberapa tahapan, mulai dari input data, perhitungan, keluaran hasil analisis dan pembuatan grafik. Pada tahap *input* data seperti pada permodelan lereng dilakukan dengan geometri potongan melintang jalan tol Cibitung – Cilincing Sta. 4+600. Timbunan tanah berada diatas tanah asli yang terdiri dari 3 lapisan tanah dengan kedalaman 14m.

Permodelan timbunan dilakukan dengan mempertimbangkan situasi di lapangan disesuaikan dengan tinggi timbunan yang telah direncanakan serta permodelan beban gempa dinamik dan beban merata. Dalam konteks ini, berikut permodelan tinggi timbunan 9 m dengan menggunakan program *Plaxis V20* yang dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



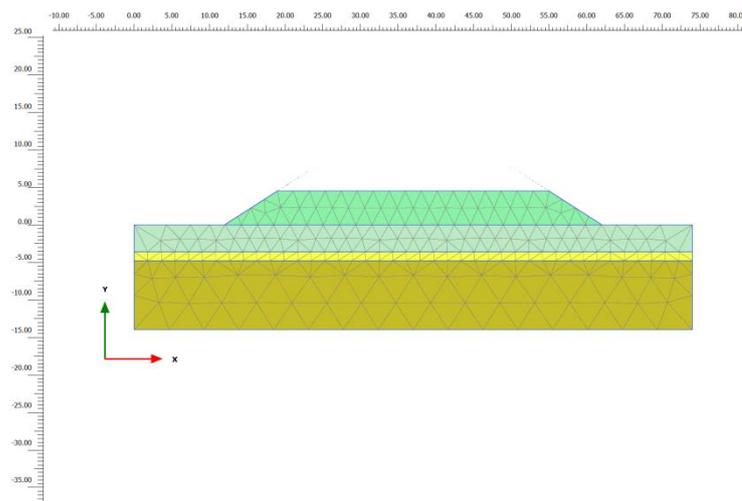
**Gambar 5.2 Permodelan Lereng Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Setelah menyelesaikan permodelan, Langkah berikutnya adalah melakukan pembentukan *meshing*, dengan tingkat kekerasan yang diatur pada tingkat *medium*. Hasil dari *generate mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.3 dibawah ini.



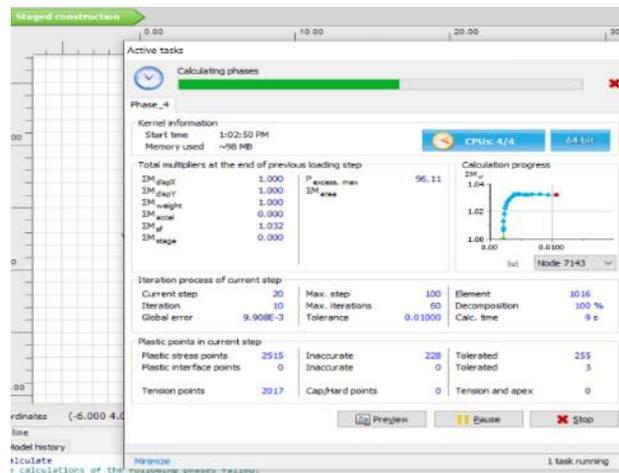
**Gambar 5.3 Permodelan *Generate Mesh* Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Selanjutnya masukkan model timbunan 2 ke atas initial phase bisa dilihat pada Gambar 5.4 dibawah ini.



**Gambar 5.4 Permodelan Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Kemudian Langkah selanjutnya masuk ke tahap perhitungan untuk mendapatkan nilai *Safety Factor* (SF) yang dibutuhkan, dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



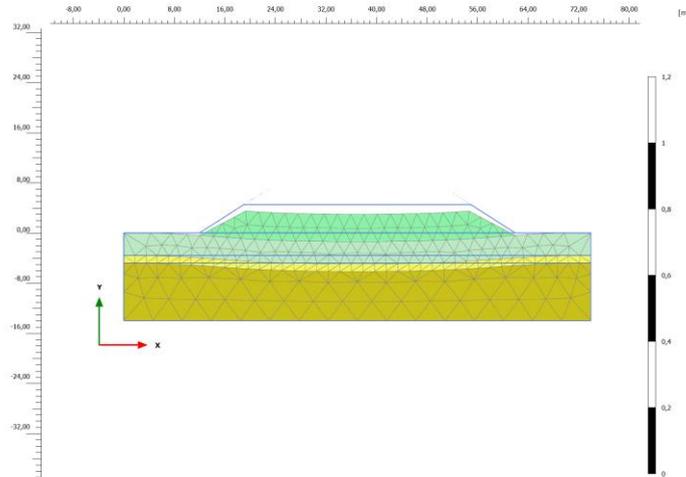
**Gambar 5.5 Kalkulasi Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Setelah melakukan tahap perhitungan didapatkan nilai SF kurang dari nilai angka aman, dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.

Reached values	
Reached total time	2.000 day
CSP - Relative stiffness	-0.03313E-15
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	56.57 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	4.433

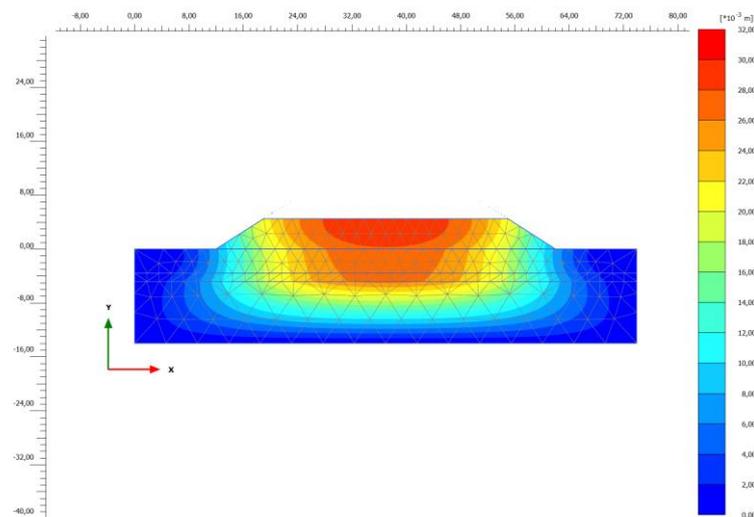
**Gambar 5.6 Nilai SF Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Selanjutnya masuk ke langkah deformed mesh yang terjadi pada timbunan seperti pada Gambar 5.7 di bawah ini.



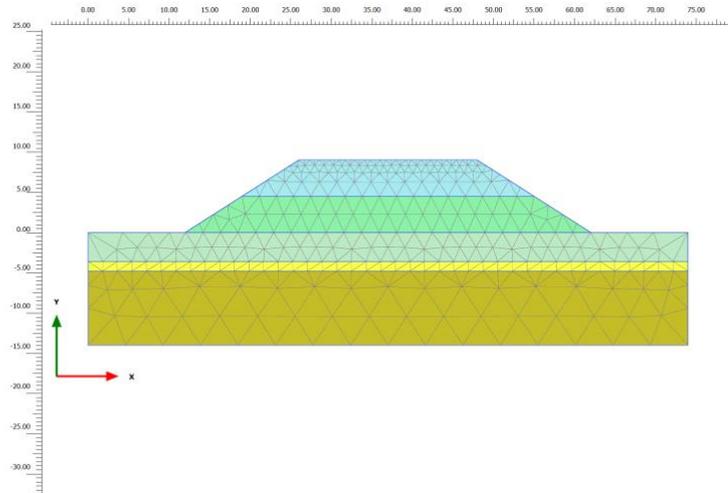
**Gambar 5.7 Deformed Mesh Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Berikutnya masuk ke tahap total *displacement* untuk melihat hasil penurunan yang terjadi pada timbunan. Hasil dari total displacement dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



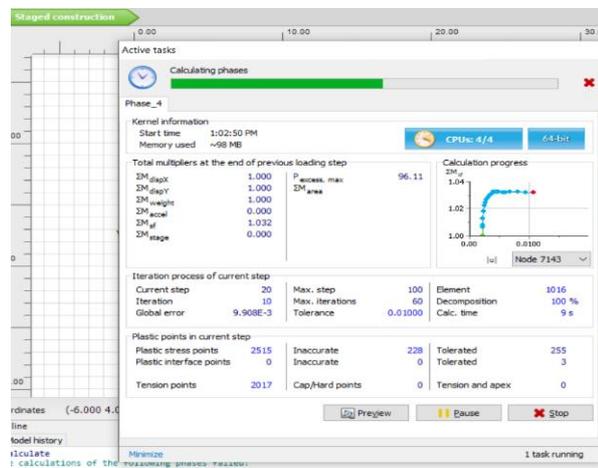
**Gambar 5.8 Total Displacement Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Langkah selanjutnya masukkan model timbunan 1 ke atas timbunan 2 bisa dilihat pada Gambar 5.9 dibawah ini.



**Gambar 5.9 Permodelan Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Kemudian Langkah selanjutnya masuk ke tahap perhitungan untuk mendapatkan nilai *Safety Factor* (SF) yang dibutuhkan, dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



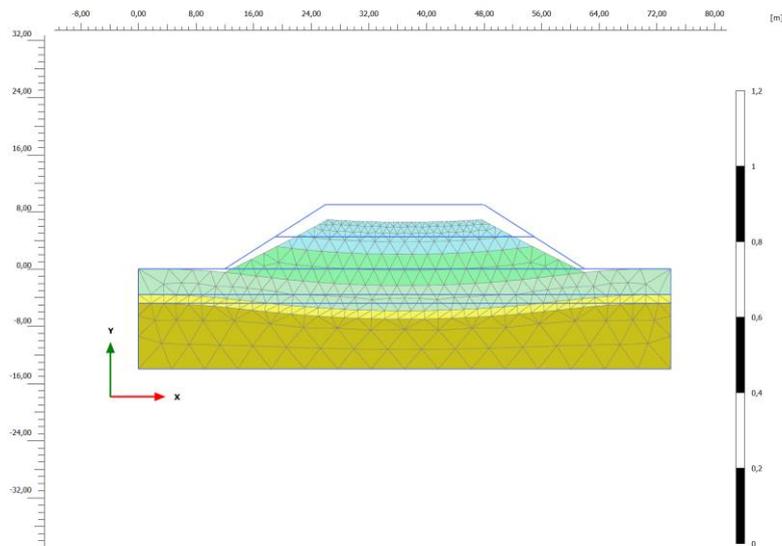
**Gambar 5.10 Kalkulasi Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Langkah selanjutnya masuk ke tahap perhitungan, didapatkan nilai SF kurang dari nilai angka aman, dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.

Reached values	
Reached total time	4.000 day
CSP - Relative stiffness	4.277E-9
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	57.85 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	2.482

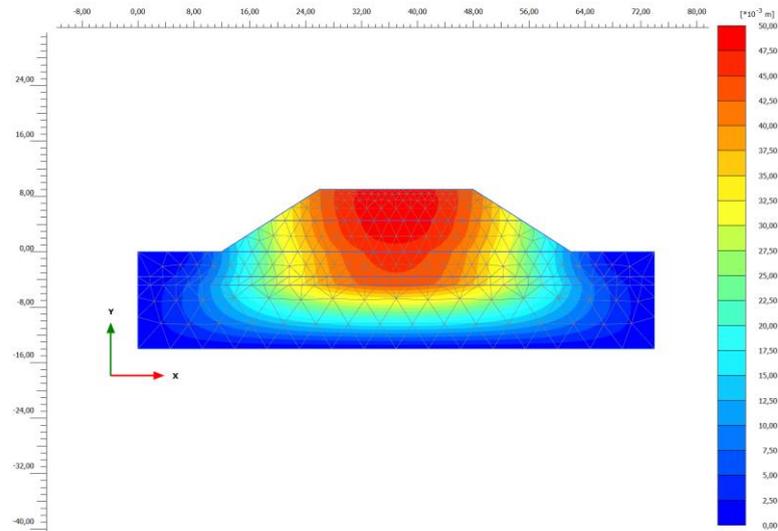
**Gambar 5.11 Nilai SF Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Langkah selanjutnya adalah memasuki tahap deformed mesh yang terjadi pada timbunan 1 yang sedang di tinjau. Ini bertujuan untuk mengetahui nilai yang di hasilkan, bisa dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



**Gambar 5.12 Deformed Mesh Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Selanjutnya yaitu masuk ke tahap total displacement yang terjadi pada timbunan yang di tinjau, terdapat pada Gambar 5.13 dibawah.



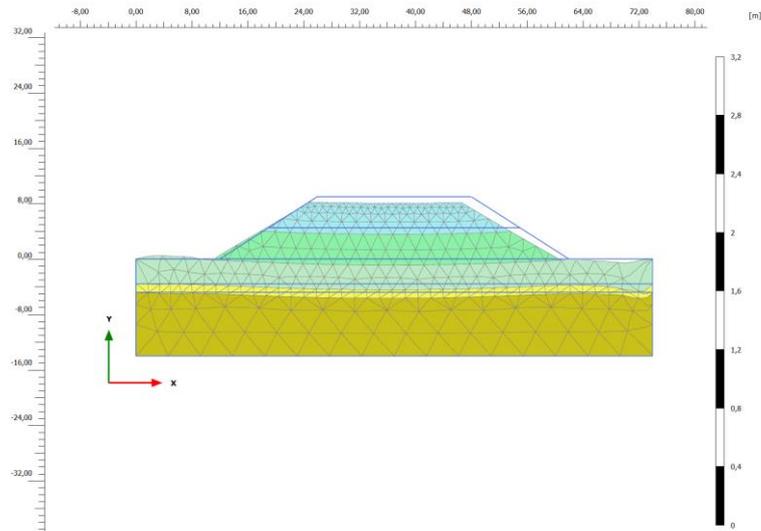
**Gambar 5.13 Total Displacement Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Selanjutnya masuk ke tahap mencari SF dengan penambahan beban gempa yang merujuk pada lokasi penelitian di daerah Bekasi dengan hasil  $0.3938/2 = 0.1969$  kedalam permodelan seperti pada Gambar 5.14 di bawah ini.

Reached values	
Reached total time	4.000 day
CSP - Relative stiffness	5.210E-9
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	192.3 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1.469

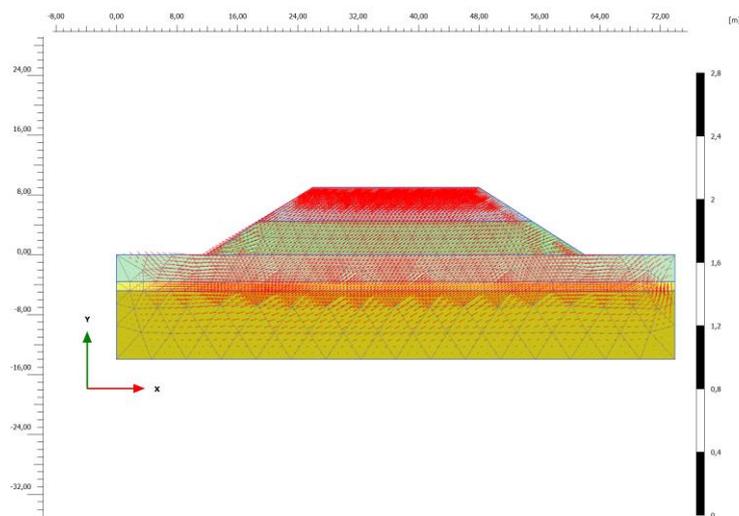
**Gambar 5.14 SF Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**

Tahap berikutnya memasuki tahap deformed mesh timbunan dengan beban gempa seperti pada Gambar 5.15 berikut.



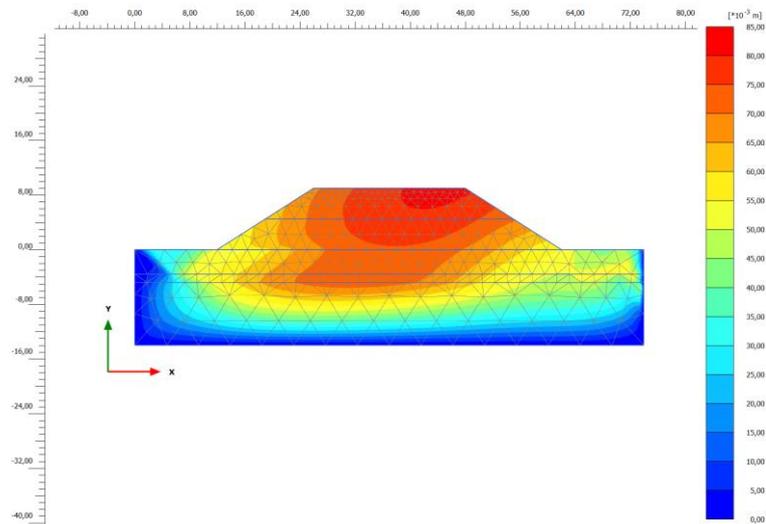
**Gambar 5.15 Deformed Mesh Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**

Arah pergerakan tanah yang disebabkan oleh beban struktur lebih didominasi oleh pergerakan vertikal. Sementara itu, pergerakan yang diakibatkan oleh beban struktural dan gempa cenderung menghasilkan gerakan rotasi akibat gaya gempa. Peta arah pergerakan pada timbunan lereng sepanjang 9 meter dapat ditemukan pada Gambar 5.16 di bawah ini..



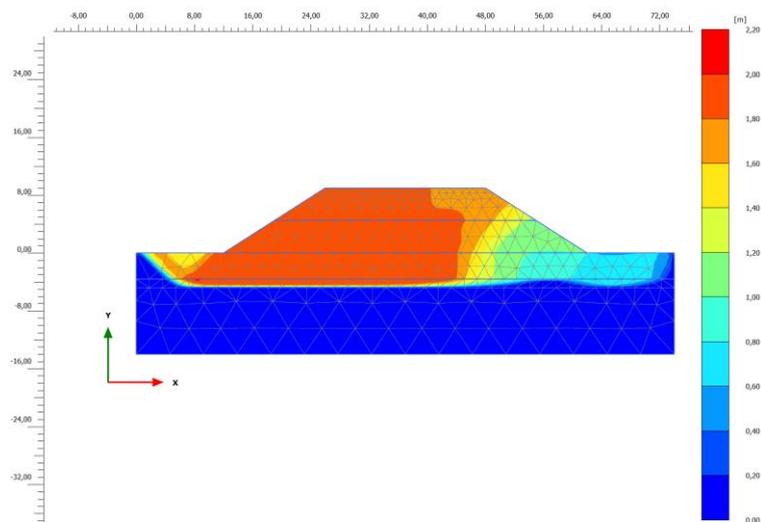
**Gambar 5.16 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 9m Tanah Asli Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan**

Selanjutnya yaitu masuk ke tahap total displacement yang terjadi pada timbunan yang di tinjau, terdapat pada Gambar 5.17 dibawah.



**Gambar 5.17 Total Displacement Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**

Potensi kelongsoran akibat beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



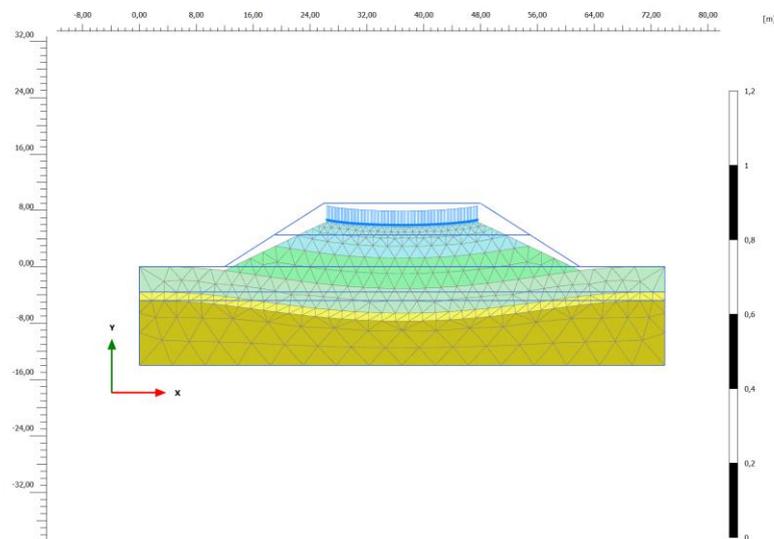
**Gambar 5.18 Potensi Kelongsoran Timbunan 9m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**

Selanjutnya masuk ke tahap perhitungan SF akhir dengan beban perkerasan dan lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.

Reached values	
Reached total time	4.000 day
CSP - Relative stiffness	7.070E-12
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	74.03 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1.687

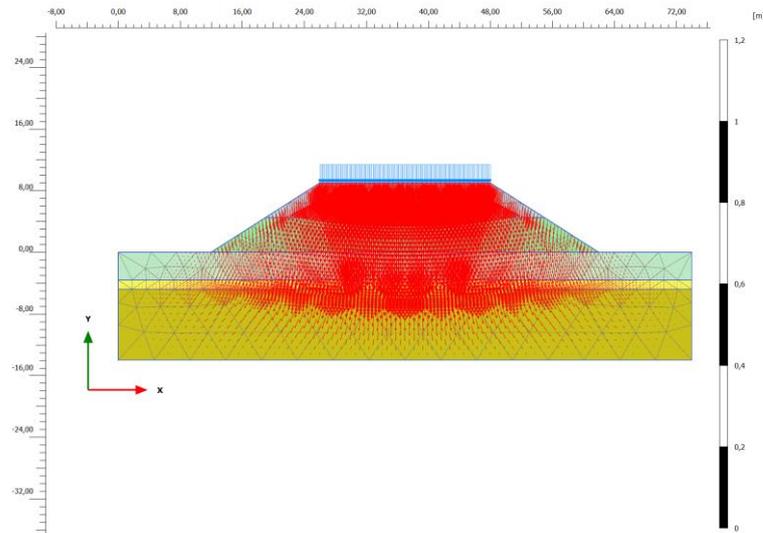
**Gambar 5.19 SF Akhir Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan**

Tahap selanjutnya adalah masuk ke dalam tahap deformed mesh dengan tambahan beban perkerasan dan lalu lintas untuk melihat hasilnya bisa dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



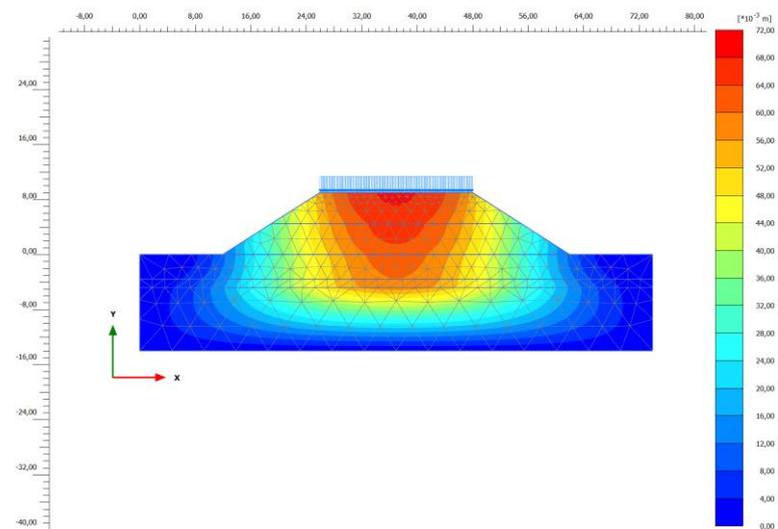
**Gambar 5.20 Deformed Mesh Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan**

Arah Pergerakan tanah akibat beban struktur utamanya terjadi secara vertikal, sementara pergerakan yang disebabkan oleh kombinasi beban struktur dan beban gempa menghasilkan gerakan rotasi akibat gaya gempa. Detail arah pergerakan pada timbunan lereng selama 9 meter dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



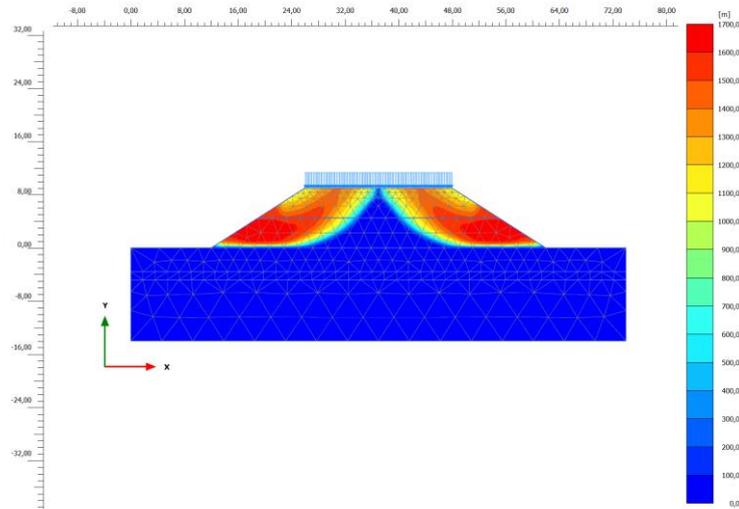
**Gambar 5.21 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 9m Tanah Asli Akibat Beban Akhir Tanpa Perkuatan**

Selanjutnya ke tahap total displacement timbunan dengan tambahan beban perkerasan dan lalu lintas untuk mengetahui nilai penurunan yang terjadi yang dapat dilihat pada Gambar 5.22 dibawah ini.



