

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS TANAH TIMBUNAN PADA BADAN JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL DAN REPLACEMENT MENGGUNAKAN PLAXIS 2D (STUDI KASUS : PEMBANGUNAN JALAN TOL TRANS SUMATERA RUAS MEDAN – BANDA ACEH)

***(ANALYSYS OF ROAD ENBAKMNENT STABILITY WITH
GEOTEXTILE AND REPLACEMENT USING PLAXIS 2D
PROGRAM)***

***(CASE STUDY : CONSTRUCTION OF THE TRANS SUMATRA
TOLL ROAD SECTION OF MEDAN - BANDA ACEH)***

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



WILTA FANANDSIA AUDRA

16511004

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2023

TUGAS AKHIR

**ANALISIS STABILITAS TANAH TIMBUNAN PADA
BADAN JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL
DAN REPLACEMENT MENGGUNAKAN PLAXIS 2D (STUDI
KASUS : PEMBANGUNAN JALAN TOL TRANS
SUMATERA RUAS MEDAN – BANDA ACEH)**

**(ANALYSYS OF ROAD ENBAKMMENT STABILITY WITH
GEOTEXTILE AND REPLACEMENT USING PLAXIS 2D
PROGRAM)**

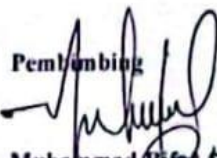
**(CASE STUDY : CONSTRUCTION OF THE TRANS SUMATRA
TOLL ROAD SECTION OF MEDAN - BANDA ACEH)**

Disusun oleh
WILTA FANANDSIA AUDRA

16511004

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

Diuji pada tanggal 23 Agustus 2023
Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

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

Penguji I

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

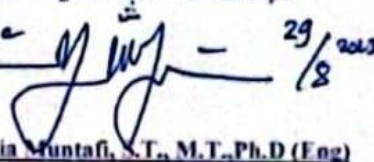
Penguji II

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

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



 29/8 2023

Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)
NIK: 855110101

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 sebagaian 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, 23 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,



Wilta Fanandsia Audra

(16511004)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Analisa Stabilitas Tanah Timbunan Pada Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Plaxis 2D Studi Jalan Tol Trans Sumatra Ruas Medan – Banda Aceh. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I,
2. Ibu Anisa Nur Amalia, S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji I. dan Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. dosen penguji II,
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T.,Ph.D (Eng) selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia,
4. Bapak Sugiyanta, S.H, Ibu Sri Waljini, S.Pd yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini, dan juga Toyibun Suryanto, S.T yang sudah membantu dan terus memberi dorongan kepada penulis, dan juga Wilta Sinaga Djawahir Salim yang terus memberikan semangat kepada penulis.

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

Yogyakarta, 16 Agustus 2023

Penulis,

Wilta Fanandsia Audra

(16511004)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
ABSTARK	xv
ABSTRAC	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum	7
2.2 Stabilitas Tanah Lempung Dengan Geotekstil	9
2.2.1 Pengaruh Penggunaan Geotekstil Sebagai Perkuatan	10
2.2.2 Analisa Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil	11

2.2.3	Analisa satbilitas Timbunan Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis	11
2.2.4	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil	13
2.2.5	Analisis Perkuatan Timbunan Pada Badan Jalan Menggunakan Geotekstil Dengan Metode Elemen Hingga	15
2.3	Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan	17
2.4	Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan	26
 BAB III LANDASAN TEORI		 27
3.1	Tanah	27
3.1.1	Klasifikasi Tanah	27
3.1.2	Parameter Tanah	32
3.2	Beban Pada Timbunan Jalan	35
3.2.1	Beban Perkerasan Jalan	35
3.2.2	Beban Lalu Lintas	36
3.2.3	Beban Gempa	37
3.3	Lereng	38
3.3.1	Pola Keruntuhan Lereng (Longsor)	39
3.3.2	Stabilitas Lereng	44
3.3.3	Angka Keamanan Lereng (<i>Safety Factor</i>)	45
3.3.4	Metode <i>Fellenius</i>	45
3.3.5	Perkuatan Lereng Dengan Geotekstil	47
3.4	Konsolidasi	53
3.5	Geotekstil	57
3.5.1	Jenis Geotekstil	58
3.5.2	Mekanisme Kerja Geotekstil Pada Tanah	60
3.5.3	Program <i>Software Plaxis</i>	61
 BAB IV METODE PENELITIAN		 64
4.1	Tinjauan Umum	64
4.2	Lokasi Penelitian	65

4.3 Data Penelitian	65
4.4 Tahap Analisa	65
4.5 Bagan Alir	66
BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN	68
5.1 Gambaran Umum	68
5.2 Data Penelitian	68
5.2.1 Data Parameter Tanah	69
5.2.2 Data Beban	70
5.2.3 Data Geotextil	72
5.3 Analisa Stabilitas Timbunan	72
5.3.1 Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan	72
5.3.2 Metode <i>Fellenius</i>	78
5.3.3 Perhitungan Geotextile	81
5.3.4 Timbunan Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	87
5.3.5 Timbunan Dengan <i>Replacement</i> Tanah Asli	98
5.4 Pembahasan	102
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	111
6.1 Kesimpulan	111
6.2 Saran	111
DAFTAR PUSTAKA	112
LAMPIRAN	113

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan	17
Tabel 3.1	Sistem Klasifikasi Tanah berdasarkan AASHTO	28
Tabel 3.2	Sistem Klasifikasi Tanah berdasarkan USCS	29
Tabel 3.3	Perkiraan Nilai Modulus Elastisitas	33
Tabel 3.4	Perkiraan Rasio Poisson	34
Tabel 3.5	Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah	35
Tabel 3.6	Beban Lalu Lintas untuk Analisa Stabilitas	36
Tabel 5.1	Data Parameter Tanah	69
Tabel 5.2	Beban Lalu Lintas untuk Analisa Stabilitas Tanah	70
Tabel 5.3	Data Geotekstil	72
Tabel 5.4	Koordinat Lereng Timbunan 15 M Tanah Asli Tanpa Perkuatan	73
Tabel 5.5	Rekapitulasi Angka Aman Lereng Timbunan Masa Konstruksi Dan Paska Konstruksi	78
Tabel 5.6	Hitungan Metode Fellenius Tinggi Timbunan 15 M Masa Konstruksi	77
Tabel 5.7	Rekapitulasi Perhitungan Angka Aman Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	80
Tabel 5.8	Rekapitulasi Angka Aman Timbunan 15 M Paska Konstruksi Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	81

Tabel 5.9	Data Parameter Tanah	81
Tabel 5.10	Data Geotekstil	81
Tabel 5.11	Koefisien Daya Dukung Tanah	82
Tabel 5.12	Rekapitulasi Pemasangan Geotekstil	86
Tabel 5.13	Rekapitulasi Angka Aman Metode <i>Fellenius</i>	105
Tabel 5.14	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Menggunakan <i>Plaxis V 8.2</i>	106
Tabel 5.15	Rekapitulasi Hasil Penurunan <i>Excess Pore Water Pressure</i>	109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram Fase Tanah	32
Gambar 3.2	Peta Percepatan Gempa Periode 500 Tahun Indonesia	37
Gambar 3.3	Peta Zonasi Gempa Indonesia	38
Gambar 3.4	Macam Kelongsoran	39
Gambar 3.5	Tipe Keruntuhan Gelincir Translasi	40
Gambar 3.6	Tipe Keruntuhan Gelincir Rotasi	41
Gambar 3.7	Tipe Keruntuhan Gelincir Kombinasi	42
Gambar 3.8	Tipe Gerakan Keruntuhan Jatuhan	42
Gambar 3.9	Tipe Gerakan Keruntuhan Jungkiran	43
Gambar 3.10	Tipe Keruntuhan Lereng Aliran yang Tidak Berpola	44
Gambar 3.11	Gaya – Gaya yang Bekerja pada Irisan ke – I	46
Gambar 3.12	Perlawanan Perkuatan Tanah terhadap Gaya yang Meruntuhkan	48
Gambar 3.13	Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral	49
Gambar 3.14	Hitungan Perubahan Angka Pori (Δe)	56
Gambar 3.15	Geotekstil Teranyam (Woven)	59
Gambar 3.16	Geotekstil Tak Teranyam (Non Woven)	60
Gambar 3.17	Redistribusi Tekanan Roda pada Perkuatan Geotekstil	61
Gambar 4.1	Bagan Alir Penelitian	67
Gambar 5.1	Potongan Peta Pembangunan Jalan Tol Medan – Banda Aceh	68
Gambar 5.2	Potongan Melintang Jalan	69
Gambar 5.3	Peta Zonasi Gempa Indonesia	71

Gambar 5.4	Nilai Spektrum Percepatan Gempa Banda Aceh	71
Gambar 5.5	Permodelan Lereng Timbunan 15 M Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pada Saat Masa Konstruksi	73
Gambar 5.6	<i>Meshing</i> pada Lereng Timbunan 15 M Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pada Saat Masa Konstruksi	74
Gambar 5.7	<i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan 15 M Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pada Saat Masa Konstruksi	74
Gambar 5.8	<i>Informasi Soil Body Collapse</i> Lereng Timbunan 15 M Tanah Asli Pada Saat Masa Konstruksi	75
Gambar 5.9	<i>Total Displacement</i> Timbunan 15 M Tanah Asli Pada Saat Masa Konstruksi	76
Gambar 5.10	Arah Pergerakan Tanah Timbunan 15 M Tanah Asli Pada Saat Masa Konstruksi	76
Gambar 5.11	<i>Effective Stress</i> Lereng Timbunan 15 M Tanah Asli Pada Saat Masa Konstruksi	77
Gambar 5.12	Pembagian Zona Pada Tanah Timbunan	83
Gambar 5.13	Pemasangan Geotekstil Pada Setiap Zona	87
Gambar 5.14	Pemodelan Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil	88
Gambar 5.15	<i>Meshing</i> Timbunan 15 Meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil	88
Gambar 5.16	<i>Meshing</i> Timbunan 10 Meter Kondisi Tanah Asli Dengan	

	Geotekstil	89
Gambar 5.17	Informasi <i>Soil Body Collapse</i> Lereng Timbunan 15 M Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa	90
Gambar 5.18	<i>Deformed Mesh</i> Timbunan 10 M Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa	90
Gambar 5.19	<i>Total Displacement</i> Timbunan 10 M Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa	91
Gambar 5.20	<i>Total Displacement</i> Timbunan 10 M Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa	92
Gambar 5.21	Arah Pergerakan Timbunan 10 M Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa	92
Gambar 5.22	Arah Pergerakan Timbunan 10 M Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi	93
Gambar 5.23	Grafik <i>Safety Factor</i> Tanah Timbunan 10 M Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi	93
Gambar 5.24	Grafik <i>Safety Factor</i> Tanah Timbunan 10 M Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi	94
Gambar 5.25	<i>Deformed Mesh</i> Timbunan 10 M Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa	94
Gambar 5.26	<i>Deformed Mesh</i> Timbunan 10 M Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa	95
Gambar 5.27	<i>Total Displacement</i> Timbunan 10 M Tanah Asli Dengan Geotekstil	

	Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa	95
Gambar 5.28	<i>Total Displacement</i> Timbunan 10 M Tanah Asli Dengan Geotekstil	
	Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa	96
Gambar 5.29	Arah Pergerakan Timbunan 10 M Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa	96
Gambar 5.30	Arah Pergerakan Timbunan 10 M Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa	97
Gambar 5.31	Grafik Penurunan Perhitungan <i>Excess Pore Water Pressure</i> pada Lereng Timbunan 10 M Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil	97
Gambar 5.32	Permodelan Timbunan 15 M Kondisi Replacement Tanah Asli	98
Gambar 5.33	<i>Meshing</i> Timbunan 15 M Kondisi Replacement Tanah Asli	98
Gambar 5.34	Informasi <i>Soil Body Collapse</i> Timbunan 15 M <i>Replacement</i> Tanah Asli Sebesar 2 M Tanpa Beban Gempa pada Masa Konstruksi	99
Gambar 5.35	<i>Deformed Mesh</i> Timbunan 10 M Kondisi <i>Replacement</i> Tanah Asli Sebesar 2 M	100
Gambar 5.36	<i>Total Displacement</i> Timbunan 10 M Kondisi <i>Replacement</i> Tanah Asli Sebesar 2 M Tanpa Beban Gempa Masa Konstruksi	100
Gambar 5.37	<i>Total Displacement</i> Timbunan 10 M Kondisi <i>Replacement</i> Tanah Asli Sebesar 2 M Tanpa Beban Gempa Paska Konstruksi	101
Gambar 5.38	Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10 M Kondisi <i>Replacement</i> Tanah Asli Sebesar 2 M Tanpa Beban Gempa Masa Kosntruksi	101
Gambar 5.39	Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10 M Kondisi <i>Replacement</i>	

	Tanah Asli Sebesar 2 M Tanpa Beban Gempa Paska Kosntruksi	102
Gambar 5.40	Deformed Mesh Timbunan 10 M Kondisi <i>Replacement</i> Tanah Asli Sebesar 2 M	102
Gambar 5.41	Total Displacement Timbunan 10 M Kondisi <i>Replacement</i> Tanah Asli Sebesar 2 M Dengan Beban Gempa Masa Konstruksi	103
Gambar 5.42	Total Displacement Timbunan 10 M Kondisi <i>Replacement</i> Tanah Asli Sebesar 2 M Dengan Beban Gempa Paska Konstruksi	103
Gambar 5.43	Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10 M Kondisi <i>Replacement</i> Tanah Asli Sebesar 2 M Dengan Beban Gempa Masa Konstruksi	104
Gambar 5.44	Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10 M Kondisi <i>Replacement</i> Tanah Asli Sebesar 2 M Dengan Beban Gempa Paska Konstruksi	104
Gambar 5.45	Grafik Perhitungan Angka Kemanan Pada Kondisi Tanah Asli Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	103

ABSTRAK

Pulau Sumatra merupakan pulau yang mengalami perkembangan pesat dalam bidang ekonomi. Dengan adanya perkembangan tersebut, salah satu upaya pemerintahan untuk mendukung adanya kemudahan aksesibilitas antar kedua kota, maka pemerintah melakukan upaya salah satunya yaitu pembangunan adanya jalan ruas Medan– Banda Aceh. Jalan ini akan mempunyai nilai strategis bagi kegiatan transportasi manusia, barang dan jasa serta akan mengurangi kemacetan di sepanjang jalur tersebut dan memperpendek jarak tempuh antar keduanya.

Penelitian ini dianalisis dengan permodelan variasi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter dengan perkuatan geotekstil dan *replacement* tanah asli menggunakan program Plaxis V 8.2. Untuk perhitungan pada kondisi tanah asli dianalisis dengan metode *fellenius*.

Hasil analisa stabilitas timbunan pada kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis V 8.2* pada masa konstruksi didapatkan angka aman untuk timbunan 5 meter sebesar 2,170 dan paska konstruksi sebesar 2,050, untuk timbunan 10 meter sebesar 1,470 pada masa konstruksi, dan 1,430 pada kondisi paska konstruksi, dan untuk timbunan 15 meter pada masa maupun paska konstruksi terjadi *soil body collapse*. Sedangkan pada kondisi *replacement* tanah asli masa konstruksi didapatkan angka aman untuk timbunan 5 meter sebesar 1,668 dan paska konstruksi sebesar 1,534 sedangkan untuk timbunan 10 meter sebesar 1,040 pada masa konstruksi dan 1,020 pada kondisi paska konstruksi, dan untuk timbunan 15 meter pada masa maupun paska konstruksi terjadi *soil body collapse*. Pada kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil didapatkan nilai penurunan untuk perhitungan *excess pore water water pressure* pada timbunan 5 meter mempunyai nilai sebesar 0,187 meter dengan waktu 110 hari, pada timbunan 10 meter mempunyai nilai penurunan sebesar 0,221 dengan waktu 112 hari, dan pada timbunan 15 meter masih mengalami *collapse*. Sedangkan penurunan yang terjadi dengan cara *replacement* tanah asli sebesar 2 meter didapat hasil penurunan pada timbunan 5 meter sebesar 0,221 dengan waktu 112 hari, pada timbunan 10 meter sebesar 0,234 dengan waktu 131 hari, dan untuk timbunan 15 meter masih mengalami *collapse*.

Kata Kunci : Stabilitas,geotekstil,*replacement*, angka keamanan,konsolidasi, Plaxis

ABSTRACT

Sumatra Island is one of island in Indonesia that is experiencing rapid development in the economic field. With these developments, one of the government's efforts to support easy accessibility between the two cities, the government is making efforts, one of which is the construction of the Medan-Banda Aceh road. This road will have strategic value for the transportation of people, goods and services and will reduce congestion along the route and shorten the distance between the two. This study was analyzed by modeling embankment variations of 5 meters, 10 meters and 15 meters with geotextile reinforcement and replacement of native soil using the Plaxis V 8.2 program. For calculations on the original soil conditions analyzed by the fellenius method.

The results of the analysis of embankment stability in the original soil conditions with geotextile reinforcement using the Plaxis V 8.2 program during the construction period obtained a safe number for a 5-meter embankment of 2,170 and post-construction of 2,050, for a 10-meter embankment of 1,470 during construction, and 1,430 in post-construction conditions, and for the 15 meter embankment during and after construction there was soil body collapse. Whereas in the replacement of the original soil during the construction period, the safe figure for the 5 meter embankment was 1.668 and after construction it was 1.534 while for the 10 meter embankment it was 1.040 during the construction period and 1.020 in post construction conditions, and for the 15 meter embankment both during and after construction. soil body collapse. In the original soil conditions with geotextile reinforcement, the reduction value for the calculation of excess pore water pressure on a 5-meter embankment has a value of 0.187 meters with a time of 110 days, on a 10-meter embankment has a reduction value of 0.221 with a time of 112 days, and on a 15-meter embankment still collapsing. Meanwhile, the decrease that occurred by replacing the original soil by 2 meters resulted in a decrease in the 5 meter embankment by 0.221 with a time of 112 days, on the 10 meter embankment it was 0.234 with a time of 131 days, and for the 15 meter embankment it was still collapsing.

Keywords : *Stability, geotextile, replacement, safety factor, consolidation, Plaxis V 8.2*

DAFTAR NOTASI

σ_n	= Tegangan normal (kN/m ²)
τ_f	= Kuat geser tanah (kN/m ²)
c	= Kohesi (kg/cm ²)
φ	= Sudut geser dalam tanah (°)
W_s	= Berat butiran padat (gram)
W_w	= Berat air (gram)
V_s	= Volume butiran padat (m ³)
V_w	= Volume air (m ³)
V_a	= Volume udara (m ³)
γ_b	= Berat volume basah tanah
E	= Elastisitas (kN/m ²)
ν	= Angka poisson
R	= Jari – jari lingkaran bidang longsor (m)
W_i	= Berat massa tanah irisan ke – i (kN)
Θ_i	= Sudut
SF	= Angka faktor aman
U_i	= Tekanan air pori pada irisan ke – i (kN/m ²)
τ	= Tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah (kN)
τ_d	= Tegangan geser terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN)
S_v	= Jarak tulangan arah vertikal (m)
$\tau_{\text{allowable}}$	= Kuat tarik geotekstil allowable (t/m)
K_a	= Koefisien tanah aktif
H_1	= Tinggi antar lapis geotekstil (m)
L_0	= Panjang geotekstil <i>overlapping</i> (m)

σ_{hci}	= Tekanan horizontal rata – rata pada lipatan (kN/m ²)
S_{vi}	= Jarak tulangan arah vertikal (m)
Z_i	= Kedalaman tulangan yang diketuk masuk ke dalam tanah (m)
L_{ef}	= Panjang efektif geotekstil (m)
S	= Penurunan total (m)
S_i	= Penurunan segera (m)
S_c	= Penurunan konsolidasi primer (m)
S_s	= Penurunan konsolidasi sekunder (m)
H	= Tebal lapis tanah (m)
e_0	= Angka pori awal
e_1	= Angka pori pada perubahan volume tertentu
Δe	= Perubahan angka pori
Δv	= Perubahan volume
ΔH	= Perubahan tebal
m_{vi}	= Koefisien perubahan volume pada lapisan ke – i (m ³)
Δp_i	= Tambahan tegangan pada pusat lapisan ke – i (kN/m ²)
ΔH_i	= Tebal lapisan ke – i
C_r	= Indeks pemampatan kembali
C_c	= Indeks pemampatan
$\Delta p = \Delta \sigma_z$	= Tambahan tegangan akibat beban (kN/ m ²)
ρ_0'	= Tekanan <i>overbunder</i> efektif awal sebelum dibebani (kN/ m ²)
ρ_c'	= Tekanan prakonsolidasi (kN/ m ²)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimiawi) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang – ruang kosong diantara partikel padat tersebut (Das, 1998). Tanah memiliki peranan yang penting dalam suatu konstruksi bangunan, hal ini dikarenakan tanah sebagai sebuah dasar dari sebuah konstruksi, beban dari suatu konstruksi bangunan akan diteruskan ke tanah melalui pondasi bangunan sehingga tanah menjadi komponen yang sangat diperhatikan dalam perencanaan sebuah konstruksi bangunan.

Tidak semua jenis tanah bisa langsung digunakan dan memiliki sifat yang menguntungkan bagi sebuah konstruksi bangunan baik itu konstruksi gedung, bendungan, jembatan, jalan, serta bangunan lainnya. Salah satu jenis tanah yang sering menimbulkan masalah dalam suatu konstruksi bangunan dan dapat menyebabkan adanya kerusakan pada umumnya adalah tanah lunak. Tanah lunak adalah tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara berhati – hati dapat menyebabkan masalah kestabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak tertolerir, tanah tersebut mempunyai kuat geser (τ_f) yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Tanah lunak terbagi menjadi dua, yaitu tanah lempung lunak dan tanah gambut (Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan, dan Sifat – Sifat Dasar Tanah Lunak, 2002).

Tanah lempung merupakan salah satu contoh tanah yang mempunyai daya dukung dan kuat geser yang rendah, karakteristiknya akan cenderung keras dalam kondisi kering dan cenderung lunak dalam kondisi basah atau memiliki lekatan yang sangat kuat antar partikel butirannya. Tanah lempung juga memiliki kembang – susut yang tinggi sehingga dapat membahayakan konstruksi bangunan yang ada di atasnya. Contoh kasus yang sering terjadi di lapangan yaitu tanah lempung ini akan menyebabkan terjadinya kelongsoran

pada konstruksi jalan, tanah lempung dengan daya dukung yang rendah dan memiliki kuat geser tanah yang kecil apabila diberikan beban secara terus menerus dan akan meningkat setiap tahunnya (loading time) lama – kelamaan apabila tidak diberikan perkuatan akan berakibat buruk pada konstruksi jalan tersebut.

Pulau Sumatra merupakan Pulau yang mengalami perkembangan pesat dalam bidang ekonomi. Dengan adanya perkembangan tersebut, salah satu upaya pemerintahan untuk mendukung adanya kemudahan aksesibilitas antar kedua kota, maka pemerintah melakukan upaya salah satunya yaitu pembangunan adanya jalan ruas Medan– Banda Aceh. Jalan ini akan mempunyai nilai strategis bagi kegiatan transportasi manusia, barang dan jasa serta akan mengurangi kemacetan di sepanjang jalur tersebut dan memperpendek jarak tempuh antar keduanya.

Di beberapa tempat dalam kawasan Medan Aceh sering dijumpai jenis tanah lunak terutama pada daerah rawa – rawa. Selain itu daerah medan papua merupakan daerah yang memiliki potensi kegempaan yang mana hal tersebut dapat berpengaruh dengan keamanan serta kenyamanan dari konstruksi jalan yang ada. Untuk mengatasi adanya masalah tersebut, maka tanah dasar dapat dilakukan perbaikan, hal ini biasanya dikenal dengan stabilitas tanah.

Stabilitas tanah adalah suatu usaha untuk meningkatkan berbagai jenis kapasitas tanah sesuai dengan kebutuhan perekayasa konstruksi serta untuk memelihara atau mempertahankan kapasitas tanah yang sudah ada agar tidak menurun akibat pengaruh dari dalam seperti sifat dari tanah itu sendiri maupun dari luar seperti adanya kenaikan jumlah beban kendaraan yang melintas di atas ruas jalan tersebut.

Secara garis besar stabilitas tanah dapat dibedakan menjadi dua yaitu stabilitas melalui perbaikan tanah (soil improvement) dan stabilitas melalui perkuatan tanah (soil reinforcement) (Darwis, 2002). Pada penelitian ini akan dilakukan contoh langkah perkuatan tanah dengan material sisipam geotekstil agar terjadi aksi komposit antara tanah dengan material sisipan (geotekstil) tersebut sehingga dihasilkan kapasitas daya dukung pada tanah sesuai yang telah atau sudah dikehendaki (kepentingan konstruksi).

Stabilitas tanah merupakan usaha untuk meningkatkan kapasitas daya dukung tanah dan membuat tanah menjadi stabil. Parameter untuk mengetahui kapasitas dukung tanah yang baik, salah satunya adalah mengenai angka faktor keamanan (safety factor) yang merupakan perbandingan antara gaya – gaya yang menahan gerakan terhadap gaya – gaya yang menggerakkan tanah tersebut serta deformasi yang merupakan perubahan bentuk, dimensi dan posisi dari suatu materi baik merupakan bagian dari alam ataupun buatan manusia dalam skala waktu dan ruang tertentu yang dapat terjadi jika suatu benda atau materi dikenai gaya (force).

Pemanfaatan geotekstil sebagai perkuatan tanah sudah banyak diaplikasikan di dunia konstruksi, baik itu sebagai perkuatan lereng timbunan jalan, pondasi bangunan, dinding penahan tanah, dan masih banyak lagi. Geotekstil adalah salah satu jenis produk buatan dari polimer yang berfungsi untuk memperbaiki kinerja pada tanah, manfaat perkuatan dengan geotekstil adalah untuk menyediakan stabilitas kekuatan tanah sampai waktu dimana tanah lunak di bawah timbunan mengalami konsolidasi (dan meningkatnya kekuatan geser tanah) sampai mempunyai cukup kekuatan untuk menahan beban timbunan di atasnya karena material ini mempunyai kemampuan tarik dan geser yang tinggi.

Pada penelitian Tugas Akhir dilakukan penelitian mengenai bagaimana pengaruh perkuatan tanah menggunakan geotekstil dengan variasi timbunan serta jumlah lapis geotekstil yang akan diberikan di bawah tanah timbunan baru tersebut untuk mencapai angka faktor keamanan yang tinggi serta adanya konsolidasi atau penurunan yang kecil. Penelitian ini akan menggunakan program atau Software Plaxis Versi 8.2 dalam pemodelan serta analisisnya. Stabilitas yang diterapkan pada penelitian Tugas Akhir adalah stabilitas dengan menggunakan tanah timbunan sebagai variabel bebas dan geotekstil serta tinggi timbunan sebagai variabel terikat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana stabilitas pada lereng tanah timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter tanpa perkuatan ?

2. Bagaimana besar penurunan pada lereng tanah timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter tanpa perkuatan tanah?
3. Bagaimana stabilitas lereng tanah timbunan badan jalan dengan variasi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter setelah dilakukan perkuatan dengan geotekstil?
4. Bagaimana besar penurunan pada lereng tanah timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter setelah dilakukan perkuatan dengan geotekstil?
5. Bagaimana stabilitas lereng tanah timbunan badan jalan dengan variasi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter setelah dilakukan *replacement* tanah asli sebesar 2 meter?
6. Bagaimana besar penurunan pada lereng tanah timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter setelah dilakukan *replacement* tanah asli sebesar 2 meter?
7. Bagaimana pengaruh penambahan geotekstil dan *replacement* tanah asli dalam meningkatkan stabilitas timbunan ?
8. Bagaimana pengaruh penambahan geotekstil dan *replacement* dalam mengurangi penurunan tanah ?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. mengetahui hasil angka aman (*safety factor*) pada tanah lereng timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter tanpa perkuatan,
2. mengetahui besarnya nilai penurunan pada tanah lereng timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter tanpa perkuatan,
3. mengetahui hasil angka aman (*safety factor*) pada tanah lereng timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter setelah dilakukan perkuatan dengan geotekstil,
4. mengetahui besarnya nilai penurunan pada tanah lereng timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter setelah dilakukan perkuatan dengan geotekstil,

5. mengetahui hasil angka aman (*safety factor*) pada tanah lereng timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter setelah dilakukan *replacement* tanah asli sebesar 2 meter,
6. mengetahui besarnya nilai penurunan pada tanah lereng timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter setelah dilakukan *replacement* tanah asli sebesar 2 meter,
7. mengetahui pengaruh penambahan geotekstil dalam meningkatkan stabilitas timbunan, dan
8. mengetahui pengaruh penambahan geotekstil dalam mengurangi penurunan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan manfaat yang bisa diperoleh yaitu :

1. mengetahui perkuatan yang paling efektif dan aman pada lereng tanah timbunan badan jalan di Proyek Jalan Tol Trans Sumatra Ruas Medan – Banda Aceh),
2. memberikan pengetahuan dalam pengoperasian pemodelan program Plaxis V 8.2, dan
3. memberikan alternatif desain untuk penelitian yang akan datang dengan jenis kasus yang sama.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir adalah sebagai yaitu :

1. data tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data tanah lunak yang berasal dari lokasi Trans Sumatera Ruas Medan – Banda Aceh,
2. beban lalu lintas, (panduan geoteknik 4 pt-t-10-2002-b, july 2002”),
3. kemiringan lereng yang dimodelkan yaitu 1 : 1,
4. beban gempa diperhitungkan dengan menggunakan data gempa pada Puskim (2021) untuk perhitungan *displacements*,
5. analisis yang dilakukan pada penelitian ini yaitu melakukan pemodelan untuk memperbaiki nilai angka faktor keamanan dari suatu lereng timbunan tanah serta

mengurangi deformasi yang ada dengan adanya variasi tinggi timbunan pada tanah asli dengan cara *replacement* tanah serta perkuatan tanah menggunakan geotekstil,

6. program *Plaxis* yang digunakan yaitu *Plaxis 8.2*,
7. muka air tanah berdasar data di lapangan yaitu sedalam 1 meter di bawah tanah dasar,
8. Geotekstil yang digunakan jenis woven dengan kuat Tarik = 53 kN/m.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Stabilitas tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu guna memperbaiki sifat – sifat teknis tanah, atau dapat pula diartikan secara umum bahwa stabilitas tanah adalah usaha untuk mengubah atau memperbaiki sifat – sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu (Darwis, 2017). Stabilitas tanah sendiri dibagi menjadi dua bagian, yaitu perbaikan tanah dan perkuatan tanah. Perbaikan tanah adalah suatu jenis stabilitas tanah yang bertujuan untuk memperbaiki atau mempertahankan kemampuan daya dukung dan kinerja tanah sesuai dengan persyaratan teknis yang dibutuhkan dalam pembangunan suatu konstruksi dengan menggunakan bahan tambah atau additive (kimiawi), penggantian tanah dasar, pencampuran tanah (re-gradation), pengeringan tanah (dewatering) atau melalui melalui penyaluran energi statis atau dinamis ke dalam lapisan tanah (fisik). Sedangkan, perkuatan tanah (soil reinforcement) adalah suatu jenis stabilitas tanah dengan tujuan untuk memperbaiki daya dukung atau kemampuan tanah yang ada sesuai dengan persyaratan teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut seperti contohnya geotekstil.

Menurut Hardiyatmo (2010), secara umum tujuan perkuatan tanah adalah sebagai berikut :

1. Menaikkan daya dukung dan kuat geser
2. Menaikkan modulus
3. Mengurangi kompresibilitas
4. Mengontrol stabilitas volume dalam mengembang dan menyusut
5. Mengurangi kerentanan terhadap likuifaksi
6. Memperbaiki material untuk bahan konstruksi
7. Memperkecil pengaruh lingkungan

Tanah lempung akan menjadi sangat keras dalam keadaan kering dan akan bersifat plastis pada kadar air sedang. Namun pada kadar air yang lebih tinggi, tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. Kohesif menunjukkan bahwa partikel – partikel itu melekat satu sama lainnya sedangkan plastisitas merupakan sifat yang kemungkinan

bentuk dari tanah tersebut dapat berubah – ubah tanpa perubahan ini atau tanpa kembali ke bentuk asli semulanya dan apabila pada saat kadar air sangat rendah tanah ini sering mengalami keretakan – keretakan atau terpisah antara partikel satu dengan yang lainnya. Sifat inilah yang sering kali menimbulkan banyak masalah pada konstruksi suatu bangunan yang didirikan di atasnya khususnya pada konstruksi jalan. Tanah dasar dalam suatu jalan apabila tanah tersebut merupakan tanah lempung yang dalam proses perencanaannya serta pekerjaannya tidak dilakukan suatu langkah perbaikan atau perkuatan tanah dapat menimbulkan kerusakan yang parah bahkan bisa sampai terjadi kelongsoran atau deformasi jalan, hal ini dikarenakan beban yang melintas di atas tanah tersebut akan terus bertambah seiring dengan perkembangan perekonomian suatu daerah yang ada (setiap tahun). Sifat dari tanah lempung yang kohesif atau mampu menyimpan banyak kadar air di dalamnya lama – kelamaan akan terjadi kemampatan atau kadar air tersebut akan keluar melalui pori yang ada, dengan adanya pemampatan tersebut maka akan mengakibatkan dapat terubahnya kepadatan serta dapat menimbulkan tegangan yang besar dalam suatu tanah tersebut. Tegangan tanah disebabkan oleh gaya yang berasal dari beban yang melintas di atasnya serta dari berat tanah itu sendiri atau yang sering disebut dengan tegangan normal. Nilai dari tegangan normal inilah yang mempengaruhi adanya tegangan geser yang terjadi di dalam tanah yaitu besarnya berbanding lurus, apabila tegangan normal meningkat maka tegangan geser dalam suatu tanah juga akan meningkat.

Pada umumnya tanah memiliki nilai kuat geser (tarik) yang rendah atau memiliki kemampuan yang kecil dalam menahan gaya geser yang dipengaruhi oleh kohesi tanah (c) yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya.

Kuat geser tanah (τ_f) tergantung dari tegangan normal (σ_n) yang dipengaruhi oleh sudut geser dalam tanah (ϕ) serta gesekan antar butir – butir tanah (c) maka dari itu perlu dilakukan adanya perbaikan atau perkuatan tanah pada lereng timbunan tanah tersebut dengan pengaplikasian timbunan sebagai perkuatan di atas tanah lunak yang berada di bawahnya serta pemberian geotekstil sebagai kekuatan tarik pada konstruksi tanah dasar tersebut.

2.2 Stabilitas Tanah Lempung dengan Geotekstil

Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) menggunakan geotekstil sudah banyak digunakan dalam proyek – proyek bangunan sipil sejak tahun 1960-an, baik bangunan berupa gedung maupun bangunan sipil lainnya seperti jalan.

Pada prinsipnya suatu timbunan tanah diibaratkan sebagai balok yang menerima beban di atasnya, yaitu apabila timbunan tersebut mendapatkan beban yang besar dan menimbulkan adanya lengkungan atau deformasi yang tajam, maka akan menimbulkan retak – retak di bagian bawahnya hal ini dikarenakan kuat tarik atau kuat geser (τ_f) yang rendah maka untuk mengantisipasi adanya tegangan tarik yang besar tersebut diperlukan suatu tulangan berupa geotekstil yang mana tulangan tersebut memiliki nilai kuat tarik yang besar.

Geotekstil yaitu bahan geosintetik (jenis bahan yang digunakan dalam bidang geoteknik berupa lembaran yang dibuat oleh manusia dengan bahan serat sintesis) yang bentuknya menyerupai bahan tekstil pada umumnya, tetapi terdiri dari serat – serat sintesis sehingga selain lentur, juga tidak ada masalah penyusutan seperti pada material dari serat alam seperti wol, katun ataupun sutera. Definisi ASTM menyatakan bahwa geotextile merupakan bahan yang tidak kedap air, yang memiliki fungsi sebagai lapisan pemisah (*separation*), lapisan penyaring (*filtration*), penyalur air (*drainage*), perkuatan tanah (*reinforcement*), dan lapis pelindung (*moisture barrier*) bila terselimuti bitumen.

Geotekstil apabila diletakkan di bawah timbunan jalan dapat mengurangi tegangan – tegangan tanah di bagian bawah, yaitu ketika lapisan ini mengalami tarikan akibat beban yang bekerja di atasnya. Dengan adanya geotekstil dapat mengurangi intensitas tekanan ke tanah di bawahnya. Jika tanah lunak yang berada di bawah timbunan terpenetrasi ke dalam bahan timbunan di atasnya, maka sifat – sifat mekanis tanah timbunan akan terpengaruh, yaitu kekuatan tanah di sekitar dasar timbunan akan berkurang. Kadar air dalam tanah lunak secara berangsur – angsur berkurang oleh adanya geotextile yang berfungsi sebagai drainase.

Analisis mekanika tanah menggunakan Program *Software Plaxis* dapat digunakan untuk mengevaluasi bagaimana perilaku tanah khususnya tegangan geser tanah yang terjadi pada tanah tersebut, dengan begitu maka dapat diketahui berapa angka aman yang dimiliki serta deformasi yang terjadi pada tanah tersebut. Contoh – contoh penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai acuan dalam Penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

2.2.1 Pengaruh Penggunaan Geotekstil sebagai Perkuatan

Maharani (2017) melakukan penelitian pada pembangunan ruas jalan Tol Ngawi – Kertosono khususnya ruas Ngawi – Caruban seksi 3.1 sepanjang $\pm 21,06$ km melintasi daerah lahan pertanian yang mana memiliki jenis tanah berbutir halus (tanah lunak) pada bagian atas dan pada lapisan bawah berupa tanah lempung medium dense dan stiff clay dengan tebal masing – masing lapisan tanah dasar setinggi 2 m untuk layer pertama dan kedua, 6 m untuk layer ketiga, dan 5 m untuk layer keempat serta elevasi muka air tanah tepat berada pada permukaan tanah asli. Dengan adanya kondisi tanah tersebut maka, perlu dilakukan adanya perbaikan tanah (*soil improvement*) menggunakan jenis perkuatan dengan bahan geotekstil. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain adanya lapis geotekstil yang akan digunakan sebagai perkuatan tanah timbunan tersebut serta untuk meyakinkan apakah desain perkuatan menggunakan geotekstil tersebut cukup aman atau tidak apabila diaplikasikan ke lapangan. Analisis dilakukan menggunakan program *Plaxis* Versi 8.2. Dalam penelitian ini pemodelan dilakukan dengan pembebanan yang sebelumnya telah diperhitungkan terlebih dahulu yaitu berupa beban gempa dan beban lalu lintas serta perkerasan yang berada di atasnya, analisis dilakukan dengan model regangan bidang (*plane strain*) dengan elemen hingga 15 titik nodal, metode timbunan direncanakan mempunyai lebar 27,2 m dan tinggi 8 m dengan kemiringan lereng 1:2 serta diberikan beban merata $22,2 \text{ kN/m}^2$ yang merupakan kombinasi beban lalu lintas dan perkerasan. Untuk kebutuhan geotekstil dihitung menggunakan metode internal dan eksternal didapatkan banyak lapis yang dipakai sebanyak 3 lapis yang dipasang pada ketinggian 0,5 m, 1 m, dan 1,5 m dari dasar timbunan dengan panjang pakai sebesar 27,6 m, 28,6 m, 29,6 m, dan panjang geotekstil overlapping 6 m. Metode analisis yang digunakan adalah teknik reduksi kekuatan geser (*phi – c reduction*) metode elemen hingga pada program *Plaxis*. Dalam metode ini, parameter kekuatan geser tanah yang tersedia berturut – turut direduksi secara otomatis hingga kelongsoran terjadi. Hasil analisis angka faktor keamanan timbunan tanpa perkuatan sebesar 1,0048, akibat beban timbunan dan kendaraan 1,0047, dan akibat beban timbunan, kendaraan, dan beban gempa 0,9948, setelah diberikan perkuatan menggunakan geotekstil sesuai yang telah direncanakan maka didapatkan nilai angka faktor keamanan akibat timbunan sebesar 1,8405, akibat beban timbunan dan kendaraan 1,8216, akibat beban timbunan, kendaraan, dan beban gempa sebesar 1,7196 yang mana faktor aman ini sudah memenuhi syarat yang diterapkan yaitu 1,5.

2.2.2 Analisa Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode *Fellenius*

Arsy (2018) melakukan penelitian tentang penggunaan geotekstil sebagai perkuatan tanah pada ruas jalan tol Solo – Kertosono terhadap nilai angka faktor keamanan (SF) dari timbunan tanah. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai angka faktor dan bidang longsor potensial pada badan jalan dengan menggunakan perkuatan jenis geotekstil, analisis ini dihitung dengan metode irisan *Fellenius* secara perhitungan manual serta menggunakan program komputer yaitu *Geoslope*. Pada penelitian ini tanah asli diperhitungkan terlebih dahulu nilai faktor keamanannya sebelum diberikan perkuatan berupa geotekstil dengan metode *Fellenius* secara manual. Setelah diperoleh nilai faktor keamanan yang sebenarnya pada tanah tersebut maka dilakukan pemodelan badan jalan menggunakan perkuatan geotekstil pada program *Geoslope* dan perhitungan *Fellenius* dengan variasi panjang geotekstil, variasi jarak vertikal antar geotekstil, serta variasi sudut kemiringan lereng yaitu dengan variasi panjang sebesar 10 m, 13 m, 15 m, variasi jarak vertikal sebesar 0,3 m, 0,4 m, 0,6 m, dan variasi sudut kemiringan lereng sebesar 19°, 25°, serta 29°. Dari hasil analisis yang dilakukan menggunakan metode *Fellenius* secara perhitungan manual dan dengan program *Geoslope* menghasilkan angka aman yang tidak sama persis, namun memiliki perbedaan yang tidak begitu jauh. Hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan tanpa menggunakan perkuatan dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual sebesar 1,786 sedangkan pada program *Geoslope* diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,947 untuk kondisi tanpa pengaruh beban gempa dan sebesar 1,030 untuk kondisi yang dipengaruhi beban gempa yang berarti kondisi badan jalan dalam keadaan kritis dan rawan longsor apabila tidak diberikan perkuatan. Hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan menggunakan perkuatan geotekstil dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual pada variasi panjang pertama, kedua, dan ketiga sebesar 10 m, 13 m, dan 15 m yaitu 2,339, 2,347, dan 2,375 dengan menggunakan program *Geoslope* tanpa pengaruh gempa sebesar 2,497, 2,855, dan 2,94. Analisis menggunakan pengaruh beban gempa didapatkan hasil sebesar 1,304, 1,422, dan 1,448. Sedangkan hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan menggunakan perkuatan geotekstil dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual pada variasi jarak vertikal antar geotekstil pertama, kedua, ketiga dengan S_v masing – masing 0,3 m, 0,4 m, dan 0,6 m yaitu 2,646, 2,347, dan 2,059, kemudian menggunakan program *Geoslope* tanpa pengaruh gempa sebesar 2,869, 2,855, dan 2,758, sedangkan

dengan pengaruh beban gempa yaitu 1,436, 1,422, dan 1,405. Untuk perbedaan variasi sudut kemiringan lereng pertama, kedua, ketiga dengan sudut masing – masing 19° , 25° , serta 29° dengan menggunakan program *Geoslope* tanpa pengaruh beban gempa sebesar 2,930, 2,855, dan 2,696, sedangkan dengan pengaruh gempa yaitu 1,423, 1,422, dan 1,409, hasil analisis stabilitas timbunan menggunakan perkuatan geotekstil pada tiap variasi sudut kemiringan menghasilkan angka aman yang lebih dari syarat yaitu 1,30 sehingga badan jalan dalam kondisi aman. Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin panjang geotekstil yang digunakan maka semakin besar nilai faktor keamanan yang dihasilkan, semakin rapat atau semakin kecil jarak vertikal geotekstil yang digunakan maka semakin besar nilai faktor keamanan yang dihasilkan serta untuk variasi sudut kemiringan lereng terhadap angka aman yang dihasilkan hubungan semakin kecil sudut kemiringan lereng atau semakin landai lereng maka semakin besar nilai faktor keamanan yang dihasilkan.

2.2.3 Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program *Plaxis*

Budiasto (2018) melakukan penelitian tentang penggunaan geotekstil sebagai perkuatan tanah pada ruas jalan tol Solo – Kertosono terhadap angka faktor keamanan (SF) dari timbunan tanah. Penelitian tersebut bertujuan untuk memperbesar nilai angka aman yang terdapat pada suatu timbunan badan jalan dengan menggunakan geotekstil sebagai perkuatan tanahnya. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini yaitu melakukan pemodelan dengan menggunakan program *Plaxis* berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara khusus untuk dapat menganalisis deformasi dan stabilitas tanah. Tanah timbunan terlebih dahulu dilakukan analisis sesuai dengan keadaan asli dari tanah dasar yang ada, setelah itu dilakukan pemodelan dengan variasi tinggi timbunan sebesar 2 m, 4 m, 6 m, serta 8 m dan pada masing – masing variasi tinggi timbunan dimodelkan dengan 4 keadaan yaitu tanah asli dengan *replacement* setinggi 0,5 m, tanah asli dengan perkuatan geotekstil, tanah asli dengan *replacement* setinggi 0,5 m dengan geotekstil, serta tanah asli dengan tinggi *replacement* 1 m dengan geotekstil, dan pada timbunan 8 m ditambah dengan pemodelan tanah asli *replacement* setinggi 0,5 m dengan geotekstil dan *counterweight* serta tanah asli *replacement* 1 m dengan geotekstil dan *counterweight*. Dari hasil analisis stabilitas lereng dengan program *Plaxis* didapatkan nilai angka aman sebesar 1,785 pada timbunan 2 m kondisi tanah asli dengan geotekstil saat konstruksi dan 1,452 saat paska konstruksi, tanah

asli *replacement* 0,5 m dengan geotekstil 1,859 saat konstruksi dan 1,529 saat paska konstruksi, tanah asli *replacement* 1 m dengan geotekstil 2,065 saat konstruksi dan 1,716 saat paska konstruksi. Pada timbunan 4 m kondisi tanah asli *replacement* 1 m dengan geotekstil 1,645 saat konstruksi dan 1,512 saat paska konstruksi. Pada timbunan 6 m kondisi tanah asli *replacement* 1 m dengan geotekstil 1,457 saat konstruksi dan 1,410 saat paska konstruksi. Pada timbunan 8 m kondisi tanah asli *replacement* 1 m dengan geotekstil dan *counterweight* 1,504 saat konstruksi dan 1,501 saat paska konstruksi. Hasil penurunan dalam waktu 200 hari pada timbunan 2 m kondisi tanah asli 0,009 m, tanah *replacement* 0,038 m, tanah asli dengan geotekstil 0,038, tanah asli *replacement* 0,5 m dengan geotekstil 0,038 m, tanah asli *replacement* 1 m dengan geotekstil sebesar 0,043 m. Pada timbunan 4 m kondisi tanah asli dengan geotekstil 0,150 m, tanah asli *replacement* 0,5 m dengan geotekstil 0,094 m, tanah asli *replacement* 1 m dengan geotekstil 0,005 m. Pada timbunan 6 m kondisi tanah asli dengan geotekstil 1,749 m, tanah asli *replacement* 0,5 m dengan geotekstil 0,756 m, tanah asli *replacement* 1 m dengan geotekstil 0,045 m. Pada timbunan 8 m kondisi tanah asli dengan geotekstil 4,285 m, tanah asli *replacement* 0,5 m dengan geotekstil geotekstil 1,856 m, tanah asli *replacement* 1 m dengan geotekstil 0,500 m, tanah asli *replacement* 0,5 m dengan geotekstil dan *counterweight* 0,375 m, serta tanah asli *replacement* 1 m dengan geotekstil dan *counterweight* sebesar 0,471 m.

2.2.4 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Dengan Perkuatan *Geotekstil*

Setiyawan (2019) melakukan penelitian tentang analisis stabilitas lereng timbunan menggunakan perkuatan geotekstil pada Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Bawen Sta. 23+050 yang bertujuan untuk mengetahui nilai *safety factor* tanah asli dengan variasi tinggi lereng timbunan 2 m, 4 m, 6 m, kemudian mengetahui nilai *safety factor* lereng setelah diberikan perkuatan dan mencari solusi dalam meningkatkan nilai aman pada timbunan badan jalan tersebut serta yang terakhir adalah mengetahui nilai penurunannya. Analisis dalam penelitian yang dilakukan dalam hal ini meliputi analisis stabilitas internal dan eksternal lereng dengan program komputer *Plaxis* 8.2 kemudian dilakukan analisis untuk mencari kestabilan lereng dengan mengetahui nilai amannya, kemudian keduanya menjadi bahan perbandingan, lalu analisis perkuatan dilakukan dengan pemodelan menambahkan material geotekstil agar dapat diperoleh nilai angka aman yang lebih besar dari batasan dan dijadikan acuan pada kondisi tanah dan nilai pembebanan tertentu. Proses analisis dan perhitungan timbunan digunakan variasi mulai dari tinggi 2 m, 4 m, 6 m, hal tersebut

dilakukan untuk mengetahui tinggi timbunan yang paling efektif serta aman terhadap beban selama masa konstruksi dan paska konstruksi dengan jenis beban yang tentunya berbeda pula. Jenis timbunan yang dianalisis adalah timbunan asli dan diberi counterweight. Dari hasil analisis menggunakan program komputer *Plaxis 8.2* didapatkan nilai angka aman pada timbunan 2 m sebesar 3,4222 tanpa beban gempa, 3,2671 dengan beban gempa pada tanah asli dan 3,5152 tanpa beban gempa, 3,3421 dengan beban gempa pada tanah dengan perkuatan, dan pada timbunan 6 m diperoleh hasil tanah asli tanpa beban gempa masa konstruksi sebesar 1,0514, dengan beban gempa 1,0512, tanah asli dan geotekstil tanpa beban gempa 1,4553, dengan beban gempa 1,4362, tanah asli dengan geotekstil dan counterweight tanpa beban gempa sebesar 1,5434, dengan beban gempa 1,5322, lalu setelah paska konstruksi pada tanah asli tanpa beban gempa diperoleh angka *safety factor* sebesar 1,0513, dengan beban gempa 1,0506, tanah asli dan geotekstil sebesar 1,2604 tanpa beban gempa, 1,1834 dengan beban gempa, tanah asli dengan geotekstil dan counterweight tanpa beban gempa sebesar 1,5441 dan dengan beban gempa sebesar 1,5436. Sedangkan untuk konsolidasi atau penurunan sendiri dihitung dengan interval waktu selama 1 tahun, 3 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun. Pada timbunan 2 m dengan timbunan tanah 2 m waktu konsolidasi 1 tahun diperoleh penurunan sebesar 0,00091, waktu 3 tahun sebesar 0,000375, waktu 5 tahun sebesar 0,000224, waktu 10 tahun 0,00013, untuk tanah asli dan geotekstil diperoleh angka waktu 1 tahun sebesar 0,000898, waktu 3 tahun 0,000241, waktu 5 tahun 0,000232, waktu 10 tahun 0,00014. Penurunan timbunan 4 m pada tanah asli dalam waktu 1 tahun diperoleh penurunan 0,000348, waktu 3 tahun 0,000183, waktu 5 tahun 0,000113, waktu 10 tahun 0,000094, untuk tanah asli dan geotekstil pada waktu 1 tahun terjadi penurunan sebesar 0,000527, waktu 3 tahun sebesar 0,000334, waktu 5 tahun 0,000282, waktu 10 tahun sebesar 0,000255. Penurunan timbunan 6 m pada tanah asli dalam waktu 1 tahun sebesar 0,00214, waktu 3 tahun 0,00125, waktu 5 tahun 0,0010, waktu 10 tahun 0,00085, sedangkan pada tanah asli dan geotekstil waktu 1 tahun diperoleh hasil 0,00216, waktu 3 tahun 0,00131, waktu 5 tahun 0,0010, waktu 10 tahun 0,00091. Dari hasil analisis menggunakan program *Plaxis 8.2* dan metode *Fellenius* tersebut yang diperoleh pada lereng timbunan asli 6 m didapatkan angka aman yang kurang dari prasyarat dan ketentuan sebuah timbunan dan lereng jalan kemudian diberikan usaha perkuatan tanah berupa geotekstil untuk menaikkan nilai angka aman dan diperoleh nilai yang diinginkan pada timbunan 2 m dan 4 m, perlu penambahan counterweight pada timbunan 6 m, karena dari hasil kalkulasi didapatkan nilai angka aman yang belum memenuhi prasyarat. Dari data konsolidasi pada proses analisis

dapat dilihat bahwa variasi timbunan berpengaruh terhadap penurunan yang terjadi pada suatu tanah, semakin tinggi timbunan, penurunan yang terjadi juga semakin besar, begitupula waktu dimana diawal waktu pada kasus ini satu tahun penurunan yang terjadi masih relatif besar, namun seiring bertambahnya waktu penurunan semakin lama semakin kecil nilainya.

2.2.5 Analisis Perkuatan Timbunan Pada Badan Jalan Menggunakan Geotekstil Dengan Metode Elemen Hingga

Satria (2019) melakukan penelitian pada tanah di Jalan Tol Palembang – Indralaya Sta. 1+525 Hingga 1+800 yang memiliki tujuan utama yaitu mencari nilai angka aman dan penurunan pada tiap variasi timbunan lereng 2 m, 4 m, dan 6 m dengan *replacement* dan perkuatan geotekstil yang dianalisis menggunakan program *Plaxis*. Hasil yang didapatkan dari hasil analisis stabilitas lereng dengan program *Plaxis* didapatkan nilai angka aman yang lebih besar dari angka aman yang disyaratkan $SF > 1,3$ yaitu pada timbunan 2 m saat masa konstruksi yaitu saat kondisi timbunan tanah asli angka aman tanpa beban gempa 1,4274 dengan beban gempa 1,427, saat masa paska konstruksi angka aman tanpa beban gempa 1,055 dengan beban gempa 1,0525, kondisi timbunan tanah asli dengan geotekstil timbunan tanah asli angka aman tanpa beban 2,1412 dengan beban gempa 2,1423, saat masa paska konstruksi angka aman tanpa beban gempa 1,6263 dengan beban gempa 1,6112, kondisi timbunan tanah asli *replacement* 0,5 m dengan geotekstil timbunan tanah asli angka aman tanpa beban gempa 2,2144 dengan beban gempa 2,1995, saat masa paska konstruksi angka aman tanpa beban gempa 1,6853 dengan beban gempa 1,67, dan kondisi timbunan tanah asli *replacement* 1 m dengan geotekstil timbunan tanah asli angka aman tanpa beban gempa 2,2524 dengan beban gempa 2,2289, saat masa paska konstruksi angka aman tanpa beban gempa 1,7174 dengan beban gempa 1,696 artinya pada semua kondisi sudah memenuhi syarat $SF > 1,3$. Pada timbunan 4 m saat masa konstruksi yaitu saat kondisi timbunan tanah asli angka aman tanpa beban gempa 1,2491 dengan beban gempa 1,2463, saat masa paska konstruksi angka aman tanpa beban gempa 1,0362 dengan beban gempa 1,0333, kondisi timbunan tanah asli dengan geotekstil timbunan tanah asli angka aman tanpa beban gempa 1,5977 dengan beban gempa 1,5853, saat masa paska konstruksi angka aman tanpa beban gempa 1,3598 dengan beban gempa 1,3575, kondisi timbunan tanah asli *replacement* 0,5 m dengan geotekstil timbunan tanah asli angka aman tanpa beban gempa 1,6686 dengan beban gempa 1,651, saat masa paska konstruksi angka aman tanpa beban gempa 1,4114 dengan

beban gempa 1,4196, dan kondisi timbunan tanah asli replacement 1 m dengan geotekstil timbunan tanah asli angka aman tanpa beban gempa 1,7009 dengan beban gempa 1,7151, saat masa paska konstruksi angka aman tanpa beban gempa 1,4611 dengan beban gempa 1,463 artinya pada semua kondisi sudah memenuhi syarat $SF > 1,3$. Pada timbunan 6 m saat masa konstruksi yaitu saat kondisi timbunan tanah asli angka aman tanpa beban gempa 1,0344 dengan beban gempa 1,0307, kondisi timbunan tanah asli dengan geotekstil timbunan tanah asli tanpa beban gempa 1,4047 dengan beban gempa 1,4025, saat masa paska konstruksi angka aman tanpa beban gempa 1,2687 dengan beban gempa 1,2685, kondisi timbunan tanah asli replacement 0,5 m dengan geotekstil timbunan tanah asli angka aman tanpa beban gempa 1,4842 dengan beban gempa 1,4829, saat masa paska konstruksi angka aman tanpa beban gempa 1,3321 dengan beban gempa 1,3306, dan kondisi timbunan tanah asli replacement 1 m dengan geotekstil timbunan tanah asli angka aman tanpa beban gempa 1,5199 dengan beban gempa 1,5193, saat masa paska konstruksi angka aman tanpa beban gempa 1,3654 dengan beban gempa 1,3578 artinya pada semua kondisi sudah memenuhi syarat $SF > 1,5$.

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Perbandingan beberapa penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Akan Dilakukan
Peneliti	Maharani	Arsy	Budiasto	Setyawan	Satria	Wilta FA
Tahun	2017	2018	2018	2019	2019	2023
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Timbunan Jalan di Atas Tanah Lunak Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program <i>Plaxis</i> 8.2	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program <i>Plaxis</i>	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan <i>Plaxis</i> 8.2 Pada Jalan Tol Salatiga – Solo Sta.23 + 050	Analisis Perkuatan Timbunan Pada Badan Jalan Menggunakan Geotekstil Dengan Metode Elemen Hingga Studi Kasus Jalan Tol Palembang – Indralaya Sta.1+525 Hingga 1+800	Analisis Stabilitas Tanah Timbunan Pada Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan <i>Plaxis</i> 2D Studi Kasus Ruas Jalan Medan – Banda Aceh

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Akan Dilakukan
Peneliti	Maharani	Arsy	Budiasto	Setyawan	Satria	Wilta FA
Tahun	2017	2018	2018	2019	2019	2023
Tujuan Penelitian	Mendesain lapis geotekstil yang akan digunakan sebagai perkuatan tanah timbunan serta menguji kekuatannya atau mencari nilai faktor keamanan dari desain tersebut apakah cukup aman atau tidak dengan menggunakan program Plaxis 8.2	Mengetahui besarnya angka aman dan bidang longsor potensial pada badan jalan dengan menggunakan perkuatan jenis geotekstil yang dianalisa dengan Metode Fellenius pada Program Geoslope	Memperbesar nilai angka aman yang terdapat pada suatu timbunan badan jalan dengan menggunakan geotekstil sebagai perkuatan tanahnya	Mengetahui nilai angka aman tanah asli dengan variasi tinggi lereng timbunan 2 m, 4 m, dan 6 m yang diberi perkuatan geotekstil serta besar nilai penurunannya	Mencari nilai angka aman dan penurunan pada tiap variasi timbunan lereng 2 m, 4 m, dan 6 m dengan replacement dan perkuatan geotekstil yang dianalisis menggunakan Program Plaxis	Mencari nilai faktor keamanan dan besarnya keruntuhan atau deformasi pada variasi timbunan dengan jenis geotekstil woven sebagai aplikator untuk menaikkan nilai faktor keamanan, cara yang kedua yaitu dengan metode

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Akan Dilakukan
Peneliti	Maharani	Arsy	Budiasto	Setyawan	Satria	Wilta FA
Tahun	2017	2018	2018	2019	2019	2023
Objek Penelitian	Tanah timbunan pada pembangunan Jalan Tol Ngawi – Kertosono khususnya ruas Ngawi – Caruban seksi 3.1 sepanjang ± 21,06 km melintasi daerah lahan pertanian	Timbunan konstruksi badan jalan pada ruas Jalan Tol Solo – Kertosono Sta. 4+175	Timbunan badan jalan pada zona 2 Jalan Tol Solo – Kertosono Tahap III Sta. 118+700 – Sta. 139+76	Tanah timbunan badan jalan Tol Semarang – Solo Sta. 23+050 tahap II ruas Bawen – Solo, seksi 3 Bawen, Salatiga	Tanah timbunan pada badan jalan dengan studi kasus Jalan Tol Palembang – Indralaya Sta. 1+525 Hingga Sta. 1+800	<i>replacement</i> tanah asli diganti menggunakan material tanah dengan karakteristik seperti tanah timbunan. Analisis dilakukan menggunakan Metode Elemen Hingga pada <i>Plaxis</i> .

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Akan Dilakukan
Peneliti	Maharani	Arsy	Budiasto	Setyawan	Satria	Wilta FA
Tahun	2017	2018	2018	2019	2019	2023
Metode Penelitian	Analisis ini meninjau nilai faktor aman dari perkuatan geotekstil yang sebelumnya telah direncanakan menggunakan metode manual sesuai beban yang mempengaruhinya. Pada analisis stabilitas timbunan dengan perkuatan	Analisis meninjau adanya nilai faktor keamanan pada timbunan dengan perkuatan geotekstil, pemodelannya dilakukan beberapa bentuk variasi yaitu panjang geotekstil yang digunakan, variasi jarak vertikal, serta variasi sudut kemiringan lereng. Analisis badan jalan	Analisis dilakukan dengan Metode Elemen Hingga pada <i>Plaxis</i> . Analisis ini memiliki variasi pemodelan yaitu tanah asli sebelum diberi perkuatan, tanah asli dengan replacement 0,5 m, tanah asli dengan geotekstil, tanah asli <i>replacement</i>	Analisis dilakukan dengan Program <i>Plaxis 8.2</i> dan Metode <i>Fellenius</i> menggunakan variasi tinggi timbunan yaitu 2 m, 4 m, dan 6m, serta menambah perkuatan dengan <i>counterweight</i> pada tinggi	Analisis dilakukan dengan Metode Elemen Hingga pada <i>Plaxis</i> . Analisis ini memiliki variasi pemodelan yaitu tanah asli sebelum diberi perkuatan, tanah asli dengan replacement 0,5 m, tanah asli dengan geotekstil, tanah asli <i>replacement</i>	Pada analisis ini yang pertama kali dilakukan yaitu melakukan trial untuk mendapatkan angka optimum pada ketiga timbunan, setelah itu melakukan trial lagi dengan metode <i>replacement</i> tanah

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Akan Dilakukan
Peneliti	Maharani	Arsy	Budiasto	Setyawan	Satria	Wilta FA
Tahun	2017	2018	2018	2019	2019	2023
Metode Penelitian	geotekstil menggunakan program <i>Plaxis</i> v.8.2 digunakan model regangan dan elemen hingga 15 titik nodal	Dengan perkuatan ini dilakukan menggunakan metode <i>Fellenius</i> pada Program Geoslope	0,5 m dengan geotekstil, serta tanah asli replacement 1 m dengan geotekstil	timbunan 6 m. Penurunan atau konsolidasi ditinjau dengan kurun waktu 1, 3, 5, serta 10 tahun	0,5 m dengan geotekstil, serta tanah asli replacement 1 m dengan geotekstil.	asli, kemudian dapat ditarik kesimpulan dari metode – metode yang telah dilakukan untuk memperbaiki nilai faktor aman.
Hasil Penelitian	Dari hasil perhitungan analisa stabilitas timbunan tanpa perkuatan geotekstil dengan menggunakan	Hubungan antara panjang geotekstil terhadap angka aman yaitu semakin panjang geotekstil yang digunakan	Hubungan antara tinggi timbunan terhadap angka aman dan penurunan yaitu semakin tinggi	Hubungan antara tinggi timbunan terhadap angka aman yang dihasilkan yaitu, semakin tinggi	Hubungan antara tinggi timbunan terhadap angka aman dan penurunan yaitu semakin tinggi	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Akan Dilakukan
Peneliti	Maharani	Arsy	Budiasto	Setyawan	Satria	Wilta FA
Tahun	2017	2018	2018	2019	2019	2023
Hasil Penelitian	Program Plaxis v.8.2 didapat faktor aman timbunan 0,9948 (akibat beban timbunan, kendaraan, dan gempa), sedangkan dengan timbunan tanah menggunakan perkuatan geotekstil didapat faktor aman timbunan sebesar 1,7196. Faktor aman ini memenuhi syarat yang	maka semakin besar nilai faktor keamanan, sedangkan semakin rapat atau kecil jarak vertikal geotekstil yang digunakan maka semakin besar nilai faktor keamanan yang dihasilkan, serta semakin kecil sudut kemiringan lereng atau semakin landai				

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Akan Dilakukan
Peneliti	Maharani	Arsy	Budiasto	Setyawan	Satria	Wilta FA
Tahun	2017	2018	2018	2019	2019	2023
Hasil Penelitian	ditetapkan yaitu sebesar 1,5.	lereng maka semakin besar nilai faktor keamanan yang dihasilkan	semakin besar, hubungan antara tanah asli dengan replacement 0,5 m, tinggi timbunan yang rendah dan dengan perkuatan geotekstil didapatkan nilai yang semakin besar begitu pun dengan replacement dengan tinggi 1 m	m yang perlu enambahan counterweight. Dari data konsolidasi pada proses analisis, semakin tinggi timbunan, penurunan yang terjadi juga semakin besar, begitupula waktu dimana di awal waktu pada kasus	geotekstil maka nilai faktor aman semakin besar, hubungan antara tanah asli dengan replacement 0,5 m, tinggi timbunan yang rendah dan dengan perkuatan geotekstil didapatkan nilai yang semakin besar begitu pun	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Akan Dilakukan
Peneliti	Maharani	Arsy	Budiasto	Setyawan	Satria	Wilta FA
Tahun	2017	2018	2018	2019	2019	2023
Hasil Penelitian			untuk pemberian counterweight juga akan menaikkan adanya nilai faktor keamanan dengan tinggi timbunan yang rendah	Ini, satu tahun penurunan yang terjadi masih relatif besar, namun seiring bertambahnya waktu penurunan semakin lama semakin kecil nilainya	dengan replacement dengan tinggi 1 m. Sedangkan untuk penurunan yang terjadi pada 200 hari masa konsolidasi, hubungan antara tinggi timbunan dan penurunan yaitu semakin tinggi timbunan	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Akan Dilakukan
Peneliti	Maharani	Arsy	Budiasto	Setyawan	Satria	Wilta FA
Tahun	2017	2018	2018	2019	2019	2023
Hasil Penelitian					Semakin kecil penurunan yang terjadi, tetapi penurunan terjadi semakin besar pada timbunan yang lebih tinggi dengan adanya perkuatan geotekstil, replacement 0,5 dengan geotekstil dihasilkan penurunan tinggi 1 m.	

2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Perbedaan penelitian Tugas Akhir yang akan dilakukan dengan penelitian terdahulu adalah obyek penelitian studi kasus yaitu pada daerah Jalan Tol Medan – Banda Aceh Sta. 23+775 sampai dengan Sta. 47+550 dengan potensi kegempaan sesuai daerah yang ada. Timbunan jalan akan dianalisis dengan tinggi timbunan sebesar 5 m, 10 m, dan 15 m yang pada masing – masing timbunan akan dimodelkan penambahan material atau sisipan berupa geotekstil dengan jenis geotekstil woven. Analisis akan dilakukan menggunakan *software Plaxis 2D* pada tanah timbunan asli tanpa perkuatan, lalu tanah timbunan dengan *replacement* tanah asli dengan material sama seperti material pada tanah timbunan, lalu akan ada penambahan perkuatan tanah menggunakan geotekstil pada masing – masing tinggi timbunan tertentu, kemudian didapatkan hasil angka nilai faktor keamanan yang paling tinggi dari adanya perkuatan tanah tersebut.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah adalah bagian yang terdapat pada kerak bumi yang tersusun atas mineral dan bahan organik. Tanah merupakan salah satu penunjang yang membantu kehidupan semua makhluk hidup yang ada di bumi (Farahtika 2001). Tanah sangat mendukung terhadap kehidupan tanaman yang menyediakan hara dan air di bumi. Dalam ilmu mekanika tanah yang disebut tanah ialah semua endapan alam yang berhubungan dengan teknik sipil, kecuali batuan tetap. Tanah merupakan lapisan teratas lapisan bumi. Tanah memiliki ciri khas dan sifat-sifat yang berbeda antara tanah di suatu lokasi dengan lokasi yang lain. Menurut Dokuchaev (1870) dalam Fauizek dkk (2018), Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami di bawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan.

3.1.1 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah dibuat dengan tujuan untuk memberikan informasi karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisik. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan pengujian

untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, beratasi dan sebagainya (Bowles, 1989).

1. Sistem Klasifikasi AASHTO Sistem klasifikasi AASHTO pada umumnya berguna untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Sistem ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut.

a. Butir Tanah

- 1) Kerikil, merupakan bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada saringan diameter 2 mm (No.10).
- 2) Pasir, merupakan bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada saringan diameter 0,0075 mm (No.200).
- 3) Lanau dan Lempung, merupakan bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 0,0075 mm no 200

b. Plastis

Tanah berlumpur atau tanah lanau merupakan bagian-bagian tanah yang halus dan mempunyai Indeks Plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang (≤ 10). Sedangkan tanah liat (lempung) adalah ketika fraksi halus tanah memiliki indeks plastis ≥ 11 .

c. Apabila ditemukan batuan dengan ukuran lebih besar dari 75 mm dalam contoh tanah yang akan diuji maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentasi dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Sistem klasifikasi AASHTO membagi ke dalam 7 kelompok besar yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3. Tanah berbutir dimana lebih dari 35% butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan sistem

klasifikasi AASHTO, maka data yang didapat dari hasil uji laboratorium dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 3.1 tentang sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO di bawah ini.

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Granuler						
Kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	
Persen Lolos Saringan							
No.10	50 max	50 max	51 min				
No.40	30 max						
No.200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	
Batas Cair ^a	6 max		NP	40 max	41 min	40 max	
Indek Plastisitas ^a				10 max	10 max	11 min	
Fraksi Tanah	Kerikil dan Pasir		Pasir Halus	Kerikil dan pasir lanau atau lempung ²			
Kondisi Kuat Dukung	Sangat baik hingga baik						
Klasifikasi Umum	Tanah Granuler		Tanah Mengandung Lanau - Lempung				
Kelompok	A-2		A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-2-7					A-7-5 ^b	A-7-6 ^c
Persen Lolos Saringan							
No.10							
No.40	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min	36 min	36 min
No.200							
Batas Cair	41 min	40 max	41 min	40 max	40 max	40 max	41 min
Indeks Plastisitas	11 min	10 min	10 max	10 min	10 min	10 min	11 min
Fraksi Tanah	Kerikil, pasir lanau/lempung		Lanau Lempung				
Kondisi Kuat Dukung	Sangat baik hingga baik		Kurang baik hingga jelek				

(Sumber: DAS., 1992)

2. Sistem Klarifikasi menurut USCS (*Unified Soil Classification System*), metode ini dikembangkan oleh Casagrande pada tahun 1942 yang kemudian disempurnakan kembali dalam rangka bekerja sama dengan *United States Berouf Reclamation* pada tahun 1952. Sistem ini men mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok, yaitu sebagai berikut.

- a. Tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200. Kelompok ini dimulai dari jenis tanah batuan yaitu kerikil dan dengan simbol G (*Gravel*) dan S (*Sand*) untuk pasir atau tanah berpasir. Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W untuk tanah bergradasi baik (*Well Graded*) dan tanah bergradasi buruk P (*Poor Graded*).
- b. Tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Tanah berbutir halus dikelompokkan menjadi lima yaitu tanah lanau (*silt*) organik dengan simbol M, lempung anorganik (*clay*) dengan simbol C, dan O untuk lanai organik dan lempung organik. Plastisitas dinyatakan dengan simbol L untuk plastisitas bernilai rendah (*low plasticity*) dan plastisitas tinggi (*high plasticity*) dengan simbol H.

Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan No.200 (0.075 mm)	Kerikil 50% dari fraksi kasar tertahan saringan No.4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW Kerikil gradasi baik dan campuran pasir – kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GM Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir – kerikil, atau tidak mengandung butiran halus
	Pasir lebih dari 50 fraksi kasar lolos saringan No.4 (4,75 mm)	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GC Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir – lempung
			SW Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			SP Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus

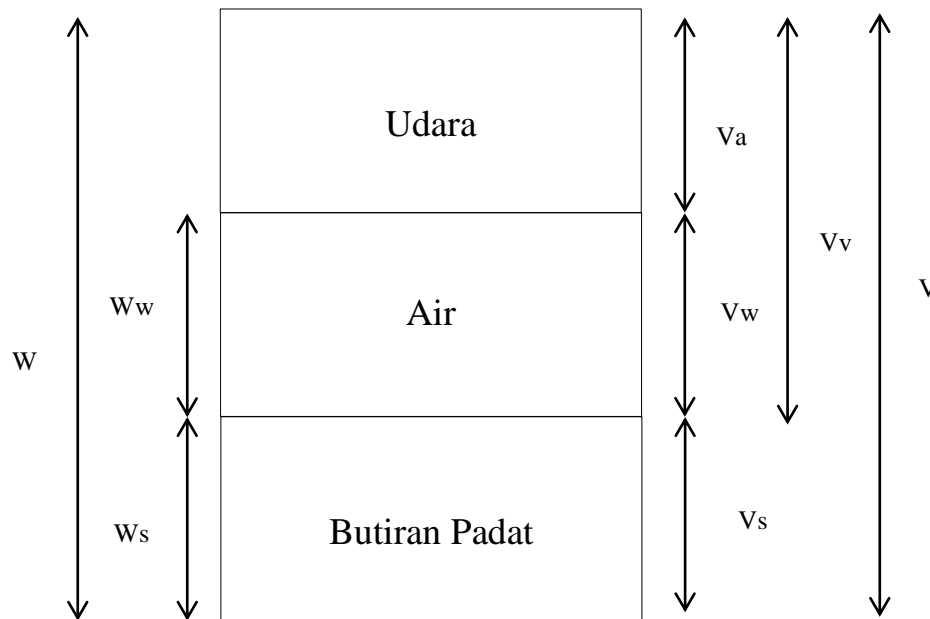
Lanjutan Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan No.200 (0.075 mm)	Pasir lebih dari 50 fraksi kasar lolos saringan No.4 (4,75 mm)	Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir – lanau
			SC	Pasir Berlempung, campuran pasir – lempung
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan No.200 (0.075 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, lempung kurus (lean clays)	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan Lempung batas cair 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatome, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (flat clays)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi		Pt	Gambut (peat) dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Sumber : Hardiyatmo (2010)

3.1.2 Parameter Tanah

Parameter atau faktor yang mempengaruhi daya dukung tanah antara lain yaitu berat jenis tanah, modulus young, poisson ratio, sudut geser dalam, dan kohesi tanah. Tingkat kepadatan tanah dinyatakan dalam presentase berat volume (γ_d) terhadap berat volume kering maksimum (γ_d maks). (Afrenia, 2014).



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah
(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

Dari gambar tersebut dapat dilihat elemen tanah memiliki nilai volume (V) dan berat total (W) yang membentuk Persamaan 3.1, Persamaan 3.2, dan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

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

Dan

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

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

Dengan keterangan,

W_s = Berat butiran padat

W_w = Berat air

V_s = Volume butiran padat

V_w = Volume air

V_a = Volume udara

1. Berat volume basah tanah (γ_b)

Berat volume basah adalah perbandingan antara berat butiran tanah yang terdiri dari tanah, air dan udara (W), dengan volume tanah (V) yang dapat ditarik menjadi suatu Persamaan 3.5 di bawah ini.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (3.5)$$

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

2. Modulus young atau modulus elastisitas dan *poisson ratio*

Modulus young atau modulus elastisitas (E) merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan. Nilai ini biasanya didapatkan dari uji triaxial. Umumnya modulus elastisitas (E) ditentukan dari uji triaxial tanah dalam kondisi undrained, dan nilai E ditentukan dari pendekatan kemiringan kurva tegangan – regangan yang diambil pada setengah dari beban ultimit aksial. Menurut Bowles, nilai modulus elastisitas dapat dilihat dari tabel di bawah ini.

Tabel 3.3 Perkiraan Nilai Modulus Elastisitas

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

(Sumber : Bowles, 1977)

Sedangkan, nilai poisson ratio ditentukan sebagai kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai poisson ratio dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.4 Perkiraan Rasio Poisson

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

(Sumber : Bowles, 1977)

3. Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan factor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Nilai kohesi secara empiris dapat ditentukan dari data sondir (q_c) yaitu kohesi (c) = $q_c/20$

4. Sudut geser dalam

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran engineering properties tanah berupa *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Hubungan sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada di bawah ini.

Tabel 3.5 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah

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

(Sumber : Das, 1994)

3.2 Beban pada Timbunan Jalan

3.2.1 Beban Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan raya adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman. Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Menurut Sukirman (1992) berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas hal berikut.

1. Perkerasan kaku

Perkerasan kaku atau perkerasan beton semen adalah suatu konstruksi (perkerasan) dengan bahan baku agregat dan menggunakan semen sebagai bahan ikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Pada perkerasan kaku daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton.

2. Perkerasan lentur

Perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipampatkan dan menggunakan aspal sebagai bahan ikatnya. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu-lintas dan menyebarkan ke lapisan di bawahnya.

3. Perkerasan komposit

Perkerasan komposit adalah kombinasi antara perkerasan kaku dengan perkerasan lentur. Perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

3.2.2 Beban Lalu Lintas

Menurut Sukirman (1992), beban lalu lintas adalah beban kendaraan yang dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui kontak antara ban dan muka jalan. Beban lalu lintas merupakan beban dinamis yang terjadi secara berulang selama masa pelayanan jalan. Data lalu lintas merupakan data yang sangat perlu sebagai dasar dalam perencanaan maupun dalam mengevaluasi perkerasan jalan dikarenakan tebal lapisan perkerasan ditentukan dari beban yang akan dipikul oleh ruas jalan, ini berarti dari arus lalu lintas yang memakai ruas jalan itu (Sukirman, 1992). Besarnya beban lalu lintas dipengaruhi oleh berbagai faktor kendaraan seperti berikut ini.

1. Konfigurasi sumbu dan roda kendaraan
2. Beban roda kendaraan
3. Volume lalu lintas

Acuan yang digunakan untuk mengetahui perhitungan beban lalu lintas untuk jalan yang dibangun berdasarkan pertumbuhan lalu lintas yang ada di suatu daerah tertentu dapat dilihat pada Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.6 Beban Lalu Lintas untuk Analisa Stabilitas Tanah

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

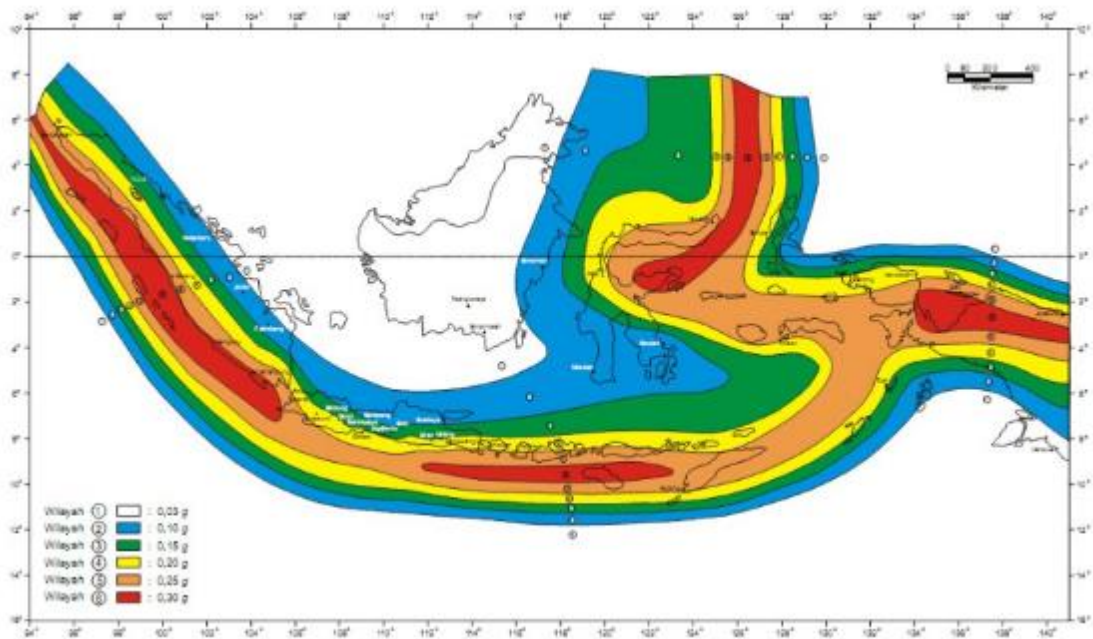
(Sumber : Panduan Geoteknik 4, 2002)

3.2.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi (baik yang berasal dari laut gempa bumi tektonik ataupun gunung gempa bumi vulkanik) dan mempengaruhi struktur tersebut. Adanya pergerakan gempa bumi ini tidak dipresiksi oleh manusia. Pada peraturan perencanaan beban gempa SNI 1726:2012 dijelaskan tentang faktor-faktor yang berhubungan dengan perhitungan untuk analisis beban gempa adalah sebagai berikut ini.

1. Geografis
2. Faktor keutamaan gedung
3. Kategori desain seismik
4. Sistem penahan gaya seismik

Acuan yang digunakan dalam menentukan beban gempa yaitu dengan periode ulang 500 tahun seperti Gambar di bawah ini.



Gambar 3.2 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar Indonesia dengan Periode Ulang 500 Tahun

(Sumber : SNI 03 – 1726,2000)



Gambar 3.3 Peta Zonasi Gempa Indonesia

(Sumber: SNI 1726,2019)

3.3 Lereng

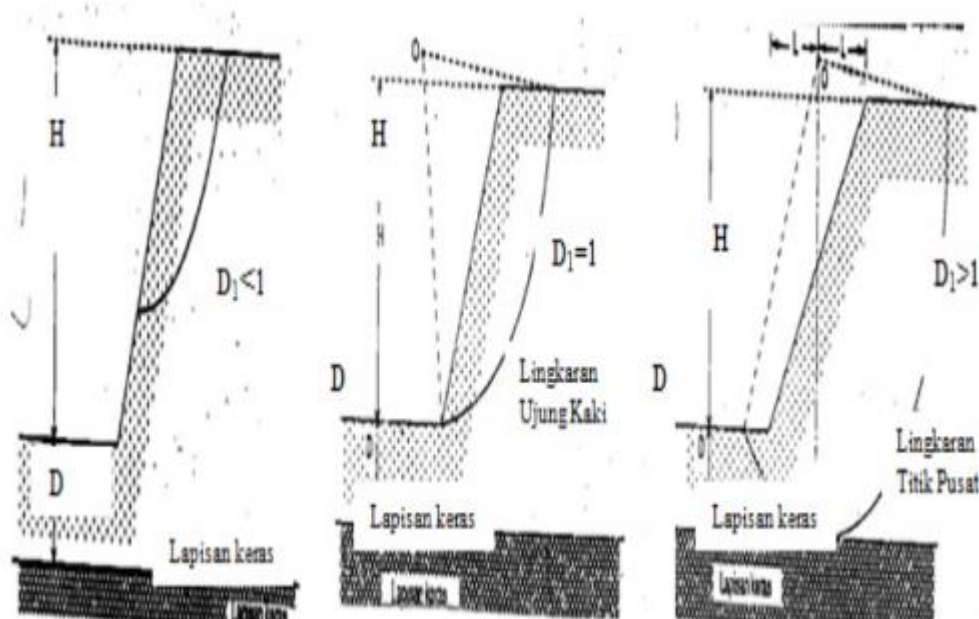
Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap bidang horisontal dan tidak terlindungi (Das, 1985). Lereng dapat dibedakan menjadi dua, yaitu lereng alami dan lereng buatan.

1. Lereng alami adalah lereng yang terbentuk sendiri dari alam atau lingkungan. Lereng dapat terbentuk oleh alam karena proses geologi. Lereng alam yang telah stabil beberapa tahun dapat mengalami longsor akibat perubahan topografi, aliran air tanah, gempa, kehilangan kuat geser, perubahan tegangan dan pelapukan.
2. Lereng buatan adalah lereng yang dibuat manusia yang dapat berupa pemotongan tebing atau pembangunan lereng, contohnya untuk tanggul, badan jalan, lereng bendung, lereng pertambangan, bangunan gedung dan lain – lain. Lereng buatan manusia umumnya terdiri dari struktur galian atau timbunan. Pada lereng galian, perancangan kedalaman dan kemiringan lereng akan dipengaruhi oleh kondisi geologi, sifat – sifat material di sekitar, kedudukan air tanah, tekanan rembesan, dan lain – lain (Hardiyatmo, 2012). Sedangkan, untuk lereng timbunan umumnya dibangun dengan menggunakan tanah – tanah yang dipadatkan. Timbunan tersebut dibangun seperti untuk pembuatan badan jalan yang mana urugan tanahnya berasal dari tanah yang memiliki sifat material baik dibandingkan dengan tanah asli dari tempat yang akan dijadikan sebagai jalan tersebut.

Lereng merupakan suatu permukaan tanah yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal, karena tidak datarnya permukaan serta karena faktor berat sendiri dari tanah dan gaya gravitasi. Jika komponen gaya berat yang terjadi cukup besar, dapat mengakibatkan longsor pada lereng tersebut. Tanah longsor (*landslide*) merupakan gerakan menuruni lereng oleh massa batuan, tanah atau bahan rombakan, material penyusun lereng (yang merupakan pencampuran tanah dan batuan) menuruni lereng. Hal ini dikarenakan, pada tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya – gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor tersebut.

8.3.1 Pola Keruntuhan Lereng (Longsor)

Secara Umum jenis kelongsoran berdasarkan posisi bidang gelincirnya dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu, longsor kaki, longsor muka, dan longsor dasar lereng . Ketiga posisi bidang gelincir tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 Macam Kelongsoran

(Sumber: Buku Mekanika Tanah 2, 1997)

Longsor kaki lereng umumnya terjadi pada lereng yang relatif curam dan tanah penyusunnya relatif mempunyai nilai sudut geser dalam yang besar. Longsor muka lereng biasanya terjadi pada lereng yang mempunyai lapisan keras, dimana ketinggian lapisan keras ini melebihi ketinggian kaki lerengnya, sehingga lapisan lunak yang berada di atas lapisan

keras berpotensi untuk longsor. Longsoran dasar lereng biasanya terjadi pada lereng yang tersusun oleh beberapa lapisan lunak.

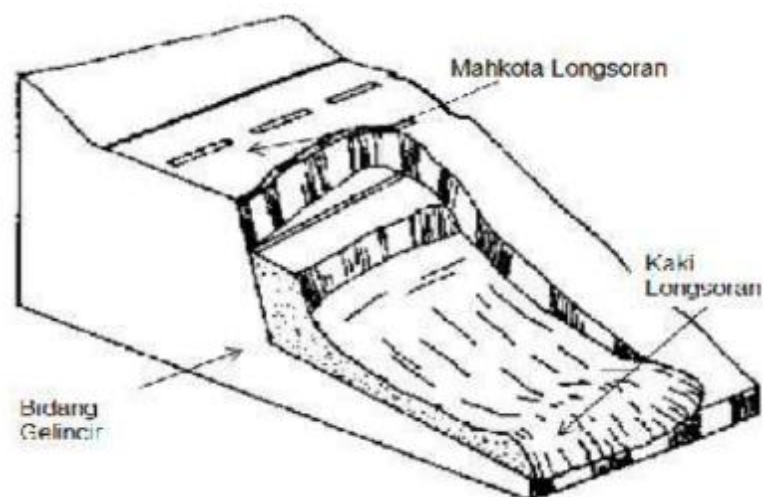
Selain memperhatikan tipe bidang gelincirnya, kelongsoran juga dapat diklasifikasikan berdasarkan pola keruntuhan yang dibagi menjadi tiga jenis, yaitu gelincir (*slide*), jatuhan (*fall*), dan aliran (*flow*).

1. Keruntuhan Tipe Gelincir (*Slide*)

Tipe keruntuhan gelincir terjadi akibat massa tanah bergerak pada suatu bidang yang disebut bidang gelincir. Jenis – jenis gelincir yaitu berupa translasi, rotasi, atau kombinasi keduanya (majemuk).

a. Gelincir translasi

Keruntuhan terjadi sepanjang zona lemah pada tanah ataupun batuan. Massa tanah dapat bergerak jauh sebelum mencapai titik diamnya. Umumnya terjadi pada tanah berbutir kasar, sedangkan pada batuan biasanya terjadi bila posisi bidang lemahnya searah dan memotong kemiringan lereng.



Gambar 3.5 Tipe Keruntuhan Gelincir Translasi

(Sumber: Taufiq, 2011)

b. Gelincir rotasi

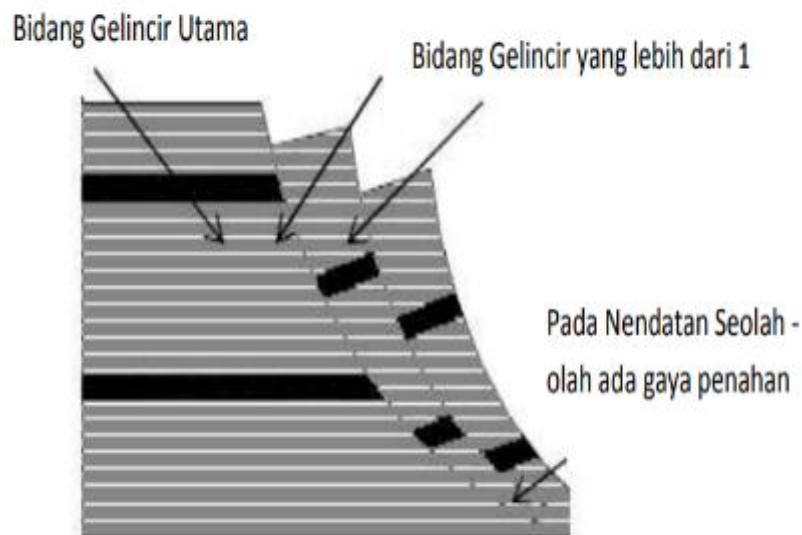
1) Rotasi pada batuan

Tipe ini ditandai dengan adanya bentuk “sendok”. Bagian lereng atas terbentuk

“gawir” melengkung dan di bagian tengah longsor terdapat bagian yang labil dan nampak adanya gelombang yang tidak rata (*bulging*). Jenis keruntuhan lereng ini sangat umum terjadi pada batuan contohnya pada serpih lapuk (*shale – marine*) dan mengalami retakan cepat. Gerakannya progresif serta meliputi daerah yang cukup luas.

2) Rotasi pada tanah

Tipe ini ditandai dengan adanya bidang gelincir lengkung dan gerakan rotasi. Penyebab utama terjadinya keruntuhan lereng rotasi adalah gaya-gaya rembesan air tanah atau kemiringan lereng yang bertambah pada tanah residual. Bidang gelincir yang dalam biasanya terjadi pada tanah lempung lunak.

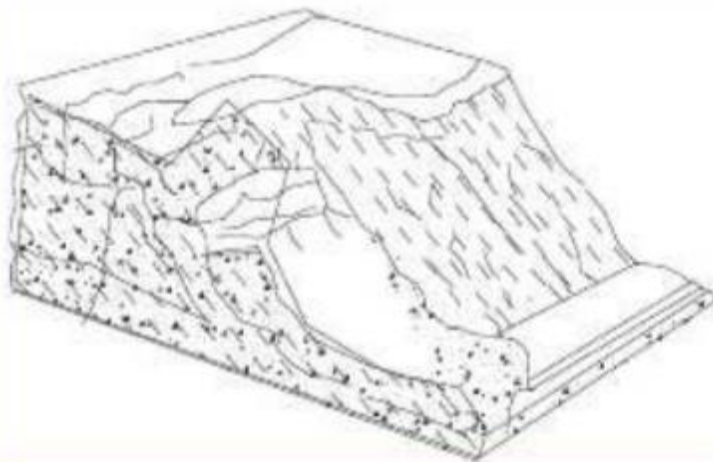


Gambar 3.6 Tipe Keruntuhan Gelincir Rotasi

(Sumber: Taufiq, 2011)

c. Gelincir kombinasi

Gelincir kombinasi merupakan bentuk gabungan gelincir translasi dan rotasi Tipe gelincir ini terjadi pada tanah maupun batuan lapuk.



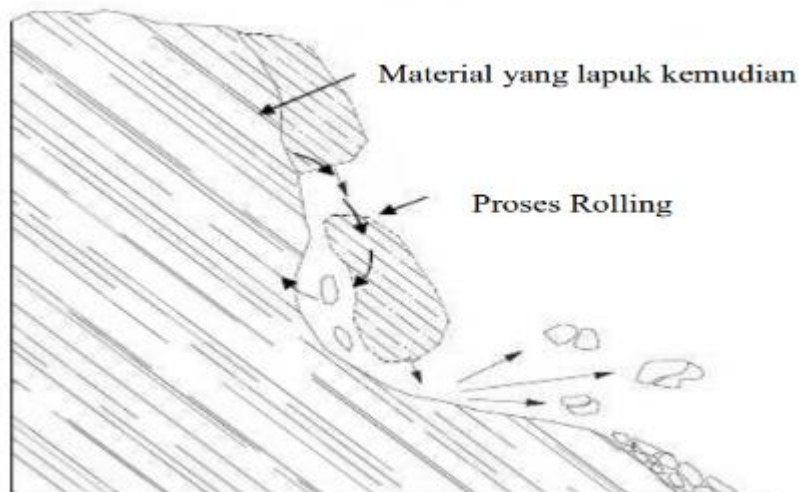
Gambar 3.7 Tipe Keruntuhan Gelincir Kombinasi

(Sumber: Taufiq, 2011)

2. Keruntuhan Tipe Jatuhan (*Fall*)

Keruntuhan tipe jatuhan ini terbagi dalam kategori jatuhan, jatuh bebas (*free fall*), dan rolling serta jungkiran.

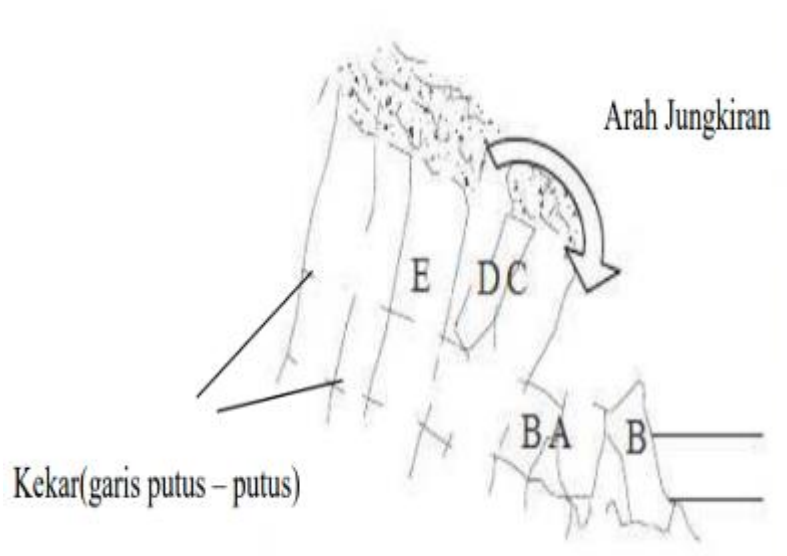
- a. Jatuh bebas dan *rolling*, material jatuh bebas yang kehilangan kontak dengan permukaan batuan. Pergerakan massa bergerak dari ketinggian tertentu melalui udara.



Gambar 3.8 Tipe Gerakan Keruntuhan Jatuhan

(Sumber: Taufiq, 2011)

- b. Jungkiran (*topless*) terjadi akibat momen guling yang bekerja pada suatu titik putar di bawah titik massa. Jungkiran terjadi pada batuan yang mempunyai banyak kekar.



Gambar 3.9 Tipe Gerakan Keruntuhan Jungkiran

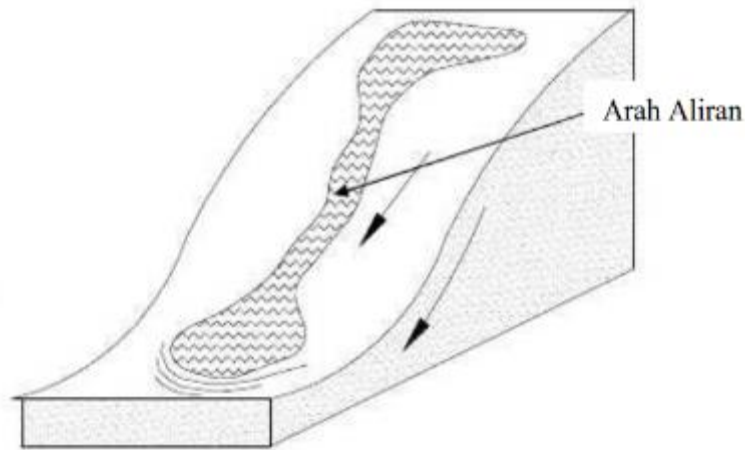
(Sumber: Taufiq, 2011)

3. Keruntuhan Tipe Aliran (*Flow*)

Aliran adalah suatu material lepas (batuan lapuk atau tanah) yang setelah mengalami proses penjuhan akan mengalir seperti sifatnya fluida. Jenis aliran adalah sebagai berikut.

- a. Aliran batuan lapuk atau material lepas; Aliran pada batuan lapuk termasuk ke dalam deformasi yang terus menerus, termasuk juga rangkak. Aliran jenis ini umumnya melibatkan rangkak dalam yang lambat dan perbedaan pergerakan antara unit –unit yang utuh. Ciri-ciri pergerakan aliran pada batuan lapuk adalah.
 - 1) Terjadi di sepanjang permukaan geser yang tidak saling berhubungan,
 - 2) Distribusi kecepatan mirip aliran fluida yang kental.
- b. Aliran pada tanah, merupakan pergerakan material yang menyerupai fluida kental. Permukaan gelincir pada bidang material yang bergerak dapat berupa permukaan tajam, perbedaan pergerakan atau suatu zona distribusi geser. Rentang pergerakan mulai dari sangat cepat sampai sangat lambat. Ciri-ciri pergerakan aliran pada tanah adalah sebagai berikut.
 - 1) Pergerakan aliran terjadi ketika kondisi internal dan eksternal menyebabkan tanah berperilaku seperti cairan dan mengalir ke bawah meskipun kemiringan lerengnya landai
 - 2) Tanah mengalir bergerak ke berbagai arah serta tidak memiliki permukaan keruntuhan yang terdefinisi secara jelas

- 3) Permukaan keruntuhan berganda terbentuk dan berubah secara terus menerus selama proses aliran terjadi, dan
- 4) Pergerakan aliran terjadi pada tanah kering maupun tanah basah



Gambar 3.10 Tipe Keruntuhan Lereng Aliran dengan Bentuk Keruntuhan yang Tidak Berpola

(Sumber: Taufiq, 2011)

3.3.2 Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng adalah perhitungan pada lereng untuk mendapatkan angka faktor keamanan dengan membagi nilai kekuatan geser rata – rata dari tanah terhadap tegangan geser rata – rata yang bekerja sepanjang bidang longsor.

Pada permukaan tanah yang miring, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsohnya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng mempunyai banyak faktor yang mempengaruhi hasil hitungan, banyaknya faktor tersebut yang membuat perhitungan tidak mudah. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lain. Hardyatmo (2006), mengatakan 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
6. Mempelajari pengaruh beban gempa pada lereng alam dan timbunan.

3.3.3 Angka Keamanan Lereng (*Safety Factor*)

Angka keamanan (*safety factor*) merupakan batas keseimbangan lereng terhadap keruntuhan atau kelongsoran tergantung pada angka perbandingan antara kuat geser tanah (penahanan) dan tegangan geser yang bekerja (penggerak). Apabila angka aman pada suatu lereng memiliki nilai yang tidak memenuhi maka akan terjadi kelongsoran. Nilai kisaran faktor keamanan (*safety factor*) yang terdapat dalam SNI 13 – 7124 – 2005 dapat dilihat pada Tabel 3.7 dibawah ini.

Tabel 3.7 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)

3.3.4 Metode Fellenius

Metode *Fellenius* (Ordinary Method of Slice) diperkenalkan pertama kali oleh *Fellenius* (1927,1936) bahwa gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan, faktor keamanan dihitung dengan keseimbangan momen. Gaya –gaya yang bekerja pada sisi kanan dan kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori seperti Persamaan 3.6 dan Persamaan 3.7 berikut ini.

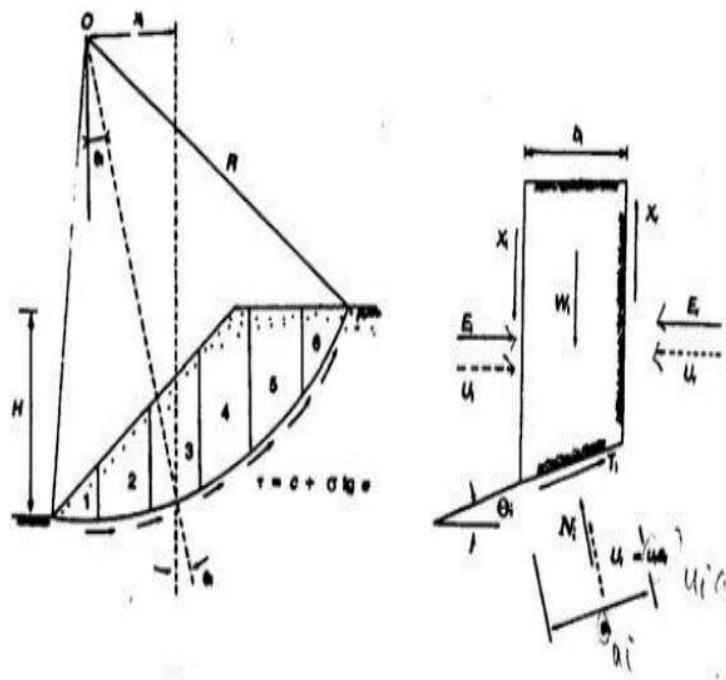
$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad 3.6$$

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\ &= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \end{aligned} \quad 3.7$$

Sehingga rumus yang digunakan untuk menghitung angka faktor keamanan dapat dilihat pada Persamaan 3.8 berikut ini.

$$F = \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}}$$

$$F = \frac{\sum M_r}{\sum M_d} \quad 3.8$$



Gambar 3.11 Gaya – Gaya yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, maka momen dari massa tanah yang akan longsor dapat dilihat di Persamaan 3.9 di bawah ini.

$$\sqrt{M_d} = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad 3.9$$

dengan :

R = Jari – jari lingkaran bidang longsor (m)

n = Jumlah irisan

W_i = Berat massa tanah irisan ke-I (kN)

θ_i = Sudut yang didefinisikan pada Gambar 3.10

Momen penahan longsor dapat dilihat pada Persamaan 3.10 dan Persamaan 3.11 di

bawah ini.

$$\sum M_r = R \sum_{i=1}^{i=n} (ca_1 + N_i \tan \varphi) \quad 3.10$$

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (ca_1 + N_i \tan \varphi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \varphi_i} \quad 3.11$$

dengan :

F = Faktor aman

C = Kohesi tanah (kN/m²)

φ = Sudut gesek dalam tanah (°)

a_i = Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke – I (m)

W_i = Berat irisan tanah ke – I (kN/m²)

U_i = Tekanan air pori pada irisan ke – I (kN/m²)

θ_i = Sudut yang didefinisikan dalam Gambar 3.6

Metode Fellenius berdasarkan bahwa gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan FK dihitung dengan keseimbangan momen. Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja ditengah-tengah slice. Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisan adalah sama dengan nol, atau dengan kata lain bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan.

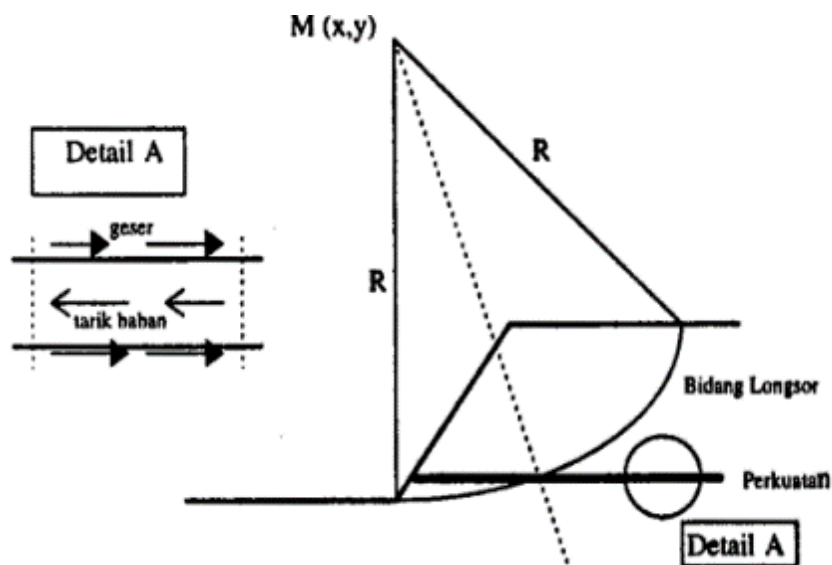
Metode Fellenius menghasilkan faktor aman yang lebih rendah dari cara hitungan lain. Besarnya nilai kesalahan tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori. Walaupun analisis ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahan analisis masih merupakan fungsi 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.

3.3.5 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.

Pada konstruksi lereng dengan sistem perkuatan lereng, gaya yang meruntuhkan akan dilawan oleh kemampuan geser dan tarik dari bahan perkuatan tersebut (Suryolelono, 1993). Pada Gambar 3.10, tampak pengaruh bahan geotekstil dalam memberikan kontribusi perlawanan terhadap gaya yang melongsorkan cukup berperan, apabila bahan tersebut terpotong oleh bidang longsor.



Gambar 3.12 Perlawanan Perkuatan Tanah terhadap Gaya – Gaya yang Meruntuhkan

(Sumber : Suryolelono,1993)

Dalam praktek, analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas. Adapun maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata – rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata – rata sepanjang permukaan longsor. Faktor aman (SF) merupakan nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan (Hardiyatmo,2007).

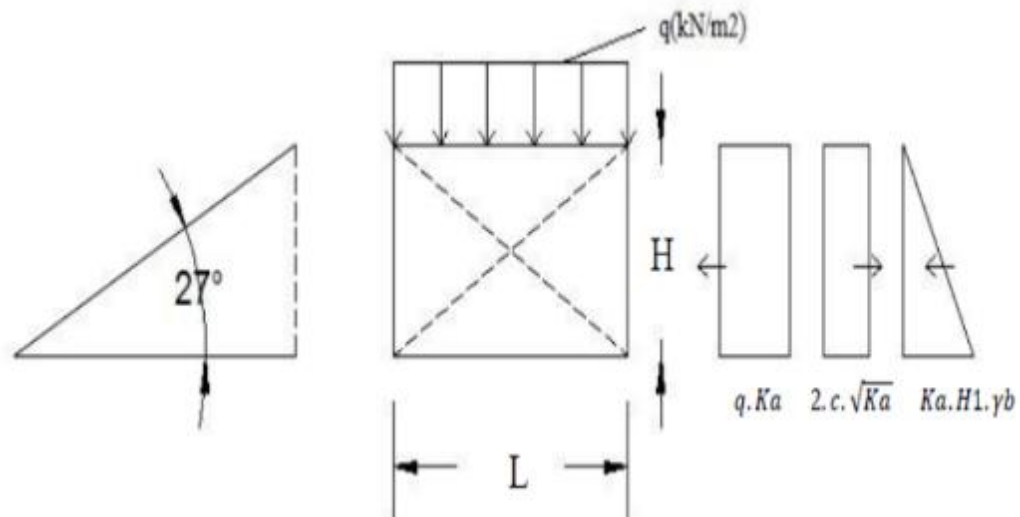
$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \quad 3.12$$

dengan :

τ = Tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah (kN)

τ_d = Tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN)

Diagram distribusi tekanan tanah lateral pada lereng dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut ini.



Gambar 3.13 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral

(Sumber : Purwanto,2012)

Jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (S_v) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.13 sebagai berikut ini.

$$S_v = \frac{T_{allow}}{\sigma_{hci} \times SF} \quad 3.13$$

Sedangkan untuk mencari nilai kuat tarik geotekstil *allowable* dapat dilihat pada Persamaan 3.14 berikut ini.

$$T_{allowable} = \frac{T_{ultimate}}{SF} \quad 3.14$$

Nilai tekanan horizontal rata – rata pada lipatan dapat dilihat pada Persamaan 3.15 berikut ini.

$$T_{allowable} = \frac{T_{ultimate}}{SF} \quad 3.15$$

Untuk mencari nilai tekanan horizontal rata-rata pada lipatan dapat dilihat pada Persamaan 3.16 berikut ini.

$$\sigma_{hci} = q \times Ka - 2 \times c \times \sqrt{Ka} + Ka \times H_1 \times \gamma_b \quad 3.16$$

Rumus yang digunakan untuk mencari nilai koefisien tanah aktif dapat dilihat pada Persamaan 3.17 berikut ini.

$$Ka = \tan^2 \left(45^\circ - \left(\frac{\phi}{2} \right) \right) \quad 3.17$$

dengan :

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

H_1 = Tinggi antar lapisan geotekstil (m)

Berikut ini adalah perhitungan dari analisis stabilitas eksternal dan internal.

1. Stabilitas eksternal

Untuk stabilitas eksternal pada lereng yang diperhitungkan diantaranya stabilitas terhadap geser, stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap eksentrisitasnya dan kapasitas dukung tanahnya seperti dibawah ini.

a. Stabilitas terhadap geser

Perhitungan faktor aman stabilitas terhadap geser dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.18 berikut ini.

$$SF = \frac{L \times (q + \gamma_b) \tan \phi}{\left| \frac{1}{2} \times q \times Ka \times H^2 + \frac{1}{6} \times Ka \times H^3 \times \gamma_b - c \times \sqrt{Ka} \times H^2 \right|} \quad 3.18$$

b. Stabilitas terhadap guling

Perhitungan faktor aman stabilitas terhadap guling dapat dihitung dengan

$$SF = \frac{L^2 \times \left(\frac{1}{2} \times q + \frac{1}{2} \times \gamma_b \times H \right)}{\left| \frac{1}{2} \times q \times Ka \times H^2 + \frac{1}{6} \times Ka \times H^3 \times \gamma_b - c \times \sqrt{Ka} \times H^2 \right|} \quad 3.19$$

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

Resultan gaya dalam teras dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.20 berikut ini.

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

$$\frac{1}{6} \times L \geq \frac{\left| \frac{1}{2} \times q \times Ka \times H^2 + \frac{1}{6} \times Ka \times H^3 \times \gamma_b - c \times \sqrt{Ka} \times H^2 \right|}{(q \times L + \gamma_b \times H \times L)} \quad 3.20$$

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

Perhitungan faktor aman stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.21 berikut ini.

$$SF = \frac{\sigma_{ultimate}}{q_{ultimate}} \quad 3.21$$

Rumus untuk mencari nilai $q_{ultimate}$ dapat dilihat pada Persamaan 3.22 berikut ini.

$$q_{ultimate} = c \times Nc + 0,5 \times \gamma_b \times N\gamma \quad 3.22$$

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

Rumus yang digunakan untuk perhitungan nilai $\sigma_{ultimate}$ dapat dilihat pada Persamaan 3.23 berikut ini.

$$\sigma_{ultimate} = c \times Nc + q \times Nq + 0,5 \times L \times \gamma_b \times N\gamma \quad 3.23$$

Untuk Gaya vertikal dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.24 berikut ini.

$$\text{Gaya Vertikal} = q \times L + H \times \gamma_b \times L \quad 3.24$$

2. Stabilitas internal

Perhitungan stabilitas internal pada lereng timbunan 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 3.25

berikut ini.

$$L_0 = \frac{\sigma_{hci} \times S_{vi} \times SF}{2 \times Z_i \times \gamma_b \times \tan \varphi} \quad 3.25$$

dengan :

L_0 = Panjang geotekstil overlapping (m)

σ_{hci} = Tekanan horiontal 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 geser dalam tanah (°)

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

b. Panjang efektif geotekstil

Perhitungan efektif geotekstil dapat dilihat pada Persamaan 3.26 berikut ini.

$$L_{ef} = \frac{SF \times S_{vi} \times Ka \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times Z_i \times \gamma_b \times \tan \varphi} \quad 3.26$$

dengan :

L_{ef} = Panjang efektif geotekstil (m)

SF = Faktor aman

S_{vi} = Jarak tulangan vertikal (m)

γ_b = Berat volume tanah (kN/m³)

φ = Sudut geser dalam tanah (°)

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

Ka = Koefisien tanah aktif

3.4 Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari

tanah jenuh berpemeabilitas rendah akibat pembebanan, dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanah. Tanah yang berpermeabilitas rendah tersebut adalah tanah berbutir halus (lempung dan lanau). Proses ini terjadi jika tanah jenuh berpemeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori tanah bertambah, akibatnya air mengalir kelapisan tanah dengan tekanan air pori yang rendah yang diikuti dengan penurunan tanah. Karena permeabilitas tanah rendah, maka proses ini membutuhkan waktu.

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). Proses konsolidasi dapat diamati dengan pemasangan pieometer, untuk mencatat perubahan tekanan air pori dengan waktunya. Besarnya penurunan dapat diukur dengan berpedoman pada titik referensi ketinggian di tempat tertentu.

Bila suatu lapisan tanah mengalami pembebanan akibat beban di atasnya, maka tanah di dibawah beban yang bekerja tersebut akan mengalami kenaikan tegangan, eksek dari kenaikan tegangan ini adalah terjadinya penurunan elevasi tanah dasar (*settlement*). Pembebanan ini mengakibatkan adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel tanah, dan keluarnya air pori dari tanah yang disertai berkurangnya volume tanah. Hal inilah yang mengakibatkan terjadinya penurunan tanah. Pada umumnya tanah, dalam bidang geoteknik, dibagi menjadi 2 jenis, yaitu tanah berbutir dan tanah kohesif. Pada tanah berbutir atau pasir (*sand*) air pori dapat mengalir keluar struktur tanah dengan mudah, karena tanah berbutir memiliki permeabilitas yang tinggi. Sedangkan pada tanah kohesif (*clay*), air pori memerlukan waktu yang lama untuk mengalir keluar seluruhnya. Hal ini disebabkan karena tanah kohesif memiliki permeabilitas yang rendah. Secara umum, penurunan dapat diklasifikasikan menjadi 3 tahap sebagai berikut.

1. *Immediate Settlement* (penurunan seketika), diakibatkan dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air, tanpa adanya perubahan kadar air. Umumnya, penurunan ini diturunkan dari teori elastisitas. *Immediate settlement* ini biasanya terjadi selama proses konstruksi berlangsung. Parameter tanah yang dibutuhkan untuk perhitungan adalah *undrained modulus* dengan uji coba tanah yang diperlukan seperti SPT, Sondir (*dutch cone penetration test*), dan *Pressuremeter test*.

2. *Primary Consolidation Settlement* (penurunan konsolidasi primer), yaitu penurunan yang disebabkan perubahan volume tanah selama periode keluarnya air pori dari tanah. Pada penurunan ini, tegangan air pori secara kontinu berpindah ke dalam tegangan efektif sebagai akibat dari keluarnya air pori. Penurunan konsolidasi ini umumnya terjadi pada lapisan tanah kohesif atau lempung (*clay*).
3. *Secondary Consolidation Settlement* (penurunan konsolidasi sekunder), adalah penurunan setelah tekanan air pori hilang seluruhnya. Hal ini lebih disebabkan oleh proses pemampatan akibat penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah.

Besarnya penurunan yang terjadi pada lapisan tanah yang dibebani dapat dihitung dengan Persamaan 3.27 berikut ini.

$$S = S_i + S_c + S_s \quad 3.27$$

dengan :

S = Penurunan total

S_i = Penurunan segera

S_c = Penurunan konsolidasi primer

S_s = Penurunan konsolidasi sekunder

3.5 Geotekstil

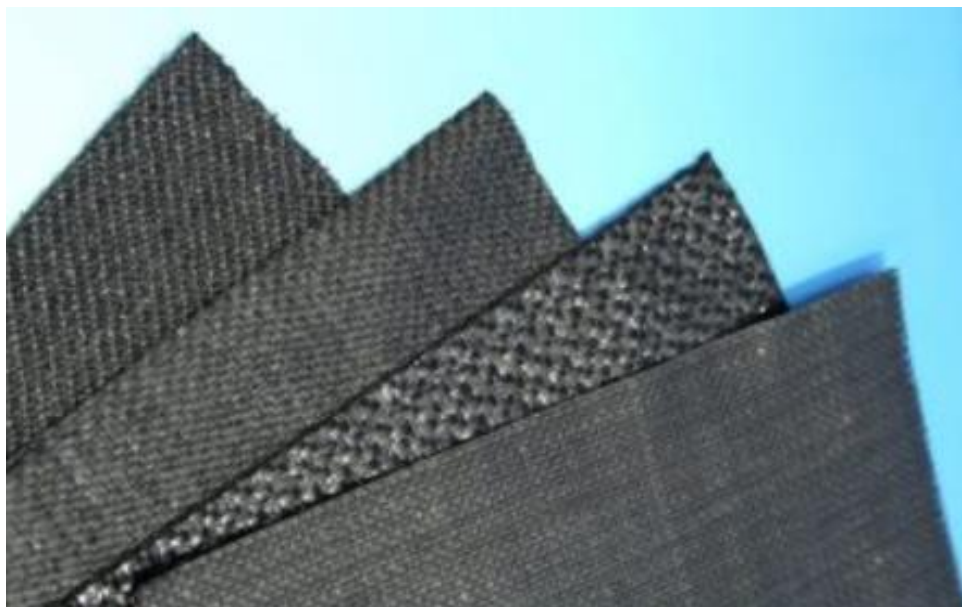
Geotekstil adalah salah satu material yang biasa digunakan dalam bidang geoteknik. Dari bahasanya sendiri yang terdiri dari kata *geo* dan *textile* berarti bahwa *geotextile* adalah material tekstil yang digunakan di dalam tanah untuk fungsi geoteknik tertentu. Geotekstil memiliki fungsi yang beragam. Mulai dari sebagai separator maupun sebagai perkuatan. Aplikasinya pun bisa dilakukan di berbagai aplikasi seperti aplikasi lereng ataupun timbunan. 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 dibagi menjadi dua yaitu geotekstil teranyam (*woven*) dan geotekstil tidak teranyam (*non woven*).

1. Geotekstil teranyam (*woven*)

Geotextile woven adalah sebuah lembaran material geosintetik yang terbuat dari serat sintetis dengan cara dianyam atau ditenun. Woven sendiri memiliki arti ‘menganyam’. Salah satu kelebihan geotekstil woven adalah adanya tambahan perlindungan untuk melawan sinar UV. Selain itu, lembaran material geosintetik ini juga mempunyai kekuatan tarik cukup tinggi yang membuatnya mampu mengatasi masalah perbaikan tanah. Manfaat lain geotekstil woven bisa dilihat dalam pembuatan jalan atau timbunan di atas tanah lunak seperti rawa. Pada aplikasinya di atas tanah lunak, geotekstil woven memanfaatkan tensile strength nya yang cukup tinggi dibandingkan dengan geotekstil non woven. Selain untuk menambah kestabilan timbunan di atas tanah lunak, adanya geotekstil di dasar timbunan juga bisa menyeragamkan penurunan yang terjadi. Beberapa contoh penggunaan umum geotextile woven adalah di lahan bekas rawa dengan kontur tanah lunak, di daerah pantai, jalan tol, lereng, hingga jalur kereta api. Geotekstil teranyam tidak mudah 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.



Gambar 3.15 Geotekstil Teranyam (Woven)

(Sumber: PT. Prima Geotex Indo, 2021)

2. Geotekstil tidak teranyam (*non woven*)

Sementara itu, geotekstil *non woven* merupakan material geosintetik yang dibuat tanpa menggunakan metode anyam. Terdapat proses cukup panjang untuk bisa memproduksi selembar geotekstil *non woven* berkualitas baik. Teknologi *bonding*, *interlocking*, atau kombinasi keduanya dimanfaatkan untuk proses penyatuan kumpulan serat yang tidak beraturan ini. Pemanfaatan geotekstil *non woven* sendiri sangat beragam dan kemungkinan besar sudah pernah ditemui dalam kehidupan sehari-hari. Umumnya, geotekstil *non woven* dipakai sebagai separator dan filter pada proyek yang berhubungan dengan geoteknik. Berbeda dengan geotekstil *woven*, geotekstil *non woven* memiliki kuat tarik yang rendah namun elongasi yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa geotekstil *non woven* tidak cocok digunakan sebagai perkuatan, namun lebih cocok digunakan sebagai separasi, proteksi, ataupun filtrasi. Geotekstil *non woven* memiliki elongasi yang lebih tinggi daripada geotekstil *woven*. Geotekstil *non woven* bisa digunakan pada aplikasi yang beragam. Untuk lebih jelasnya, berikut sejumlah pengaplikasian geotekstil *non woven*.



Gambar 3.16 Geotekstil Tak Teranyam (Non Woven)

(Sumber: PT. Prima Geotex Indo, 2021)

a. Separator atau pemisah

Geotekstil digunakan sebagai separator atau pemisah antara dua jenis material tanah yang bisa menahan partikel tanah untuk tembus, tetapi tetap bisa mengalirkan air

dengan baik. Geotekstil sebagai separator mengambil peran krusial dalam mencegah agar dua jenis tanah tersebut tidak tercampur.

b. Filtrasi atau penyaring

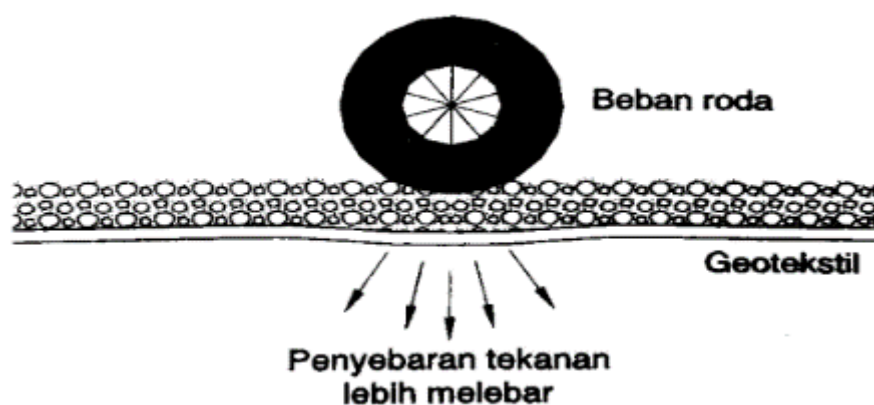
Material geotekstil *non woven* digunakan untuk menahan partikel tanah halus, namun tetap meloloskan air. Teknik mencegah partikel halus dari pencucian dan pengeringan elemen.

c. Stabilisator

Geotekstil sebagai stabilisator ini sebenarnya masih berhubungan dengan separator tadi, karea memiliki kuat tarik yang baik, geotekstil dapat menyalurkan beban di atasnya secara merata sehingga dapat meningkatkan kekuatan tanah pada proses pengurugan.

3.5.2 Mekanisme Kerja Geotekstil pada Tanah

Kegunaan geotekstil dalam rekayasa teknik sipil adalah sebagai fungsi stabilisasi tanah untuk meningkatkan sifat mekanis massa tanah, meningkatkan faktor keamanan lereng dan menstabilkan lereng dengan kemiringan curam ($< 70^\circ$). 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. Lereng tanah yang diperkuat umumnya terdiri dari timbunan padat yang digabungkan dengan perkuatan geotekstil yang disusun kearah horisontal. Pada tahapan tersebut, geotekstil berlaku sebagai bagian tahanan tarik gesekan (*adhesi*), saling mengikat (*interlocking*) atau pengurugan (*confinement*) yang digabungkan ke tanah/timbunan dan menjaga stabilitas massa tanah seperti yang digambarkan pada Gambar 3.14 dibawah ini.



Gambar 3.17 Redistribusi Tekanan Roda pada Perkuatan Geotekstil

(Sumber: Hardiyatmo, 2013)

3.6 Program Software *Plaxis*

Plaxis adalah suatu program metode elemen hingga untuk analisis deformasi atau perubahan bentuk dan stabilitas dalam permasalahan geoteknik. Dengan program ini *plaxis* juga dapat memberikan analisa teknik tentang displacement, deformasi, tegangan-tegangan pada tanah. Kondisi dilapangan yang disimulasikan dapat dimodelkan dalam regangan bidang maupun secara *axisymetris*. Proses perhitungan sepenuhnya berjalan secara otomatis dan didasarkan pada prosedur numerik yang handal dan cepat. Terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan dalam tahapan pada program *Plaxis* seperti berikut ini.

1. *Input data*, dalam melakukan analisis stabilitas tanah menggunakan program *Plaxis*, permodelan dibuat terlebih dahulu sesuai dengan data yang ada dilapangan. Tahapan ini merupakan tahapan input data yang sudah didapatkan di lapangan dan yang akan dianalisis menggunakan program tersebut diantaranya terdapat potongan melintang timbunan jalan, parameter – parameter tanah timbunan serta tanah dasar seperti besarnya nilai berat jenis tanah, kohesi, sudut geser tanah, elastisitas, dan lain – lain.
2. *Calculation*, setelah dilakukan penginputan data tanah yang akan dianalisa maka, program ini dapat secara otomatis akan mengkalkulasi besarnya penurunan dan nilai angka keamanan sesuai dengan kondisi yang dipilih misalkan saat tanah timbunan tersebut belum terbebani tau kondisi tanah asli, tanah timbunan masa konstruksi, dan paska konstruksi dengan adanya faktor kegempaan yang akan diinput pada analisa tersebut.
3. *Output*, dapat diamati dengan cara 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*, 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 titik 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 ini.
 - 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 adalah langkah yang dimiliki dan dilakukan oleh peneliti dalam rangka untuk mengumpulkan informasi atau data serta melakukan investigasi pada data yang telah didapatkan tersebut. Metode penelitian ini akan memberikan gambaran rancangan penelitian yang meliputi antara lain: prosedur dan langkah - langkah yang harus ditempuh, waktu penelitian, sumber data, dan dengan langkah apa data-data tersebut diperoleh dan selanjutnya diolah dan dianalisis. Penelitian yang akan dilakukan ini merupakan analisis stabilitas lereng dengan metode replacement dan perkuatan geotekstil pada proyek Jalan Sumatra – Banda Aceh.

Analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis stabilitas pada timbunan lereng badan jalan menggunakan program *Plaxis* 8.2 dengan variasi tinggi timbunan sebesar 5 m, 10 m, serta 15 m yang bertujuan untuk mendapatkan nilai angka keamanan (*safety factor*) yang paling baik untuk digunakan pada kondisi dan pembebanan tertentu, bisa menggunakan replacement maupun menggunakan perkuatan berupa geotekstil.

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

1. Tahap pengumpulan data

Agar dapat dilakukan analisis untuk mencapai tujuan pada penelitian ini maka perlu dilakukan adanya pengumpulan data. Tahap ini meliputi tahap pengambilan data tanah (data tanah uji lapangan dan data tanah laboratorium) pada Proyek Jalan Tol Trans Sumatra Ruas Medan – Banda Aceh yang mana data tersebut diperoleh secara sekunder.

2. Tahap pengolahan dan analisis data

Setelah data yang dibutuhkan sudah terkumpul, langkah selanjutnya yaitu tahap pengolahan dan analisis data. Analisis stabilitas lereng timbunan badan jalan pada Proyek Jalan Tol Trans Sumatra Ruas Medan – Banda Aceh akan dilakukan menggunakan *software Plaxis* serta hitungan manual dengan cara metode Elemen Hingga sebagai pembandingan kebenaran dari analisa tersebut. Analisis akan dilakukan dengan variasi tinggi timbunan sebesar 5 m, 10 m, dan 15 m pada keadaan timbunan tanah asli, tanah

replacement, serta menggunakan perkuatan tanah berupa geotekstil.

3. Hasil dan Kesimpulan

Dari hasil analisis yang telah kita dapatkan maka, proses selanjutnya yaitu menuliskan atau membahas mengenai hasil yang telah didapatkan dari tahapan pengolahan dan analisis data tersebut. Dari pembahasan tersebut, akan dapat diperoleh kesimpulan dari rumusan masalah yang telah dikemukakan di atas berdasarkan teori – teori yang sudah ada.

4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang di gunakan pada penelitian ini berada pada Jalan Tol Trans Sumatra Ruas Medan Banda Aceh.

4.3 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data seperti :

1. Data tanah
2. Data beban kendaraan
3. Data beban gempa
4. Data geotekstil

4.4 Tahap Analisis

Adapun tahap Analisa menggunakan software *Plaxis* versi 8.2 sebagai berikut.

1. Plaxis input

Untuk melakukan analisis stabilitas timbunan lereng badan jalan menggunakan program *plaxis*, terlebih dahulu harus memasukkan data atau input data sesuai dengan data yang diperoleh dari lapangan.

2. Plaxis calculating

Setelah proses input pada program *plaxis* maka toolbar kalkulasi di lakukan untuk proses perhitungan dari data yang telah di masukkan.

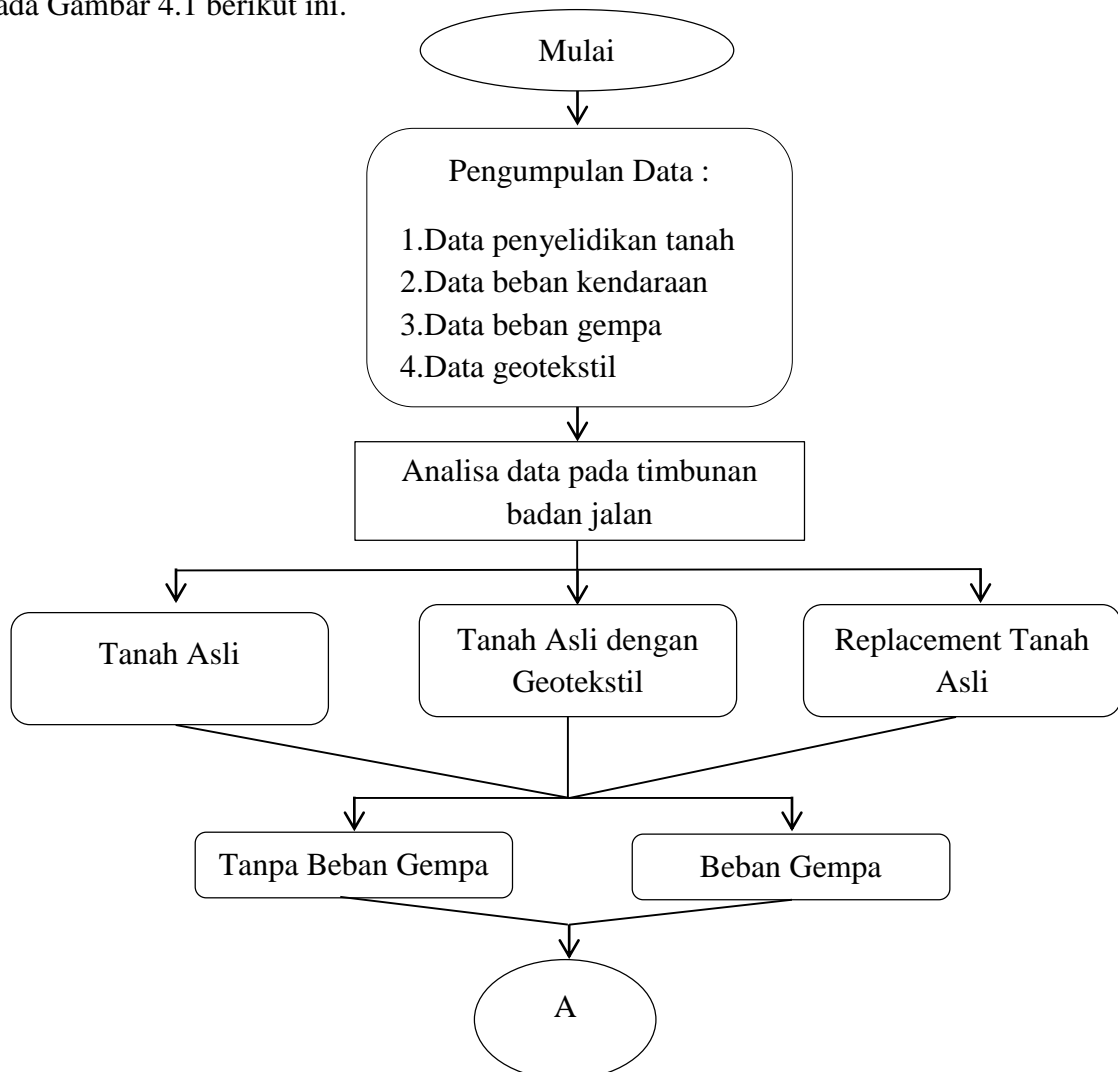
3. Plaxis output

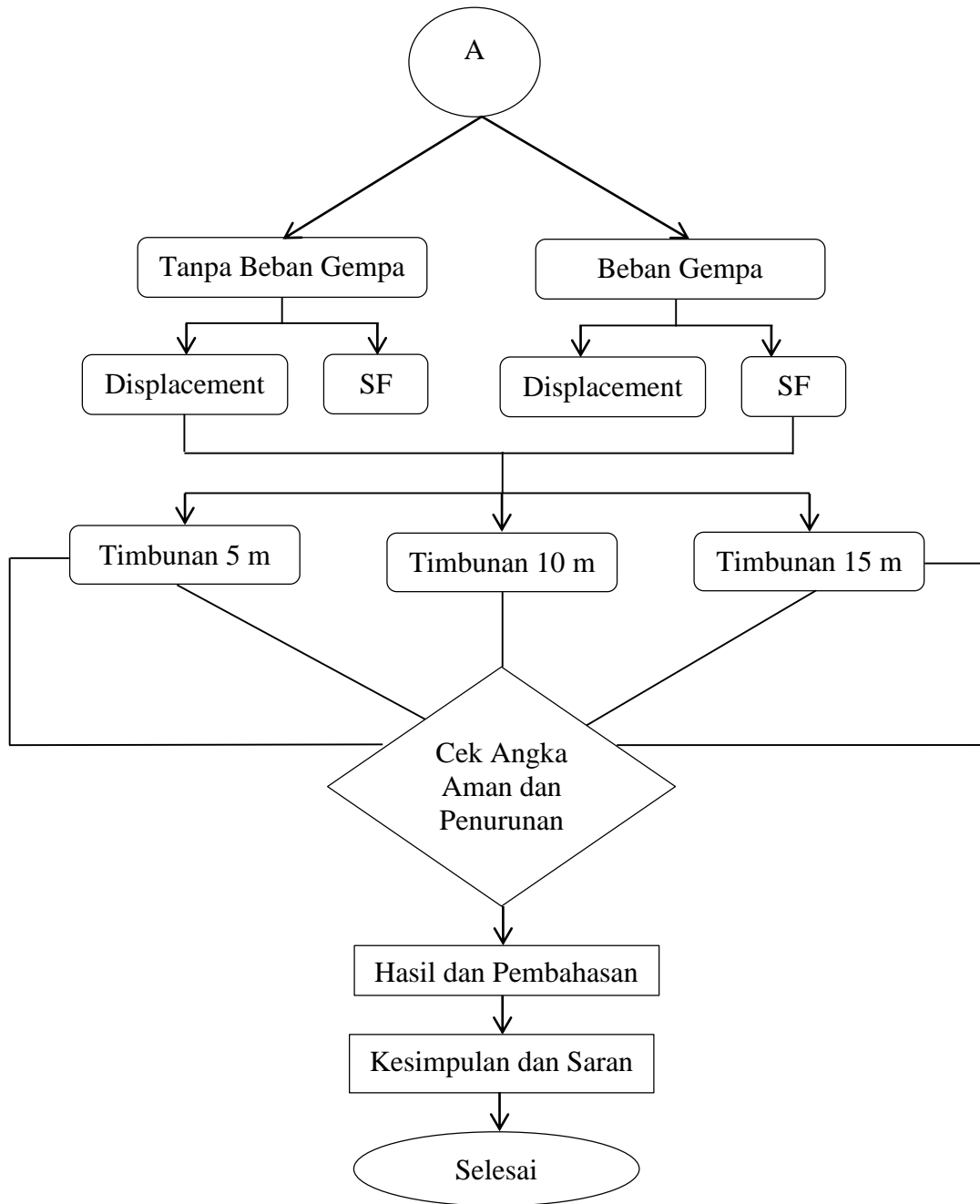
Pada tahap ini untuk menampilkan hasil yang di peroleh dari pemasukan data dan pengolahan data yang telah di lakukan sebelumnya., yaitu :

- a. Nilai angka keamanan (*safety factor*) dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter dan 15 meter pada keadaan timbunan tanah asli,
- b. Nilai angka keamanan (*safety factor*) dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter dan 15 meter setelah dilakukan replacement tanah dengan bahan *replacement* yang digunakan sama seperti tanah timbunan,
- c. Nilai keamanan (*safety factor*) dengan variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter dan 15 meter setelah ditambah dengan perkuatan geotekstil,

4.5 Bagan Alir

Langkah – langkah atau bagan alir yang akan dilakukan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.





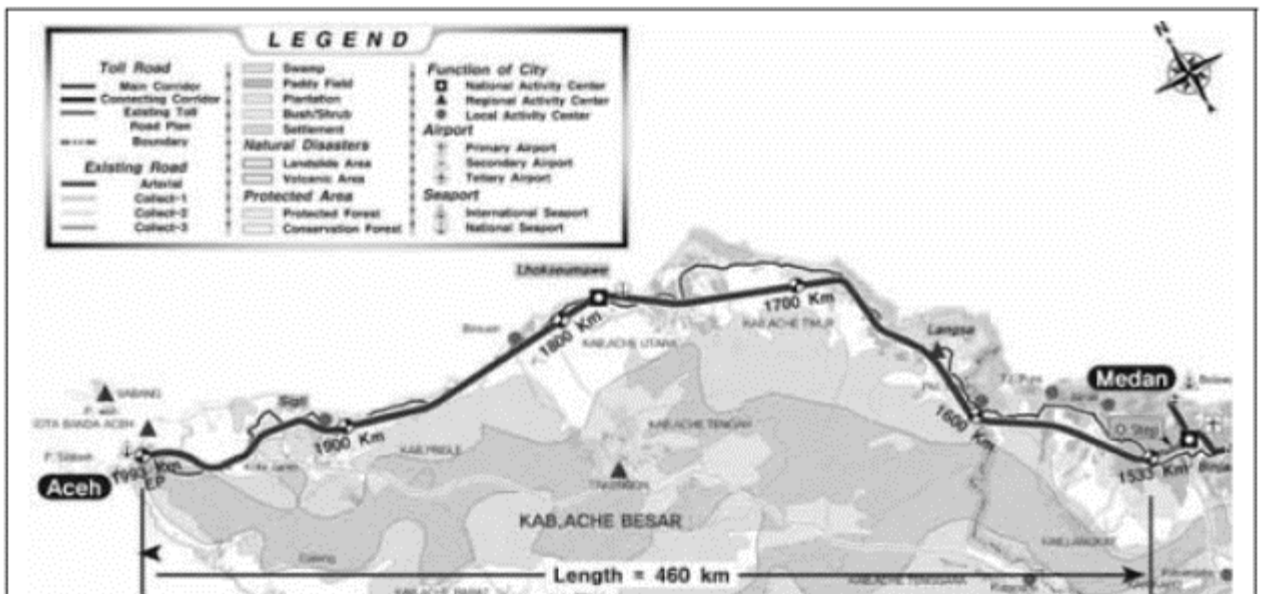
Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum

Tanah yang ditinjau adalah Jalan Tol Trans Sumatra Ruas Medan – Banda Aceh, Phase 3 Sta 16+075. Analisis stabilitas timbunan dilakukan dengan menggunakan *Software Plaxis* Versi 8.2 pada kondisi tanah asli, *replacement* tanah asli, serta penambahan perkuatan geotekstil. Variasi tinggi timbunan yang akan ditinjau pada analisa ini sebesar 5 m, 10 m, serta 15 m. Data yang diperlukan dalam analisa ini yaitu data tanah, data pembebanan, data gempa, dan geotekstil.



Gambar 5.1 Potongan Peta Pembangunan Jalan Tol Medan – Banda Aceh

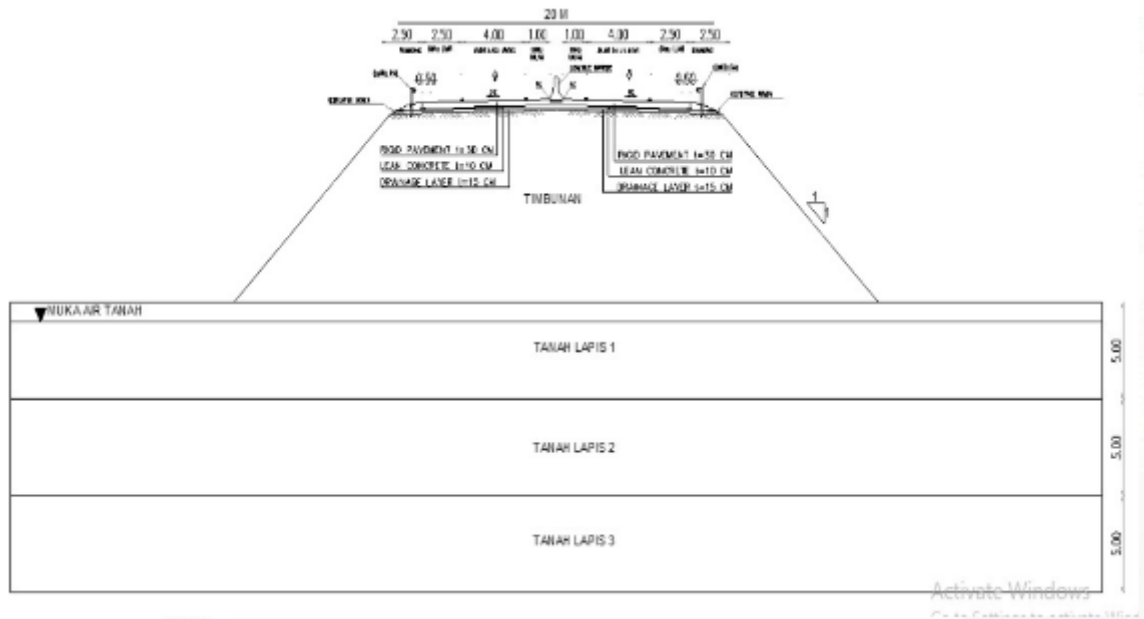
(Sumber : PT. Bina Karya, 2020)

5.2 Data Penelitian

Dalam analisa stabilitas lereng timbunan badan jalan pada penelitian ini, dibutuhkan data – data yang ada di lapangan seperti data tanah, data pembebanan lalu lintas maupun perkerasan jalan, potongan melintang jalan, dan lain – lain. Data – data yang dibutuhkan tersebut didapatkan dari PT. Bina Karya selaku konsultan pengawas proyek tersebut. Data yang didapatkan berupa data parameter tanah, beban apa saja yang bekerja pada timbunan badan jalan tersebut serta data untuk geotekstil yang dapat dilihat seperti berikut.

5.2.1 Data Parameter Tanah

Potongan melintang jalan dan data parameter tanah yang digunakan dalam analisa penelitian ini dapat di lihat pada Gambar 5.2 dan Tabel 5.1 di bawah ini.



Gambar 5.2 Potongan Melintang Jalan

(Sumber : PT. Bina Karya, 2020)

Tabel 5.1 Data Parameter Tanah

Parameter Tanah	Satuan	Timbunan	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3
Model	Mohr Coulumb				
jenis	Undrained				
H	m	5	5	5	5
γ sat	kN/m ³	16,50	16,00	16,40	16,60
γ unsat	kN/m ³	15,50	15,00	15,40	15,60
γ w	kN/m ³	9,81	9,81	9,81	9,81
C	kN/m ²	8,00	5,00	7,00	12,00
ϕ	o	25,0	25,0	30,0	35,0
Poisson ratio (v)	kN/m ²	0,30	0,30	0,30	0,30
Kx	m/day	0,0026	0,0026	0,043	0,043
Ky	m/day	0,0026	0,0026	0,043	0,043
E ref	kN/m ²	12500	6000	13000	30000

Sumber : PT. Bina Karya (2020)

5.2.2 Data Beban

Beban yang bekerja pada tanah timbunan yang akan dianalisa berupa beban perkerasan jalan, beban lalu lintas, serta beban gempa, yang mana daerah Aceh – Medan merupakan daerah dengan intensitas gempa yang tinggi.

1. Beban perkerasan dan lalu lintas jalan

Data beban perkerasan yang digunakan yaitu sebesar $15,5 \text{ kN/m}^2$ yang didapat dari data sekunder. Sedangkan data beban lalu lintas yang akan digunakan mengacu pada 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 10 kN/m^2 .

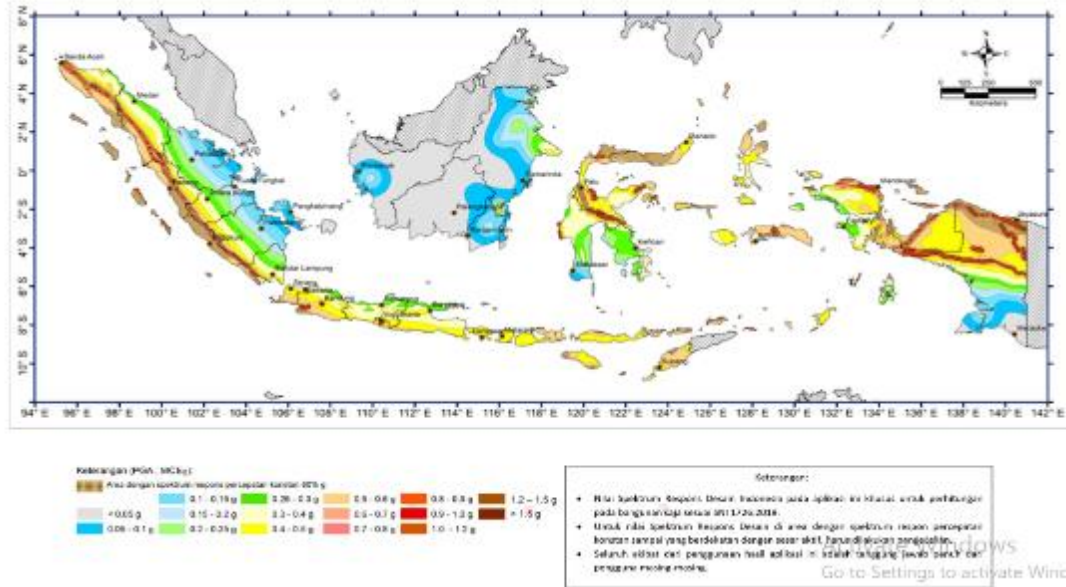
Tabel 5.2 Beban Lalu Lintas untuk Analisa Stabilitas Tanah

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN.m2)
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)

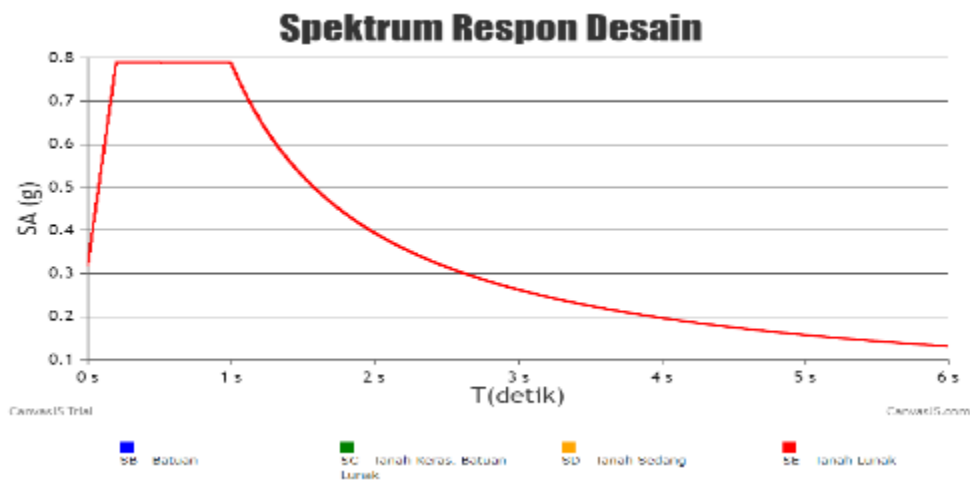
2. Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan sebesar $0,5 \text{ g}$ berdasarkan peta zonasi gempa kementerian pekerjaan umum tahun 2014 untuk perencanaan stabilitas lereng timbunan tanah. Peta dengan prosedur spesifik situs dan nilai spektra percepatan gempa puncak untuk wilayah Banda Aceh dapat dilihat pada Gambar 5.3 di bawah ini.



Gambar 5. 3 Peta Zonasi Gempa Indonesia

(Sumber : Peta Gempa, 2022)



Gambar 5. 4 Nilai Spektrum Percepatan Gempa Banda Aceh

(Sumber : Peta Gempa, 2022)

5.2.3 Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan pada pemodelan *Plaxis* yaitu jenis geotekstil woven produksi PT. Geotextile Asia Seri Unggul GT 250 dengan spesifikasi seperti pada Tabel 5.3 di bawah ini.

Tabel 5.3 Data Geotekstil

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	T	53	kN/m
Regangan	ϵ	27	%
Kekuatan Normal	EA	611	kN/m

Sumber : PT.Geotextile Asia (2022)

5.3 Analisa Stabilitas Timbunan

Analisa yang akan dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai keamanan yang terjadi pada timbunan dengan variasi ketinggian 5 m, 10 m, dan 15 m terhadap tanha asli, replacement tanah asli, serta perkuatan geotekstil. Analisis yang akan dilakukan dengan memperhitungkan beban perkerasan, lalu lintas serta beban gempa. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program *Plaxis V 8.2* dan perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius*.

5.3.1 Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan Tanah

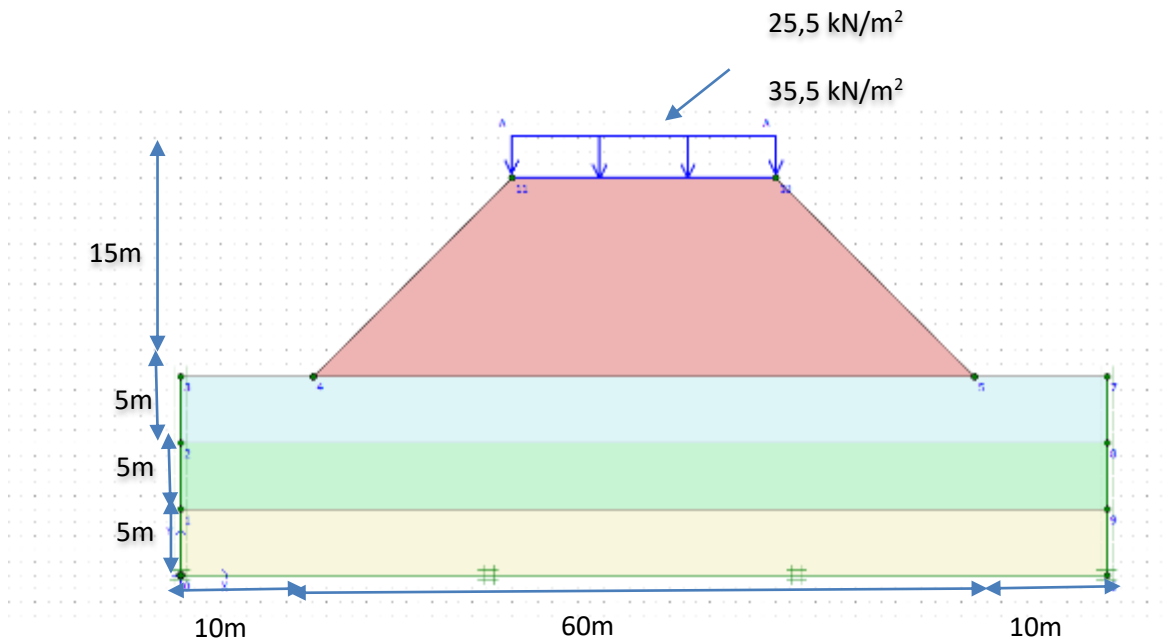
Analisis menggunakan program *Plaxis V 8.2* pada timbunan badan jalan disesuaikan dengan kondisi lapangan dan variasi tinggi timbunan sebesar 5 meter, 10 meter, dan 15 meter. Permodelan yang akan ditampilkan yaitu timbunan dengan variasi tinggi timbunan 5 meter.

1. Pemodelan awal lereng pada program *Plaxis V 8.2*

Pemodelan awal lereng menggunakan tanah asli pada lokasi pekerjaan berupa pemodelan beban struktur merata, dengan lebar lereng sepanjang 70 meter yang akan di fungsikan sebagai jalan. Titik koordinat uyang di input ke dalam *Plaxis V 8.2* disajikan pada Tabel 5.4 dan untuk permodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.

Tabel 5.4 Koordinat Lereng Timbunan 15 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan

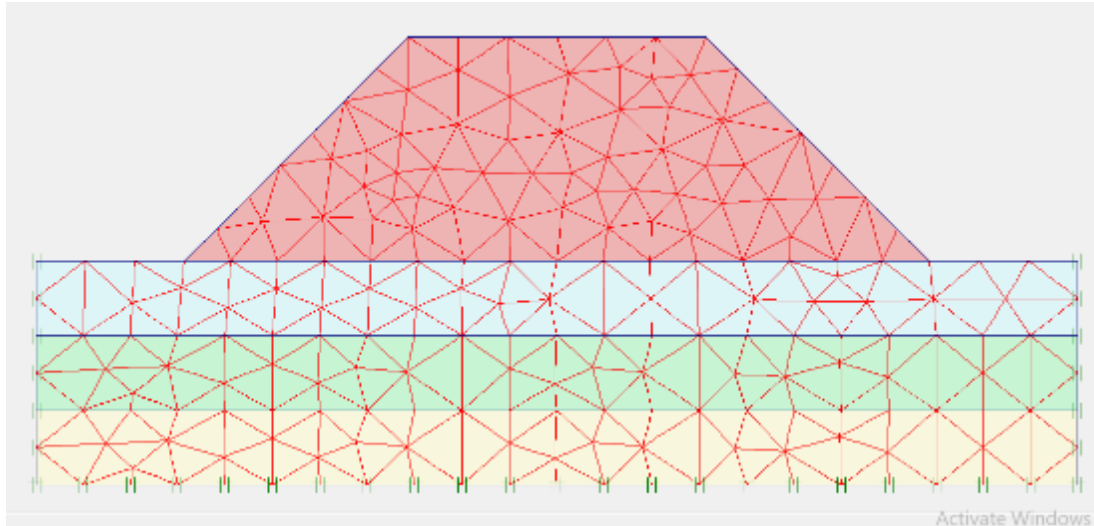
No	X (m)	Y (m)	no	X (m)	Y (m)
0	0	0	7	60	15
1	0	5	8	70	15
2	0	10	9	70	10
3	0	15	10	70	5
4	10	15	11	70	0
5	25	30			
6	45	30			



Gambar 5.5 Permodelan Lereng Timbunan 15 M Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pada Saat Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa

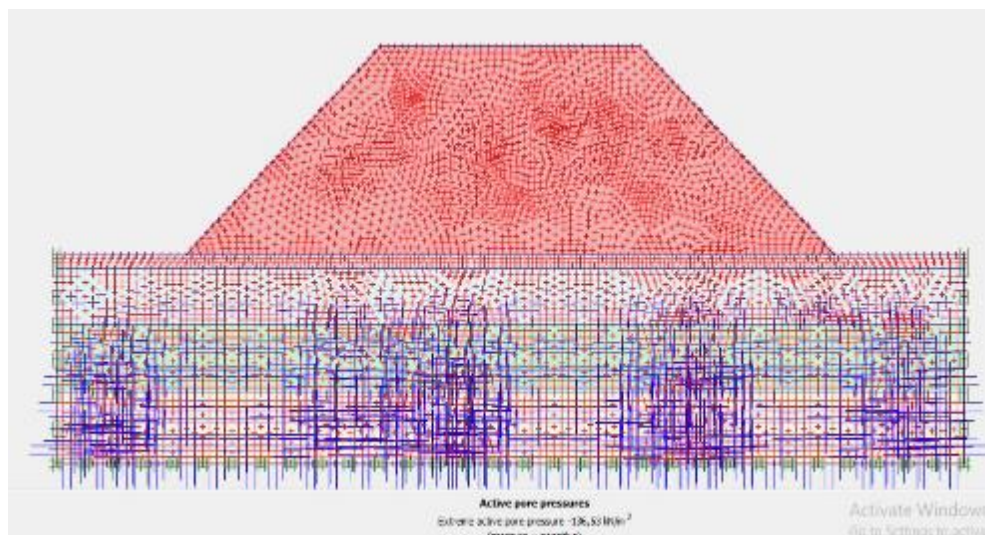
2. Pembuatan jaring elemen

Setelah dilakukannya pemodelan pada program *Plaxis*, input data parameter 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. Kondisi masa konstruksi adalah saat masa penimbunan lereng berlangsung pada saat tanah masih bersifat undrain karena belum ada drainase dengan baik dan beban untuk struktur sebesar 25,5kN. Hasil dari input jaringan elemen hingga (*Meshing*) pada lereng timbunan terdapat dalam Gambar 5.6 berikut ini.



Gambar 5.6 Meshing pada lereng Timbunan 15 M Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pada Saat Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa

Setelah dilakukan *Meshing* maka dilanjutkan dengan kondisi awal (*Initial Condition*). Konfigurasi geometri awal langsung dengan perhitungan general initial stresses. Hasil dari Initial Soil Stresses dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.

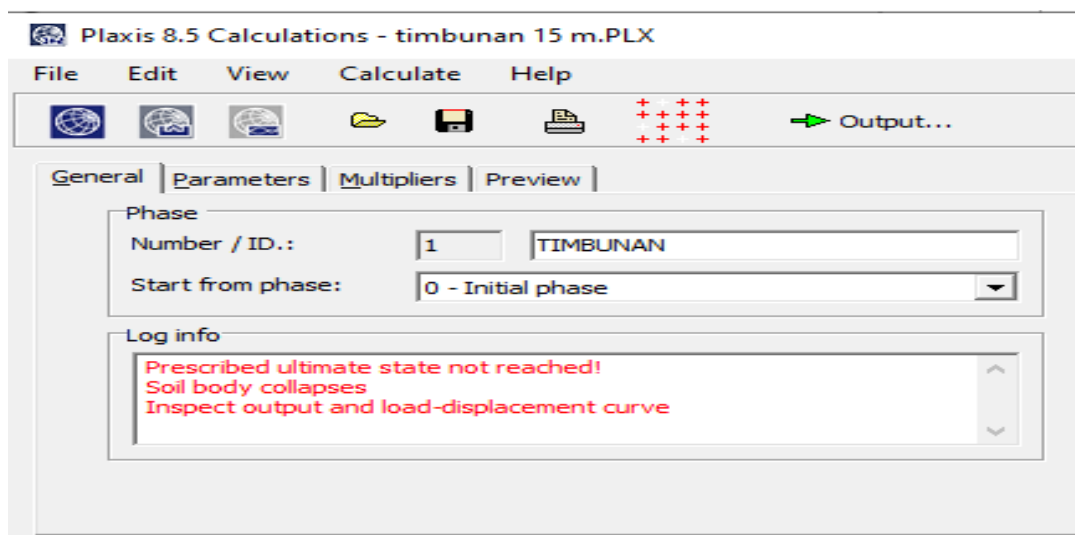


Gambar 5.7 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 15 M Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pada Saat Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa

3. Hasil perhitunagn dengan program *Plaxis V 8.2*

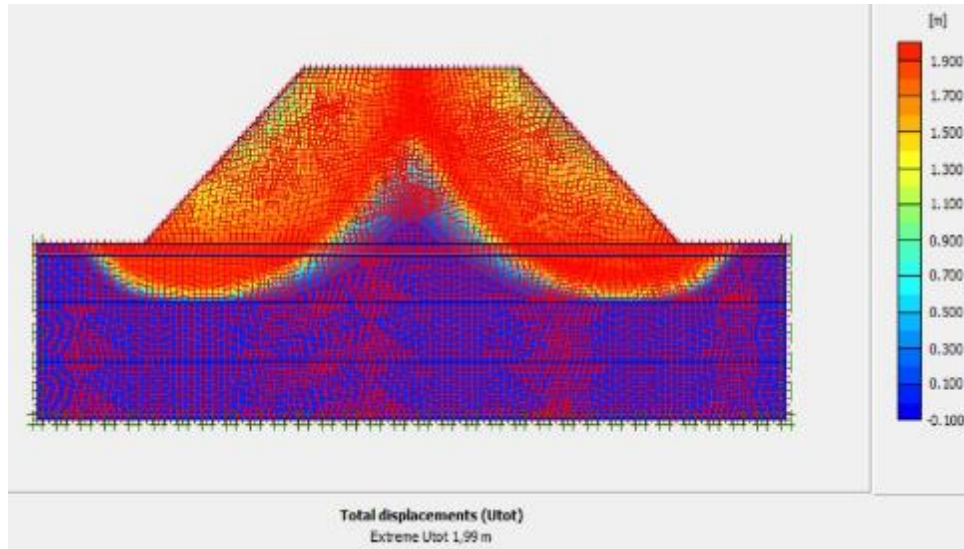
Selanjutnya ke tahap analisa perhitungan (*calculation*) timbunan 15 meter dengan lima tahap. Tahap pertama, analisa perhitugan akibat diberi timbunan 15 meter pada tanah asli. Tahap kedua, analisa perhitungan akibat beban struktur pada permukaan timbunan.

Tahap ketiga, analisa terhadap beban gempa sesuai dengan nilai spektrum pada wilayah tersebut. Tahap keempat, perhitungan angka aman pada tanah dasar setelah diberikan beban – beban yang akan mempengaruhi adanya daya dukung tanah itu sendiri. Saat melakukan analisa menggunakan program *Plaxis* pada lereng timbunan 15 meter sudah mengalami *soil body collapse* pada tahapan analisa beban gempa atau tahapan ketiga, maka selanjutnya tidak dapat dilakukan analisa selanjutnya yaitu perhitungan angka aman pada tanah timbunan tersebut. Kondisi seperti ini menandakan bahwa angka aman pada tanah tersebut $< 1,5$ atau tanah timbunan tersebut sudah tidak mampu untuk menahan beban yang diberikan dan mengalami *collapse* seperti keterangan pada *Plaxis* yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 di bawah ini.



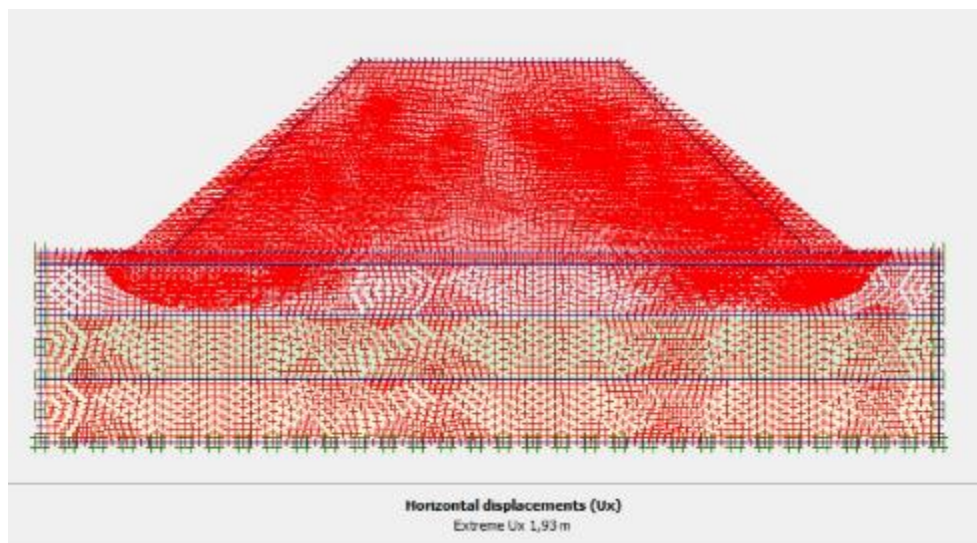
Gambar 5.8 Informasi *Soil Body Collapse* Lereng Timbunan 15 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pada Saat Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa

Pada tahap ini tanah timbunan terjadi *displacement* atau penurunan timbunan sebesar 1,61 meter yang mana beban mendesak tanah tidak hanya sampai ke tanah timbunan saja akan tetapi sampai ke tanah dasar seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.9 di bawah ini.



Gambar 5.9 Total Displacement Timbunan 15 M Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pada Saat Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa

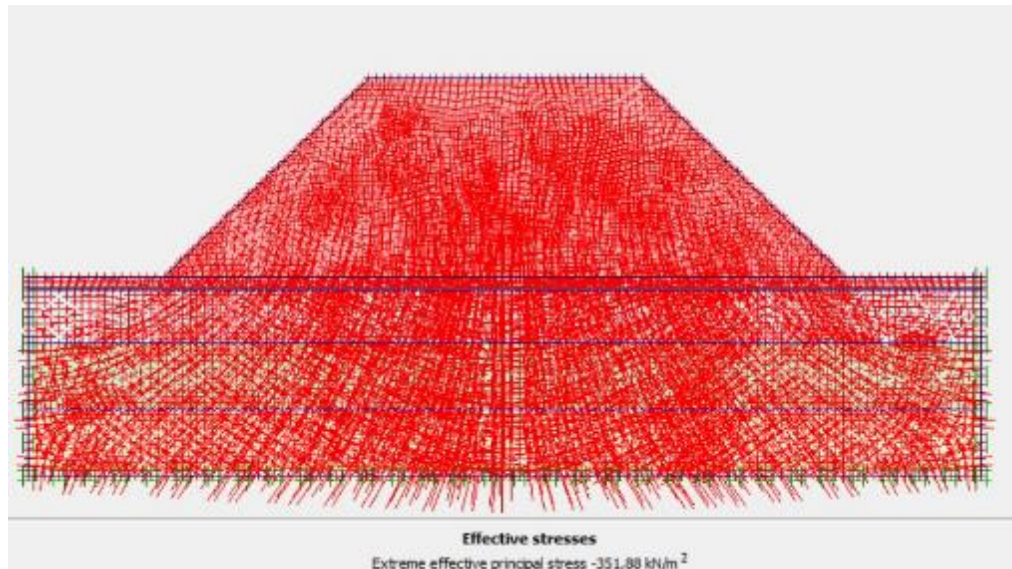
Arah pergerakan pada tanah timbunan 15 meter pada saat masa konstruksi dapat di lihat pada Gambar 5.10 di bawah ini.



Gambar 5.10 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 15 M Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pada Saat Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa

Nilai tegangan yang bekerja pada lereng timbunan tanah 15 meter tersebut saat masa konstruksi sebesar $-275,74 \text{ kN/m}^2$. Pada dasarnya, angka aman merupakan nilai perbandingan antara kuat atau daya dukung tanah timbunan maupun tanah asli terhadap tegangan yang diberikan oleh beban yang berada di atasnya seperti beban perkerasan jalan maupun beban lalu lintas yang melintas di atasnya, kemudian juga dipengaruhi dari beban gempa yang mana beban gempa tersebut sifatnya lateral atau berupa gaya tarik

menarik satu sama lain mengikuti arah pergerakan tanah karena adanya kekuatan gempa. Beban gempa tersebut sangat mempengaruhi adanya daya dukung tanah pada suatu wilayah khususnya pada daerah Medan – Banda Aceh dengan beban gempa 0,95g. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.11 di bawah ini.



Gambar 5.11 Effective Stress Lereng Timbunan 15 M Tanah Asli Tanpa Perkuatan Pada Saat Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa

Untuk variasi tinggi timbunan 5 meter, 10 meter pada masa konstruksi ataupun paska konstruksi dapat dilakukan dengan cara analisa yang sama seperti tahapan di atas, hasil perhitungan angka keamanan pada timbunan tanah kondisi tanah asli dengan program *Plaxis V 8.2* dapat dilihat pada Tabel 5.5 di bawah ini.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Angka Keamanan Lereng Timbunan Pada Kondisi Tanah Asli Tanpa Perkuatan Saat Maupun Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa

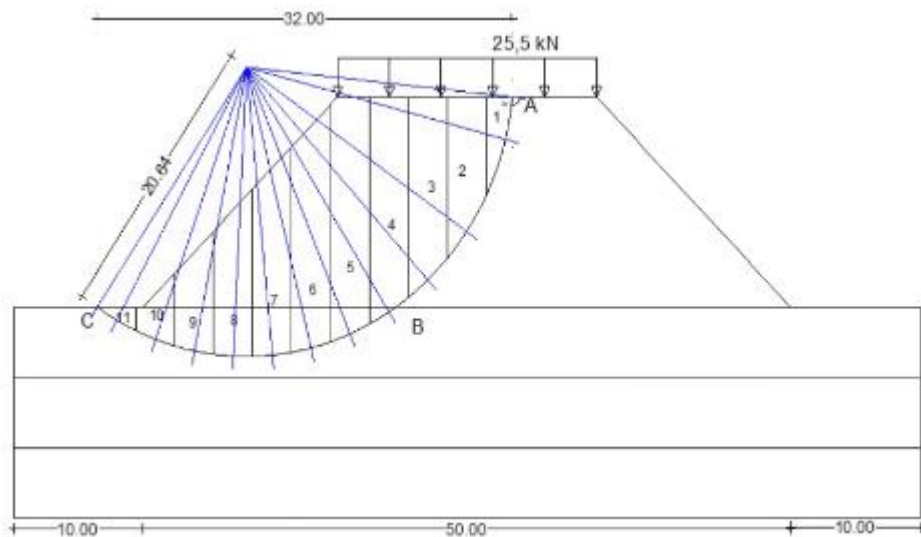
Timbunan (m)	Angka Keamanan	
	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi
5	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>
10	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>
15	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>

Tabel 5.5 Rekapitulasi Angka Keamanan Lereng Timbunan Pada Kondisi Tanah Asli Tanpa Perkuatan Saat maupun Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa

Timbunan (m)	Masa Konstruksi		Paska Konstruksi	
	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa
5	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>
10	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>
15	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>

5.3.2 Metode Fellenius

Perhitungan dengan metode *Fellenius* ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan angka keamanan pada lereng timbunan kondisi tanah asli karena pada program *Plaxis* tidak dapat menunjukkan hasilnya atau mengalami *collapse*. Dari hasil analisis menggunakan program *Plaxis* didapat garis potensi kelongsoran pada tinggi timbunan 5 meter masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut ini.



Gambar 5.11 Penampang Irisan Pada Timbunan 15 M

Berdasarkan gambar di atas, bidang longsor dibagi menjadi 11 irisan dengan panjang total dari bidang longsor (arah horizontal) yaitu 32 meter. Berikut ini merupakan contoh perhitungan dengan menggunakan metode *Fellenius* pada irisan pertama.

1. Perhitungan berat irisan (W_i)

$$\begin{aligned} W_1 &= (\gamma \times A_1) + (q \times L) \\ &= (16,50 \times 5,982) + (25,50 \times 3) \\ &= 98,703 + 76,50 \\ &= 175,203 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Perhitungan $W_i \cos \theta$

$$\begin{aligned} W_i \cos \theta &= W_1 \times \cos (-76) \\ &= 175,203 \times \cos 70 \\ &= 42,385 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Perhitungan $W_i \sin \theta$

$$\begin{aligned} W_i \sin \theta &= W_1 \times \sin (-76) \\ &= 146,70 \times \sin 70 \\ &= -169,996 \text{ kN} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} W_i \cos \theta - U_i &= 42,385 \cos (-76) - 0 \\ &= 42,385 \text{ kN} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} (W_i \cos \theta - U_i) \times \tan \phi &= 42,385 \times \tan (-76) \\ &= -169,996 \text{ kN} \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan gaya berat pias pada timbunan 15 meter masa konstruksi dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Hitungan Metode *Fellenius* Tinggi Timbunan 15 M Masa Konstruksi

Nomor Irisan	Θ	Δl	A_i	W	$W \cos \Theta$	$W \sin \Theta$	$U_i = U \cdot A_i$	$W \cos \Theta - U_i$	$(W \cos \Theta - U_i) \times \tan \Theta$
1	-76	7,340	0,000	175,20	42,385	-169,996	0,000	42,385	-169,996
2	-55	5,380	0,000	499,76	286,648	-409,375	0,000	286,648	-409,375
3	-43	4,100	0,000	673,50	492,567	-459,326	0,000	492,567	-459,326
4	-32	3,550	0,039	788,48	668,669	-417,831	0,380	668,289	-417,594
5	-23	3,260	2,470	865,91	797,070	-338,336	24,227	772,843	-328,052
6	-14	3,090	5,640	818,57	794,250	-198,029	55,329	738,921	-184,234
7	-6	3,010	7,189	696,42	692,600	-72,795	70,525	622,075	-65,383
8	3	2,970	7,404	551,55	550,797	28,866	72,633	478,164	25,060
9	11	3,060	6,293	384,12	377,058	73,293	61,734	315,323	61,293
10	20	3,190	3,782	194,01	182,310	66,355	37,097	145,213	52,853
11	29	3,430	0,468	70,24	61,436	34,055	4,595	56,841	31,508
						-1863,119			-1863,246

Berdasarkan hasil pengukuran, didapatkan panjang jari-jari $R = 20,64$ meter, garis lengkung pada tanah lapis 1 (A-B) = 17,50 meter dan tanah lapis 2 (B-C) = 23,03 meter. Maka dapat dihitung tahanan terhadap kelongsoran yang diberikan oleh komponen kohesi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Sigma c_i a_i &= (17,5 \times 8) + (23,03 \times 8) \\ &= 324,240 \text{ kN}\end{aligned}$$

Oleh karena itu faktor aman dari metode irisan dicari dengan menggunakan perbandingan gaya yang menahan dibagi dengan gaya yang mendorong. Nilai angka faktor aman yang di hasilkan pada lereng tanah timbunan dengan tinggi 15 meter adalah sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}\text{Faktor aman (SF)} &= \frac{\Sigma M_r}{\Sigma M_d} \\ &= \frac{321,240 \times (-1863,246)}{(-1863,119)} \\ &= 0,82604\end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi perhitungan angka keamanan pada tanah timbunan yang mengalami kelongsoran (*collapse*) dengan variasi tinggi timbunan 5 meter dan 15 meter masa konstruksi dengan cara perhitungan yang sama dengan timbunan 5 meter masa konstruksi menggunakan metode *Fellenius* tersebut didapat hasil 1,158 dan 1,238. 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 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Perhitungan Angka Aman Timbunan Masa Konstruksi Tanah Asli Hitungan Metode *Fellenius*

Nomor	Tinggi Timbunan	Angka Keamanan
1	5	0,958
2	10	0,938
3	15	0,843

Hasil rekapitulasi perhitungan angka keamanan pada tanah timbunan yang mengalami kelongsoran (*collapse*) dengan variasi tinggi timbunan 5 meter dan 15 meter masa konstruksi dengan cara perhitungan yang sama dengan timbunan 5 meter masa konstruksi menggunakan metode *Fellenius* tersebut didapat hasil 0,958 dan 0,938.

Sedangkan untuk perhitungan variasi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter paska konstruksi cara perhitungan metode *fellenius* sama dengan perhitungan timbunan 15 meter masa konstruksi tetapi nilai beban merata yang digunakan berbeda yaitu sebesar 35,5 kN/m². Untuk rekapitulasi hasil perhitungan dengan metode *fellenius* dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Angka Aman Timbunan 15 M Paska Konstruksi Tanah Asli Hitungan Metode *Fellenius*

Nomor	Tinggi Timbunan	Angka Keamanan
1	5	0,944
2	10	0,922
3	15	0,826

5.3.3 Perhitungan Geotekstil

Perhitungan geotekstil membutuhkan data parameter tanah dan koefisien daya dukung tanah yang dapat dilihat pada Tabel 5.9, Tabel 5.10, dan Tabel 5.11 di bawah ini.

Tabel 5.9 Data Parameter Tanah

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Berat Volume Tanah	γ_d	16,50	kN/m ²
Nilai Kohesi	c	8,00	kN/m ²
Sudut Geser Dalam	ϕ	35,00	°

Sumber : PT. Bina Karya (2020)

Tabel 5.10 Data Geotekstil

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ultimate	τ_{ult}	53,00	kN/m
Regangan	ϵ	23,00	%
Kekuatan Normal	EA	250,00	kN/m
Kuat Tarik Allowable	T_{all}	26,00	kN/m

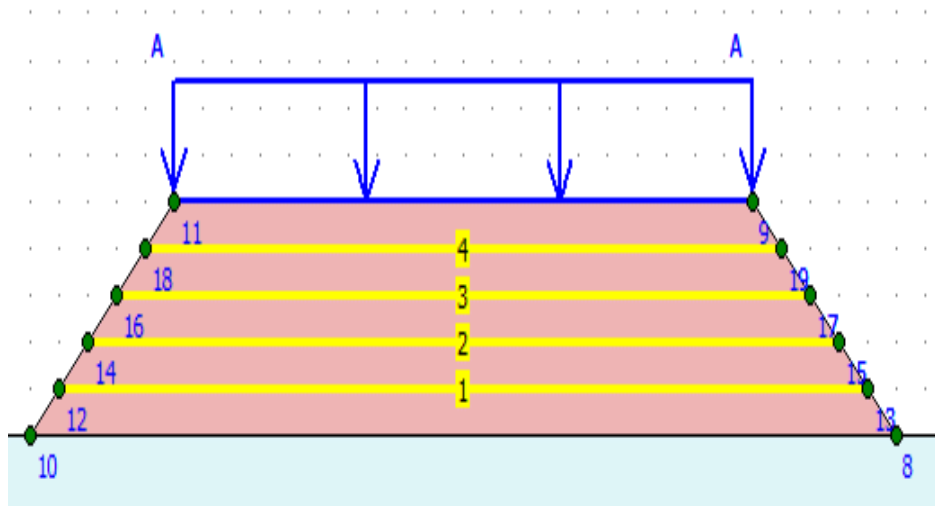
Sumber : PT. Bina Karya (2020)

Tabel 5. 11 Koefisien Daya Dukung Tanah

Φ	Nc	Nq	N _γ	Φ	Nc	Nq	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	13,2	14,47
9	7,92	2,25	1,03	28	25,8	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	18,4	22,4
12	9,28	2,97	1,69	31	32,67	20,63	25,9
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	33,3	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	64,2	109,41
22	16,88	7,82	7,13	41	83,86	73,9	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 : Departmen Pekerjaan Umum, (2009)

Perhitungan perencanaan geotekstil pada timbunan 15 meter dengan beban merata sebesar 25,5 kN/m². Geotekstil yang digunakan merupakan geotekstil dengan jenis *woven* (teranyam) dengan kuat tarik ijin sebesar 36 kN/m. Perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan pembagian zona pada tanah timbunan seperti pada Gambar 5.12 di bawah ini.



Gambar 5.12 Pembagian Zona Pada Tanah Timbunan

1. Menentukan jarak arah vertikal antar lapis (S_v)

a. Analisis zona 1

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 \left(45^\circ - \left(\frac{\varphi}{2} \right) \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ - \left(\frac{35}{2} \right) \right) \\ &= 0,271 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{hc1} &= q \times K_a - 2 \times c \sqrt{K_a} + K_a \times H \times \gamma_b \\ &= 25,5 \times 0,271 - 2 \times 8 \times \sqrt{0,271} + 0,271 \times 3 \times 16,50 \\ &= 11,996 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} S_{vl} &= \frac{T_a}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{26}{11,996 \times 1,5} \\ &= 1,445 \text{ (dipakai } 1,5 \text{ meter)} \end{aligned}$$

b. Analisa zona 2

$$\begin{aligned} \sigma_{hc2} &= -2 \times c \sqrt{K_a} + K_a \times H_2 \times \gamma_b \\ &= -2 \times 8 \times \sqrt{0,271} + 0,271 \times 6 \times 16,50 \\ &= 35,158 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
S_{v2} &= \frac{T_a}{\sigma_{hc} \times SF} \\
&= \frac{26}{35,158 \times 1,5} \\
&= 0,493 \text{ (dipakai 0,5 meter)}
\end{aligned}$$

c. Analisa zona 3

$$\begin{aligned}
\sigma_{hc3} &= -2 \times c \sqrt{Ka} + Ka \times H_3 \times \gamma_b \\
&= -2 \times 8 \times \sqrt{0,271} + 0,271 \times 9 \times 16,50 \\
&= 48,573 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
S_3 &= \frac{T_a}{\sigma_{hc} \times SF} \\
&= \frac{26}{48,573 \times 1,5} \\
&= 0,357 \text{ (dipakai 0,5 meter)}
\end{aligned}$$

d. Analisa zona 4

$$\begin{aligned}
\sigma_{hc4} &= -2 \times c \sqrt{Ka} + Ka \times H_4 \times \gamma_b \\
&= -2 \times 8 \times \sqrt{0,271} + 0,271 \times 12 \times 16,50 \\
&= 62,987 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
S_{v4} &= \frac{T_a}{\sigma_{hc} \times SF} \\
&= \frac{26}{62,987 \times 1,5} \\
&= 0,275 \text{ (dipakai 0,5 meter)}
\end{aligned}$$

e. Analisa zona 5

$$\begin{aligned}
\sigma_{hc5} &= -2 \times c \sqrt{Ka} + Ka \times H_5 \times \gamma_b \\
&= -2 \times 8 \times \sqrt{0,271} + 0,271 \times 15 \times 16,50 \\
&= 75,402 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
S_{v5} &= \frac{T_a}{\sigma_{hc} \times SF} \\
&= \frac{26}{75,402 \times 1,5} \\
&= 0,230 \text{ (dipakai 0,5 meter)}
\end{aligned}$$

2. Stabilitas eksternal

a. Stabilitas terhadap geser

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{SF \times (q \times Ka \times H + Ka \times H^2 \times \gamma_b - 2 \times c \times \sqrt{Ka} \times H)}{(q + \gamma_b) \times \tan \varphi} \\
 &= \frac{1,5 \times (25,5 \times 0,271 \times 15 + 0,271 \times 15^2 \times 16,5 - 2 \times 8 \times \sqrt{0,271} \times 15)}{(25,5 + 16,5) \times \tan 35} \\
 &= 50,230 \text{ meter} = 50 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

b. Stabilitas terhadap guling

$$\begin{aligned}
 L^2 &= \frac{SF \times (\frac{1}{2} \times q \times Ka \times H^2 + \frac{1}{6} \times Ka \times H^3 \times \gamma_b - c \times \sqrt{Ka} \times H^2)}{(\frac{1}{2} \times q + \frac{1}{2} \times \gamma_b \times H)} \\
 &= \frac{1,5 \times (\frac{1}{2} \times 25,5 \times 0,271 \times 15^2 + \frac{1}{6} \times 0,271 \times 15^3 \times 16,5 - 8 \times \sqrt{0,271} \times 15^2)}{(\frac{1}{2} \times 25,5 + \frac{1}{2} \times 16,5 \times 15)} \\
 L^2 &= 57,411 \text{ meter} \\
 L &= 7,577 = 8 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

$$\begin{aligned}
 1/6 \times L &\geq \frac{(\frac{1}{2} \times q \times Ka \times H^2 + \frac{1}{6} \times Ka \times H^3 \times \gamma_b - c \times \sqrt{Ka} \times H^2)}{(q \times L + \gamma_b \times H \times L)} \\
 &\geq \frac{(\frac{1}{2} \times 25,5 \times 0,271 \times 15^2 + \frac{1}{6} \times 0,271 \times 15^3 \times 16,5 - 8 \times \sqrt{0,271} \times 15^2)}{(25,5 \times L + 16,5 \times 15 \times L)} \\
 &\geq \frac{3026,115}{2005,5 L} \\
 L &= 3,976 \text{ m} = 4 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

$$\begin{aligned}
 q_{ult} &= c \times N_c + 0,5 \times L \times \gamma_b \times N_\gamma \\
 &= 8 \times 46,12 + 0,5L \times 16,50 \times 48,03 \\
 &= 368,960 + 396,248L \\
 \sigma_{ult} &= q_{ult} \times SF \\
 &= (368,960 + 396,248L) \times 1,5 \\
 &= (553,44 + 594,372L)
 \end{aligned}$$

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

$$\leq \frac{(553,44 + 594,372L)}{15 \times 8 + 25,5}$$

$$= -0,686 \text{ meter}$$

Dari analisa tersebut diperoleh panjang geotekstil yang akan digunakan sebesar 50 m

3. Stabilitas internal

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

$$= \frac{11,996 \times 1,445 \times 1,5}{2 \times 15 \times 8 \times \tan 35}$$

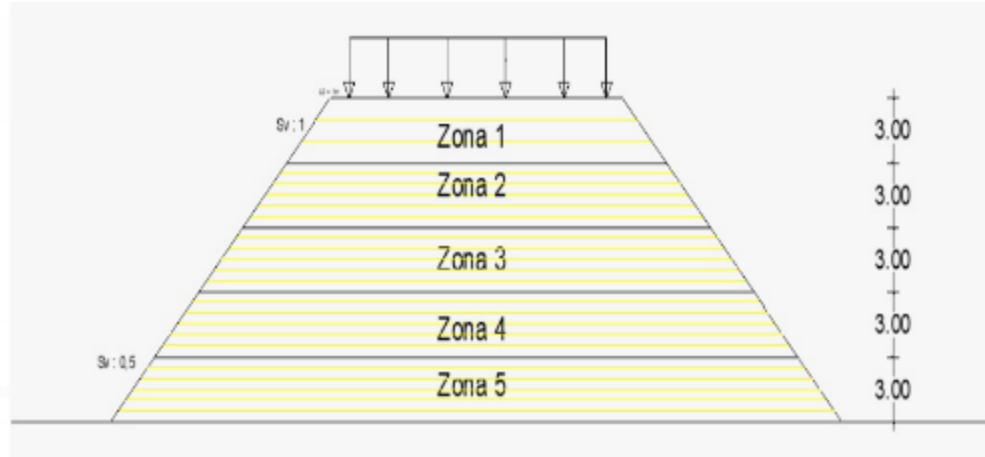
$$= 0,155 \text{ meter (pemakaian minimal 1 meter)}$$

Hasil perhitungan stabilitas internal pada geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.12 di bawah ini.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Geotekstil

	Zi (m)	Svi (m)	Svi Pakai (m)	L ₀ (m)	L ₀ Pakai (m)
Zona I	3	1,445	1,00	0,155	1,00
	3	1,445	1,00	0,155	1,00
	3	1,445	1,00	0,155	1,00
Zona II	6	0,493	0,50	0,188	1,00
	6	0,493	0,50	0,188	1,00
	6	0,493	0,50	0,188	1,00
	6	0,493	0,50	0,188	1,00
	6	0,493	0,50	0,188	1,00
	6	0,493	0,50	0,188	1,00
Zona II	9	0,357	0,50	0,125	1,00
	9	0,357	0,50	0,125	1,00
	9	0,357	0,50	0,125	1,00
	9	0,357	0,50	0,125	1,00
	9	0,357	0,50	0,125	1,00
	9	0,357	0,50	0,125	1,00
Zona III	12	0,275	0,50	0,094	1,00
	12	0,275	0,50	0,094	1,00
	12	0,275	0,50	0,094	1,00
	12	0,275	0,50	0,094	1,00
	12	0,275	0,50	0,094	1,00
	12	0,275	0,50	0,094	1,00
Zona IV	15	0,230	0,50	0,075	1,00
	15	0,230	0,50	0,075	1,00
	15	0,230	0,50	0,075	1,00
	15	0,230	0,50	0,075	1,00
	15	0,230	0,50	0,075	1,00
	15	0,230	0,50	0,075	1,00

Adapun cara pemasangan geotekstil pada setiap zona dapat dilihat pada Gambar 5.13 di bawah ini.



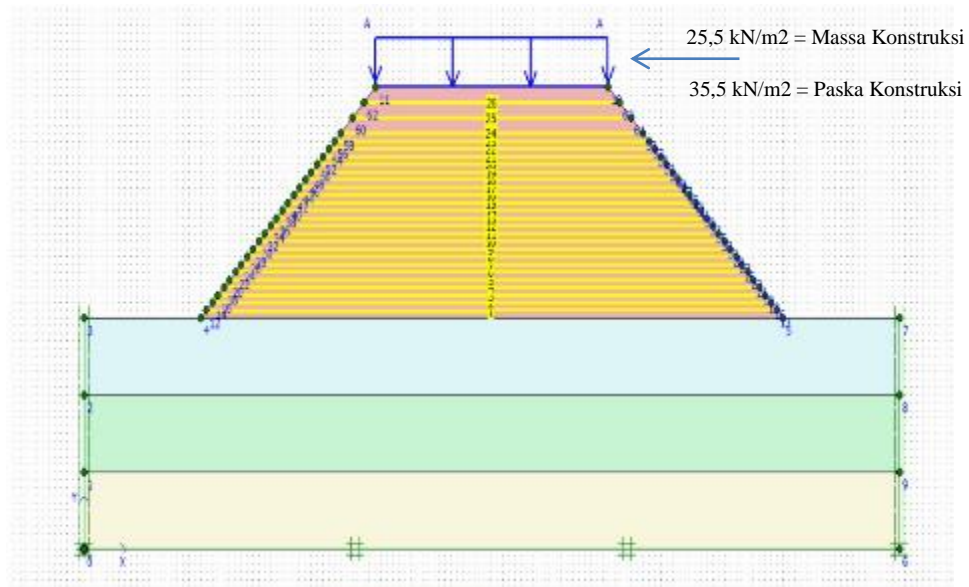
Gambar 5.13 Pemasangan Geotekstil Pada Setiap Zona

5.3.4 Timbunan Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil

Analisis dilakukan menggunakan *Plaxis V 8.2* pada tanah timbunan lereng badan jalan yang disesuaikan dengan keadaan di lapangan dan variasi tinggi timbunan sebesar 5 meter, 10 meter, serta 15 meter. Contoh permodelan yang akan ditampilkan yaitu pada lereng badan jalan dengan tinggi timbunan 15 meter. Dan 10 meter. Sedangkan untuk variasi tinggi timbunan 5 meter dapat dilihat pada lampiran gambar.

1. Permodelan pada program *Plaxis V 8.2*

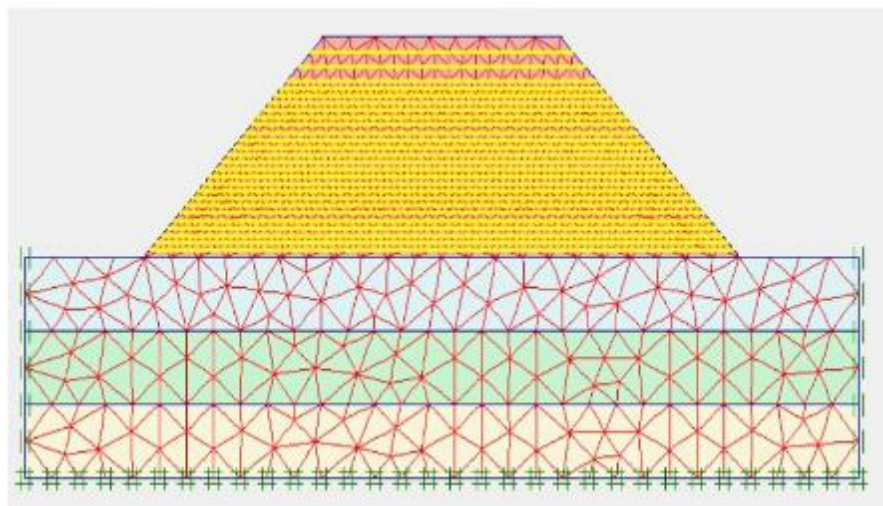
Permodelan dengan variasi tinggi timbunan sebesar 15 meter dan 10 meter pada kondisi masa konstruksi dan paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.13 di bawah ini.



Gambar 5.14 Pemodelan Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil

2. Pembuatan jaring elemen

Setelah dilakukan pemodelan dari dimensi tanah timbunan serta lapis tanah asli yang ada beserta beban – beban yang bekerja pada tanah tersebut diantaranya yaitu beban lalu lintas, beban gempa, juga data tanah dan data geotekstilnya sendiri. Langkah selanjutnya yaitu melakukan penyusunan jaring elemen hingga (*meshing*) pada lereng dengan jenis *fine* (*fine* disini menunjukkan bahwa hasil dari angka keamanan dan displacement yang terjadi semakin mendekati angka yang akurat karena tanah tersebut seperti dianalisa dengan pemecahan luasan tanah yang kecil – kecil).



Gambar 5.15 *Meshing* Timbunan 15 Meter Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil

3. Hasil perhitungan dengan program *Plaxis V 8.2*

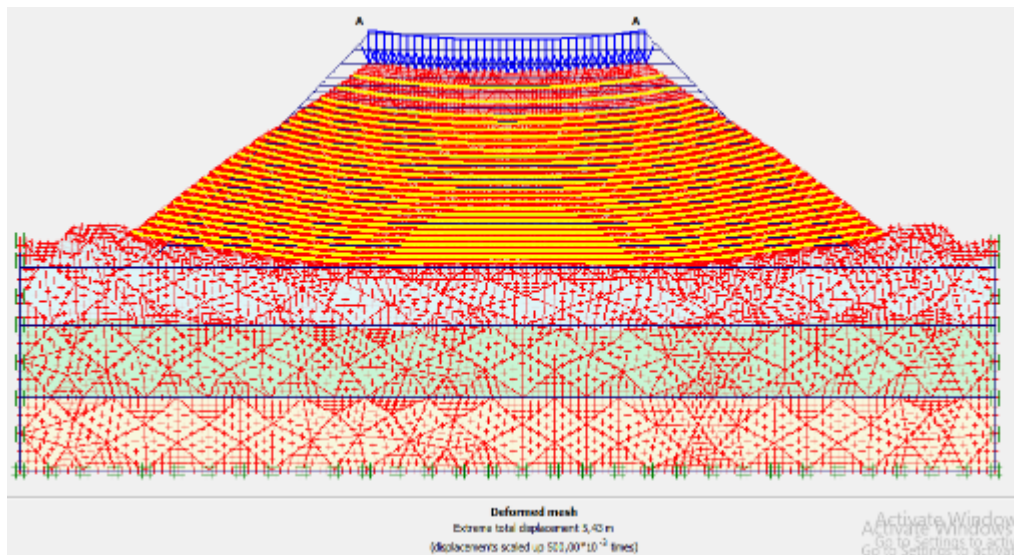
Setelah dilakukan proses perhitungan (*calculating*) dan *meshing*, selanjutnya dapat diketahui nilai dari hasil analisa tersebut berupa angka keamanan dan *displacement* pada timbunan tanah asli dengan perkuatan geotekstil pada masa dan paska konstruksi.

a. Tanpa beban gempa

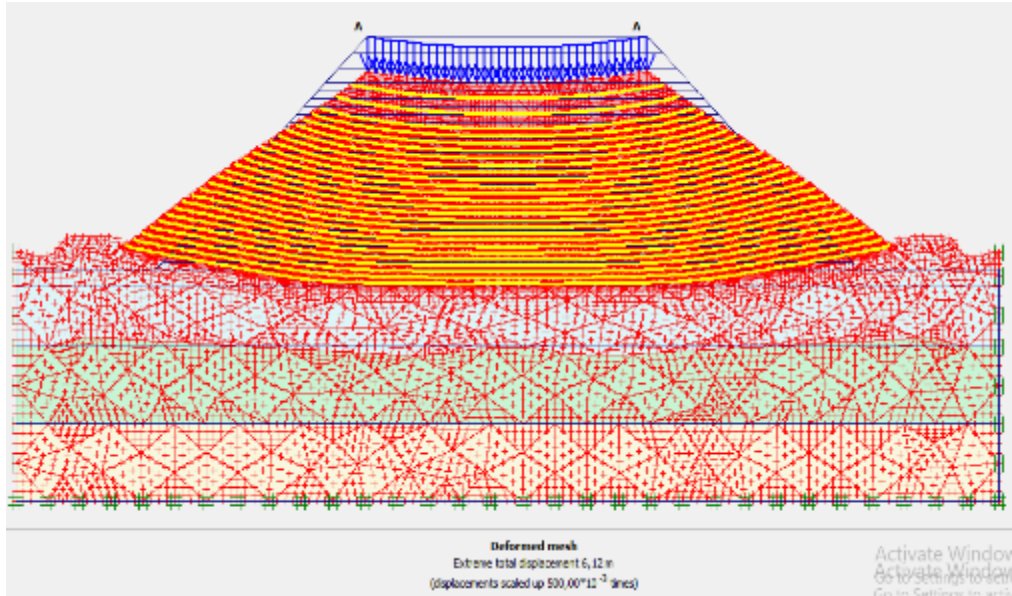
Hasil perhitungan yang didapatkan pada timbunan 15 meter dan 10 meter kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil tanpa beban gempa adalah sebagai berikut.

1) *Deformed Mesh*

Hasil dari deformed mesh pada lereng timbunan 15 meter dan 10 meter dalam kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.16 di bawah ini.



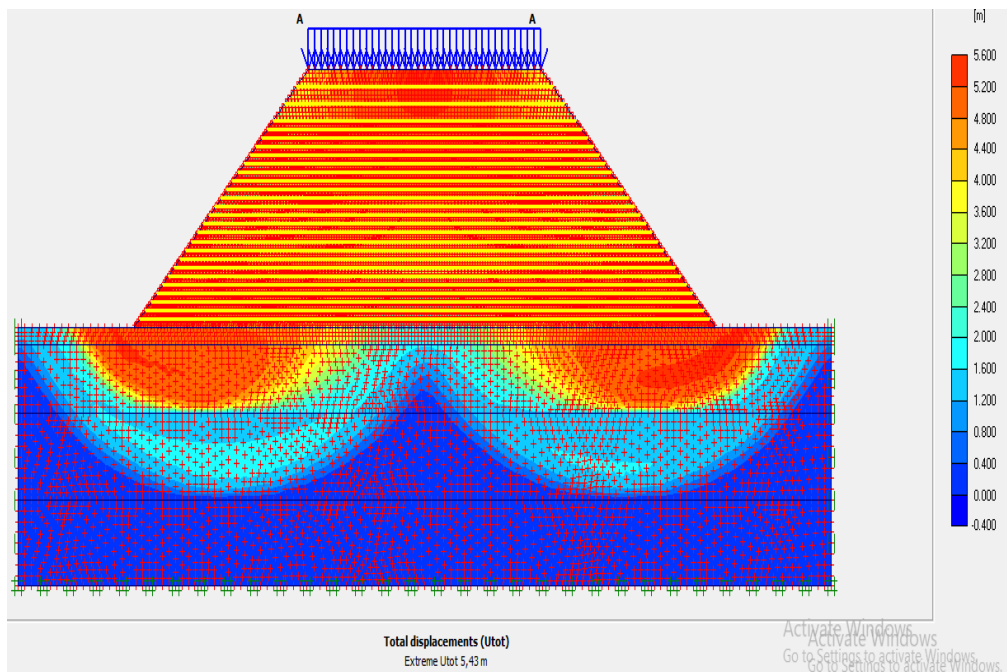
Gambar 5.16 Deformed Mesh Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



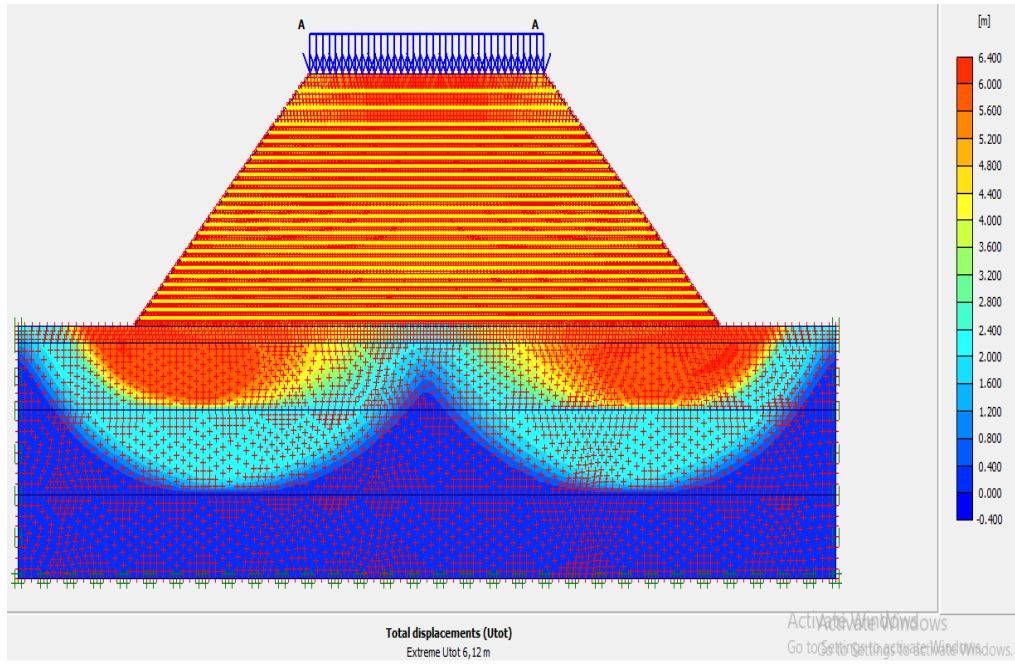
Gambar 5.17 Deformed Mesh Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa

2) *Total Displacement*

Besarnya nilai total displacements pada lereng timbunan 10 meter dapat dilihat pada Gambar 5.18 dan Gambar 5.19 di bawah ini.



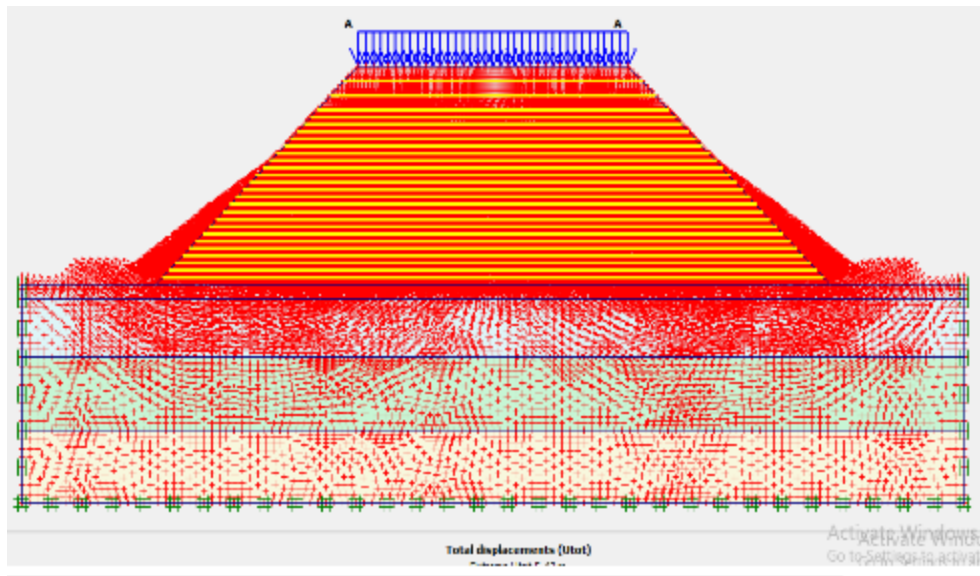
Gambar 5.18 Total Displacement Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



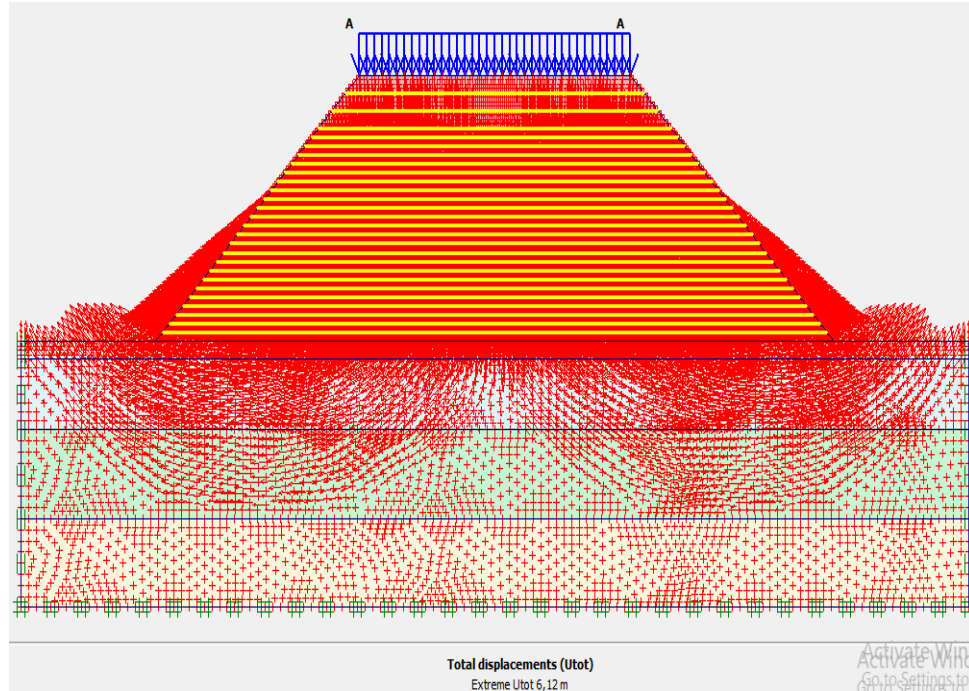
Gambar 5.19 Total Displacement Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa

3) Arah pergerakan tanah

Arah pergerakan dan bagian yang berpotensi untuk longsor pada lereng timbunan jalan 10 meter dapat dilihat pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21 di bawah ini.



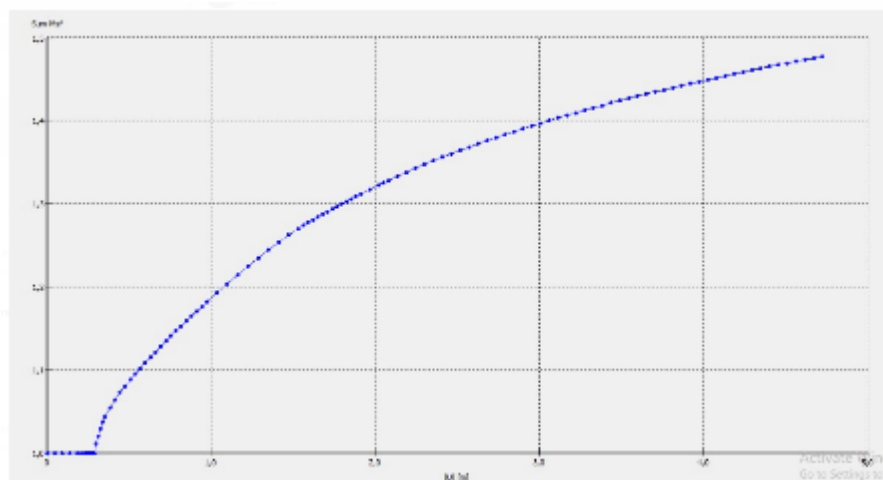
Gambar 5.20 Arah Pergerakan Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



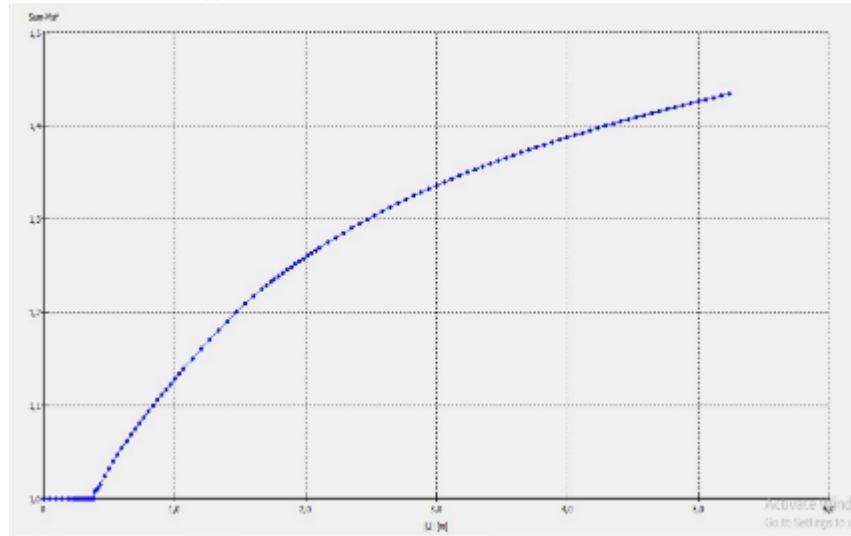
Gambar 5.21 Arah Pergerakan Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa

4) *Safety factor*

Pada tanah timbunan 10 meter kondisi tanah asli dengan geotekstil pada masa konstruksi mempunyai nilai angka keamanan sebesar 1,470 sedangkan pada masa paska konstruksi hasil angka keamanan sebesar 1,430. Grafik dari angka keamanan pada masa dan paska konstruksi timbunan 10 meter kondisi tanah asli dengan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 sebagai berikut.



Gambar 5.22 Grafik *Safety Factor* Tanah Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi



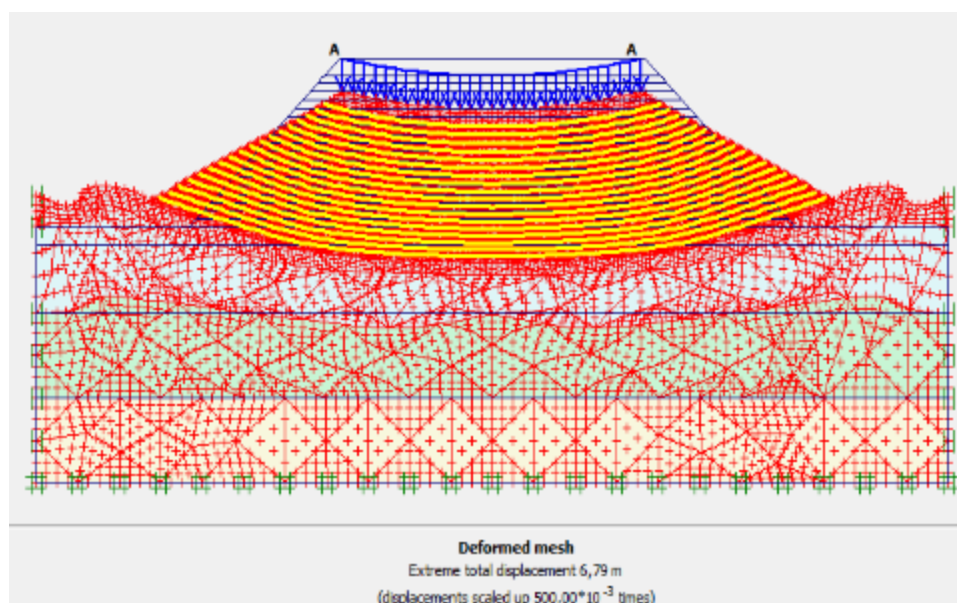
Gambar 5.23 Grafik *Safety Factor* Tanah Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil Paska Konstruksi

b. Dengan beban gempa

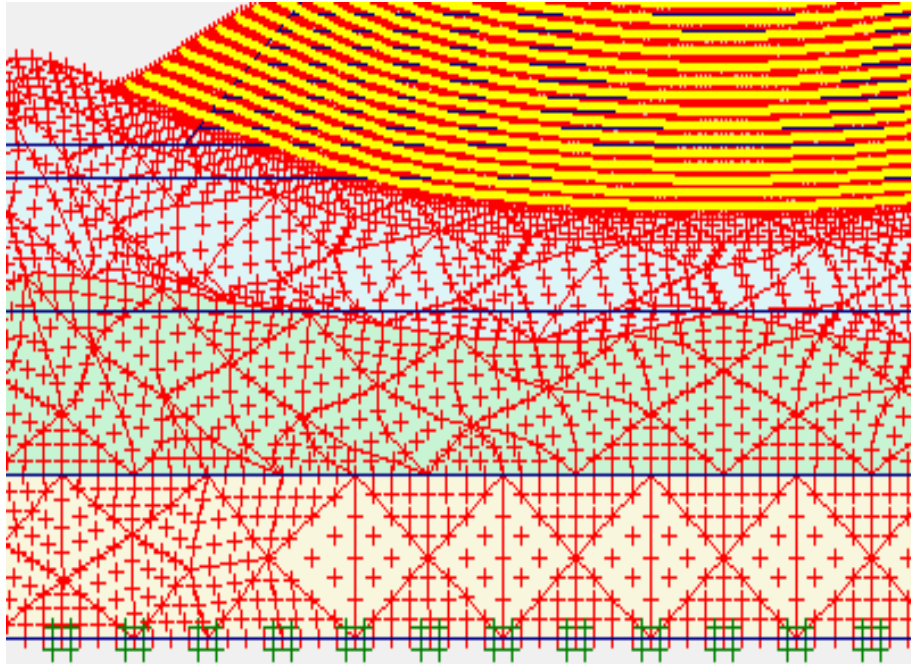
Hasil dari analisis yang didapatkan pada timbunan 10 meter kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil dengan beban gempa adalah sebagai berikut.

1) *Deformed Mesh*

Untuk hasil deformed mesh pada timbunan 10 meter kondisi tanah asli dengan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25 berikut.



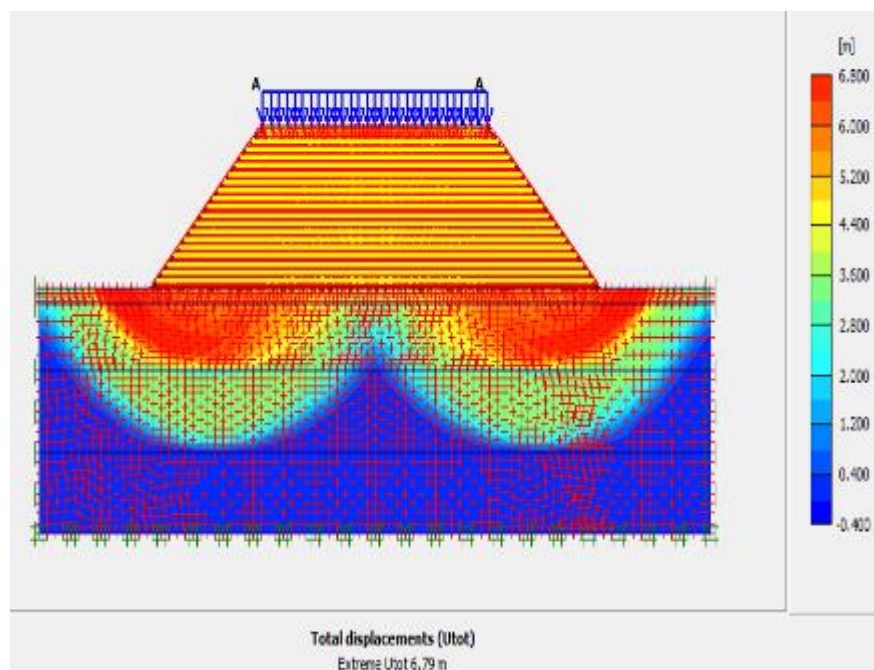
Gambar 5.24 *Deformed Mesh* Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



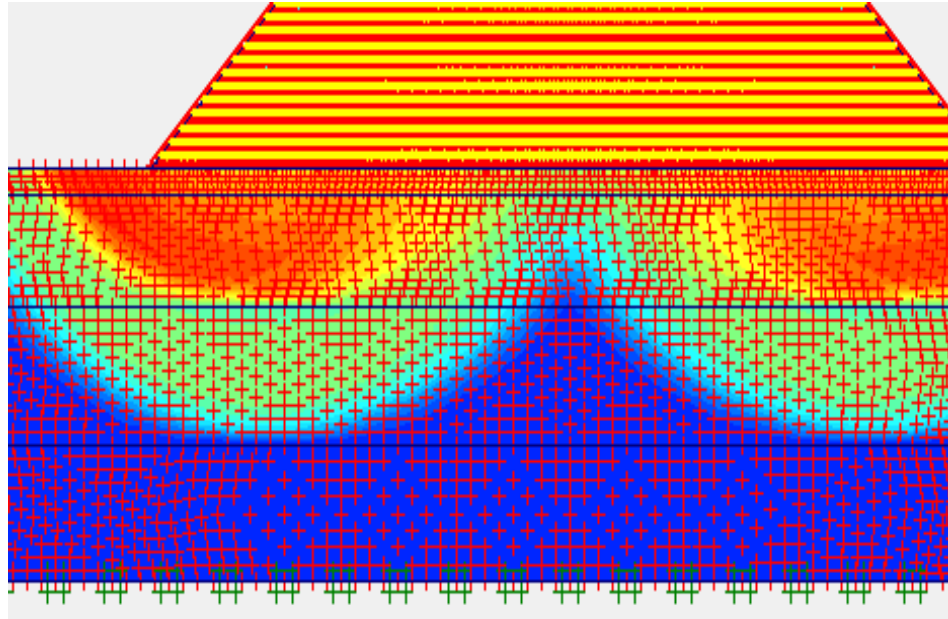
Gambar 5.25 Deformed Mesh Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa

2) *Total Displacements*

Besarnya nilai total displacements pada badan jalan dengan tinggi timbunan 10 meter dapat dilihat pada Gambar 5.26 dan Gambar 5.27 berikut.



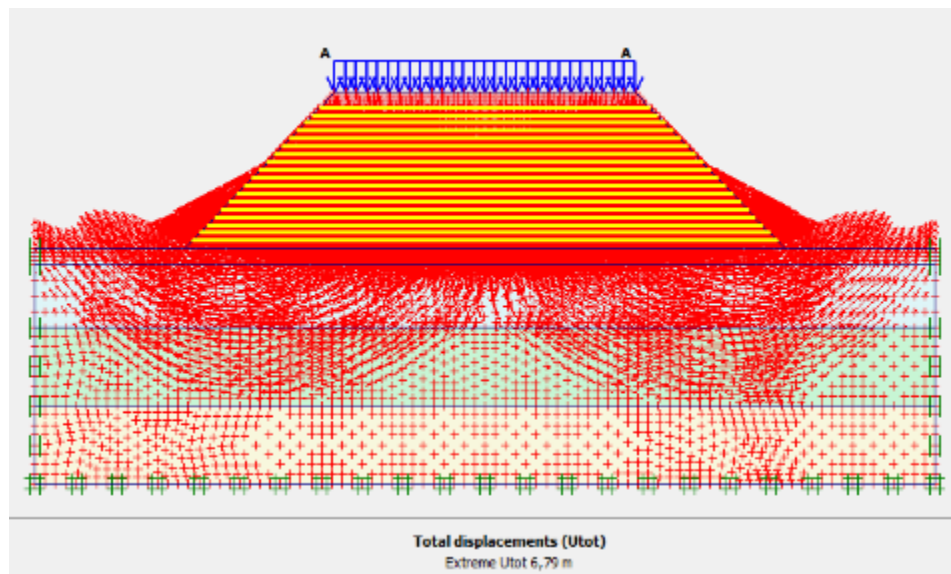
Gambar 5.26 Total Displacement Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



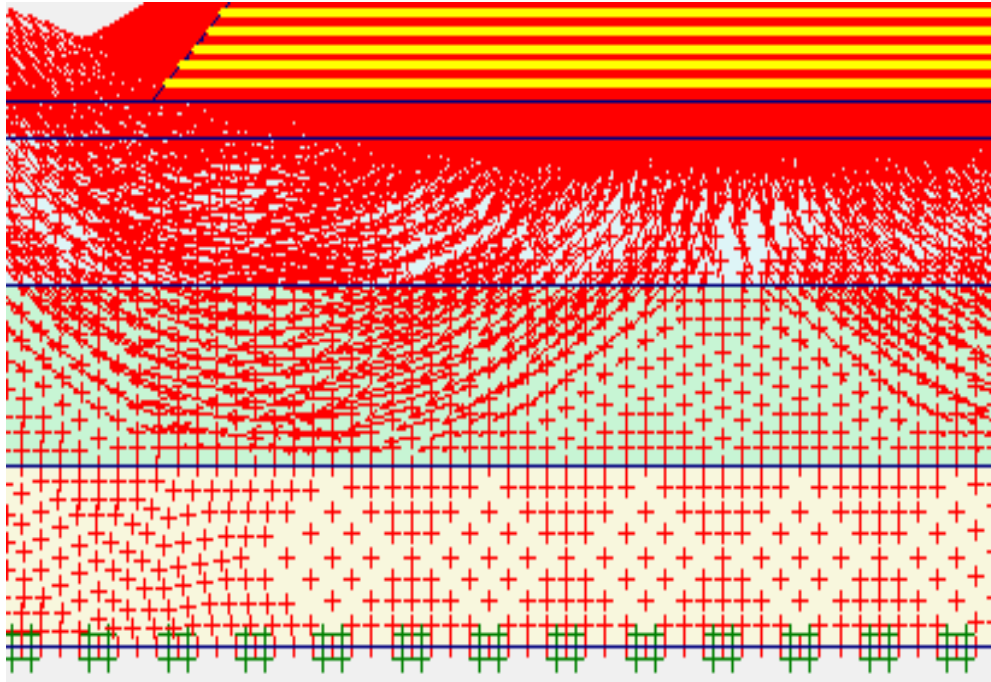
Gambar 5.28 Total Displacement Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa

3) Arah pergerakan tanah

Arah pergerakan dan daerah potensial longsor pada lereng timbunan jalan dengan variasi tinggi 10 meter dapat dilihat pada Gambar 5.28 dan Gambar 5.29 berikut.



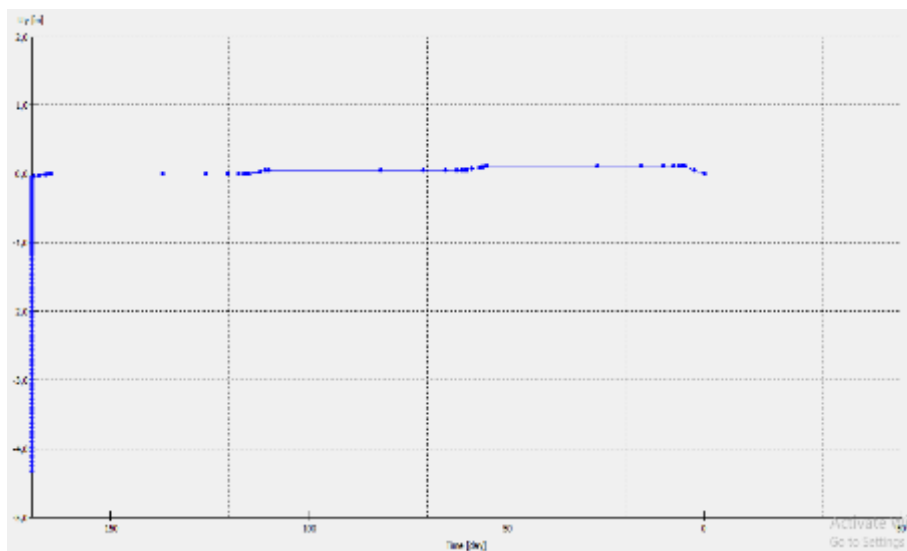
Gambar 5.28 Arah Pergerakan Timbunan 10 M Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



Gambar 5.29 Arah Pergerakan Timbunan 15 M Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa

c. Penurunan

Nilai penurunan yang didapat dari analisa lereng timbunan jalan sebesar 10 meter kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil dengan perhitungan *excess pore water pressure* adalah sebesar 0,157 meter. Grafik penurunan *excess pore water pressure* dapat dilihat pada Gambar 5.30 di bawah ini.



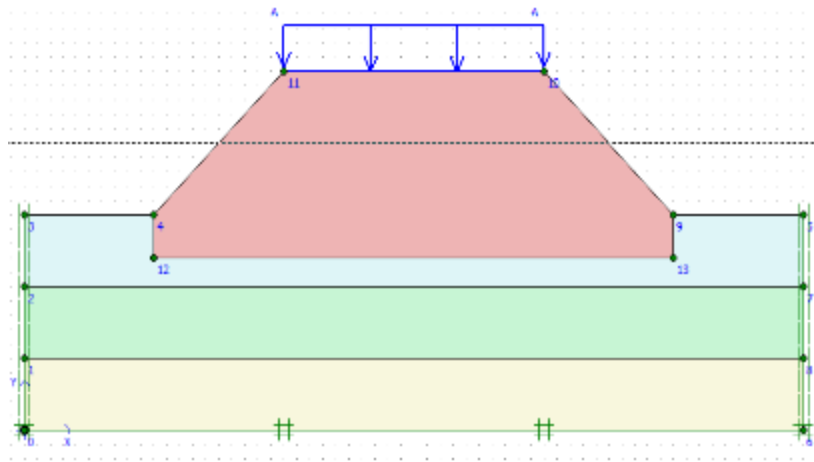
Gambar 5.30 Grafik Penurunan Perhitungan *Excess Pore Water Pressure* pada Lereng Timbunan 10 M Kondididi Tanah Asli Dengan Geotekstil

5.3.5 Timbunan Dengan *Replacement* Tanah Asli

Sedangkan untuk analisa tanah timbunan dengan replacement tanah asli sebesar 2 meter juga menggunakan program Plaxis V 8.2 yang mana hasilnya dapat dilihat pada gambar – gambar di bawah ini.

1. Permodelan

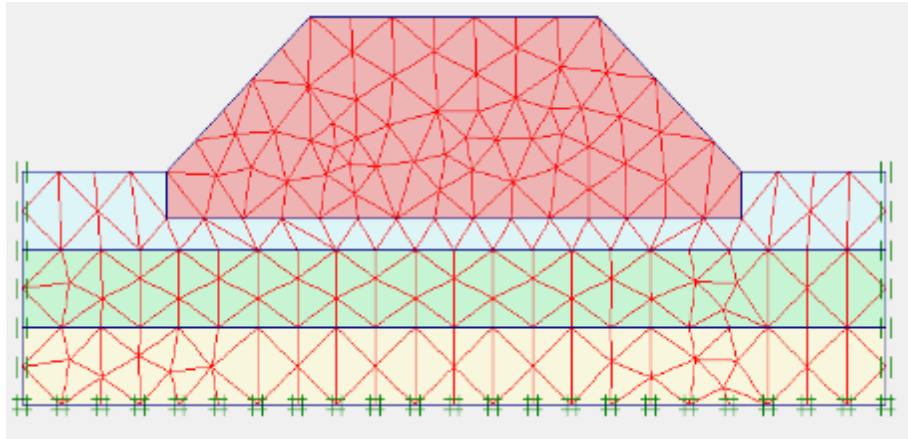
Permodelan dengan variasi tinggi timbunan 15 meter pada saat konstruksi maupun paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.31 di bawah ini.



Gambar 5.31 Permodelan Timbunan 15 M Kondisi *Replacement* Tanah Asli

2. Pembuatan Jaring Elemen

Setelah dilakukan permodelan, input data tanah, data beban perkerasan, beban lalu lintas, dan data gempa seperti yang telah dilakukan pada analisa sebelumnya. Langkah selanjutnya yaitu melakukan penyusunan jaring elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan dengan jenis *fine*. Jaring elemen hingga pada tanah *replacement* 15 m dapat dilihat pada Gambar 5.32 di bawah ini.



Gambar 5.32 Meshing Timbunan 15 M Kondisi *Replacement* Tanah Asli

3. Hasil perhitungan dengan program *Plaxis V 8.2*

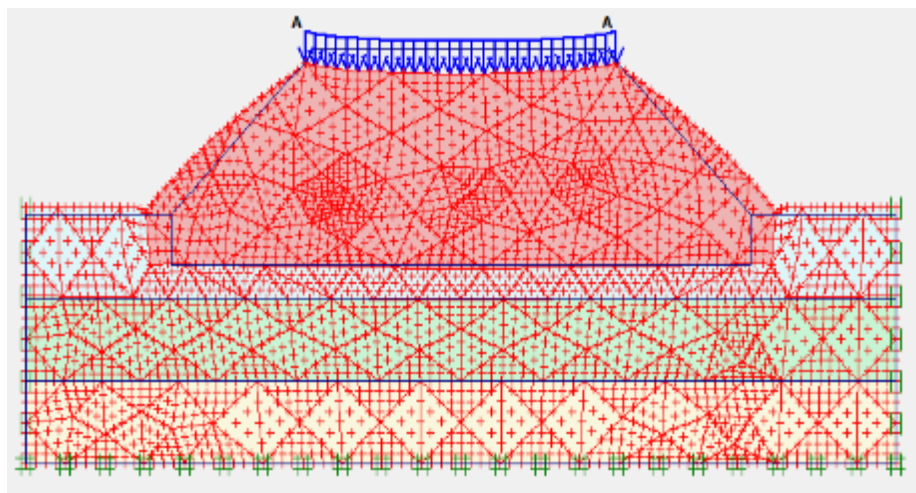
Setelah dilakukan proses perhitungan (*calculating*) dan *meshing*, selanjutnya dapat diketahui nilai dari hasil analisa tersebut berupa angka keamanan dan *displacement* pada timbunan tanah asli dengan perkuatan geotekstil pada masa dan paska konstruksi.

a. Tanpa beban gempa

Hasil perhitungan yang didapatkan pada timbunan 15 meter dan 10 meter kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil tanpa beban gempa adalah sebagai berikut.

1) *Deformed Mesh*

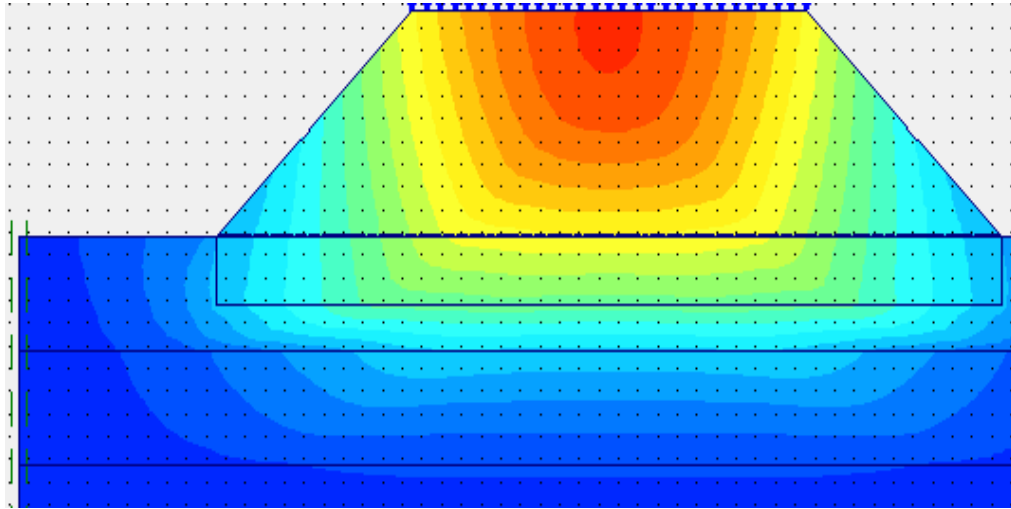
Hasil dari deformed mesh pada lereng timbunan 15 meter dalam kondisi tanah asli dengan *replacement* dapat dilihat pada Gambar 5.33 di bawah ini.



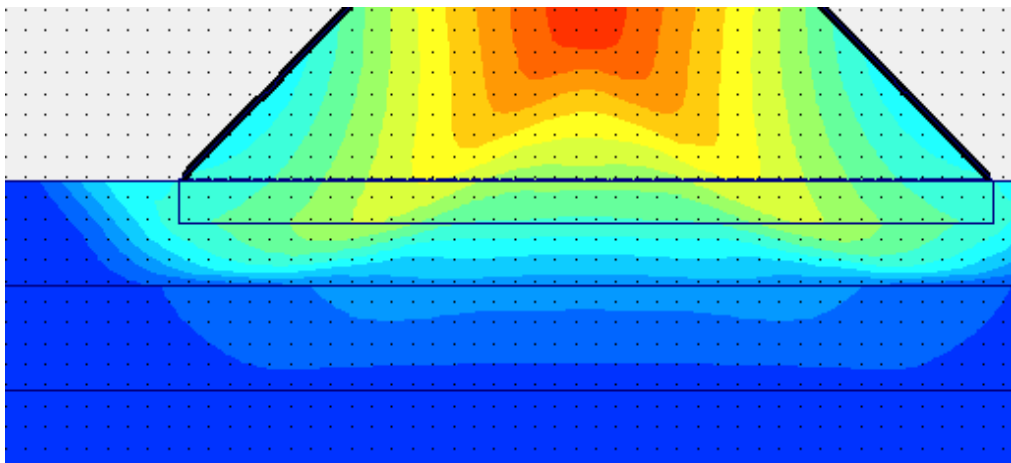
Gambar 5.33 *Deformed Mesh* Timbunan 10 M Kondisi *Replacement* Tanah Asli sebesar 2 M

2) *Total Displacement*

Besarnya nilai total displacements pada lereng timbunan 15 meter dapat dilihat pada Gambar 5.34 dan Gambar 5.35 di bawah ini.



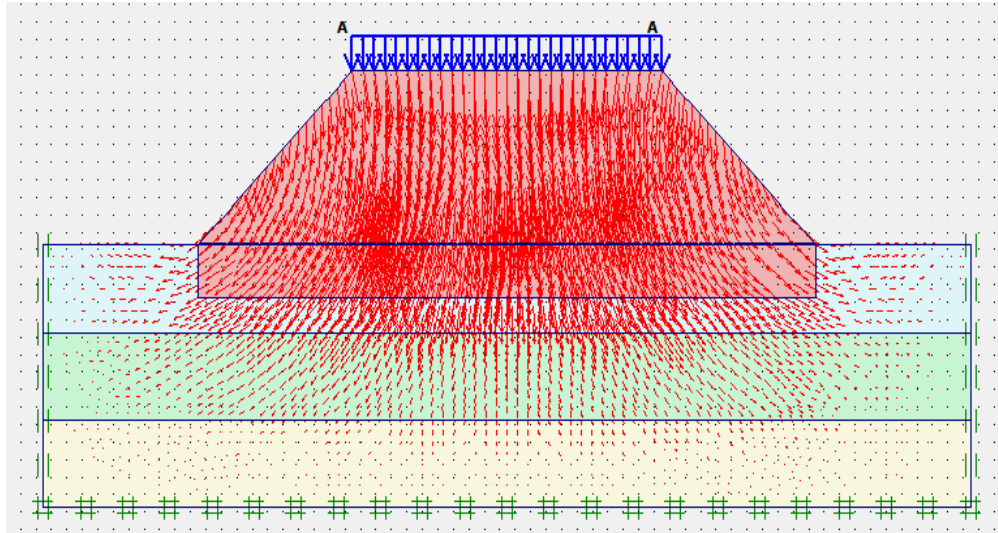
Gambar 5.34 *Total Displacement* Timbunan 15 M Kondisi *Replacement* Tanah Asli sebesar 2 M Tanpa Beban Gempa pada Masa Konstruksi



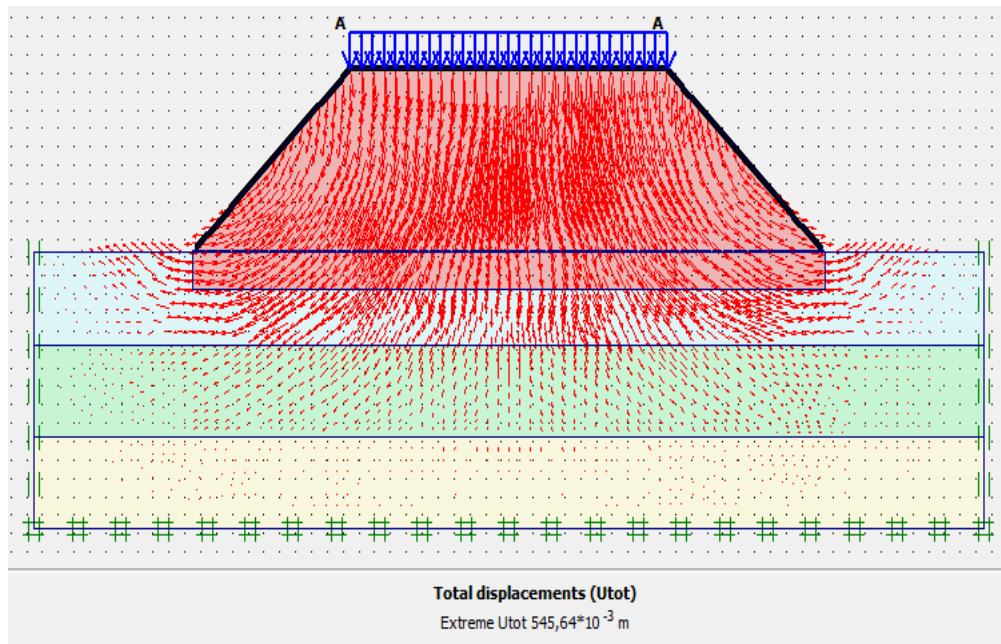
Gambar 5.35 *Total Displacement* Timbunan 15 M Kondisi *Replacement* Tanah Asli sebesar 2 M Tanpa Beban Gempa pada Paska Konstruksi

3) Arah pergerakan tanah

Arah pergerakan dan daerah potensial longsor pada lereng timbunan jalan dengan variasi tinggi 15 meter dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 5.36 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 15 M Kondisi *Replacement* Tanah Asli sebesar 2 M Tanpa Beban Gempa pada Masa Konstruksi

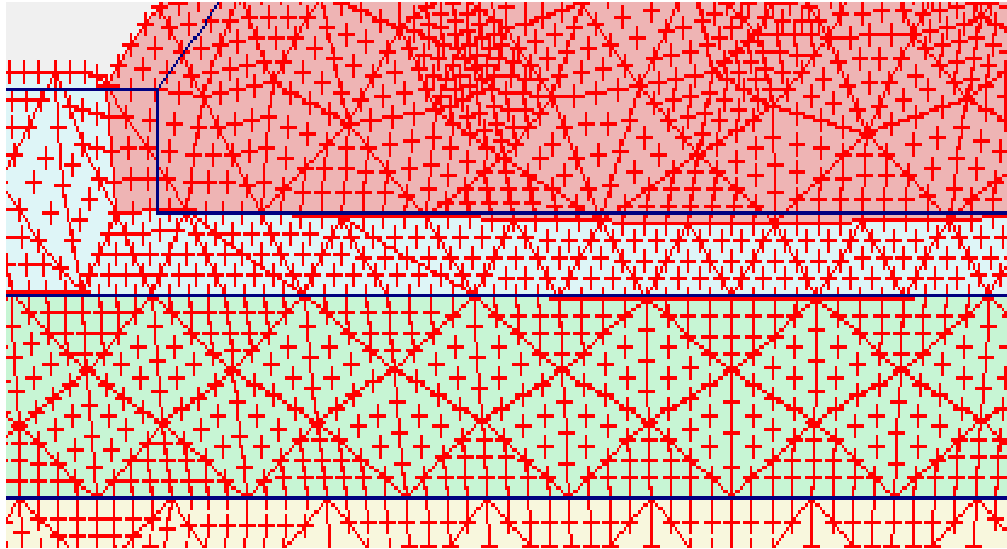


Gambar 5.37 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 15 M Kondisi *Replacement* Tanah Asli sebesar 2 M Tanpa Beban Gempa pada Paska Konstruksi

b. Dengan beban gempa

1) *Deformed Mesh*

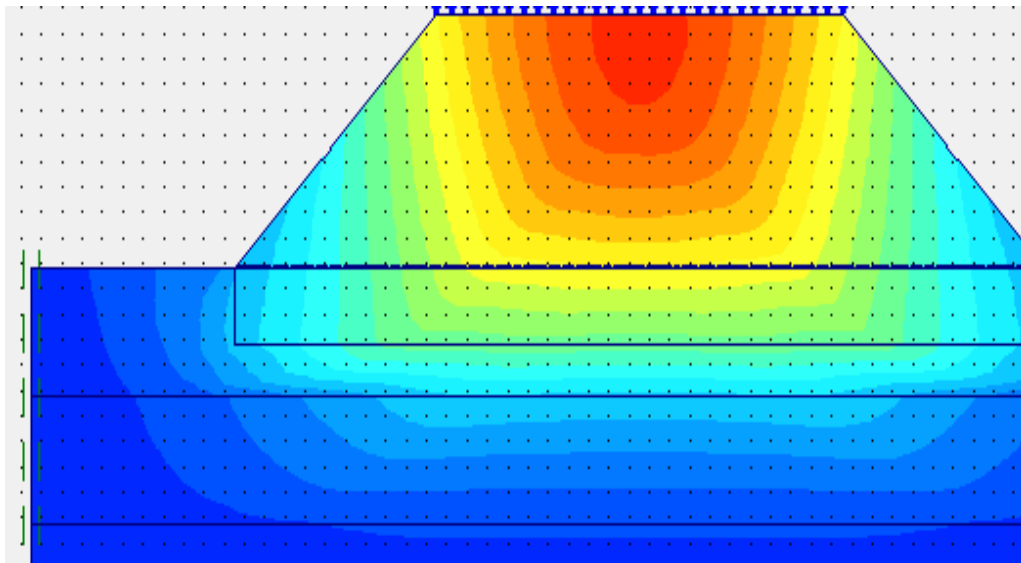
Untuk hasil deformed mesh timbunan 15 meter kondisi replacement tanah asli 2 meter dapat dilihat pada Gambar 5.38 di bawah ini.



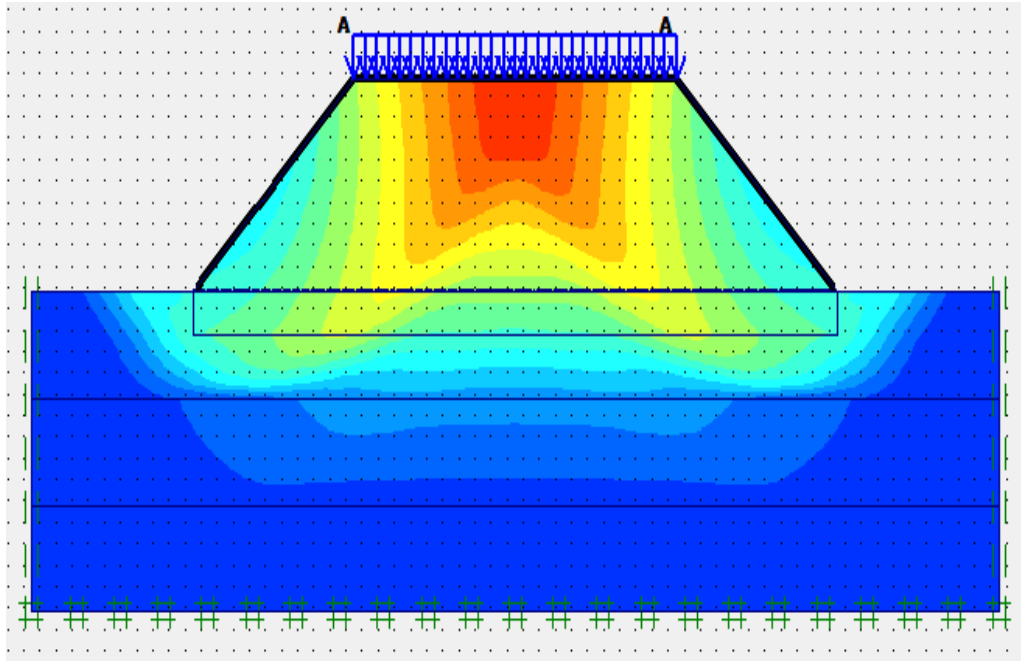
Gambar 5.38 Deformed Mesh Timbunan 10 M Kondisi Replacement Tanah Asli sebesar 2 M

2) *Total displacement*

Besarnya nilai total displacements pada lereng timbunan 15 meter dapat dilihat pada Gambar 5.39 dan Gambar 5.40 di bawah ini.



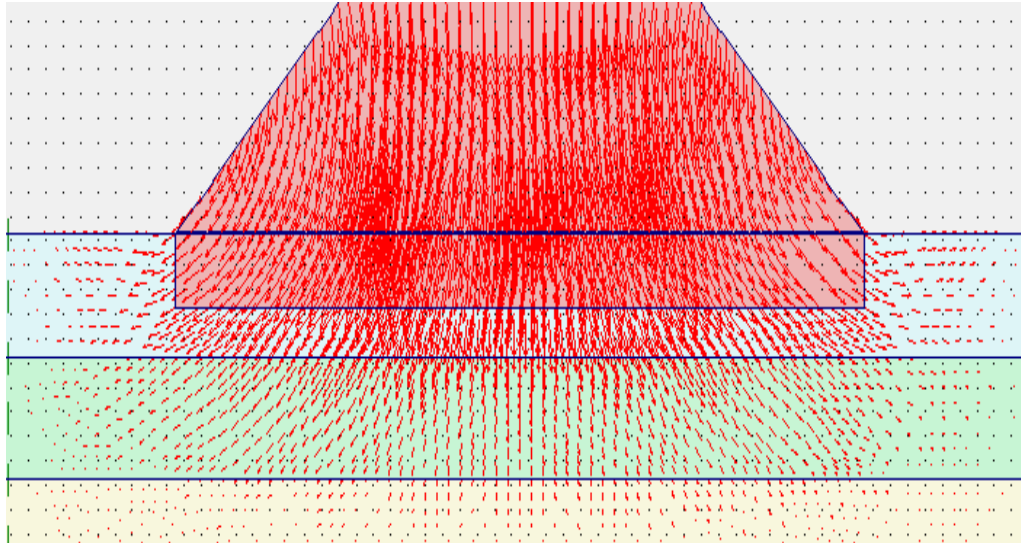
Gambar 5.39 Total Displacement Timbunan 10 M Kondisi Replacement Tanah Asli sebesar 2 M Dengan Beban Gempa pada Masa Konstruksi



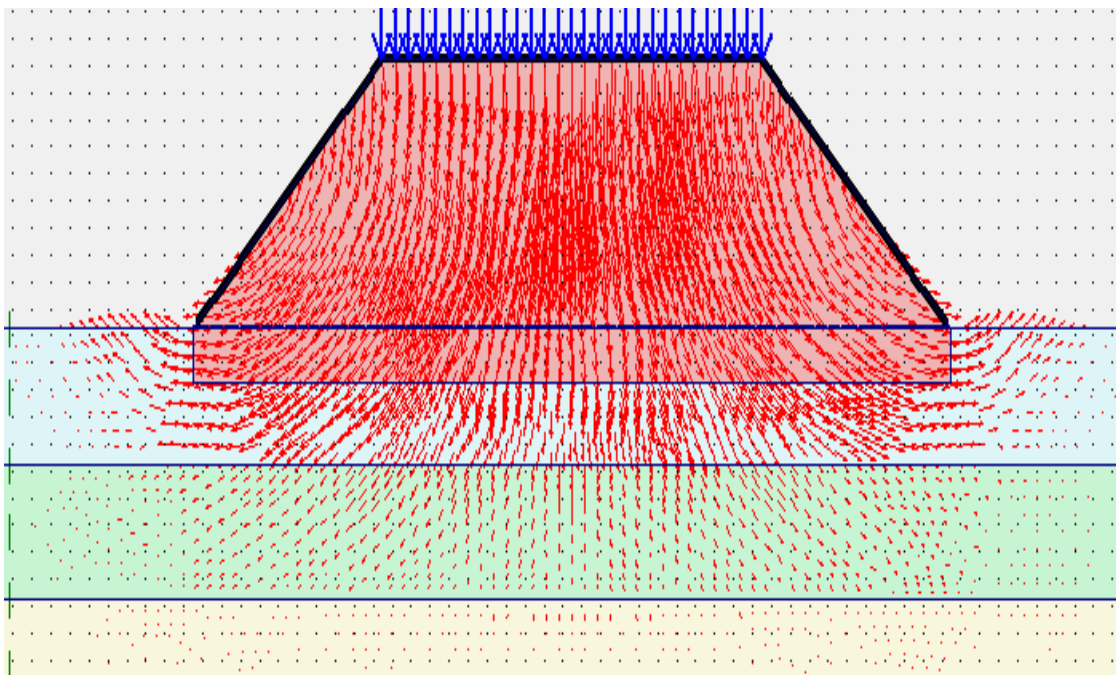
Gambar 5.40 *Total Displacement* Timbunan 10 M Kondisi *Replacement* Tanah Asli sebesar 2 M Dengan Beban Gempa pada Paska Konstruksi

3) Arah pergerakan tanah

Arah pergerakan dan daerah potensial longsor pada lereng timbunan jalan dengan variasi tinggi 15 meter dapat dilihat pada Gambar 5.41 dan Gambar 5.42 di bawah ini.



Gambar 5.41 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 15 M Kondisi *Replacement* Tanah Asli sebesar 2 M Dengan Beban Gempa pada Masa Konstruksi



Gambar 5.42 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 15 M Kondisi *Replacement* Tanah Asli sebesar 2 M Dengan Beban Gempa pada Paska Konstruksi

5.4 Pembahasan

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan pada lereng timbunan badan jalan untuk mengetahui besarnya angka keamanan pada timbunna. Analisa ini dilakukan menggunakan program *Plaxis V 8.2* dengan variasi timbunan sebesar 5 meter, 10 meter,

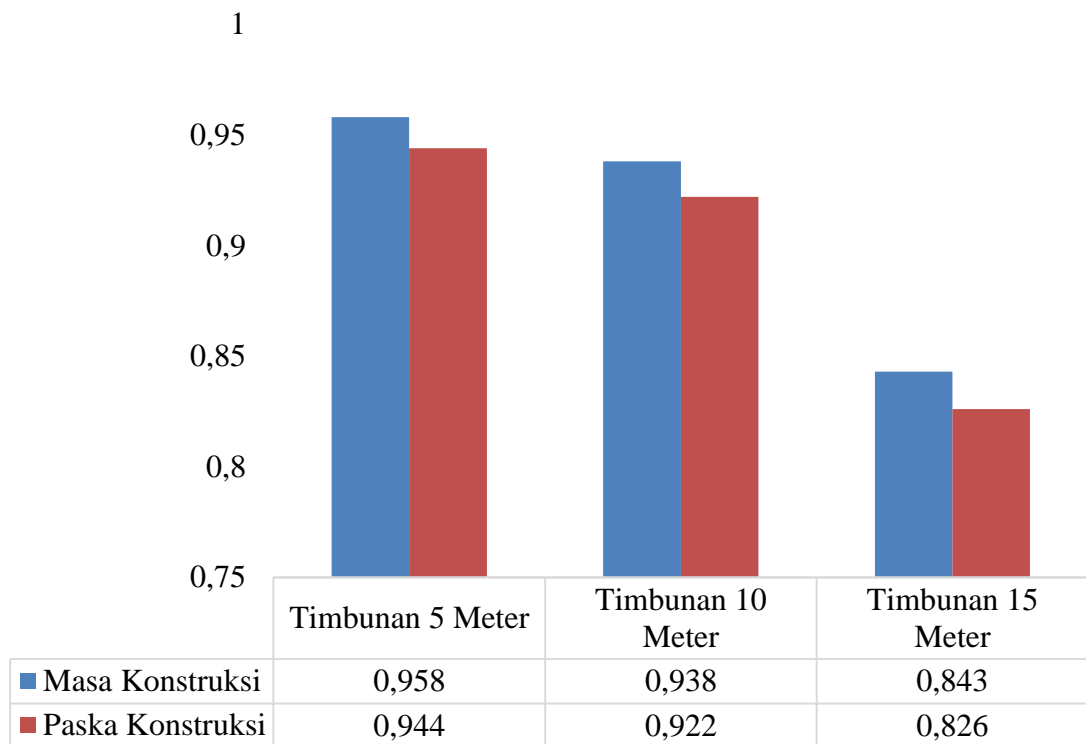
dan juga 15 meter pada kondisi tanah asli, dengan perkuatan geotekstil, maupun replacement tanah.

1. Angka kewanan

Perhitungan angka keamanan pada *Plaxis V 8.2* hanya dapat menghitung kondisi tanpa gempa, sedangkan angka keamanan pada kondisi dengan beban gempa tidak dapat dihitung setelah proses perhitungan dinamik pada *Plaxis V 8.2*. Sehingga analisis gempa dinamik hanya dapat menghitung total displacements yang terjadi. Perhitungan angka keamanan pada kondisi tanah asli dengan menggunakan program *Plaxis V 8.2* 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 5.13 dan Gambar 5.45 berikut ini.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Angka Keamanan Menggunakan Metode *Fellenius*

Timbunan	Angka Keamanan	
	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi
5	0,958	0,944
10	0,938	0,922
15	0,843	0,826



Gambar 5.45 Grafik Perhitungan Angka Keamanan pada Kondisi Tanah Asli Menggunakan Metode Fellenius

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan dengan program *Plaxis V 8.2* pada setiap variasi timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter pada kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil dan replacement tanah, didapatkan perhitungan total displacements dan angka keamanan pada setiap variasi timbunan yang dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.15 di bawah ini.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Angka Keamanan Dengan Plaxis Dengan Beban Gempa

Variasi Timbunan	Pemodelan	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi
Timbunan 5 M	Tanah Asli	collapse	collapse
	Tanah Asli dengan Geotekstil	2,170	2,050
	Replacement 2 M	1,668	1,534
Timbunan 10 M	Tanah Asli	collapse	collapse
	Tanah Asli dengan Geotekstil	1,470	1,430
	Replacement 2 M	1,090	1,020
Timbunan 15 M	Tanah Asli	collapse	collapse
	Tanah Asli dengan Geotekstil	1,175	1,144
	Replacement 2 M	1,011	1,009

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Angka Keamanan Dengan Plaxis Tanpa Beban Gempa

Variasi Timbunan	Pemodelan	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi
Timbunan 5 M	Tanah Asli	collapse	collapse
	Tanah Asli dengan Geotekstil	2,117	2,065
	Replacement 2 M	1,756	1,569
Timbunan 10 M	Tanah Asli	collapse	collapse
	Tanah Asli dengan Geotekstil	1,475	1,437
	Replacement 2 M	1,111	1,212
Timbunan 15 M	Tanah Asli	Collapse	collapse
	Tanah Asli dengan Geotekstil	1,183	1,154
	Replacement 2 M	1,109	1,019

Dari hasil analisa yang telah dilakukan, dapat dilihat pada tabel di atas bahwa tanah asli akan mengalami kenaikan daya dukung tanah setelah dilakukan perkuatan geotekstil dan

replacement tanah asli yaitu pada timbunan 5 meter, 10 meter, dan 15 meter untuk pada kondisi masa maupun paska konstruksi dengan beban gempa dan tanpa beban gempa.

Analisa penurunan yang dilakukan dengan *Plaxis V 8.2* yaitu dengan perhitungan *excess pore water pressure*. Nilai besaran penurunan yang dianalisis dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut ini.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Penurunan *Excess Pore Water Pressure*

Variasi Timbunan	Permodelan	Penurunan (m)
Timbunan 5 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>
	Tanah Asli Dengan Geotekstil	0,187
	Tanah Asli Dengan <i>Replacement</i>	0,198
Timbunan 10 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>
	Tanah Asli Dengan Geotekstil	0,221
	Tanah Asli Dengan <i>Replacement</i>	0,234
Timbunan 15 m	Tanah Asli	<i>collapse</i>
	Tanah Asli Dengan Geotekstil	0,313
	Tanah Asli Dengan <i>Replacement</i>	0,354

Dari tabel di atas dapat dilihat hasil dari penurunan masing – masing tinggi timbunan pada saat sebelum dilakukan perkuatan, setelah diberi perkuatan geotekstil, dan setelah dilakukan replacement tanah asli sebesar 2 meter.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

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

1. Hasil analisa stabilitas timbunan pada kondisi tanah asli dengan menggunakan program *Plaxis V 8.2* mengalami *soil body collapse* untuk timbunan 10 meter dan 15 meter sedangkan untuk timbunan 5 meter. Sehingga untuk mencari nilai keamanannya dapat dihitung menggunakan metode *fellenius*, dan dipadatkan angka keamanan sebesar 0,944 untuk timbunan 5 meter, timbunan 10 meter sebesar 0,922, dan timbunan 15 meter sebesar 0,826 pada masa konstruksi, dan 0,958 pada timbunan 5 meter, 0,938 pada timbunan 10 meter, dan 0,843 pada timbunan 15 meter untuk kondisi paska konstruksi.
2. Hasil analisis penurunan menggunakan program *Plaxis V 8.2* kondisi tanah asli pada setiap variasi timbunan sebesar 5 meter, 10 meter, dan 15 meter terjadi *soil body collapse* pada saat dilakukan perhitungan penurunannya.
3. Hasil analisa stabilitas timbunan pada kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis V 8.2* pada masa konstruksi didapatkan angka aman untuk timbunan 5 meter sebesar 2,170 dan paska konstruksi sebesar 2,050 sedangkan untuk timbunan 10 meter sebesar 1,470 pada masa konstruksi dan 1,430 pada kondisi paska konstruksi, dan untuk timbunan 15 meter pada masa
4. Hasil analisis penurunan dengan menggunakan program *Plaxis V 8.2* pada kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil didapatkan nilai penurunan untuk perhitungan *excess pore water pressure* pada timbunan 5 meter mempunyai nilai sebesar 0,187 meter dengan waktu 110 hari, pada timbunan 10 meter mempunyai nilai penurunan sebesar 0,221 dengan waktu 112 hari, dan pada timbunan 15 meter masih mengalami *collapse*.
5. Hasil analisa stabilitas timbunan pada kondisi *replacement* tanah asli sebesar 2 meter menggunakan program *Plaxis V 8.2* pada masa konstruksi didapatkan angka aman untuk timbunan 5 meter sebesar 1,668 dan paska konstruksi sebesar 1,534 sedangkan untuk timbunan 10 meter sebesar 1,040 pada masa konstruksi dan 1,020 pada kondisi

paska konstruksi, dan untuk timbunan 15 meter pada masa maupun paska konstruksi terjadi *soil body collapse*.

6. Hasil analisis penurunan dengan menggunakan program *Plaxis V 8.2* pada kondisi tanah asli dengan *replacement* tanah sebesar 2 meter didapatkan nilai penurunan untuk perhitungan *excess pore water pressure* pada didapat hasil penurunan pada timbunan 5 meter sebesar 0,221 dengan waktu 112 hari, pada timbunan 10 meter sebesar 0,234 dengan waktu 131 hari, dan untuk timbunan 15 meter masih mengalami *collapse*.
7. Penambahan geotekstil pada kondisi tanah asli dapat meningkatkan angka keamanan pada masing – masing timbunan akan tetapi untuk timbunan yang lolos syarat minimum dari angka aman yaitu hanya pada timbunan 5 meter, bahkan pada timbunan 15 meter masih mengalami *soil body collapse* begitu juga dengan cara *replacement* tanah asli sebesar 2 meter, cara ini juga mampu untuk menaikkan angka aman dari suatu timbunan juga sebagai alternatif lain apabila pada daerah tersebut dirasa susah dan mahal untuk mendapatkan geotekstil, akan tetapi cara ini lebih membutuhkan waktu pengerjaan yang lama dibandingkan dengan perkuatan menggunakan geotekstil.
8. Penambahan geotekstil maupun *replacement* tanah asli 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 V 8.2* dengan perkuatan geotekstil dan *replacement* tanah asli, didapatkan hasil angka keamanan pada variasi timbunan memiliki tingkat kerentanan gerakan tanah pada tahapan tinggi. Oleh karena itu, perkuatan yang digunakan dapat ditambah dengan *Prefabricated Vertical Drainage (PVD)* atau counterweight agar dapat mengurangi gerakan tanah yang terjadi atau dengan melanjutkan dengan cara *replacement* tanah dan juga *replacement* tanah asli beserta perkuatan geotekstil.
2. Analisa 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., Ticoth, 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.
- 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.
- PT Bina Karya. 2020. Data Jalan Tol Medan – Banda Aceh.
- PT Prima Geotex Indo. 2021. Data Geotekstil. Banten.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Penyelidikan Tanah

Properties Tanah

- **Material Timbunan**

Properties material timbunan diperoleh dengan melakukan test terhadap contoh tanah yang diambil dari lokasi sumber material timbunan berjarak 5 – 10 km dari rencana jalan. Dari hasil test terhadap material timbunan berupa compaction, triaxial dan index properties diperoleh hasil sebagai berikut :

Berat isi tanah : $\gamma_d = 1.65 \text{ t/m}^3 = 16.5 \text{ kN/m}^3$

Kohesi tanah : $C = 0.35 \text{ kg/sm}^2 = 35 \text{ kN/m}^2$

Sudut geser dalam : $\phi = 8^\circ$

▪ **Lapisan Tanah Dasar**

Untuk perhitungan stabilitas lereng digunakan data tanah hasil test laboratorium. Adapun data yang digunakan adalah data rata – rata atau yang dianggap dapat mewakili sepanjang trase jalan.

○ Kedalaman 0 – 5 m

Berat isi tanah : $\gamma_t = 16 \text{ kN/m}^3$

Kohesi tanah : $C = 25 \text{ kN/m}^2$

Sudut geser dalam : $\phi = 5^\circ$

○ Kedalaman 5 – 10 m

Berat isi tanah : $\gamma_t = 16,4 \text{ kN/m}^3$

Kohesi tanah : $C = 30 \text{ kN/m}^2$

Sudut geser dalam : $\phi = 7^\circ$

○ Kedalaman 10 – 15 m

Berat isi tanah : $\gamma_t = 16,6 \text{ kN/m}^3$

Kohesi tanah : $C = 35 \text{ kN/m}^2$

Sudut geser dalam : $\phi = 12^\circ$

▪ **Faktor Keamanan Stabilitas Lereng**

Safety Factor	Significance
< 1	Unsafe
1 – 1.2	Questionable safety
1.3 – 1.4	Satisfactory for cuts, fills, questional for dams
1.5 – 1.75	Safe for dams

Lampiran 2 Data Geotextile



Geotextile Woven

Double Twist

Struktur anyaman yang kekar (Double Twist) dari Geotextile Woven menjamin tidak akan mudah robek pada saat dipasang di lapangan.

Texture Unik

Bentuk Permukaan dari Geotextile Woven yang sangat unik memberikan koefisien geser (Pull Out Resistance) besar ketika dipasang pada tanah kohesif sekalipun.

Kuat Tarik Tinggi

Kuat tarik adalah parameter penting untuk aplikasi perkuatan, karena produksi yang canggih, Geotextile Woven memberikan kuat tarik maksimal pada berat tahanan minimal.



UNTUK KEKUATAN YANG LEBIH BAIK



Aplikasi:
 Konstruksi Jalan
 Perkuatan Lereng dan Dinding Penahan
 Lap. Olah Raga
 Perkuatan Dasar Timbunan
 Lahan Penumpukan Kontainer

Geotextile Woven

Geotextile woven adalah produk geotextile tipe woven yang tersusun dari anyaman silt film tape polypropylene. Penggunaan geotextile tipe woven yang sangat luas di Indonesia mendorong terus ditingkatkannya kualitas produk. Geotextile Woven diproduksi menggunakan mesin yang dikhususkan untuk produk - produk geotextile. Dengan didukung pengetahuan geoteknik terbaik juga peralatan produksi yang canggih menghasilkan produk terbaik dan tahan terhadap berbagai kondisi tanah.



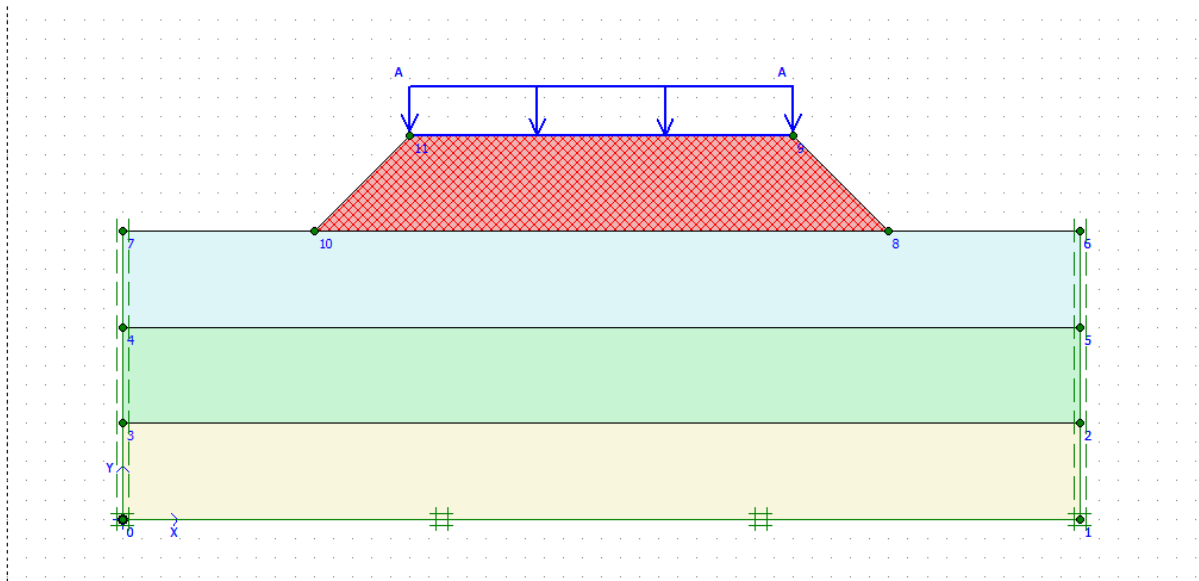
TECHNICAL DATA SHEET

PROPERTIES	TEST METHOD	GT 150	GT 200	GT 250	UNIT
Mass	ASTM D 3370	150	200	250	G/m ²
Thickness	ASTM D 1777	0.48	0.96	1.06	mm
Color		Black	Black	Black	
Wide Width Tensile Strength	ISO 10319				kN/m
- Machine Direction (Warp)		30	42	53	
- Cross Machine Direction (Weft)		22	32	50	
Wide Width Tensile Elongation	ISO 10319				%
- Machine Direction (Warp)		19	23	27	
- Cross Machine Direction (Weft)		15	18	20	
Grab Breaking Load	ASTM D 4632				N
- Machine Direction (Warp)		1190	1180	1788	
- Cross Machine Direction (Weft)		715	1795	2406	
Grab Breaking Elongation	ASTM D 632				%
- Machine Direction (Warp)		9	20	28	
- Cross Machine Direction (Weft)		11	17	15	
Trapezoid Tearing Strength	ASTM D 4533				N
- Machine Direction (Warp)		500	395	611	
- Cross Machine Direction (Weft)		320	509	775	
CBR Puncture Resistance	EN ISO 122236	2385	4620	5975	N
Pore Size (d ₉₀)	ASTM D 4751	0.295	0.235	0.200	mm
Permeability	ISO 11056	0.150	0.112	0.082	cm/sec
Permittivity	Calculated	3.00	1.00	0.85	Sec ⁻¹
Flow Rate	ISO 11056	15.5	54.3	42.3	l/m ² /sec
Effect of UV Light		OK	OK	OK	Stabilized



Geotextile Asia
JAPAN INDONESIA

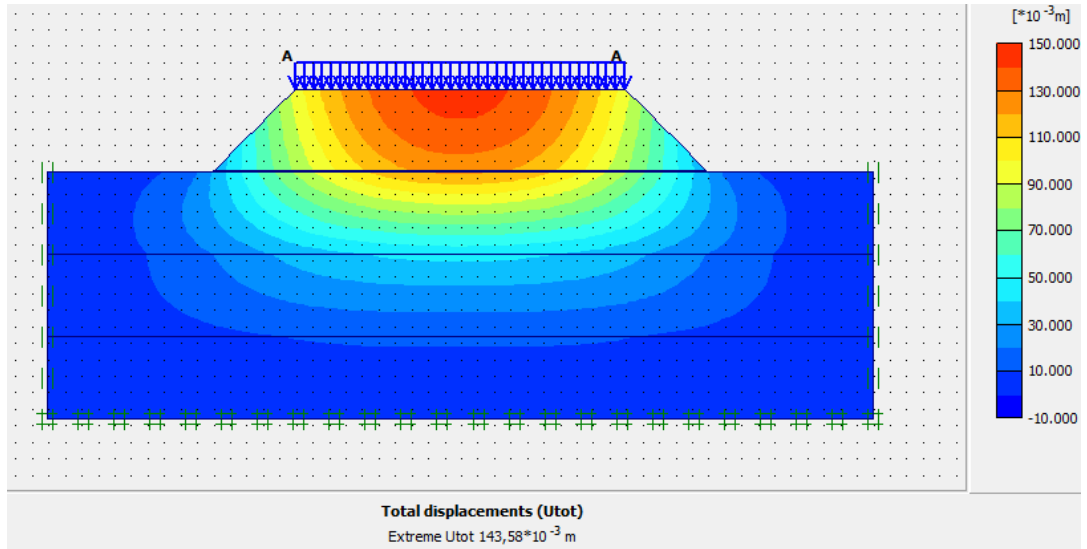
Lampiran 3 Hasil Permodelan Menggunakan Plaxis Pada Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli



Gambar L-3.1 Permodelan Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0,0000	Σ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	0,0000	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	Σ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	1,6062

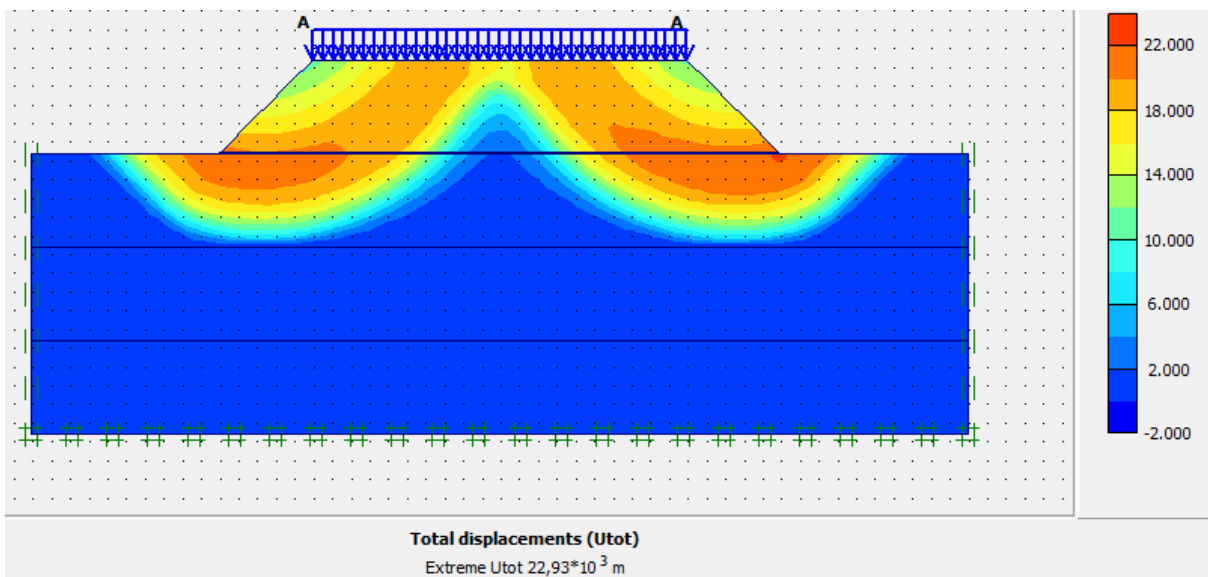
Gambar L-3.2 Calculations Dengan Lembar Tab General Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi



Gambar L-3.3 Slip Surface Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi

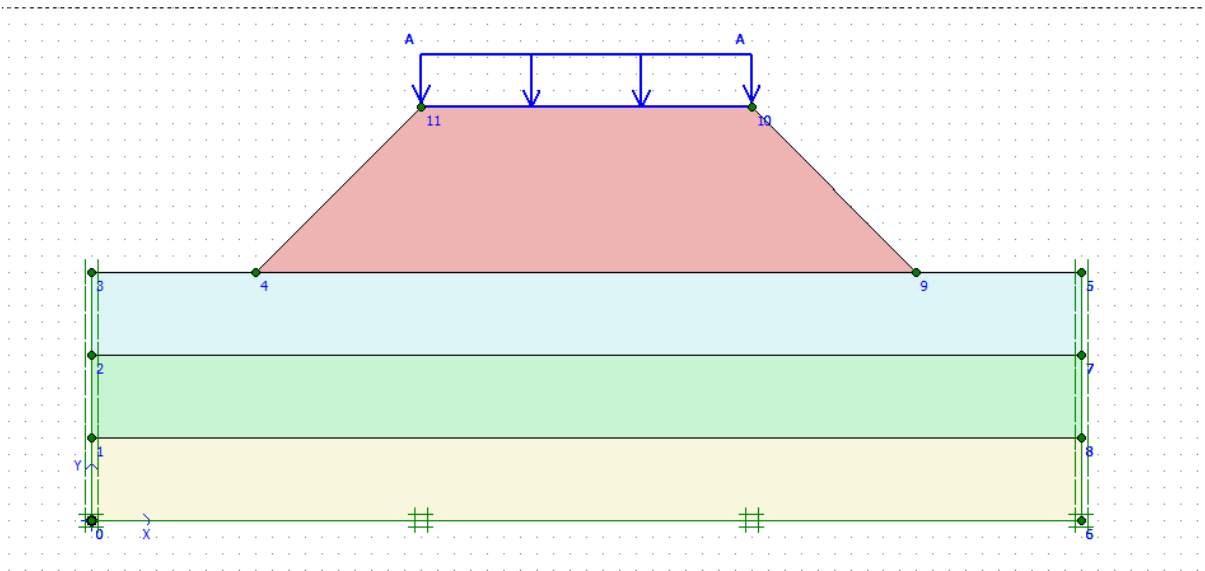
Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0,0000	Σ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	0,0000	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	Σ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	1,4783

Gambar L-3.4 Calculations Dengan Lembar Tab General Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi



Gambar L-3.5 Slip Surface Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi

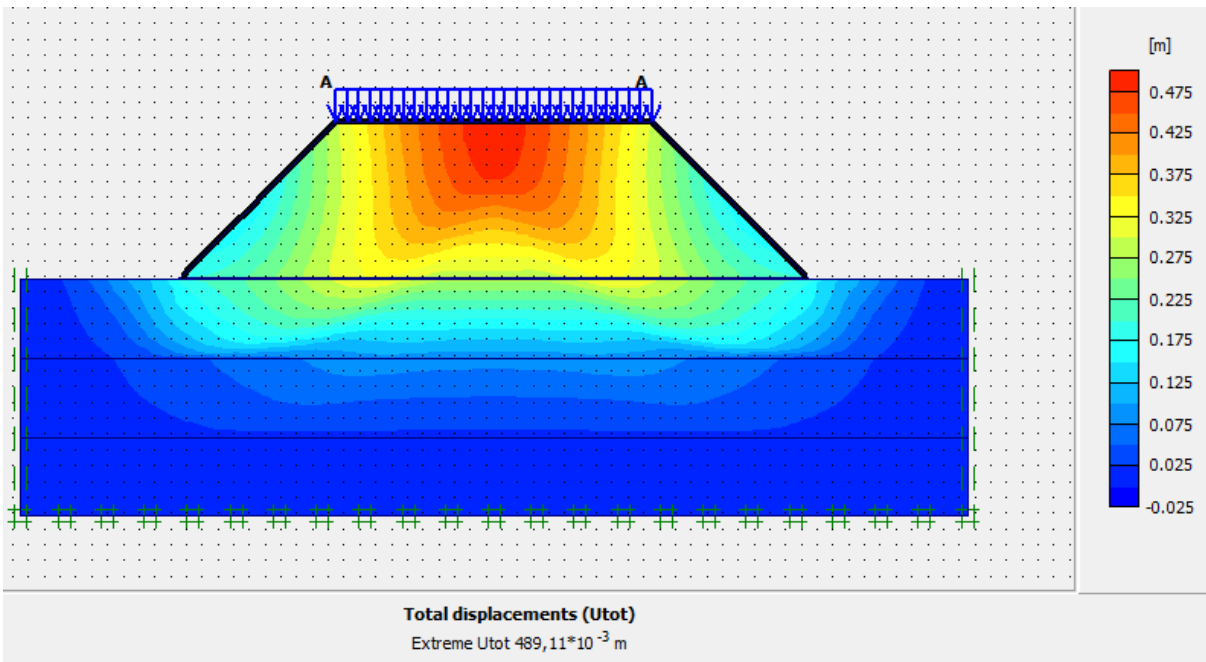
Lampiran 4 Hasil Permodelan Menggunakan Plaxis Pada Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli



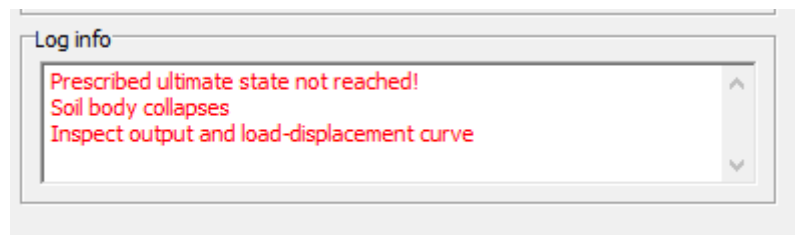
Gambar L-4.1 Permodelan Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0,0000	Σ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	0,0000	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	Σ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	1,0222

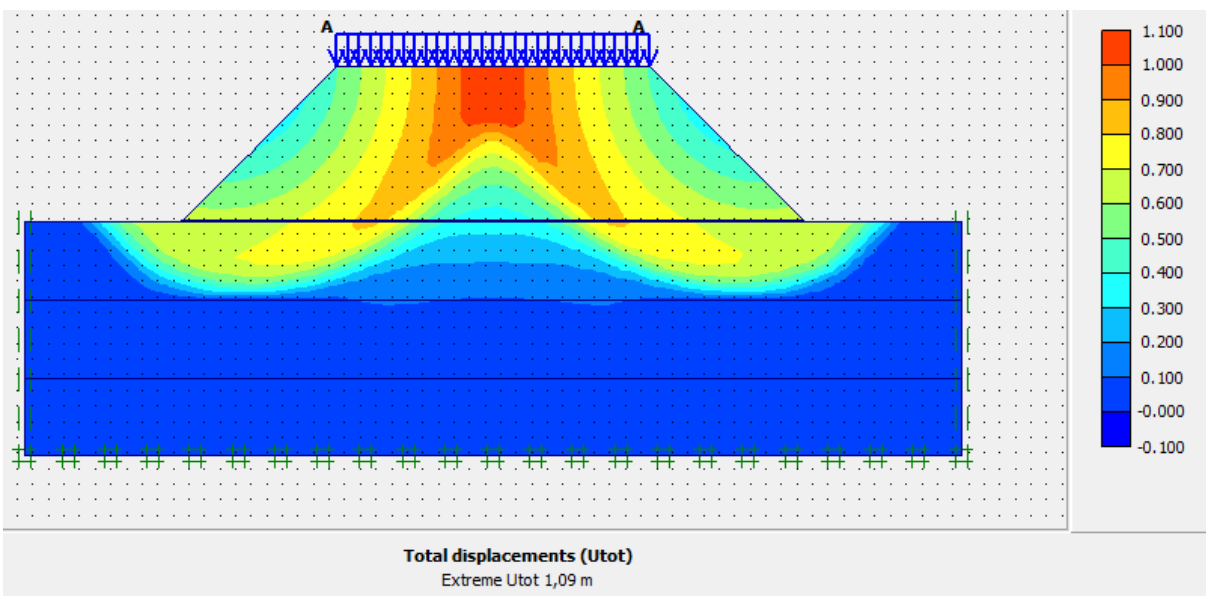
Gambar L-4.2 Calculations Dengan Lembar Tab General Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi



Gambar L-4.2 Slip Surface Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi

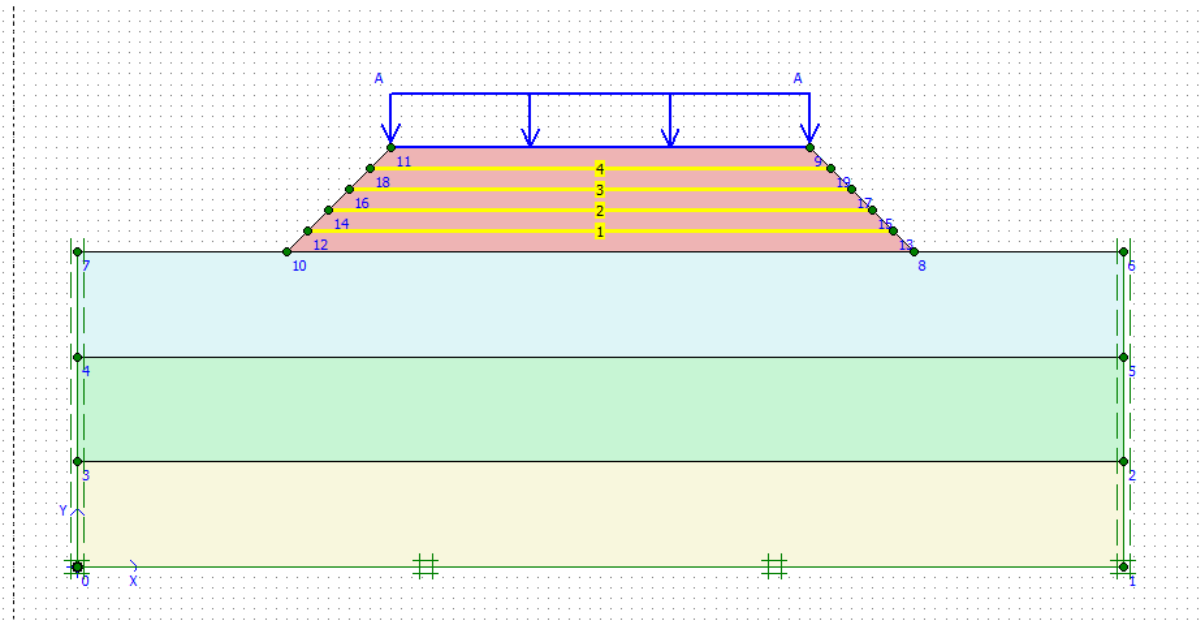


Gambar L-4.4 Calculations Dengan Lembar Tab General Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi

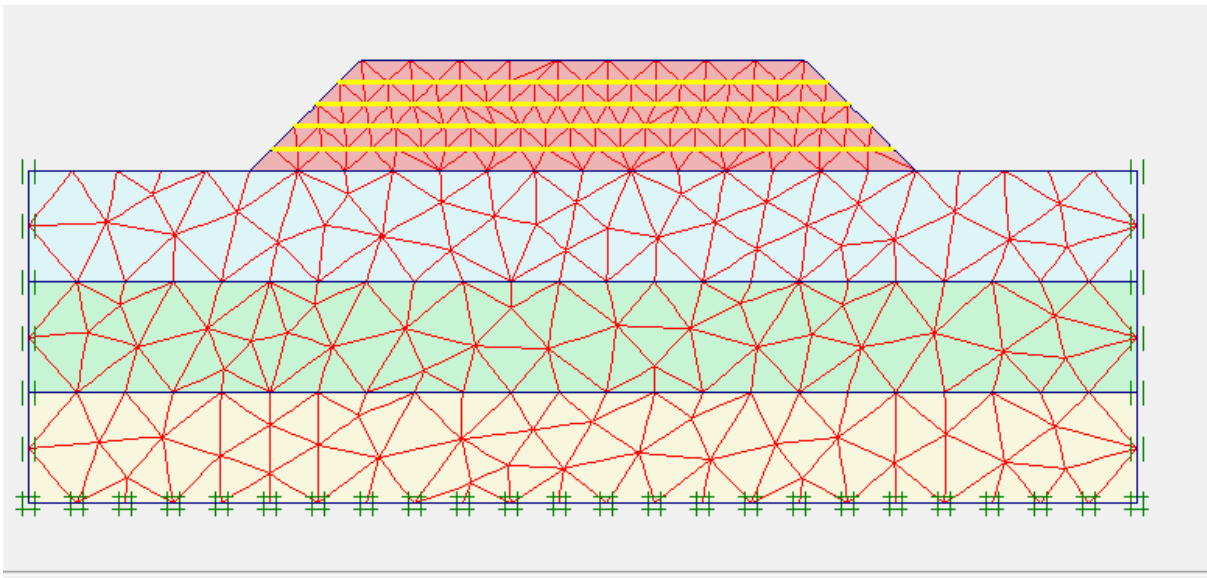


**Gambar L-4.5 Slip Surface Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Paska
Konstruksi**

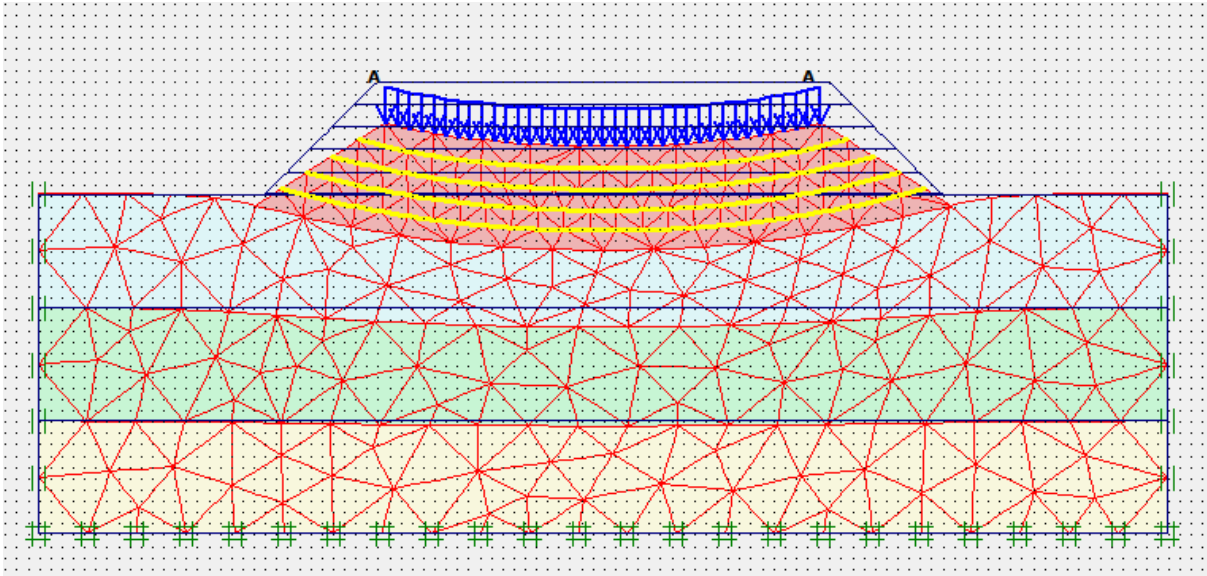
**Lampiran 5 Hasil Permodelan Menggunakan Plaxis Pada Timbunan 5 meter Kondisi
Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil**



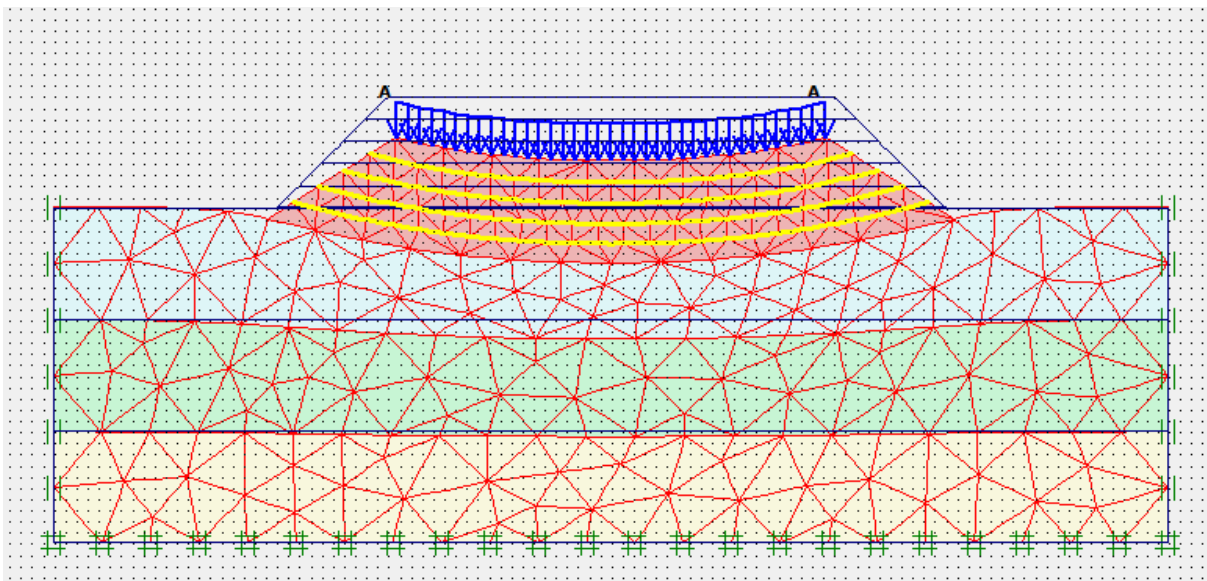
**Gambar L-5.1 Permodelan Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan
Perkuatan Geotekstil**



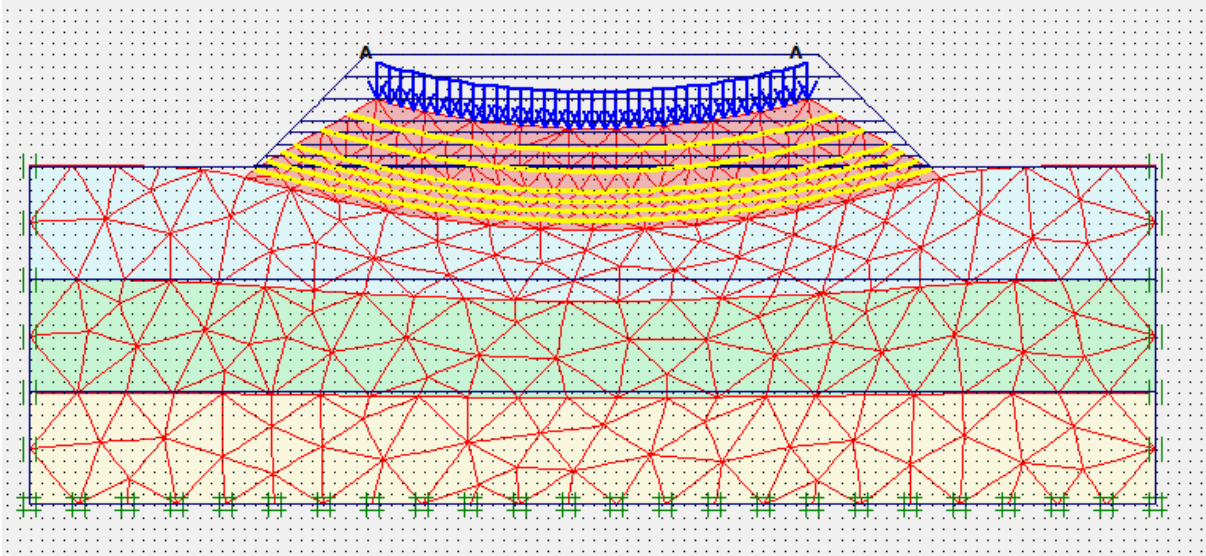
Gambar L-5.2 Meshing Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil



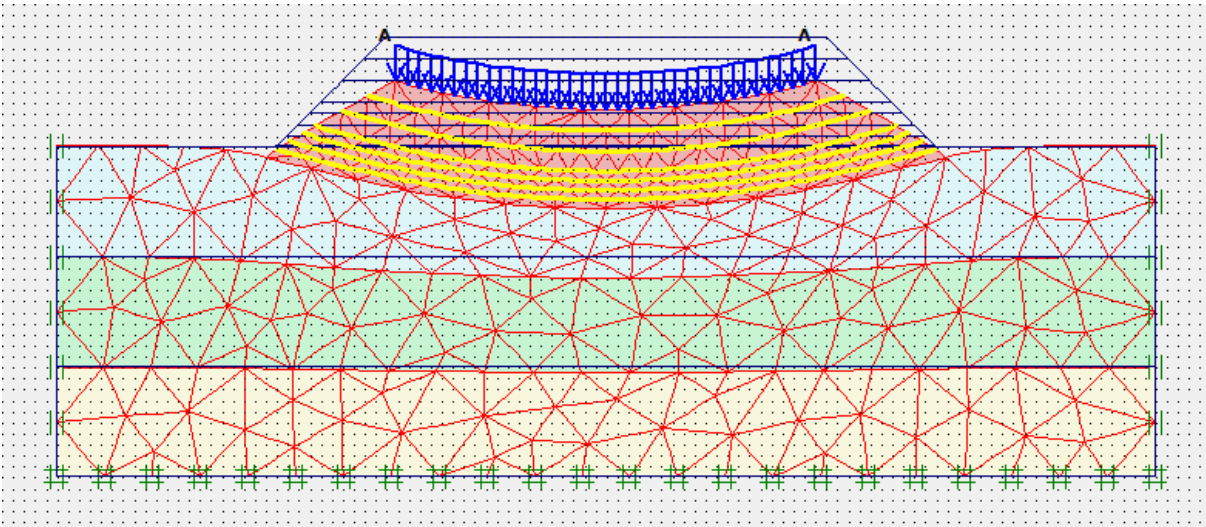
Gambar L-5.3 Deformed Mesh Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



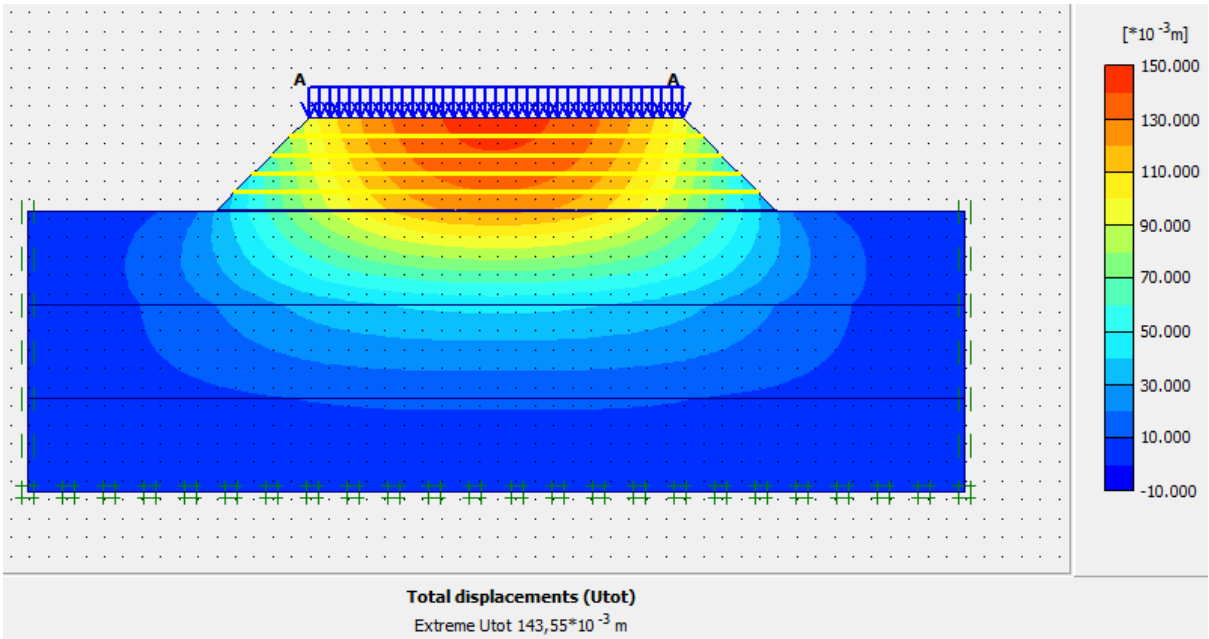
Gambar L-5.4 Deformed Mesh Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



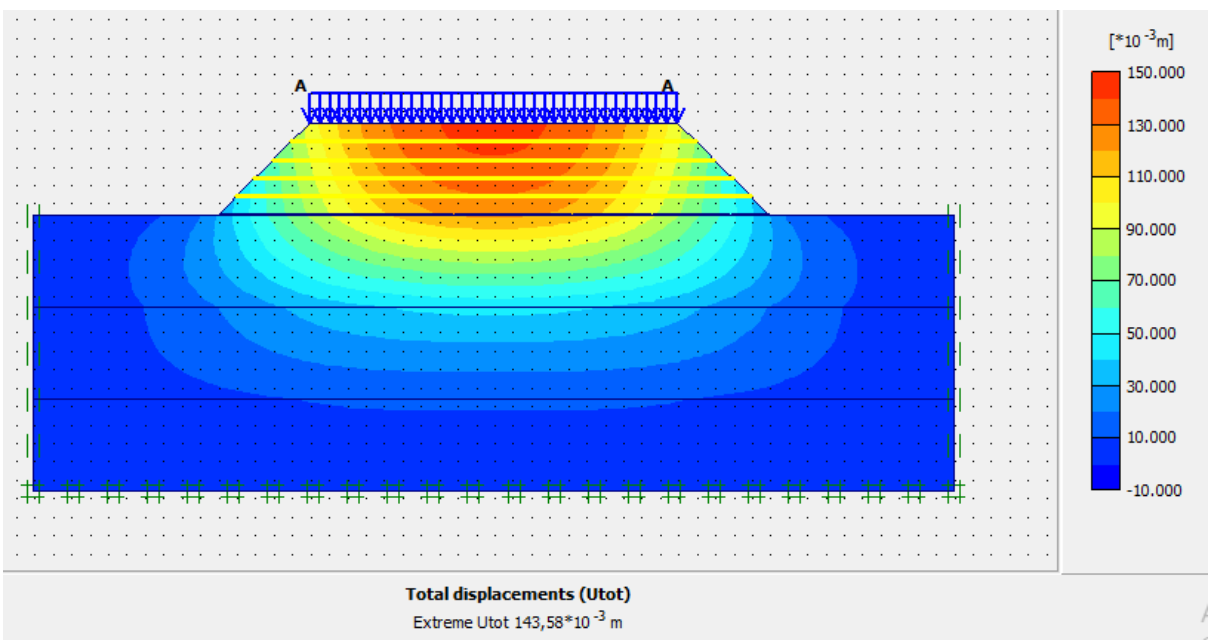
Gambar L-5.5 Deformed Mesh Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa



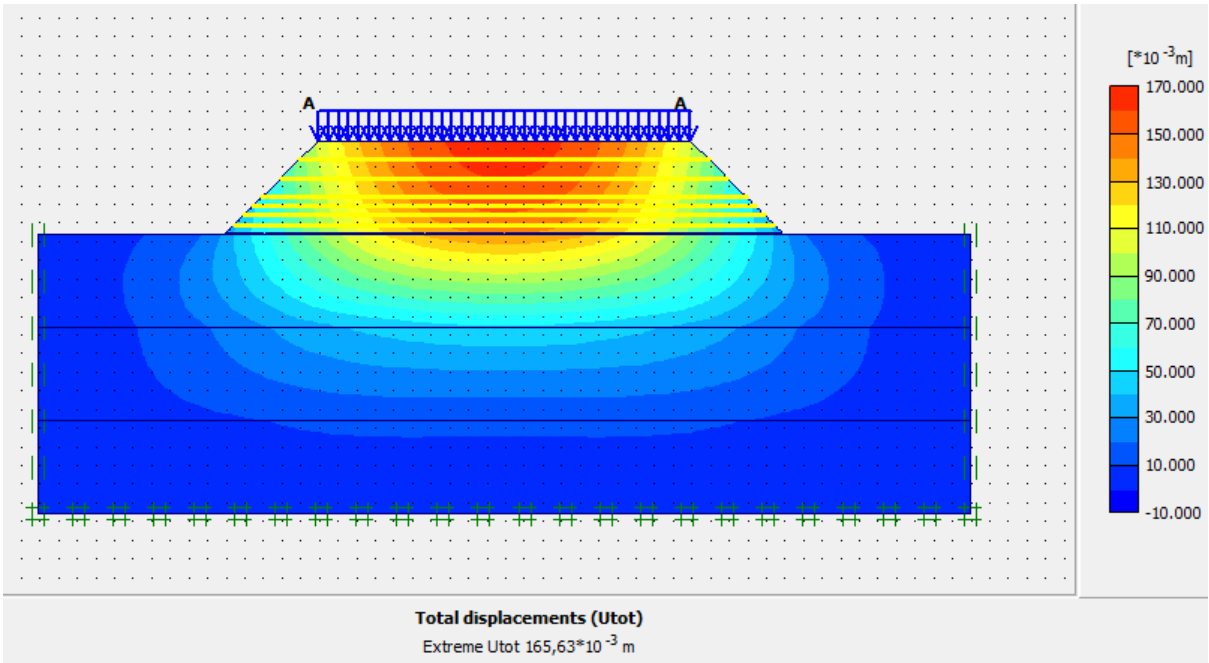
Gambar L-5.6 Deformed Mesh Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa



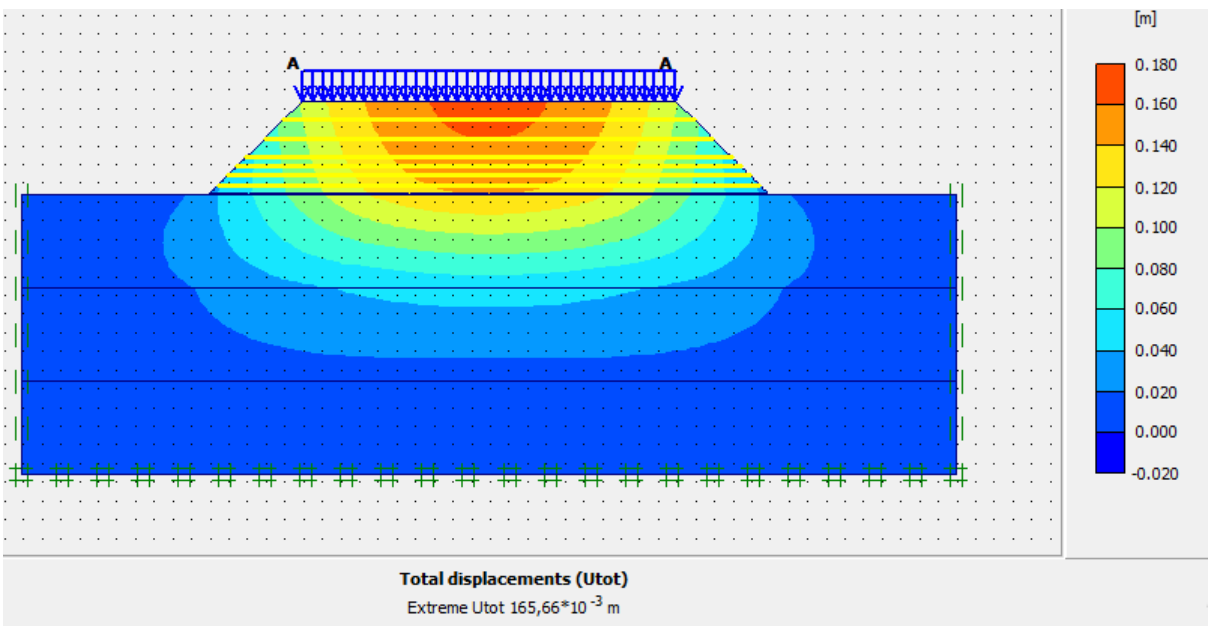
Gambar L-5.6 Total Displacements Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



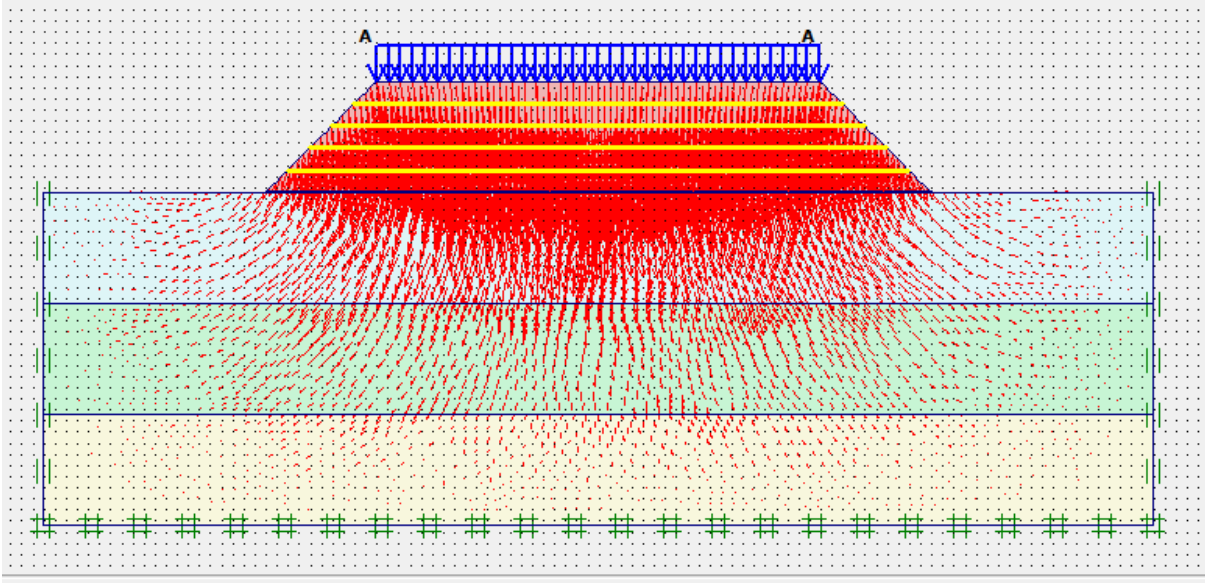
Gambar L-5.7 Total Displacements Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



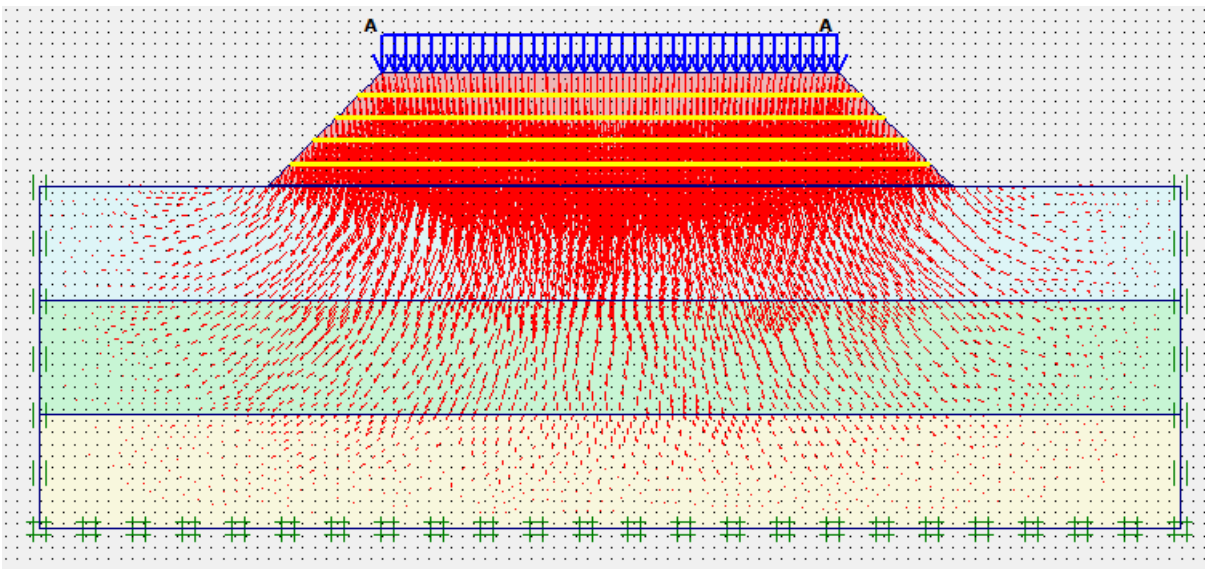
Gambar L-5.8 Total Displacements Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa



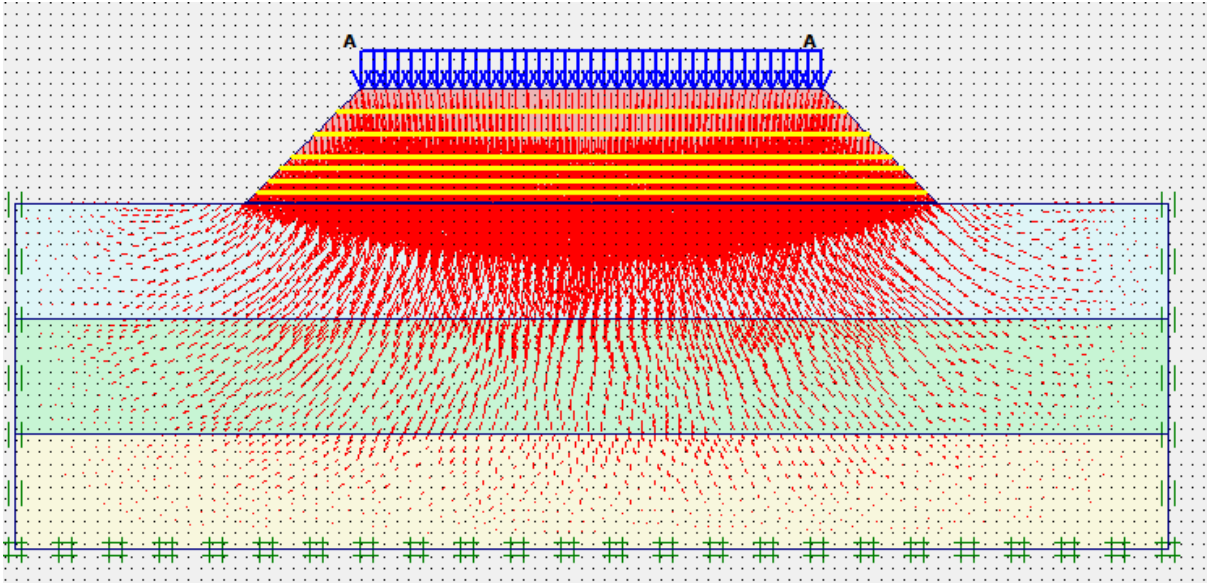
Gambar L-5.9 Total Displacements Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa



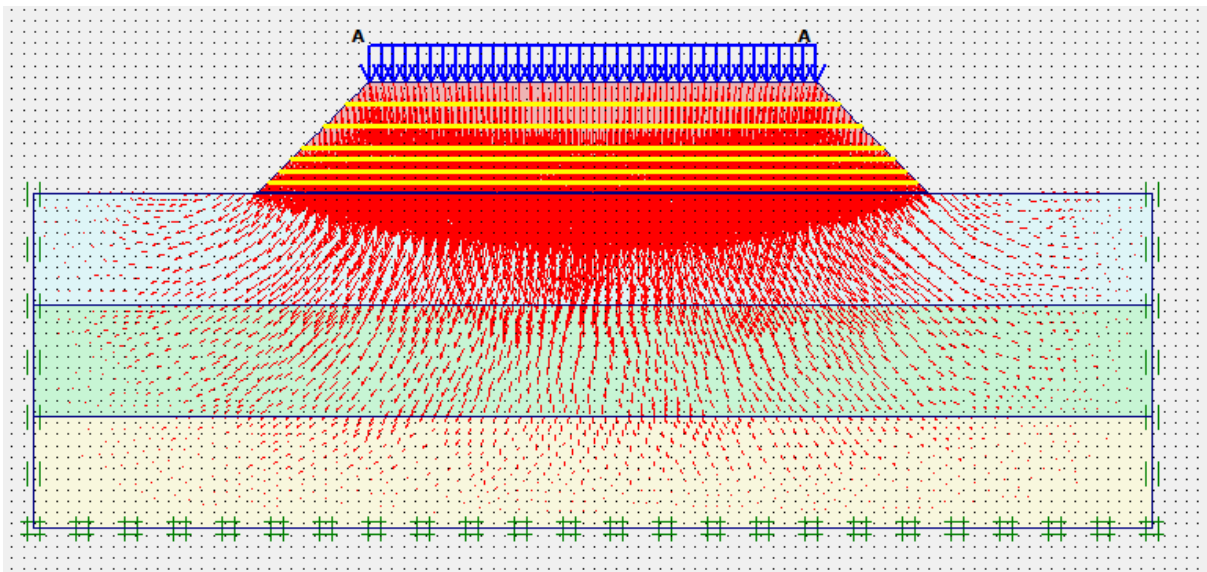
Gambar L-5.10 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



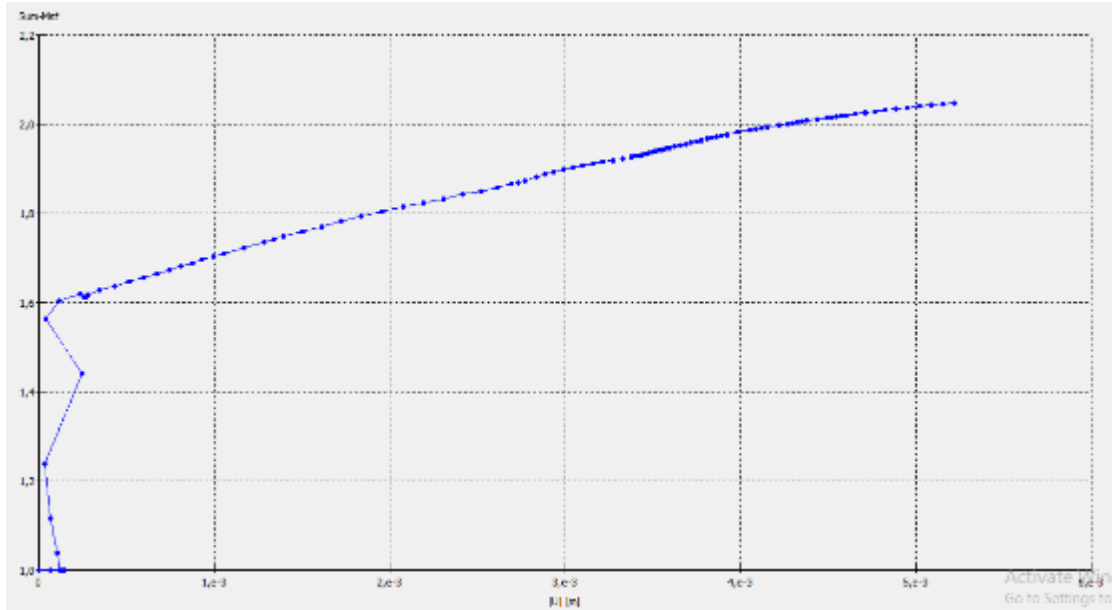
Gambar L-5.11 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



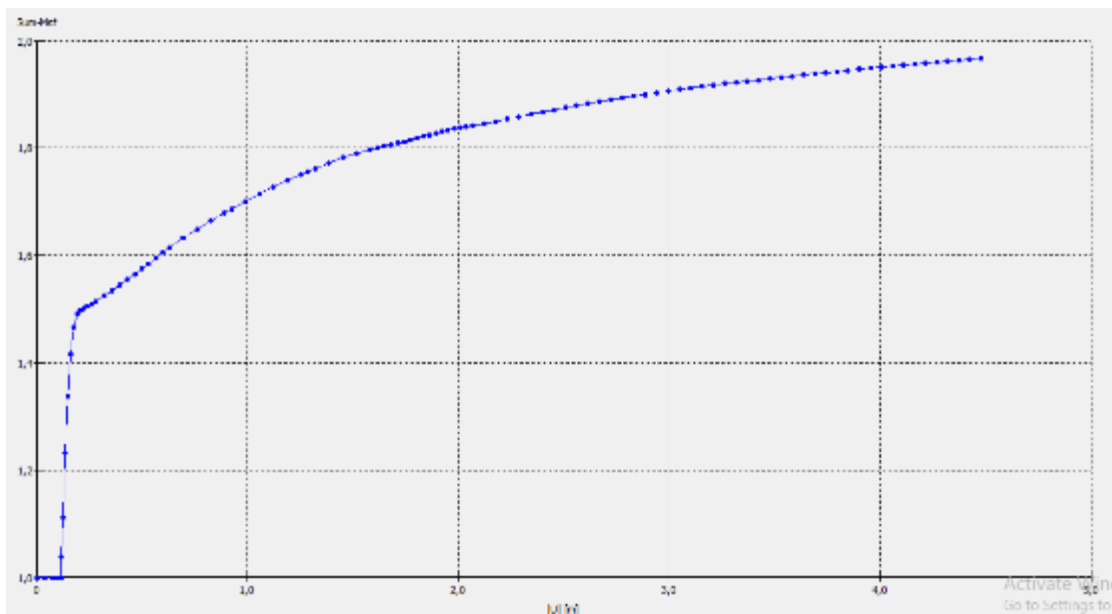
Gambar L-5.12 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa



Gambar L-5.13 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa

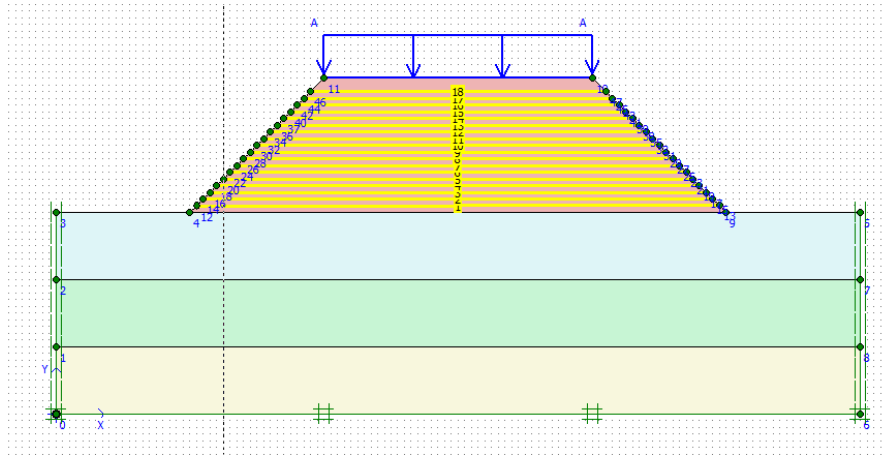


Gambar L-5.14 Grafik Safety Factor Tanah Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi

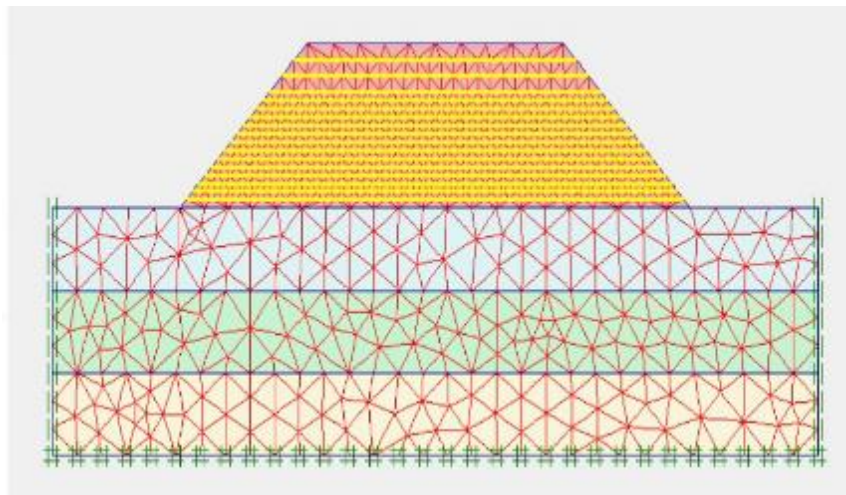


Gambar L-5.14 Grafik Safety Factor Tanah Timbunan 5 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi

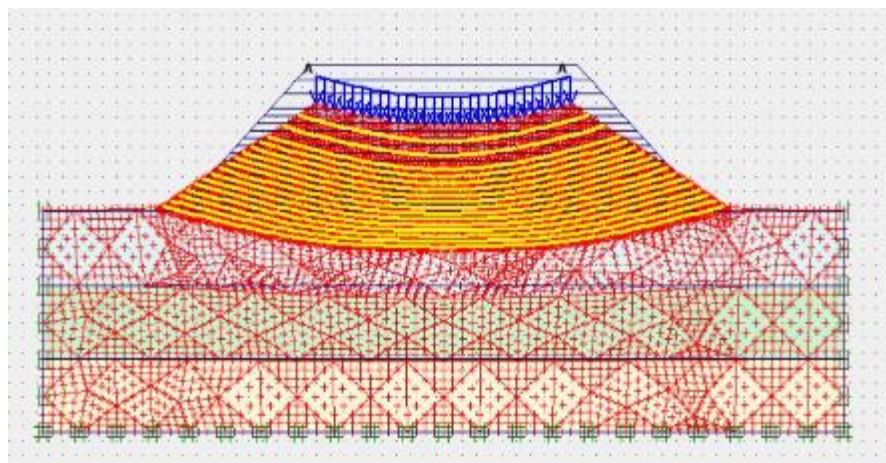
Lampiran 6 Hasil Permodelan Menggunakan Plaxis Pada Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil



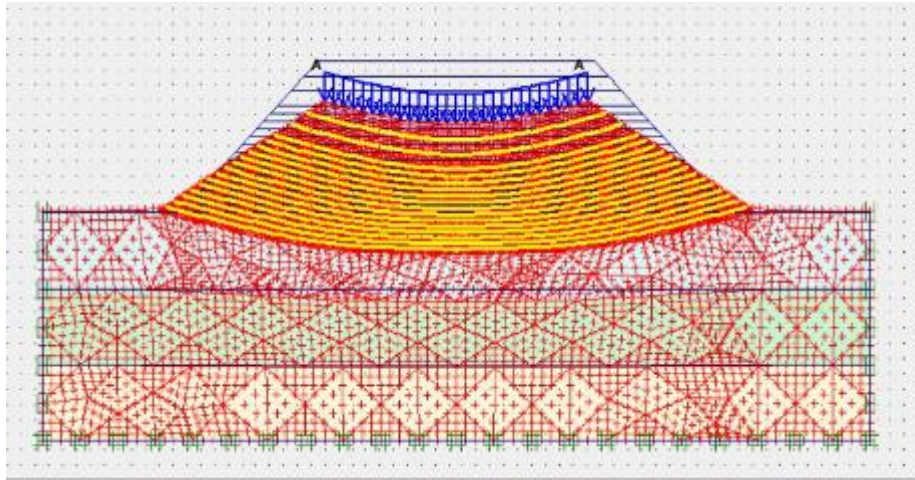
Gambar L-6.16 Permodelan Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil



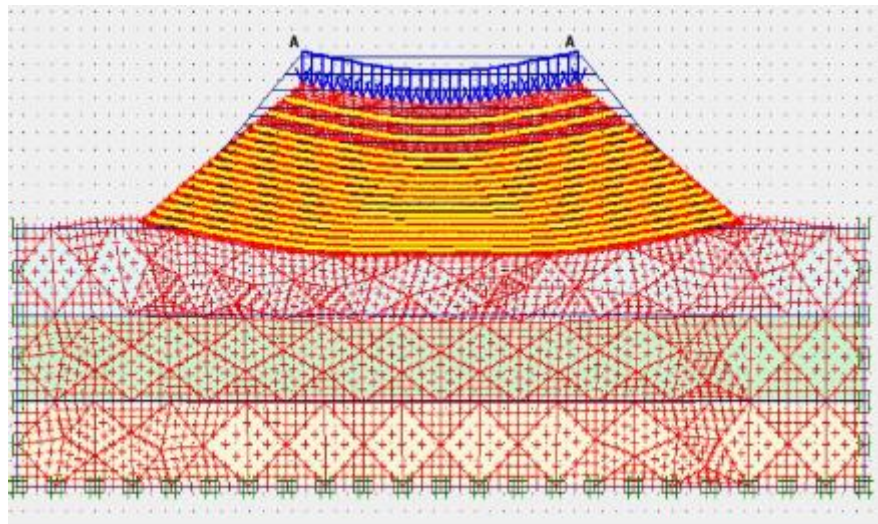
Gambar L-6.17 Meshing Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil



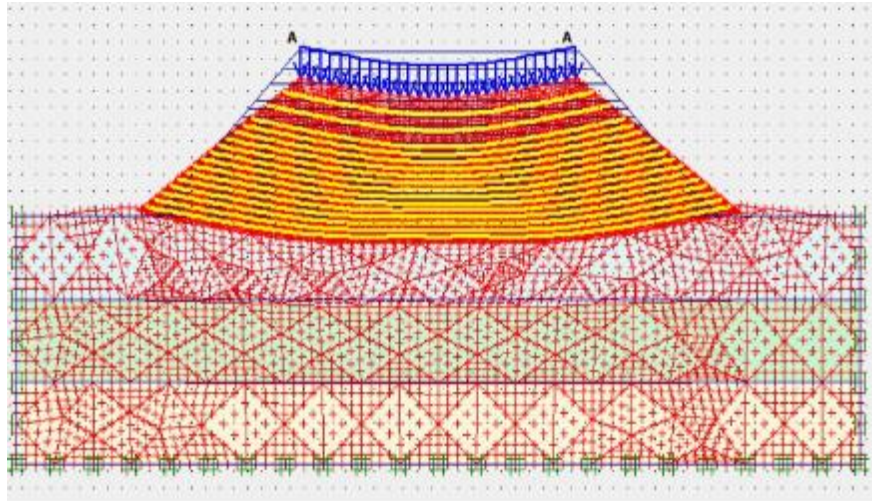
Gambar L-6.18 Deformed Mesh Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



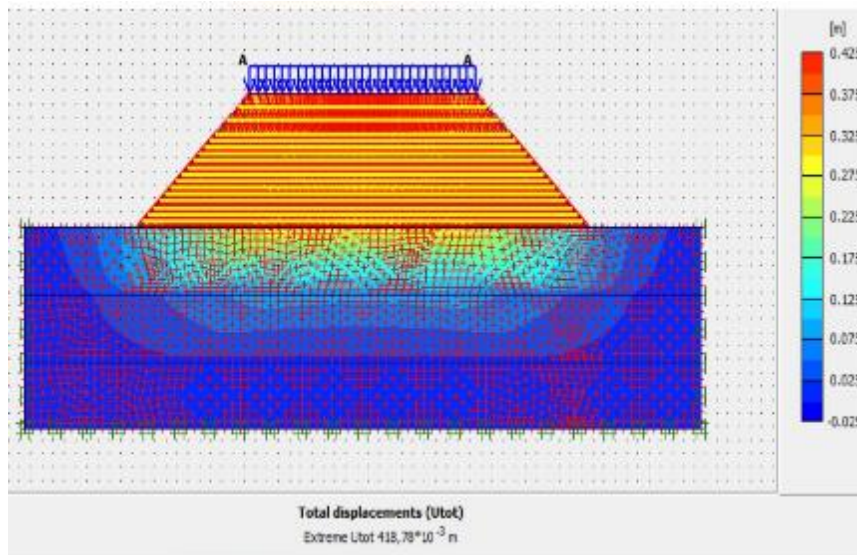
Gambar L-6.19 Deformed Mesh Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



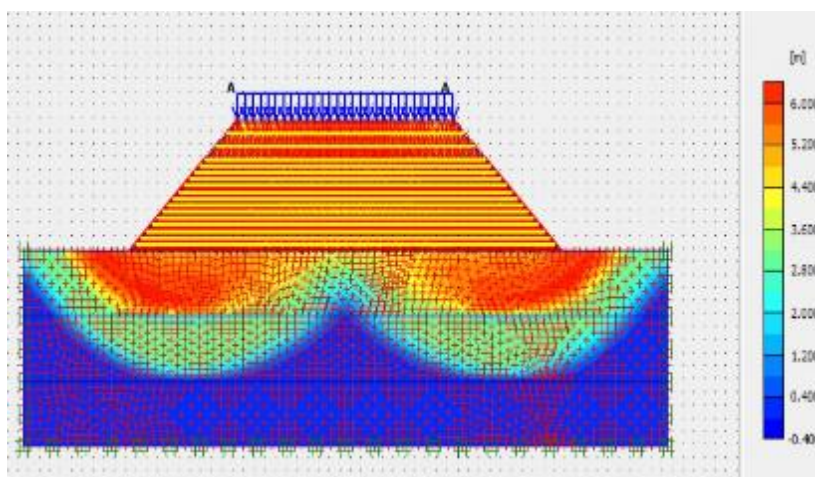
Gambar L-6.20 Deformed Mesh Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa



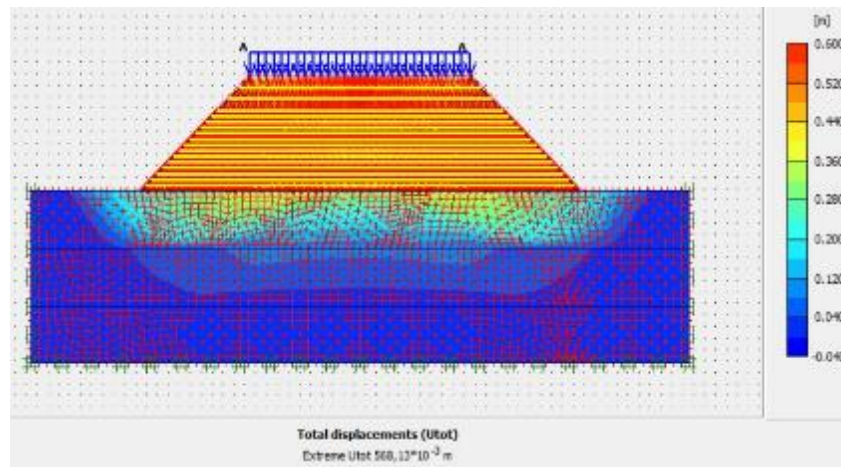
Gambar L-6.21 Deformed Mesh Timbunan 10 m Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa



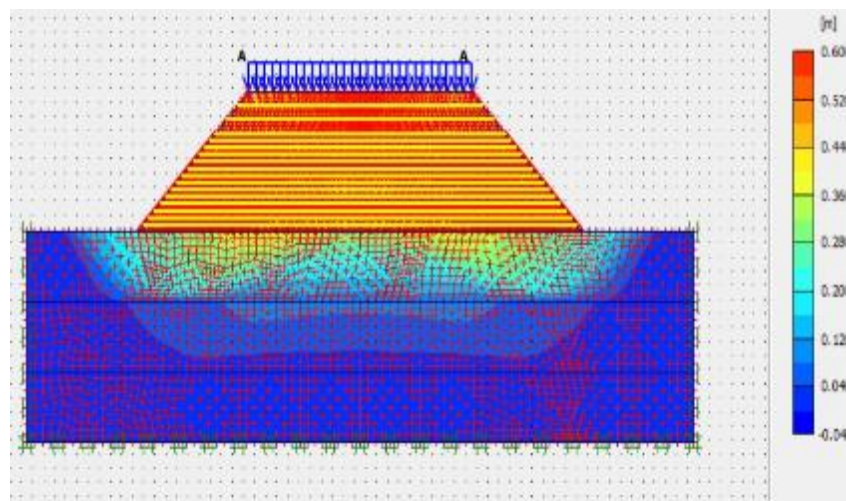
Gambar L-6.22 Total Displacements Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



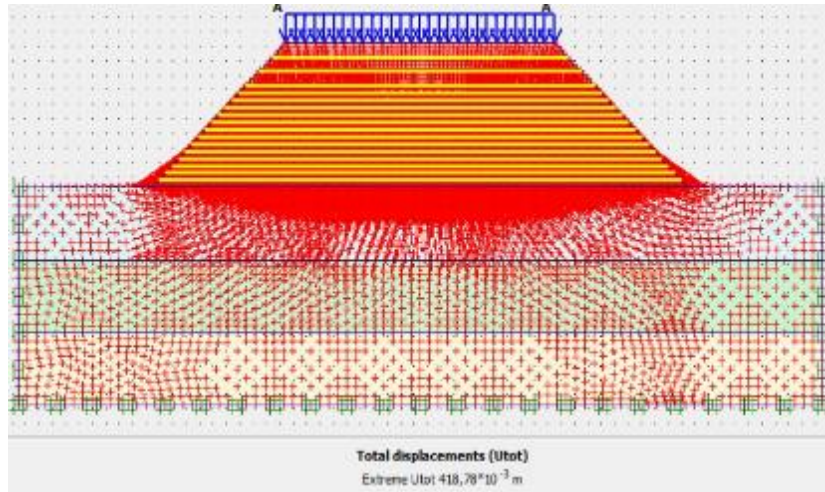
Gambar L-6.23 Total Displacements Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



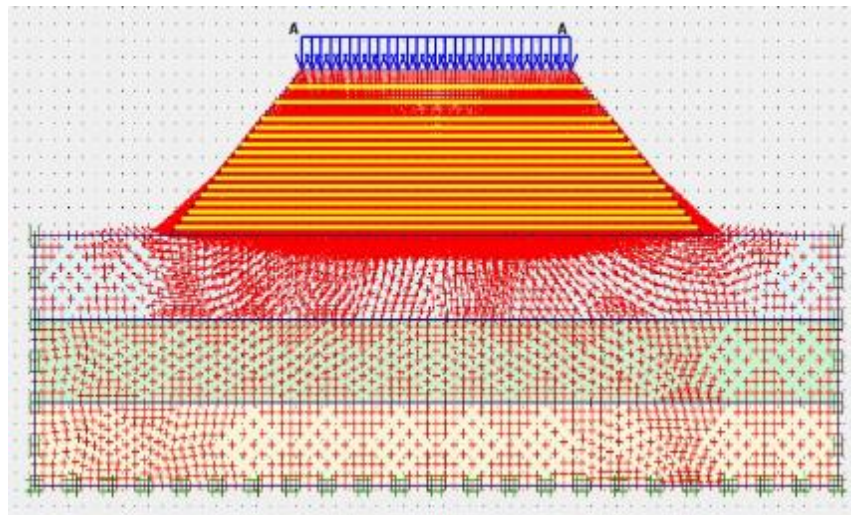
Gambar L-6.24 Total Displacements Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa



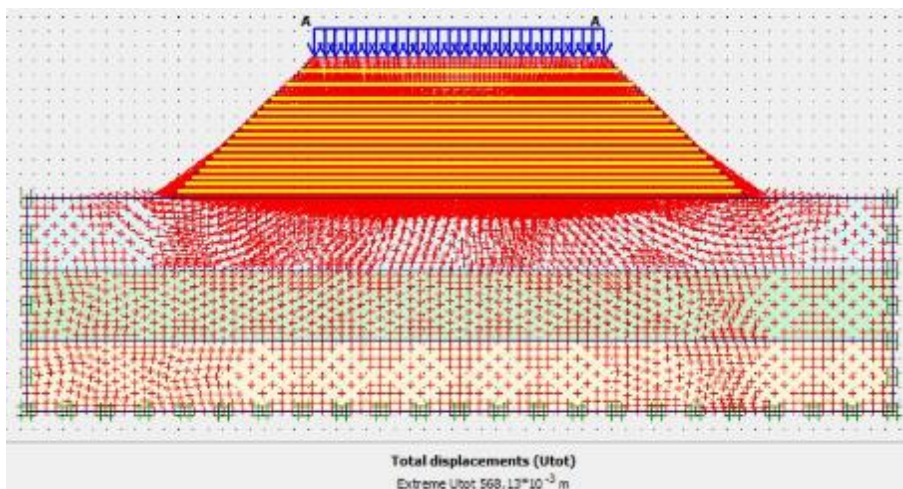
Gambar L-6.25 Total Displacements Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa



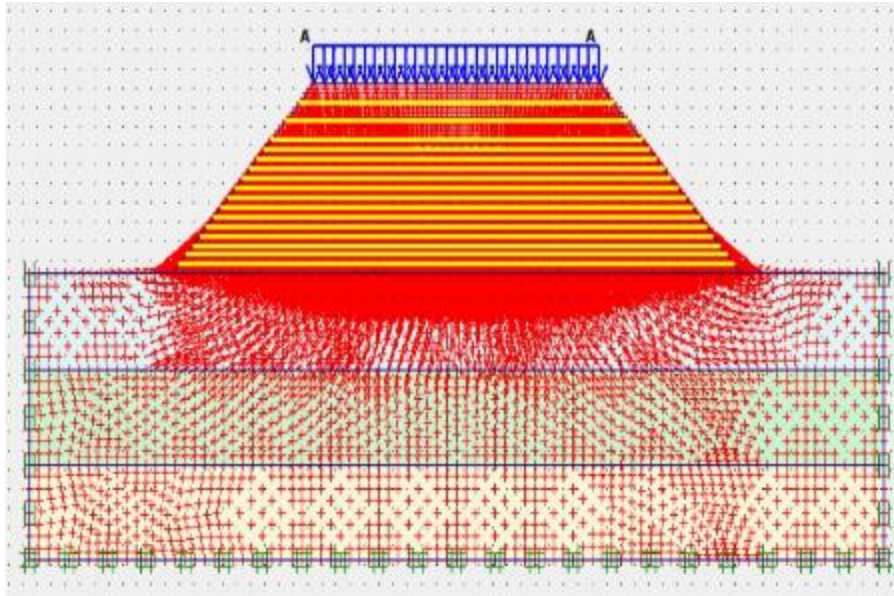
Gambar L-6.26 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Tanpa Beban Gempa



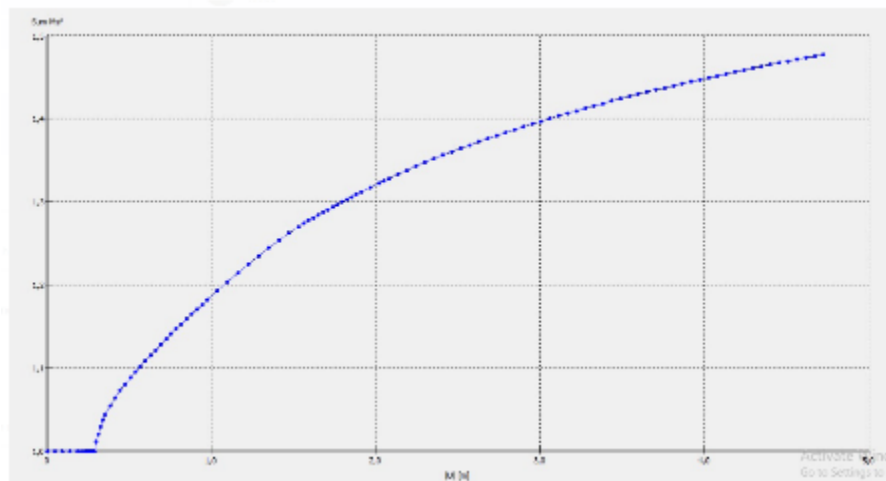
Gambar L-6.27 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi Dengan Beban Gempa



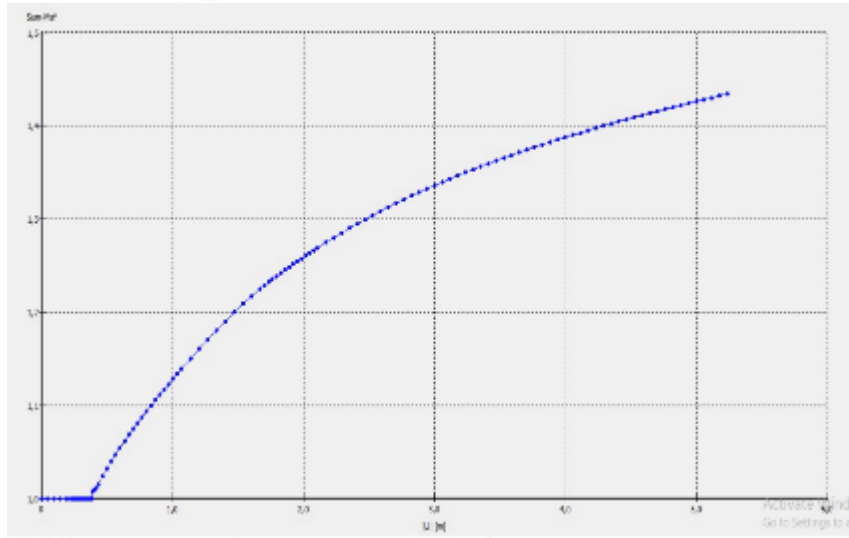
Gambar L-6.28 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Tanpa Beban Gempa



Gambar L-6.29 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi Dengan Beban Gempa



Gambar L-6.30 Grafik Safety Factor Tanah Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Masa Konstruksi



Gambar L-6.31 Grafik Safety Factor Tanah Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan Geotekstil Paska Konstruksi