

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN PADA BADAN JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGUNAKAN PROGRAM *PLAXIS* (*ANALYSYS OF ROAD EMBANKMENT STABILITY WITH GEOTEXTILE USING PLAXIS PROGRAM*) (Studi Kasus: Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi I)

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



Liana Hayumi

16511093

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

2021

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 28 September 2021
Yang membuat pernyataan,

Liana Hayumi
(16511093)

TUGAS AKHIR
ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN PADA BADAN
JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL
MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS
(ANALYSIS OF ROAD EMBANKMENT STABILITY WITH
GEOTEXTILE USING PLAXIS PROGRAM)
(Studi Kasus: Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi I)

Disusun oleh

Liana Hayumi

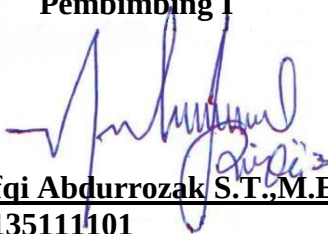
16511093

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

Diuji pada tanggal 2021

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I


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

Penguji I


Akhmad Marzuko, Ir., M.T.
NIK: 885110107

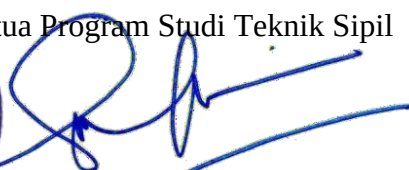
Penguji II


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

Mengesahkan,



Ketua Program Studi Teknik Sipil


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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Stabilitas Timbunan Pada Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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

1. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I,
2. Bapak Akhmad Marzuko, Ir., M.T. dan Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku penguji 1 dan penguji 2,
3. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia
4. Bapak Yohanis dan Ibu Ermayeni yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.

Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 28 September 2021
Penulis,

Liana Hayumi
(16511093)

ABSTRAK

Jalan Tol Padang – Pekanbaru merupakan bagian dari Jaringan Jalan Tol Trans Sumatera. Pada pelaksanaannya dilakukan pekerjaan timbunan pada badan jalan untuk meratakan kontur tanah yang ada di lokasi konstruksi. Dengan adanya penimbunan tanah, akan menimbulkan lereng timbunan baru yang perlu dianalisis kestabilannya. Dalam pengerjaannya, timbunan tanah juga diperkuat dengan geotekstil untuk meminimalisir terjadinya kelongsoran.

Penelitian ini dianalisis dengan permodelan variasi timbunan 4 meter, 6 meter, dan 8 meter dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis V20*. Untuk perhitungan pada kondisi tanah asli dianalisis dengan metode *fellenius*.

Hasil analisis stabilitas timbunan pada kondisi tanah asli dengan perkuatan menggunakan program *Plaxis V20* pada masa konstruksi didapatkan nilai angka keamanan pada timbunan 4 meter sebesar 1,893, timbunan 6 meter sebesar 1,637, dan timbunan 8 meter sebesar 1,622. Sedangkan pada paska konstruksi didapatkan nilai angka keamanan pada timbunan 4 meter sebesar 1,651, timbunan 6 meter sebesar 1,572, dan timbunan 8 meter sebesar 1,512.. Untuk analisis penurunan kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil pada analisis untuk perhitungan *excess pore water pressure* pada timbunan 4 meter penurunan mempunyai nilai sebesar 0,207 meter dengan waktu 88 hari, timbunan 6 meter mempunyai nilai sebesar 0,434 meter dengan waktu 104 hari, dan timbunan 8 meter mempunyai nilai sebesar 0,639 meter dengan waktu 131 hari.

Kata Kunci: Stabilitas, geotekstil, angka keamanan, penurunan konsolidasi, *Plaxis V.20*.

ABSTRACT

Padang – Pekanbaru Toll Road is a part of the Trans Sumatra Toll Road Network. In implementations, embankment work is carried out on the road to even out the contours of the land at the construction site. With the accumulation of soil, new embankment slopes will need to be analyzed for stability. In the process, the soil embankment is also reinforced with geotextiles to minimize the occurrence of landslides.

This study was analyzed by modeling embankment variations of 4 meters, 6 meters, and 8 meters with geotextile reinforcement using the Plaxis V20 program. For calculations on the original soil conditions were analyzed by the fellenius method.

The results of embankment stability analysis in the original soil condition with geotextile reinforcement using the Plaxis V20 program during the construction period obtained the safety factor for the 4-meter embankment without earthquake load of 1.893, the 6-meter embankment load of 1.637, and the 8-meter embankment load of 1.622. While in post-construction, the safety factor for the 4-meter embankment without earthquake loads of 1.651, the 6-meter embankment load of 1.572, and the 8-meter embankment load of 1.512. For the analysis settlement of the original soil condition with geotextile reinforcement for the calculation of excess pore water pressure on a 4-meter embankment, the settlement has a value of 0.207 meters with a time of 88 days, a 6-meter embankment has a value of 0.434 meters with a time of 104 days, and an 8-meter embankment has a value of 0.639 meters with a time of 131 days.

Key words: Stability, geotextile, safety factor, consolidation settlement, Plaxis V20

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.1.1 Pengaruh Penggunaan Geotekstil sebagai Perkuatan	5
2.1.2 Analisis Stabilitas Lereng pada Jalan Tanpa Perkuatan Geotekstil	6
2.1.3 Pengaruh Geotekstil terhadap Angka Keamanan dan Konsolidasi	6

2.1.4 Pengaruh Beban Gempa terhadap Faktor Aman (SF)	7
2.2 Keaslian Penelitian	8
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Tanah	12
3.1.1 Klasifikasi Tanah	13
3.2 Beban pada Timbunan Jalan	18
3.2.1 Beban Perkerasan Jalan	18
3.2.2 Beban Lalu Lintas	18
3.2.3 Beban Gempa	19
3.3 Lereng	20
3.3.1 Stabilitas Lereng	22
3.3.2 Angka Keamanan Lereng (<i>Safety Factor</i>)	23
3.3.3 Metode <i>Fellenius</i>	23
3.3.4 Perkuatan Lereng dengan Geotekstil	25
3.4 Konsolidasi	29
3.5 Geotekstil	33
3.5.1 Jenis Geotekstil	33
3.5.2 Mekanisme Kerja Geotekstil di Lapangan	35
3.6 <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 Tahapan Analisis	39
4.6 Bagan Alir	40
BAB V ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	42
5.1 Gambaran Umum	42

5.2 Data Penelitian	42
5.2.1 Data Parameter Tanah	43
5.2.2 Data Beban	43
5.2.3 Data Geotekstil	45
5.3 Analisis Stabilitas Timbunan	46
5.3.1 Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan	46
5.3.2 Metode <i>Fellenius</i>	49
5.3.3 Perhitungan Geotekstil	52
5.3.4 Timbunan Tanah Asli Dengan Perkuatan	56
5.4 Pembahasan	66
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	72
6.1 Kesimpulan	72
6.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu	9
Tabel 3.1	Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO	15
Tabel 3.2	Sistem Klasifikasi Tanah USCS	17
Tabel 3.3	Kisaran Faktor Keamanan (FS)	23
Tabel 5.1	Data Parameter Tanah	43
Tabel 5.2	Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas	44
Tabel 5.3	Data Geotekstil	45
Tabel 5.4	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli	49
Tabel 5.5	Hitungan Metode Fellenius	50
Tabel 5.6	Rekapitulasi Angka Keamanan Metode <i>Fellenius</i>	51
Tabel 5.7	Data Parameter Tanah	52
Tabel 5.8	Koefisien Daya Dukung Tanah	52
Tabel 5.9	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Geotekstile	56
Tabel 5.10	Rekapitulasi Angka Keamanan Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	67
Tabel 5.11	Rekapitulasi Hasil Perhitungan <i>Total Displacements</i> Dengan <i>Plaxis</i>	68
Tabel 5.12	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Angka Keamanan Dengan <i>Plaxis</i>	69
Tabel 5.13	Rekapitulasi Hasil Konsolidasi <i>Excess Pore Water Pressure</i>	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Potongan Peta Stasiun Pembangunan Jalan Tol Padang-Pekanbaru STA. 3+850 – 4+200	2
Gambar 3.1	Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar Indonesia dengan Periode Ulang 500 Tahun yang Terdapat dalam SNI 03-1726-2002	19
Gambar 3.2	Peta Zonasi Gempa Indonesia	20
Gambar 3.3	Keruntuhan Bidang Datar	21
Gambar 3.4	Keruntuhan Lingkaran	21
Gambar 3.5	Keruntuhan Kombinasi <i>Irregular</i> dan gabungan	22
Gambar 3.6	Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Irisan	24
Gambar 3.7	Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral	26
Gambar 3.8	Geotekstil Teranyam (<i>Woven</i>)	34
Gambar 3.9	Geotekstil Tidak Teranyam (<i>Non Woven</i>)	35
Gambar 3.10	Redistribusi Tekanan Roda pada Perkuatan Geotekstil	36
Gambar 4.1	Bagan Alir Penelitian	41
Gambar 5.1	Potongan Peta Stasiun Pembangunan Jalan Tol Padang-Pekanbaru STA. 3+850 – 4+200	42
Gambar 5.2	Potongan Melintang Jalan	43
Gambar 5.3	Peta Zonasi Gempa Indonesia	45
Gambar 5.4	Grafik Hubungan Antara Percepatan Dan Waktu	45
Gambar 5.5	Permodelan Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli	46
Gambar 5.6	<i>Meshing</i> Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli	47
Gambar 5.7	<i>Calculations</i> Dengan Lembar Tab General Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Saat Konstruksi	47

Gambar 5.8	<i>Slip Surface</i> Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Saat Konstruksi	48
Gambar 5.9	<i>Calculations</i> Dengan Lembar Tab General Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi	48
Gambar 5.10	<i>Slip Surface</i> Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi	48
Gambar 5.11	Penampang Irisan Pada Timbunan 4 meter	49
Gambar 5.12	Pembagian Zona Pada Tanah Timbunan	53
Gambar 5.13	Pemasangan Geotekstil Pada Setiap Zona	56
Gambar 5.14	Permodelan Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil	57
Gambar 5.15	<i>Meshing</i> Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil	58
Gambar 5.16	<i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Saat Konstruksi Tanpa Beban Gempa	59
Gambar 5.17	<i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa	59
Gambar 5.18	<i>Total Displacements</i> Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Saat Konstruksi Tanpa Beban Gempa	60
Gambar 5.19	<i>Total Displacements</i> Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa	60
Gambar 5.20	Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Saat Konstruksi Tanpa Beban Gempa	61
Gambar 5.21	Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa	61

Gambar 5.22	Grafik <i>Safety Factor</i> Tanah Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Saat Konstruksi	62
Gambar 5.23	Grafik <i>Safety Factor</i> Tanah Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi	62
Gambar 5.24	<i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Saat Konstruksi Dengan Beban Gempa	63
Gambar 5.25	<i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa	63
Gambar 5.26	<i>Total Displacements</i> Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Saat Konstruksi Dengan Beban Gempa	64
Gambar 5.27	<i>Total Displacements</i> Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa	64
Gambar 5.28	Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Saat Konstruksi Dengan Beban Gempa	65
Gambar 5.29	Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Saat Konstruksi Dengan Beban Gempa	65
Gambar 5.30	Grafik Perhitungan Penurunan <i>Excess Pore Water Pressure</i> pada Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil	66
Gambar 5.31	Grafik Perhitungan Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	67
Gambar 5.32	Grafik Perhitungan <i>Total Displacements</i>	68
Gambar 5.33	Grafik Perhitungan Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli dengan Geotekstil Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	69
Gambar 5.34	Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli dan Tanah Asli dengan Geotekstil	70
Gambar 5.35	Grafik Hasil Penurunan <i>Excess Pore Water Pressure</i>	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Penyelidikan Tanah	78
Lampiran 2	Data Geotekstil	82
Lampiran 3	Hasil Permodelan Menggunakan Plaxis Pada Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli	83
Lampiran 4	Hasil Permodelan Menggunakan Plaxis Pada Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli	85
Lampiran 5	Hasil Permodelan Menggunakan Plaxis Pada Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	87
Lampiran 6	Hasil Permodelan Menggunakan Plaxis Pada Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	96

DAFTAR NOTASI

R	= jari-jari lingkaran bidang longsor (m)
n	= jumlah irisan
θ_i	= sudut
F	= Faktor Aman
c	= Kohesi Tanah (kN/m^2)
φ	= sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)
a_i	= panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-I (m)
W_i	= berat irisan tanah ke-I (kN/m^2)
U_i	= tekanan air pori pada irisan ke-I (kN/m^2)
S_v	= jarak tulangan arah vertikal (m)
$T_{\text{allowable}}$	= kuat Tarik geotekstil <i>allowable</i> ($\text{t/m}'$)
SF	= faktor aman
σ_{hci}	= tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m^2)
q	= beban merata (kN/m^2)
K_a	= koefisien tanah aktif
H_1	= tinggi antar lapis geotekstil (m)
L_0	= panjang geotekstil <i>overlapping</i> (m)
γ_b	= berat volume tanah (kN/m^3)
Z_i	= kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah (m)
L_{ef}	= panjang efektif geotekstil (m)
$N_c N_q N_\gamma$	= faktor kapasitas dukung
S	= penurunan total
S_i	= penurunan segera
S_c	= penurunan konsolidasi primer
S_s	= penurunan konsolidasi sekunder

γ_{sat}	= berat volume tanah jenuh
γ_{unsat}	= berat volume tanah alami
γ_w	= berat volume air
ν	= <i>poisson ratio</i>
$k_x = k_y$	= permeabilitas
E	= modulus elastisitas
PGA	= percepatan puncak gempa (g)
T	= kuat Tarik ijin (kN/m)
ϵ	= regangan (%)
EA	= kekakuan normal (kN/m)
M_R	= momen menahan
M_D	= momen menggerakkan
C_r	= indeks pemampatan kembali
C_c	= indeks pemampatan
H	= tebal lapisan tanah
p_c'	= tekanan prakonsolidasi
e_o	= angka pori awal
Δp	= tambahan tegangan akibat beban fondasi
p_0'	= tekanan <i>overburden</i> efektif mula-mula sebelum dibebani
V	= volume awal
H	= tebal lapisan tanah awal
ΔV	= perubahan volume
ΔH	= perubahan tebal
e_o	= angka pori awal
e_1	= angka pori pada perubahan volume tertentu
Δe	= perubahan angka pori

BAB 1

PENDAHULUAN

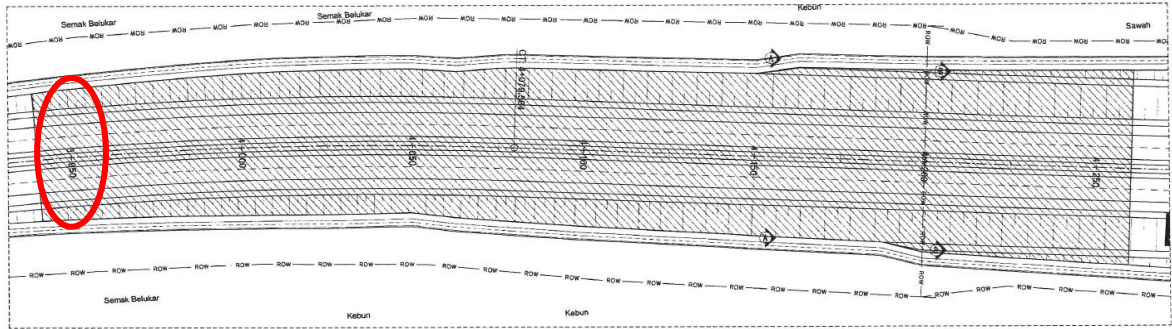
1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan sarana transportasi yang digunakan untuk menghubungkan daerah satu ke daerah yang lainnya. Jalan mempunyai peran penting dalam pembangunan dan perekonomian di Indonesia, sehingga jalan semakin banyak dibangun oleh pemerintah agar daerah-daerah yang ada di Indonesia dapat mengalami kemajuan dan perkembangan secara merata. Pulau Sumatera adalah salah satu pulau di Indonesia dengan beragam potensi alam dan komoditas yang melimpah, sehingga dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan ekonomi nasional. Untuk menghubungkan pusat-pusat pertumbuhan ekonomi diperlukan sarana transportasi yang berupa Jalan Tol.

Jalan Tol Trans Sumatera merupakan jaringan tol yang digunakan untuk sarana penghubung antardaerah di Sumatera yang terbentang dari Provinsi Lampung hingga Aceh. Salah satu pembangunan infrastruktur jalan di Jaringan Jalan Tol Trans Sumatera ini adalah Jalan Tol Padang – Pekanbaru yang pembangunannya terbagi kedalam 6 seksi. Lokasi penelitian yang akan ditinjau yaitu pada seksi 1 Sicincin – Lubuk Alung - Padang sepanjang 28 kilometer. Pada pelaksanaannya dilakukan pekerjaan timbunan pada badan jalan untuk meratakan kontur tanah yang ada di lokasi konstruksi.

Lokasi pekerjaan yang akan ditinjau bertempat di seksi 1 Sicincin – Lubuk Alung – Padang STA. 3+850 dan termasuk daerah perkebunan. Pada proses pengerjaannya dilakukan pekerjaan timbunan tanah dengan tinggi penimbunan mempunyai ketebalan yang cukup tinggi yaitu antara ± 1 meter hingga 8 meter dari permukaan tanah asli. Penimbunan tanah tersebut bertujuan untuk membentuk badan jalan yang sesuai dengan gambar yang telah didesain. Secara geoteknik, tanah di daerah tersebut

merupakan tanah dengan jenis *clay* (lempung). Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1 di bawah ini.



**Gambar 1.1 Potongan Peta Stasiun Pembangunan Jalan Tol Padang-Pekanbaru
STA. 3+850 – 4+200**

(Sumber: PT. Hutama Karya, 2019)

Proses pembangunan jalan tol Padang – Pekanbaru ini dilakukan timbunan pada badan jalan dengan perkuatan geotekstil untuk meningkatkan daya dukung tanah. Pada penelitian ini, dilakukan suatu analisis stabilitas timbunan pada badan jalan dengan menggunakan program *Plaxis V20*. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui besarnya angka aman pada timbunan badan jalan supaya perkuatan dapat efektif dan berfungsi secara optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana stabilitas timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 4 meter, 6 meter, dan 8 meter tanpa perkuatan?
2. Bagaimana besar penurunan pada tanah dengan variasi tinggi timbunan 4 meter, 6 meter, dan 8 meter tanpa perkuatan?
3. Bagaimana stabilitas timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 4 meter, 6 meter, dan 8 meter setelah dilakukan perkuatan dengan geotekstil?
4. Bagaimana besar penurunan pada tanah dengan variasi tinggi timbunan 4 meter, 6 meter, dan 8 meter setelah dilakukan perkuatan dengan geotekstil?

5. Bagaimana pengaruh penambahan geotekstil dalam meningkatkan stabilitas timbunan?
6. Bagaimana pengaruh penambahan geotekstil dalam mengurangi penurunan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari uraian latar belakang dan rumusan masalah tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. mengetahui hasil angka aman (*safety factor*) tanah timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 4 meter, 6 meter, dan 8 meter tanpa perkuatan,
2. mengetahui besar penurunan pada tanah dengan variasi tinggi timbunan 4 meter, 6 meter, dan 8 meter,
3. mengetahui hasil angka aman (*safety factor*) tanah timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 4 meter, 6 meter, dan 8 meter setelah dilakukan perkuatan dengan geotekstil,
4. mengetahui besar penurunan pada tanah dengan variasi tinggi timbunan 4 meter, 6 meter, dan 8 meter setelah dilakukan perkuatan dengan geotekstil,
5. mengetahui pengaruh penambahan geotekstil dalam meningkatkan stabilitas timbunan, dan
6. mengetahui pengaruh penambahan geotekstil dalam mengurangi penurunan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang bisa diperoleh, yaitu:

1. mengetahui perkuatan yang paling efektif dan aman pada tanah timbunan badan jalan di proyek Jalan Tol Padang – Pekanbaru seksi 1 STA 3+850,
2. memberikan pengetahuan dalam pengoperasian program *Plaxis V20*, dan
3. memberikan alternatif desain untuk peneliti selanjutnya pada kasus yang sama.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian yang dilakukan harus terarah dan tidak menyimpang dari topik bahasan, sehingga diperlukan batasan – batasan sebagai berikut:

1. data tanah asli yang digunakan adalah laporan analisis geoteknik proyek Jalan Tol ruas Padang – Pekanbaru seksi 1 Sicincin – Lubuk Alung – Padang dari PT. Utama Karya Infrastruktur tahun 2019,
2. beban lalu lintas, (panduan geoteknik 4 pt-t-10-2002-b, july 2002”).
3. kemiringan lereng yaitu 1v : 3h,
4. beban gempa diperhitungkan dengan menggunakan data gempa kawasan Whittier Narrows, California (1987) untuk perhitungan *displacements*,
5. beban gempa tidak diperhitungkan untuk perhitungan angka keamanan,
6. program *Plaxis* yang digunakan adalah *Plaxis V20*,
7. muka air tanah dipertimbangkan berdasar data di lapangan, dan
8. geotekstil yang digunakan jenis woven dengan kuat Tarik = 60 kN/m.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu memiliki peran yang penting sebagai acuan dalam penyusunan sebuah penelitian yang akan dilakukan. Peneliti terdahulu bertujuan agar penelitian yang dilakukan oleh penulis saat ini merupakan penelitian yang benar-benar baru dan bebas plagiasi. Berikut ini merupakan uraian dari beberapa penelitian terdahulu. Penelitian yang

2.1.1 Pengaruh Penggunaan Geotekstil sebagai Perkuatan

Lubis dan Lubis (2019) melakukan penelitian mengenai evaluasi perbaikan tanah menggunakan geotekstil untuk meningkatkan stabilitas tanah lapisan subgrade pekerjaan jalan. Lokasi penelitian yang dilakukan pada konstruksi jalan tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi, Parbarakan-Lubuk Pakam STA 42+750-STA 47+600. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan stabilitas tanah dasar menggunakan geotekstil *non woven* dengan geotekstil *polypropylene woven*. Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan yaitu kekuatan Tarik geotekstil *non woven* 20 kN/m diperlukan 1 lapis geotekstil, sedangkan kekuatan Tarik geotekstil *polypropylene woven* 30 kN/m diperlukan 2 lapis geotekstil. Oleh karena di lokasi penelitian memiliki kadar air tanah yang cukup tinggi sehingga mengharuskan menggunakan geotekstil sebagai bahan perkuatan, timbunan tidak dapat langsung dikerjakan dan dibutuhkan material geotekstil sebagai separator agar pada saat pengerjaan timbunan badan jalan akses tidak terjadi pencampuran material tanah dasar.

Penelitian ini pernah dilakukan oleh Azizah dkk. (2014) mengenai penggunaan geotekstil pada lereng sungai. Studi kasus penelitian ini adalah Sungai Gajah Putih Surakarta. Hasil dari penelitian ini yaitu adanya pengaruh perubahan posisi muka air

tanah, penambahan beban hidup, dan variasi jarak geotekstil yang diberikan berpengaruh terhadap faktor keamanan pada lereng sungai Gajah Putih Surakarta.

2.1.2 Analisis Stabilitas Lereng pada Jalan Tanpa Perkuatan Geotekstil

Penelitian dilakukan oleh Nggebu dkk. (2019) mengenai analisis kestabilan lereng dengan studi kasus di ruas jalan Manado-Tomohon km 15. Penelitian ini didasarkan karena pada ruas jalan Trans Manado-Tomohon terdapat lereng yang cukup curam sehingga sering terjadi longsor pada saat musim hujan dan menyebabkan sebagian jalan tertutupi oleh tanah. Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mendapatkan nilai faktor keamanan lereng dengan pengaruh fluktuasi muka air tanah dan gempa dengan variasi kemiringan lereng agar dapat dilakukannya penanganan yang sesuai untuk permasalahan kestabilan lereng di ruas jalan tersebut. Kesimpulan dari penelitian ini adalah hasil analisis kestabilan lereng di Jalan Raya Manado-Tomohon Km 15 dalam keadaan kritis karena lereng curam, sehingga faktor keamanan lereng tersebut kecil dan peluang terjadinya kelongsoran tinggi.

2.1.3 Pengaruh Geotekstil terhadap Angka Keamanan dan Konsolidasi

Penelitian dilakukan oleh Suryadinullah (2018) dengan studi kasus pada ruas Jalan Tol Terbanggi Besar – Pemantang Panggang STA 3+650. Analisis ini dilakukan dengan variasi timbunan 2 m, 4 m, 6 m, dan 8 m menggunakan metode perbaikan tanah (*replacement*) dan perkuatan geotekstil. Tujuan dilakukan penelitian ini untuk mengetahui nilai angka aman dan besar penurunan (konsolidasi) pada variasi tinggi timbunan 2 m, 4 m, 6 m, dan 8 m dengan kondisi tanah asli dan perkuatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi tanah asli timbunan 2 m dan 4 m masa konstruksi dan paska konstruksi mempunyai nilai angka aman yang lebih besar dari 1,3. Timbunan 6 m kondisi tanah asli pada masa konstruksi mempunyai nilai angka aman lebih besar dari 1,3 sedangkan pada paska konstruksi nilai angka aman lebih kecil dari 1,3. Timbunan 8 m kondisi tanah asli pada masa konstruksi dan paska konstruksi mempunyai angka aman lebih kecil dari 1,3. Setelah ditambah perkuatan dengan geotekstil angka aman dapat meningkat pada kondisi tanah asli maupun diberikan *replacement*. Hasil konsolidasi yang didapat setelah adanya penambahan perkuatan

dengan geotekstil pada kondisi tanah asli maupun diberikan replacement dapat mengurangi nilai penurunan pada timbunan jalan yang dianalisis.

Penelitian dilakukan oleh Surachmat, dkk. (2019) mengenai perbandingan besar penurunan dengan atau tidak menggunakan geotekstil dengan memperhatikan faktor keamanan terhadap berbagai kedalaman muka air tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan geotekstil dapat mengurangi penurunan pada tanah dasar bila dibandingkan dengan tidak menggunakan geotekstil dengan rata-rata 7,633% pada kondisi *short term* dan 4,113% pada kondisi *long term* selain itu terdapat peningkatan faktor keamanan rata-rata sebesar 2,064% pada kondisi *short term* dan 19,58% pada kondisi *long term*.

2.1.4 Pengaruh Beban Gempa terhadap Faktor Aman (SF)

Prabowo (2019) melakukan penelitian dengan studi kasus trase Jalan Tol Ngawi – Kertosono ruas Ngawi – Caruban Seksi 3.1. Tujuan dilakukan penelitian ini untuk mengetahui nilai angka aman pada kondisi tanpa dan dengan beban gempa terhadap lereng tanah asli, lereng dengan geometri baru tanah asli dan tanah timbunan, dan lereng dengan geometri baru tanah timbunan yang diperkuat dengan geotekstil. Hasil dari penelitian ini menunjukkan nilai angka aman yang didapat tanpa dan dengan beban gempa pada kondisi lereng asli dengan Program *Plaxis* 8.2 secara urut sebesar 1,338 dan 1,331, kondisi lereng dengan sudut 76° tanah asli dan tanah timbunan tanpa diperkuat geotekstil tidak dapat diaplikasikan di lapangan karena menghasilkan nilai aman < 1 yang dapat mengalami keuntuhan, kondisi lereng dengan sudut 76° diperkuat geotekstil tanpa dan dengan beban gempa menghasilkan nilai angka aman sebesar 1,737 dan 1,350 yang dapat diaplikasikan di lapangan.

Penelitian yang dilakukan oleh Sekarti (2018) dengan studi kasus Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Salatiga – Kartasura bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan pada timbunan dengan variasi beban, jumlah trap dan panjang geotekstil. Hasil yang didapat dalam penelitian ini menunjukkan timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan metode *Fellenius*, *Janbu Simplified*, dan *Morgenstren-Price* terjadi peningkatan SF secara urut sebesar 9,72%,

9,36%, dan 10,8%, sedangkan dengan pengaruh beban gempa sebesar 1,86%, 1,94%, dan 2%. Beban gempa dapat memengaruhi kestabilan timbunan secara signifikan dengan rata-rata sebesar 44,406% yang dapat menurunkan tingkat kestabilan suatu timbunan.

2.2 Keaslian Penelitian

Penelitian ini merupakan hasil karya asli (bukan plagiasi). Berikut ini beberapa perbedaan penelitian yang dilakukan penulis dengan penelitian terdahulu.

1. Studi kasus penelitian yang dilakukan berbeda dengan penelitian terdahulu, yaitu Jalan Tol Padang Pekanbaru Seksi I STA 3+850 yang terletak di Sumatera Barat.
2. Metode penelitian yang dilakukan menggunakan program *Plaxis* V20.
3. Parameter yang diuji pada penelitian ini berbeda dengan penelitian terdahulu yaitu tinggi timbunan dan perkuatan geotekstil.
4. Hasil akhir yang dicapai pada penelitian ini berbeda dengan penelitian terdahulu.

Perbedaan-perbedaan penelitian penulis dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu

No	Parameter	Lubis dan Lubis (2019)	Azizah dkk. (2014)	Suryadinullah (2018)	Surachmat,dkk. dkk. (2019)	Nggebu dkk. (2019)	Prabowo (2018)	Sekarti (2018)	Penulis (2021)
1	Judul	Evaluasi Perbaaikan Tanah Menggunakan Geotekstil Untuk Meningkatkan Stabilitas Tanah Lapisan <i>Subgrade</i> Pekerjaan Jalan	Penggunaan Geotekstil Pada Lereng Sungai Gajah Putih Surakarta Perangkat Lunak (Studi Kasus pada Sungai Parit Raya)	Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Pada Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Pada Tol Terbanggi Besar-Pemantang Panggang STA 3+650, Lampung	Analisis Penurunan Tanah Dengan Menggunakan Geotekstil Pada Timbunan	Analisa Kestabilan Lereng Di Ruas Jalan Raya Manado-Tomohon Km 15	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	Analisis Stabilitas Timbunan pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program <i>Plaxis</i> (Studi Kasus: Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi I)
2	Lokasi Penelitian	Jalan Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi, Parbarakan-Lubuk Pakam Sta.42+750-Sta.47+600	Sungai Gajah Putih Surakarta	Ruas Jalan Tol Terbanggi Besar-Pemantang Panggang STA 3+650, Lampung	-	Jalan Raya Manado-Tomohon Km 15	Jalan Tol Ngawi – Kertosono Sta 128+850	Jalan Tol Semarang - Solo Ruas Salatiga - Kartasura	Jalan Tol Padang-Pekanbaru, Seksi Sicincin-Lubuk Alung-Padang STA 3+850
3	Jenis Perkuatan	Geotekstil <i>polypropylen woven</i>	Geotekstil	Geotekstil	Geotekstil	-	Geotekstil	Geotekstil	Geotekstil

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu

No	Parameter	Lubis dan Lubis (2019)	Azizah dkk. (2014)	Suryadinullah. (2018)	Surachmat,dkk. dkk. (2019)	Nggebu dkk. (2019)	Prabowo (2018)	Sekarti (2018)	Penulis (2021)
4	Parameter yang diuji	Tinggi Timbunan, stabilitas internal, stabilitas tanah pondasi, perkuatan geotekstil	Fluktuasi muka air tanah, kombinasi beban, konfigurasi pemasangan geotekstil	Timbunan Jalan dengan kondisi tanah asli dan kondisi tanah asli <i>replacement</i>	Variasi kedalaman muka air tanah, variasi geotekstil.	sudut kemiringan lereng, γ_{unsat} , c , ϕ , muka air tanah, koefisien gempa	sudut kemiringan lereng, beban gempa	Variasi jumlah trap, beban gempa	Tinggi timbunan, perkuatan geotekstil dan penurunan tanah
5	Metode Penelitian	perhitungan geotekstil	metode Bishop disederhanakan (Simplified Bishop Method)	penelitian dianalisis dengan program <i>Plaxis</i> 8.6	Kondisi <i>short term</i> dan <i>long term</i>	Metode Fellenius dan Bishop (Rocscience Slide v6.0)	Program <i>Plaxis</i> 8.2	Program Slope/W dengan metode Fellenius, Janbu Simplified dan Morgenstern Price	penelitian dianalisis dengan program <i>Plaxis</i> V20
6	Hasil Penelitian	Kuat tarik geotekstil polypropylene woven 30 kN/m dalam penelitian ini diperlukan 2 lapis geotekstil. Kadar air yang cukup tinggi pada lokasi penelitian mengharuskan untuk	Pada penelitian ini nilai angka keamanan yang didapat lebih besar dari angka keamanan kondisi sebelum perbaikan. Nilai SF terhadap penggeseran dan penggulingan tidak dipengaruhi oleh	Faktor keamanan setelah dilakukannya perkuatan dan diubahnya sudut kemiringan lereng menjadi 15° dengan software <i>Plaxis</i> akibat pengaruh	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan geotekstil dapat mengurangi penurunan pada tanah dasar bila dibandingkan dengan tidak menggunakan geotekstil dengan rata-rata 7,633%	Analisis kestabilan lereng dengan fluktuasi elevasi muka air tanah (0-3m) pada variasi: kemiringan lereng dengan metode Fellenius dan Bishop	nilai angka aman yang didapat tanpa beban gempa pada kondisi lereng asli dengan Program <i>Plaxis</i> 8.2 secara urut sebesar 1,338 dan 1,331, kondisi lereng	timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan metode <i>Fellenius</i> , <i>Janbu Simplified</i> , dan <i>Morgenstren-</i>	Hasil analisis dengan menggunakan <i>Plaxis</i> V20 menunjukan bahwa penambahan geotekstil pada kondisi tanah asli dapat meningkatkan angka keamanan pada setiap

		menggunakan geotekstil sebagai perkuatan timbunan. Stabilisasi merupakan proses yang penting untuk mengatasi keadaan tanah yang kurang baik dan untuk menjaga keseimbangan unsur tanah agar padat.	jarak vertikal antar geotekstil (Sv), melainkan oleh kemiringan lereng dan panjang geotekstil.	beban lalu lintas adalah aman.	pada kondisi <i>short term</i> dan 4,113% pada kondisi <i>long term</i> selain itu terdapat peningkatan faktor keamanan rata-rata sebesar 2,064% pada kondisi <i>short term</i> dan 19,58% pada kondisi <i>long term</i> .	menunjukkan bahwa kondisi lereng dalam keadaan stabil, dengan adanya faktor gempa dalam variasi diatas menunjukkan bahwa kondisi lereng dalam keadaan stabil, dan dengan adanya pengaruh fluktuasi muka air tanah dan akibat gempa menunjukkan bahwa kondisi lereng dalam keadaan kritis.	dengan sudut 76° tanah asli dan tanah timbunan tanpa diperkuat geotekstil tidak dapat diaplikasikan di lapangan karena menghasilkan nilai aman < 1 yang dapat mengalami keuntuhan, kondisi lereng dengan sudut 76° diperkuat geotekstil tanpa beban gempa menghasilkan nilai angka aman sebesar 1,737 dan 1,350 yang dapat diaplikasikan di lapangan	<i>Price</i> terjadi peningkatan SF secara urut sebesar 9,72%, 9,36%, dan 10,8%, sedangkan dengan pengaruh beban gempa sebesar 1,86%, 1,94%, dan 2%. Beban gempa dapat memengaruhi kestabilan timbunan secara signifikan dengan rata-rata sebesar 44,406% yang dapat menurunkan tingkat kestabilan suatu timbunan.	variasi timbunan. Tinggi timbunan mempengaruhi hasil angka keamanan karena semakin tinggi timbunan angka keamanan semakin kecil. Pada analisis penurunan, geotekstil dapat mengurangi nilai penurunan yang terjadi, semakin tinggi variasi timbunan penurunan yang diperoleh semakin besar.
--	--	--	--	--------------------------------	--	---	--	--	---

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Menurut Das (1995), dalam pengertian teknik secara umum tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lainnya dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berparikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah merupakan dasar dari suatu struktur atau konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penyaluran untuk menerima beban dari konstruksi bangunan yang berada di atasnya.