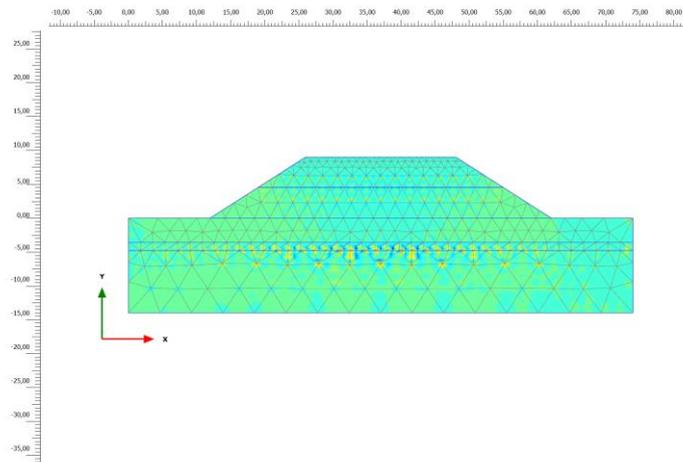
**Gambar 5.22 Total Displacement Timbunan 9 m Dengan Beban Akhir Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Potensi kelongsoran akibat beban struktur dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut.



**Gambar 5.23 Potensi Kelongsoran Timbunan 9m Tanah Asli Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan**

Setelah itu masuk ke tahap perhitungan konsolidasi penurunannya. Untuk mengetahui nilai penurunannya dapat dilihat pada Gambar 5.24 dibawah ini.



**Gambar 5.24 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan 9 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

Penurunan konsolidasi lereng timbunan 9 m tanah asli yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0,2120 m

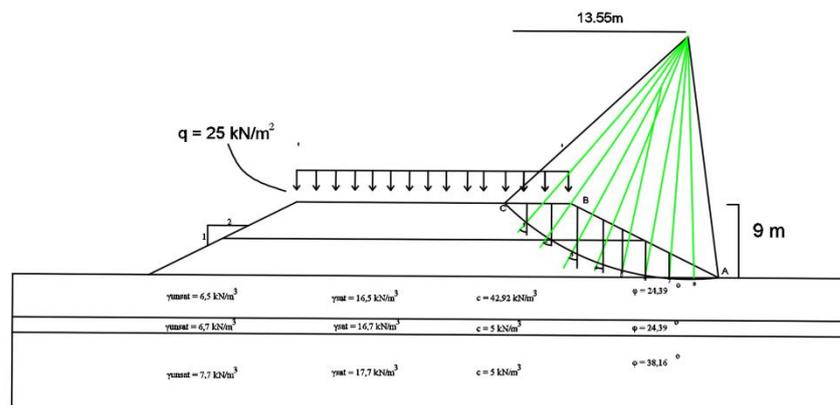
Di bawah ini hasil rekapitulasi perhitungan nilai SF menggunakan program komputasi *Plaxis V20* pada timbunan dengan ketinggian masing-masing 5 meter, 7 meter, dan 9 meter yang dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

**Tabel 5.4 Hasil Rekapitulasi Analisis Timbunan Tanpa Perkuatan**

Tinggi Timbunan (meter)	Safety Factor (>1,5)		Penurunan Konsolidasi (m)
	Beban Struktur dan Lalu Lintas	Beban Gempa	
5	1,789	1,71	0,1579
7	1,627	1,54	0,1928
9	1,469	1,42	0,2120
11	1,359	1,16	0,2359

#### 5.4 Perhitungan Manual Menggunakan Metode Fellenius

Saat mencari nilai angka aman (SF) pada lereng tanah dalam analisis timbunan sebelumnya, ditemukan bahwa pada timbunan dengan tinggi 9m pada aplikasi *Plaxis* tidak menunjukkan hasilnya. Dari hasil analisis menggunakan program *Plaxis* didapati garis potensi kelongsoran pada tinggi timbunan 9m dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut.

**Gambar 5.25 Permodelan Timbunan Dalam Metode Fellenius**

Bidang longsor pada perhitungan ini akan dibagi menjadi 8 irisan. Panjang keseluruhan dari bidang longsor arah horizontal adalah 13,55 m, maka di setiap piasnya akan mempunyai Panjang horizontal sebesar  $13,55/8 = 1,69$  m. Berikut

adalah langkah-langkah perhitungan stabilitas timbunan menggunakan metode Fellenius.

1. Perhitungan berat irisan tanah

$$W_i = A_n \times \gamma$$

Keterangan:

$A_n$  = luas perpias pada timbunan

$\gamma$  = gamma tanah

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

$$W_i = A_n \times (\gamma \times A_1) + (q \times L)$$

Berikut merupakan perhitungan berat lereng tanpa perkutatan irisan. Sedangkan untuk hasil rekapitulasi berat pada masing – masing irisan dapat dilihat pada Tabel 5.5.

$$\begin{aligned} W_1 &= (\gamma \times A_1) + (q \times L) \\ &= (15,6 \times 3,444) + (25 \times 2) \\ &= 103,726 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_8 &= A_n \times \gamma \\ &= 3,097 \times 15,6 \\ &= 48,313 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Perhitungan  $W \times \sin \alpha$  untuk setiap pias

$$\begin{aligned} \text{Pias 1} &= W \times \sin \alpha \\ &= 103,726 \times \sin 7 \end{aligned}$$

$$= 12,641 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Pias 8} &= W \times \sin \alpha \\ &= 48,313 \times \sin 41 \\ &= 31,696 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk hasil rekapitulasi hasil perhitungan berat pada masing – masing pias dapat dilihat pada tabel 5.5.

3. Perhitungan  $W \times \cos \alpha$  untuk setiap pias

$$\begin{aligned} \text{Pias 1} &= W \times \cos \alpha \\ &= 103,726 \times \cos 7 \\ &= 102,953 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pias 8} &= W \times \cos \alpha \\ &= 48,313 \times \cos 41 \\ &= 36,462 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk hasil rekapitulasi perhitungan hasil perhitungan berat pada masing – masing pias dapat dilihat pada tabel 5.5.

4. Perhitungan kelongsoran akibat komponen gesekan pada kedua lapisan

$$\begin{aligned} \text{Pias 1} &= W \cos \alpha \times \tan \varphi \\ &= 102,953 \times 37,89 \\ &= 80,118 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pias 8} &= W \cos \alpha \times \tan \varphi \\ &= 36,462 \times 37,89 \\ &= 28,375 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk untuk hasil rekapitulasi perhitungan hasil perhitungan berat pada masing – masing pias dapat dilihat pada tabel 5.5.

5. Tahanan kelongsoran akibat komponen kohesi

Berdasarkan pada Gambar 5.20 Panjang garis lengkung A ke B memiliki Panjang sebesar 15,41 m. karena itu tahanan terhadap kelongsoran yang dikerahkan oleh komponen kohesi adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}\sum c_1 a_1 &= (18,01 \times 5,36) \\ &= 96,53 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum c_2 a_2 &= (18,01 \times 10,05) \\ &= 181 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\sum c_{12} a_{12} = 96,53 + 181 = 277,53 \text{ kN}$$

6. Gaya akibat beban merata (Pq)

Pada lereng timbunan 9 m terdapat beban merata yang berada di atas timbunan. Beban merata tersebut dihasilkan dari beban perkerasan jalan dan beban lalu lintas dengan besaran 25 kN/m<sup>2</sup>. Maka gaya yang dihasilkan dari beban merata tersebut diperhitungkan sebagai gaya yang menggerakkan tanah. Perhitungan gaya tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}Pq &= (q \times A) \\ &= (25 \times 15,41) \\ &= 385,25 \text{ kN}\end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan manual lereng timbunan 9 m menggunakan metode *Fellenius* dapat dilihat pada tabel 5.5 berikut.

**Tabel 5.5 Perhitungan Manual Dengan Metode Fellenius**

<b>Pias</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>W (kN)</b>	<b>W.sin θ (kN/m)</b>	<b>W.cos θ (kN/m)</b>	<b>W.cosθ.tanφ (kN)</b>
1	3,444	103,726	12,641	102,953	80,118
2	5,390	118,834	22,675	116,651	90,777
3	7,463	152,673	39,515	147,471	114,761
4	9,582	188,229	61,281	177,974	138,499
5	9,718	186,851	75,999	170,697	132,836
6	9,279	155,502	75,389	136,005	105,839
7	5,795	90,402	51,852	74,053	57,628
8	3,097	48,313	31,696	36,462	28,375
<b>Jumlah</b>	<b>53,768</b>	<b>1044,531</b>	<b>371,049</b>		<b>748,834</b>

7. Nilai angka aman (SF)

Nilai faktor keamanan dengan metode fellenius tanpa memperhatikan faktor gempa pada lereng timbunan 9m tanpa perkuatan menggunakan metode *Fellenius* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{(\sum c_i a_i) + (W \cos \theta \times \tan \phi)}{(W \sin \alpha) + (Pq)} \\
 &= \frac{277,534 + 748,834}{371,049 + 385,25} \\
 &= 1,357 < 1,5
 \end{aligned}$$

Jadi nilai faktor keamanan yang didapat dari perhitungan di atas menggunakan metode *Fellenius* dengan perhitungan manual dengan tidak memperhitungkan pengaruh beban gempa adalah 1,357. Hasil tersebut tidak

berbeda jauh dengan hasil analisis timbunan badan jalan tanpa perkuatan dan tanpa beban gempa dengan menggunakan program *Plaxis V20* yaitu sebesar 1,469.

### 5.5 Perhitungan Manual Penurunan Konsolidasi Pada Lereng

Analisis perhitungan manual penurunan konsolidasi yang digunakan adalah dengan metode Terzaghi untuk tanah *normally consolidated*, analisis ini dilakukan bertujuan untuk membandingkan dan mengkonfirmasi penurunan konsolidasi pada lereng timbunan asli. Data yang digunakan adalah data parameter tanah dan asumsi sesuai dengan teori yang ada. Berikut merupakan Langkah-langkah perhitungan penurunan konsolidasi metode Terzaghi:

1. Menentukan angka pori tanah ( $e_o$ )

Untuk menentukan angka pori ( $e_o$ ) tanah dilakukan asumsi yang berdasarkan pada Tabel 3.5 diatas adalah sebagai berikut.

$$e_o \text{ tanah lapis 1} = 0,6$$

$$e_o \text{ tanah lapis 2} = 0,6$$

$$e_o \text{ tanah lapis 3} =$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{G_s \times \gamma_w}{1+e}$$

$$16,5 = \frac{2,68 \times 9,81}{1+e}$$

$$e_o = 0,5933$$

2. Menentukan Indeks Kompresi Tanah ( $C_c$ )

Untuk menentukan indeks kompresi tanah ( $C_c$ ) dilakukan asumsi berdasarkan pada Tabel 3.6 di atas adalah sebagai berikut.

$$C_c \text{ tanah lapis 1} = 0,03$$

$$C_c \text{ tanah lapis 2} = 0,03$$

$$C_c \text{ tanah lapis 3} = 0,30 (e_o - 0,27) = 0,30 (0,5933 - 0,27) = 0,09699$$

3. Distribusi Tegangan Tanah ( $\Delta p$ )

$$\begin{aligned}\Delta p &= \gamma_{\text{timbunan}} \times H \\ &= (15,6 \times 4,5) + (17 \times 4,5) \\ &= 146,7 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

4. Tekanan Overbudden ( $P_o$ )

$$\begin{aligned}P_o \text{ tanah lapis 1} &= (\gamma_{\text{sat}} \times H) + (\gamma_{\text{unsat}} \times H) \\ &= (16,5 \times 0,6) + (6,5 \times 3) \\ &= 29,4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Untuk nilai  $P_o$  lapisan tanah selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.8.

5. Perhitungan Penurunan Konsolidasi ( $S_c$ )

$$\begin{aligned}S_c \text{ tanah lapis 1} &= H \frac{C_c}{1+e_o} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \\ &= 3,6 \frac{0,03}{1+0,6} \log \frac{29,4+146,7}{29,4} \\ &= 0,05247 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk nilai  $S_c$  lapisan tanah selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.8

## 6. Rekapitulasi Hasil Penurunan Konsolidasi

Hasil perhitungan manual penurunan konsolidasi pada lereng timbunan asli dapat dilihat pada Tabel 5. 8 berikut.

**Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan Tanah Asli**

Keterangan	H (m)	$e_o$	Cc	$P_o$ (kN/m <sup>2</sup> )	$S_c$ (m)
Tanah Lapis 1	3,6	0,6	0,3	29,4	0,05247
Tanah Lapis 2	1,2	0,6	0,3	20,04	0,02928
Tanah Lapis 3	2,2	0,5933	0,09699	37,94	0,14019
<b>Total</b>					0,22194

Berdasarkan perhitungan manual penurunan konsolidasi menggunakan metode Terzaghi adalah sebesar 0,22194 m. Selesih dari hasil perhitungan manual metode Terzaghi dengan analisis lereng timbunan asli tanpa beban gempa dengan menggunakan software Plaxis V20 tidak signifikan. Karena penurunan konsolidasi

pada lereng timbunan asli tanpa beban gempa dengan menggunakan program Plaxis V20 adalah sebesar 0,2120 m.

## 5.6 Kebutuhan Geotekstil

### 5.6.1 Data Perhitungan Geotekstil

#### 1. Parameter Tanah Timbunan

Parameter tanah yang akan diperkuat oleh geotekstil melibatkan sebagian dari tanah pada timbunan. Hal ini dikarenakan area dengan potensi longsor yang paling signifikan terletak pada bagian timbunan tanah. Jenis tanah pada timbunan yang dijadikan parameter dalam perhitungan untuk keperluan geotekstil adalah sebagai berikut:

- a. Berat volume tanah ( $\gamma$ ) : 15,6 kN/m<sup>3</sup>
- b. Kohesi (c) : 18 kN/m<sup>2</sup>
- c. Sudut gesek dalam ( $\phi$ ) : 37,89°

#### 2. Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan dalam penelitian ini adalah geotekstil jenis woven atau teranyam, diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan jenis geotekstil UW-250. Kuat tarik dari geotekstil yang digunakan adalah sebesar 52 kN/m, dan nilai regangannya adalah 20%. Informasi geotekstil yang dimasukkan ke dalam aplikasi program Plaxis adalah nilai normal stiffness (EA), yang dihitung sebagai berikut:

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

Perhitungan untuk menentukan kebutuhan geotekstil melibatkan nilai faktor keamanan (SF) sebagai pembagi untuk nilai kuat tarik izin dari geotekstil, yang sebesar 2. Penggunaan angka ini dianggap aman karena sudah melebihi atau

setidaknya sama dengan nilai 1,5. Perhitungan kuat tarik izin geotekstil dilakukan seperti berikut:

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

Data parameter geotekstil yang digunakan sebagai perhitungan dan input ke dalam program *Plaxis* dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

**Tabel 5.9 Data Geotekstil Woven UW-250**

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ultimit	$T_{ult}$	52	kN/m
Regangan	$\epsilon$	20	%
Kekakuan Normal	$EA$	260	kN/m
Kuat Tarik <i>allowable</i>	$T_{all}$	26	kN/m

### 3. Koefisien daya dukung tanah

Analisis perhitungan untuk menentukan kebutuhan geotekstil memerlukan data koefisien daya dukung tanah. Data koefisien daya dukung tanah dalam analisis ini merujuk pada informasi yang diperoleh dari Departemen Pekerjaan Umum (2009). Nilai-nilai koefisien daya dukung tanah dapat ditemukan dalam Tabel 5.7 berikut.

**Tabel 5.10 Koefisien Daya Dukung Tanah**

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.14	1	0	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.2	14.47
2	5.63	1.2	0.15	28	25.8	14.72	16.72
3	5.9	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.4	22.4
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.9
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.3	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.8	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.2	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.9	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.1	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.8	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.4	5.39	46	152.1	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.2	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.2	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.6	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88	-	-	-	-

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

Berikut adalah perhitungan kebutuhan geotekstil pada Jalan Tol Cibitung – Cilincinng STA 4+600.

### 5.6.2 Menghitung stabilitas eksternal

Stabilitas eksternal dibutuhkan untuk menentukan jarak anrah vertikal minimal lapisan yang 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.

1. Menghitung jarak vertikal antar lapis geotekstil (SV)

$$\begin{aligned}
 Ka &= \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \\
 &= \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{38}{2} \right) \\
 &= 0,2378
 \end{aligned}$$

a. Jarak vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 5 m

$$\begin{aligned}
 \sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\
 &= (25 \times 0,2378) + (0,2378 \times 5 \times 15,6) - (2 \times 18 \times \sqrt{0,2378}) \\
 &= 3,2284 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \cdot SF} \\
 &= \frac{26}{3,2284 \times 1,5} \\
 &= 5,3690 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Di lapangan dipasang SV = 5m (minimal)

Banyaknya lapis geotekstil teoritis = 5m/5m = 1 lapis

Maka pada penelitian untuk timbunan 5m akan digunakan perkuatan geotekstil sebanyak 1 lapis.

b. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 7 m

$$\begin{aligned}
 \sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\
 &= (25 \times 0,2378) + (0,2378 \times 7 \times 15,6) - (2 \times 18 \times \sqrt{0,2378}) \\
 &= 14,357 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \cdot SF} \\
 &= \frac{26}{14,357 \times 1,5}
 \end{aligned}$$

$$= 1,273\text{m}$$

Di lapangan dipasang SV = 1,5m (minimal)

Banyaknya lapis geotekstil teoritis =  $7\text{m}/1,5\text{m} = 4$  lapis

Maka pada penelitian untuk timbunan 7m akan digunakan perkuatan geotekstil sebanyak 1 lapis.

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

$$\begin{aligned}\sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\ &= (25 \times 0,2378) + (0,2378 \times 9 \times 15,6) - (2 \times 18 \times \sqrt{0,2378}) \\ &= 21,7768 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{SV} &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \cdot \text{SF}} \\ &= \frac{26}{21,7768 \times 1,5} \\ &= 0,79595\text{m}\end{aligned}$$

Di lapangan dipasang SV = 1 m (minimal)

Banyaknya lapis geotekstil teoritis =  $9\text{m}/1\text{m} = 9$  lapis

Maka pada penelitian untuk timbunan 9m akan digunakan perkuatan geotekstil sebanyak 1 lapis.

d. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 11 m

$$\begin{aligned}\sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\ &= (25 \times 0,2378) + (0,2378 \times 11 \times 15,6) - (2 \times 18 \times \sqrt{0,2378}) \\ &= 29,19618 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{SV} &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \cdot \text{SF}} \\ &= \frac{26}{29,19618 \times 1,5}\end{aligned}$$

$$= 0,59368\text{m}$$

Di lapangan dipasang SV = 1 m (minimal)

Banyaknya lapis geotekstil teoritis = 11m/1m = 11 lapis

Maka pada penelitian untuk timbunan 11m akan digunakan perkuatan geotekstil sebanyak 1 lapis.

## 2. Panjang minimal geotekstil

### a. Stabilitas terhadap guling

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

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

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

$$SF = \frac{(\frac{1}{2} \times 25 \times L^2) + (\frac{1}{2} \times 15,6 \times 8 \times L^2)}{(25 \times 0,2378 \times 64) + (\frac{1}{2} \times 0,2378 \times 15,6 \times 64 \times \frac{1}{3} \times 8) - (2 \times 18 \times \sqrt{0,2378} \times 64)}$$

$$SF = \left( \frac{(\frac{1}{2} \times 25 \times L^2) + (\frac{1}{2} \times 15,6 \times 8 \times L^2)}{(25 \times 0,2378 \times 64) + (\frac{1}{2} \times 0,2378 \times 15,6 \times 64 \times \frac{1}{3} \times 8) - (2 \times 18 \times \sqrt{0,2378} \times 64)} \right)$$

$$= \frac{74,9 \times L^2}{175,27}$$

$$L = 3,51 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan guling pada timbunan tanah yang diambil yaitu sepanjang 4 m.

### b. Stabilitas terhadap geser

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

Tahanan geser pada dasar perkuatan ( $\delta = \frac{2}{3} \times 38 = 25,33$ )

$$SF = \frac{(25 \times \tan (25,33) \times L) + (8 \times 15,6 \times \tan (25,33) \times L)}{(25 \times 0,2378 \times 8) + (0,5 \times 0,2378 \times 15,6 \times 64) - (2 \times 18 \times \sqrt{0,2378} \times 8)}$$

$$SF = \frac{32,711L}{911,691}$$

$$L = 41,806 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan geser pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 42 m

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

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

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

$$\frac{L}{6} \geq \frac{221,43}{149,8 \times L}$$

$$L^2 = 8,869 \text{ m}$$

$$L = 2,978 \text{ m}$$

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

d. Stabilitas terhadap kapasitas daya dukung tanah

$$Nc = 61,35$$

$$N\gamma = 78,03$$

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

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

$$\sigma_{ult} = [18 \times 61,35) + (0,5 \times L \times 15,6 \times 78,03)] \times 1,5$$

$$L \leq \frac{310,799 + (90,6 \times L)}{(8 \times 15,6) + 25}$$

$$229,8 L \leq 310,799 + (90,6 \times L)$$

$$L = \frac{310,799}{229,8 - 90,6}$$

$$L = 2,2327 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan daya dukung tanah pada timbunan yang diambil sepanjang 2m.

Dari keempat jenis parameter stabilitas lereng tanah diatas, Panjang geotekstil yang digunakan secara maksimum sebesar 42 m.