Hardiyatmo (2002) mengartikan tanah merupakan himpunan material, bahan organik, dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Pembentukan tanah dari batuan induknya dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yaitu mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil yang terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi, maupun bentuk-bentuk diantaranya. Pelapukan akibat proses kimia umumnya dapat terjadi karena pengaruh oksigen, karbon dioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali dan proses-proses kimia lainnya. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah terangkut (*transported soil*).

3.1.1 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok-kelompok

dan sub-sub kelompok berdasarkan pemakaiannya (Das,1995). Sistem klasifikasi berfungsi sebagai penjelasan singkat dari sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terperinci. Sistem klasifikasi yang sudah ada dan dikembangkan sebagian besar didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana.

Tujuan dari sistem klasifikasi tanah adalah untuk studi yang terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan penguji untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya (Bowles,1989). Jika tanah belum sesuai dengan klasifikasi, dapat dilakukan upaya seperti perkuatan tanah agar tanah tersebut mampu menopang struktur yang ada di atasnya.

Ada beberapa macam sistem klasifikasi tanah yang digunakan sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang sudah ada. Namun, yang paling umum digunakan yaitu sistem klasifikasi tanah menurut USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*Association Of State Highway and Transporting*). Berikut ini merupakan penjelasan dari kedua metode yang paling umum digunakan.

1. Sistem Klasifikasi menurut AASHTO (*Association Of State Highway and Transporting Official*)

Sistem klasifikasi AASHTO pada umumnya digunakan untuk menentukan kualitas tanah pada pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*Subgrade*). Sistem klasifikasi ini dibuat dengan mempertimbangkan kriteria seperti berikut ini.

a. Ukuran butir tanah

Kerikil : fraksi tanah yang lolos saringan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada saringan dengan diameter 2 mm (saringan No. 10)

Pasir : fraksi tanah yang lolos saringan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada saringan dengan diameter 0,075 mm (saringan No 200)

Lanau & Lempung : fraksi tanah yang lolos saringan dengan diameter 0,075 mm (saringan No. 200)

b. Plastisitas

Tanah disebut tanah berlumpur (lanau) ketika fraksi halus tanah memiliki Indeks Plastisitas (IP) ≤ 10 . Sedangkan tanah liat (lempung) adalah ketika fraksi halus tanah memiliki indeks plastis ≥ 11 .

- c. Apabila ditemukan batuan yang ukurannya lebih besar dari 75 mm pada contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu dan presentase batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Dalam sistem AASHTO ini tanah diklasifikasikan menjadi 7 kelompok besar yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2 dan A-3 merupakan tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah yang lolos saringan No. 200. Sedangkan tanah yang lebih dari 35% butirannya lolos saringan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7 yang sebagian besar adalah lanau dan lempung. Untuk pengklasifikasiannya dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah Berbutir						
	(35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis Ayakan (%lolos) No.10 No. 40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40	Maks 6	NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11	
Batas Cair (LL)							
Indeks Plastisitas (PI)							
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil, dan pasir	Pasir halus	kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi umum	Tanah lanau - lempung						
	(Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7_5* A-7-6*			
Analisis Ayakan (%lolos) No.10 No. 40 No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36			
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 41 Min 11	Maks 41 Min 11			
Batas Cair (LL)							
Indeks Plastisitas (PI)							
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau			Tanah berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai Jelek						

Sumber: Das (1995)

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

Metode klasifikasi tanah menurut USCS (*Unified Soil Classification System*) dikembangkan oleh Casagrande pada tahun 1942 yang kemudian disempurnakan kembali dalam rangka bekerja sama dengan *United States Beraouf Reclamation* pada tahun 1952. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar berikut ini.

- a. Tanah berbutir kasar dengan syarat kurang dari 50% tanah tertahan melalui saringan No.200. Kelompok ini dimulai dengan simbol awal G (*gravell*) untuk kerikil dan S (*sand*) untuk pasir atau tanah berpasir. Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W untuk tanah bergradasi baik (*well graded*) dan P untuk tanah bergradasi buruk (*poor graded*).
- b. Tanah berbutir halus adalah tanah dengan syarat lebih dari 50% yang lolos melalui saringan No. 200. Simbol kelompok ini adalah M untuk lanau (*silt*) organik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, O untuk lanau organik dan lempung organik. Plastisitas dinyatakan dengan L untuk plastisitas rendah (*low plasticity*) dan H untuk plastisitas tinggi (*high plasticity*).

Untuk pengklasifikasian dari sistem USCS dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

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

Sumber: Hardiyatmo (2010)

3.2 Beban pada Timbunan Jalan

3.2.1 Beban Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan menurut Sukirman (2003) adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada transportasi selama masa pelayanan dengan harapan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Secara umum, konstruksi perkerasan jalan dibagi menjadi dua jenis yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Terdapat beberapa beban perkerasan yang diperhitungkan dalam proses analisis, antara lain:

1. tebal lapisan *rigid pavement*,
2. tebal lapisan *lean concrete*,
3. tebal lapisan *aggregate*, dan
4. berat sendiri beban perkerasan.

3.2.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas merupakan beban merata yang harus diperhitungkan pada seluruh lebar permukaan timbunan ketika melakukan suatu analisis stabilitas. Acuan yang digunakan dalam perhitungan beban lalu lintas ini yaitu terdapat pada Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi seperti pada Tabel 3.3 berikut ini.

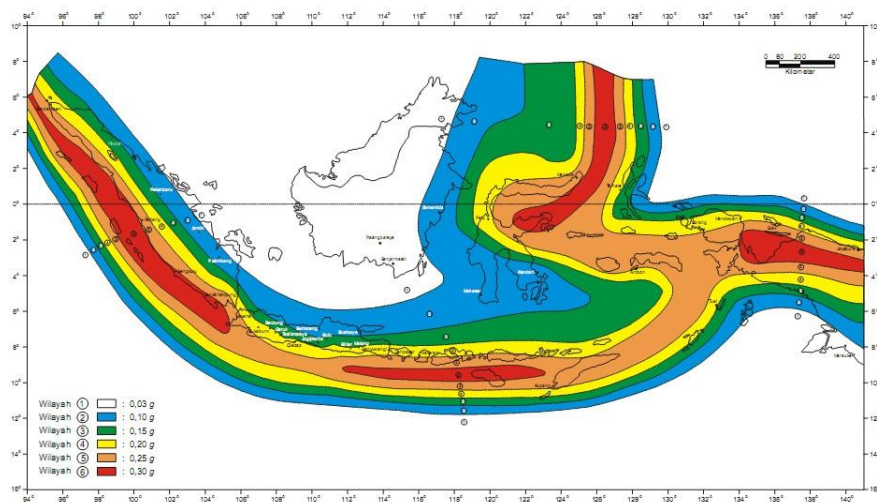
Tabel 3.3 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

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

Sumber: Panduan Geoteknik 4 (2002)

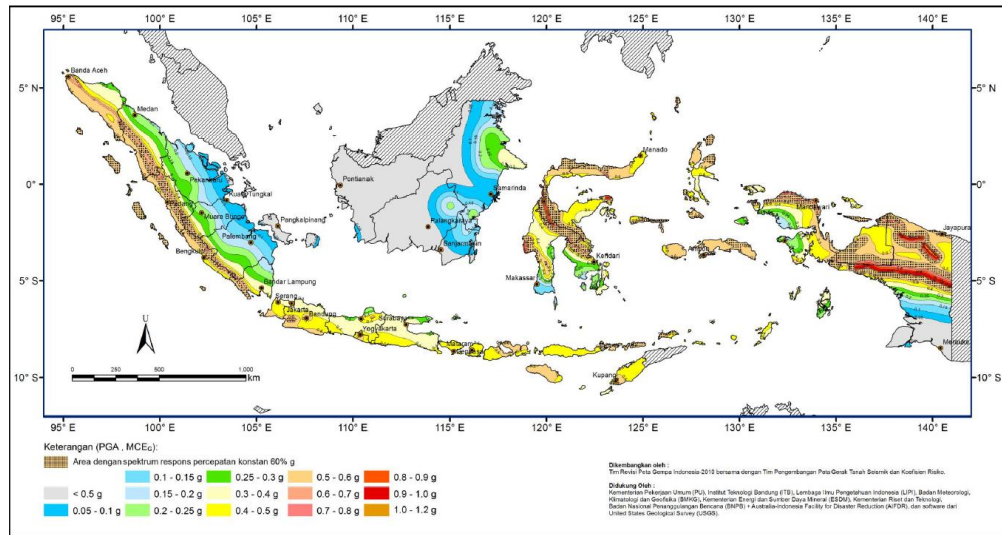
3.2.3 Beban Gempa

Gempa bumi merupakan suatu bencana alam yang disebabkan oleh adanya pergerakan pada permukaan bumi secara tiba-tiba dan tidak dapat diprediksi oleh manusia. Beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari adanya pergerakan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi yang dapat mempengaruhi struktur tersebut disebut juga dengan beban gempa. Gempa bumi dapat merusak apa saja yang ada dipermukaan bumi. Acuan yang digunakan dalam menentukan beban gempa yaitu dengan periode ulang 500 tahun seperti Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar Indonesia dengan Periode Ulang 500 Tahun
(Sumber: SNI 03-1726, 2002)

Peta zonasi gempa Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



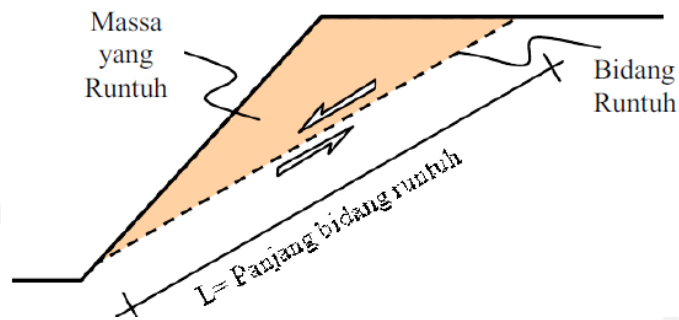
Gambar 3.2 Peta Zonasi Gempa Indonesia
(Sumber: SNI 1726, 2019)

3.3 Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang membentuk sudut kemiringan tertentu terhadap bidang horisontal. Lereng dapat terbentuk oleh alam karena proses geologi maupun karena buatan (rekayasa) manusia. Lereng yang mengalami keruntuhan secara teknis dapat dikatakan telah kehilangan kestabilannya karena mempunyai nilai keamanan yang rendah. Berdasarkan bentuknya, terdapat beberapa tipe keruntuhan lereng seperti berikut ini.

1. Keruntuhan bidang datar

Keruntuhan bidang datar (translasi) umumnya terjadi pada tanah yang memiliki lapisan yang miring. Tipe ini biasanya terjadi karena massa tanah yang tidak terlalu besar yang dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.

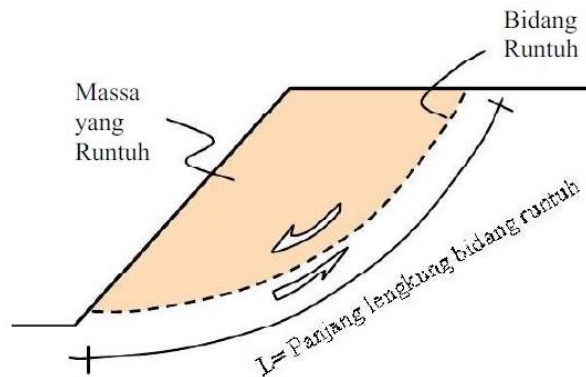


Gambar 3.3 Keruntuhan Bidang Datar

(Sumber: Hakam, 2010)

2. Keruntuhan lingkaran

Keruntuhan lingkaran (rotasi) bersifat global dan terjadi karena massa tanah yang besar. Tipe ini biasanya akan diikuti keruntuhan-keruntuhan kecil pada massa tanah yang bergerak yang dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.

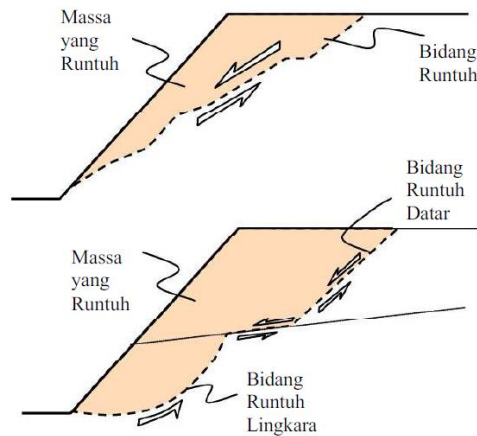


Gambar 3.4 Keruntuhan Lingkaran

(Sumber: Hakam, 2010)

3. Keruntuhan tak teratur

Keruntuhan tak teratur adalah gabungan dari keruntuhan datar dan lingkaran serta bentuk lain yang bukan keduanya. Tipe ini biasanya terjadi pada tanah yang tidak homogen dan mempunyai beberapa lapisan tanah yang berbeda pada lereng yang sama yang dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Keruntuhan Kombinasi *Irregular* dan gabungan
(Sumber: Hakam, 2010)

3.3.1 Stabilitas Lereng

Pada umumnya, komponen gravitasi yang cukup besar menyebabkan terjadinya pergerakan tanah vertikal sehingga terjadi kelongsoran lereng. Maka dari itu, diperlukan adanya stabilitas lereng. Stabilitas lereng merupakan faktor penting dalam pekerjaan penggalian dan penimbunan tanah, batuan dan bahan galian, yang menyangkut keselamatan pekerja serta kelancaran pekerjaan. Analisis stabilitas lereng bertujuan untuk menentukan faktor aman terhadap bidang longsor potensial. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng antara lain kondisi tanah, kuat geser tanah, aliran rembesan air, dan sebagainya. Menurut Hardyatmo (2006), dilakukannya analisis stabilitas lereng mempunyai maksud sebagai berikut:

1. memahami bentuk dan perkembangan dari lereng, dan proses-proses yang menjadi penyebab perubahan karakteristiknya,
2. menilai stabilitas lereng dalam kondisi waktu jangka pendek (saat pembangunan) dan waktu jangka panjang,
3. menilai kemungkinan terjadinya kelongsoran lereng alam maupun buatan,
4. menganalisis dan memahami mekanisme keruntuhan dan pengaruh lingkungan,
5. melakukan perancangan ulang lereng yang telah mengalami kelongsoran dan melakukan tindakan pencegahan serta perbaikan apabila diperlukan, dan
6. mempelajari pengaruh beban gempa pada lereng alam dan timbunan.

3.3.2 Angka Keamanan Lereng (*Safety Factor*)

Angka keamanan (*Safety Factor*) merupakan hal yang sangat penting dalam suatu analisis dan perencanaan struktur secara keseluruhan. Angka keamanan lereng adalah perbandingan antara gaya yang menahan terhadap gaya yang mendorong. Apabila angka aman pada suatu lereng memiliki nilai yang tidak memenuhi maka akan terjadi longsor. Nilai kisaran faktor keamanan (FS) yang terdapat dalam SNI 13-7124-2005 dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Kisaran Faktor Keamanan (FS)

Faktor Keamanan	Kerentanan Gerakan Tanah
$\leq 1,2$	Tinggi : Gerakan Tanah Sering Terjadi
$1,2 < \text{Safety Factor} \leq 1,7$	Menengah : Gerakan Tanah Dapat Terjadi
$1,7 < \text{Safety Factor} \leq 2,0$	Rendah : Gerakan Tanah Jarang Terjadi
$> 2,0$	Sangat Rendah : Gerakan Tanah Sangat Jarang Terjadi

Sumber: SNI 13-7124 (2005)

3.3.3 Metode *Fellenius*

Berdasarkan Hardiyatmo (2002), analisis stabilitas lereng cara *Fellenius* menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor sehingga keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.1) dan Persamaan (3.2) sebagai berikut.

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (3.1)$$

Atau

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\ &= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \end{aligned} \quad (3.2)$$

Sehingga rumus yang digunakan untuk menghitung faktor aman dapat dilihat pada Persamaan (3.3) berikut.

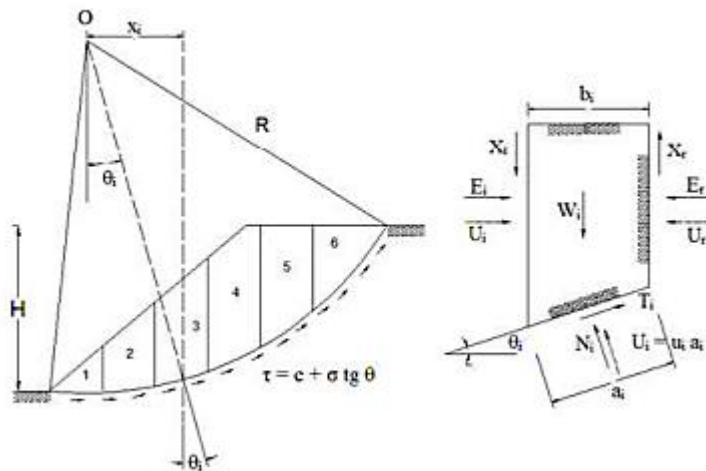
$$\begin{aligned} F &= \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \\ &= \frac{\sum M_r}{\sum M_d} \end{aligned} \quad (3.3)$$

- = jari-jari lingkaran bidang longsor
- = jumlah irisan
- = berat massa tanah irisan ke- i
- = sudut yang didefinisikan pada Gambar 3.6

Keterangan:

n = jumlah irisan

θ_i = sudut yang didefinisikan pada Gambar 3.6



(sumber: Hardiyatmo, 2002)

= R $\sum_{i=1}^n (ca_i + N_i \tan \varphi)$

Sehingga persamaan untuk faktor aman dapat dihitung dengan Persamaan (3.6) berikut.

Bila terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (M_d), karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi Persamaan (3.2) ke persamaan (3.6) sehingga diperoleh Persamaan (3.7) berikut ini.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \tan \varphi)}{\sum_{i=1}^{i=n} (W_i \sin \theta_i)} \quad (3.7)$$

Keterangan:

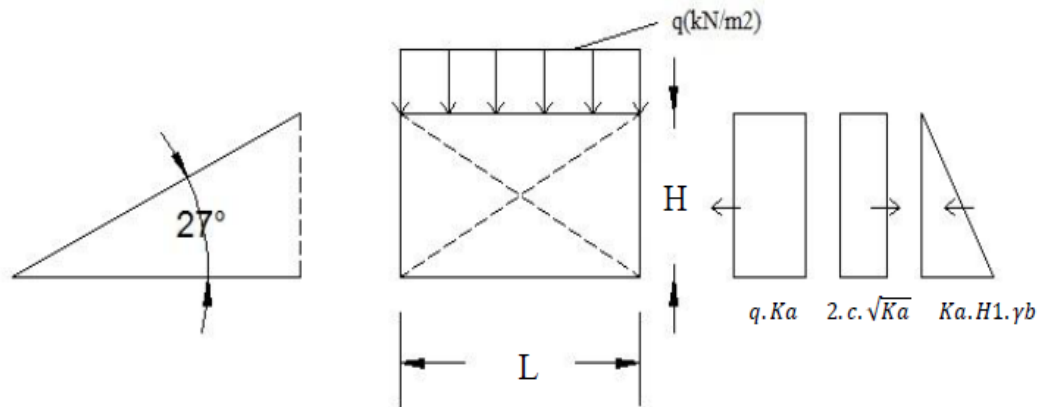
F	= Faktor Aman
c	= Kohesi Tanah (kN/m ²)
φ	= sudut gesek dalam tanah (°)
a _i	= panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-I (m)
W _i	= berat irisan tanah ke-I (kN/m ²)
U _i	= tekanan air pori pada irisan ke-I (kN/m ²)
θ _i	= sudut yang didefinisikan dalam Gambar 3.6

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

3.3.4 Perkuatan Lereng dengan Geotekstil

Suatu lereng yang memiliki tingkat stabilitas rendah perlu dilakukannya perkuatan untuk menahan gaya tanah yang terjadi supaya terlindung terhadap erosi dan kelongsoran. Faktor keamanan yang dimiliki oleh lereng harus memenuhi baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang untuk semua kemungkinan model keruntuhan. Salah satu metode yang digunakan untuk perkuatan lereng yaitu dengan menggunakan bahan tambah perkuatan seperti geotekstil.

Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan terdiri dari analisis stabilitas eksternal dan stabilitas eksternal. Stabilitas eksternal terdiri dari stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas, dan kapasitas daya dukung tanah. Stabilitas internal terdiri dari stabilitas terhadap gaya-gaya internal yang diperhitungkan terhadap panjang geotekstil (*overlapping*) dan panjang efektif geotekstil. Diagram distribusi tekanan tanah lateral pada lereng dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini.



Gambar 3.7 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral

(Sumber: Purwanto, 2012)

Jarak arah vetikal antar lapis geotekstil (S_v) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.8 berikut.

$$S_v = \frac{T_{allow}}{\sigma_{hci} \times SF} \quad (3.8)$$

Rumus yang digunakan untuk mencari nilai kuat tarik geotekstil *allowable* dapat dilihat pada Persamaan 3.9 berikut ini.

$$T_{allowable} = T_{ultimate} / SF \quad (3.9)$$

Rumus yang digunakan untuk mencari nilai tekanan horizontal rata-rata pada lipatan dapat dilihat pada Persamaan 3.10 berikut ini.

$$\sigma_{hci} = q \cdot Ka - 2 \cdot c \cdot \sqrt{Ka} + Ka \cdot H1 \cdot \gamma b \quad (3.10)$$

Rumus yang digunakan untuk mencari nilai koefisien tanah aktif dapat dilihat pada Persamaan 3.11 berikut ini.

$$Ka = \tan^2(45^\circ - \left(\frac{\phi}{2}\right)) \quad (3.11)$$

Keterangan:

S_v = jarak tulangan arah vertikal (m)

$T_{allowable}$ = kuat Tarik geotekstil *allowable* (t/m')

SF = faktor aman

σ_{hci} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m²)

q = beban merata (kN/m²)

- c = kohesi (kN/m²)
 Ka = koefisien tanah aktif
 H₁ = tinggi antar lapis geotekstil (m)

Berikut ini merupakan perhitungan dari analisis stabilitas eksternal dan internal.

1. Stabilitas eksternal

Perhitungan stabilitas eksternal pada lereng terdiri dari stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas dan kapasitas dukung tanah seperti berikut ini.

a. Stabilitas terhadap geser

Perhitungan faktor aman stabilitas terhadap geser dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.12 berikut ini.

$$SF = \frac{L \times (q + \gamma_b) \tan \phi}{|q \times Ka \times H + Ka \times H^2 \times \gamma_b - 2 \times c \times \sqrt{Ka} \times H|} \quad (3.12)$$

b. Stabilitas terhadap guling

Perhitungan faktor aman stabilitas terhadap guling dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.13 berikut ini.

$$SF = \frac{L^2 \times \left(\frac{1}{2} \times q + \frac{1}{2} \times \gamma_b \times H \right)}{\left| \frac{1}{2} \times q \times Ka \times H^2 + \frac{1}{6} \times Ka \times H^3 \times \gamma_b - c \times \sqrt{Ka} \times H^2 \right|} \quad (3.13)$$

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

Resultan gaya dalam teras dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.14 berikut:

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

$$\frac{1}{6} \times L \geq \frac{\left| \frac{1}{2} \times q \times Ka \times H^2 + \frac{1}{6} \times Ka \times H^3 \times \gamma_b - c \times \sqrt{Ka} \times H^2 \right|}{(q \times L + \gamma_b \times H \times L)} \quad (3.14)$$

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

Perhitungan faktor aman stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.15 berikut ini.

$$SF = \frac{\sigma_{ultimate}}{q_{ultimate}} \quad (3.15)$$

Rumus untuk mencari nilai $q_{ultimate}$ dapat dilihat pada Persamaan 3.16 berikut ini.

$$q_{ultimate} = c.Nc + 0,5L.\gamma_b.N\gamma \quad (3.16)$$

$$\sigma_{ultimate} \geq \text{Gaya vertikal}$$

Rumus yang digunakan untuk perhitungan nilai $\sigma_{ultimate}$ dapat dilihat pada Persamaan 3.17 berikut ini.

$$\sigma_{ultimate} = c.Nc + q.Nq + 0,5L.\gamma_b.N\gamma \quad (3.17)$$

Gaya vertikal dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.18 berikut ini.

$$\text{Gaya vertikal} = q \times L + H \times \gamma_b \times L \quad (3.18)$$

2. Stabilitas internal

Perhitungan stabilitas internal pada lereng terdiri dari perhitungan panjang geotekstil “overlapping” dan panjang efektif geotekstil seperti berikut ini.

a. Panjang geotekstil “overlapping”

Perhitungan panjang geotekstil *overlapping* dapat dilihat pada Persamaan 3.19 berikut ini.

$$L_0 = \frac{\sigma_{hci} \times S_{vi} \times SF}{2 \times Z_i \times \gamma_b \times \tan \phi} \quad (3.19)$$

Keterangan:

L_0 = panjang geotekstil *overlapping* (m)

σ_{hci} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m²)

SF = faktor aman

S_{vi} = jarak tulangan arah vertikal (m)

γ_b = berat volume tanah (kN/m³)

ϕ = sudut gesek dalam tanah (°)

Z_i = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah (m)

b. Panjang efektif geotekstil

Perhitungan efektif geotekstil dapat dilihat pada Persamaan 3.20 berikut ini.

$$L_{ef} = \frac{SF \times S_{vi} \times K_a \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times Z_i \times \gamma_b \times \tan \phi} \quad (3.20)$$

Keterangan:

L_{ef} = panjang efektif geotekstil (m)

SF = faktor aman

S_{vi}	= jarak tulangan arah vertikal (m)
γ_b	= berat volume tanah (kN/m^3)
ϕ	= sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)
Z_i	= kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah (m)
K_a	= koefisien tanah aktif

3.4 Konsolidasi

Proses berkurangnya volume atau rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan disebut juga dengan konsolidasi. Apabila tanah jenuh berpermeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori tanah akan bertambah, sehingga dapat mengakibatkan air mengalir kelapisan tanah dengan tekanan air pori yang rendah diikuti dengan terjadinya penurunan pada tanah. Menurut SNI 2812:2011, konsolidasi adalah suatu proses pemampatan tanah yang terjadi akibat adanya pembebanan dalam jangka waktu tertentu, sehingga menyebabkan mengalirnya air ke luar dari ruang pori. Besarnya penurunan dapat diukur dengan berpedoman pada titik referensi ketinggian pada tempat tertentu (Hardiyatmo, 2010).

Pada umumnya tanah dibagi menjadi 2 jenis yaitu tanah kohesif dan tanah berbutir. Pada tanah kohesif, air pori dapat mengalir keluar struktur tanah memerlukan waktu yang lama disebabkan karena permeabilitasnya yang rendah. Sedangkan untuk tanah berbutir, air pori dapat mengalir keluar dari struktur tanah dengan mudah. Konsolidasi berlangsung dalam satu arah pergerakan yaitu arah vertikal, oleh karena arah horisontal tertahan oleh lapisan tanah disekelilingnya maka dapat diabaikan saja. Selama peristiwa konsolidasi berlangsung, tanah akan mengalami proses penurunan (*settle*). Secara umum, penurunan dapat diklasifikasikan kedalam tiga tahapan berikut ini.

1. Penurunan seketika (*immediate settlement*)

Dapat terjadi karena deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Biasanya terjadi selama proses pembebanan pada tanah.

2. Penurunan konsolidasi primer (*primary consolidation settlement*)

Penurunan ini ditandai dengan adanya tekanan besar pada tanah yang menyebabkan struktur tanah mengalami penurunan, penyusutan susunan, dan pergerakan partikel tanah kedalam rongga tanah yang diakibatkan oleh tanah mampat dan memadat.

3. Penurunan konsolidasi sekunder (*secondary consolidation settlement*)

Penurunan ini terjadi setelah tekanan air pori hilang seluruhnya karena adanya proses pemampatan akibat penyesuaian dari butir-butir tanah yang bersifat plastis.

Besarnya penurunan yang terjadi pada lapisan tanah yang dibebani dapat dihitung dengan Persamaan 3.21 berikut ini.

$$S = S_i + S_c + S_s \quad (3.21)$$

Keterangan:

S = penurunan total

S_i = penurunan segera

S_c = penurunan konsolidasi primer

S_s = penurunan konsolidasi sekunder

Menurut Hardiyatmo (2002), perhitungan penurunan konsolidasi yang ditinjau pada lapisan tanah lempung dengan tebal H yang diakibatkan oleh beban yang bekerja, lapisan tanah menerima tambahan tegangan sebesar Δp dengan menganggap tegangan arah lateral nol. Pada tahapan akhir konsolidasi terdapat tambahan tegangan efektif vertikal sebesar (Δp). Karena adanya penambahan tegangan dari p_o' ke p_1' dengan $p_1' = p_o' + \Delta p$ menyebabkan terjadinya pengurangan angka pori dari e_o ke e_1 . Pengurangan volume persatuan volume lempung dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.22 berikut ini.

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta H}{H} = \frac{e_o - e_1}{1 + e_o} = \frac{\Delta e}{1 + e_o} \quad (3.22)$$

Keterangan:

V = volume awal

H = tebal lapisan tanah awal

ΔV = perubahan volume

ΔH = perubahan tebal

e_0 = angka pori awal

e_1 = angka pori pada perubahan volume tertentu

Δe = perubahan angka pori

Karena regangan arah lateral sama dengan nol, maka pengurangan volume per volume satuan sama dengan tebal persatuan tebalnya yaitu penurunan persatuan ketinggian atau panjang. Besar penurunan lapisan tanah dh dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.23 berikut ini.

$$\begin{aligned} dS_c &= \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} dh \\ &= \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \frac{p_1 - p_0}{1 + e_0} dh \\ &= m_v \Delta p dh \end{aligned} \quad (3.23)$$

Dengan S_c adalah penurunan konsolidasi primer atau ultimit. Perhitungan penurunan lapisan tanah dengan tebal H dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.24 berikut ini.

$$S_c = \int_0^H m_v \Delta p dh \quad (3.24)$$

Jika m_v dan Δp dianggap sama pada sembarang kedalaman tanah, maka penurunan konsolidasi primer total dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.25 berikut ini.

$$\begin{aligned} S_c &= m_v \Delta p H \\ &= \sum m_{vi} \Delta p_i \Delta H \end{aligned} \quad (3.25)$$

Untuk persamaan konsolidasi dengan menggunakan grafik $e - \log p'$ dengan $\Delta H = S_c$ dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.26 berikut ini.

$$S_c = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \quad (3.26)$$

Untuk lempung tertentu, nilai penurunan konsolidasi primer total dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.27 berikut ini.

$$p_1' = p_o' + \Delta p \quad (3.27)$$

1. Penurunan untuk lempung *normally consolidated* ($p_c' = p_o'$) dengan tegangan efektif sebesar p_1' , dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.28 berikut ini.

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_o'} \quad (3.28)$$

2. Untuk lempung *overconsolidated* ($p_c' > p_o'$) penurunan konsolidasi primer total dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.29 dan Persamaan 3.30 yang bergantung pada nilai p_1' berikut ini.

- a. Bila ($p_1' < p_c'$) nilai penurunan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.29 berikut ini.

$$S_c = C_r \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_o'} \quad (3.29)$$

- b. Bila ($p_1' > p_c'$) nilai penurunan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.30 berikut ini.

$$S_c = C_r \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_o'} + C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_c'} \quad (3.30)$$

Untuk kurva penambahan beban atau pada $p' > p_c'$, dapat dihitung nilai C_c dengan Persamaan 3.31 berikut ini.

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} \quad (3.31)$$

Untuk kurva pelepasan beban atau pada $p' < p_c'$, dapat dihitung nilai C_r dengan Persamaan 3.32 berikut ini.

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} \quad (3.32)$$

Keterangan:

C_r = indeks pemampatan kembali

C_c = indeks pemampatan

H = tebal lapisan tanah

- p_c' = tekanan prakonsolidasi
 e_o = angka pori awal
 Δp = tambahan tegangan akibat beban fondasi
 p_o' = tekanan *overburden* efektif mula-mula sebelum dibebani

3.5 Geotekstil

Geotekstil memiliki bentuk berupa lembaran sintetis yang mempunyai sifat mudah tertembus oleh air. Menurut Bina Marga (2009), geotekstil adalah geosintetik yang lolos air yang berasal dari bahan tekstil. Geotekstil digunakan pada pondasi, tanah, batuan, bumi atau aplikasi geoteknik lainnya sebagai material pelengkap dalam suatu produk, struktur maupun sistem buatan manusia. Bahan dasar dari pembuatan geotekstil itu sendiri yaitu benang dan serat polimer, seperti *polyester* (PET), *polyamide* (PM), *polypropylene* (PP), dan *polyethylene* (PE). Untuk mengkombinasikan pita menjadi struktur lembaran, jenis geotekstil kemudian dibagi berdasarkan metode yang digunakan.

3.5.1 Jenis Geotekstil

Secara umum geotekstil terbagi ke dalam dua jenis yaitu geotekstil teranyam (*woven*) dan geotekstil tidak teranyam (*non woven*).

1. Geotekstil teranyam (*woven*)

Geotekstil teranyam memiliki kuat Tarik lebih besar dari pada geotekstil tidak teranyam. Geotekstil jenis ini memiliki bentuk 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 bias terlapisi dan tidak mengalami penurunan.

Geotekstil teranyam tidak mudah koyak atau robek saat pemasangan di lapangan. Struktur anyamannya yang kekar (*double twist*) akan menjamin kekuatan tekanan hingga 40 kN/m saat digunakan sebagai separator atau lapisan pemisah. Karena

fungsi separator akan terganggu apabila material pemisah ini saat pemasangan terjadi kerobekan atau kekoyakan.

Geotekstil teranyam dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8 Geotekstil Teranyam (Woven)

(Sumber: PT. Prima Geotex Indo, 2021)

2. Geotekstil tidak teranyam (*non woven*)

Geotekstil tidak teranyam memiliki bentuk seperti karpet kain yang umumnya berbahan dasar yang terbuat dari bahan polimer *polyester* (PET) atau *polypropylene* (PP). Geotekstil jenis ini memiliki beberapa fungsi berikut ini.

a. *Separator* atau pemisah

Agar mencegah tercampurnya material yang satu dengan material lainnya digunakan geotekstil jenis tidak teranyam ini. Pada pembangunan di atas tanah lunak, geotekstil tidak teranyam dapat mencegah naiknya lumpur ke sistem perkerasan dan tidak terjadinya efek *pumping* yang akan merusak perkerasan jalan. Oleh karena itu, geotekstil dapat mempermudah proses pemadatan sistem pengerasan.

b. *Filter* atau penyaring

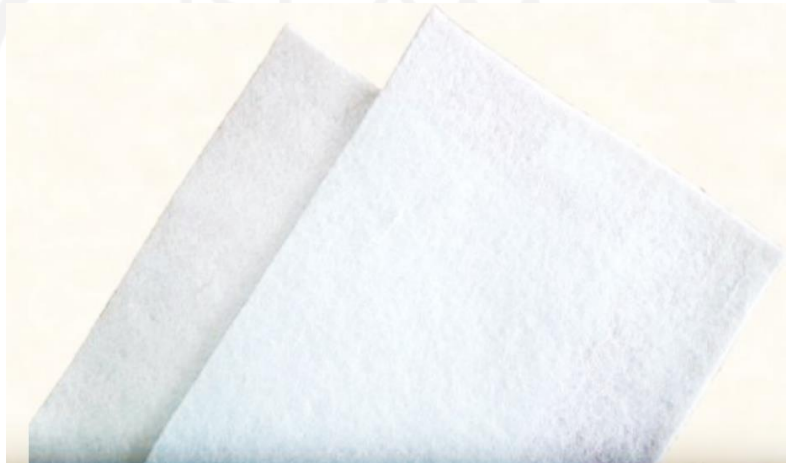
Karena memiliki sifat tembus air (*permeable*), geotekstil tidak teranyam ini berfungsi untuk mencegah terbawanya partikel tanah pada aliran air.

Pengaplikasian geotekstil jenis ini biasanya digunakan sebagai penyaring pada proyek drainase bawah tanah.

c. Stabilisator

Fungsi ini sering disebut juga sebagai perkuatan (*reinforcement*).

Geotekstil tidak teranyam ini dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini.

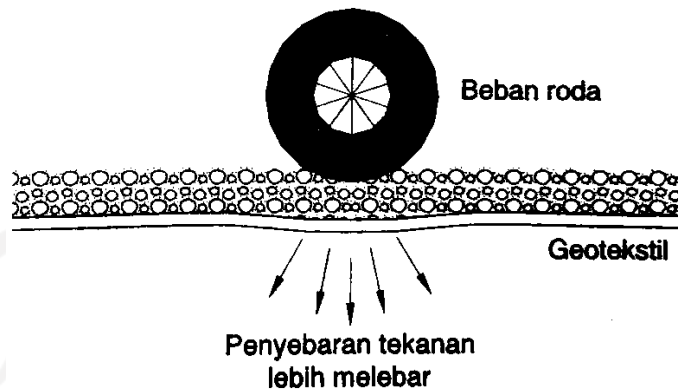


Gambar 3.9 Geotekstil Tidak Teranyam (*Non Woven*)

(Sumber: PT. Prima Geotex Indo, 2021)

3.5.2 Mekanisme Kerja Geotekstil di Lapangan

Penggunaan perkuatan geotekstil pada pelaksanaan konstruksi jalan dapat menghindari terjadinya keruntuhan lokal pada tanah lunak yang memiliki daya dukung yang rendah. Ketika tanah dan geotekstil digabungkan, material komposit tanah yang diperkuat akan menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik yang tinggi, sehingga akan dapat menahan gaya yang berkerja dan deformasi. Selain itu, geotekstil berfungsi untuk menstabilkan lereng yang curam ($< 70^0$) serta meningkatkan faktor keamanannya. Berikut ini merupakan mekanisme kerja geotekstil di lapangan dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Redistribusi Tekanan Roda pada Perkuatan Geotekstil
(Sumber: Hardiyatmo, 2013)

3.6 Software *Plaxis*

Plaxis adalah salah satu program aplikasi komputer berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik, seperti daya dukung tanah. Kondisi dilapangan yang disimulasikan dapat dimodelkan dalam regangan bidang maupun secara *axisymetris*. Prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat, sedangkan berbagai fasilitas yang tersedia dapat digunakan untuk menampilkan hasil komputasi secara mendetil. Proses perhitungan sepenuhnya berjalan secara otomatis dan didasarkan pada prosedur numerik yang handal.

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

1. *Input data*

Dalam melakukan analisis pekerjaan menggunakan program *Plaxis*, haruslah membuat permodelan yang sesuai dengan data yang ada dilapangan. Tahapan ini merupakan tahapan *input data* yang sudah didapatkan dan yang akan dianalisis.

2. *Calculation*

Plaxis Calculation program digunakan setelah proses *input* pada pekerjaan yang kita tinjau telah selesai. Program ini dapat secara otomatis terbuka setelah memilih

toolbar calculate pada akhir *input* program, jika kalkulasi tidak dilakukan langsung setelah proses *input*, kita dapat membuka program ini dengan memilih *Calculation Program* pada *start menu*.

3. *Output*

Plaxis output dapat dipanggil dengan mengklik *toolbar Plaxis output*, atau dari *start menu* yang bersesuaian dengan program *Plaxis*. *Toolbar Calculation* pada *Calculation Program* pun dapat juga dipakai untuk masuk ke *output program*, jika *input* selesai dan telah memilih titik yang akan ditinjau.

4. *Curve*

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)*. Pemilihan *point* ini dibatasi sejumlah 10 buah *nodal* dan 10 buah untuk *stress point*. Tahapan untuk menampilkan kurva pada program *Plaxis* baik kurva baru maupun kurva yang telah dibuat adalah sebagai berikut:

- a. memilih tampilan kurva yang akan ditampilkan pada *Create/Open project*, jika kurva belum dibuat maka pilih *New chart* dan jika kurva sudah dibuat maka dapat ditampilkan dengan memilih *Existing chart*, dan
- b. memilih hubungan kurva yang akan ditampilkan, sesuai dengan *nodal* atau *stress point* yang ditinjau.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan 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 badan jalan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis V20* dengan hasil berupa nilai faktor aman (*safety factor*) dengan variasi tinggi 4 meter, 6 meter dan 8 meter. Dari analisis yang akan dilakukan, diharapkan dapat menghasilkan nilai faktor aman (*safety factor*) yang paling baik pada kondisi yang akan ditinjau, sehingga pada perencanaan perkuatan stabilitas timbunan badan jalan dapat dijadikan sebagai acuan untuk kondisi tanah dan pembebanan tertentu.

4.2 Tahapan Penelitian

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

1. Pengumpulan data

Untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan agar mencapai tujuan penelitian maka perlu dilakukan pengumpulan data. Tahapan ini meliputi tahap pengambilan data tanah yang dibutuhkan untuk keperluan analisis pada Proyek Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi I STA 3+850.

2. Pengolahan dan analisis data

Tahapan ini merupakan tahapan dimana data yang telah diperoleh kemudian diolah untuk melakukan analisis stabilitas timbunan pada badan jalan. Pengolahan data

ini dilakukan dengan cara *input* data ke dalam *software Plaxis* dengan variasi tinggi timbunan 4 meter, 6 meter dan 8 meter pada keadaan timbunan tanah asli dan timbunan tanah asli dengan geotekstil.

3. Hasil dan Kesimpulan

Tahapan penarikan hasil dan kesimpulan ini merupakan proses penulisan ke dalam laporan mengenai hasil yang telah didapatkan pada tahapan pengolahan dan analisis data. Dari hasil tersebut ditemukan solusi dari masalah-masalah yang timbul dan dapat diambil kesimpulan dari berdasarkan teori yang sudah ada.

4.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang akan diteliti berada pada ruas Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi Sicincin-Lubuk Alung-Padang STA. 3+850, Sumatera Barat.

4.4 Data Penelitian

Data yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder seperti berikut:

1. data penyelidikan tanah,
2. data beban kendaraan,
3. data beban gempa, dan
4. data geotekstil.

4.5 Tahapan Analisis

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

1. *Plaxis input*

Dalam melakukan analisis stabilitas timbunan dengan menggunakan program *Plaxis*, terlebih dahulu melakukan *input* data yang sesuai dengan data yang ada di lapangan.

2. *Plaxis calculations*

Plaxis Calculation program digunakan setelah proses *input* pada pekerjaan yang kita tinjau telah selesai. Program ini dapat secara otomatis terbuka setelah memilih *toolbar calculate* pada akhir *input* program, jika kalkulasi tidak dilakukan langsung setelah proses *input*, kita dapat membuka program ini dengan memilih *Calculation Program* pada *start menu*.

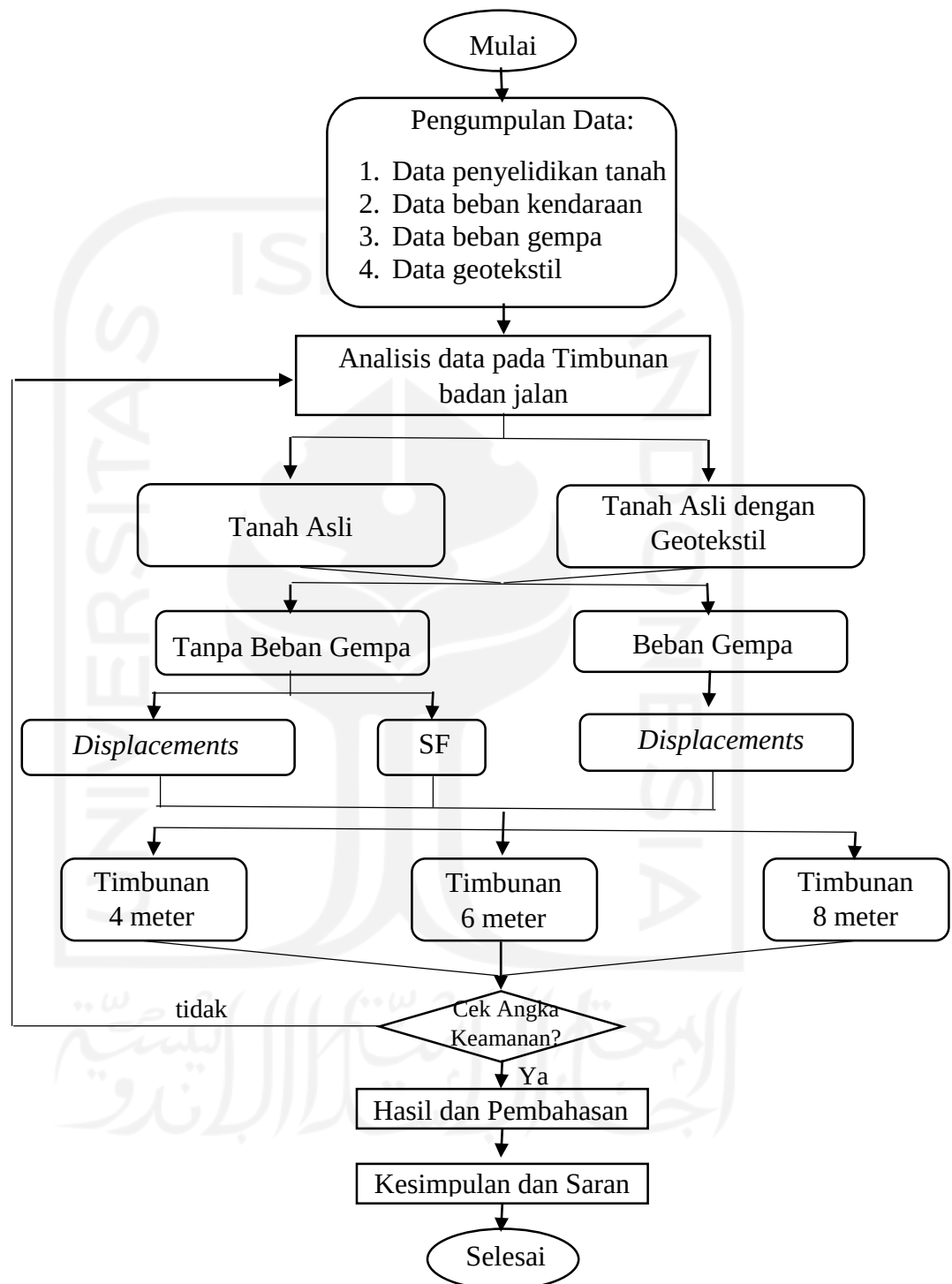
3. *Plaxis output*

Tahapan ini akan menampilkan hasil yang diperoleh dari analisis data yang telah dilakukan pada tahapan sebelumnya, yaitu:

- a. nilai angka keamanan (*safety factor*) dengan variasi tinggi timbunan 4 meter, 6 meter dan 8 meter pada keadaan timbunan tanah asli,
- b. nilai angka keamanan (*safety factor*) dengan variasi tinggi timbunan 4 meter, 6 meter dan 8 meter setelah ditambah dengan perkuatan geotekstil,
- c. besarnya penurunan dengan perhitungan *excess pore water pressure* pada variasi tinggi timbunan 4 meter, 6 meter dan 8 meter pada keadaan timbunan tanah asli, dan
- d. besarnya penurunan dengan perhitungan *excess pore water pressure* pada variasi tinggi timbunan 4 meter, 6 meter dan 8 meter pada keadaan timbunan tanah asli dengan perkuatan geotekstil.

4.6 Bagan Alir

Bagan alir atau langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini



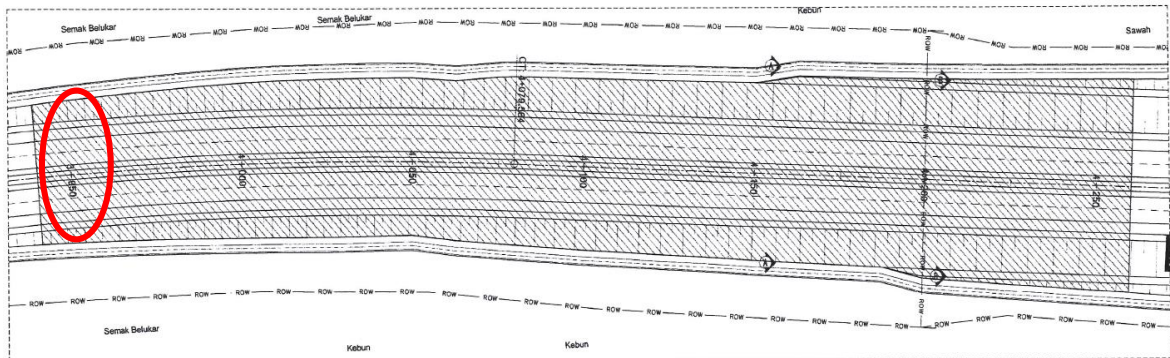
Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum

Tanah timbunan yang akan ditinjau adalah Jalan Tol Padang-Pekanbaru seksi 1 Sicincin-Lubuk Alung-Padang Sta 3+850 yang dapat dilihat pada Gambar 5.1. Analisis stabilitas timbunan dilakukan dengan menggunakan program *Plaxis V20* pada kondisi tanah asli dan kondisi tanah asli dengan menggunakan perkuatan geotekstil. Variasi tinggi timbunan yang akan ditinjau adalah sebesar 4 m, 6 m dan 8 m. Data yang diperlukan dalam analisis ini yaitu data pembebanan, beban gempa dan geotekstil.



**Gambar 5.1 Potongan Peta Stasiun Pembangunan Jalan Tol Padang-Pekanbaru
STA. 3+850 – 4+200**

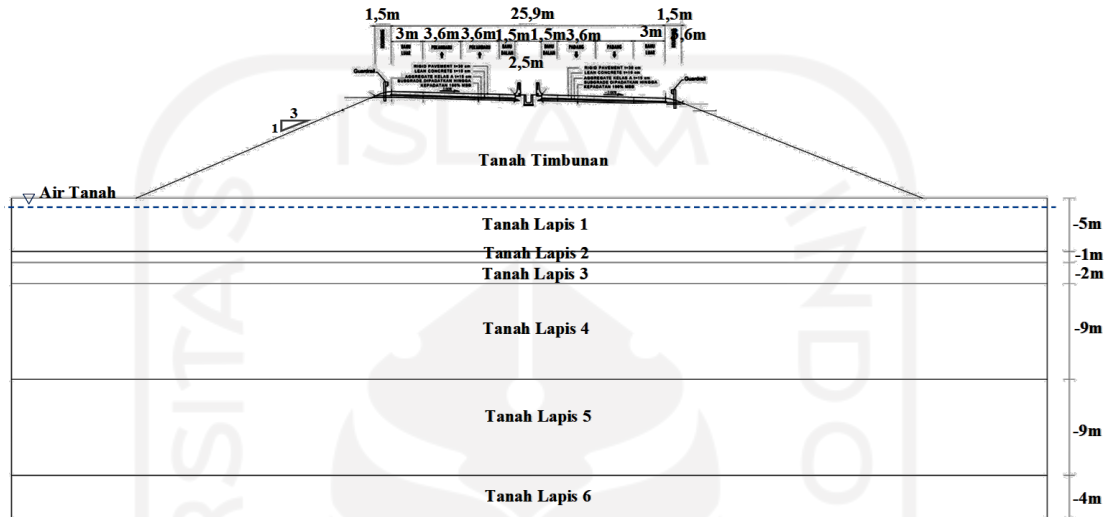
(Sumber: PT. Hutama Karya, 2019)

5.2 Data Penelitian

Dalam melakukan analisis stabilitas lereng pada penelitian ini, dibutuhkan data yang ada di lapangan. Data – data yang dibutuhkan didapat dari PT. Hutama Karya selaku pelaksana proyek. Data parameter tanah, beban-beban yang bekerja serta data geotekstil adalah sebagai berikut.

5.2.1 Data Parameter Tanah

Potongan melintang jalan dan data parameter tanah yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.2 dan Tabel 5.1 berikut.



Gambar 5.2 Potongan Melintang Jalan

(sumber: PT. Hutama karya, 2019)

Tabel 5.1 Data Parameter Tanah

Parameter Tanah	satuan	Timbunan	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Lapisan 5	Lapisan 6
Model		Mohr Coulomb						
Jenis		Undrained						
H	m	8	5	1	2	9	9	4
γ_{sat}	kN/m ³	19	15	15	15	16	17	19
γ_{unsat}	kN/m ³	17	13	13	13	14	15	17
γ_w	kN/m ³	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
c	kN/m ²	5	9	3	36	3	3	3
ϕ	°	30	5	32	6	36	39	45
poisson ratio (v)	kN/m ²	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Kx	m/day	0,0026	0,0026	0,043	0,0026	0,043	0,043	0,043
Ky	m/day	0,0026	0,0026	0,043	0,0026	0,043	0,043	0,043
Eref	kN/m ²	12500	3000	13000	12000	34500	42000	55000

Sumber: PT. Hutama Karya (2019)

5.2.2 Data Beban

Dalam penelitian ini, beban-beban yang bekerja pada lereng adalah beban lalu lintas dan beban gempa.

1. Beban perkerasan dan lalu lintas

Data beban perkerasan yang digunakan adalah sebesar 13,2 kN/m² dari data sekunder. Sedangkan data beban lalu lintas yang digunakan mengacu pada panduan Geoteknik 4 (2002) dengan klasifikasi sistem jaringan yang digolongkan ke dalam fungsi jalan dan lalu lintas harian rata-rata (LHR). Berdasarkan fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 5.2 berikut, beban lalu lintas yang digunakan sebagai perhitungan yaitu sebesar 15 kN/m².

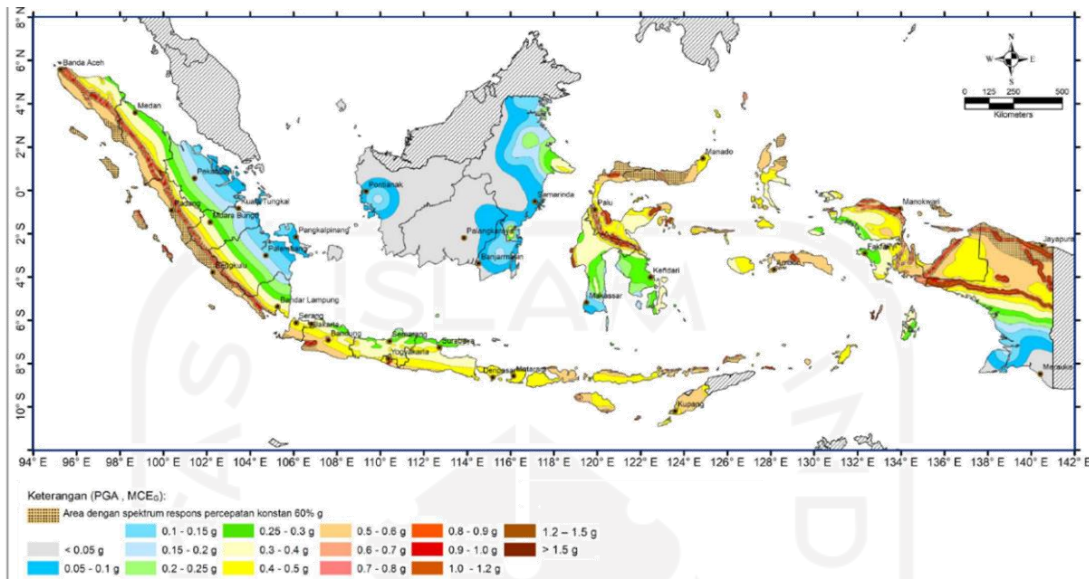
Tabel 5.2 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

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

Sumber: Panduan Geoteknik 4 (DPU, 2002)

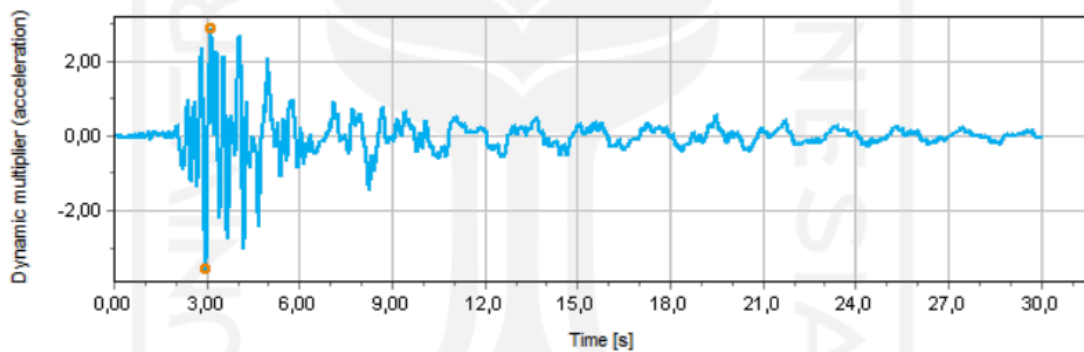
2. Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan untuk melakukan analisis dari penelitian ini yaitu beban gempa dinamis. Berdasarkan peta zonasi gempa Indonesia, besaran percepatan gempa pada Gambar 5.3 wilayah Padang sebesar 0,3-0,4g. Data gempa yang dianalisis ke dalam perhitungan Paxis adalah data kawasan *Gempa Whittier Narrows*, California tahun 1987 dengan percepatan puncak gempa sebesar 3,5g. Sedangkan untuk waktu interval yang akan dianalisis diambil sebesar 5,5 detik dengan anggapan telah melewati percepatan puncak gempa. Grafik respon spektrum dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.3 Peta Zonasi Gempa Indonesia

(Sumber: Peta Gempa, 2019)



Gambar 5.4 Grafik Hubungan Antara Percepatan Dan Waktu

(Sumber: Usgs.gov, 2020)

5.2.3 Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan geotekstil jenis *woven* yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Data Geotekstil

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	T	60	kN/m
Regangan	ε	19	%
Kekakuan Normal	EA	570	kN/m

Sumber: PT. Prima Geotex Indo (2020)

5.3 Analisis Stabilitas Timbunan

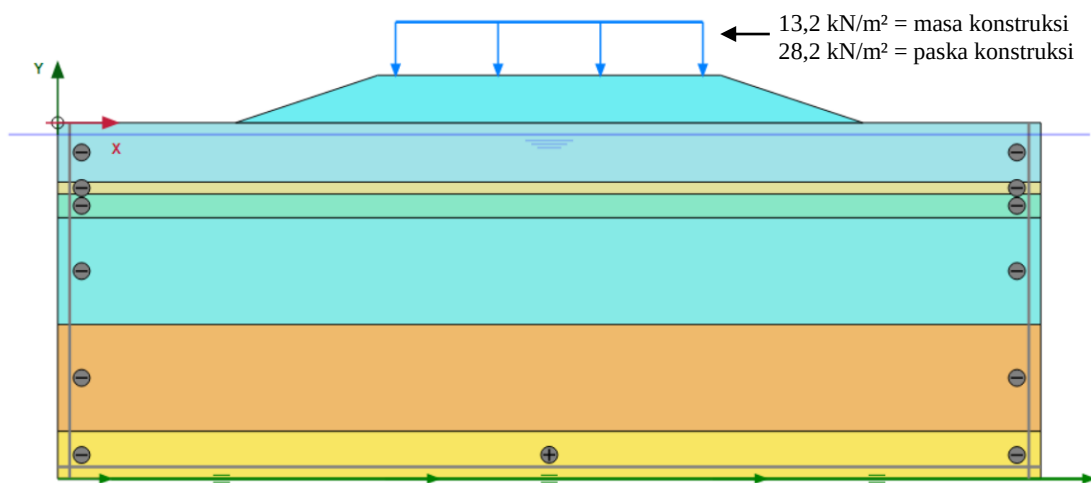
Analisis yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui angka keamanan dan besaran penurunan yang terjadi dengan variasi permodelan timbunan 4 m, 6 m dan 8 m terhadap tanah asli dan dengan perkuatan geotekstil. Analisis dilakukan dengan memperhitungkan beban perkerasan, lalu lintas serta beban gempa. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program *Plaxis* V20 dan perhitungan manual menggunakan metode Fellenius.

5.3.1 Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan

Analisis menggunakan program *Plaxis* V20 pada timbunan badan jalan disesuaikan dengan kondisi lapangan dan variasi tinggi timbunan sebesar 4 meter, 6 meter, dan 8 meter. Permodelan yang akan ditampilkan yaitu timbunan dengan variasi tinggi timbunan 4 meter.

1. Permodelan pada program *Plaxis* V20

Permodelan dengan variasi tinggi timbunan 4 meter pada saat konstruksi dan paska konstruksi seperti Gambar 5.5 berikut.