### 5.6.3 Stabilitas Internal

#### 1. Panjang *overlapping* geotekstil

##### a. Timbunan 5m

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

$$Lo = \frac{3,223 \times 5 \times 1,5}{2 \times 15,6 \times 5 \times \tan 38}$$

$$= 0,198 \text{ m}$$

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

##### b. Timbunan 7m

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

$$Lo = \frac{10,647 \times 1,5 \times 1,5}{2 \times 15,6 \times 7 \times \tan 38}$$

$$= 0,140 \text{ m}$$

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

##### c. Timbunan 9m

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

$$Lo = \frac{18,067 \times 1 \times 1,5}{2 \times 15,6 \times 9 \times \tan 38}$$

$$= 0,0727 \text{ m}$$

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

d. Timbunan 11m

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

$$L_o = \frac{10,647 \times 1,5 \times 1,5}{2 \times 15,6 \times 11 \times \tan 38}$$

$$= 0,08934 \text{ m}$$

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

2. Panjang efektif geotekstil

a. Timbunan 5m

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

$$L_e = \frac{1,5 \times 5 \times 0,2378 \times 15,6 \times 4}{2 \times 15,6 \times 5 \times \tan 38}$$

$$= 1,141 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah sebesar 1m.

b. Timbunan 7m

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

$$L_e = \frac{1,5 \times 1,5 \times 0,2378 \times 15,6 \times 6}{2 \times 15,6 \times 7 \times \tan 38}$$

$$= 0,342 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah sebesar 0,5m

c. Timbunan 9m

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

$$Le = \frac{1,5 \times 1 \times 0,2378 \times 15,6 \times 8}{2 \times 15,6 \times 8 \times \tan 38}$$

$$= 0,228 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah sebesar 0,5m

d. Timbunan 11m

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

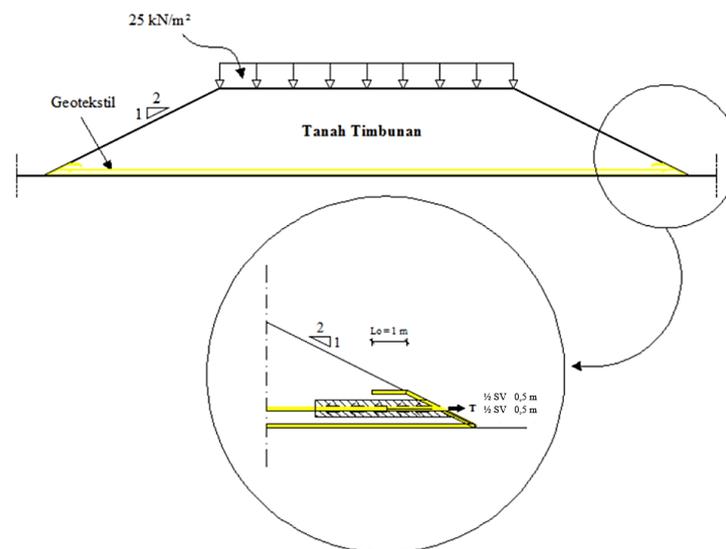
$$Le = \frac{1,5 \times 1 \times 0,2378 \times 15,6 \times 8}{2 \times 15,6 \times 8 \times \tan 38}$$

$$= 0,165 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah sebesar 0,5m

#### 5.6.4 Cek Gaya Tarik Tanah-Geotekstil

Dalam membuktikan kemampuan geotekstil dalam menahan gaya tarik dengan nilai SV 0,5m, perlu dilakukan perhitungan tegangan geser yang terjadi. Ilustrasi transfer tanah-geotekstil dapat ditemukan pada Gambar 5.26 di bawah ini.



**Gambar 5.26 Transfer Gesekan Tanah-Geotekstil**

Ketika geotekstil menerima beban dari atas, geotekstil akan mengalami tegangan dan mengalihkan tegangan ini ke wilayah pasif. Oleh karena itu, geotekstil

harus memiliki kemampuan untuk menahan gaya tarik yang bekerja pada dirinya. Karena itu, perencanaan pemilihan jenis geotekstil yang memiliki kemampuan untuk menahan gaya tarik ini sangat penting. Gaya tarik yang bekerja pada geotekstil dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

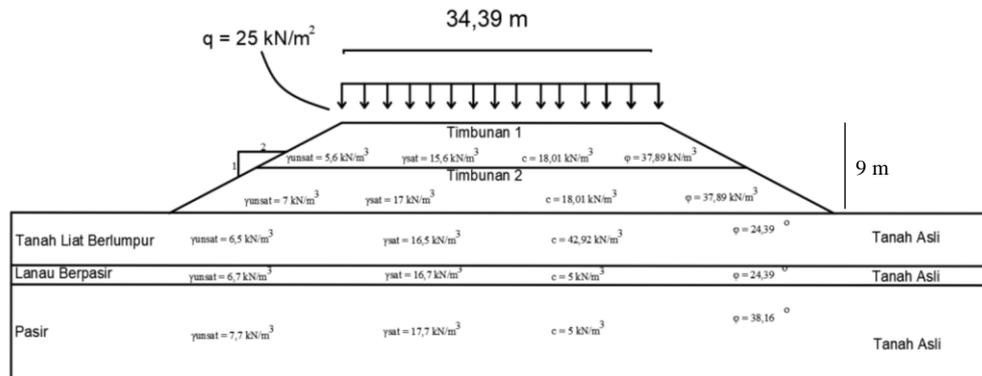
$$\begin{aligned}
 T &= \tan \varphi \times 2 \times \sigma_n \times b \times L \\
 &= \tan(38) \times 2 \times (1/2 \times 1 \times 15,6) \times 1 \times 42 \\
 &= 51,189 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, gaya tarik yang bekerja pada geotekstil sebesar 51,189 kN, sedangkan jenis geotekstil yang digunakan dalam penelitian memiliki kekuatan tarik sebesar 52 kN/m. Oleh karena itu, kekuatan geotekstil cukup untuk menahan gaya tarik yang bekerja karena  $51,189 \text{ kN} < 52 \text{ kN/m}$ .

### **5.7 Analisis Stabilitas Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil**

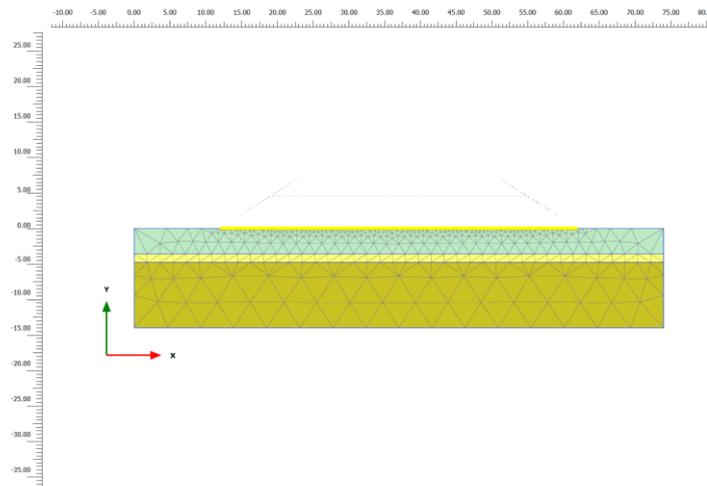
Analisis perkuatan lereng dengan geotekstil sebagai upaya untuk meningkatkan nilai angka aman atau meningkatkan kestabilan lereng. Lembaran-lembaran geotekstil disusun dari lapisan paling bawah timbunan dengan Panjang dan ketentuan yang telah diperhuitungkan.

Analisis stabilitas timbunan yang diperkuat dengan geotekstil di rancang untuk membentuk timbunan yang mengalami *collapse*, maksud dari analisis ini untuk memperkuat daya dukung tanah sebelum di perkuat. Dalam penelitian kali ini terjadi *collapse* pada tinggi ttimbunan 8 m. Maka dari tanah timbunan dengan perkuatan geotekstil sebanyak 2 lapis dengan SV sebesar 1 m dengan jenis geotekstil berupa geogrid. Berikut tahapan pembuatan analisis dengan perkuatan geotekstil yang dapat dilihat pada Gambar 5.27



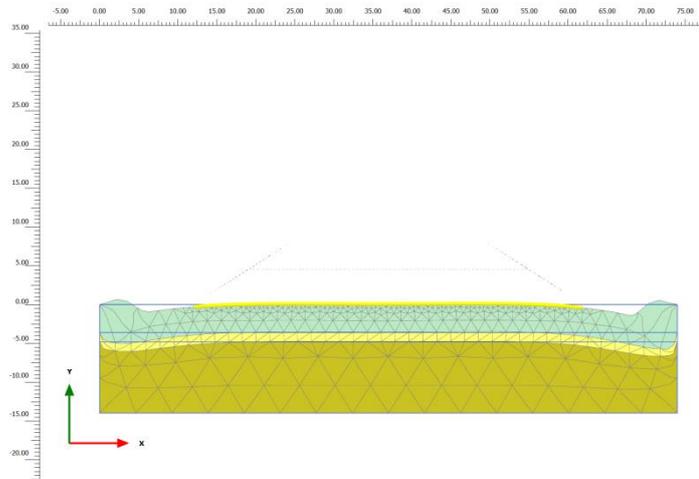
**Gambar 5.27 Permodelan Timbunan 9 m Dengan Perkuatan Geotekstil**

Dari data perhitungan yang sebelumnya dipakai untuk menjadi dasar dalam perhitungan geotekstil. Dalam perhitungan timbunan yang digunakan adalah timbunan 8 meter. Untuk permodelan dimulai dari initial phase dapat dilihat pada Gambar 5.28 berikut.



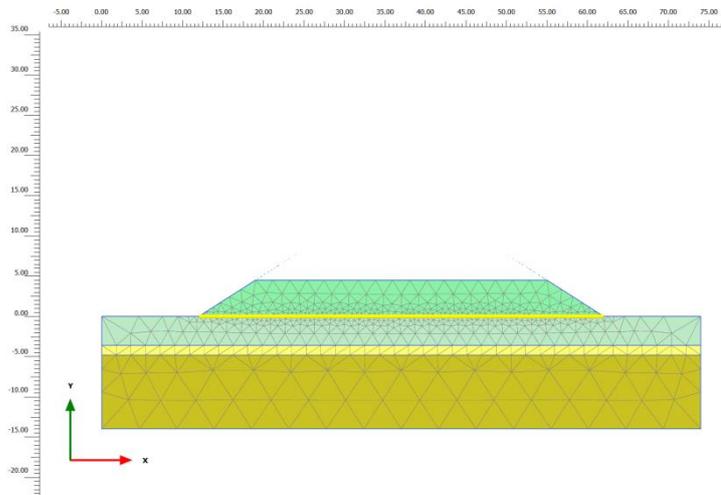
**Gambar 5.28 Permodelan *Generate Mesh* Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**

Setelah melakukan permodelan, tahap selanjutnya adalah generate meshing dengan tingkat kekerasannya yang digunakan adalah level medium. Hasil dari generate mesh dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut.



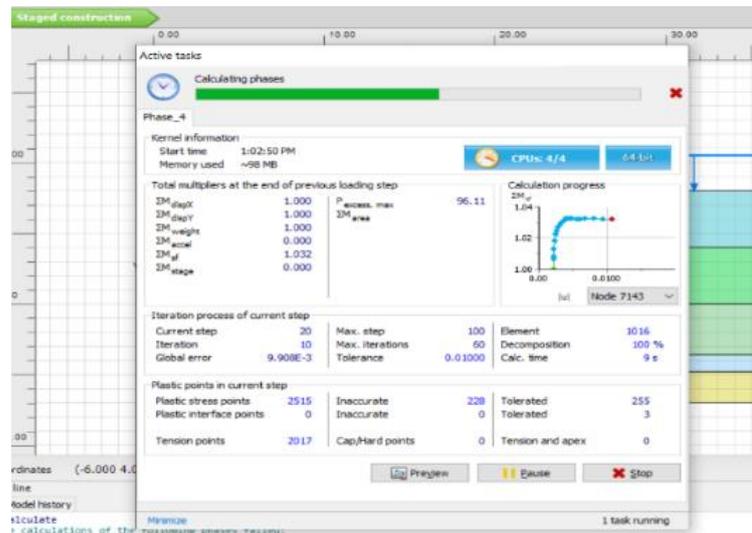
**Gambar 5.29 Permodelan *Generate Mesh* Timbunan 9 m Dengan Perkuatan Geotekstil**

Selanjutnya masukkan model timbunan 2 ke atas initial phase bisa dilihat pada Gambar 5.30 dibawah ini.



**Gambar 5.30 Permodelan Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**

Kemudian Langkah selanjutnya masuk ke tahap perhitungan untuk mendapatkan nilai *Safety Factor* (SF) yang dibutuhkan, dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut.



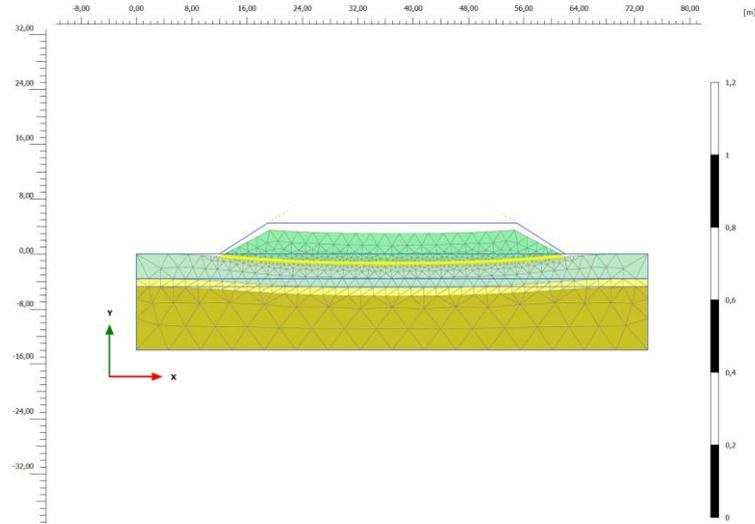
**Gambar 5.31 Kalkulasi Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**

Setelah melakukan tahap perhitungan didapatkan nilai SF, yang dapat dilihat pada Gambar 5.32 berikut.

Reached values	
Reached total time	4.000 day
CSP - Relative stiffness	0.7449E-15
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	57.66 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	6.193

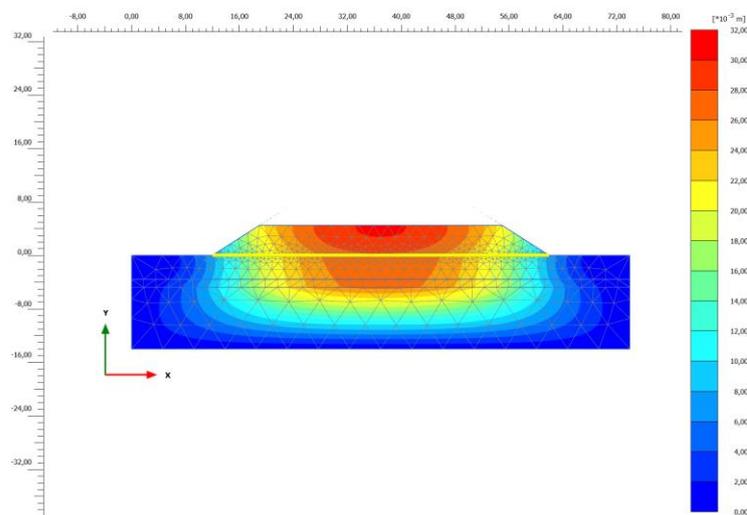
**Gambar 5.32 Nilai SF Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**

Selanjutnya masuk ke langkah deformed mesh yang terjadi pada timbunan seperti pada Gambar 5.33 di bawah ini.



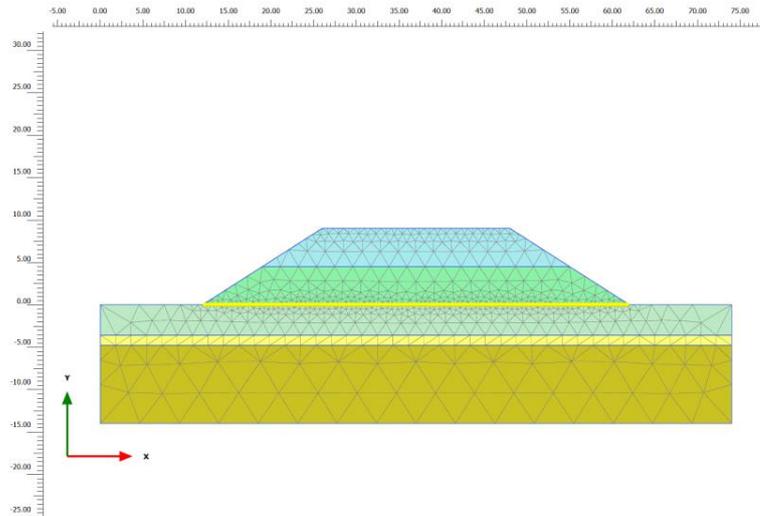
**Gambar 5.33 Deformed Mesh Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**

Berikutnya masuk ke tahap total displacement untuk melihat hasil penurunan yang terjadi pada timbunan. Hasil dari total displacement dapat dilihat pada Gambar 5.34 berikut.



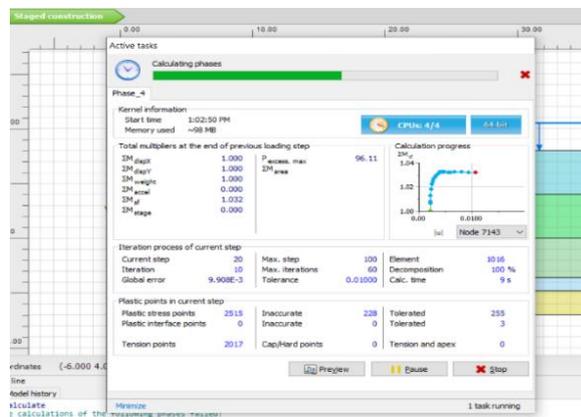
**Gambar 5.34 Total Displacement Timbunan Kedua Setinggi 4,5 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**

Langkah selanjutnya masukkan model timbunan 1 ke atas timbunan 2 bisa dilihat pada Gambar 5.35 dibawah ini.



**Gambar 5.35 Permodelan Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**

Kemudian Langkah selanjutnya masuk ke tahap perhitungan untuk mendapatkan nilai *Safety Factor* (SF) yang dibutuhkan, dapat dilihat pada Gambar 5.36 berikut.



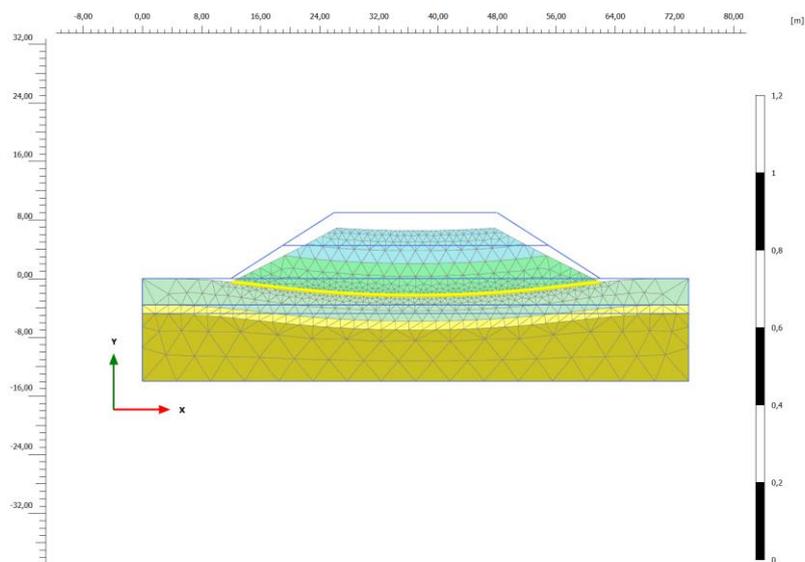
**Gambar 5.36 Kalkulasi Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**

Langkah selanjutnya masuk ke tahap perhitungan, didapatkan nilai SF kurang dari nilai angka aman, dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut.

Reached values	
Reached total time	5.000 day
CSP - Relative stiffness	0.9507E-9
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	60.74 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	3.615

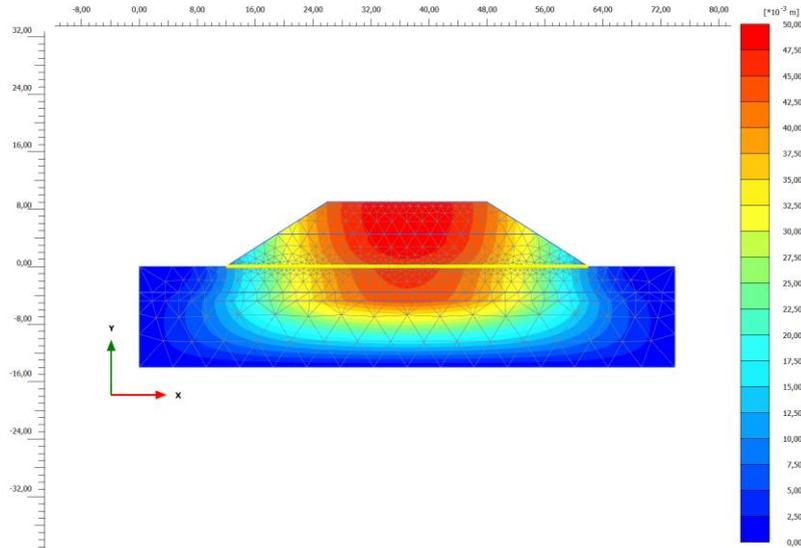
**Gambar 5.37 Nilai SF Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**

Langkah selanjutnya adalah memasuki tahap deformed mesh yang terjadi pada timbunan 1 yang sedang di tinjau. Ini bertujuan untuk mengetahui nilai yang di hasilkan, bisa dilihat pada Gambar 5.38 berikut.



**Gambar 5.38 Deformed Mesh Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**

Selanjutnya yaitu masuk ke tahap total displacement yang terjadi pada timbunan yang di tinjau, terdapat pada Gambar 5.39 dibawah.



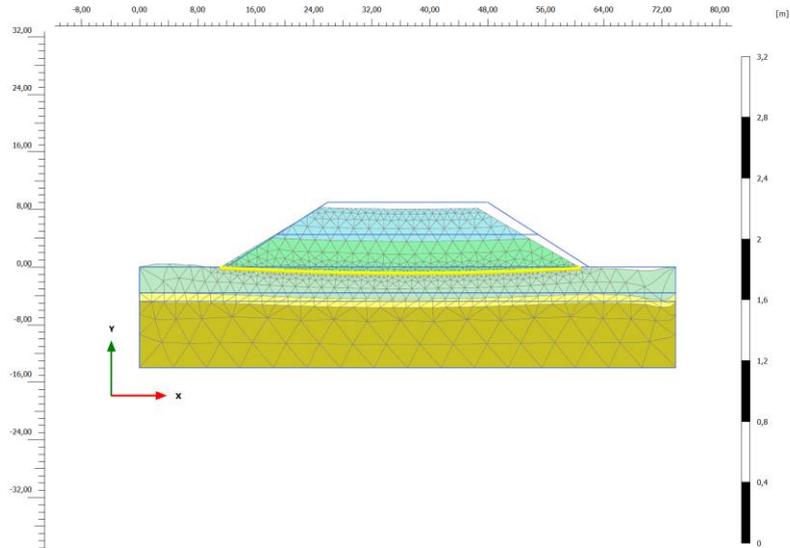
**Gambar 5.39 Total Displacement Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**

Selanjutnya masuk ke tahap mencari SF dengan penambahan beban gempa yang merujuk pada lokasi penelitian di daerah Bekasi dengan hasil  $0.3938/2 = 0.1969$  kedalam permodelan seperti pada Gambar 5.40 di bawah ini.

Reached values	
Reached total time	5.000 day
CSP - Relative stiffness	0.04124E-6
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	228.4 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1.520

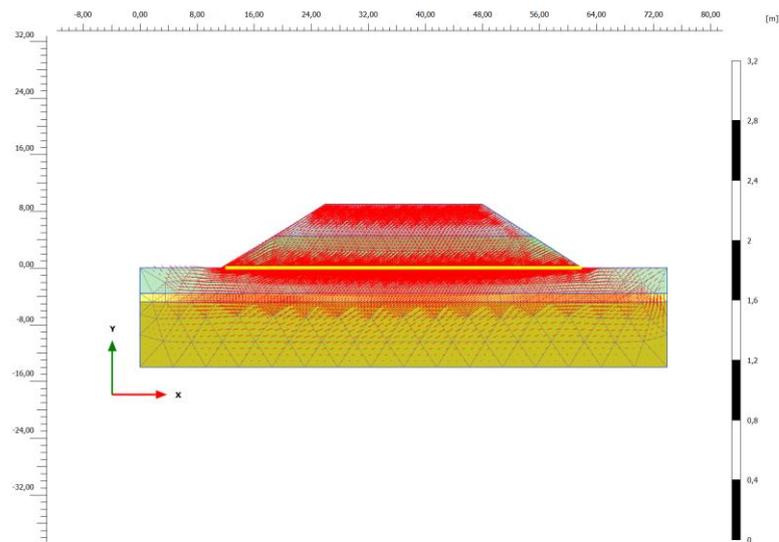
**Gambar 5.40 SF Timbunan 9 m Tanah Asli Beban Gempa Dengan Perkuatan Geotekstil**

Tahap berikutnya memasuki tahap deformed mesh timbunan dengan beban gempa seperti pada Gambar 5.41 berikut.