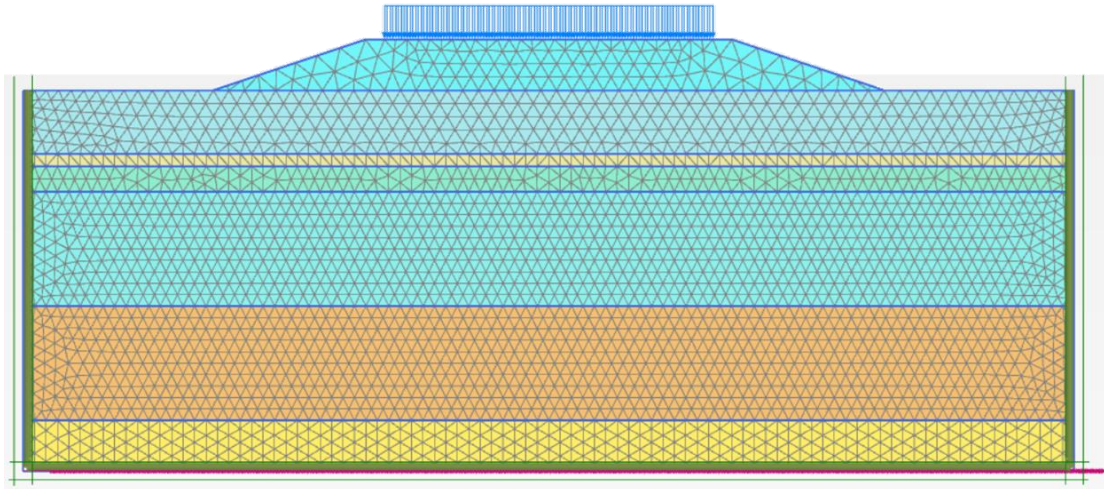


Gambar 5.5 Permodelan Timbunan 4 metereter Kondisi Tanah Asli

2. Pembuatan Jaring Elemen

Setelah dilakukannya permodelan, input data tanah, data beban lalu lintas, data gempa dan data geotekstil yang dapat dilihat pada Tabel sebelumnya. Langkah selanjutnya adalah melakukan penyusunan jaringan elemen hingga (*meshing*)

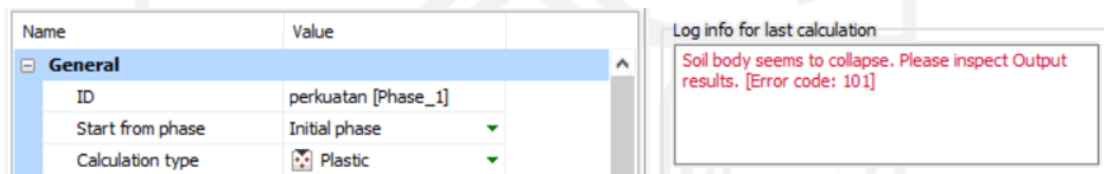
pada lereng dengan jenis *fine*. Jaringan elemen pada timbunan 4 meter dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



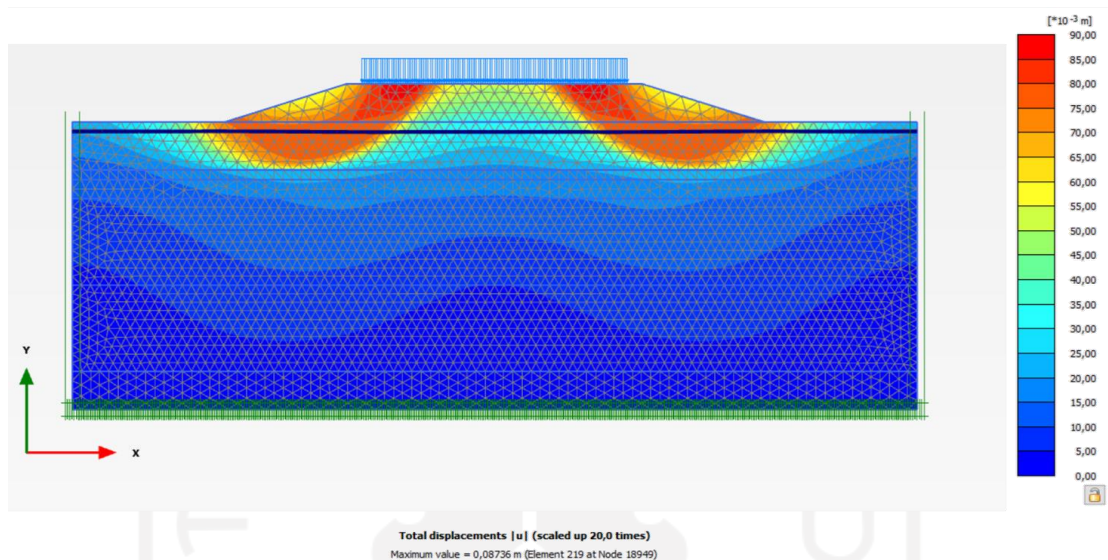
Gambar 5.6 Meshing Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli

3. Hasil perhitungan dengan program *Plaxis v20*

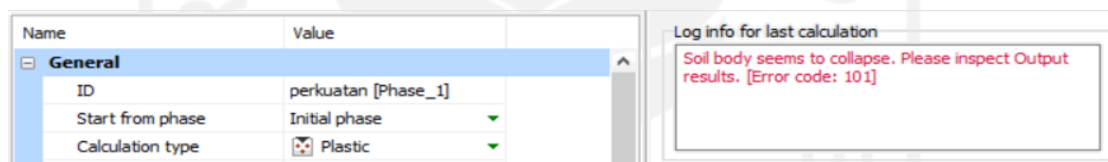
Setelah dilakukan proses perhitungan, tahapan selanjutnya dapat diketahui nilai dari *displacement* keruntuhan lereng asli pada saat konstruksi dan paska konstruksi. Pada timbunan lereng 4 meter kondisi tanah asli tanpa perkuatan pada saat konstruksi dan paska konstruksi saat perhitungan terjadi *soil body collapse*. Sehingga didapat *circular slip surface* timbunan 4 meter yang dapat dilihat pada Gambar berikut.



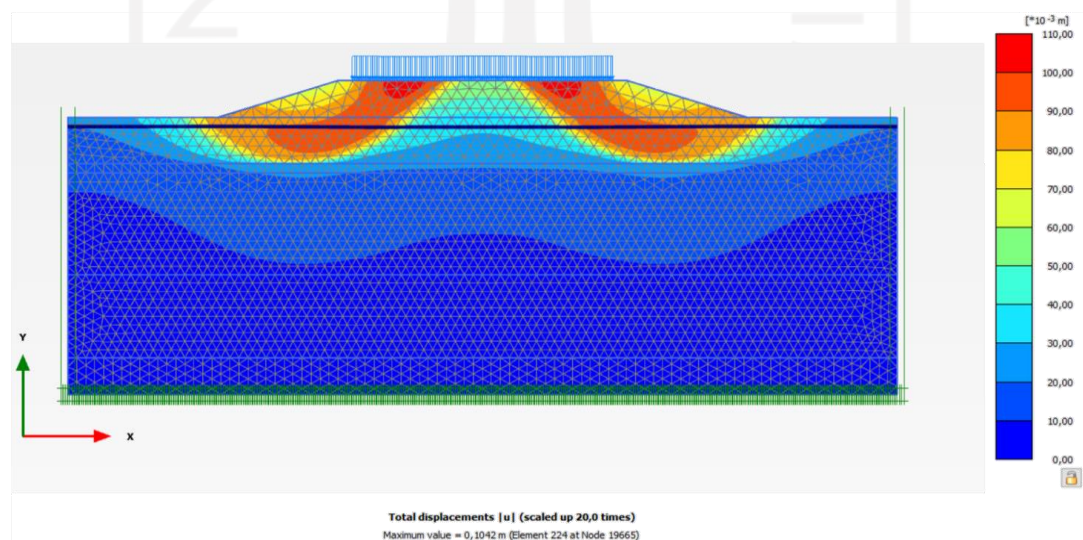
Gambar 5.7 Calculations Dengan Lembar Tab General Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi



Gambar 5.8 *Slip Surface* Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi



Gambar 5.9 *Calculations* Dengan Lembar Tab General Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi



Gambar 5.10 *Slip Surface* Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi

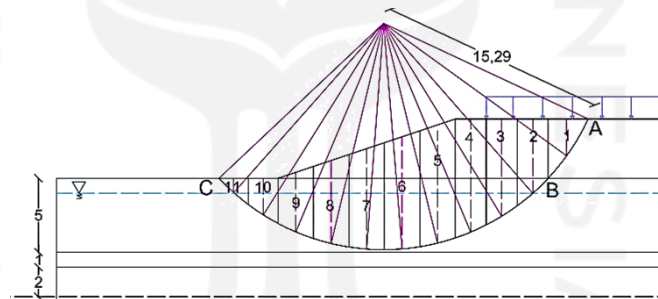
Untuk variasi tinggi timbunan 6 meter dan 8 meter masa konstruksi dan paska konstruksi dengan cara analisis yang sama, hasil perhitungan angka keamanan timbunan pada kondisi tanah asli dengan *Plaxis* dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Angka Keamanan Kondisi Tanah Asli

Variasi Timbunan	Permodelan	Masa Konstruksi		Paska Konstruksi	
		Tanpa Gempa	Dengan Gempa	Tanpa Gempa	Dengan Gempa
Timbunan 4 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>
Timbunan 6 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>
Timbunan 8 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>

5.3.2 Metode *Fellenius*

Perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai angka aman pada lereng tanah asli karena program *Plaxis* tidak dapat menunjukkan hasilnya. Dari hasil analisis menggunakan program *Plaxis* didapat garis potensi kelongsoran pada tinggi timbunan 4 m masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Penampang Irisan Pada Timbunan 4 meter

Berdasarkan gambar di atas, bidang longsor dibagi menjadi 11 irisan dengan panjang total dari bidang longsor (arah horizontal) yaitu 25 m. Berikut ini merupakan contoh perhitungan dengan menggunakan metode *fellenius* pada irisan 1.

1. Perhitungan Berat Irisan (W_i)

$$\begin{aligned}
 W_1 &= (\gamma \times A_1) + (q \times L) \\
 &= (17 \times 6,034) + (13,2 \times 2,5) \\
 &= 135,570 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan $W_i \cos \theta$

$$\begin{aligned}
 W_1 \cos \theta &= W_1 \times \cos 54 \\
 &= 79,686 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan $W_i \sin \theta$

$$\begin{aligned} W_1 \sin \theta &= W_1 \times \sin 54 \\ &= 109,678 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. Perhitungan $W_i \cos \theta - U_i$

$$\begin{aligned} W_1 \cos \theta - U_i &= W_1 \cos 54 - 0 \\ &= 79,686 \text{ kN} \end{aligned}$$

5. Perhitungan $(W_i \cos \theta - U_i) \times \tan \varphi$

$$\begin{aligned} (W_1 \cos \theta - U_i) \times \tan \varphi &= (W_1 \cos 54 - 0) \times \tan 30 \\ &= 46,007 \text{ kN} \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan gaya berat pias pada timbunan 4 meter masa konstruksi dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.5 Hitungan Metode Fellenius

Irisan	b	Area	Berat W_i	Sudut	$W_i \cos \theta$	$W_i \sin \theta$	$U_i = u_i \cdot A_i$	$W_i \cos \theta - U_i$	$(W_i \cos \theta - U_i) \times \tan \varphi$
no	(m)	(m²)	(kN)	(°)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
1	2,5	6,034	135,570	54	79,686	109,678	0	79,686	46,007
2	2,1	8,371	170,025	41	151,659	131,836	0	124,191	10,865
		1,593	23,901				0		
		0,468	7,025				27,468		
		8,371	170,025				0		
3	2,1	2,100	31,500	32	212,131	132,554	0	187,900	16,439
		3,241	48,615				24,231		
		8,371	150,225				0		
		2,100	31,500				0		
4	2,1	5,511	82,664	23	261,597	111,041	22,367	239,230	20,930
		8,640	146,880				0		
		2,400	36,000				0		
		8,077	121,155				24,231		
5	2,4	6,720	114,240	14	295,004	73,553	0	270,773	23,690
		2,400	36,000				0		
		8,077	121,155				24,231		
		6,720	114,240				0		
6	2,4	2,400	36,000	-5	284,452	-24,886	0	260,810	22,818
		9,020	135,299				23,642		
		4,800	81,600				0		
		2,400	36,000				0		
7	2,4	9,040	135,603	-4	252,586	-17,663	23,642	228,944	20,030
		2,880	48,960				0		
		2,400	36,000				0		
		8,140	122,094				24,231		
8	2,4	0,960	16,320	-13	201,747	-46,577	0	177,517	15,531
		2,400	36,000				0		
		8,140	122,094				24,231		
		0,960	16,320				0		
9	2,4	2,400	36,000	-23	134,370	-57,037	0	108,766	9,516
		6,244	93,654				25,604		
		2,000	30,000				0		
		2,912	43,679				23,250		
10	2,0	1,501	22,511	-32	62,483	-39,044	0	39,233	3,432
		0,392	5,882				26,389		
11	2	1,501	22,511	-42	21,099	-18,998	0	-5,290	-0,463
		0,392	5,882				26,389		
				Σ	1956,815	354,458			188,795

Berdasarkan hasil pengukuran, didapatkan panjang jari-jari $R = 15,29$ m, garis lengkung pada tanah lapis 1 (A-B) = 3,032 m dan tanah lapis 2 (B-C) = 16,589 m. Dari panjang garis lengkung tersebut dapat dihitung nilai tahanan kelongsoran yang dikerahkan oleh komponen kohesi sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\sum c_i a_i &= (5 \times 3,032) + (9 \times 16,589) \\ &= 164,461 \text{ kN}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\text{SF} &= \frac{\sum M_r}{\sum M_d} \\ &= \frac{164,461 \times 188,795}{354,458} \\ &= 0,996\end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi perhitungan angka keamanan pada tanah timbunan yang mengalami kelongsoran (*collapse*) pada variasi timbunan 6 meter dan 8 meter masa konstruksi dengan cara perhitungan yang sama dengan timbunan 4 meter masa konstruksi menggunakan metode *fellenius* didapat hasil 0,895 dan 0,820. Sedangkan untuk perhitungan variasi timbunan 4 meter, 6 meter, dan 8 meter paska konstruksi cara perhitungan metode *fellenius* sama dengan perhitungan timbunan 4 meter masa konstruksi namun nilai beban merata yang digunakan berbeda yaitu sebesar 28,2 kN/m². Untuk rekapitulasi hasil perhitungan dengan metode *fellenius* dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Angka Keamanan Metode *Fellenius*

Timbunan (m)	Angka Keamanan	
	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi
4	0,996	0,858
6	0,895	0,818
8	0,820	0,781

Berdasarkan hasil angka keamanan yang didapat melalui perhitungan di atas, diketahui bahwa nilai angka keamanan tidak memenuhi persyaratan yaitu $>1,5$. Oleh

karena itu, perlu dilakukan perkuatan tanah untuk meningkatkan angka keamanan. Perkuatan tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah perkuatan dengan menggunakan geotekstil.

5.3.3 Perhitungan Geotekstil

Perhitungan geotekstil memerlukan data parameter tanah dan koefisien daya dukung tanah yang dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.7 Data Parameter Tanah

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Berat volume tanah	γ_{unsat}	17	kN/m ²
Kohesi	c	5	kN/m ²
Sudut gesek dalam	ϕ	30	°

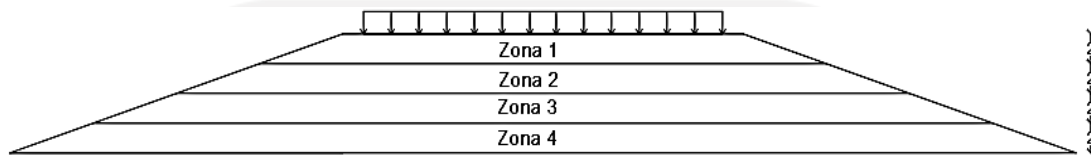
Sumber: PT Hutama Karya (2019)

Tabel 5.8 Koefisien Daya Dukung Tanah

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

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009

Perhitungan perencanaan geotekstil pada timbunan 8 m dengan beban merata yang digunakan adalah 13,2 kN/m². Geotekstil yang digunakan merupakan geotekstil woven dengan kuat Tarik ijin sebesar 60 kN/m. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan pembagian zona pada tanah timbunan seperti Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Pembagian Zona Pada Tanah Timbunan

1. Menentukan jarak arah vertikal antar lapis (S_v)

a. Analisis zona 1

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

$$= \tan^2 \left(45^\circ - \left(\frac{30}{2} \right) \right)$$

$$= 0,333$$

$$\sigma_{hc1} = q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} + K_a \cdot H \cdot \gamma_b$$

$$= 28,2 \times 0,333 - 2 \times 5 \times \sqrt{0,333} + 0,333 \times 2 \times 17$$

$$= 14,960 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = \text{diambil } 1,5$$

$$S_{v1} = \frac{T_a}{\sigma_{hc} \cdot SF}$$

$$= \frac{60/3}{14,960 \times 1,5}$$

$$= 0,891 \text{ m (dipakai 1 m)}$$

b. Analisis zona 2

$$\sigma_{hc2} = -2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} + K_a \cdot H_2 \cdot \gamma_b$$

$$= -2 \times 5 \times \sqrt{0,333} + 0,333 \times 4 \times 17$$

$$= 16,893 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = \text{diambil } 1,5$$

$$S_{v2} = \frac{T_a}{\sigma_{hc} \cdot SF}$$

$$= \frac{60/3}{16,893 \times 1,5}$$

$$= 0,789 \text{ m (dipakai 1 m)}$$

c. Analisis zona 3

$$\sigma_{hc3} = -2.c.\sqrt{ka} + ka.H_3.\gamma b$$

$$= -2 \times 5 \times \sqrt{0,333} + 0,333 \times 6 \times 17$$

$$= 28,227 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = \text{diambil } 1,5$$

$$S_{v3} = \frac{Ta}{\sigma_{hc}.SF}$$

$$= \frac{60/3}{28,227 \times 1,5}$$

$$= 0,472 \text{ m (dipakai 0,5 m)}$$

d. Analisis zona 4

$$\sigma_{hc4} = -2.c.\sqrt{ka} + ka.H_4.\gamma b$$

$$= -2 \times 5 \times \sqrt{0,333} + 0,333 \times 8 \times 17$$

$$= 39,560 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = \text{diambil } 1,5$$

$$S_{v4} = \frac{Ta}{\sigma_{hc}.SF}$$

$$= \frac{60/3}{39,560 \times 1,5}$$

$$= 0,337 \text{ m (dipakai 0,5 m)}$$

2. Stabilitas eksternal

a. Stabilitas terhadap geser

$$L = \frac{SF.(q.Ka.H + Ka.H^2.\gamma b - 2.c.\sqrt{Ka}.H)}{(q + \gamma b). \tan \varphi}$$

$$= \frac{1,5.(28,2.0,333.8 + 0,333.8^2.17 - 2.5.\sqrt{0,333}.8)}{(28,2 + 17). \tan 30}$$

$$= 22,514 \text{ m} = 23 \text{ m}$$

b. Stabilitas terhadap guling

$$L^2 = \frac{SF \cdot \left(\frac{1}{2} q \cdot Ka \cdot H^2 + \frac{1}{6} Ka \cdot H^3 \cdot \gamma b - c \cdot \sqrt{Ka} \cdot H^2 \right)}{\left(\frac{1}{2} q + \frac{1}{2} \gamma b \cdot H \right)}$$

$$= \frac{1,5 \cdot \left(\frac{1}{2} 28,2 \cdot 0,333 \cdot 8^2 + \frac{1}{6} 0,333 \cdot 8^3 \cdot 17 - 5 \cdot \sqrt{0,333} \cdot 8^2 \right)}{\left(\frac{1}{2} 28,2 + \frac{1}{2} 17 \cdot 8 \right)}$$

$$= 10,955 \text{ m}$$

$$L = 3,310 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

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

$$\geq \frac{\left(\frac{1}{2} 28,2 \cdot 0,333 \cdot 8^2 + \frac{1}{6} 0,333 \cdot 8^3 \cdot 17 - 5 \cdot \sqrt{0,333} \cdot 8^2 \right)}{(28,2 \cdot L + 17 \cdot 8 \cdot L)}$$

$$\geq \frac{599,604}{164,2L}$$

$$L = 4,681 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

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

$$= 5 \cdot 30,14 + 0,5 \cdot L \cdot 17 \cdot 22,40$$

$$= 150,7 + 190,4L$$

$$\sigma_{ult} = q_{ult} \cdot SF$$

$$= (150,7 + 190,4L) \cdot 1,5$$

$$= (226,05 + 285,6L)$$

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \cdot \gamma b + q}$$

$$\leq \frac{(226,05 + 285,6L)}{8 \cdot 17 + 28,2}$$

$$= -0,217 \text{ m}$$

Dari analisis tersebut panjang geotekstil yang akan digunakan sebesar 23 m.

3. Stabilitas internal

Panjang geotekstil *overlapping*

$$L_0 = \frac{\sigma_{hci} \cdot S_{vi} \cdot SF}{2 \cdot Z_i \cdot \gamma b \cdot \tan \varphi}$$

$$= \frac{39,560.0.5.1.5}{2.8.17. \tan 30}$$

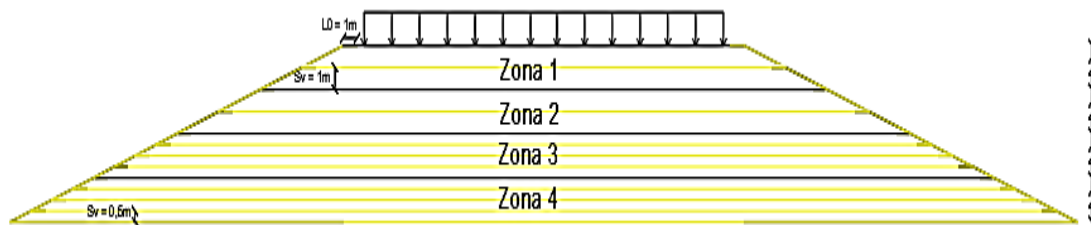
$$= 0,127 \text{ m (pemakaian minimal 1 m)}$$

Hasil perhitungan stabilitas internal pada geotekstile dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Geotekstile

	Z_i (m)	Sv_i (m)	Sv_i pakai (m)	L_o (m)	L_o pakai (m)
zona 1	2	0,891	1	0,509	1
	2	0,891	1	0,509	1
zona 2	4	0,789	1	0,255	1
	4	0,789	1	0,255	1
zona 3	6	0,472	0,5	0,170	1
	6	0,472	0,5	0,170	1
	6	0,472	0,5	0,170	1
	6	0,472	0,5	0,170	1
zona 4	8	0,337	0,5	0,127	1
	8	0,337	0,5	0,127	1
	8	0,337	0,5	0,127	1
	8	0,337	0,5	0,127	1

Adapun cara pemasangan geotekstil pada setiap zona dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



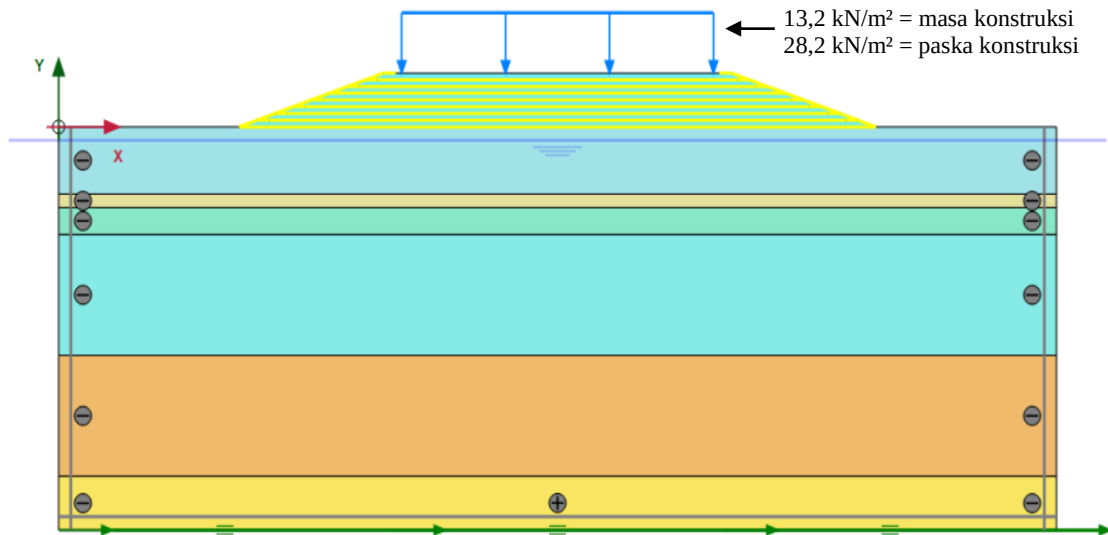
Gambar 5.13 Pemasangan Geotekstil Pada Setiap Zona

5.3.4 Timbunan Tanah Asli Dengan Perkuatan

Analisis menggunakan program *Plaxis V20* pada timbunan badan jalan disesuaikan dengan kondisi lapangan dan variasi tinggi timbunan sebesar 4 meter, 6 meter, dan 8 meter. Permodelan perhitungan yang akan ditampilkan yaitu timbunan dengan variasi tinggi 4 meter. Sedangkan untuk variasi tinggi timbunan 6 meter dan 8 meter dapat dilihat pada lampiran.

1. Permodelan pada program *Plaxis V20*

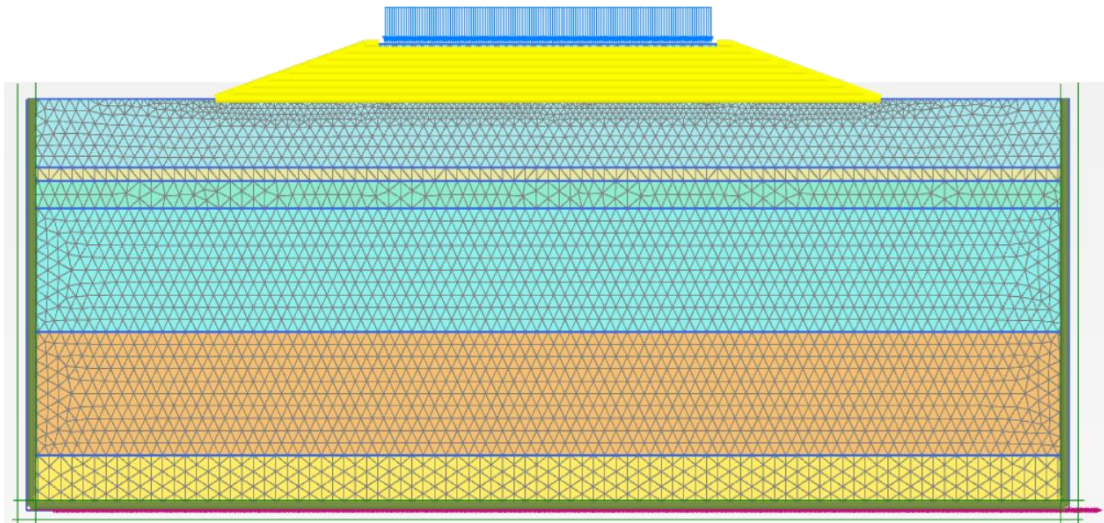
Permodelan dengan variasi tinggi timbunan 4 m pada saat konstruksi dan paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.14 Permodelan Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil

2. Pembuatan Jaring Elemen

Setelah dilakukannya permodelan, input data tanah, data beban lalu lintas, data gempa dan data geotekstil. Langkah selanjutnya adalah melakukan penyusunan jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng dengan jenis *fine*. Jaringan elemen pada timbunan 4 meter dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Meshing Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil

3. Hasil perhitungan dengan program *Plaxis V20*

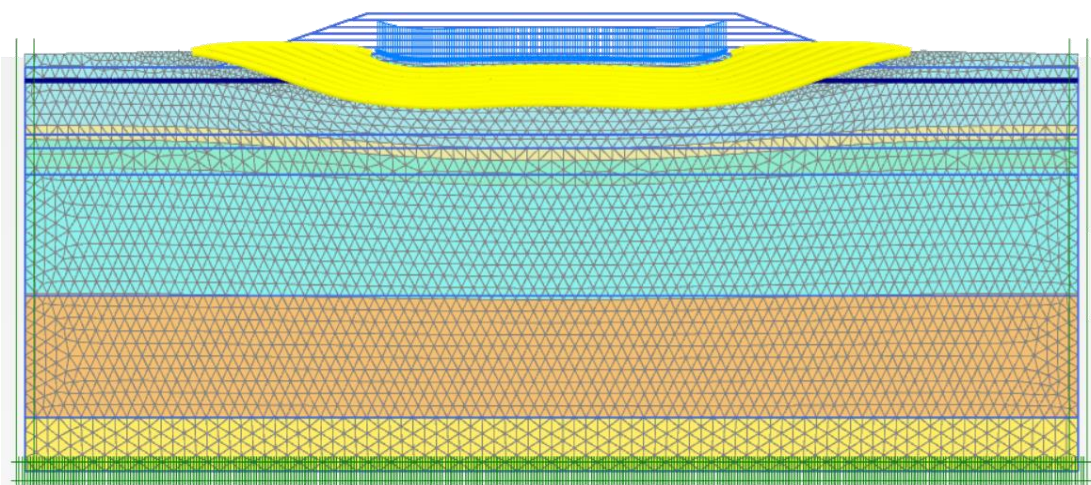
Setelah dilakukan proses perhitungan, selanjutnya dapat diketahui nilai dari *displacement* pada timbunan tanah asli dengan perkuatan geotekstil pada saat konstruksi dan paska konstruksi.

a. Tanpa beban gempa

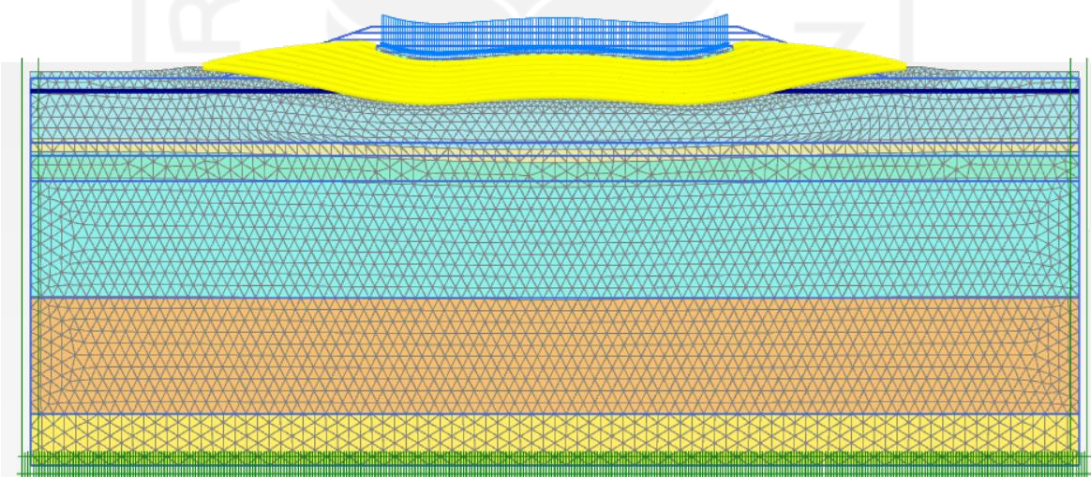
Hasil perhitungan yang didapatkan pada timbunan 4 meter kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil tanpa beban gempa adalah sebagai berikut.

1) *Deformed Mesh*

Untuk hasil *deformed mesh* pada timbunan 4 meter kondisi tanah asli dengan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 berikut.



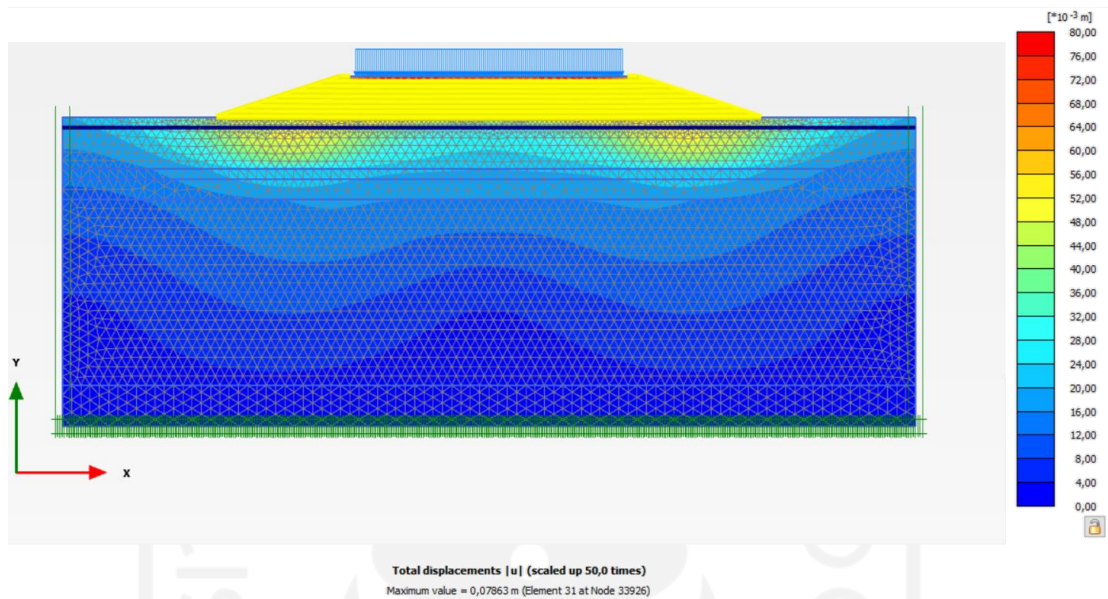
Gambar 5.16 *Deformed Mesh* Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



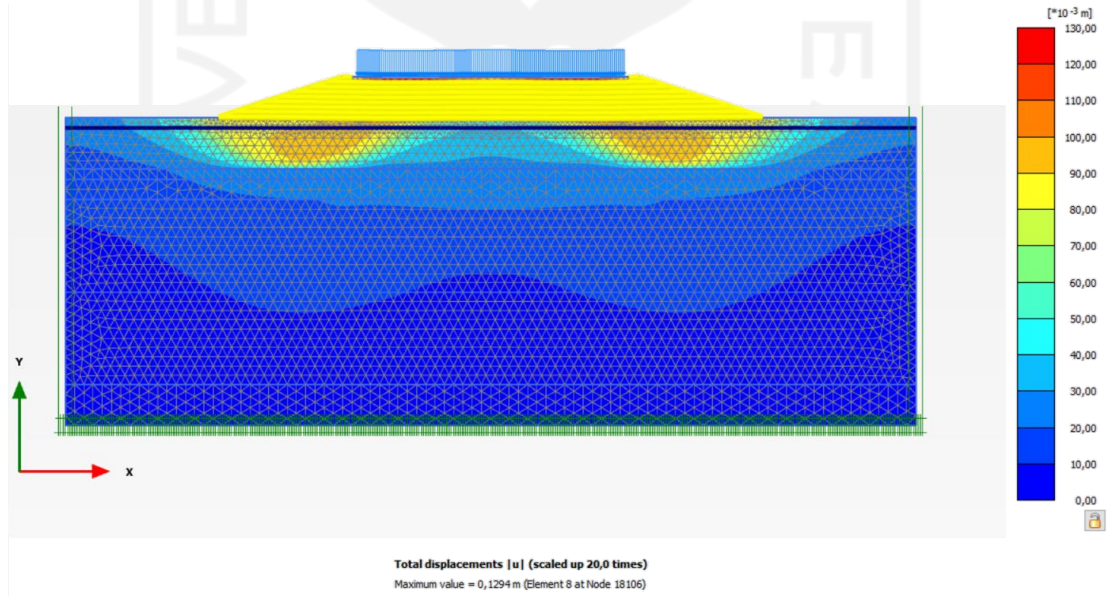
Gambar 5.17 *Deformed Mesh* Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa

2) *Total Displacements*

Besarnya nilai *total displacements* pada badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 4 meter dapat dilihat pada Gambar 5.18 dan Gambar 5.19 berikut.