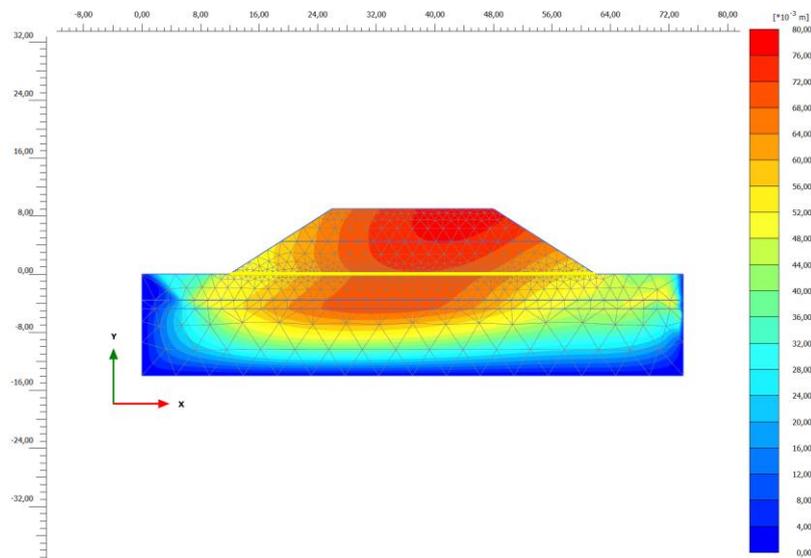
**Gambar 5.41 Deformed Mesh Timbunan 9 m Tanah Asli Beban Gempa Dengan Perkuatan Geotekstil**

Arah pergerakan tanah yang disebabkan oleh beban struktur lebih didominasi oleh pergerakan vertikal. Sementara itu, pergerakan yang diakibatkan oleh beban struktural dan gempa cenderung menghasilkan gerakan rotasi akibat gaya gempa. Peta arah pergerakan pada timbunan lereng sepanjang 9 meter dapat ditemukan pada Gambar 5.42 berikut.



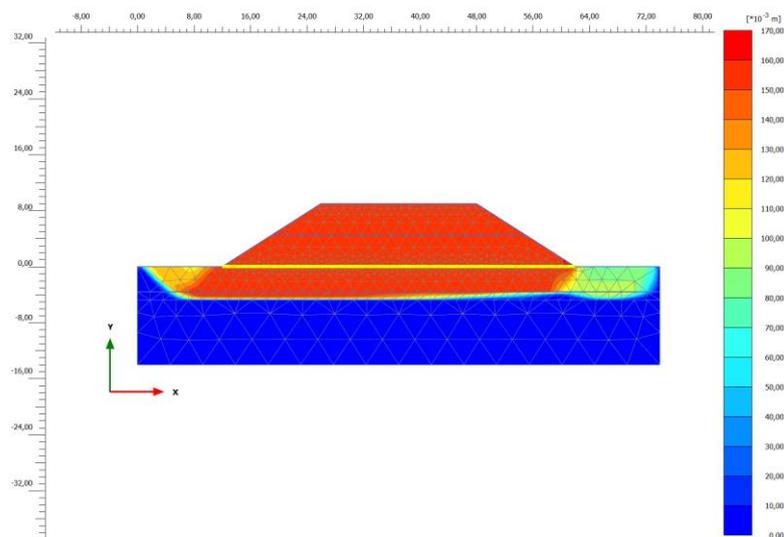
**Gambar 5.42 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 9m Tanah Asli Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan**

Selanjutnya yaitu masuk ke tahap *total displacement* yang terjadi pada timbunan yang di tinjau, terdapat pada Gambar 5.43 dibawah ini.



**Gambar 5.43 Total Displacement Timbunan 9 m Tanah Asli Beban Gempa Dengan Perkuatan Geotekstil**

Potensi kelongsoran akibat beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.44 berikut.



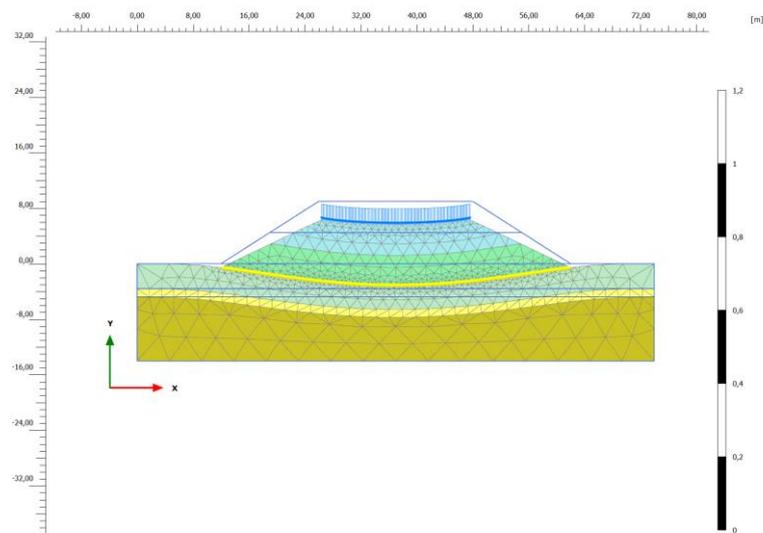
**Gambar 5.44 Potensi Kelongsoran Timbunan 9m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Dengan Perkuatan**

Selanjutnya masuk ke tahap perhitungan SF akhir dengan beban perkerasan dan lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 5.45 berikut.

Reached values	
Reached total time	5.000 day
CSP - Relative stiffness	0.02611E-9
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	72.87 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	2.792

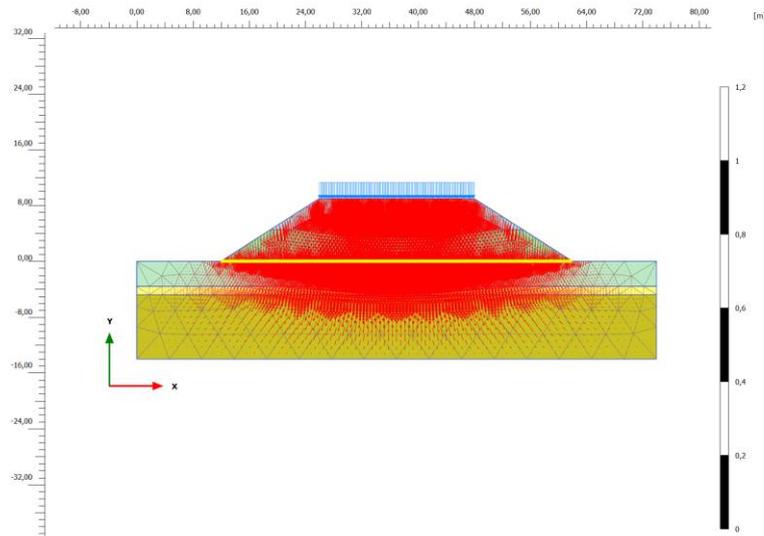
**Gambar 5.45 SF Akhir Timbunan 9 m Tanah Asli Beban Akhir Dengan Perkuatan Geotekstil**

Tahap selanjutnya adalah masuk ke dalam tahap deformed mesh dengan tambahan beban perkerasan dan lalu lintas untuk melihat hasilnya bisa dilihat pada Gambar 5.46 berikut.



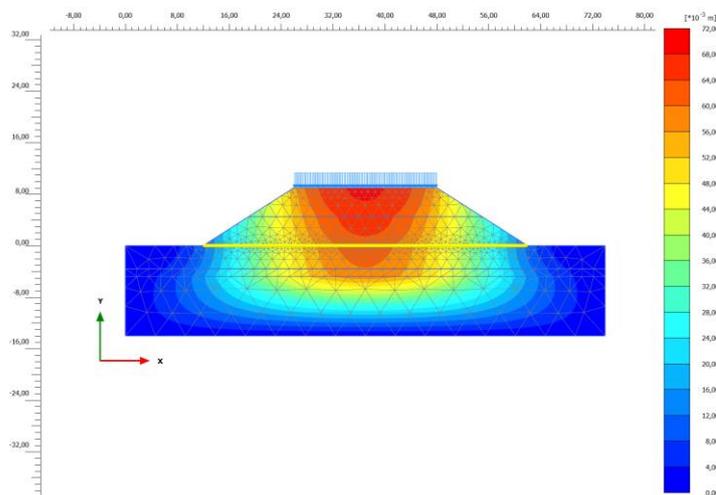
**Gambar 5.46 Deformed Mesh Timbunan 9 m Tanah Asli Beban Akhir Dengan Perkuatan Geotekstil**

Pergerakan tanah akibat beban struktur utamanya terjadi secara vertikal, sementara pergerakan yang disebabkan oleh kombinasi beban struktur dan beban gempa menghasilkan gerakan rotasi akibat gaya gempa. Detail arah pergerakan pada timbunan lereng selama 9 meter dapat dilihat pada Gambar 5.47 berikut.



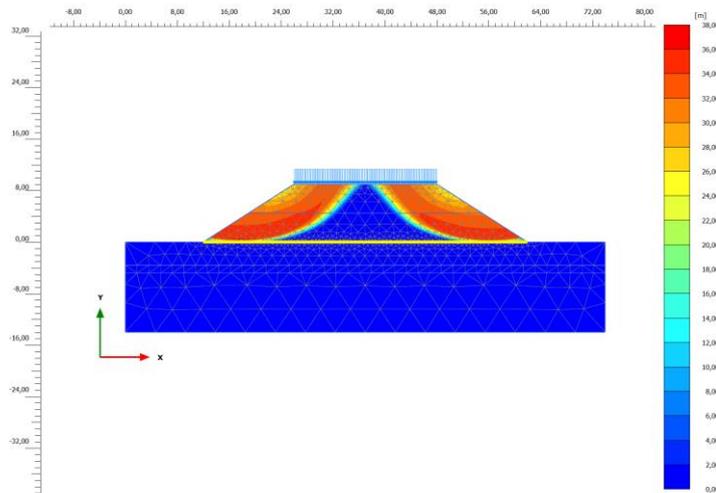
**Gambar 5.47 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 9m Tanah Asli Akibat Beban Akhir Dengan Perkuatan**

Selanjutnya ke tahap total displacement timbunan dengan tambahan beban perkerasan dan lalu lintas untuk mengetahui nilai penurunan yang terjadi yang dapat dilihat pada Gambar 5.48 dibawah ini.



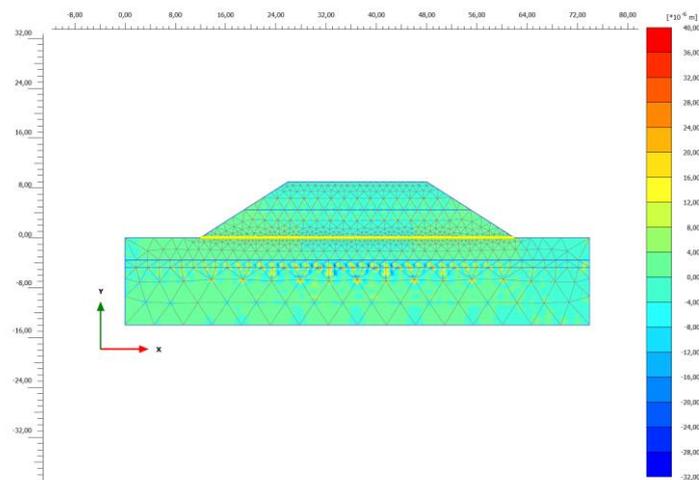
**Gambar 5.48 Total Displacement Timbunan 9 m Tanah Asli Beban Akhir Dengan Perkuatan Geotekstil**

Potensi kelongsoran akibat beban struktur dapat dilihat pada Gambar 5.49 berikut.



**Gambar 5.49 Potensi Kelongsoran Timbunan 9m Tanah Asli Dengan Beban Akhir Dengan Perkuatan**

Setelah itu masuk ke tahap perhitungan konsolidasi penurunannya. Untuk mengetahui nilai penurunannya dapat dilihat pada Gambar 5.50 dibawah ini.



**Gambar 5.50 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan 9 m Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**

Penurunan konsolidasi lereng timbunan 9 m tanah asli yang didapatkan dari hasil analisis adalah sebesar 0,2118 m

Di bawah ini hasil rekapitulasi perhitungan nilai SF menggunakan program komputasi *Plaxis V20* pada timbunan dengan ketinggian masing-masing 5 meter, 7 meter, dan 9 meter yang dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

**Tabel 5.11 Hasil Rekapitulasi Analisis Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil**

Tinggi Timbunan (meter)	Safety Factor (>1,5)		Penurunan Konsolidasi (m)
	Beban Struktur dan Lalu Lintas	Beban Gempa	
9	2,792	1,520	0,2118
11	2,336	1,583	0,2347

### 5.8 Pembahasan

Penelitian analisis stabilitas timbunan yang dilakukan adalah untuk mendapatkan angka aman pada lereng timbunan jalan tersebut. Perhitungan analisis ini dilakukan dengan bantuan program komputasi *Plaxis V20* dengan variasi tinggi timbunan, yaitu dengan tinggi timbunan 5m, tinggi timbunan 7m, tinggi timbunan 11m. Selanjutnya, parameter yang diterapkan dalam analisis ini melibatkan distribusi beban merata yang disebabkan oleh beban struktur jalan dan lalu lintas kendaraan, serta beban gempa yang ditentukan berdasarkan zonasi gempa pada wilayah yang sedang dianalisis.

Berdasarkan hasil dari analisis pada perhitungan pada Tabel 5.4 didapatkan nilai angka aman yang ada di setiap timbunan. Pada timbunan 5m dalam kondisi aman, karena nilai angka aman jauh lebih besar dari syarat angka aman timbunan yang di syatkan yaitu 1,5 sebesar 1,789 untuk kondisi terkena beban struktur dan 1,71 pada kondisi terkena beban gempa. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 7m masih aman dengan beban struktur 1,627 dan 1,54 pada kondisi terkena beban gempa. Kemudian untuk tinggi timbunan variasi 9m dengan kondisi beban struktur nilai angka amannya berada di bawah angka aman yang di syatkan dengan besar 1,469 dan pada saat kondisi terkena beban gempa sebesar 1,42. Untuk tinggi timbunan 11

m didapatkan nilai angka aman 1,359 untuk beban struktur dan 1,26 yang terkena beban gempa.

Pada timbunan 9m yang memiliki nilai angka aman yang lebih kecil dari angka aman yang di syarat kan dilakukan perhitungan manual dengan metode *Fellenius* yang menghasilkan nilai angka aman sebesar 1,357 dan membuktikan bahwa hasil tersebut masih lebih kecil dari syarat angka aman yang artinya sudah tidak aman.

Pada perkuatan geotekstil yang digunakan bertujuan untuk meningkatkan nilai angka aman timbunan lereng dengan timbunan yang belum aman. Setelah melakukan kalkulasi mengenai analisis stabilitas timbunan 9m yang sebelumnya berada di bawah nilai angka aman yang di syaratkan maka didapatkan nilai 2,424 untuk beban struktur dan 1,520 untuk beban gempa sehingga sudah sudah bisa diperbolehkan untuk difungsikan sebagai jalan tol. Dan untuk variasi tinggi timbunan 11m didapatkan nilai angka aman yang dilakukan setelah penambahan perkuatan geotekstil yaitu sebesar 2,079 untuk beban struktur dan 1,583 untuk yang terkena beban gempa.

Berikut adalah hasil rekapitulasi dari hasil analisis perhitungan baik tanpa perkuatan serta dengan perkuatan geotekstil yang di sajikan pada Tabel 5.12, serta disajikan pada Tabel 5.13 rekapitulasi besar penurunan konsolidasi yang terjadi pada lereng timbunan akibat beban struktur jalan dan beban gempa dengan asumsi waktu selama 365 hari sebagai berikut.

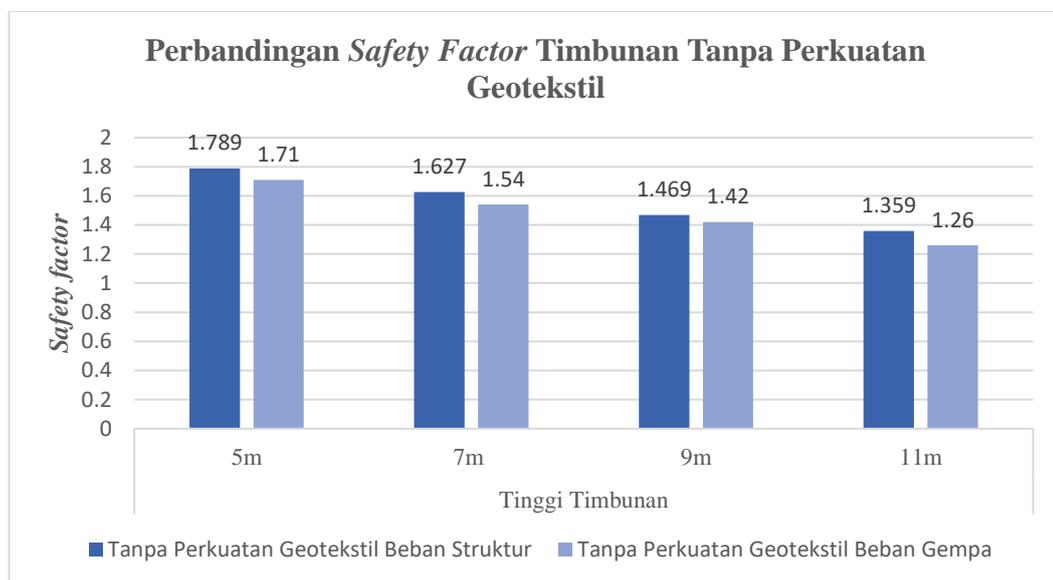
**Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Analisis Angka Aman (SF) Timbunan**

<i>Safety Factor (SF)</i>		<b>Tinggi Timbunan</b>			
		<b>5m</b>	<b>7m</b>	<b>9m</b>	<b>11m</b>
<b>Tanpa Perkuatan Geotekstil</b>	<b>Beban Struktur</b>	1,789	1,627	1,469	1,359
	<b>Beban Gempa</b>	1,71	1,54	1,42	1,26
<b>Dengan Perkuatan Geotekstil</b>	<b>Beban Struktur</b>	3,539	2,927	2,424	2,079
	<b>Beban Gempa</b>	1,851	1,676	1,520	1,583

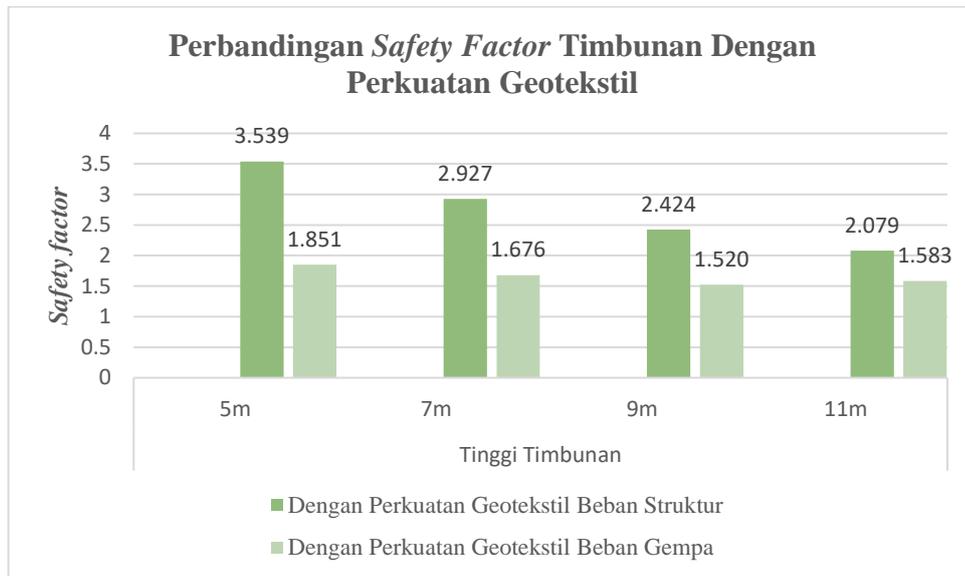
**Tabel 5.13 Rekapitulasi Penurunan Konsolidasi Pada Lereng Timbunan**

Keterangan	Timbunan 5m	Timbunan 7m	Timbunan 9m	Timbunan 11m	Timbunan 9m Dengan Perkuatan	Timbunan 11m Dengan Perkuatan
Penurunan Konsolidasi (m)	0,1579	0,1928	0,2120	0,2359	0,2118	0,2347

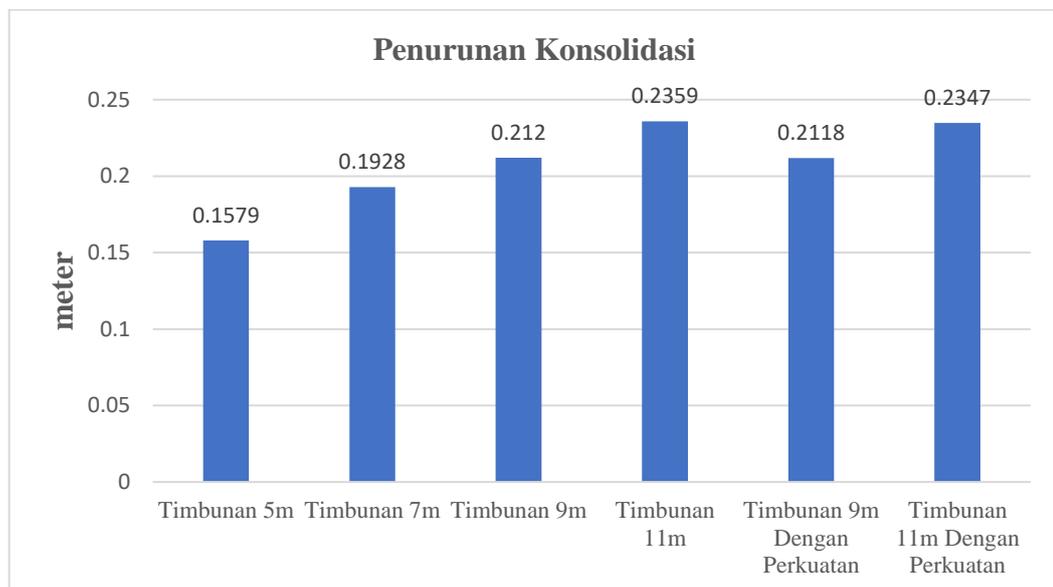
Grafik perbandingan antar variasi tinggi timbunan hasil rekapitulasi analisis stabilitas timbunan lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil dan grafik hasil rekapitulasi konsolidasi penurunan lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.51, Gambar 5.52, dan Gambar 5.53 dibawah ini.