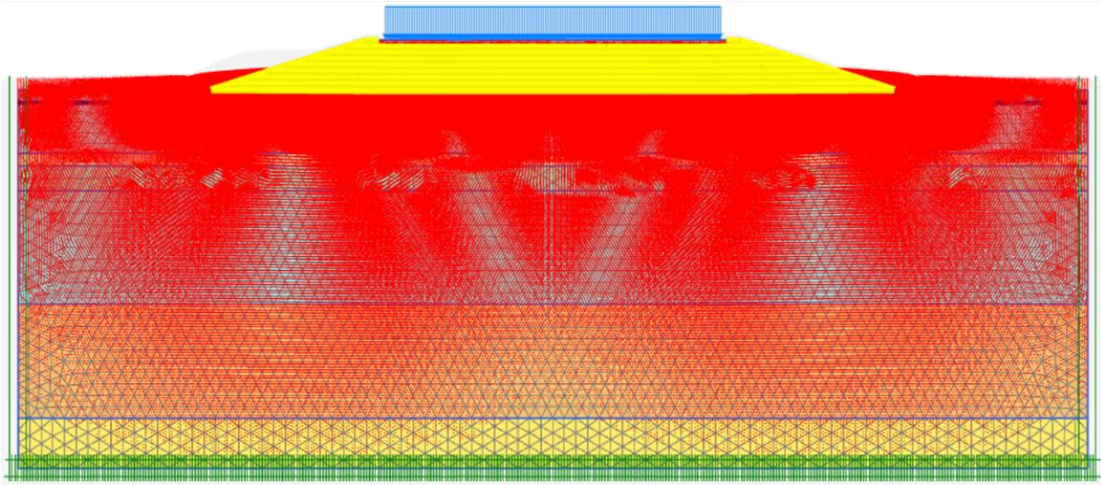
Gambar 5.18 *Total Displacements* Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



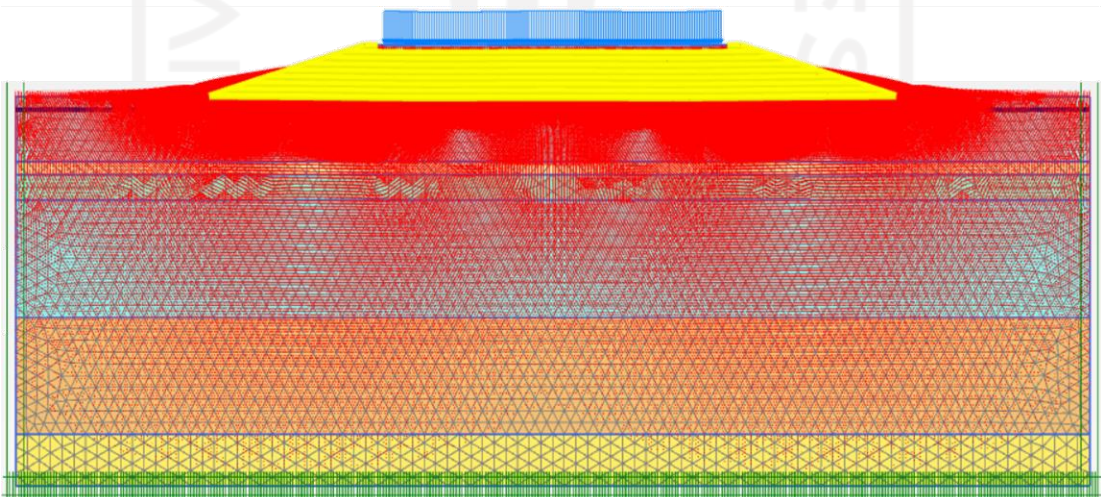
Gambar 5.19 *Total Displacements* Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa

3) Arah Pergerakan Tanah

Arah pergerakan dan daerah potensial longsor pada timbunan 4 meter dapat dilihat pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.20 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa

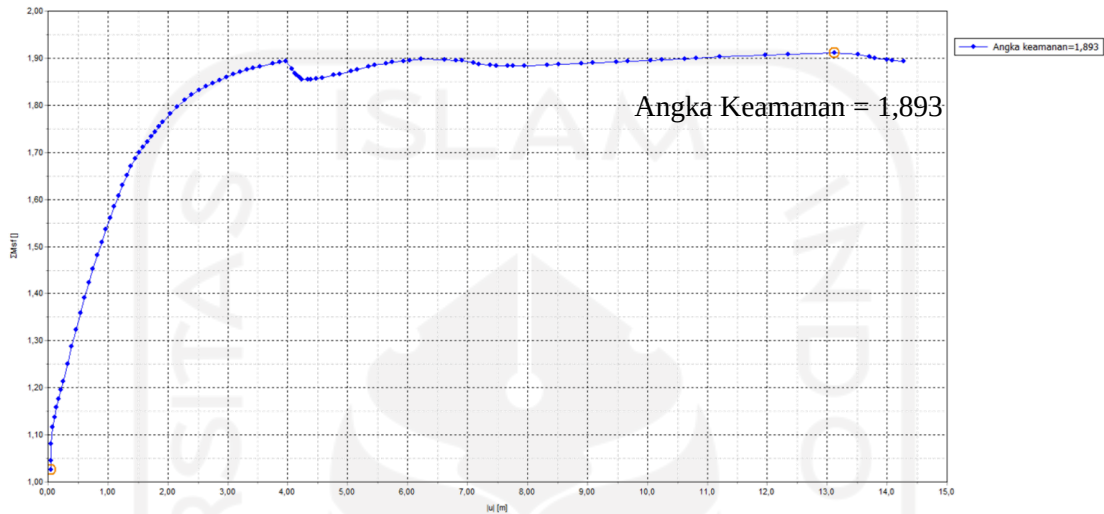


Gambar 5.21 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa

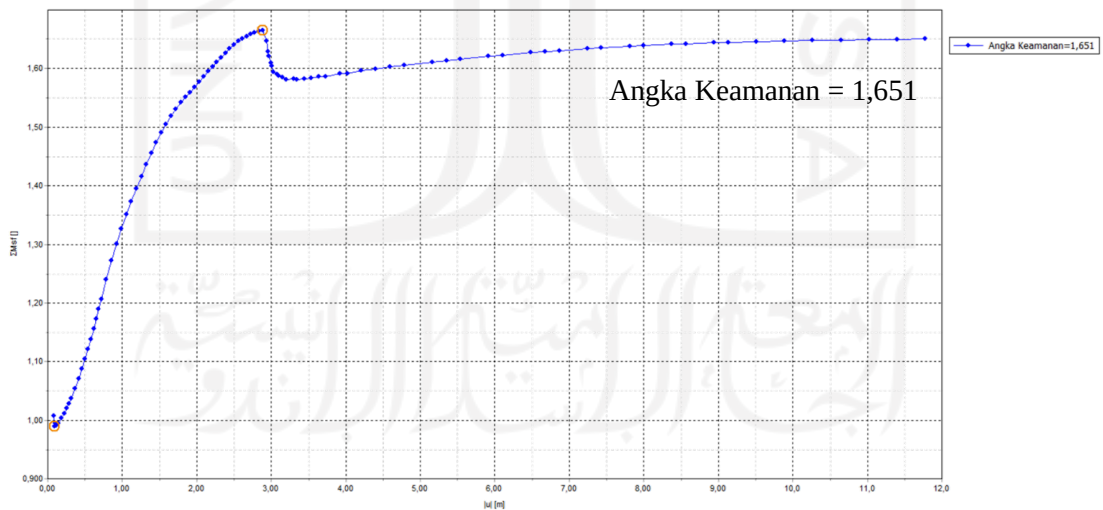
4) *Safety Factor*

Pada tanah timbunan 4 meter kondisi tanah asli dengan geotekstil saat konstruksi mempunyai nilai angka keamanan sebesar 1,893 sedangkan pada

saat paska konstruksi hasil angka keamanan sebesar 1,651. Grafik angka keamanan pada timbunan 4 meter kondisi tanah asli dengan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.22 Grafik *Safety Factor* Tanah Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi



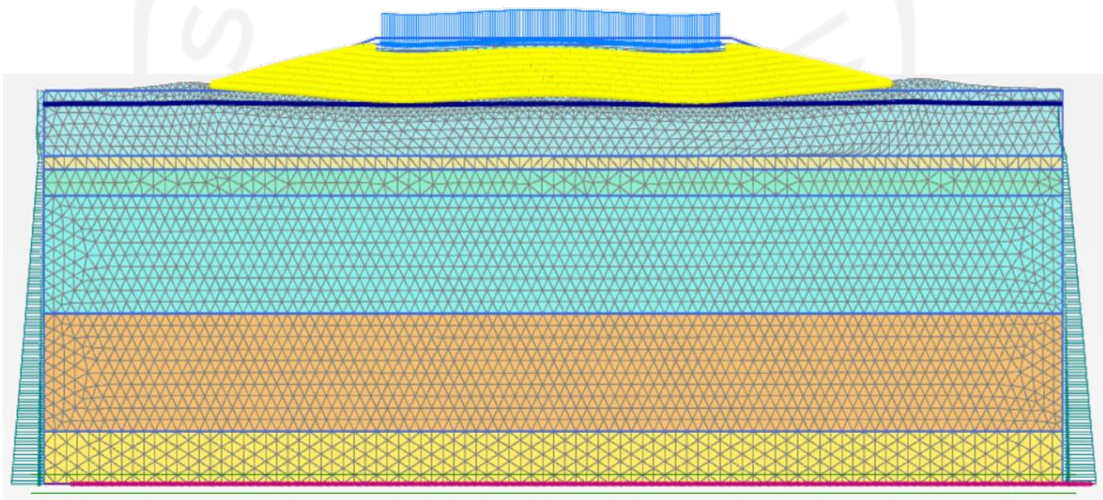
Gambar 5.23 Grafik *Safety Factor* Tanah Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi

b. Dengan beban gempa

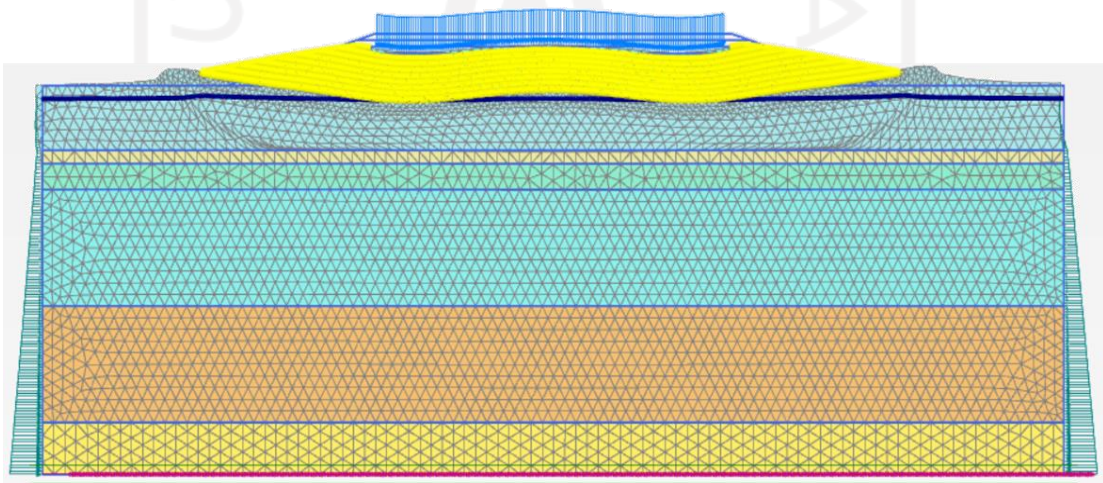
Hasil analisis yang didapatkan pada timbunan 4 meter kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil dengan beban gempa adalah sebagai berikut.

1) *Deformed Mesh*

Untuk hasil *deformed mesh* pada timbunan 4 meter kondisi tanah asli dengan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25 berikut.



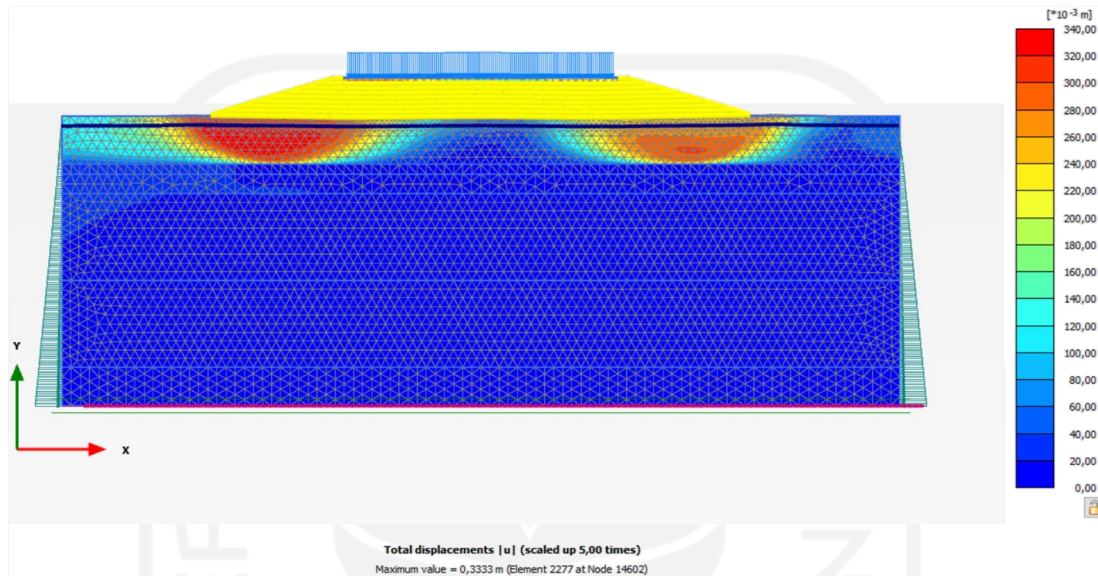
Gambar 5.24 *Deformed Mesh* Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



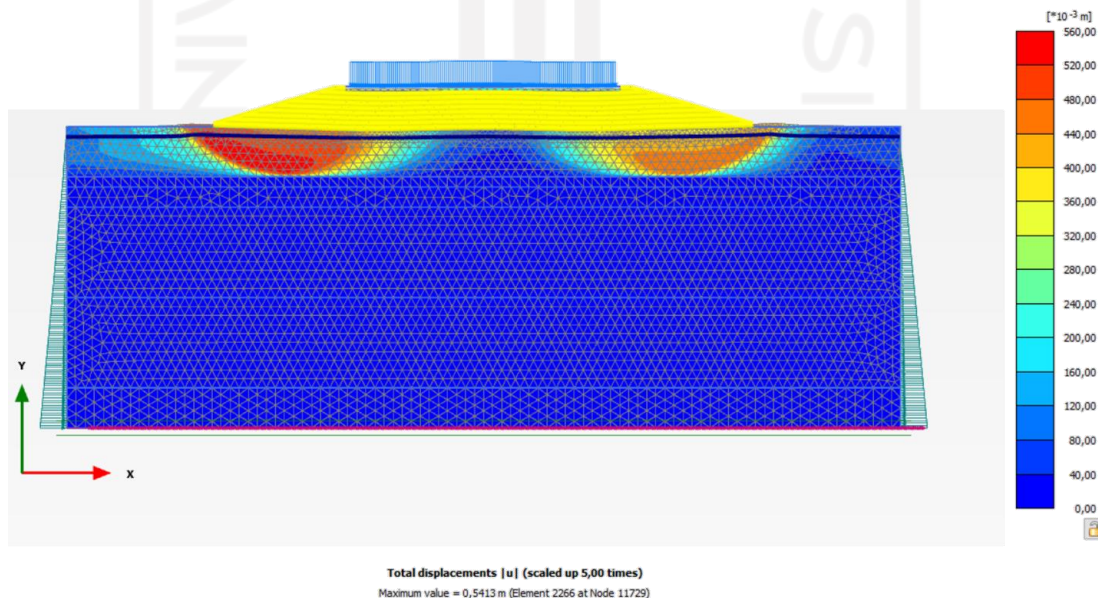
Gambar 5.25 *Deformed Mesh* Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa

2) Total Displacements

Besarnya nilai *total displacements* pada badan jalan dengan tinggi timbunan 4 meter dapat dilihat pada Gambar 5.26 dan Gambar 5.27 berikut.



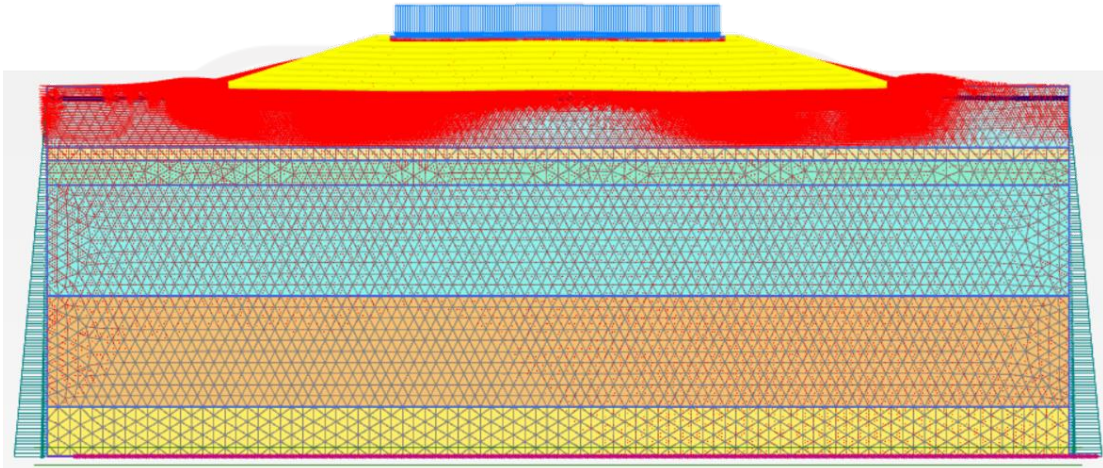
Gambar 5.26 Total Displacements Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



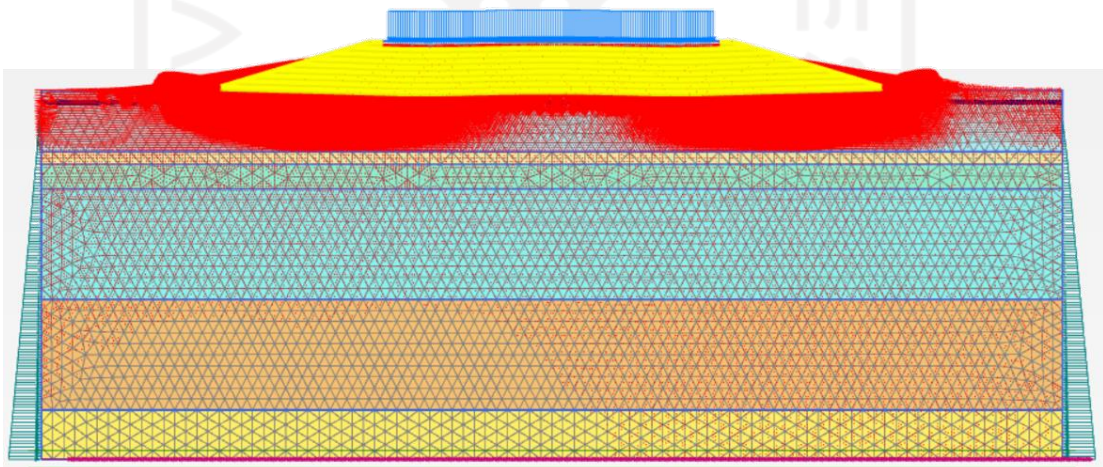
Gambar 5.27 Total Displacements Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa

3) Arah Pergerakan Tanah

Arah pergerakan dan daerah potensial longsor pada timbunan 4 meter dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 5.28 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa

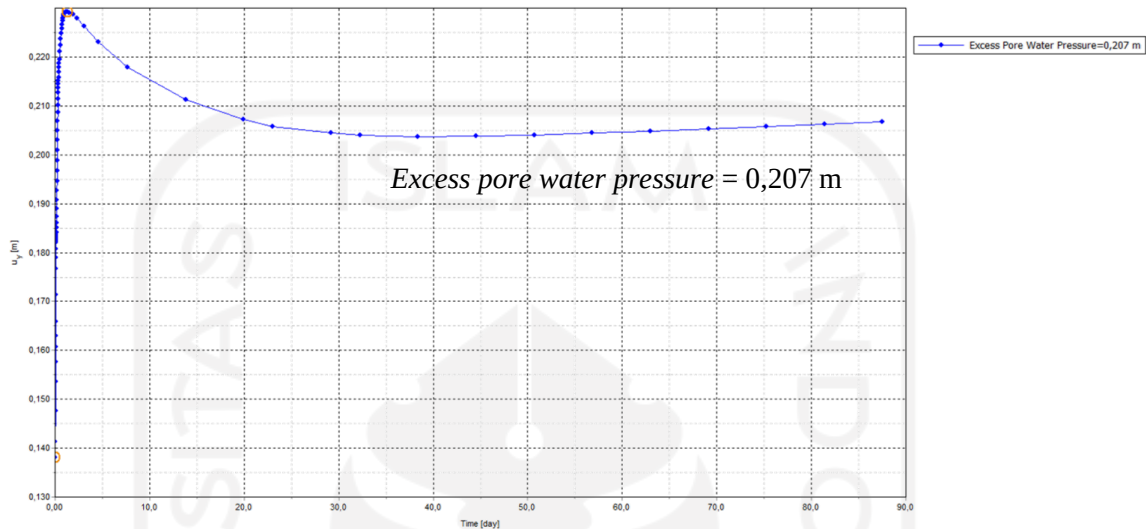


Gambar 5.29 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa

c. Penurunan

Nilai penurunan yang didapat pada Timbunan 4 meter kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil dengan perhitungan *excess pore water pressure* adalah

sebesar 0,207 meter. Grafik penurunan *excess pore water pressure* dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut.



Gambar 5.30 Grafik Penurunan Perhitungan *Excess Pore Water Pressure* pada Timbunan 4 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil

5.4 Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan analisis stabilitas timbunan pada badan jalan untuk mengetahui nilai angka keamanan pada timbunan. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan program *Plaxis V20* dengan variasi timbunan 4 meter, 6 meter, dan 8 meter pada kondisi tanah asli dan kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil.

1. Angka Keamanan

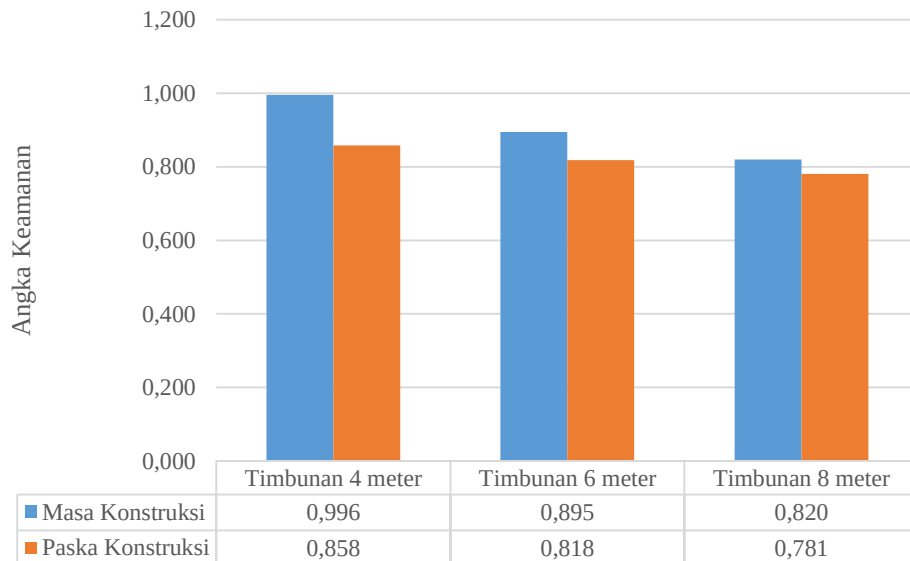
Perhitungan angka keamanan pada *Plaxis V20* hanya dapat menghitung kondisi tanpa gempa, sedangkan angka keamanan pada kondisi dengan beban gempa tidak dapat dihitung setelah proses perhitungan dinamik pada *Plaxis V20*. Sehingga analisis gempa dinamik hanya dapat menghitung *total displacements* yang terjadi. Perhitungan angka keamanan pada kondisi tanah asli dengan menggunakan program *Plaxis V20* tidak dapat dimunculkan karena terjadi *soil body collapse* pada saat analisis. Sehingga digunakan metode *fellenius* untuk mendapatkan angka keamanan pada setiap variasi tinggi timbunan kondisi tanah asli. Untuk hasil

perhitungan angka keamanan pada kondisi tanah asli dengan metode *fellenius* dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Gambar 5.31 berikut ini.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Angka Keamanan Menggunakan Metode *Fellenius*

Timbunan (m)	Angka Keamanan	
	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi
4	0,996	0,858
6	0,895	0,818
8	0,820	0,781

Berikut ini merupakan grafik hasil angka keamanan kondisi tanah asli dengan metode *fellenius* dapat dilihat pada Gambar 5.31.



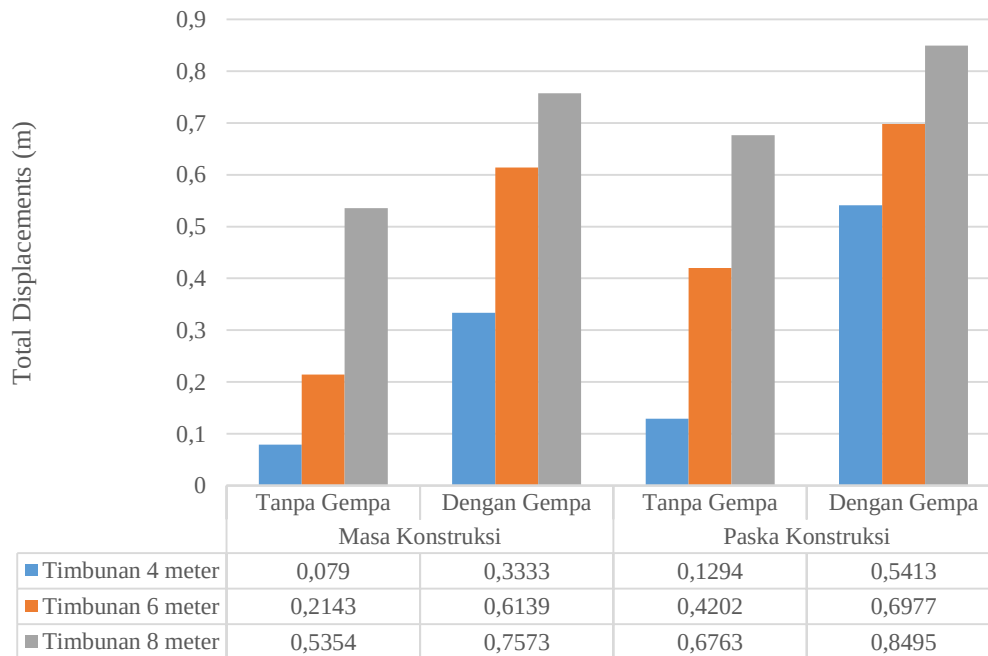
Gambar 5.31 Grafik Perhitungan Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli Menggunakan Metode *Fellenius*

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan program *Plaxis V20* pada setiap variasi timbunan kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil, didapatkan hasil perhitungan *total displacements* dan angka keamanan pada setiap variasi timbunan yang dapat dilihat pada Tabel dan Gambar berikut ini.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Total Displacements* Dengan *Plaxis*

Variasi Timbunan	Permodelan	Masa Konstruksi		Paska Konstruksi	
		Tanpa Gempa	Dengan Gempa	Tanpa Gempa	Dengan Gempa
Timbunan 4 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>
	Tanah Asli Dengan Geotekstil	0,079	0,3333	0,1294	0,5413
Timbunan 6 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>
	Tanah Asli Dengan Geotekstil	0,2143	0,6139	0,4202	0,6977
Timbunan 8 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>
	Tanah Asli Dengan Geotekstil	0,5354	0,7573	0,6763	0,8495

Berikut ini merupakan grafik analisis perhitungan *total discalcement* dengan program *Plaxis* V20 pada setiap variasi timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.32 berikut ini.



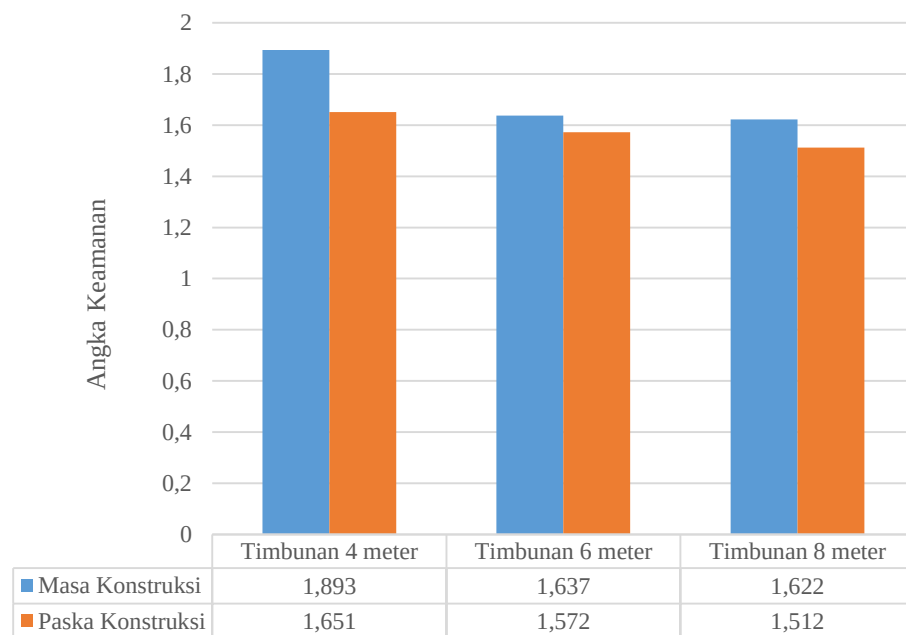
Gambar 5.32 Grafik Perhitungan *Total Displacements*

Rekapitulasi hasil angka keamanan dengan menggunakan *Plaxis* V20 pada setiap variasi timbunan dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Angka Keamanan Dengan *Plaxis*

Variasi Timbunan	Permodelan	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi
Timbunan 4 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>
	Tanah Asli Dengan Geotekstil	1,893	1,651
Timbunan 6 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>
	Tanah Asli Dengan Geotekstil	1,637	1,572
Timbunan 8 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>
	Tanah Asli Dengan Geotekstil	1,622	1,512

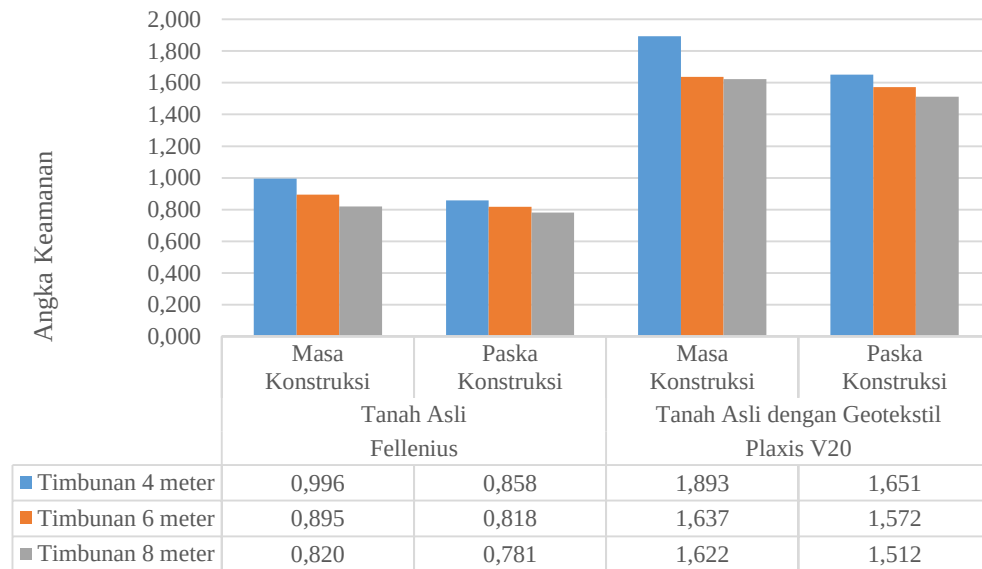
Berikut ini merupakan grafik analisis perhitungan angka keamanan dengan program *Plaxis* V20 kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil pada setiap variasi timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut ini.