**Gambar 5.51 Perbandingan *Safety Factor* Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil**



**Gambar 5.52 Perbandingan *Safety Factor* Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil**



**Gambar 5.53 Perbandingan Konsolidasi Penurunan dengan Tinggi Timbunan**

Berdasarkan Gambar 5.43, Gambar 5.44, dan Gambar 5.45 diatas dari penelitian ini dapat diketahui bahwa semakin tinggi variasi tinggi timbunan baik menggunakan dan tanpa perkuatan mengalami kenaikan nilai penurunan konsolidasi meskipun tidak signifikan dan tanah timbunan yang diberi perkuatan

geotekstil memiliki angka keamanan yang lebih tinggi di bandingkan dengan lereng timbunan tanpa perkuatan, hal ini memang sifat dasar dari geotekstil itu sendiri yaitu untuk memperbaiki atau meningkatkan kinerja tanah dan struktur pada tanah dengan menyebarkan beban secara merata di seluruh area permukaan tanah timbunan, dan hal ini membantu mengurangi potensi penurunan atau pergeseran pada tanah yang disebabkan oleh beban di atasnya. Manfaat geotekstil pada tanah timbunan terbukti signifikan dalam meningkatkan kestabilan, sistem drainase, dan kinerja keseluruhan struktur tanah. Tetapi, untuk memastikan fungsi optimal dan manfaat maksimal dari geotekstil, diperlukan perencanaan dan pemasangan yang akurat dan cermat.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

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

1. Dari hasil analisis lereng timbunan eksisting nilai angka aman pada kondisi terkena beban struktur sebesar 1,469 dan dengan beban gempa sebesar 1,359. Hasil tersebut belum memenuhi syarat angka aman lereng yaitu  $> 1,5$  sehingga perlu dilakukan perkuatan geotekstil yang didapatkan nilai aman sebesar 2,792 untuk dengan beban struktur dan 1,520 dengan beban gempa. Hasil penurunan tanah pada lereng timbunan eksisting tanpa perkuatan sebesar 0,2120m dan 0,2118m dengan perkuatan.
2. Hasil dari analisis stabilitas lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil menunjukkan bahwa nilai angka aman untuk lereng timbunan dengan ketinggian 5m, 7m, dan 11m akibat beban struktur secara berturut didapat angka aman sebesar 1,789; 1,627; dan 1,359. Sedangkan akibat beban gempa sebesar 1,71; 1,54; dan 1,26.
3. Hasil dari analisis stabilitas timbunan dengan perkuatan geotekstil menunjukkan bahwa nilai angka aman untuk lereng timbunan dengan ketinggian 5m, 7m, dan 11m akibat beban struktur secara berturut didapat angka aman sebesar 3,539; 2,927; dan 2,079. Sedangkan untuk yang diakibatkan beban gempa sebesar 1,851; 1,676; dan 1,583.
4. Pengaruh penambahan geotekstil pada kondisi tanah timbunan dapat meningkatkan keamanan pada setiap variasi timbunan yaitu 5m, 7m, dan 11m. Kemudian tinggi timbunan mempengaruhi hasil nilai angka keamanan,

hal ini di karenakan semakin tinggi variasi timbunan yang di analisis maka nilai angka keamanan yang akan diperoleh akan semakin kecil.

5. Hasil penurunan konsolidasi pada lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil menunjukkan bahwa nilai penurunan konsolidasi pada ketinggian 5m, 7m, dan 11m didapat angka sebesar 0,1579m; 0,1928m; 0,239m dan sedangkan penurunan tanah timbunan dengan perkuatan geotekstil pada tinggi timbunan 9m dan 11m yaitu sebesar 0,2118 dan 0,2347.

## 6.2 Saran

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

1. Dalam penelitian ini, analisis dilakukan dengan hanya mempertimbangkan satu parameter penguatan, yaitu menggunakan geotekstil. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dipertimbangkan untuk melakukan perbandingan dengan menggunakan parameter penguatan tambahan atau alternatif, seperti sheet pile, borepile, atau dinding penahan tanah. Hal ini karena dari hasil analisis masih terdapat potensi kelongsoran yang dapat mencapai kedalaman tanah, dan
2. Parameter dari tanah timbunan dapat dianalisis dengan melakukan variasi pada jenis tanah, nilai berat jenis tanah ( $\gamma_b$ ), kohesi ( $c$ ), atau kuat geser tanah ( $\phi$ ). Hal ini dilakukan untuk memahami sejauh mana pengaruh perubahan parameter tanah terhadap stabilitas lereng.
3. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan aplikasi alternatif lainnya seperti Geoslope, Rocscience, atau Xstable dan lain sebagainya yang selanjutnya dibandingkan dengan hasil analisis yang menggunakan Plaxis V20.

## DAFTAR PUSTAKA

- 726:2019, S. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. In *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.
- Badan Pengatur Jalan. 2020. Data Jalan Tol Cibitung–Cilincing.
- Batu, P.B. 2015. Pengaruh Penambahan Serat Bambu Dan Kapur Terhadap Kuat Geser Tanah Berbutir Halus. Doctoral dissertation. UAJY. Yogyakarta.
- Budiasto, A. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Pada Jalan Tol Solo-Kertosono Tahap III Sta 118+ 700-139+ 760. dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- Bowles, J.E. 1989. Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Terjemahan. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Das Braja M, 1988, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid I. Penerbit Erlangga. 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. 2010. *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2013. Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya, Edisi Ke 2. Gadjah Mada University. Press. Yogyakarta.
- Hayumi, L. 2021. Analisis Stabilitas Timbunan Pada Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis (Studi Kasus : Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi I). dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- Head, K.H, 1982, Manual of Laboratory Testing, Volume 2 : Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests. Robert Hartnoll Limited, Bodmin, Cornwall.
- Hediyanto, R. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Kantilever dan Sheetpile Pada Bantaran Sungai Code. dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.

- Kurniawan, Y. 2021. Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Pada Badan Jalan Dengan Menggunakan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Indralaya-Muara Enim Seksi Prabumulih-Muara Enim, Sumatera Selatan, Sta. 97+ 100). Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Muwaffaq., Arsyadani. 2023. Analisis Stabilitas Lereng Untuk Mengatasi Kerawanan Longsor Menggunakan Metode Fellenius Dan Program Plaxis V20 ( Studi Kasus: Proyek The Startup Hotel Island Karimunjawa). repository.unnisula.ac.id. Semarang.
- Ogundare,A.D., dkk. 2018. *Stabilization Of Subgrade Using Geosynthetics (Case Study- Geotextile) Under Soaked Condition*. Romania: University POLITEHNICA Timisoara, Faculty of Engineering Hunedoara, 5, Revolutiei, 331128, Hunedoara.
- Pangemanan, dkk. 2014. Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland). Jurnal Sipil Statik. Manado.
- PT Cibitung Tanjung Priok Tollways. 2020. Data Jalan Tol Cibitung–Cilincing.
- PT Teknindo Geosistem Unggul. (Tanpa Tahun). Technical Spesification. Geotextile Woven. Surabaya.
- Prabowo. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Pada Ruas Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus Pada Ruas Tol Ngawi-Caruban STA 128+850, Proyek Jalan Tol Ngawi-Kertosono). dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- PUSKIM. 2014. Peta Zonasi Gempa. (<http://puskim.pu.go.id/peta-zonasi-gempa/>). Diakses 8 Maret 2023.
- Qayyim, A. I. 2021. Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis 8.6 Pada Proyek Tol Cibitung–Cilincing (Stability Analysis Of Slope Road Embankments With Geotextile Reinforcement Using Plaxis 8.6 Program In Cibitung–Cilincing Highway Construction Project). dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- Riadi, Muhlisin. 2021. “Definisi, Jenis dan Klasifikasi Tanah”, Definisi, Jenis dan Klasifikasi Tanah (kajianpustaka.com), Diakses 2 Desember 2021.
- Sekarti, D.N.A. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan di Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Salatiga Kartasura. dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- Sosrodarsono, Sunyono, Ir. dan Nakazawa , K. 2000. Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, PT Pradnya Paramitha, Jakarta.

Terzaghi, K. dan Peck, R. B.1967. *Mekanika Tanah 2*. Edisi I. PT Gramedia  
Pustaka Utama. Jakarta.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Data Parameter Tanah

Tabel 8. *Index dan engineering properties* pada lokasi STA 4+550 - STA 4+800

STA 4+615 - STA 4+800															
No.	Depth		Thickness	Lithology Type	Consistency	$\gamma$	$\gamma'$	$q_c$	$f_r$	$c_u$	$c'$	$\phi'$	$E_u$	$E'$	$\nu$
	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )				(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)	(kPa)			
1	0.00	- 1.40	1.40	Clay (Timbunan 1)	Very Soft	15.6	15.6	4.0	2.55	18.01	-	-	4502	3601	0.33
2	1.40	- 2.40	1.00	Sandy Silt (Timbunan 2)	Dense	17.0	7.0	19.0	1.00	-	-	37.89	-	19000	0.3
3	2.40	- 6.00	3.60	Silty Clay	Medium	16.5	6.5	10.0	1.53	42.92	-	-	10729	8583	0.33
4	6.00	- 7.20	1.20	Sandy Silt	Loose	16.7	6.7	17.0	0.94	-	5.00	24.39	-	17000	0.3
5	7.20	- 9.40	2.20	Sands	Dense	17.7	7.7	120.0	0.16	-	5.00	38.16	-	120000	0.3

## Lampiran 2 Data *Technical Specification* Geotextile Woven

# UnggulTex

POLYPROPYLENE WOVEN GEOTEXTILES

---

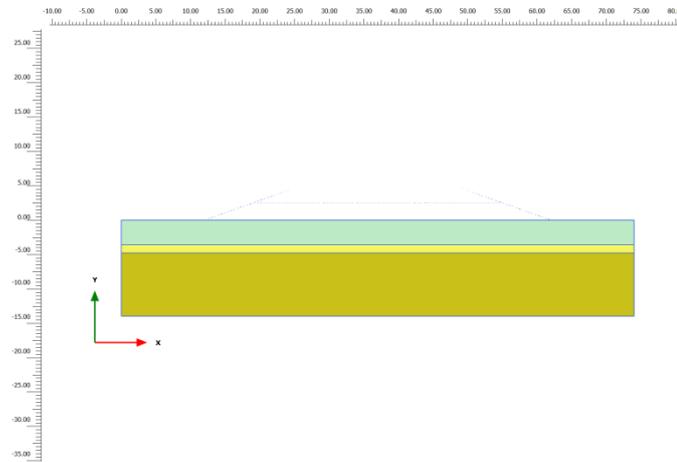
### TECHNICAL SPESIFICATIONS

PROPERTIES	UNIT	TEST METHOD	UW - 150	UW - 200	UW - 250
<b>Physical Properties</b>					
Mass	g/m <sup>2</sup>	ASTM D 5261-92	150	200	250
Thickness	mm	ASTM D 5199-91	0.5	0.6	0.7
Colour	-	-	Black	Black	Black
<b>Mechanical Properties</b>					
Strip Tensile Strength (Wrab/Weft)	kN/m	ASTM D 4595-94	37/35	42/39	52/52
Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)	%	ASTM D 4595-94	19/18	20/20	20/20
Grap Tensile Strength (Wrab/Weft)	N	ASTM D 4632-91	1210/1200	1600/1600	1750/1750
Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)	%	ASTM D 4632-91	14/13	22/22	22/22
Trapezoidal Tear Strength (Wrab/Weft)	N	ASTM D 4533-91	615/615	700/700	800/800
<b>Hydraulic Properties</b>					
Pore Size O <sub>95</sub>	μm	ASTM D 4751-95	320	275	250
Water Permeability	l/m <sup>2</sup> /sec	100 mm water head	28	16	7.5
<b>Environmental Properties</b>					
Effect of soil Alkalinity	-	-	nil	nil	nil
Effect of soil Acidity	-	-	nil	nil	nil
Effect of Bacteria	-	-	nil	nil	nil
Effect of U.V. Light	-	-	Stabilized	Stabilized	Stabilized
<b>Packaging</b>					
Roll Length	m	-	150 - 200	150 - 200	150 - 200
Roll Width	m	-	3 - 4	3 - 4	3 - 4
Roll Area	m <sup>2</sup>	-	640 - 760	640 - 760	640 - 760
Roll Diameter (Approx)	m	-	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5
Roll Weight (Approx)	kg	-	96 - 114	128 - 152	160 - 190

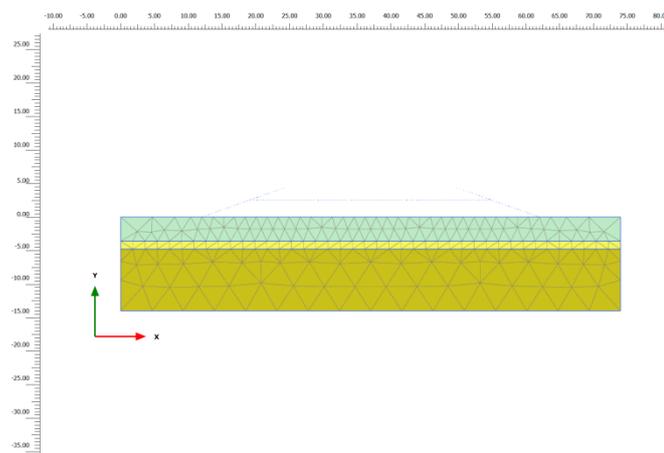
All information, illustration and specification are based on the latest product information available at the time of printing. The right is reserved to make changes at any time without notice.

GEOSISTEM CERTIFICATE NO. JKT 6013886 CERTIFICATE NO. JKT 6016676

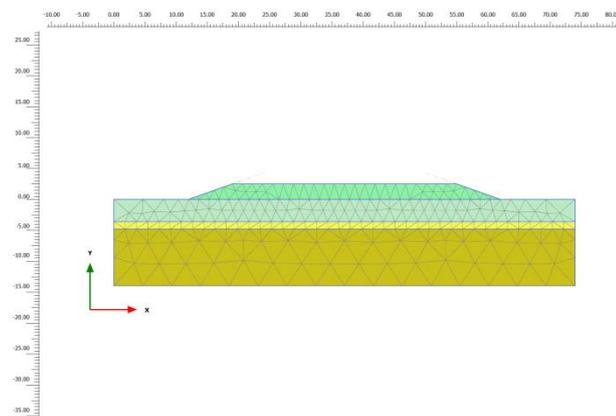
### Lampiran 3 Hasil Permodelan *Plaxis* Lereng Timbunan 5m Tanpa Perkuatan



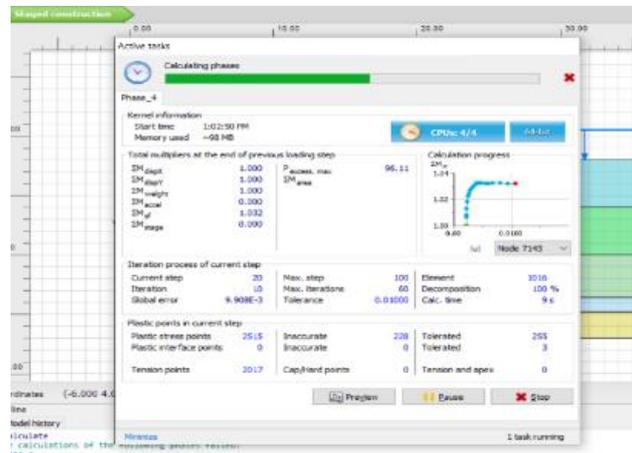
Gambar L-3.1 Permodelan Lereng Timbunan 5 m Tanpa Perkuatan



Gambar L-3.2 Permodelan *Generate Mesh* Timbunan 5 m Tanpa Perkuatan



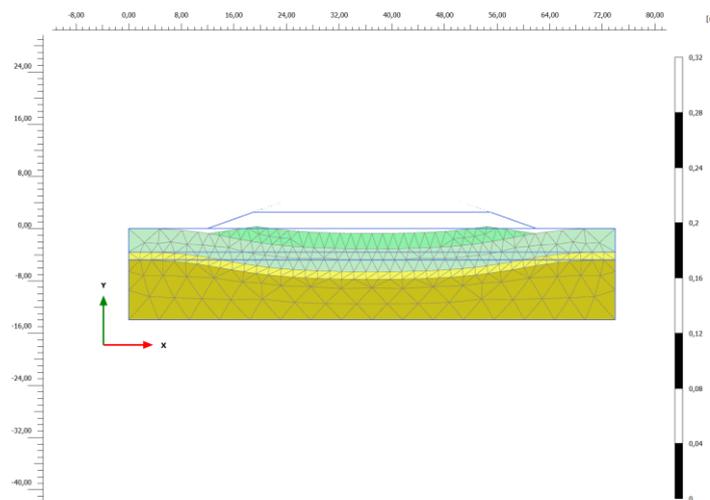
**Gambar L-3.3 Permodelan Timbunan Kedua Setinggi 2,5 m Tanpa Perkuatan**



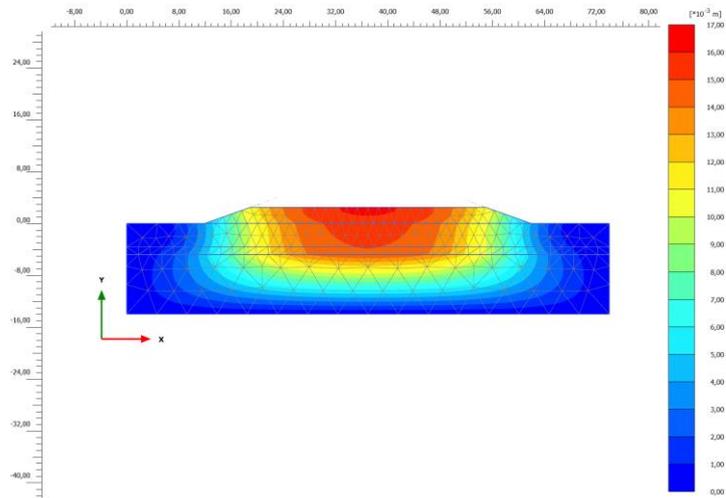
**Gambar L-3.4 Kalkulasi Timbunan Kedua Setinggi 2,5 m Tanpa Perkuatan**

Reached values	
Reached total time	2.000 day
CSP - Relative stiffness	0.8754E-9
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	53.12 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	10.41

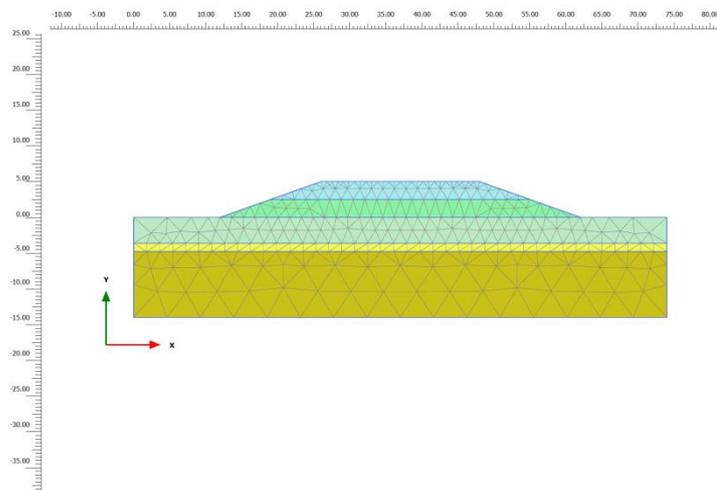
**Gambar L-3.5 Nilai SF Timbunan 2,5 m Tanpa Perkuatan**



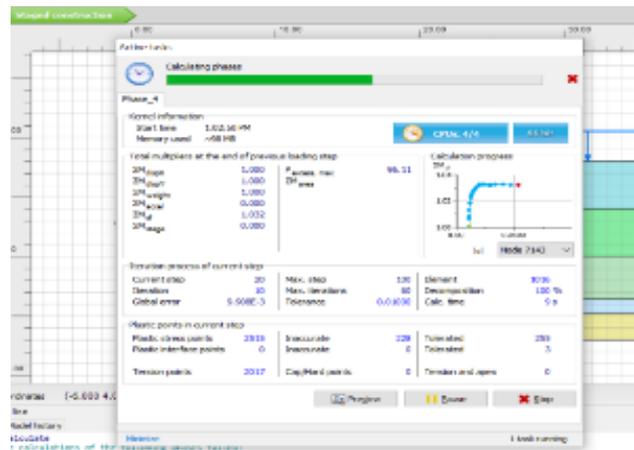
**Gambar L-3.6 Deformed Mesh Timbunan Kedua Setinggi 2,5 m Tanpa Perkuatan**



**Gambar L-3.7 Total Displacement Timbunan Setinggi 2,5 m Tanpa Perkuatan**



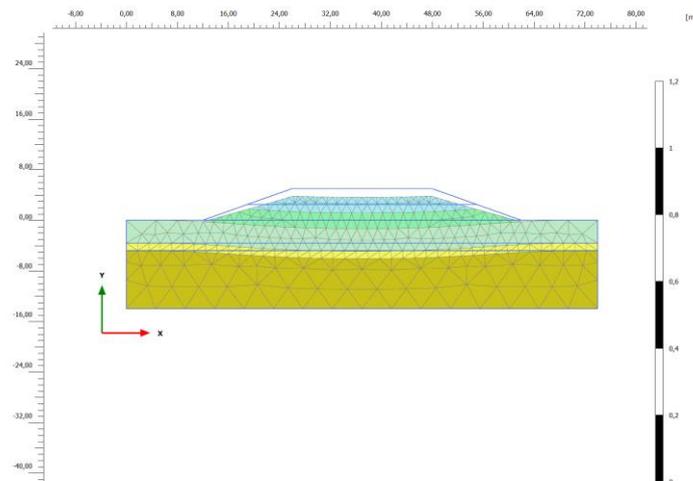
**Gambar L-3.8 Permodelan 5 m Tanpa Perkuatan**



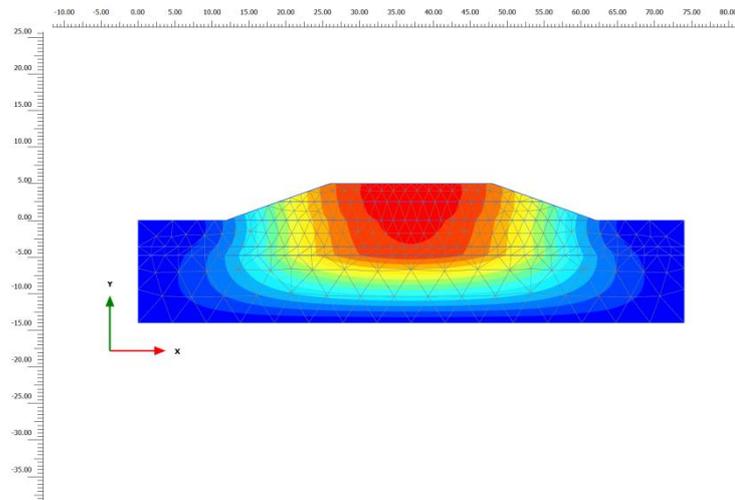
Gambar L-3.9 Kalkulasi Timbunan 5 m Tanpa Perkuatan

Reached values	
Reached total time	4.000 day
CSP - Relative stiffness	2.361E-9
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	52.97 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	6.008

Gambar L-3.10 Nilai SF Timbunan 5 m Tanpa Perkuatan



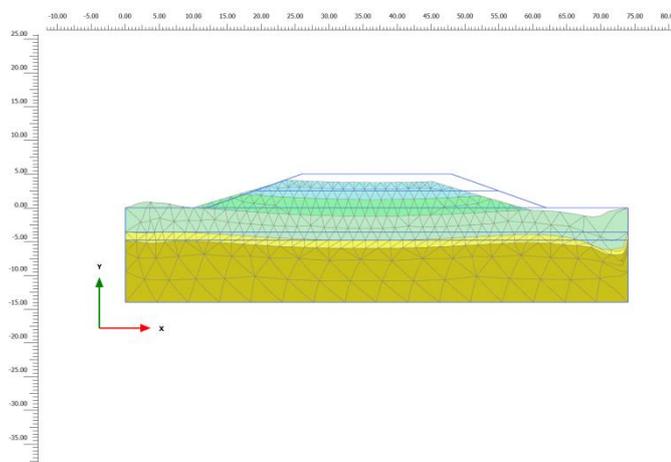
Gambar L-3.11 Deformed Mesh Timbunan 5 m Tanpa Perkuatan



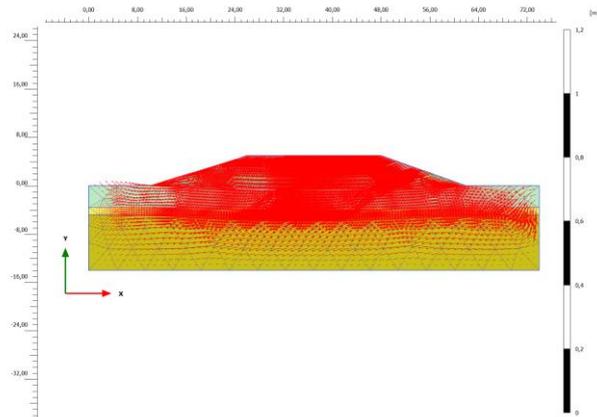
**Gambar L-3.12 Total Displacement** Timbunan 5 m Tanpa Perkuatan

Reached values	
Reached total time	4.000 day
CSP - Relative stiffness	0.02385E-9
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	66.58 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1.789

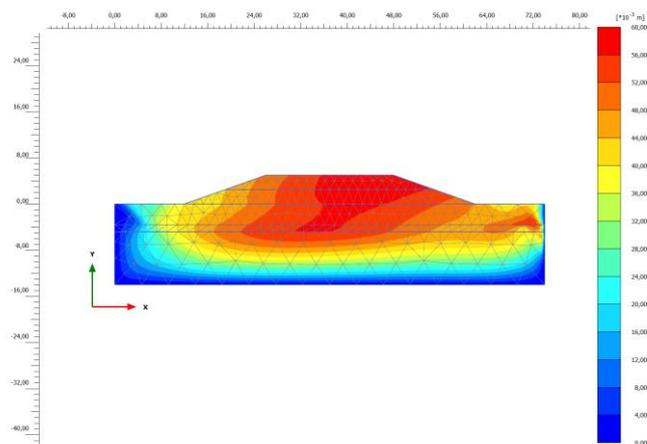
**Gambar L-3.13 Nilai SF** Timbunan 5 m Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan



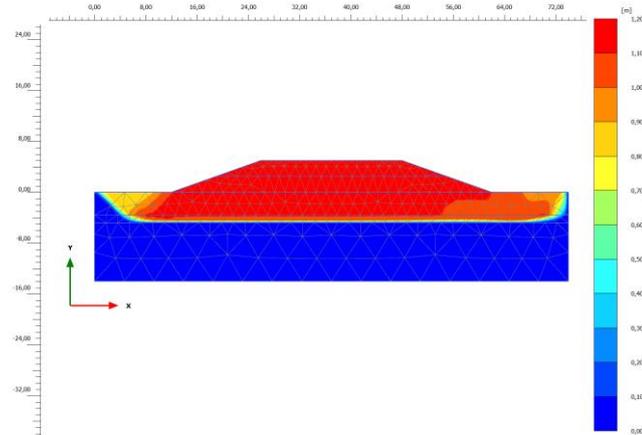
**Gambar L-3.14 Deformed Mesh Timbunan 5 m Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**



**Gambar L-3.15 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 5m Tanah Asli Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan**



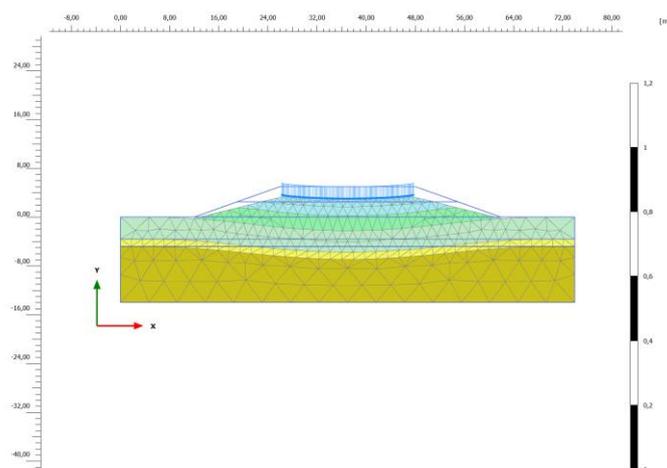
**Gambar L-3.16 Total Displacement Timbunan 5 m Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**



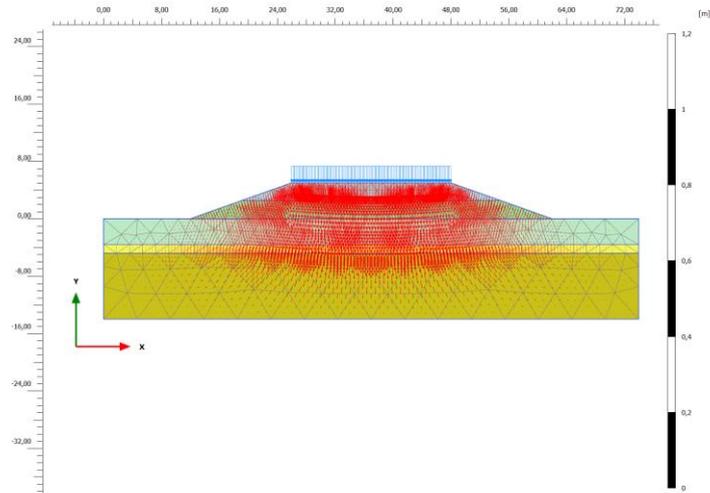
**Gambar L-3.17 Potensi Kelongsoran Timbunan 5m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**

Reached values	
Reached total time	4.000 day
CSP - Relative stiffness	0.1740E-12
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	74.77 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	2.810

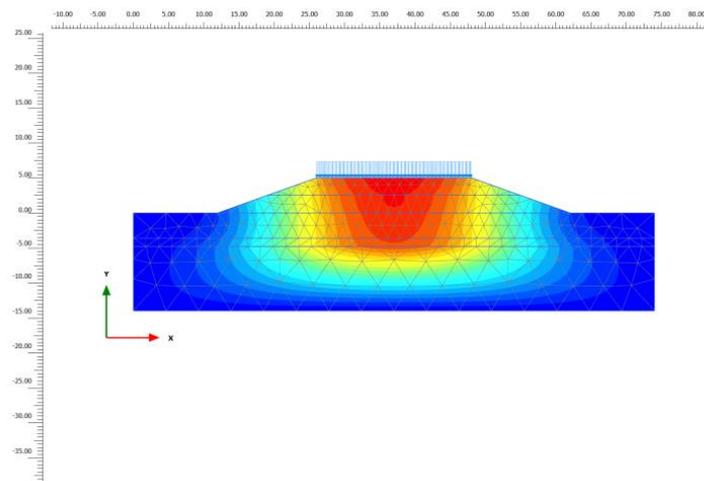
**Gambar L-3.18 Nilai SF Akhir Timbunan 5 m Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan**



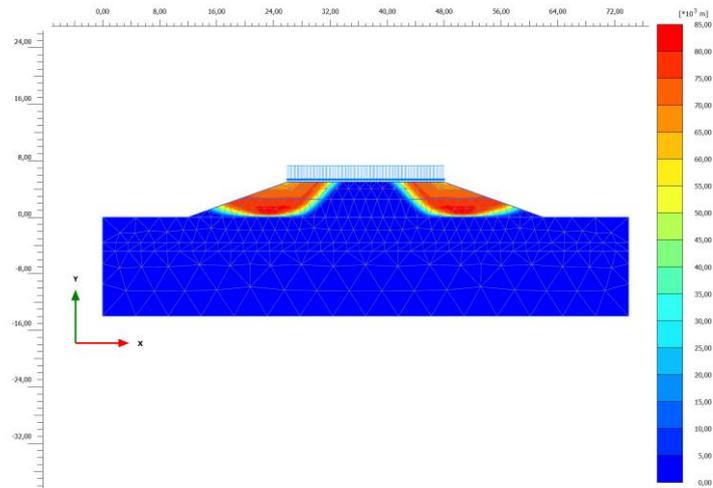
**Gambar L-3.19 Deformed Mesh Timbunan 5 m Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan**



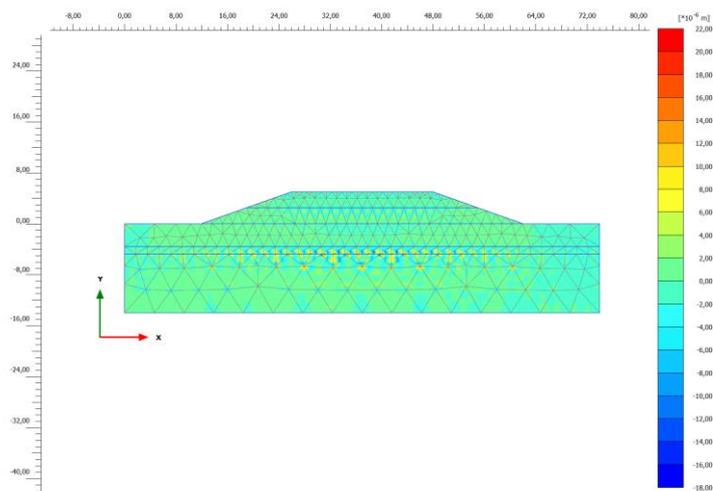
**Gambar L-3.20 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 5m Tanah Asli Akibat  
Beban Akhir Tanpa Perkuatan**



**Gambar L-3.21 *Total Displacement* Timbunan 5 m Dengan Beban Akhir  
Tanpa Perkuatan**

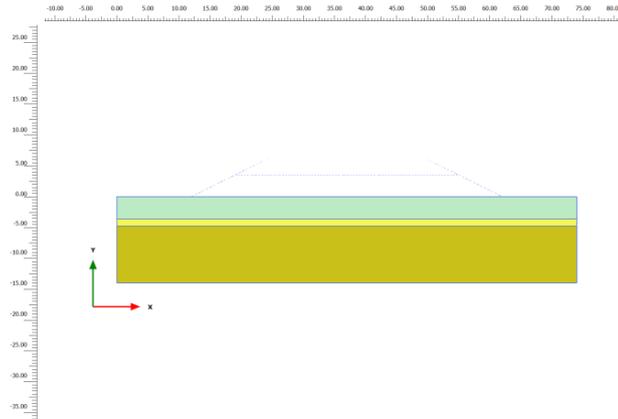


**Gambar L-3.22 Potensi Kelongsoran Timbunan 5m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**

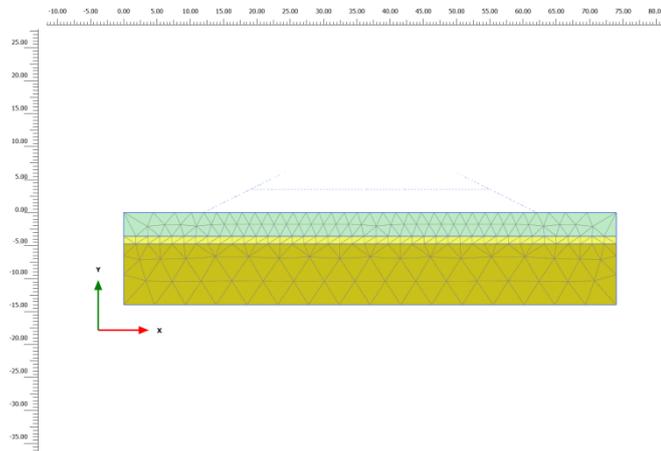


**Gambar L-3.23 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan 5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

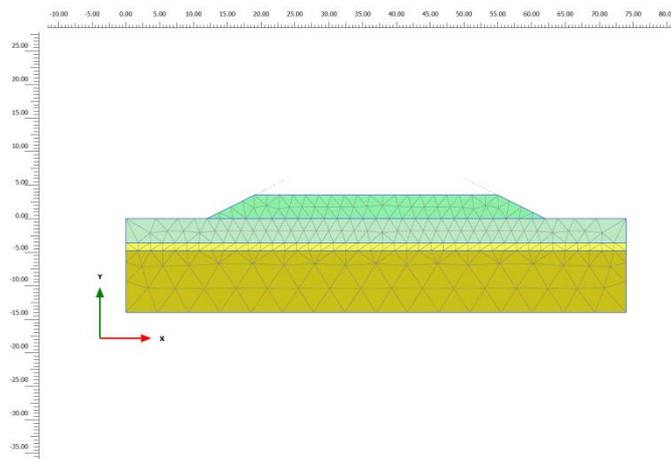
**Lampiran 4 Hasil Permodelan *Plaxis* Lereng Timbunan 7m Tanpa Perkuatan**



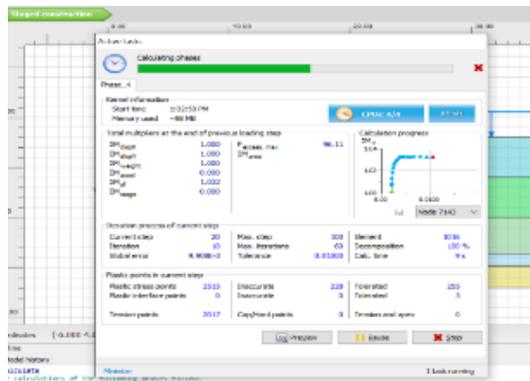
**Gambar L-4.1** Permodelan Lereng Timbunan 7 m Tanpa Perkuatan



**Gambar L-4.2** Permodelan *Generate Mesh* Timbunan 7 m Tanpa Perkuatan



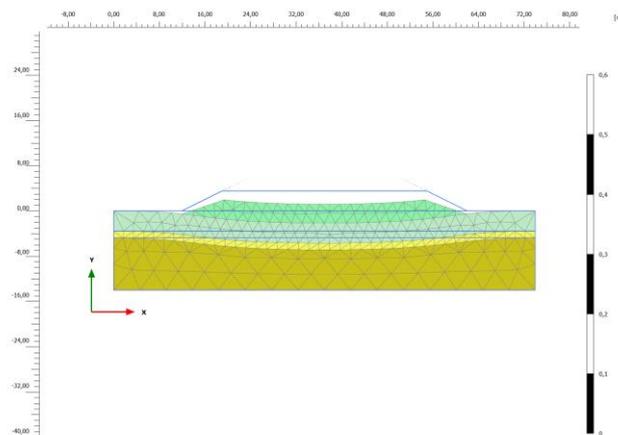
**Gambar L-4.3 Permodelan Timbunan Kedua Setinggi 3,5 m Tanpa Perkuatan**



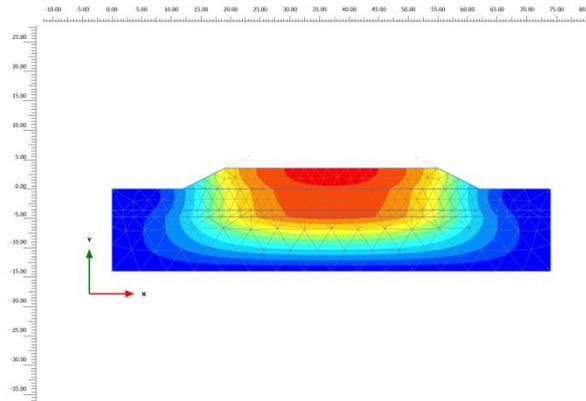
**Gambar L-4.4 Kalkulasi Timbunan Kedua Setinggi 3,5 m Tanpa Perkuatan**

Reached values	
Reached total time	2.000 day
CSP - Relative stiffness	0.06733E-15
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	73.45 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	6.380

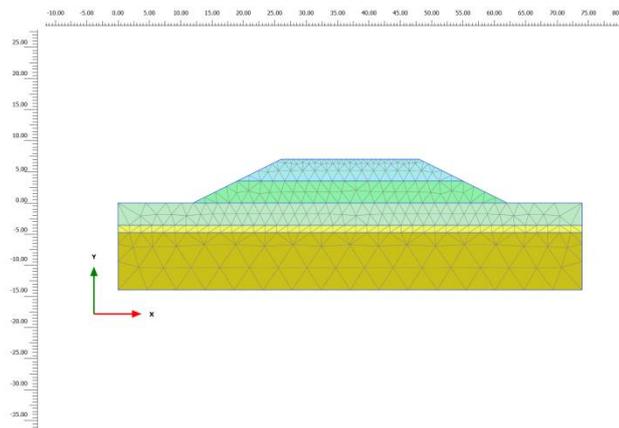
**Gambar L-4.5 Nilai SF Timbunan Kedua Setinggi 3,5 m Tanpa Perkuatan**



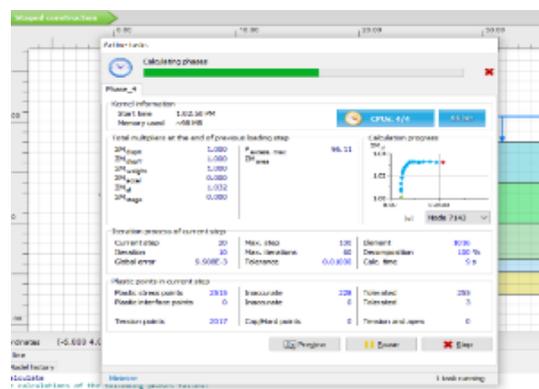
**Gambar L-4.6 Deformed Mesh Timbunan Kedua Setinggi 3,5 m Tanpa Perkuatan**



**Gambar L-4.7 Total Displacement Timbunan Kedua Setinggi 3,5 m Tanpa Perkuatan**



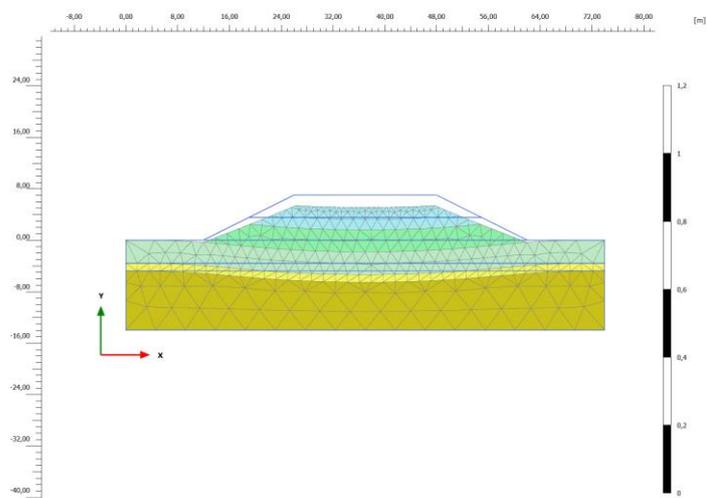
**Gambar L-4.8 Permodelan Timbunan 7 m Tanpa Perkuatan**



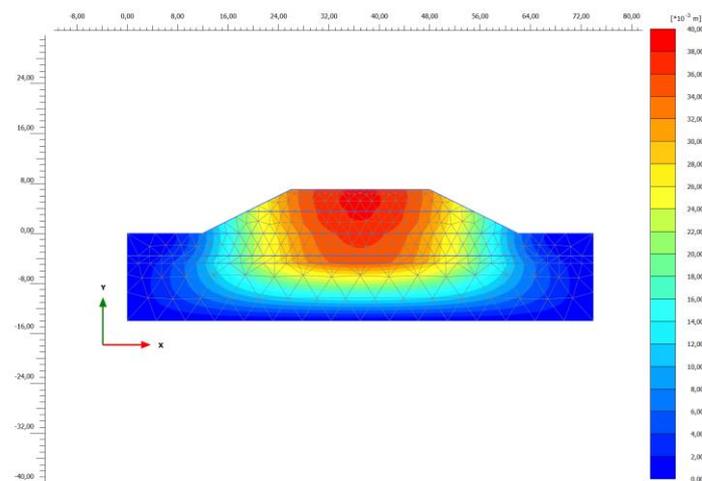
**Gambar L-4.9 Kalkulasi Timbunan 7 m Tanpa Perkuatan**

Reached values	
Reached total time	4.000 day
CSP - Relative stiffness	0.02169E-6
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	53.67 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	3.666

**Gambar L-4.10 Nilai SF Timbunan 7 m Tanpa Perkuatan**



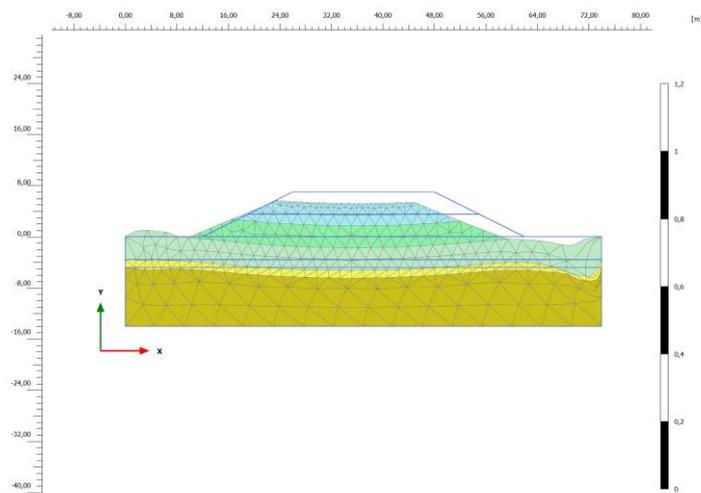
**Gambar L-4.11 Deformed Mesh Timbunan 7 m Tanpa Perkuatan**



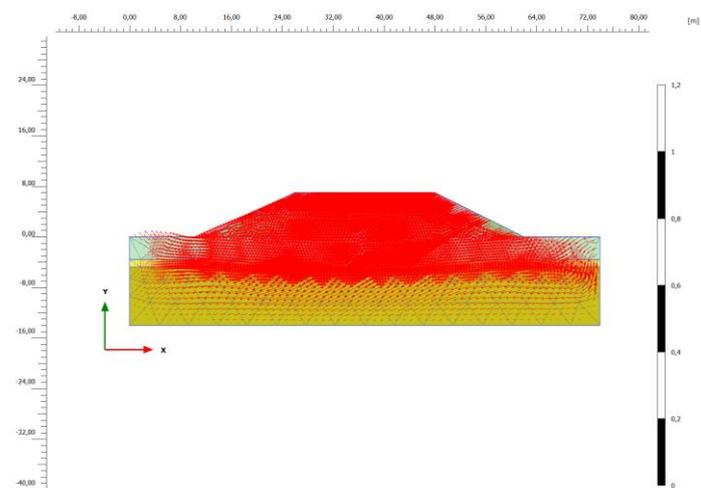
**Gambar L-4.12 Total Displacement Timbunan 7 m Tanpa Perkuatan**

Reached values	
Reached total time	4.000 day
CSP - Relative stiffness	-6.938E-9
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	185.2 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1.627

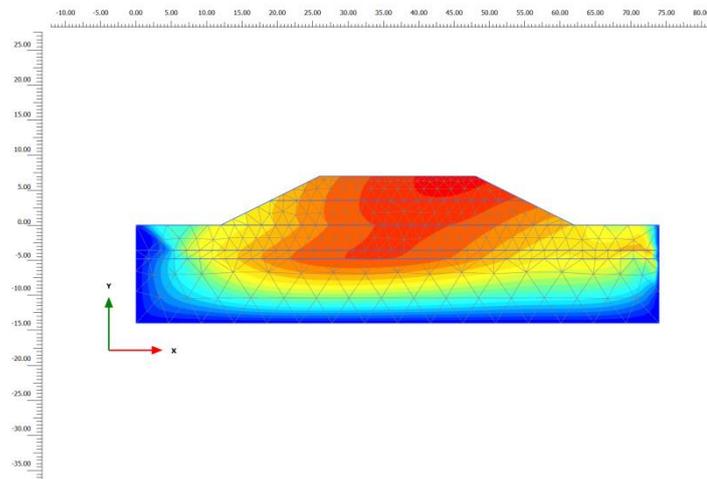
**Gambar L-4.13 Nilai SF Timbunan 7 m Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**



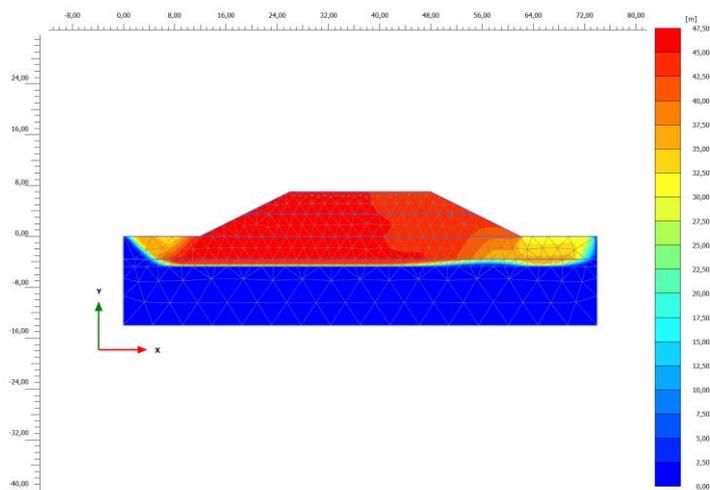
**Gambar L-4.14 Deformed Mesh Timbunan 7 m Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**



**Gambar L-4.15 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 7m Tanah Asli Akibat  
Beban Gempa Tanpa Perkuatan**



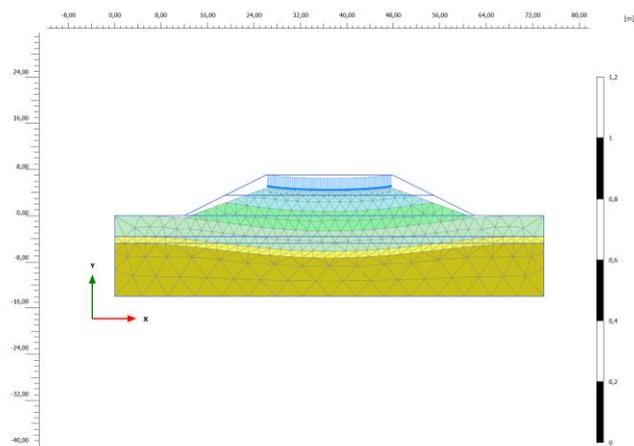
**Gambar L-4.16 Total Displacement Timbunan 7 m Dengan Beban Gempa  
Tanpa Perkuatan**



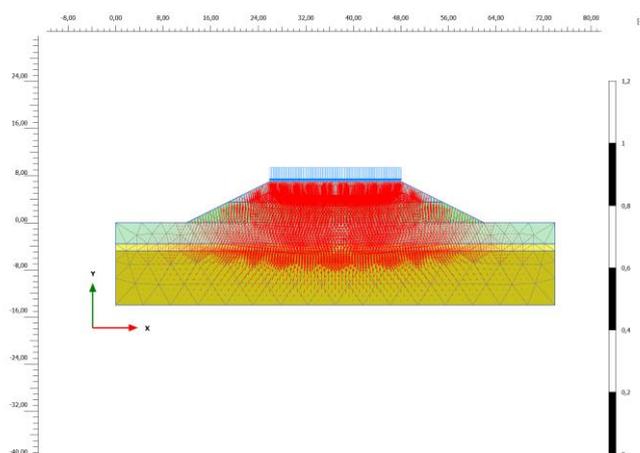
**Gambar L-4.17 Potensi Kelongsoran Timbunan 7m Tanah Asli Dengan  
Beban Gempa Tanpa Perkuatan**

Reached values	
Reached total time	4.000 day
CSP - Relative stiffness	0.07424E-12
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	76.70 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0.000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1.000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	2.145

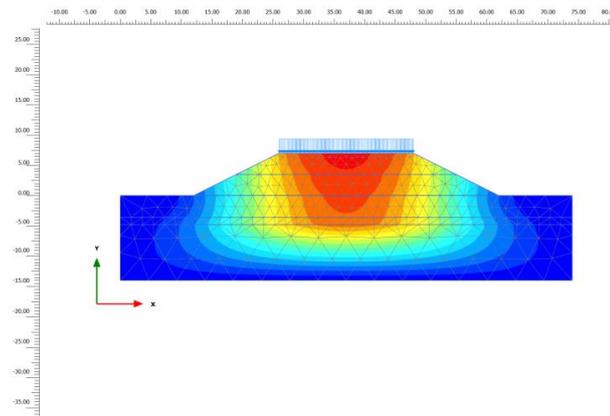
**Gambar L-4.18 Nilai SF Akhir Timbunan 7 m Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan**



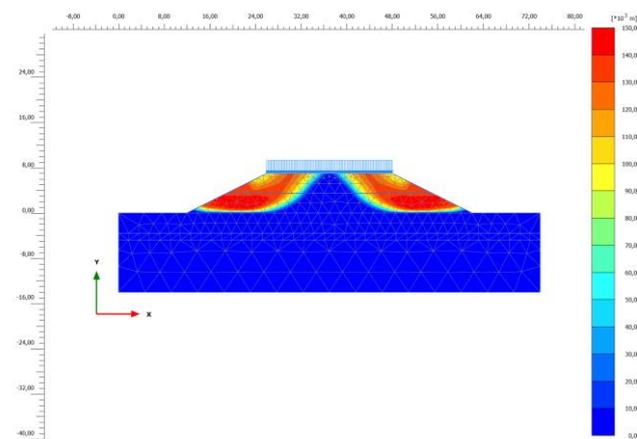
**Gambar L-4.19 Deformed Mesh Timbunan 7 m Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan**



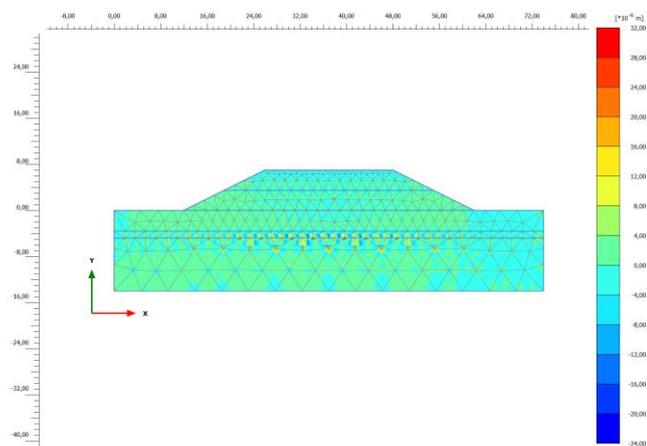
**Gambar L-4.20 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 7m Tanah Asli Akibat Beban Akhir Tanpa Perkuatan**



**Gambar L-4.21 Total Displacement Timbunan 7 m Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan**

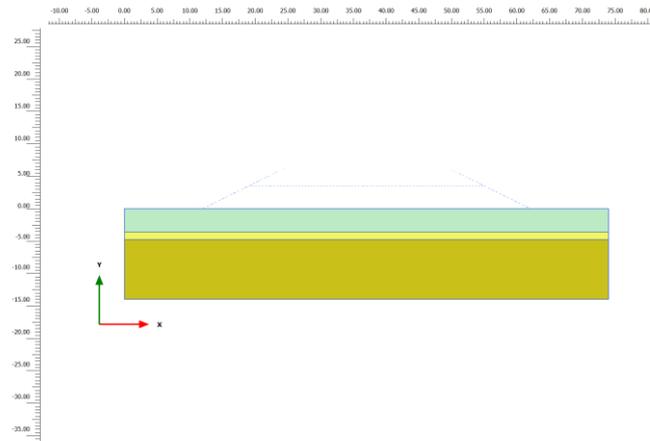


**Gambar L-4.22 Potensi Kelongsoran Timbunan 7m Tanah Asli Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan**

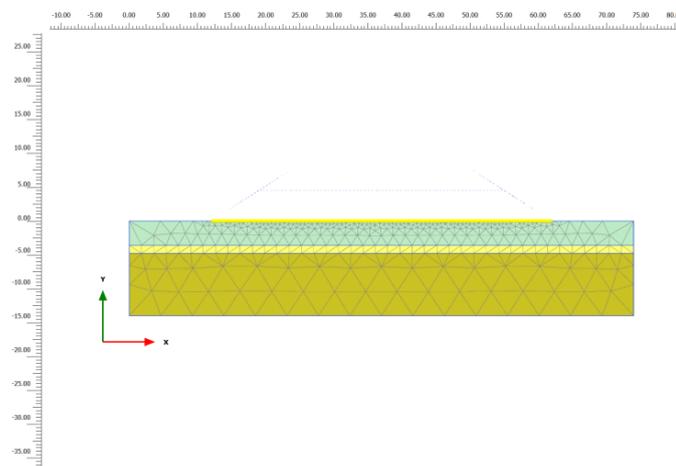


**Gambar L-4.19 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan 7m Tanah Asli Tanpa Perkuatan**

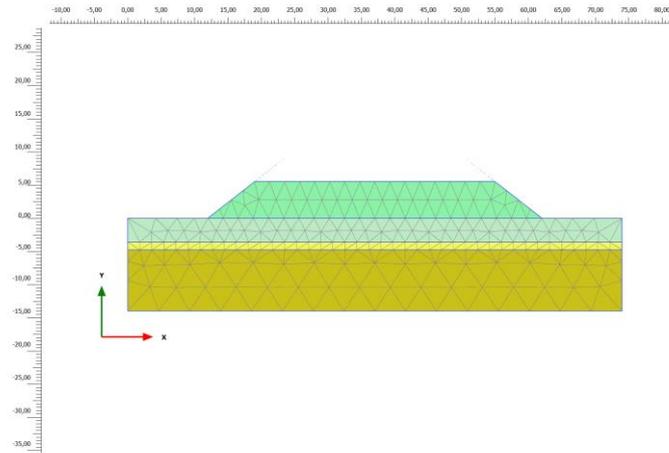
**Lampiran 5 Hasil Permodelan *Plaxis* Lereng Timbunan 11m Tanpa Perkuatan**



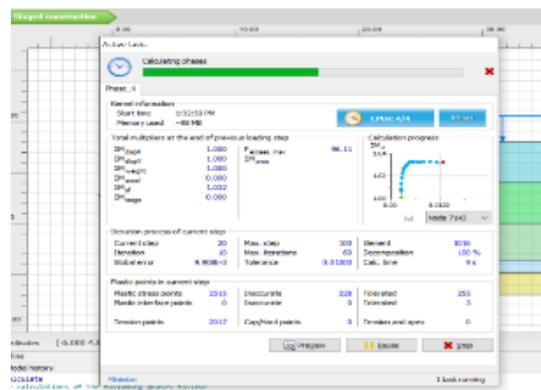
**Gambar L-5.1 Permodelan Lereng Timbunan 11m Tanpa Perkuatan**



**Gambar L-5.2 Permodelan *Generate Mesh* Timbunan 11m Tanpa Perkuatan**



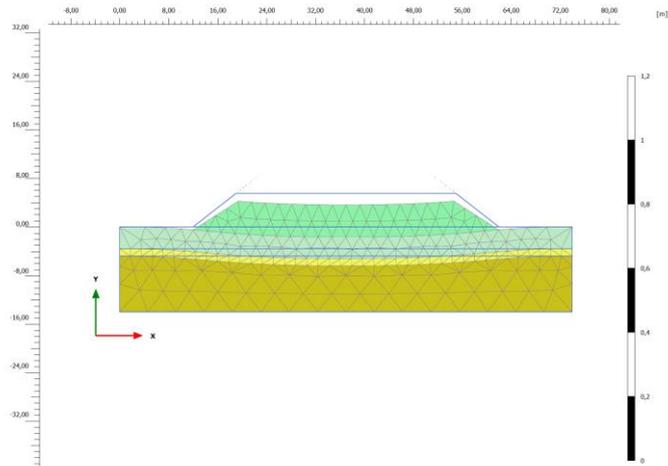
**Gambar L-5.3 Permodelan Timbunan Kedua Setinggi 5,5m Tanpa Perkuatan**



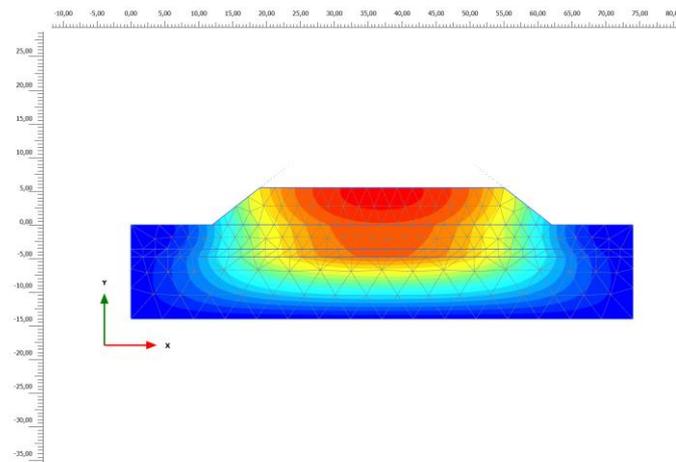
**Gambar L-5.4 Kalkulasi Timbunan Kedua Setinggi 5,5m Tanpa Perkuatan**

Reached values	
Reached total time	2,000 day
CSP - Relative stiffness	0,03812E-15
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	54,93 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	3,350

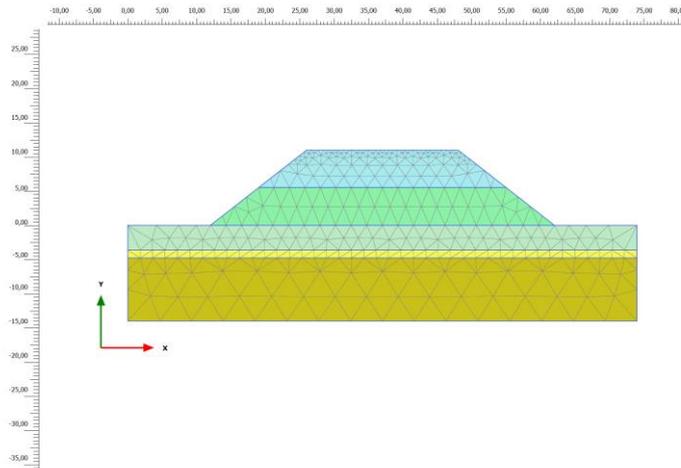
**Gambar L-5.5 Nilai SF Timbunan Kedua Setinggi 5,5m Tanpa Perkuatan**



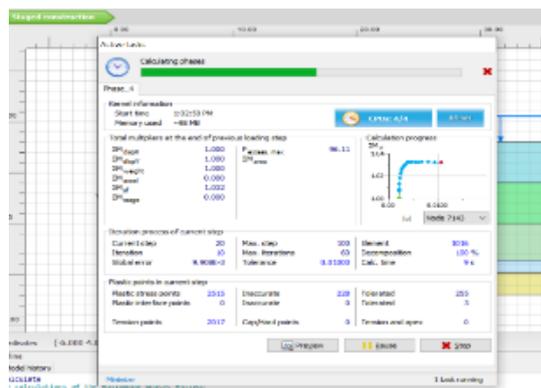
**Gambar L-5.6 Deformed Mesh** Timbunan Kedua Setinggi 5,5m Tanpa Perkuatan



**Gambar L-5.7 Total Displacement** Timbunan Kedua Setinggi 5,5m Tanpa Perkuatan



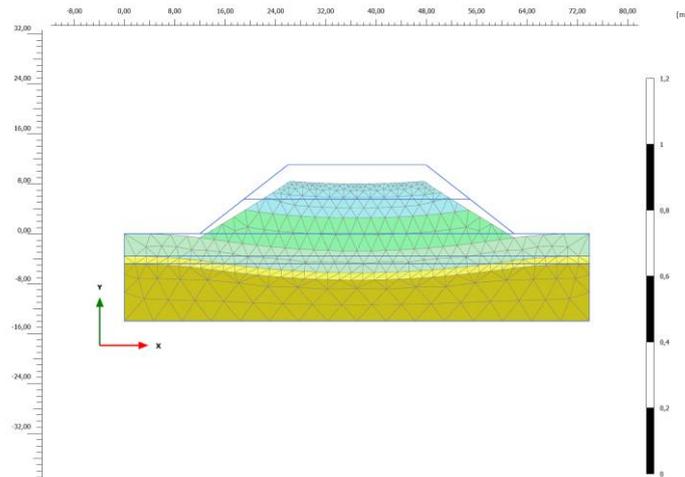
Gambar L-5.8 Permodelan Timbunan 11m Tanpa Perkuatan



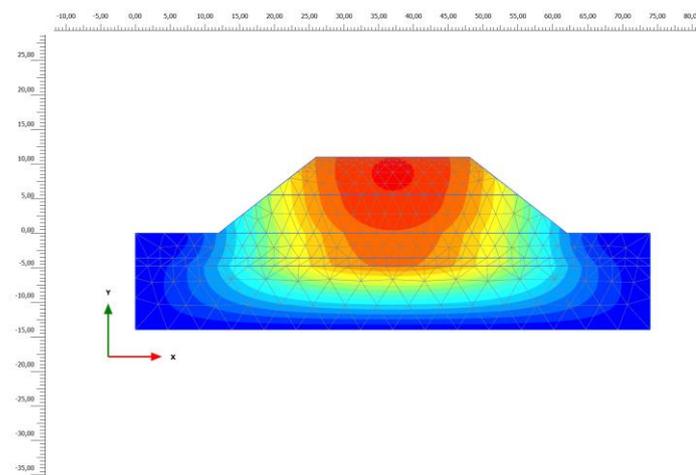
Gambar L-5.9 Kalkulasi Timbunan 11m Tanpa Perkuatan

Reached values	
Reached total time	4,000 day
CSP - Relative stiffness	0,02018E-9
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	68,58 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,843

Gambar L-5.10 Nilai SF Timbunan 11m Tanpa Perkuatan



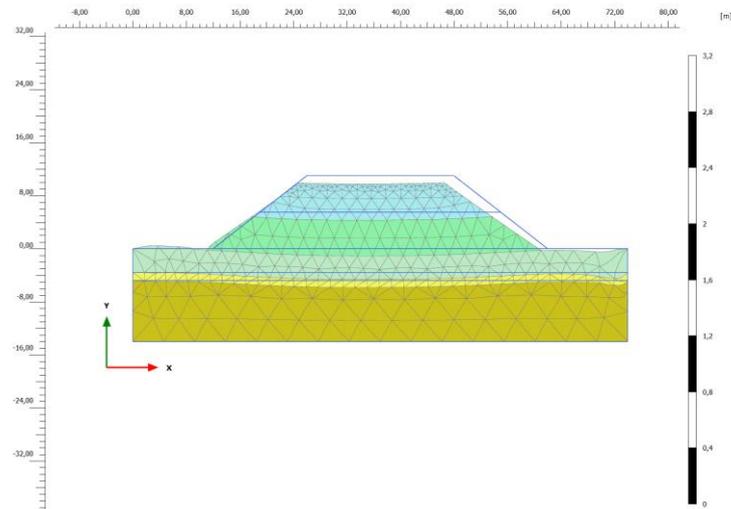
**Gambar L-5.11** *Deformed Mesh* Timbunan Setinggi 11m Tanpa Perkuatan



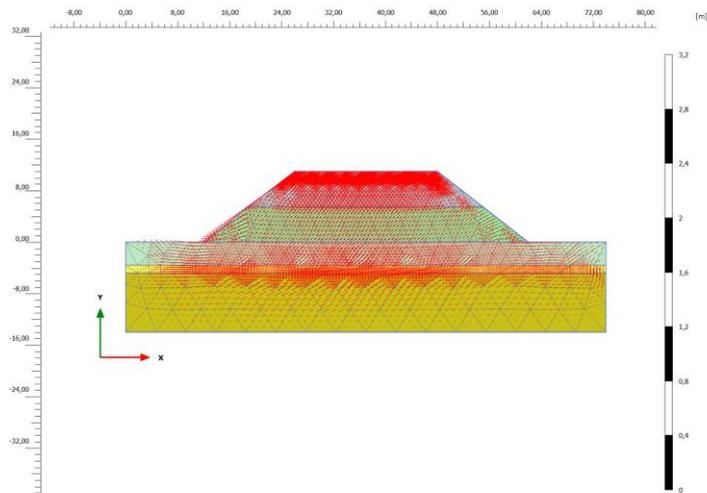
**Gambar L-5.12** *Total Displacement* Timbunan Setinggi 11m Tanpa Perkuatan

Reached values	
Reached total time	4,000 day
CSP - Relative stiffness	0,01005E-9
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	86,55 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,209

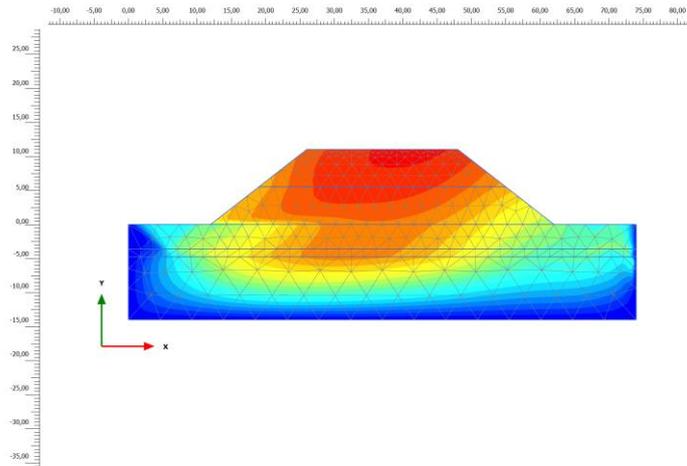
**Gambar L-5.13 Nilai SF Timbunan 11m Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**



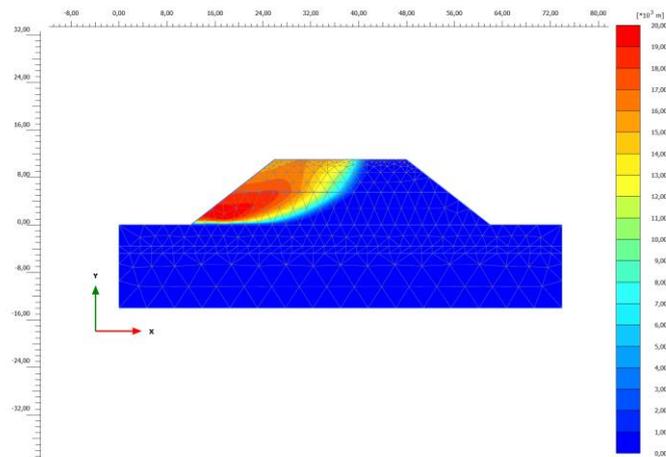
**Gambar L-5.14 Deformed Mesh Timbunan 11m Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**



**Gambar L-5.15 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 11m Tanah Asli Akibat Beban Gempa Tanpa Perkuatan**



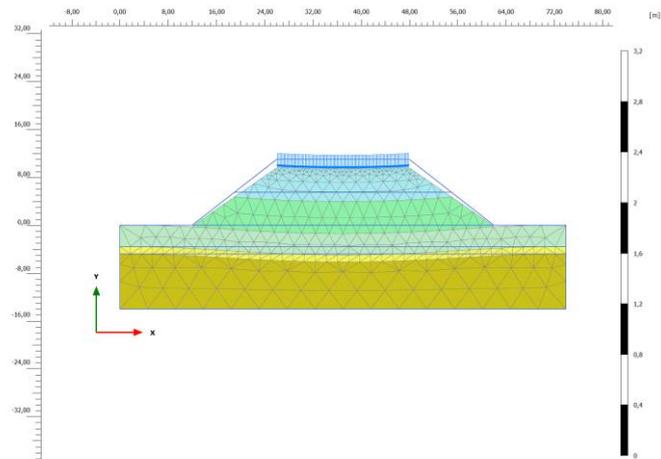
**Gambar L-5.16 Total Displacement Timbunan 11m Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**



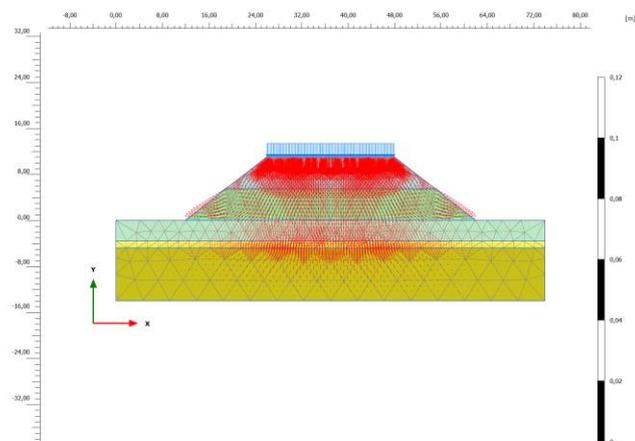
**Gambar L-5.17 Potensi Kelongsoran Timbunan 11m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Tanpa Perkuatan**

Reached values	
Reached total time	4,000 day
CSP - Relative stiffness	1,019E-9
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	123,1 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,359

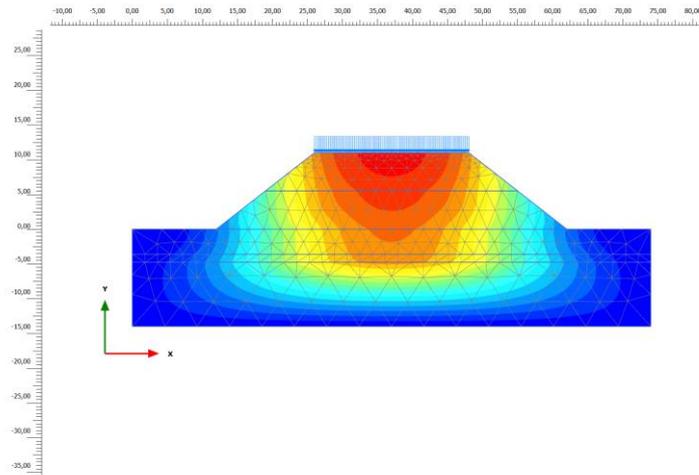
**Gambar 5.18 Nilai SF Timbunan 11m Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan**



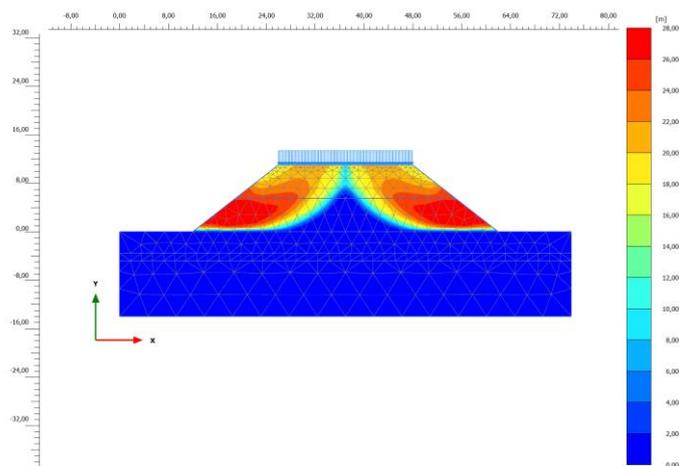
**Gambar L-5.19 Deformed Mesh Timbunan 11m Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan**



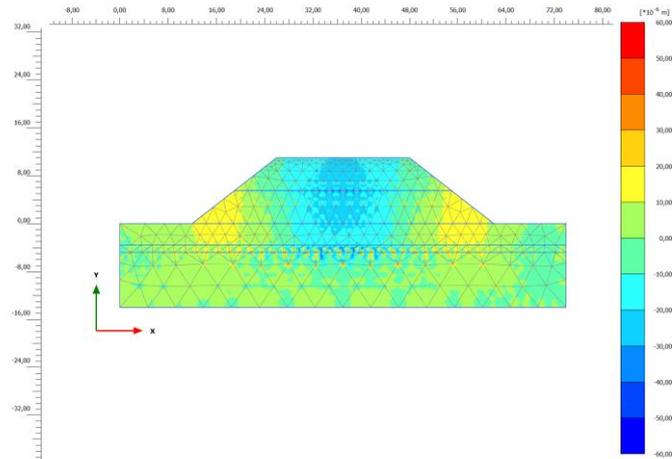
**Gambar L-5.20 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 11m Tanah Asli Akibat Beban Akhir Tanpa Perkuatan**



**Gambar L-5.21 *Total Displacement* Timbunan 11m Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan**

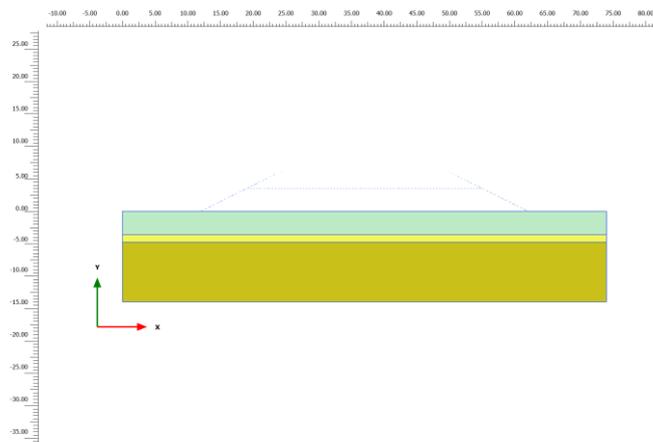


**Gambar L-5.22 *Potensi Kelongsoran* Timbunan 11m Tanah Asli Dengan Beban Akhir Tanpa Perkuatan**

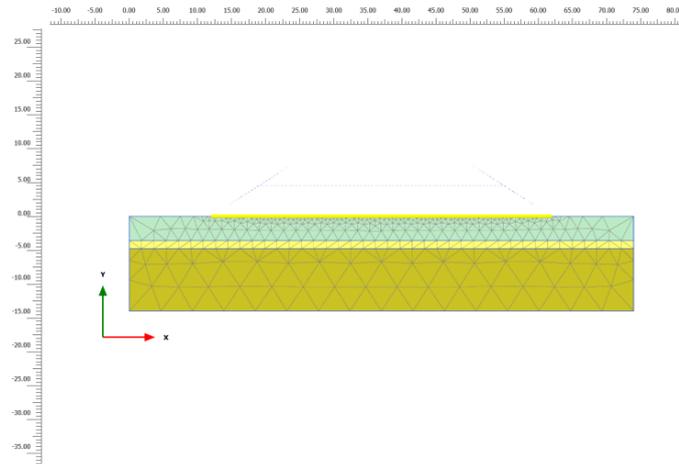


**Gambar L-5.23 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan 11m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Geotekstil**

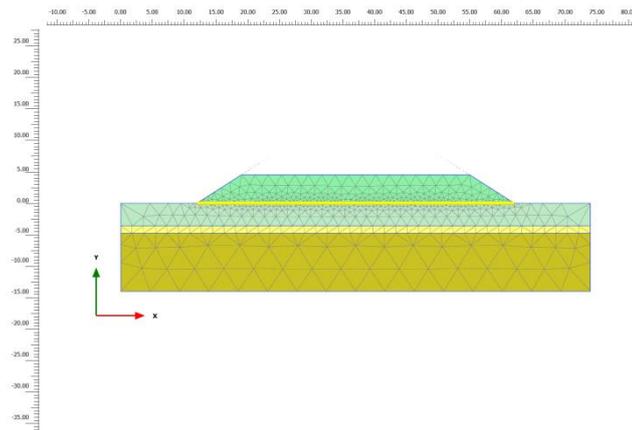
**Lampiran 6 Hasil Permodelan *Plaxis* Lereng Timbunan 11m Dengan Perkuatan**



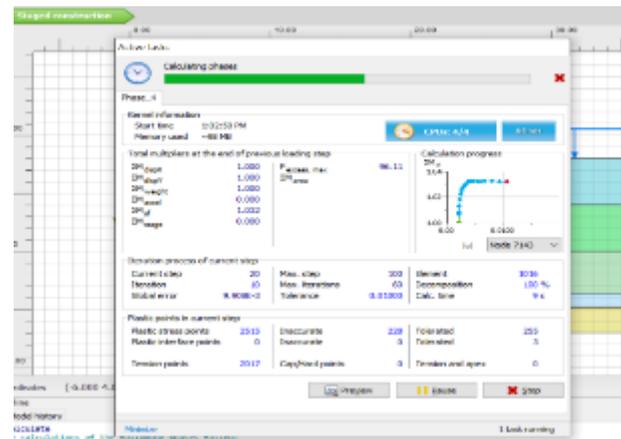
**Gambar L-6.1 Permodelan Lereng Timbunan 11m Dengan Perkuatan**



**Gambar L-6.2 Permodelan *Generate Mesh* Timbunan 11m Dengan Perkuatan**



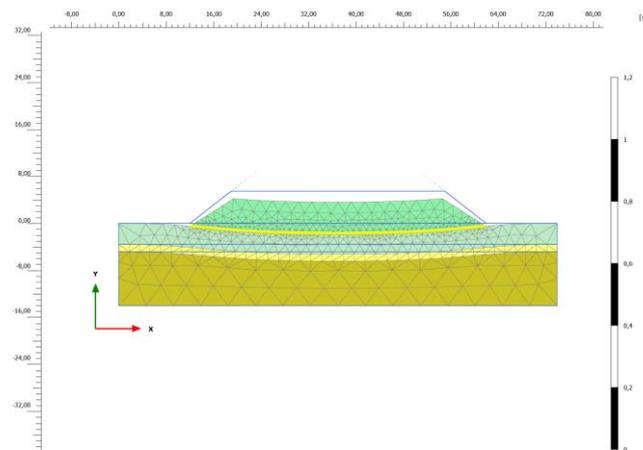
**Gambar L-6.3 Permodelan Timbunan Kedua Setinggi 5,5m Dengan Perkuatan**



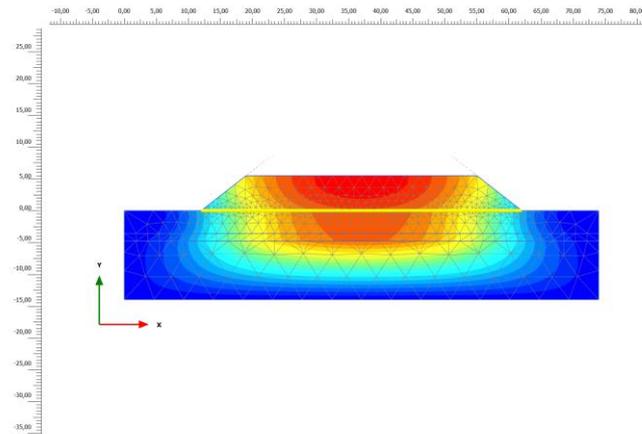
**Gambar L-6.4 Kalkulasi Timbunan Kedua Setinggi 5,5m Dengan Perkuatan**

Reached values	
Reached total time	4,000 day
CSP - Relative stiffness	2,470E-15
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	61,16 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	5,072

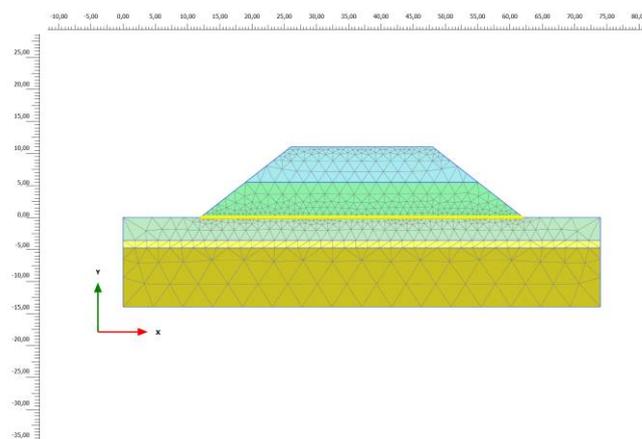
**Gambar L-6.5 Nilai SF Timbunan Kedua Setinggi 5,5m Dengan Perkuatan**



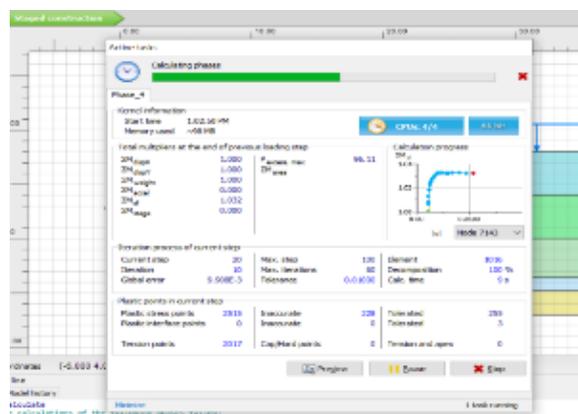
**Gambar L-6.6 Deformed Mesh Timbunan Kedua Setinggi 5,5m Dengan Perkuatan**



**Gambar L-6.7 Total Displacement Timbunan Kedua Setinggi 5,5m Dengan Perkuatan**



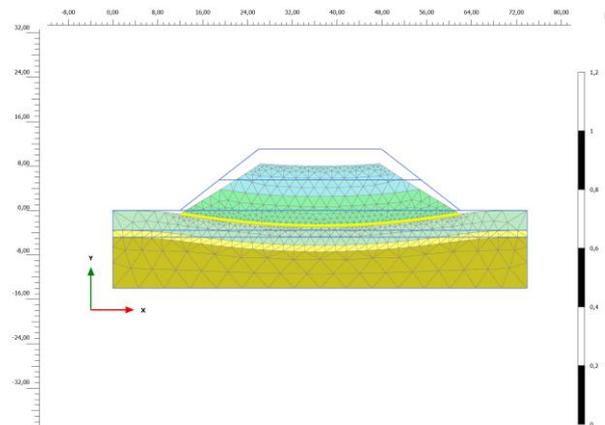
**Gambar L-6.8 Permodelan Timbunan 11m Dengan Perkuatan**



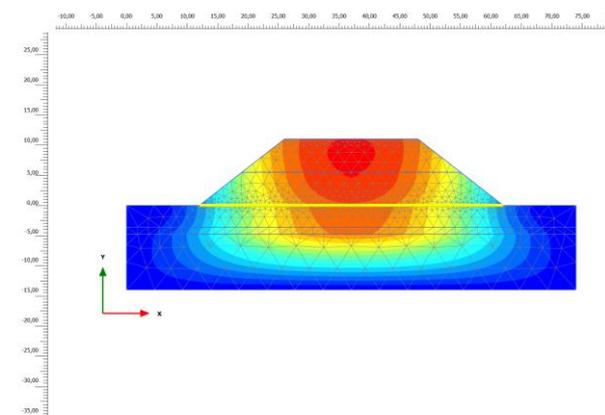
**Gambar L-6.9 Kalkulasi Permodelan Timbunan 11m Dengan Perkuatan**

Reached values	
Reached total time	5,000 day
CSP - Relative stiffness	0,1870E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	72,37 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	2,848

**Gambar L-6.10 Nilai SF Timbunan 11m Dengan Perkuatan**



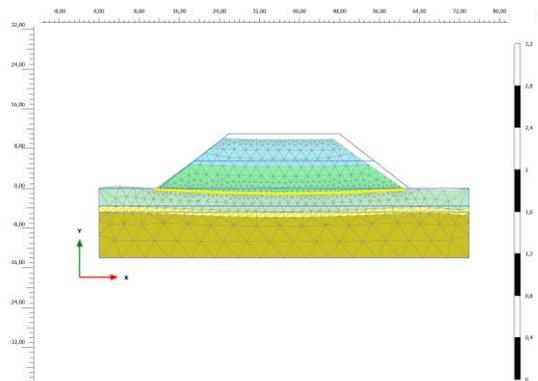
**Gambar L-6.11 Deformed Mesh Timbunan 11m Dengan Perkuatan**



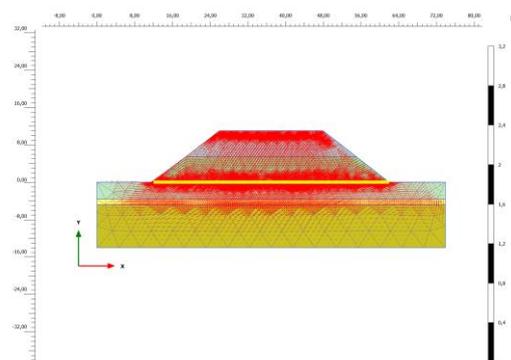
**Gambar L-6.12 Total Displacement 11m Dengan Perkuatan**

Reached values	
Reached total time	5,000 day
CSP - Relative stiffness	-0,8814E-9
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	214,0 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,537

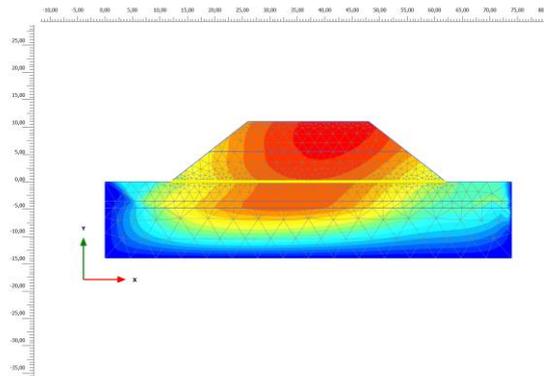
**Gambar L-6.13 Nilai SF Timbunan 11m Beban Gempa Dengan Perkuatan**



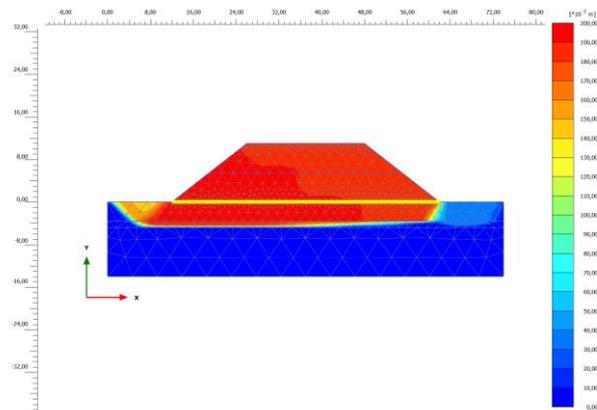
**Gambar L-6.14 Deformed Mesh Timbunan 11m Beban Gempa Dengan Perkuatan**



**Gambar L-6.15 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 11m Tanah Asli Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan**



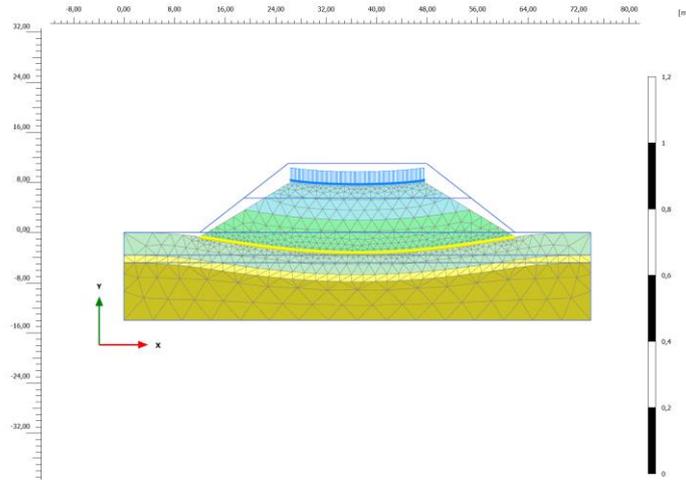
**Gambar L-6.16 Total Displacement Timbunan 11m Beban Gempa Dengan Perkuatan**



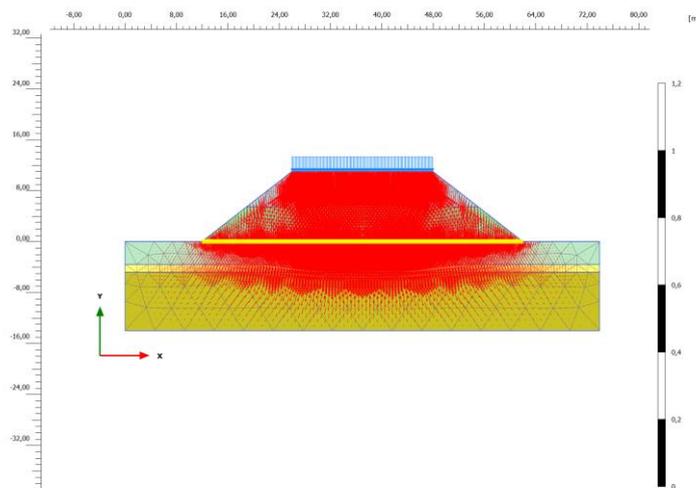
**Gambar L-6.17 Potensi Kelongsoran Timbunan 11m Tanah Asli Dengan Beban Gempa Dengan Perkuatan**

Reached values	
Reached total time	5,000 day
CSP - Relative stiffness	-0,3071E-9
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	85,06 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	2,336

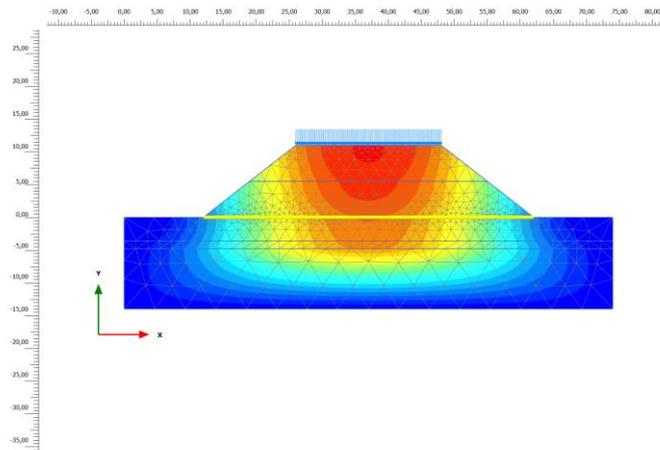
**Gambar L-6.18 Nilai SF Akhir Timbunan 11m Beban Akhir Dengan Perkuatan**



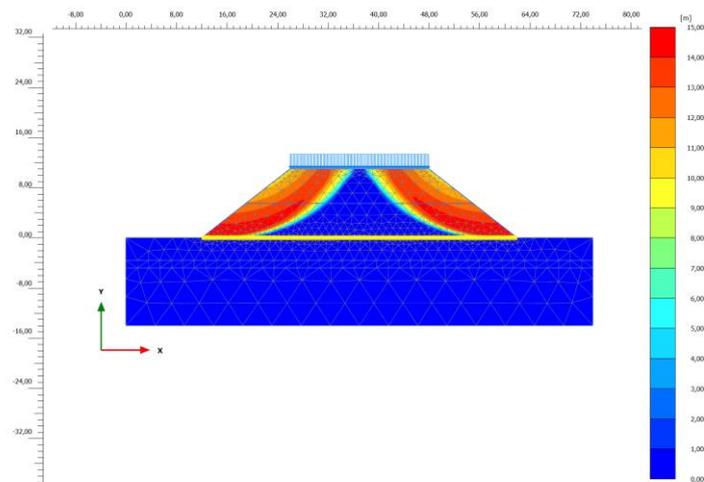
**Gambar L-6.19 Deformed Mesh Timbunan 11m Beban Akhir Dengan Perkuatan**



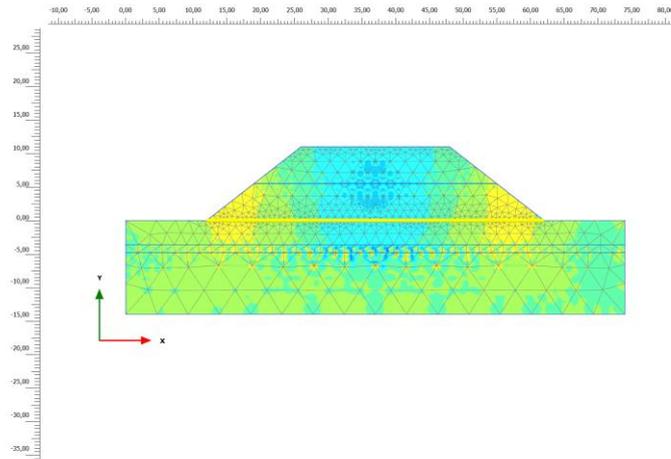
**Gambar L-6.20 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 11m Tanah Asli Beban Akhir Dengan Perkuatan**



**Gambar L-6.21 *Total Displacement* Timbunan 11m Beban Akhir Dengan Perkuatan**



**Gambar L-6.22 Potensi Kelongsoran Timbunan 11m Tanah Asli Beban Akhir Dengan Perkuatan**



**Gambar L-6.19 Penurunan Konsolidasi Lereng Timbunan 11m Tanah Asli  
Dengan Perkuatan Geotekstil**