Gambar 5.33 Grafik Perhitungan Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli dengan Geotekstil Menggunakan Program *Plaxis*

Berdasarkan analisis dengan menggunakan program *Plaxis* yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa angka keamanan yang diperoleh pada setiap variasi timbunan dengan menggunakan bahan tambah perkuatan geotekstil memiliki nilai yang memenuhi persyaratan yaitu $>1,5$.

Grafik hasil angka keamanan yang didapat pada kondisi tanah asli dan tanah asli dengan geotekstil pada setiap variasi timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.34 berikut ini.



Gambar 5.34 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli dan Tanah Asli dengan Geotekstil

Dari Gambar 5.34 dapat dilihat bahwa setelah ditambahkan perkuatan geotekstil pada kondisi tanah asli, nilai angka keamanan yang dihasilkan mengalami kenaikan pada setiap variasi timbunan.

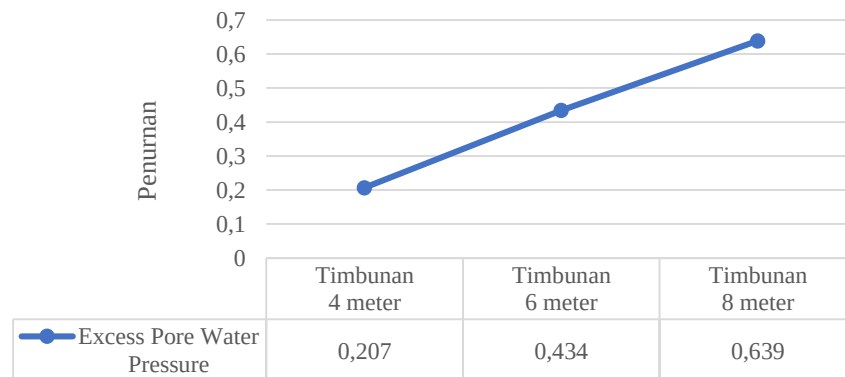
2. Penurunan

Analisis penurunan yang dilakukan dengan *Plaxis V20* yaitu dengan perhitungan *excess pore water pressure*. Nilai besaran penurunan yang dianalisis dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Penurunan *Excess Pore Water Pressure*

Variasi Timbunan	Permodelan	Penurunan (m)	<i>Excess Pore Water Pressure</i> (hari)
Timbunan 4 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>
	Tanah Asli Dengan Geotekstil	0,207	88
Timbunan 6 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>
	Tanah Asli Dengan Geotekstil	0,434	103
Timbunan 8 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>
	Tanah Asli Dengan Geotekstil	0,639	131

Grafik rekapitulasi hasil penurunan dengan perhitungan *excess pore water pressure* dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut ini.



Gambar 5.35 Grafik Hasil Penurunan *Excess Pore Water Pressure*

Dari hasil perhitungan penurunan pada Gambar 5.35 dapat dilihat bahwa kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil dapat mengurangi nilai penurunan yang terjadi. Dan juga dapat dilihat bahwa semakin tinggi timbunan maka semakin besar pula penurunan yang terjadi. Penurunan terhadap kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil untuk perhitungan *excess pore water pressure* pada timbunan 4 meter penurunan mempunyai nilai sebesar 0,207 meter dengan waktu 88 hari, timbunan 6 meter mempunyai nilai sebesar 0,434 meter dengan waktu 104 hari, dan timbunan 8 meter mempunyai nilai sebesar 0,639 meter dengan waktu 131 hari.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

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

1. Hasil analisis stabilitas timbunan pada kondisi tanah asli dengan menggunakan program *Plaxis* mengalami *soil body collapse*, sehingga nilai angka keamanannya dihitung dengan menggunakan metode *fellenius*. Didapatkan nilai angka keamanan dengan menggunakan metode *fellenius* pada masa konstruksi dengan variasi timbunan 4 meter sebesar 0,996, timbunan 6 meter sebesar 0,895, dan timbunan 8 meter sebesar 0,820. Sedangkan pada paska konstruksi didapatkan nilai angka keamanan dengan variasi timbunan 4 meter sebesar 0,858, timbunan 6 meter sebesar 0,818, dan timbunan 8 meter sebesar 0,781.
2. Hasil analisis penurunan menggunakan program *Plaxis V20* kondisi tanah asli pada setiap variasi timbunan yaitu 4 meter, 6 meter, dan 8 meter terjadi *soil body collapse* pada saat dilakukan perhitungan penurunan.
3. Hasil analisis stabilitas timbunan pada kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis V20* pada masa konstruksi didapatkan nilai angka keamanan pada timbunan 4 meter sebesar 1,893, timbunan 6 meter sebesar 1,637, dan timbunan 8 meter sebesar 1,622. Sedangkan pada paska konstruksi didapatkan nilai angka keamanan pada timbunan 4 meter sebesar 1,651, timbunan 6 meter sebesar 1,572, dan timbunan 8 meter sebesar 1,512.
4. Hasil analisis penurunan dengan menggunakan program *Plaxis V20* pada kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil didapatkan nilai penurunan untuk perhitungan *excess pore water pressure* pada timbunan 4 meter mempunyai nilai sebesar 0,207 meter dengan waktu 88 hari, timbunan 6 meter mempunyai nilai

sebesar 0,434 meter dengan waktu 104 hari, dan timbunan 8 meter mempunyai nilai sebesar 0,639 meter dengan waktu 131 hari.

5. Penambahan geotekstil pada kondisi tanah asli dapat meningkatkan angka keamanan pada setiap variasi timbunan yaitu 4 meter, 6 meter, dan 8 meter. Tinggi timbunan mempengaruhi hasil angka keamanan karena semakin tinggi variasi timbunan yang dianalisis angka keamanan yang diperoleh semakin kecil.
6. Penambahan geotekstil pada kondisi tanah asli dapat mengurangi nilai penurunan yang terjadi pada perhitungan *excess pore water pressure*. Tinggi timbunan mempengaruhi hasil penurunan karena semakin tinggi variasi timbunan yang dianalisis penurunan yang diperoleh semakin besar.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil yang didapat dalam penelitian, dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis timbunan menggunakan program *Plaxis V20* dengan perkuatan geotekstil, didapatkan hasil angka keamanan pada variasi timbunan memiliki tingkat kerentanan gerakan tanah pada tahapan menengah. Oleh karena itu, perkuatan yang digunakan dapat ditambah dengan *Prefabricated Vertical Drainage* (PVD) atau *counterweight* agar dapat mengurangi gerakan tanah yang terjadi.
2. Analisis ini dapat dikembangkan dengan penambahan dinding penahan tanah dan turap.

DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, F.N., Surjandari, N.S., As'ad, S. 2014. Penggunaan Geotekstil Pada Lereng Sungai Gajah Putih Surakarta. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*. Vol.2 No.1:2354-8630. Surakarta.
- Badan Standar Nasional. 2011. *Cara Uji Konsolidasi Tanah Satu Dimensi*. SNI 2812:2011. Jakarta.
- Badan Standar Nasional. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. SNI 1726:2002. Jakarta.
- Badan Standar Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. SNI 1726:2019. Jakarta.
- Badan Standar Nasional. 2005. *Penyusunan Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah*. SNI 7124:2005. Jakarta. .
- Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah : Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 1*. Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. 1988. Erlangga. Jakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Panduan Geoteknik 4 Desain dan Kontruksi*, Edisi Pertama. Jakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Panduan Geoteknik 4 Desain dan Kontruksi*, Edisi Pertama. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah Dengan Geosintetik*. Bina Marga. Jakarta
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah II*, Edisi Ke 3. Gadjah Mada University. Press. Yogyakarta.

- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah II*, Edisi Ke V. Gadjah Mada University. Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2013. *Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya*, Edisi Ke 2. Gadjah Mada University. Press. Yogyakarta.
- Hakam, A. 2010. *Stabilitas Lereng dan Dinding Penahan Tanah*. CV. Ferila. Padang.
- Lubis, M.K.Z. dan Lubis, K. 2019. Evaluasi Perbaikan Tanah Menggunakan Geotekstil Untuk Meningkatkan Stabilitas Tanah Lapisan *Subgrade* Pekerjaan Jalan. *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)*, 3(2):2549-6387. Medan.
- Nggebu, Y.Y.E., Ticoh, J.H., Legrans, R.I.R. 2019. Analisa Kestabilan Lereng Di Ruas Jalan Raya Manado-Tomohon Km 15. *Jurnal Tekno*. Vol. 17 No 71:0215-9617. Manado.
- Prabowo, A. 2018. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- PT Hutama Karya. 2019. Data Jalan Tol Padang-Pekanbaru.
- PT Prima Geotex Indo. 2021. Data Geotekstil. Banten.
- Purwanto, E. 2012. Perkuatan Tanah. Handout Mata Kuliah, Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, Cetakan Pertama. Jakarta. Penerbit Badan Penelitian dan Pengembangan.
- Sekarti, D.N.A. 2018. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

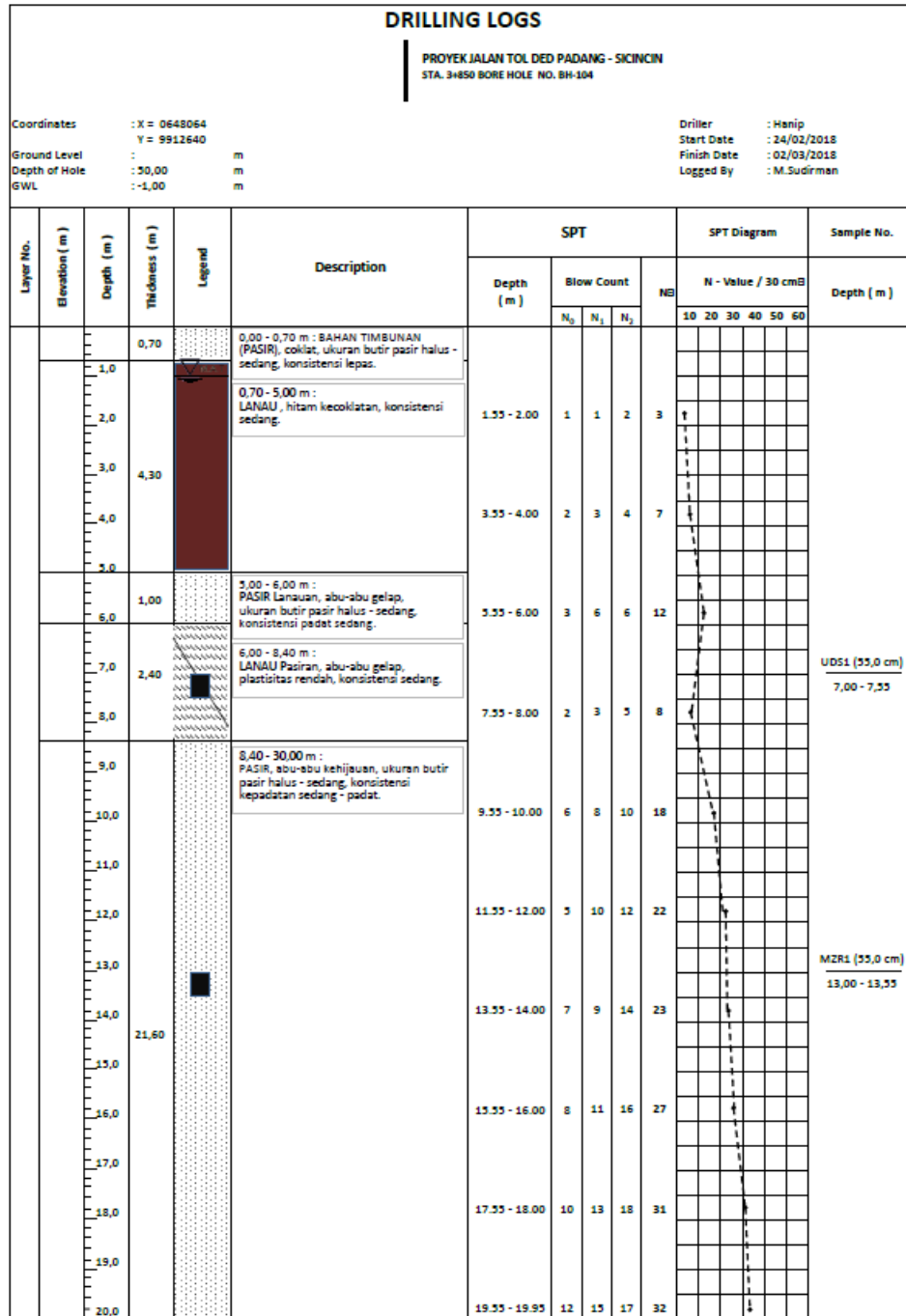
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Yayasan Obor Indonesia, Edisi Ke 3. Jakarta.
- Surachmat, D., Wijaya, H., Kawanda, A. 2019. Analisis Penurunan Tanah Dengan Menggunakan Geotekstil Pada Timbunan. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*. Vol. 2, No. 4, November 2019: hlm 197-202. Jakarta.
- Suryadinullah, A.M. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Pada Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Pada Tol Terbanggi Besar-Pemantang Panggang STA 3+650, Lampung. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Wihardi., Munirwansyah., Saleh, S.M. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Software Plaxis 8.6* dengan Dinding Penahan Tanah (*Retaining Wall*) (Studi Kasus Ruas Jalan Nasional Banda Aceh-Medan STA 83+135 Gunung Seulawah). *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan* 1(3):2615-1340. Banda Aceh.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Penyelidikan Tanah

Sumber: PT. Hutama Karya (2019)



Gambar L-1.1 Hasil SPT Pada STA 3+850 Kedalaman 1-20 meter

DRILLING LOGS

PROYEK JALAN TOL DED PADANG - SICINCIN
STA. 3+850 BORE HOLE NO. BH-104

Coordinates : X = 0648064
Y = 9912640
Ground Level : m
Depth of Hole : 30,00 m
GWL : -1,00 m

Driller : Hanip
Start Date : 24/02/2018
Finish Date : 02/03/2018
Logged By : M.Sudirman

Layer No.	Elevation (m)	Depth (m)	Thickness (m)	Legend	Description	SPT				SPT Diagram						Sample No.	
						Depth (m)	Blow Count			NB	N - Value / 30 cmB						Depth (m)
							N ₀	N ₁	N ₂		10	20	30	40	50	60	
	21,0				8,40 - 30,00 m : PASIR, abu-abu kehijauan, ukuran butir pasir halus - sedang, konsistensi padat.												
	22,0					21.55 - 22.00	14	17	19	36							
	23,0																
	24,0					23.55 - 24.00	16	19	22	41							
	25,0		21,60														
	26,0					25.55 - 26.00	17	20	25	45							
	27,0																
	28,0					27.55 - 28.00	18	22	26	50							
	29,0																
	30,0					29.55 - 30.00	18	23	27	50							
	31,0				30,00 - 35,00 m : PASIR, abu-abu kehijauan - abu-abu gelap, ukuran butir pasir halus, konsistensi sangat padat.												
	32,0					31.55 - 32.00	16	22	28	50							
	33,0		5,00														
	34,0					33.55 - 34.00	18	22	26	48							
	35,0																
	36,0		2,00		35,00 - 37,00 m : LANAU Lempungan, abu-abu gelap - abu-abu kehitaman, konsistensi sangat keras.	35.55 - 36.00	17	24	27	>50							
	37,0																
	38,0		1,60		37,00 - 38,60 m : PASIR Lanauan, abu-abu gelap, ukuran butir pasir halus - sedang, konsistensi sangat padat.	37.55 - 38.00	17	24	27	>50							
	39,0																
	40,0		1,40		38,60 - 40,00 m : LANAU Lempungan, abu-abu cerah, konsistensi keras.	39.55 - 40.00	16	20	26	46							

Gambar L-1.2 Hasil SPT Pada STA 3+850 Kedalaman 21-40 meter

DRILLING LOGS

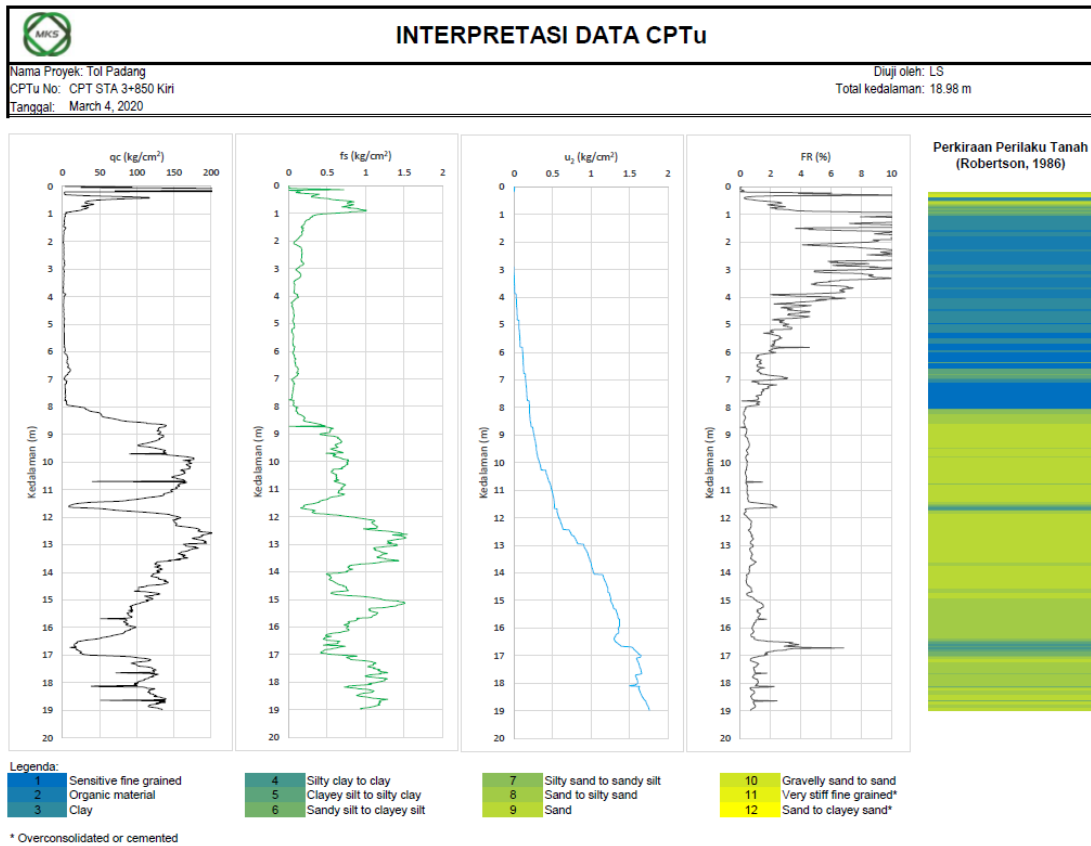
PROYEK JALAN TOL DED PADANG - SICINCIN
STA. 3+850 BORE HOLE NO. BH-104

Coordinates : X = 0648064
Y = 9912640
Ground Level : m
Depth of Hole : 50,00 m
GWL : -1,00 m

Driller : Hanip
Start Date : 24/02/2018
Finish Date : 02/03/2018
Logged By : M.Sudirman

Layer No.	Elevation (m)	Depth (m)	Thickness (m)	Legend	Description	SPT			SPT Diagram						Sample No.		
						Depth (m)	Blow Count			NB	N - Value / 30 cmB						Depth (m)
							N ₀	N ₁	N ₂		10	20	30	40	50	60	
	41,0		2,00		40,00 - 42,00 m : PASIR Lanauan, abu-abu cerah, ukuran butir pasir halus - kasar, konsistensi sangat padat.												
	42,0					41,55 - 42,00	18	22	27	49							
	43,0		1,00		42,00 - 43,00 m : PASIR, abu-abu cerah, ukuran butir pasir halus - sedang, konsistensi sangat padat.												
	44,0				43,00 - 47,00 m : PASIR, abu-abu gelap, ukuran butir pasir halus, konsistensi sangat padat.	43,55 - 44,00	20	24	28	>50							
	45,0		4,00														
	46,0					45,55 - 46,00	21	22	29	>50							
	47,0																
	48,0		1,00		47,00 - 48,00 m : LANAU Pasiran, coklat - abu-abu kecoklatan, konsistensi sangat keras.	47,55 - 48,00	20	20	30	>50							
	49,0		2,00		48,00 - 50,00 m : PASIR Lanauan, abu-abu gelap, ukuran butir pasir halus, konsistensi sangat padat.	49,55 - 50,00	22	25	28	>50							
	50,0																

Gambar L-1.3 Hasil SPT Pada STA 3+850 Kedalaman 41-50 meter



Gambar L-1.4 Hasil Uji CPT pada STA 3+850

Lampiran 2 Data Geotekstil

TECHNICAL DATA SHEET OF WOVEN POLYPROPYLENE (PP)

12

ITEM	TEST METHODE	UNIT	150 Gr	200 Gr	250 Gr	300 Gr
PHYSICAL						
Mass	-	Gr/sqm	150	200	250	300
Thickness	-	mm	0.92 - 1.07	1.0 - 1.1	1.1 - 1.2	-
Polymer	-	-	PP	PP	PP	PP
Colour (Warna)	-	-	Hitam			
MECHANICAL						
Tensile Strength Machine Direction (Warp) Cross Machine Dir. (Weft)	ASTM D 4595	kN/m	30 30	45 40	60 55	70 60
Elongation Machine Direction (Warp) Cross Machine Dir. (Weft)	ASTM D 4595	%	21 20	20 19	19 18	18 17
Grab Tensile Machine Direction (Warp) Cross Machine Dir. (Weft)	ASTM D 4632	N	1023 948	1344 1251	1500 1300	2500 2000
Trapezoidal Tear Strength Machine Direction (Warp) Cross Machine Dir. (Weft)	ASTM D 4533	N	568 512	811 705	950 900	1600 1500
Trapezoidal Tear Strength	ASTM D 4833	N	284	494	650	800
HYDRAULIC						
Effective Opening Size	ASTM D 4751	mm	0.3	0.28	0.05	0.0081
Flow Rate		l/sqm/sec	22	20	18	17
Permeability	ASTM D 4491	Cm/sec	-	-	0.017	0.01
ENVIRONMENTAL						
Effect of Soil Alkalinity	-	-	nil	nil	nil	nil
Effect of Soil Acidity	-	-	nil	nil	nil	nil
Effect of U.V Light	-	-	nil	nil	nil	nil
DIMENSION						
Roll Width	-	m	4			
Roll Length	-	m	150	150	150	150
Roll Diameter	-	m	0.25	0.3	0.4	0.45

Geosynthetics
Specialist

www.primageotex.co.id

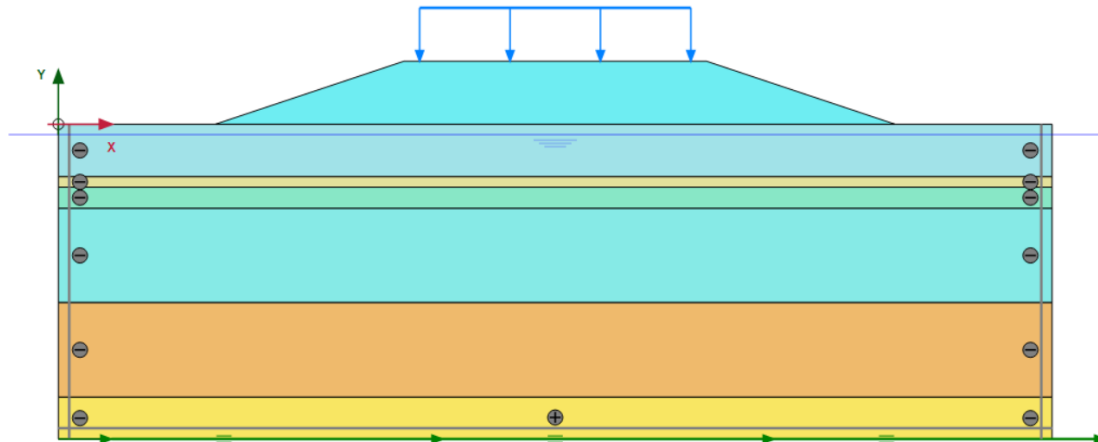
Geosynthetics
Specialist

www.primageotex.co.id

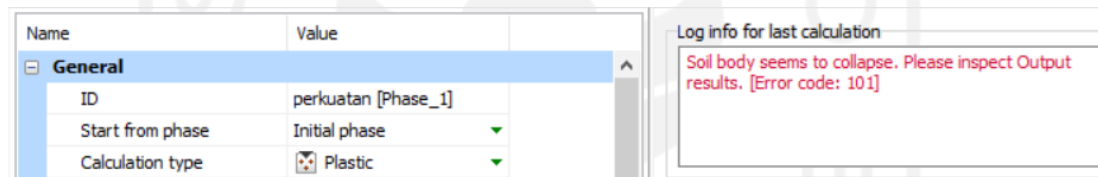
Gambar L-2.1 Data Geotekstil

Sumber: PT. Prima Geotex Indo

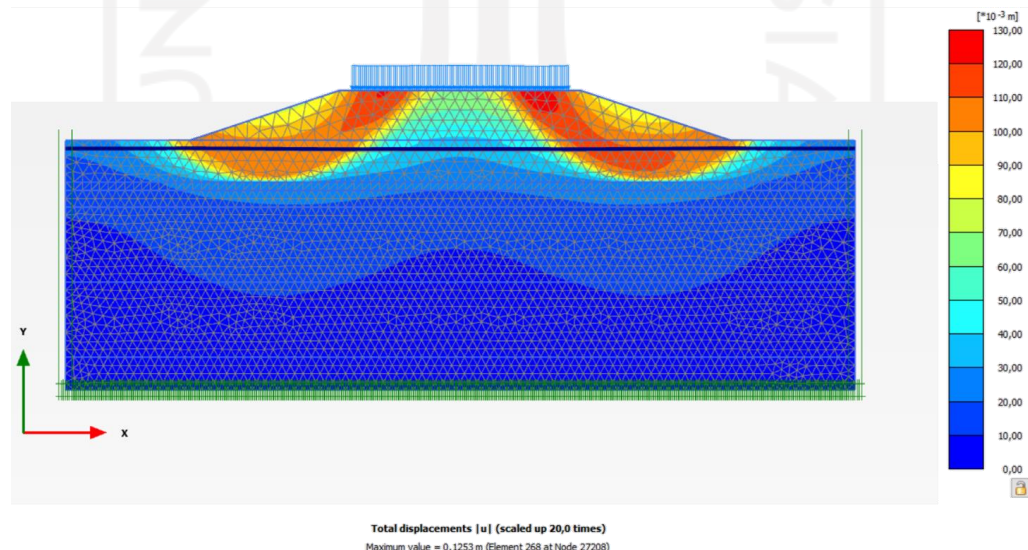
Lampiran 3 Hasil Permodelan Menggunakan Plaxis Pada Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli



Gambar L-3.1 Permodelan Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli



Gambar L-3.2 *Calculations* Dengan Lembar Tab General Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi

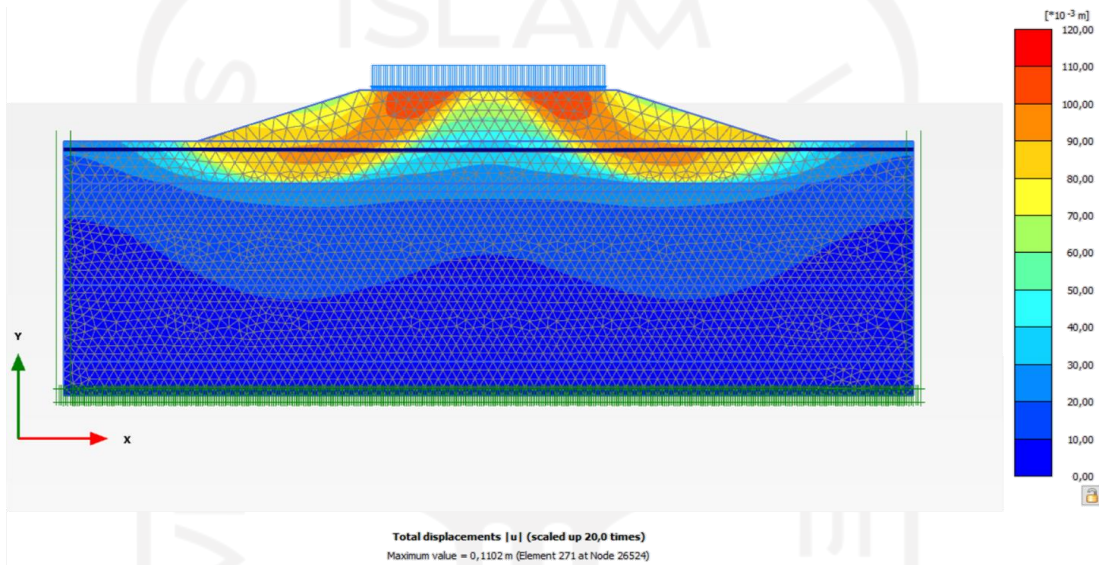


Gambar L-3.3 *Slip Surface* Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi

Name	Value	
General		
ID	perkuatan [Phase_1]	
Start from phase	Initial phase	▼
Calculation type	Plastic	▼

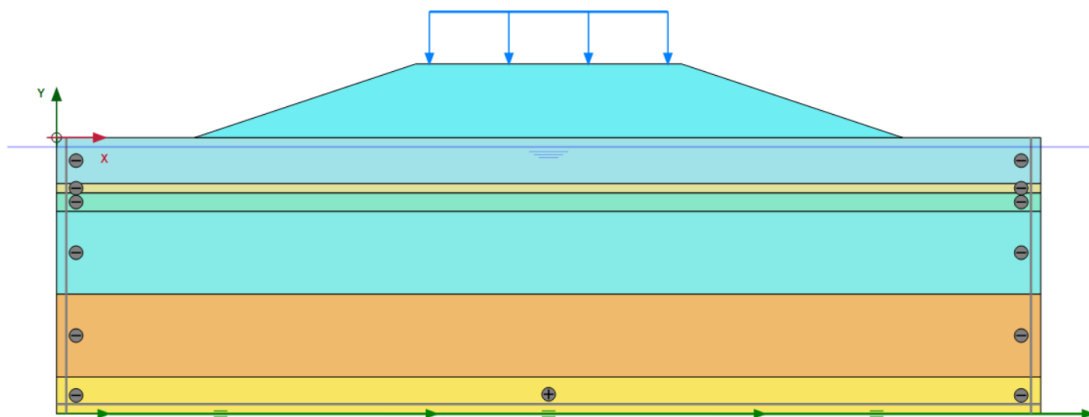
Log info for last calculation
 Soil body seems to collapse. Please inspect Output results. [Error code: 101]

Gambar L-3.4 Calculations Dengan Lembar Tab General Timbunan 6 meter
Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi

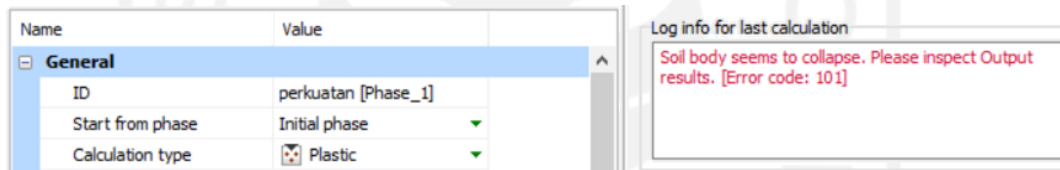


Gambar L-3.5 Slip Surface Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Paska
Konstruksi

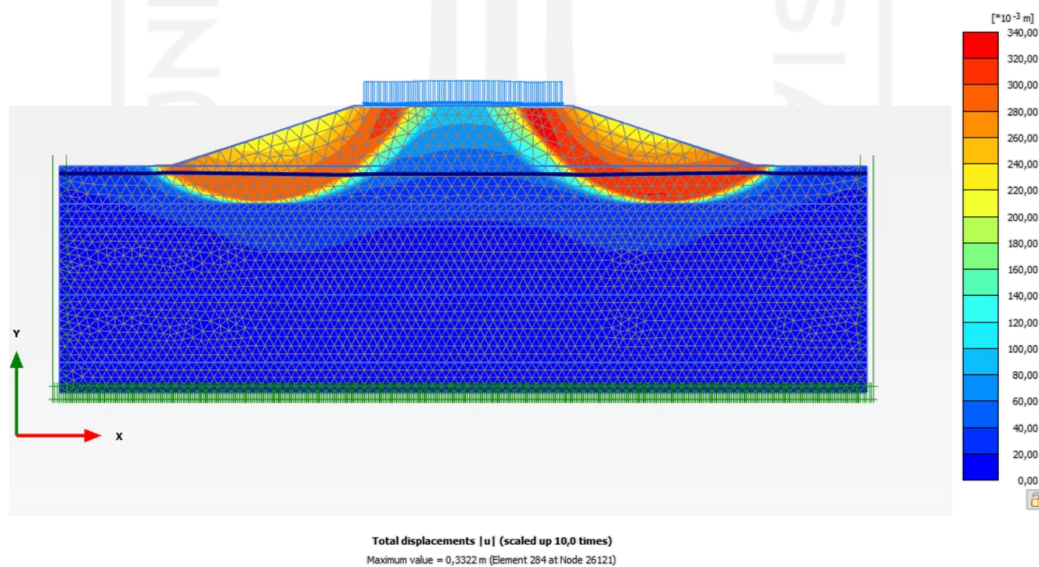
Lampiran 4 Hasil Permodelan Menggunakan Plaxis Pada Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli



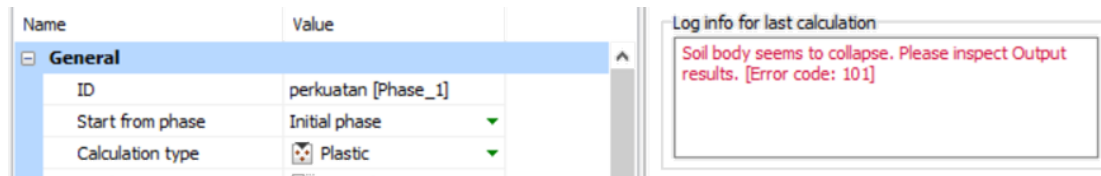
Gambar L-4.1 Permodelan Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli



Gambar L-4.2 Calculations Dengan Lembar Tab General Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi

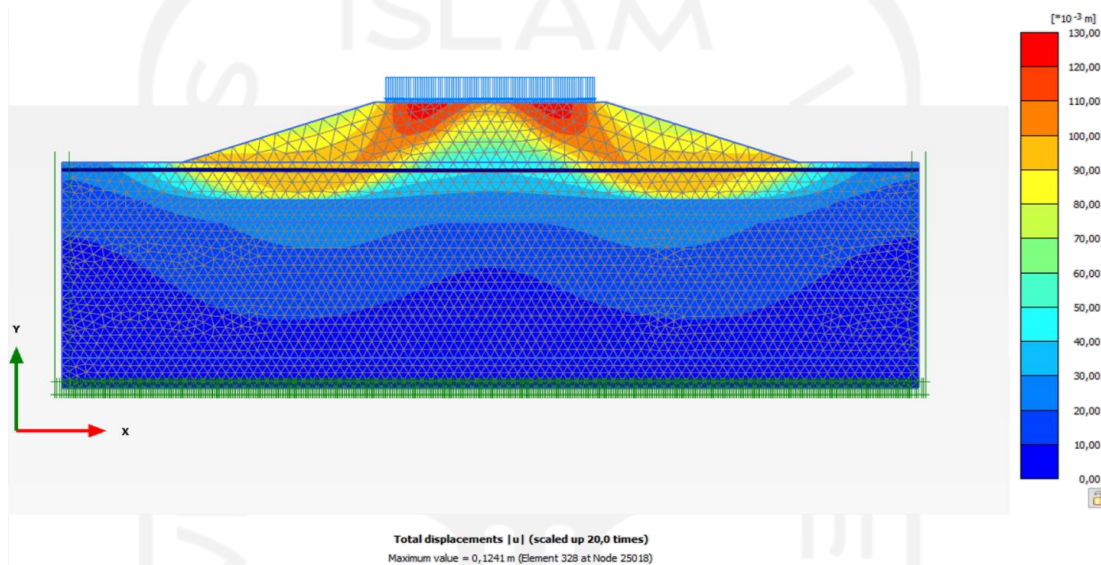


Gambar L-4.2 Slip Surface Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi



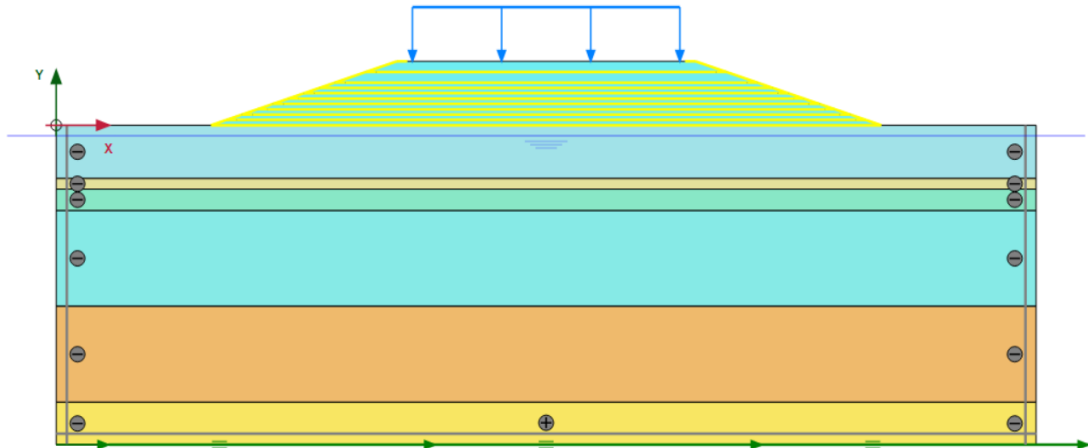
Gambar L-4.4 Calculations Dengan Lembar Tab General Timbunan 8 meter

Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi

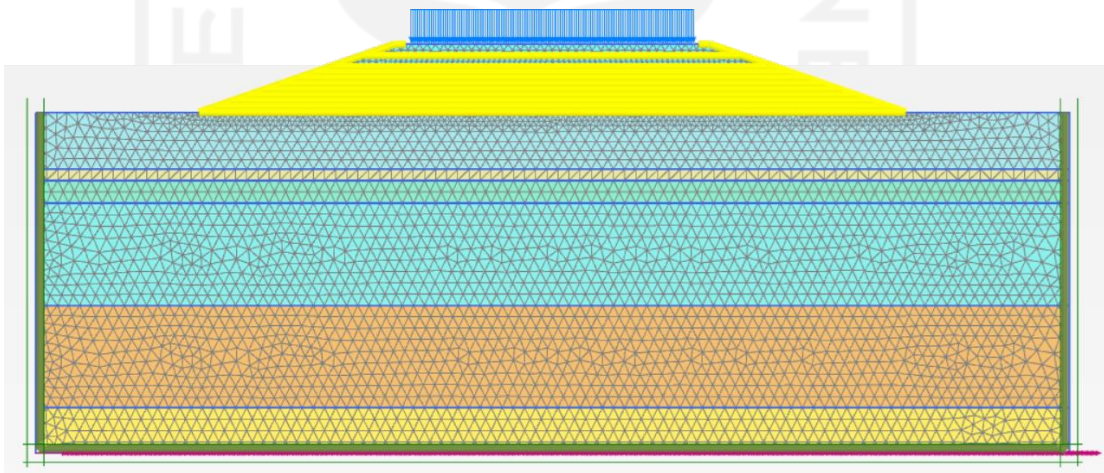


Gambar L-4.5 Slip Surface Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi

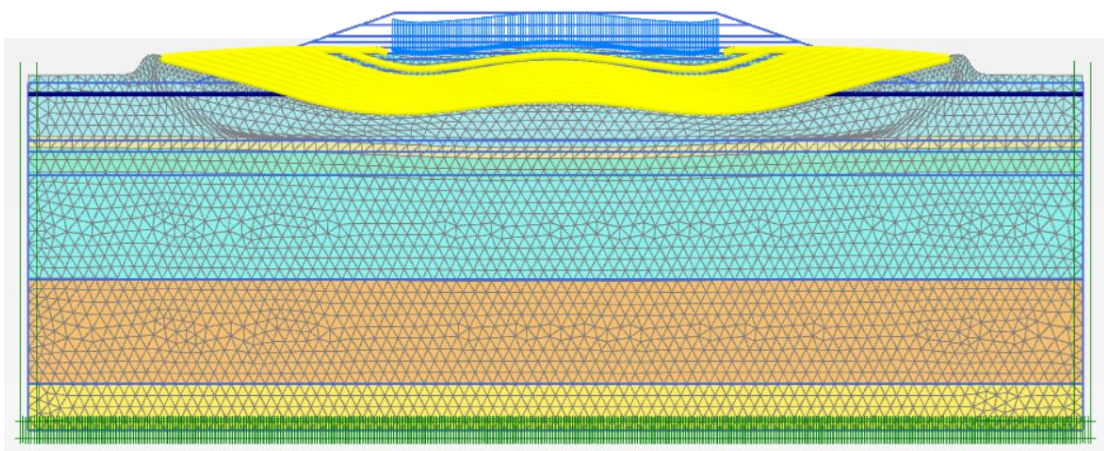
Lampiran 5 Hasil Permodelan Menggunakan Plaxis Pada Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil



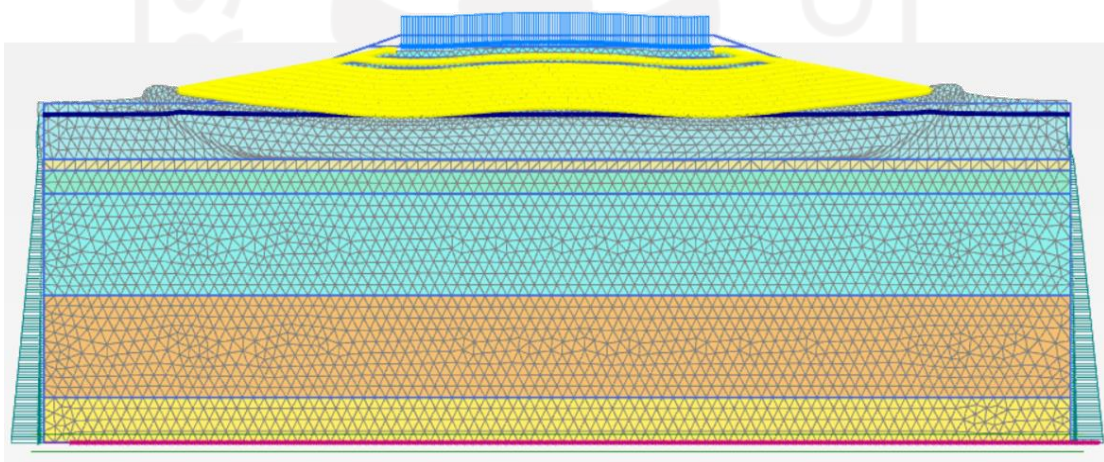
Gambar L-5.1 Permodelan Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil



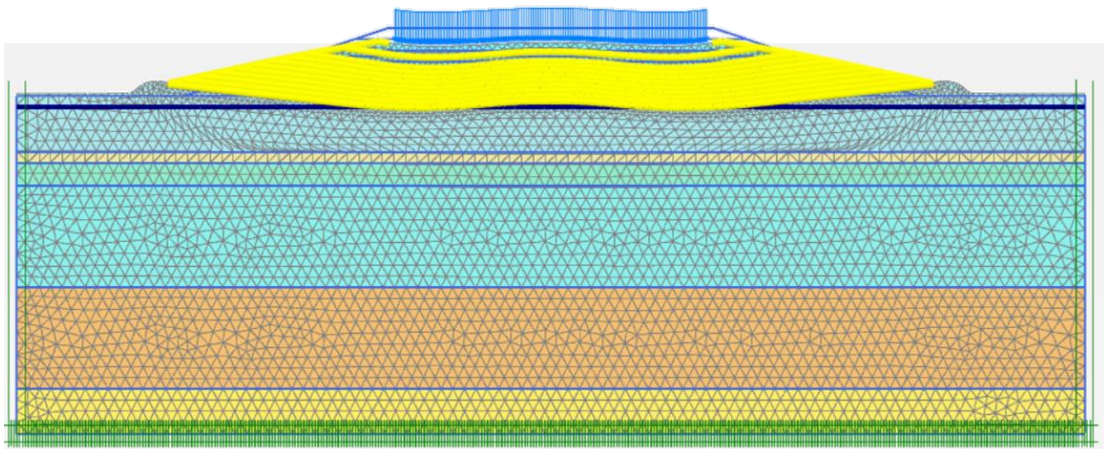
Gambar L-5.2 Meshing Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil



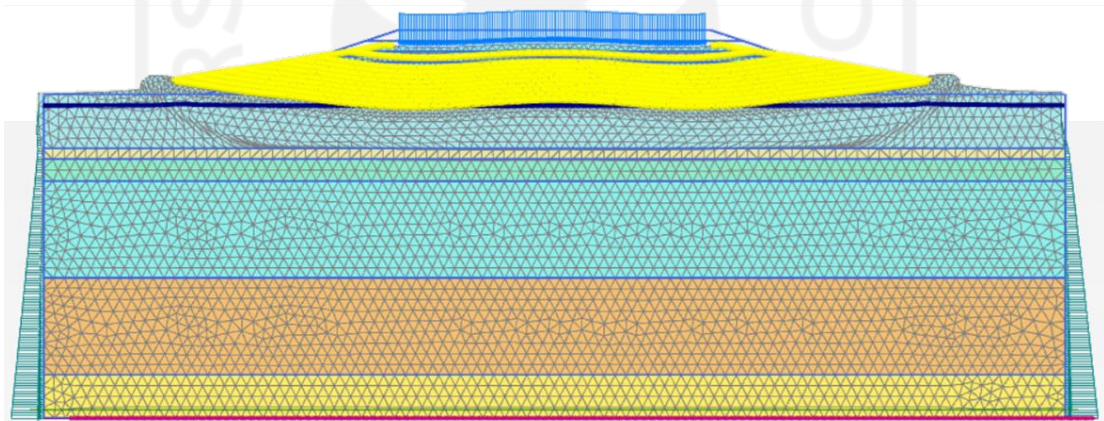
Gambar L-5.3 *Deformed Mesh* Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



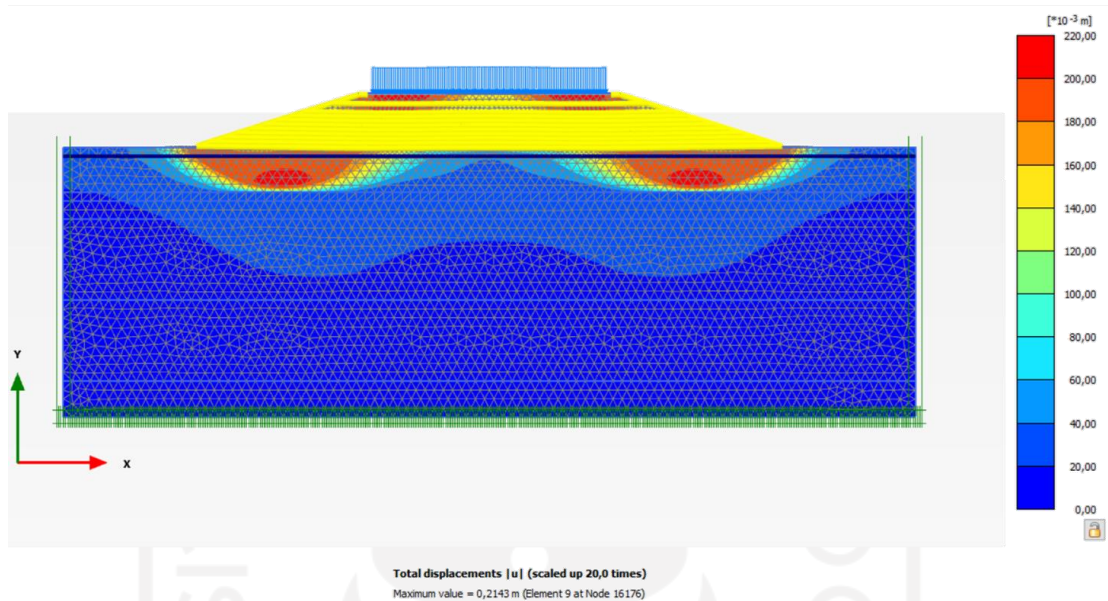
Gambar L-5.4 *Deformed Mesh* Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



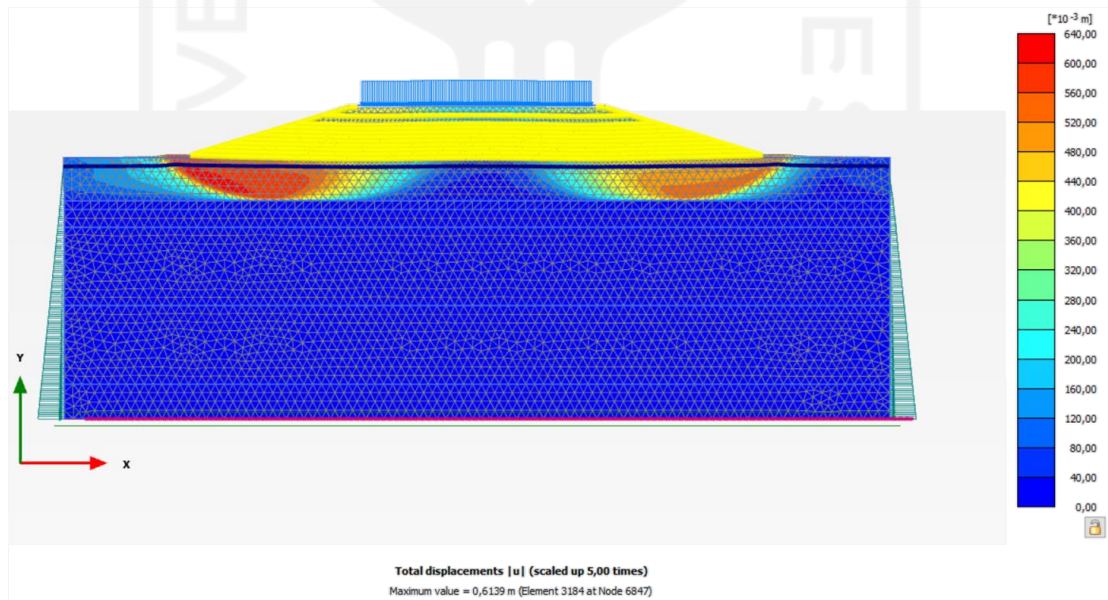
Gambar L-5.5 *Deformed Mesh* Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa



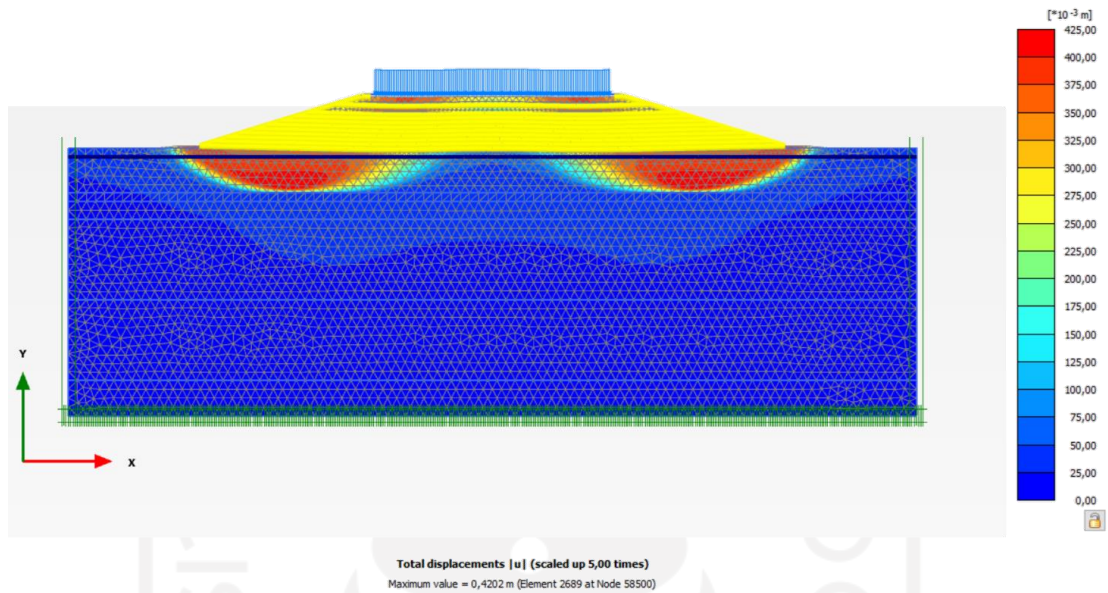
Gambar L-5.6 *Deformed Mesh* Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa



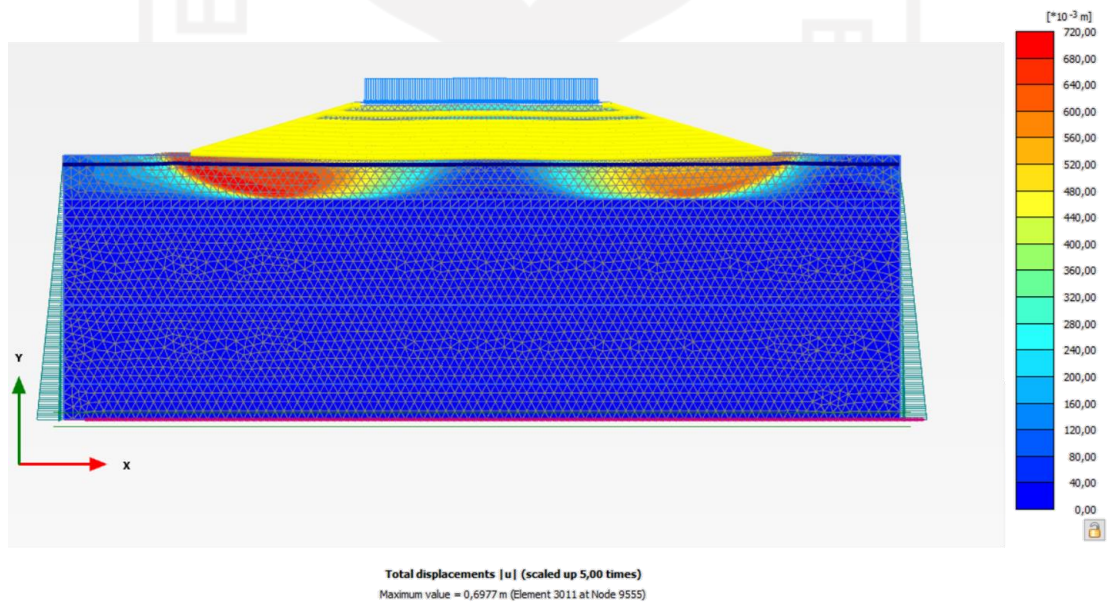
Gambar L-5.6 *Total Displacements* Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



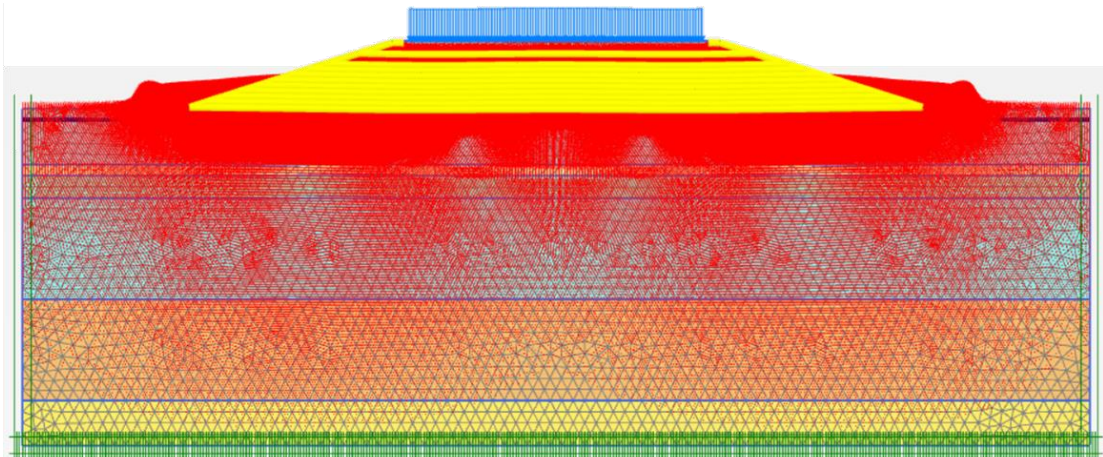
Gambar L-5.7 *Total Displacements* Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



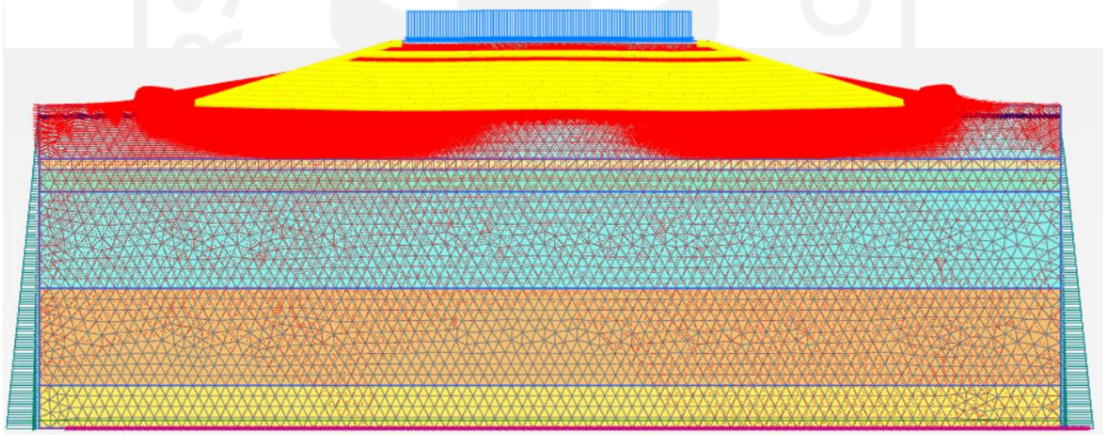
Gambar L-5.8 Total Displacements Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa



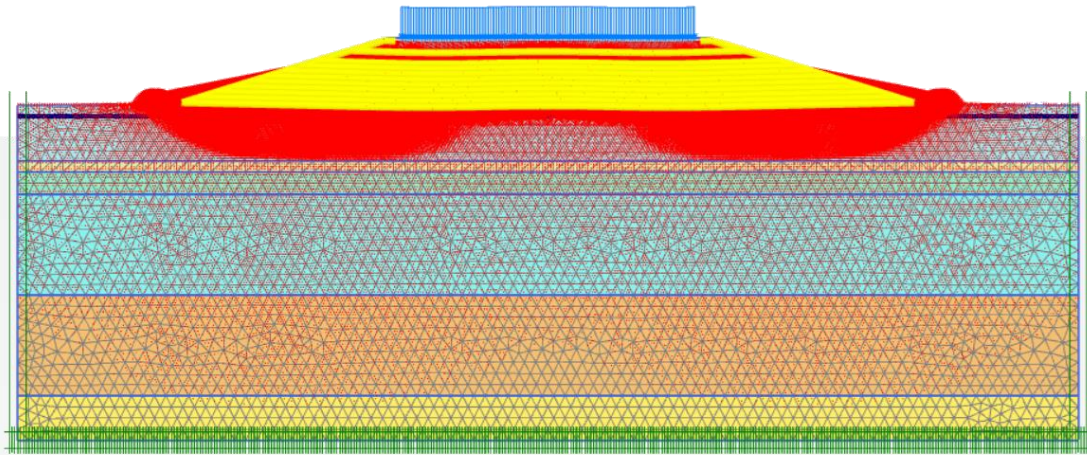
Gambar L-5.9 Total Displacements Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa



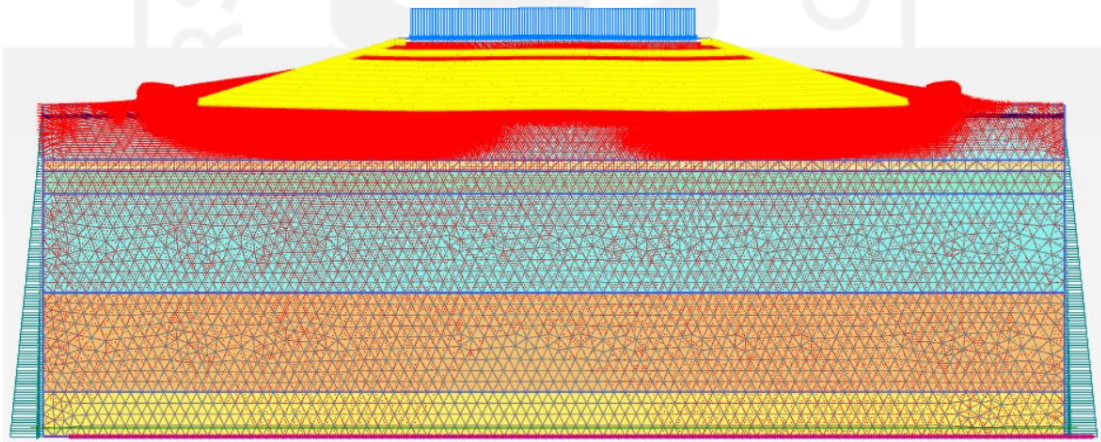
Gambar L-5.10 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



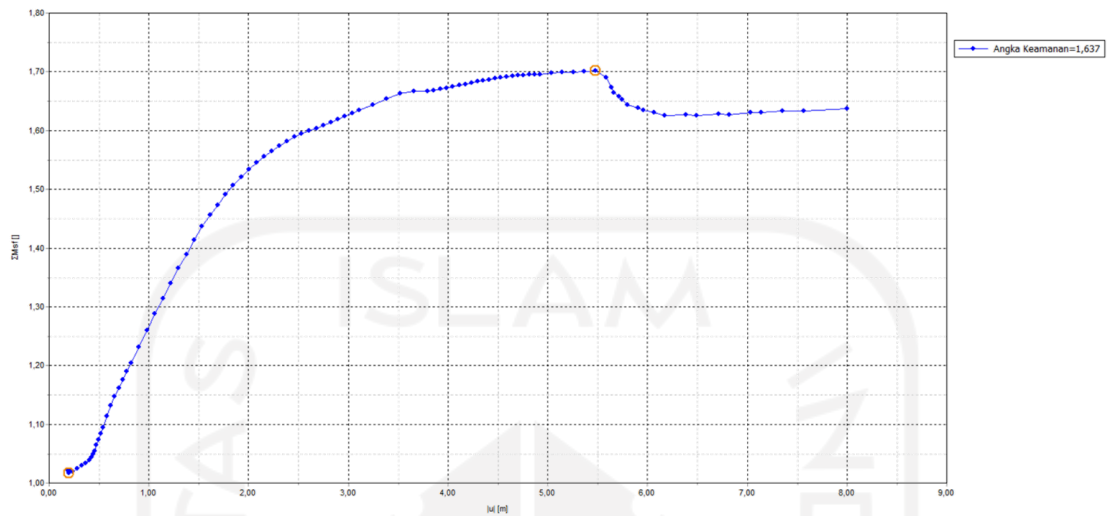
Gambar L-5.11 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



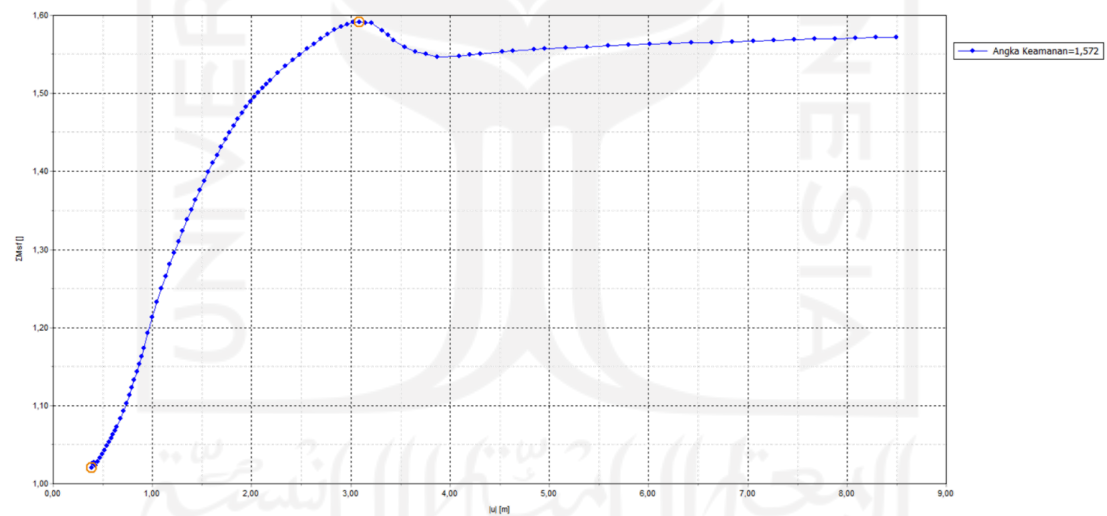
Gambar L-5.12 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa



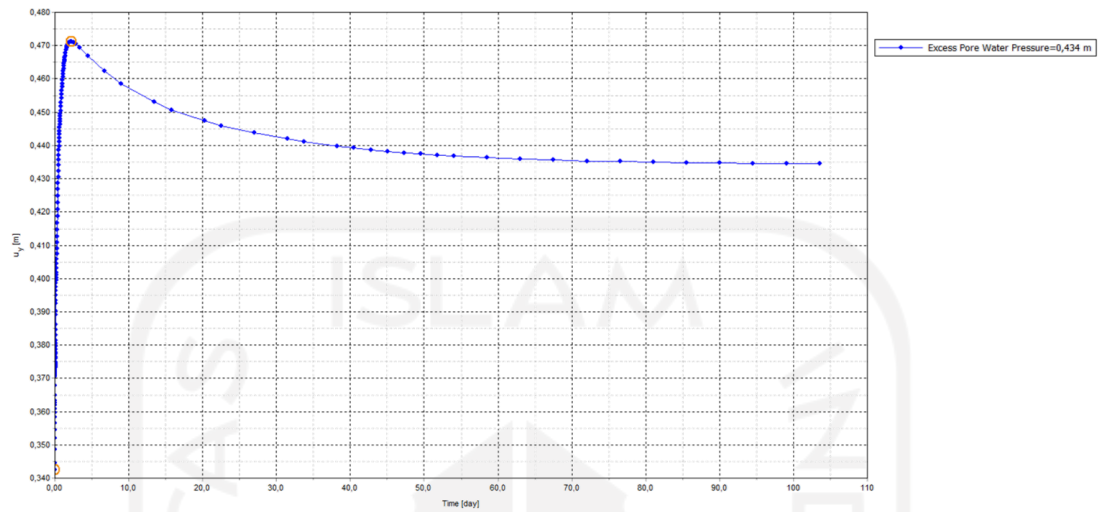
Gambar L-5.13 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa



Gambar L-5.14 Grafik *Safety Factor* Tanah Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi

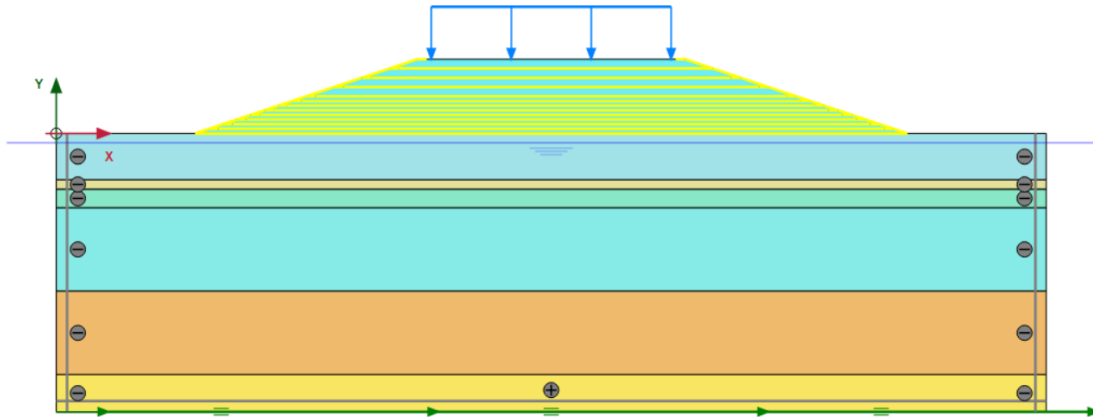


Gambar L-5.14 Grafik *Safety Factor* Tanah Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi

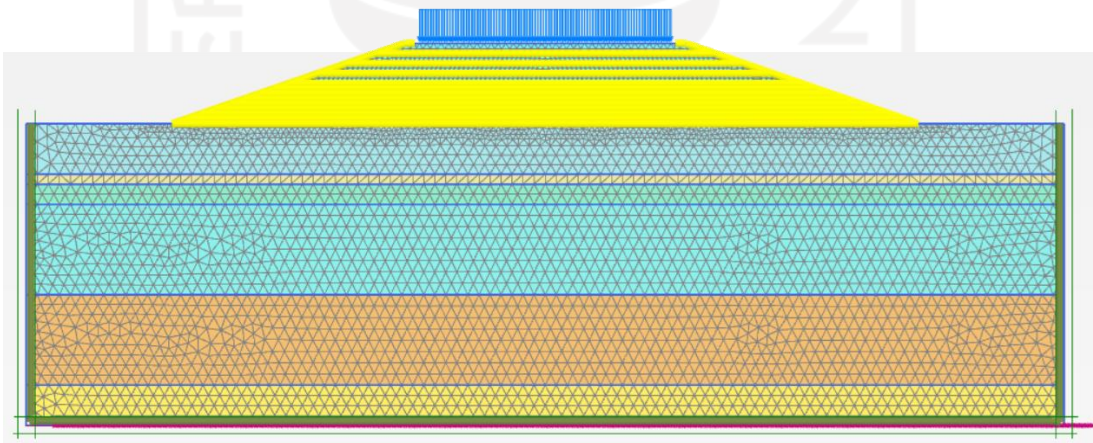


Gambar L-5.15 Grafik Penurunan Konsolidasi Dengan Waktu 200 hari dan *Excess Pore Water Pressure* pada Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil

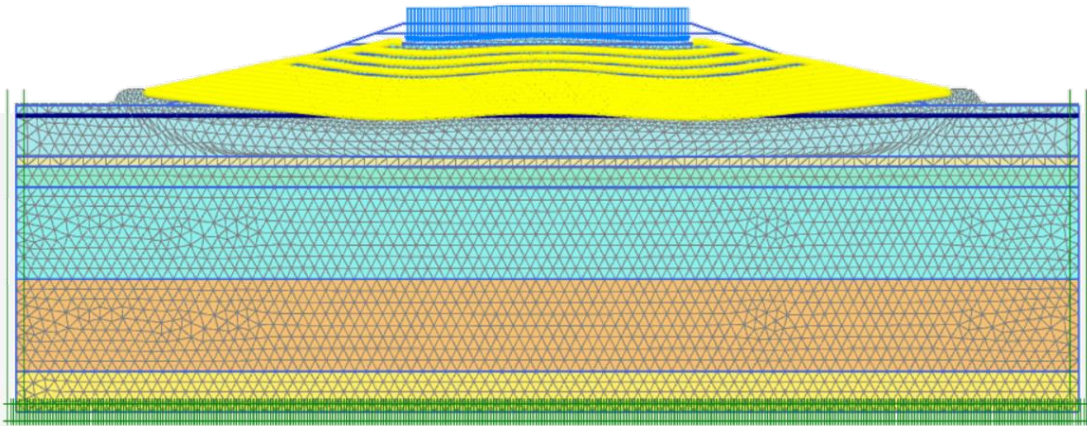
**Lampiran 6 Hasil Permodelan Menggunakan Plaxis Pada Timbunan 8 meter
Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**



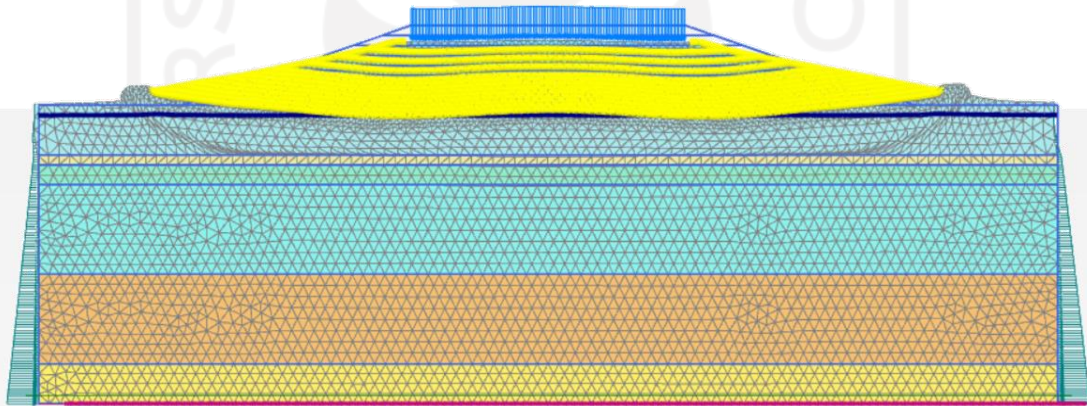
**Gambar L-6.16 Permodelan Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan
Perkuatan Geotekstil**



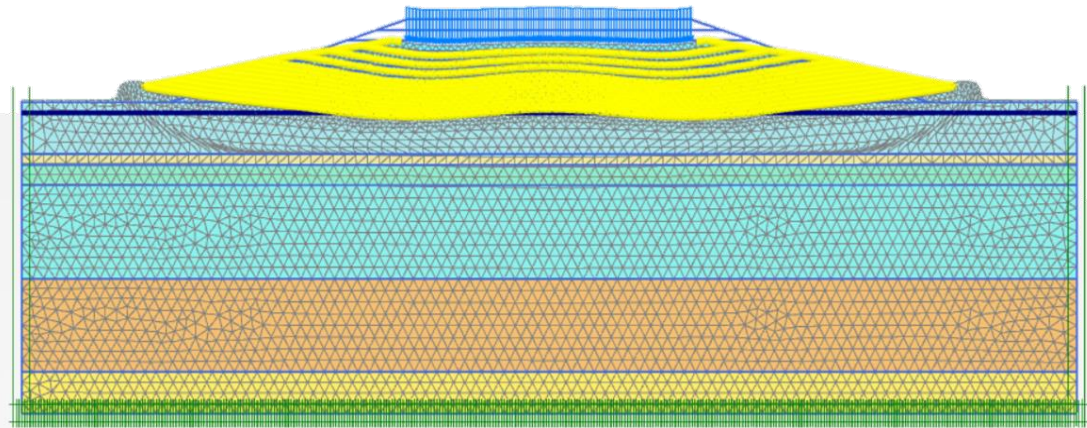
**Gambar L-6.17 Meshing Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan
Geotekstil**



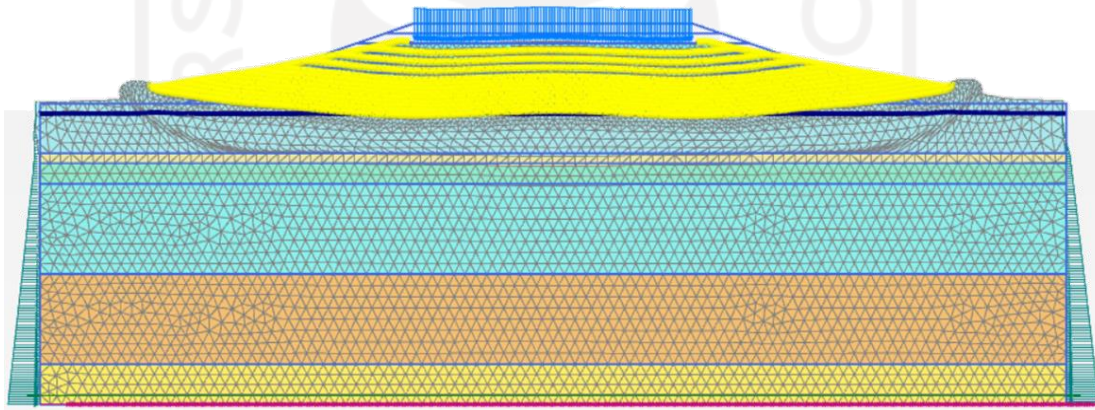
Gambar L-6.18 *Deformed Mesh* Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



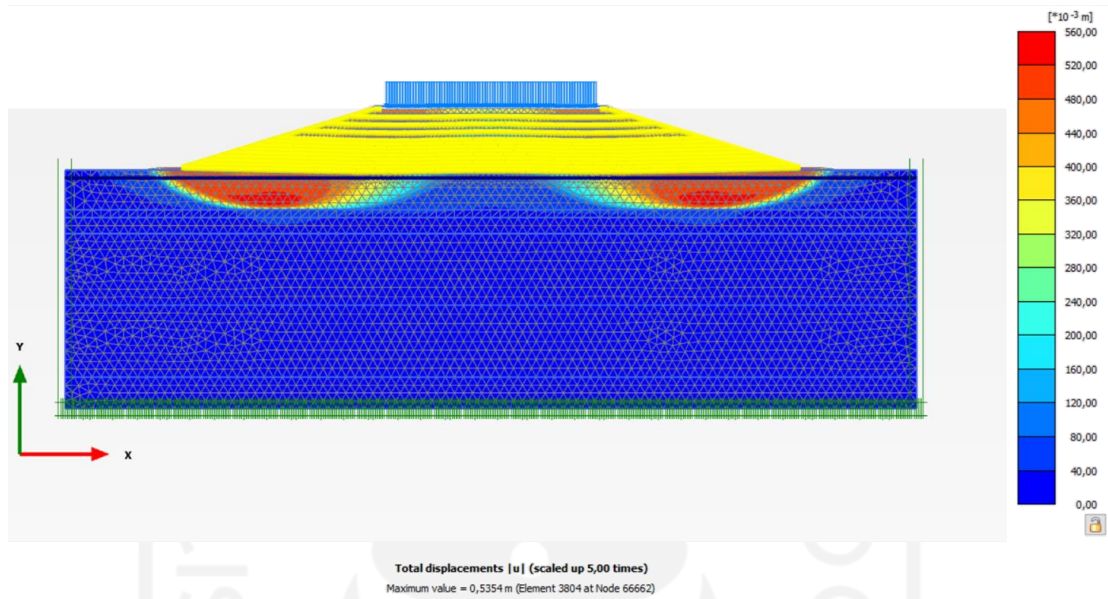
Gambar L-6.19 *Deformed Mesh* Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



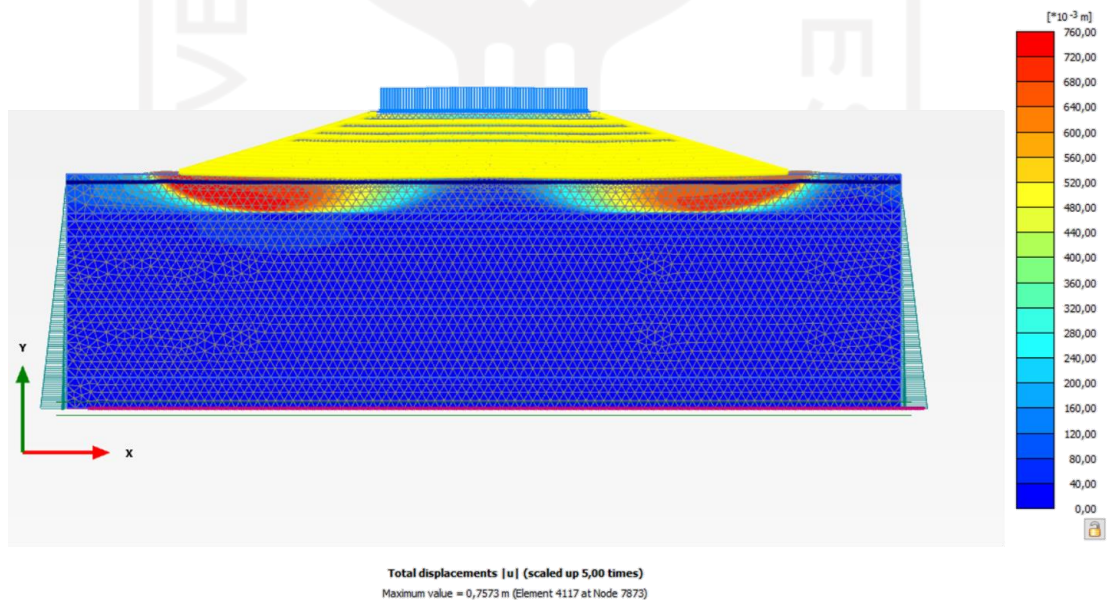
Gambar L-6.20 *Deformed Mesh* Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa



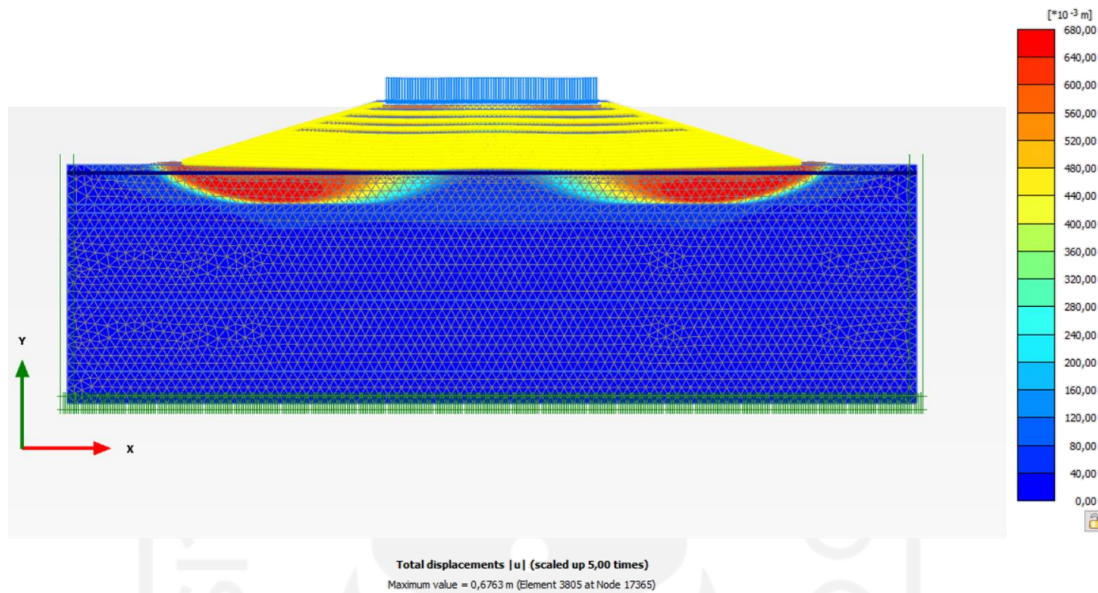
Gambar L-6.21 *Deformed Mesh* Timbunan 8 m Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa



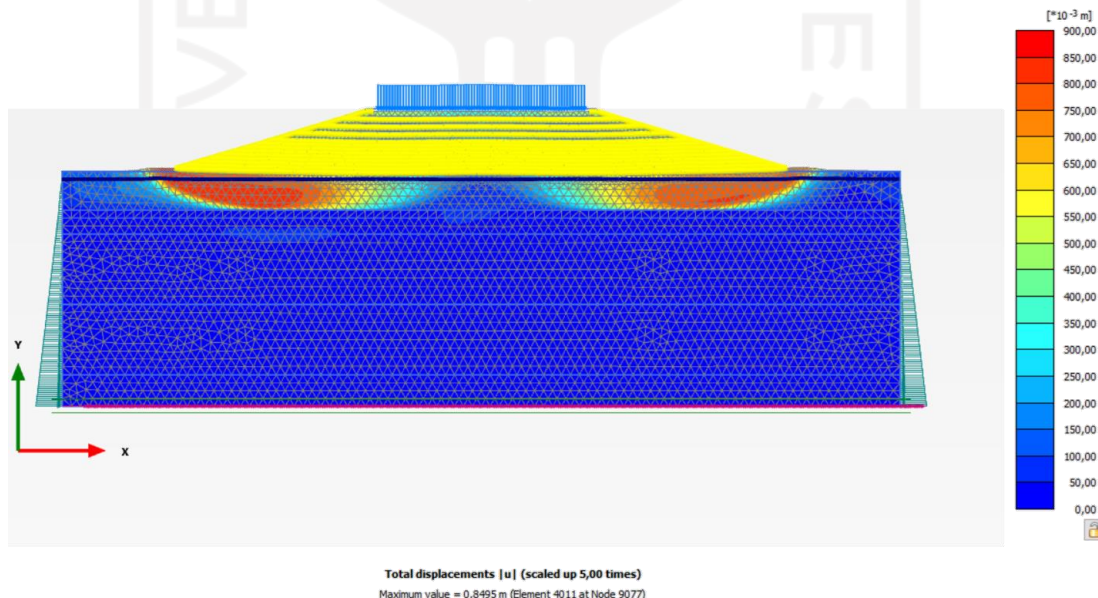
Gambar L-6.22 *Total Displacements* Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



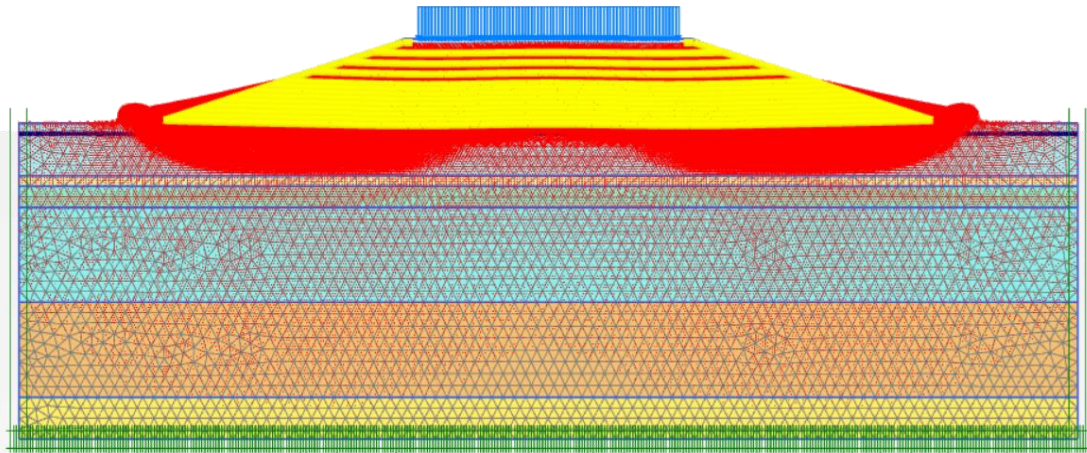
Gambar L-6.23 *Total Displacements* Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



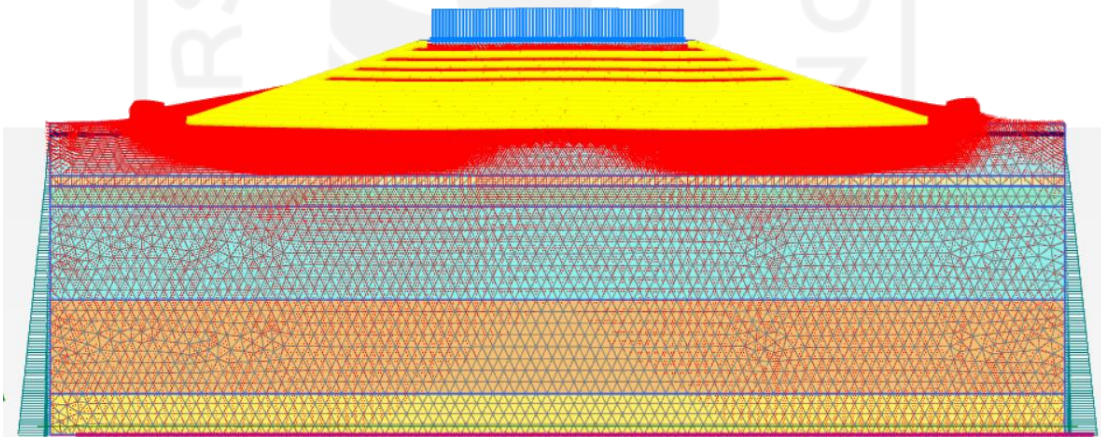
Gambar L-6.24 *Total Displacements* Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa



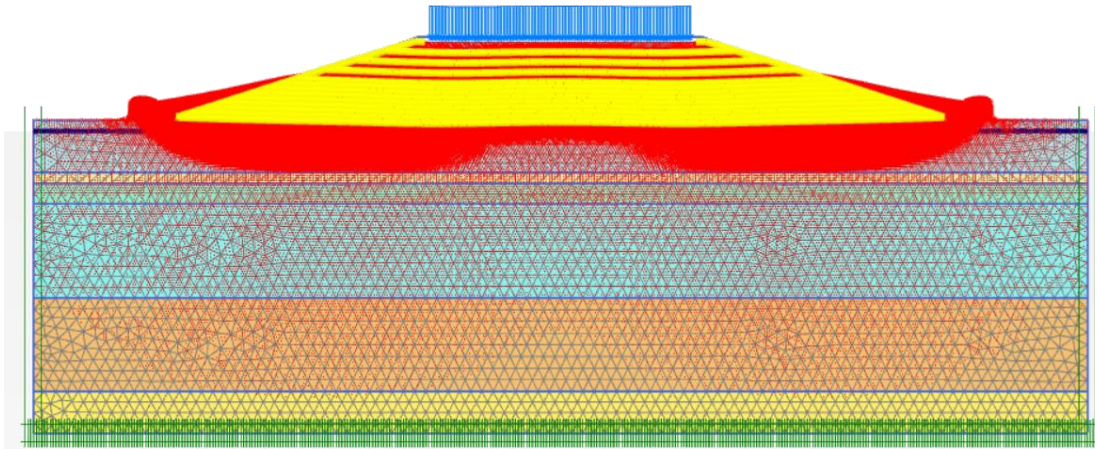
Gambar L-6.25 *Total Displacements* Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa



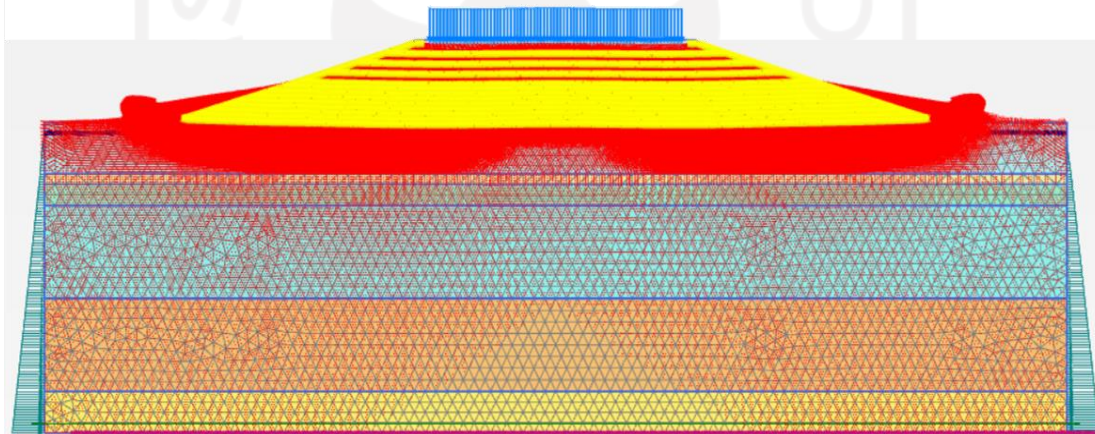
Gambar L-6.26 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



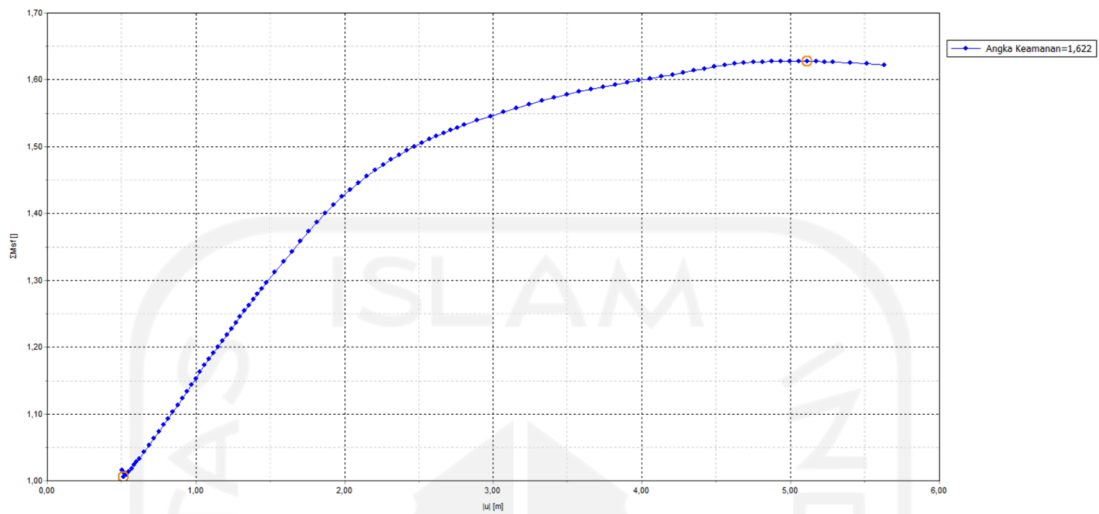
Gambar L-6.27 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



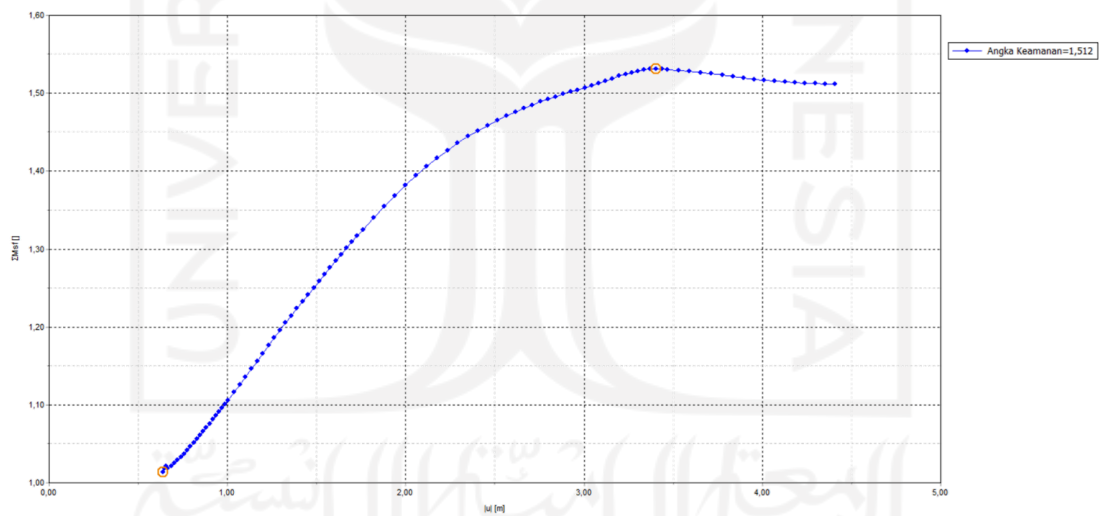
Gambar L-6.28 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa



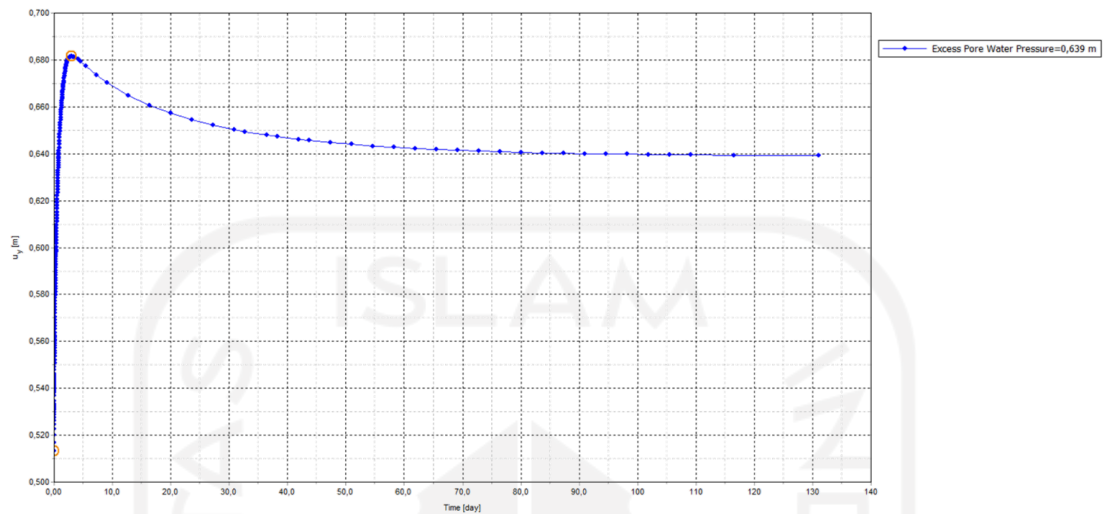
Gambar L-6.29 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa



Gambar L-6.30 Grafik *Safety Factor* Tanah Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi



Gambar L-6.31 Grafik *Safety Factor* Tanah Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi



Gambar L-6.32 Grafik Penurunan Konsolidasi Dengan Waktu 200 hari dan *Excess Pore Water Pressure* pada Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil