

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG TIMBUNAN JALAN DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* DAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS

(Studi Kasus : Jalan Tol Semarang – Demak STA. 20 + 475)

**(*ANALYSIS OF ROAD EMBANKMENT SLOPE
STABILITY WITH PREFABRICATED VERTICAL
DRAIN AND GEOTEXTILE USING PLAXIS PROGRAM*)**

(*Case Study in Semarang – Demak Highway STA. 20 + 475*)

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



**Irham Bagus Pratama
17511240**

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

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG TIMBUNAN JALAN DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* DAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS

(Studi Kasus : Jalan Tol Semarang – Demak STA. 20 + 475)
(*ANALYSIS OF ROAD EMBANKMENT SLOPE
STABILITY WITH PREFABRICATED VERTICAL
DRAIN AND GEOTEXTILE USING PLAXIS PROGRAM*)
(*Case Study in Semarang – Demak Highway STA. 20 + 475*)

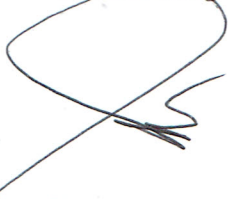
Disusun Oleh
Irham Bagus Pratama
17511240

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

Diuji pada tanggal 31 Januari 2023

Oleh Dewan Penguji
Penguji I

Pembimbing I

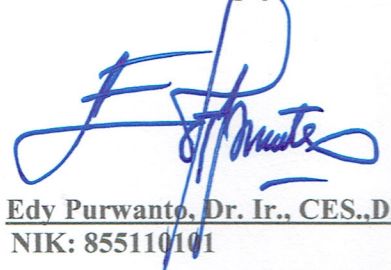


Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T
NIK: 045110407



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

Penguji II



Edy Purwanto, Dr. Ir., CES.,DEA.
NIK: 855110101



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 31 Januari 2023

Yang membuat pernyataan,



Irham Bagus Pratama

(17511240)

KATA PENGANTAR

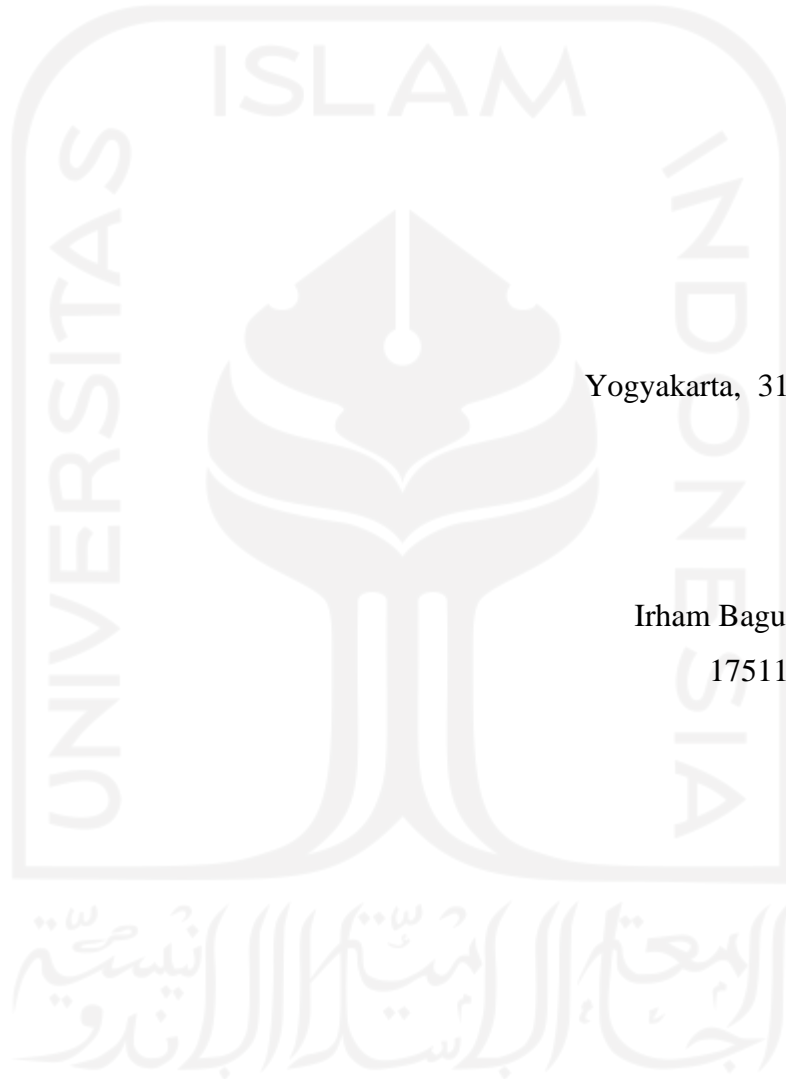
Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang Berjudul *Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Jalan Dengan Perkuatan Prefabricated Drain dan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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

1. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I tugas akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang diberikan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir maupun selama masa perkuliahan.
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II sekaligus penguji I tugas akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang diberikan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir maupun selama masa perkuliahan.
3. Bapak Edy Purwanto, Dr. Ir., CES., DEA. selaku Dosen Penguji II
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi. S.T., M.T., Ph.D.Eng. selaku ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia
5. Orang tua tercinta Bapak Budiyono dan Ibu Ana Triana Widayanti dua orang terhebat dalam hidup saya yang tidak hentinya memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan di setiap langkah saya dalam menuntut ilmu.
6. Adik penulis, Muhammad Daffa Hade Pramudya dan Gassania Kinanthi Zahra yang selalu mendukung dan mendoakan saya selama proses perkuliahan dan pengerjaan Tugas Akhir ini.

7. Teman-teman Teknik Sipil 2017 yang sudah menemani dan membantu selama perkuliahan ini.

Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman. Oleh karena itu, diharapkan semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan banyak manfaat bagi berbagai pihak yang membaca Tugas Akhir ini.



Yogyakarta, 31 Januari 2023

Irham Bagus Pratama

17511240

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI	xviii
ABSTRAK	xx
<i>ABSTRACT</i>	<i>xxi</i>
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
1.6 Lokasi Studi Kasus	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil	7
2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	9
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Tanah	13
3.1.1 Pengertian Umum	13
3.1.2 Klasifikasi Tanah	13
3.1.3 Parameter Tanah	15
3.2 Lereng	25

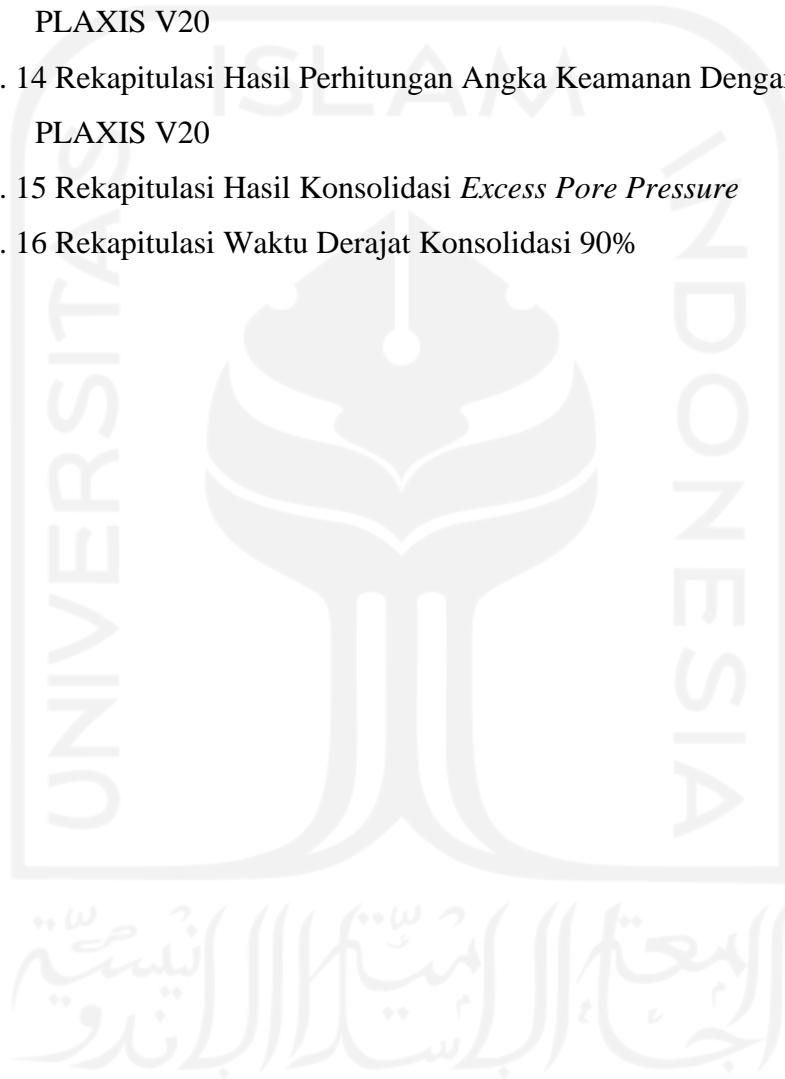
3.2.1	Stabilitas Lereng	25
3.2.2	Faktor Keamanan	26
3.2.3	Metode <i>Fellenius</i>	27
3.3	Perkuatan Lereng	31
3.3.1	Pengertian Umum	31
3.3.2	Geosintetik	31
3.3.2.1.	Geotekstil	31
3.3.2.2.	Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Geotekstil	34
3.3.2.3.	<i>Prefabricated Drain</i>	38
3.4	Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>) dan Konsolidasi	41
3.4.1	Pengertian Umum	41
3.4.2	Penurunan Konsolidasi Primer (<i>Primary Consolidation Settlement</i>)	41
3.4.3	Parameter Perhitungan Penurunan	42
3.5	PLAXIS	49
3.5.1	Pendahuluan	49
3.5.2	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan PLAXIS V20	49
BAB IV METODE PENELITIAN		13
4.1	Tinjauan Umum	51
4.2	Data Penelitian	51
4.3	Tahapan Penelitian	52
4.4	Analisis Data	52
4.4.1	Parameter Tanah	52
4.4.2	Geotekstil	53
4.4.3	Beban Perkerasan dan Lalu Lintas	54
4.4.4	<i>Prefabricated Vertical Drain</i>	55
4.4.5	Beban Gempa	55
4.5	Pengoperasian Program PLAXIS	57
4.5.1	PLAXIS <i>Input</i>	57
4.5.2	PLAXIS <i>Calculations</i>	61
4.5.3	PLAXIS <i>Output</i>	62

4.6	Bagan Alur Penelitian	63
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		64
5.1	Gambaran Umum Analisis	64
5.1.1	Data Analisis Program PLAXIS	64
5.2	Lereng Timbunan Tanah Asli	66
5.3	Perhitungan Kebutuhan Geotekstil	79
5.4	Perhitungan Penurunan Konsolidasi Tanah	88
5.5	Lereng Timbunan Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	94
5.6	Lereng Timbunan Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil	102
5.7	Pembahasan	110
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		122
DAFTAR PUSTAKA		125
LAMPIRAN		127

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan	10
Tabel 3. 1 Sistem Klasifikasi USCS (<i>Unified Soil Classification System</i>)	14
Tabel 3. 2 Sistem Klasifikasi Berdasarkan AASHTO	15
Tabel 3. 3 Nilai Koefisien Permeabilitas	18
Tabel 3. 4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	19
Tabel 3. 5 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson	20
Tabel 3. 6 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Kohesi	24
Tabel 3. 7 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	25
Tabel 3. 8 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng	26
Tabel 3. 9 Faktor Keamanan Lereng	27
Tabel 4. 1 Data Parameter Tanah	53
Tabel 4. 2 Data Parameter Geotekstil <i>Woven UW-250</i>	54
Tabel 4. 3 Data Parameter Beban Lalu Lintas	54
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli	74
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Perhitungan Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	78
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	79
Tabel 5. 4 Data Geotekstil <i>Woven GT-250</i>	81
Tabel 5. 5 Koefisien Daya Dukung Tanah	81
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil	85
Tabel 5. 7 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi	89
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (C_v) Tanpa PVD	90
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Hasil Analisis Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD dengan Pola Segitiga dan Jarak 0,9 m	93
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Timbunan Lereng Dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	101

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Timbunan Lereng Dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil	109
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	110
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan <i>Total Displacement</i> Dengan PLAXIS V20	111
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Angka Keamanan Dengan PLAXIS V20	115
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Konsolidasi <i>Excess Pore Pressure</i>	118
Tabel 5. 16 Rekapitulasi Waktu Derajat Konsolidasi 90%	120



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Denah Lokasi Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak	5
Gambar 1. 2 Potongan Melintang Jalan	6
Gambar 3. 1 Diagram Fase Tanah	16
Gambar 3. 2 Kriteria Kegagalan Mohr dan Coulomb	21
Gambar 3. 3 Lingkaran Mohr Saat Kegagalan	22
Gambar 3. 4 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan	25
Gambar 3. 5 Gambar Ilustrasi gaya-gaya pada setiap irisan dengan Metode <i>Fellenius</i>	28
Gambar 3. 6 Geotekstil <i>Non-Woven</i>	32
Gambar 3. 7 Geotekstil <i>Woven</i>	33
Gambar 3. 8 Pemasangan Geotekstil pada Timbunan	33
Gambar 3. 9 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral	34
Gambar 3. 10 <i>Prefabricated Vertical Drain (PVD)</i>	38
Gambar 3. 11 Pola PVD (Kiri Pola Bujur Sangkar, Kanan Pola Segitiga)	40
Gambar 3. 12 <i>Prefabricated Horizontal Drain (PHD)</i>	41
Gambar 3. 13 Faktor Pengaruh Akibat Beban Timbunan (<i>Osterberg, 1957</i>)	44
Gambar 4. 1 Spesifikasi <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	55
Gambar 4. 2 Peta Zonasi Gempa	56
Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa	56
Gambar 4. 4 Kotak Dialog <i>Project Properties</i>	57
Gambar 4. 5 Jendela Model <i>Properties</i>	58
Gambar 4. 6 Lembar Tab <i>General</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	59
Gambar 4. 7 Lembar Tab Parameters dari Jendela <i>Material Sets</i>	60
Gambar 4. 8 Jaringan Elemen Hingga (<i>Meshing</i>)	60
Gambar 4. 9 Jendela <i>Phase</i> dengan Lembar Tab General	61
Gambar 4. 10 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau	62
Gambar 4. 11 Jendela <i>Output</i> Perhitungan	62
Gambar 4. 12 Bagan Alir Penelitian	63

Gambar 5. 1 Permodelan Geometri Lereng Tanah Menggunakan PVD dan Geotekstil	66
Gambar 5. 2 Geometri Kondisi Eksisting Lereng Tanah Asli	66
Gambar 5. 3 Permodelan Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli	67
Gambar 5. 4 Jaringan Elemen (<i>Meshing</i>) Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli	67
Gambar 5. 5 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	68
Gambar 5. 6 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	69
Gambar 5. 7 <i>Total Displacement</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	69
Gambar 5. 8 <i>Total Displacement</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	70
Gambar 5. 9 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	70
Gambar 5. 10 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	70
Gambar 5. 11 Kurva SF Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi	71
Gambar 5. 12 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur	72
Gambar 5. 13 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	72
Gambar 5. 14 <i>Total Displacement</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur	72
Gambar 5. 15 <i>Total Displacement</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	73
Gambar 5. 16 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	73
Gambar 5. 17 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	73

Gambar 5. 18 Kurva SF Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi	74
Gambar 5. 19 Analisis Stabilitas Sta. 20+475 dengan Metode <i>Fellenius</i>	75
Gambar 5. 20 Grafik Hubungan Waktu dan Derajat Konsolidasi Tanpa PVD	91
Gambar 5. 21 Grafik Hubungan Antara Waktu dan Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD dengan Pola Segitiga dan Jarak 0,9 m	93
Gambar 5. 22 Permodelan Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	94
Gambar 5. 23 Jaringan Elemen (<i>Meshing</i>) Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	94
Gambar 5. 24 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	95
Gambar 5. 25 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	95
Gambar 5. 26 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	96
Gambar 5. 27 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	96
Gambar 5. 28 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	96
Gambar 5. 29 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	97
Gambar 5. 30 Kurva SF Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Masa Konstruksi	97

Gambar 5. 31 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur	98
Gambar 5. 32 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	98
Gambar 5. 33 <i>Total Displacement</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur	99
Gambar 5. 34 <i>Total Displacement</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	99
Gambar 5. 35 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur	100
Gambar 5. 36 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	100
Gambar 5. 37 Kurva SF Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Paska Konstruksi	101
Gambar 5. 38 Permodelan Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil	102
Gambar 5. 39 Jaringan Elemen (<i>Meshing</i>) Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil	103
Gambar 5. 40 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	104
Gambar 5. 41 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	104

Gambar 5. 42 <i>Total Displacement</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	104
Gambar 5. 43 <i>Total Displacement</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	105
Gambar 5. 44 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Gempa	105
Gambar 5. 45 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	105
Gambar 5. 46 Kurva SF Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Masa Konstruksi	106
Gambar 5. 47 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur	107
Gambar 5. 48 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	107
Gambar 5. 49 <i>Total Displacement</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur	107
Gambar 5. 50 <i>Total Displacement</i> Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	108
Gambar 5. 51 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	108

Gambar 5. 52 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	108
Gambar 5. 53 Kurva SF Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Paska Konstruksi	109
Gambar 5. 54 Grafik Perhitungan <i>Total Displacement</i> Pada Kondisi Tanah Asli Menggunakan Program PLAXIS	112
Gambar 5. 55 Grafik Perhitungan <i>Total Displacement</i> Pada Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Menggunakan Program PLAXIS	112
Gambar 5. 56 Grafik Perhitungan <i>Total Displacement</i> Kondisi Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil	113
Gambar 5. 57 Grafik Perbandingan <i>Total Displacement</i> Masa Konstruksi	113
Gambar 5. 58 Grafik Perbandingan <i>Total Displacement</i> Paska Konstruksi	114
Gambar 5. 59 Grafik Perhitungan Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli Menggunakan Program PLAXIS	116
Gambar 5. 60 Grafik Perhitungan Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Menggunakan Program PLAXIS	116
Gambar 5. 61 Grafik Perhitungan Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS	117
Gambar 5. 62 Grafik Hasil Konsolidasi <i>Excess Pore Water Pressure</i>	119
Gambar 5. 63 Grafik Waktu Derajat Konsolidasi 90%	121

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Gambar Potongan Melintang Jalan	128
Lampiran 2	Data Penyelidikan Tanah	129
Lampiran 3	Data Geotekstil	133
Lampiran 4	Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli	134
Lampiran 5	Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli	140
Lampiran 6	Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli	146
Lampiran 7	Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	150
Lampiran 8	Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	156
Lampiran 9	Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	162
Lampiran 10	Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil	166
Lampiran 11	Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil	172
Lampiran 10	Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> dan Geotekstil	178

DAFTAR NOTASI

w	= Kadar air
γ_b	= Berat Volume Tanah (kN/m^3)
γ_{sat}	= Berat Volume Tanah jenuh (kN/m^3)
FK	= Faktor Keamanan
N	= Newton
kN	= Kilo Newton
Mpa	= Mega Pascal
%	= Persen
D	= Diameter (m)
S	= Jarak (m)
L	= Panjang (m)
SF	= <i>Safety Factor</i>
τ_f	= Kuat Geser Tanah (kN/m^2)
τ_d	= Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh (kN/m^2)
m^2	= Meter persegi
c	= Kohesi (kN/m^2)
ϕ	= Sudut geser dalam ($^\circ$)
ν	= <i>Poissons ratio</i>
e	= Modulus young (kN/m^2)
ψ	= Sudut dilatasi ($^\circ$)
k	= Koefisien permeabilitas (cm/sec)
g	= Modulus geser (N/m^2)
σ	= Tegangan normal (kN/m^2)
σ'_f	= Tegangan normal efektif saat terjadi keruntuhan (kN/m^2)
τ'_f	= Tegangan geser efektif saat terjadi keruntuhan (kN/m^2)
u	= Tekanan air pori (kN/m^2)
R	= Jari-jari lingkaran bidang longsor (m)
n	= Jumlah irisan

W_i	= Berat massa tanah irisan ke- i (kN/m^2)
N_i	= Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
θ_i	= Sudut yang didefinisikan ($^\circ$)
a_i	= Panjang lengkung lingkaran pada irisan
α	= Sudut geser singgung masing-masing irisan
N'	= Gaya normal efektif (N)
σ_v	= Tegangan normal pada bidang kontak (kN/m^2)
T_a	= Gaya tarik pada tulangan
K_a	= Koefisien tanah aktif
σ_{hc}	= Tekanan horisontal rata-rata pada lipatan (kN/m^2)
S_v	= Jarak tulangan arah vertikal (m)
H	= Tinggi lapisan tanah (m)
q	= Beban merata (kN/m^2)
LO	= Panjang <i>overlapping</i> (m)
Z_i	= Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah (m)

ABSTRAK

Proyek Jalan tol Semarang – Demak yang terletak di Provinsi Jawa Tengah dibangun dengan tujuan untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi, pemerataan pembangunan, kesejahteraan masyarakat serta pembangunan di daerah. Pembangunan tol Semarang – Demak dilakukan pada lokasi bekas sawah dan tambak, dimana pada lokasi proyek ini didominasi dengan tanah lunak. Hal ini menjadi perhatian khusus karena berdampak penurunan tanah atau potensi longsor yang besar. Dalam pengerjaannya, timbunan tanah pada Proyek Tol Semarang – Demak dilakukan perkuatan dengan menggunakan geotekstil dan *prefabricated drain* untuk meminimalisir terjadinya kelongsoran.

Analisis stabilitas timbunan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan program PLAXIS V20 dengan variasi tinggi permodelan timbunan 4 meter, 6 meter, 8 meter dan 10 meter dengan perkuatan geotekstil dan *prefabricated drain*. Timbunan yang mengalami *collapse* pada tahapan analisis kemudian dilakukan perhitungan manual (metode *Fellenius*) untuk mendapatkan nilai angka keamanan (SF).

Hasil analisis stabilitas timbunan pada kondisi tanah asli dengan menggunakan program PLAXIS V20 pada masa konstruksi didapatkan nilai angka keamanan pada timbunan 4 meter sebesar 1,9510, timbunan 6 meter sebesar 1,4897, timbunan 8 meter sebesar 1,2363 dan pada timbunan 10 meter sebesar 1,00. Sedangkan pada paska konstruksi nilai angka keamanan pada timbunan 4 meter sebesar 1,4041, timbunan 6 meter sebesar 1,2272, timbunan 8 meter sebesar 1,0513 dan pada timbunan 10 meter mengalami *collapse*. Untuk mengetahui angka aman pada timbunan 10 meter dilakukan perhitungan dengan metode *Fellenius*. Hasil perhitungan dengan metode *Fellenius* didapatkan nilai angka keamanan sebesar 0,9098. Angka keamanan yang didapatkan pada kondisi tanah asli dengan perkuatan *prefabricated drain* dan geotekstil pada masa konstruksi didapatkan angka keamanan pada timbunan 4 meter sebesar 2,2325, timbunan 6 meter sebesar 2,0694, timbunan 8 meter sebesar 1,4484 dan pada timbunan 10 meter sebesar 1,1958. Sedangkan pada paska konstruksi nilai angka keamanan pada timbunan 4 meter sebesar 1,9076, timbunan 6 meter sebesar 1,6162, timbunan 8 meter sebesar 1,3814 dan pada timbunan 10 meter sebesar 1,2080. Untuk analisis penurunan tanah dengan perhitungan *excess pore water pressure* pada kondisi tanah asli dengan perkuatan *prefabricated drain* dan geotekstil pada timbunan 4 meter didapatkan nilai sebesar 0,1524 meter, timbunan 6 meter didapatkan nilai sebesar 0,2175 meter, timbunan 8 meter didapatkan nilai sebesar 0,3014 meter dan timbunan 10 meter didapatkan nilai sebesar 0,4737 meter.

Kata Kunci : Timbunan, Angka Keamanan, Geotekstil, Penurunan Konsolidasi, PLAXIS V20

ABSTRACT

The Semarang – Demak toll road project located in Central Java Province was built with the intention of increasing economic growth, equitable development, community welfare and development in the region. The construction of the Semarang – Demak toll road is carried out at the location of former rice fields and ponds, where the project site is dominated by soft soil. This is of particular concern because it has an impact on land subsidence or the potential for a landslide. In the process, the landfill on the Semarang – Demak toll road project is strengthened with geotextiles and prefabricated drains to minimize slippage.

The embankment stability analysis in this study was performed using PLAXIS V20 software with the variation of the embankment used is 4 meter, 6 meter, 8 meter and 10 meter with geotextile reinforcement and prefabricated drain. The stockpiles that collapsed during the analysis stage, a manual calculation (Fellenius method) is performed to obtain the safety factor (SF) value.

The result of embankment stability analysis in the original soil condition using PLAXIS V20 software during the construction period obtained the safety factor for the 4-meter embankment 1,9510, the 6-meter embankment 1,4897, the 8-meter embankment 1,2363 and the 10-meter embankment 1,00. While in post-construction, the value of safety factor for the 4-meter embankment 1,4041, the 6-meter embankment 1,2272, the 8-meter embankment 1,0513 and the 10-meter embankment heap collapsed. To find out the safety factor on the 10-meter embankment, a calculation was carried out using the Fellenius method. The result of calculation with the Fellenius method obtained a safety factor of 0,9098. The safety factor obtained in the original soil condition with geotextile reinforcement and prefabricated drain during the construction period obtained safety factor on the 4-meters embankment of 2,2325, the 5-meter embankment of 2,0694, the 8-meter embankment Of 1,4484 and the 10-meter embankment of 1,1958. While in post-construction, the value of safety factor for factor for the 4-meter embankment 1,9076, the 6-meter embankment 1,6162, the 8-meter embankment 1,3814 and the 10-meter embankment 1,2080. For the analysis of land subsidence with the calculation of excess pore water pressure on the original soil condition with geotextile reinforcement and prefabricated drain on the 4-meter embankment, a value of 0,1524 meter was obtained, a 6-meter embankment obtained a value of 0,2175 meter, an 8-meter embankment obtained a value of 0,3014 meter and a 10-meter embankment obtained a value of 0.4737 meter.

Keywords: *Stability, Geotextile, Safety Factor, Consolidation Settlement, PLAXIS V20*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proyek Strategis Nasional (PSN) adalah proyek – proyek bertaraf nasional yang dilakukan pada pemerintahan Presiden ke-6 Indonesia, Joko Widodo dengan tujuan meningkatkan pertumbuhan ekonomi, pemerataan pembangunan, kesejahteraan masyarakat serta pembangunan di daerah. Proyek Strategis Nasional berlandaskan hukum Peraturan Presiden No 3 Tahun 2016 yang berturut-turut diubah dengan Peraturan Presiden No 58 Tahun 2017, Peraturan Presiden No 58 Tahun 2018 dan Peraturan Presiden No 109 Tahun 2020 yang didalamnya memuat jumlah, rincian, serta lokasi setiap Proyek Strategis Nasional.

Proyek Infrastruktur yang termasuk kedalam Proyek Strategis Nasional salah satunya ialah Proyek Jalan Tol Semarang – Demak . Proyek Jalan Tol Semarang - Demak terdiri dari 2 seksi yaitu pada seksi I Kaligawe - Sayung sepanjang 10,294 km dan seksi II Sayung - Demak sepanjang 16,310 km dengan panjang total 26,7 km. Dibangunnya Jalan Tol Semarang - Demak diharapkan dapat menjadi pendukung dalam peningkatan konektivitas di wilayah Jawa Tengah bagian utara sekaligus penghubung kawasan strategis seperti bandara, pelabuhan, kawasan industri, dan kawasan pariwisata religi khususnya di wilayah Demak.

Dalam pembangunan konstruksi, terkhusus pada pembangunan jalan yang memanfaatkan suatu area yang cukup biasanya melewati kawasan perbukitan dan terkadang memiliki lereng terjal dimana topografi tanah yang sangat beragam. Dalam pelaksanaannya dilakukan suatu penimbunan pada daerah yang nantinya digunakan sebagai badan jalan yang berfungsi untuk mendapatkan trase jalan yang aman dan nyaman serta memiliki konstruksi yang kuat dan awet maka diperlukan suatu analisis tentang stabilitas lereng. Lereng timbunan adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu pada suatu bidang horizontal. Perbedaan ketinggian pada permukaan tanah dapat menimbulkan gaya-gaya

mendorong pada tanah, sehingga tanah cenderung bergerak ke arah bawah yang disebut gaya potensial, hal tersebut dapat menimbulkan longsor pada timbunan badan jalan. Kondisi tanah eksisting Proyek Jalan Tol Semarang – Demak berada di atas tanah lunak, hal ini menjadi perhatian penting akibat peristiwa yang dapat terjadi seperti terjadinya penurunan (*settlement*) dan longsor. Untuk mencegah terjadinya kelongsoran pada timbunan, diperlukan suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan kelongsoran. Ada beberapa perkuatan dalam analisis stabilitas lereng, salah satunya dengan menggunakan perkuatan geotekstil. Geotekstil merupakan suatu metode yang digunakan dalam Geoteknik yang menggunakan bahan sintesis polimer yaitu geosintetik.

Pada penelitian ini penulis mengambil lokasi studi kasus di Sta 20+475 dimana tinggi timbunan rencana adalah 4m serta penambahan variasi tinggi timbunan sebesar 6m, 8m dan 10m diatas tanah lunak. Permodelan lereng timbunan dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS V20 dengan tujuan untuk mengetahui stabilitas pada timbunan pada kondisi tanah asli serta melakukan perhitungan perkuatan yang diperlukan. Perkuatan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan 2 metode yaitu dengan melakukan penambahan *prefabricated drain* dan geotekstil.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut ini.

1. Bagaimana angka aman (*safety factor*) pada timbunan tanah asli?
2. Bagaimana angka aman (*safety factor*) pada timbunan tanah asli menggunakan *prefabricated drain*?
3. Bagaimana angka aman (*safety factor*) pada timbunan tanah asli menggunakan perkuatan *prefabricated drain* dan geotekstil?
4. Berapa besar penurunan tanah yang terjadi pada tanah asli dan tanah yang telah diberi perkuatan *prebaricated drain* dan geotekstil?

5. Berapa lama waktu yang dibutuhkan agar tanah mencapai derajat konsolidasi 90% pada tanah asli dan tanah yang telah diberi perkuatan *prebaricated drain* dan geotekstil?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui angka aman (*safety factor*) stabilitas lereng timbunan tanah asli
2. Mengetahui angka aman (*safety factor*) stabilitas lereng timbunan tanah asli dengan menggunakan *prefabricated drain*
3. Mengetahui angka aman (*safety factor*) stabilitas lereng timbunan tanah asli dengan menggunakan perkuatan *prefabricated drain* dan geotekstil
4. Mengetahui besar penurunan tanah pada timbunan tanah asli dan timbunan tanah asli yang telah diperkuat *prebaricated drain* dan geotekstil
5. Mengetahui lama waktu yang dibutuhkan pada tanah agar mencapai derajat konsolidasi 90%.

1.4 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan mengenai desain paling efektif dan aman dengan menggunakan perkuatan geotekstil pada proyek Jalan Tol Semarang – Demak.
2. Mengenal serta dapat mengoperasikan program PLAXIS dalam menganalisis kestabilan lereng.
3. Menjembatani penelitian-penelitian sejenis sebagai bahan masukan dan inovasi teknologi dalam rekayasa geoteknik yang dapat mempengaruhi perkembangan konstruksi di Indonesia.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini dapat berjalan secara sistematis, maka permasalahan yang ada perlu dibatasi dengan beberapa batasan, adapun batasan-batasan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Timbunan lereng pada Tol Semarang – Demak Seksi 2 Sta 20+475
2. Data tanah yang digunakan berasal dari laporan penyelidikan tanah Tol Semarang – Demak Seksi 2 (sumber : PT. Pembangunan Perumahan, 2020)
3. Kemiringan lereng 1 vertikal : 2 horizontal
4. Variasi tinggi timbunan adalah 6m, 8m, 10m
5. Geosintetik yang digunakan adalah jenis geotekstil *woven* GT-250 produksi PT. Geo Permata Abadi 2020, dengan kuat tarik ultimit 63 kN/m².
6. Penggunaan *prefabricated drain* disesuaikan pada kondisi lapangan dengan pola segitiga, jarak antar PVD sebesar 0,9m dan kedalaman PVD sebesar 22m.
7. Beban gempa dinamik diperhitungkan sesuai dengan PUSKIM dan *Whitter Narrow California* tahun 2014
8. Data beban gempa yang digunakan dalam analisis program PLAXIS menggunakan data gempa yang mengacu pada peta zonasi gempa berdasarkan SNI 1726:2019.
9. Pembebanan sesuai dengan Peraturan Departemen Pekerjaan Umum tahun 2009 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Jalan
10. Perhitungan manual dilakukan dengan menggunakan Metode Fellenius untuk mengetahui angka aman timbunan tanah asli
11. Analisis menggunakan bantuan program PLAXIS V20

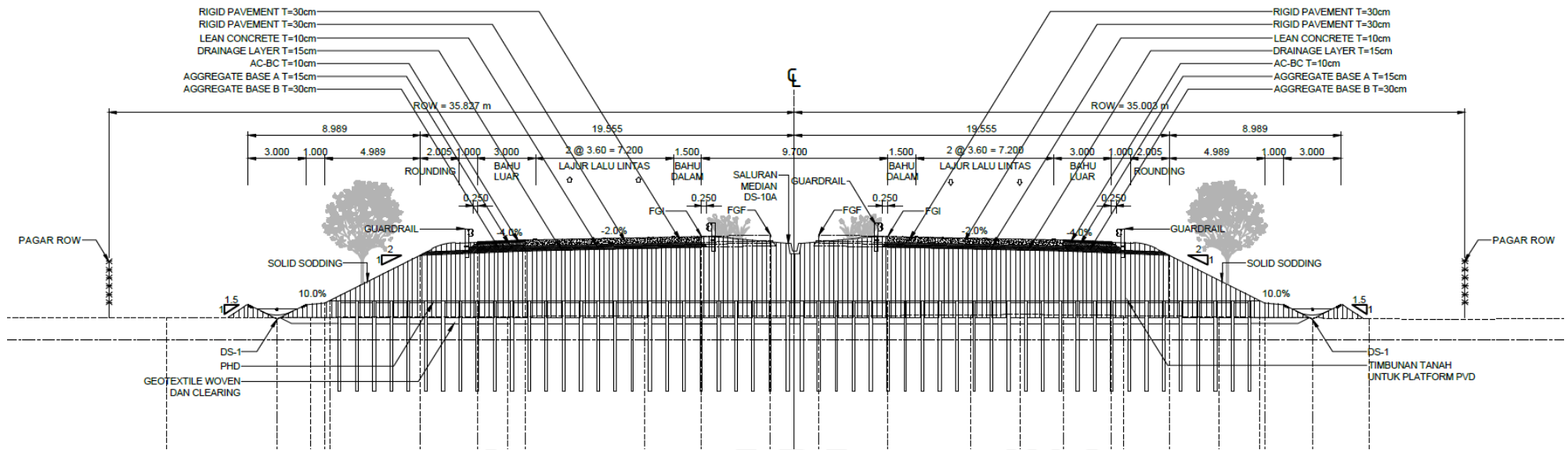
1.6 Lokasi Studi Kasus

Lokasi yang digunakan pada penelitian ini diambil pada studi kasus yaitu Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak. Denah lokasi pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut ini.



Gambar 1. 1 Denah Lokasi Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak





Gambar 1. 2 Potongan Melintang Jalan STA 20+475

(Sumber: PT. Pembangunan Perumahan, 2020)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil

Arsy (2018) melakukan penelitian dengan judul Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius. Studi kasus yang diteliti adalah proyek Jalan Tol Solo – Kertosono STA 4+175. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui stabilitas timbunan pada badan jalan tanpa perkuatan geotekstil dan dengan perkuatan geotekstil serta mengetahui hubungan antara panjang, jarak vertikal dan sudut kemiringan geotekstil terhadap angka keamanan. Hasil analisis tanpa perkuatan dengan metode *Fellenius* secara manual yaitu angka aman sebesar 1,786, sedangkan pada *Geoslope* tanpa pengaruh gempa sebesar 1,947 dan yang dipengaruhi gempa yaitu 1,030. Hasil analisis menggunakan perkuatan dengan metode *Fellenius* secara manual pada variasi panjang geotekstil dengan panjang masing-masing 10 m, 13 m dan 15 m yaitu 2,339, 2,347 dan 2,375, kemudian pada *Geoslope* tanpa pengaruh gempa sebesar 2,497, 2,855 dan 2,947, dan dengan pengaruh gempa yaitu 1,304, 1,422 dan 1,448. Hasil analisis menggunakan perkuatan dengan metode *Fellenius* secara manual pada variasi jarak vertikal antar geotekstil dengan Sv masing-masing 0,3 m, 0,4 m dan 0,6 m yaitu 2,646, 2,347 dan 2,059, pada *Geoslope* tanpa pengaruh gempa sebesar 2,869, 2,855 dan 2,758, sedangkan dengan pengaruh gempa yaitu 1,436, 1,422 dan 1,405. Hasil analisis menggunakan perkuatan dengan metode *Fellenius* secara manual pada variasi sudut kemiringan lereng dengan sudut masing-masing 19°, 25° dan 29° yaitu 2,440, 2,347 dan 2,355, sedangkan pada *Geoslope* tanpa pengaruh gempa sebesar 2,930, 2,855 dan 2,696, dengan pengaruh gempa yaitu 1,423, 1,422 dan 1,409.

Budiasto (2018) melakukan penelitian mengenai Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan PLAXIS.

Penelitian mengambil studi kasus pada proyek Jalan Tol Solo – Kertosono STA 118+700 – 139+760. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui safety factor pada timbunan dan penurunan tanah selama 200 hari. Variasi tinggi pada permodelan dibedakan menjadi 2 m, 4 m, 6 m dan 8 m. Selain variasi tinggi, dilakukan juga variasi pada tiga kondisi yaitu, timbunan tanah asli, timbunan dengan tanah replacement dan timbunan tanah replacement yang diperkuat dengan geotekstil. Dari analisis program PLAXIS didapatkan angka aman yang lebih besar dari angka aman yang disyaratkan yaitu sebesar 1,4 dan besar penurunan sebesar 2 m pada kondisi tanah asli dengan geotekstil 1,785 saat konstruksi, 1,452 saat paska konstruksi dan penurunan -0,038 m. Tanah asli replacement 0,5 m dengan geotekstil 1,859 saat konstruksi, 1,629 saat paska konstruksi dan penurunan -0,038 m. Tanah asli replacement 1 m dengan geotekstil 2,065 saat konstruksi, 1,716 saat paska konstruksi dan penurunan -0,043 m. Pada timbunan 4 m dengan kondisi tanah replacement 1 m dengan geotekstil 1,645 saat konstruksi, 1,512 saat paska konstruksi dan penurunan -0,005 m. Pada timbunan 6 m dengan kondisi tanah asli replacement 1 m dengan geotekstil 1,457 saat konstruksi, 1,410 saat paska konstruksi dan penurunan 0,045 m. Pada timbunan 8 m dengan kondisi tanah replacement 1 m dengan geotekstil dan *counterweight* 1,504 saat konstruksi, 1,501 saat paska konstruksi dan penurunan 0,471 m.

Thantowi (2019) melakukan penelitian dengan perkuatan sheet pile baja dan geotekstil. Metode analisis timbunan yang digunakan dengan menggunakan program PLAXIS V20 dengan tujuan untuk mengetahui nilai angka aman pada timbunan pada kondisi sebelum dan sesudah menggunakan perkuatan sheet pile baja berangkur dan geotekstil. Hasil perhitungan nilai angka aman pada timbunan tanah asli dengan menggunakan program PLAXIS V20 tidak dapat menampilkan nilai angka aman timbunan tersebut. Sehingga digunakan perhitungan secara manual menggunakan metode Fellinius dan didapatkan nilai angka aman sebesar 0,3016. Dengan nilai Angka aman $< 1,25$ maka timbunan tanah asli dinyatakan labil atau tidak aman terhadap keruntuhan. Pada timbunan yang diperkuat dengan perkuatan Sheet Pile baja berangkur dan dianalisis dengan menggunakan program PLAXIS V20 pada kondisi masa konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,4953 dan

dengan beban gempa sebesar 1,4924. Sedangkan nilai angka aman pada kondisi paska konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,2753 dan dengan beban gempa sebesar 1,2744. Dengan nilai Angka aman $> 1,25$, maka timbunan dinyatakan aman terhadap keruntuhan. Sedangkan pada timbunan yang diperkuat dengan perkuatan Geotekstil dan dianalisis dengan menggunakan program PLAXIS V20 pada kondisi masa konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,6266 dan dengan beban gempa sebesar 1,6057. Sedangkan nilai angka aman pada kondisi paska konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,5332 dan dengan beban gempa sebesar 1,5151. Dengan nilai Angka aman $> 1,25$, maka timbunan dinyatakan aman terhadap keruntuhan.

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

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

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Arsy (2018)	Budiasto (2018)	Suryadinullah (2018)	Hamdani (2019)	Utomo (2019)	Pratama (2022)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode <i>Fellenius</i> Pada Proyek Jalan Tol Solo – Kertosono STA 4+175.	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS pada Proyek Jalan Tol Solo – Kertosono.	Analisis Stabilitas Timbunan Lereng pada jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS pada Jalan Tol Terbanggi Besar – Pemantang Panggang Sta 3+650, Lampung	Analisis Stabilitas Timbunan Jalan di atas tanah lunak dengan perkuatan <i>Sheet Pile</i> dan Geotekstil.	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i> dengan Menggunakan Program <i>GEOSLOPE</i> Pada Studi Kasus Bantaran Sungai Code.	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Tanah Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS (studi kasus : Proyek Jalan Tol Semarang-Demak)

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Arsy (2018)	Budiasto (2018)	Suryadinullah (2018)	Hamdani (2019)	Utomo (2019)	Pratama (2022)
Tujuan Penelitian	Mengetahui hasil analisis stabilitas timbunan pada badan jalan tanpa menggunakan geoteksstil, dengan perkuatan, hubungan antara panjang geoteksstil terhadap angka aman.	Mengetahui nilai angka aman serta besar penurunan tanah timbunan yang terjadi pada badan jalan dengan variasi tinggi timbunan.	Mengetahui angka aman dan mencari besarnya penurunan pada timbunan lereng dengan variasi tinggi timbunan .	Mengetahui nilai angka aman pada timbunan tanah yang diperkuat dengan <i>sheet pile</i> dan geotekstil.	Mengetahui faktor keamanan lereng alami berdasarkan analisis kelongsoran metode perhitungan manual <i>fallenius</i> dan Bishop yang disederhanakan.	Mengetahui hubungan analisis stabilitas lereng dengan variasi tinggi timbunan tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geoteksstil menggunakan program PLAXIS.
Metode Penelitian	Analisa dan permodelan menggunakan program <i>GEOSLOPE</i> dan perhitungan manual dilakukan dengan metode <i>Fellenius</i> .	Analisa menggunakan program PLAXIS untuk faktor angka aman dan perhitungan manual dengan metode <i>Fellenius</i> untuk timbunan yang collapse.	Analisa menggunakan program PLAXIS untuk faktor angka aman timbunan dan konsolidasi yang terjadi akibat beban serta perhitungan manual kebutuhan geotekstil.	Analisis stabilitas timbunan badan jalan dengan melakukan permodelan menggunakan program PLAXIS 8.6	Analisa menggunakan program <i>Geoslope</i> dan metode <i>Fellenius</i> dan Bishop untuk dibandingkan dengan perhitungan manual.	Analisa menggunakan program PLAXIS untuk kestabilan angka aman timbunan dan konsolidasi yang terjadi.

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Arsy (2018)	Budiasto (2018)	Suryadinullah (2018)	Hamdani (2019)	Utomo (2019)	Pratama (2022)
Hasil Penelitian	Hasil analisis stabilitas jalan menggunakan perkuatan dengan metode <i>Fellenius</i> secara perhitungan manual diperoleh nilai (SF) sebesar 1,786.	Timbunan tanah asli memiliki nilai (SF) 1,4 namun penurunan tanah sangat besar.. Setelah diperkuat dengan tanah replacement serta geotekstil penurunan tanah dapat direduksi	Timbunan dengan tinggi 6 m dan 8 m menggunakan perkuatan geotekstil sudah mempunyai faktor angka aman dari yang diisyaratkan sebesar 1,3.	Timbunan yang diperkuat dengan sheet pile dan geotekstil telah memenuhi nilai angka aman > 1,25, maka timbunan dinyatakan aman terhadap keruntuhan.	Faktor aman pada sudut <i>nail</i> 10° sebesar 1,5391 dan dengan program <i>Geoslope</i> dengan beban gempar sebesar 1,278 > 1,1 (aman).	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Pengertian Umum

Tanah merupakan bahan padat yang terbentuk dari mineral atau organik yang terletak di permukaan bumi yang diperoleh dari proses perubahan bentuk batuan diakibatkan adanya proses mekanis serta kimia menjadi bentuk partikel yang berukuran lebih. Hardiyatmo (2002) mengungkapkan bahwa tanah adalah suatu kumpulan yang terdiri atas bahan organik (tumbuhan), mineral atau anorganik (vulkanik) serta endapan yang tanggal (*loose*), yang terletak pada batuan dasar (*bedrock*).

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah sebuah metode penggolongan dari berbagai jenis tanah yang berbeda namun memiliki karakteristik yang serupa kedalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakainnya. Sistem klasifikasi tanah bertujuan memberikan informasi karakteristik dan sifat-sifat fisik tanah, karena tanah memiliki sifat dan perilaku yang begitu beragam. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang didapatkan dari analisis saringan dan plastisitas.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang pada umumnya sering digunakan, sistem tersebut adalah sistem klasifikasi tanah bersumber *Unified Soil Classification System* (USCS) dan sistem klasifikasi bersumber *American Association of State Highway and Transportation Officials Classification* (AASHTO).

1. Klasifikasi berdasarkan USCS (*Unified Soil Classification System*)

Pada sistem USCS (*Unified Soil Classification System*), tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) apabila kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lempung/lanau) apabila lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Kemudian,

tanah diklasifikasikan ke dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang ditentukan. Pengklasifikasian sistem USCS dapat dilihat seperti pada Tabel 3.5 berikut.

Berikut merupakan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) yang ditampilkan pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Sistem Klasifikasi USCS (Unified Soil Classification System)

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

Sumber : Hardiyatmo (2010)

2. Klasifikasi berdasarkan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*)

Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) adalah sistem yang dikembangkan pada 1929 yang berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan

timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah kedalam 7 kelompok utama yaitu a-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan dalam kelompok A-1, A-2 dan A-3 merupakan tanah granuler yang memiliki partikel lolos saringan No.200 kurang dari 35%. Tanah yang lolos saringan No.200 lebih dari 35% diklasifikasikan kedalam kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Tanah dalam kelompok ini biasanya merupakan jenis tanah lanau dan lempung.

Berikut merupakan sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO yang ditampilkan pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Sistem Klasifikasi Berdasarkan AASHTO

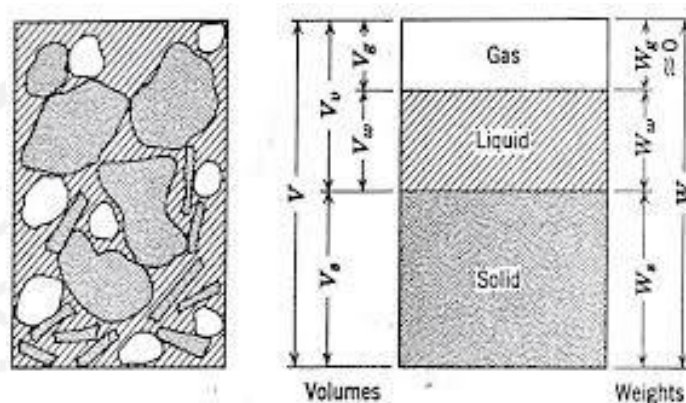
Klasifikasi Umum	Tanah Granuler ¹						
	A-1		A-3	A-2-4	A-2		
Kelompok	A-1-a	A-1-b			A-2-5	A-2-6	
Persen lolos saringan							
No. 10	50 max		51 min				
No. 40	30 max	50 max					
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	
Batas cair ^a			NP	40 max	41 min	40 max	
Indek Plastisitas ^a	6 max			10 max	10 max	11 min	
Fraksi tanah	Kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir lanau atau lempung			
Kondisi kuat dukung	Sangat baik hingga baik						
Klasifikasi Umum	Tanah Granuler		Tanah Mengandung Lanau-Lempung ²				
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							
No. 200	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min	36 min	36 min
Batas cair ^a	41 min	40 max	41 min	40 max	40 max	40 max	41 min
Indek Plastisitas ^a	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)

3.1.3 Parameter Tanah

Hardiyatmo (2002) menjelaskan bahwa tanah terdiri dari dua hingga tiga komponen yaitu udara, butiran tanah dan air. Dalam kondisi kering, tanah hanya terdiri atas dua bagian yaitu pori-pori udara dan butiran-butiran tanah. Pada tanah kondisi jenuh juga terdiri atas dua bagian yaitu bagian padat dan air pori.

Sedangkan pada kondisi tanah tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga komponen yaitu butiran tanah (bagian padat), air pori dan pori-pori udara. Hubungan yang terjadi pada bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 Berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Fase Tanah

(Sumber : Lambe dan Whitman, 1969)

Berdasarkan dari Gambar 3.1 pada setiap butirnya, suatu tanah terdiri atas tiga elemen. Terdapat air, udara dan padatan serta pada setiap elemen yang membentuk tanah tersebut memiliki berat dan volume masing-masing. Berdasarkan gambar yang diperlihatkan pada diagram fase tanah, maka dapat dibentuk Persamaan 3.1 hingga Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$W = W_s + W_w + W_g \approx 0 \quad (3.1)$$

dan

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

$$W_w + W_a = V_w + V_a \quad (3.3)$$

Keterangan :

W = berat total

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V = volume total

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

V_v = volume rongga

1. Kadar air (w)

Kadar air adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) dalam tanah, dinyatakan dalam persen dalam Persamaan 3.4 berikut ini.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3.4)$$

2. Berat volume butiran padat (γ_s)

Berat volume butiran padat adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s) seperti Persamaan 3.5 berikut.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (3.5)$$

3. Berat volume jenuh air (γ_{sat})

Untuk berat volume jenuh air ($S = 100\%$), maka dapat diperoleh Persamaan 3.6 berikut ini.

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_s(G_s + e)}{1 + e} \quad (3.6)$$

4. Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat yang terdapat pada suatu bahan berpori yang dapat mengalirkan rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir melalui rongga pori. Akibat dari Pori-pori pada tanah saling terhubung dan tekanan tinggi menuju tekanan yang lebih rendah maka air dapat mengalir dari. Pada tanah, permeabilitas digambarkan sebagai sifat tanah yang dapat mengalirkan air melewati rongga pori tanah. Das (1983) dalam Buku Mekanika Tanah 1 Edisi Ke Enam mengungkapkan untuk perkiraan nilai permeabilitas pada jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut

Tabel 3. 3 Nilai Koefisien Permeabilitas

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

Sumber : Hardiyatmo (2012)

5. Modulus Young

Besarnya nilai elastisitas tanah ditunjukkan oleh nilai modulus young yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap rengangan. Nilai ini dapat didapatkan melalui pengujian triaksial pada kondisi undrained. M. Das (2010) menyarankan untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas tanah pasir menggunakan korelasi dari pengujian N-SPT dan CPT dapat menggunakan persamaan Schmermaan (1970) sebagai berikut :

$$E_s = 766 \times N\text{-SPT} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (3.7)$$

$$E_s = 2 q_c \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (3.8)$$

Nilai modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti tampak pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

No.	Jenis Tanah	E (kN/m ²)
1.	Lempung :	
	Sangat lunak	300 – 3000
	Lunak	2000 – 4000
	Sedang	4500 – 9000
	Keras	7000 – 20000
	Berpasir	30000 – 42500
2.	Pasir :	
	Berlanau	5000 – 20000
	Tidak padat	10000 – 250000
	Padat	50000 – 100000
3.	Pasir dan kerikil :	
	Padat	80000 – 200000
	Tidak padat	50000 – 140000
4.	Lanau	2000 – 20000
5.	Loses	15000 – 60000
6.	Cadas	140000 – 1400000

Sumber : Bowles (1977)

6. *Poisson Ratio*

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai ini dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3. 5 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson

No.	Jenis Tanah	Poisson Ratio
1.	Lempung jenuh	0,4 – 0,5
2.	Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
3.	Lempung berpasir	0,2 – 0,3
4.	Lanau	0,3 – 0,35
5.	Pasir padat	0,2 – 0,4
6.	Pasir tidak padat	0,15
7.	Pasir halus	0,25
8.	Batu	0,1 – 0,4
9.	Loses	0,1 – 0,3

Sumber : Hardiyatmo (2003)

7. Sudut Dilatansi

Sudut Dilatansi (*Dilatancy Angle*). Bolton (1986) menjelaskan dalam kaitannya dengan PLAXIS, korelasi sudut gesekan dengan sudut dilatansi direkomendasikan untuk tanah kohesif $\psi = \phi - 30$, untuk tanah kohesif yang cenderung memiliki dilatansi yang kecil, maka nilai $\psi = 0$ akan realistis untuk digunakan dalam kasus umum. Dilatansi dari tanah pasir bergantung pada kepadatan serta sudut gesernya.

Besarnya sudut dilatansi dapat dilihat melalui Persamaan 3.9 berikut.

$$\psi \approx \phi - 30^\circ \quad (3.9)$$

Keterangan:

ψ = Sudut dilatansi (°)

ϕ = Sudut geser dalam tanah (°)

Walaupun demikian, dalam kebanyakan kasus, untuk nilai ϕ kurang dari 30° sudut dilatansi yang digunakan adalah nol. Nilai negatif yang kecil untuk ψ hanya realistis untuk tanah pasir yang sangat lepas.

8. Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya yang dilakukan tanah terhadap desakan atau tarikan saat tanah terbebani. Head (1982) menjelaskan kuat geser tanah adalah sebuah kemampuan maksimum tanah bertahan terhadap kondisi tekanan (*pressure*) dan kelembapan tertentu. Dari dasar pengertian tersebut, apabila tanah mengalami pembebanan maka akan ditahan oleh (Hardiyatmo,2009) :

1. Kohesi tanah bergantung pada jenis tanah serta kepadatannya, namun tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan yang terjadi antara butir-butir tanah besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Coulomb (1776) mendefinisikan kuat geser tanah dengan Persamaan 3.10 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.10)$$

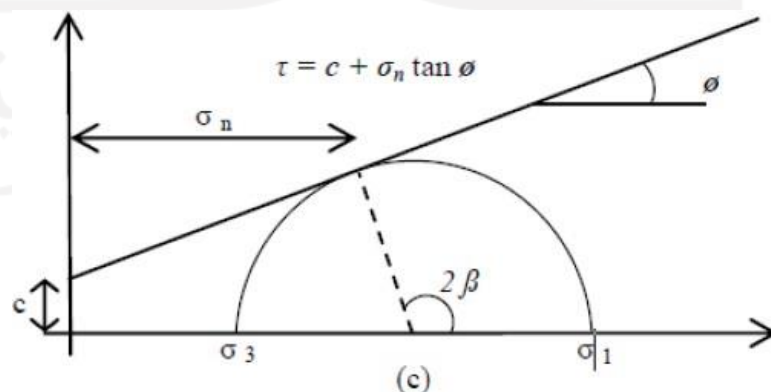
Keterangan:

τ = Kuat geser tanah (kN/m²)

c = Kohesi tanah (kN/m²)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

φ = Sudut geser dalam tanah (°)



Gambar 3. 2 Kriteria Kegagalan Mohr dan Couloumb

(Sumber : Das, B.M., 1995)

Kriteria keruntuhan atau kegagalan Mohr dan Coulomb digambarkan dalam bentuk garis lurus. Ketika kedudukan tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan tidak akan terjadi. Pada titik Q terjadi keruntuhan karena titik tersebut terletak tepat pada garis kegagalan. Titik R tidak akan dicapai, karena sebelum mencapai titik R tanah sudah terjadi keruntuhan.

Terzaghi (1925) mengubah persamaan Coulomb dalam bentuk efektif karena tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan air pori yang bias dilihat pada persamaan 3.11 dan 3.12 berikut ini.

$$\tau = c' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi' \quad (3.11)$$

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

$$\tau = c' + \sigma' \operatorname{tg} \varphi' \quad (3.12)$$

Keterangan:

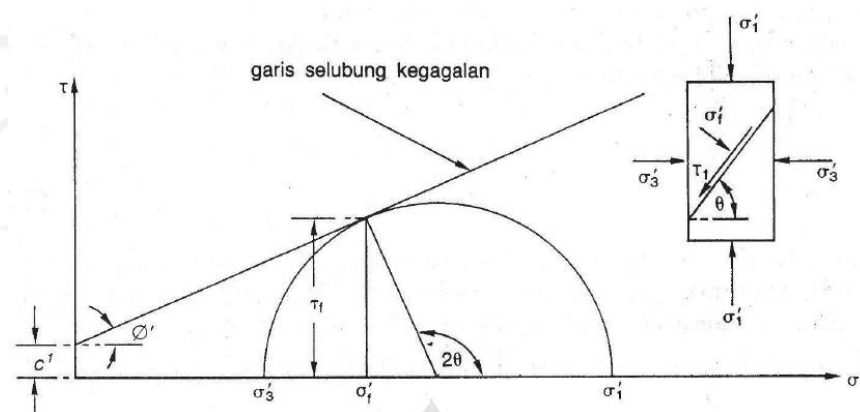
σ' = Tegangan normal efektif (kN/m²)

c' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)

φ' = Sudut gesek dalam tanah efektif (°)

u = Tekanan air pori (kN/m²)

Kuat geser tanah bisa dinyatakan dalam bentuk tegangan efektif σ'_1 dan σ'_3 pada saat keruntuhan terjadi. Lingkaran Mohr terbentuk setengah lingkaran dengan koordinat (τ) dan (σ') dilibatkan dalam Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3. 3 Lingkaran Mohr Saat Kegagalan

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Dari lingkaran Mohr pada Gambar 3.3 tersebut dapat dilihat bahwa:

c' = Kohesi (kN/m²)

φ = Sudut gesek dalam efektif (°)

σ_1' = Tegangan utama mayor efektif (kN/m²)

σ_3' = Tegangan utama minor efektif (kN/m²)

θ = Sudut keruntuhan (°)

$\tau'f$ = Tegangan geser efektif pada saat terjadi keruntuhan

$\sigma'f$ = Tegangan normal efektif pada saat terjadi keruntuhan

Dari lingkaran Mohr hubungan parameter-parameter tersebut dapat digunakan pada persamaan 3.13, 3.14 dan 3.15 dibawah ini.

$$\tau'f = (\sigma_1' - \sigma_3') \sin 2\theta \quad (3.13)$$

$$\sigma'f = (\sigma_1' + \sigma_3') \cos 2\theta \quad (3.14)$$

$$\sin \varphi = \frac{(\sigma_1' - \sigma_3')/2}{(\sigma_1' + \sigma_3')/2} \quad (3.15)$$

Terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan dalam menentukan kuat geser tanah, antara lain :

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

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk menentukan kuat geser tanah adalah dengan metode pengujian geser langsung (*direct shear test*) dan pengujian triaksial (*triaxial test*). Pengujian kuat geser dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan parameter kuat geser yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ).

1. Kohesi

Kohesi (*cohesion*) adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam tanah yang dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi merupakan parameter kuat geser tanah dalam menentukan ketahanan

tanah terhadap deformasi akibat adanya tegangan yang bekerja pada tanah dalam, hal ini berupa gerakan lateral tanah. Kohesi tanah akan semakin besar apabila kekuatan gesernya semakin besar. Nilai kohesi (c) diperoleh dari pengujian kuat geser langsung (*direct shear test*) dan pengujian triaksial (*triaxial test*). Selain itu, nilai kohesi dapat ditentukan melalui nilai q_c pada uji sondir seperti pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3. 6 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Kohesi

No.	Konsentrasi Tanah	Tekanan konus q_c (kg/cm^2)	Kohesi derajat ^o
1.	Very Soft	<2,59	<1,25
2.	Soft	2,50 – 5,0	1,25 – 2,50
3.	Medium Stiff	5,0 – 10,0	2,50 – 5,0
4.	Stiff	10,0 – 20,0	5,0 – 10,0
5.	Very Stiff	20,0 – 40,0	10,0 – 20,0
6.	Hard	>40,0	20,0

Sumber : Bowles (1996)

2. Sudut geser dalam

Sudut geser dalam (*friction angle*) adalah sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal di dalam material tanah atau batuan. Bersamaan dengan kohesi, sudut geser dalam menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai sudut geser dalam juga didapat melalui pengujian kuat geser langsung (*direct shear test*) dan pengujian triaksial (*triaxial test*). Selain itu, kisaran nilai sudut geser dalam dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.7

Tabel 3. 7 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

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

Sumber : Das (1994)

3.2 Lereng

3.2.1 Stabilitas Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang tidak datar serta membentuk suatu sudut kemiringan tertentu terhadap bidang longsoran. Terdapat dua jenis lereng yaitu alami dan lereng buatan. Lereng yang terbentuk secara alami diantaranya seperti bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain struktur timbunan atau urugan dan galian untuk pembangunan bangunan gedung, jalan raya, tanggul sungai dan lain-lain.

Gaya-gaya gravitasi dan rembesan (*seepage*) cenderung menyebabkan ketidakstabilan pada lereng alami (*natural slope*), pada lereng yang dibentuk secara penggalian dan pada lereng tanggul serta bendungan tanah (*earth dams*). Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*). Maksud dari analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Tipe keruntuhan lereng yang terjadi pada analisis yaitu tipe keruntuhan gabungan yang digambarkan pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3. 4 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan

(Sumber : Das, 2002)

Departemen Pekerjaan Umum mengisyaratkan nilai faktor keamanan untuk lereng seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3. 8 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng

		Resiko terhadap nyawa	Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan nyawa manusia		
			Tak diperhatikan	Rendah	Tinggi
Rekomendasi faktor keamanan terhadap resiko kehilangan secara	Manusia Resiko Ekonomis	Diabaikan	1,1	1,2	1,5
		Rendah	1,2	1,2	1,5
		Tinggi	1,4	1,4	1,5
Catatan :					
Meskipun nilai faktor keamanan lerengnya 1,4, jika beresiko tinggi terhadap keselamatan orang – orang disekitarnya maka harus diubah menjadi 1,1 berdasarkan hasil prediksi kondisi air tanah terburuk					
Faktor Keamanan yang tercantum di dalam tabel ini adalah nilai – nilai yang direkomendasikan. Faktor keamanan yang lebih tinggi atau lebih rendah mungkin saja					
Teraman keamanannya pada situasi-situasi khusus dalam hubungannya dengan resiko kehilangan nyawa dan ekonomis					

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum (2005)

3.2.2 Faktor Keamanan

Longsoran suatu lereng umumnya terjadi melalui bidang yang disebut dengan bidang gelincir (slip surface). Dalam menentukan kestabilan lereng, dikenal istilah faktor keamanan (*safety factor*), faktor keamanan adalah perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya penggerak. Gaya penahan (resisting force) adalah gaya yang menahan agar tidak terjadinya longsoran pada tanah, sedangkan gaya penggerak (driving force) adalah gaya yang menyebabkan terjadinya longsoran

tanah. Perbandingan antara kedua gaya tersebutlah yang disebut dengan faktor keamanan (FK). Kondisi lereng dapat dinyatakan dalam keadaan mantap, apabila nilai faktor keamanan yang dihasilkan lebih besar dari 1 ($FK > 1$). Namun diperlukan nilai-nilai empiris lain mengingat banyak faktor-faktor penentu kemantapan lereng untuk menentukan kondisi kemantapan lereng pada nilai faktor keamanan tertentu. Bowles (1989) menjelaskan keadaan lereng berdasarkan nilai *safety factor* (SF) yang dapat dilihat pada Tabel 3.9 berikut ini.

Tabel 3. 9 Faktor Keamanan Lereng

Faktor Keamanan	Status Lereng	Intensitas Longsor
$SF < 1,07$	Lereng Labil	Longsor sering terjadi
$1,07 \geq SF \geq 1,25$	Lereng Kritis	Longsor pernah terjadi
$1,25 \geq SF$	Lereng Relatif Stabil	Longsor jarang terjadi

Sumber : Bowles (1989)

Lereng yang labil merupakan lereng yang intensitas longsornya sering terjadi, ditandai dengan nilai faktor aman dibawah 1,07. Lereng kritis merupakan lereng yang pernah terjadi longsor, ditandai dengan nilai faktor aman berkisar antara 1,07 hingga 1,25. Sedangkan lereng yang relatif stabil adalah lereng yang intensitas longsornya jarang terjadi dan merupakan lereng yang aman, ditandai dengan nilai faktor aman diatas 1,25.

3.2.3 Metode *Fellenius*

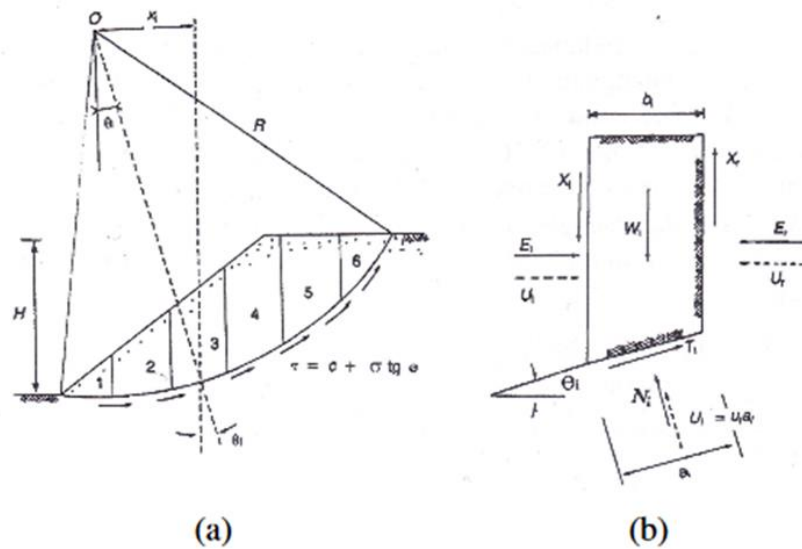
Metode Fellenius (*Ordinary Method of Slice*) adalah sebuah metode yang diperkenalkan pertama kali oleh Fellenius (1927, 1936), metode ini menyatakan gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan faktor keamanan dihitung dengan keseimbangan momen. Analisis menggunakan metode Fellenius menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan- kiri dari sembarang irisan memiliki resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor.

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

Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisannya adalah sama dengan nol, atau dapat juga disebutkan bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan. Maka asumsi yang dibuat oleh metode ini adalah :

1. posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan: n
2. resultan gaya antar irisan sama dengan nol: $n - 1$ Total : $2n - 1$

Ilustrasi mengenai gaya-gaya yang bekerja pada irisan dengan pemodelan metode fellenius dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3. 5 Gambar Ilustrasi gaya-gaya pada setiap irisan dengan Metode Fellenius

(sumber : Hardiyatmo, 2010)

Keterangan :

X_1, X_r = gaya geser efektif disepanjang sisi irisan

E_1, E_r = gaya normal efektif disepanjang sisi irisan

T_i = resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

N_i = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

U_1, U_r = tekanan air pori yang bekerja dikedua sisi irisan,dan

U_i = tekanan air pori di dasar irisan

Berdasarkan anggapan diatas, maka dapat diuji persamaan keseimbangan arah vertikal dari gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori yang dapat dilihat pada Persamaan 3.16 hingga Persamaan 3.18 berikut ini.

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (3.16)$$

Atau,

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i \quad (3.17)$$

$$N_i = W_i \cos \theta_i - u_i a_i \quad (3.18)$$

Faktor aman (F) didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor (ΣM_R) dengan jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor (ΣM_D) yang dapat dilihat pada Persamaan 3.19 berikut.

$$F = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_D} \quad (3.19)$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$ dapat dilihat pada Persamaan 3.20 berikut.

$$\Sigma M_D = \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (3.20)$$

Keterangan :

R = jari-jari lingkaran bidang longsor

n = jumlah irisan

W_i = berat massa tanah irisan ke- i

N_i = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

θ_i = sudut yang didefinisikan

Melalui cara yang sama, momen yang menahan tanah yang akan longsor dapat dilihat pada Persamaan 3.21

$$\Sigma M_R = \sum_{i=1}^{i=n} (c a_i + n_i \text{tg } \emptyset)(c a_i + n_i \text{tg } \emptyset) \quad (3.21)$$

Persamaan untuk faktor amannya menjadi seperti pada Persamaan 3.22

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} (c a_i + n_i \operatorname{tg} \emptyset)}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.22)$$

Bila pada lereng terdapat air, maka tekanan air pori pada bidang longsor tidak berpengaruh pada M_D , karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi Persamaan 3.20 ke persamaan 3.22, maka diperoleh persamaan 3.23

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} c a_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \emptyset}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.23)$$

Keterangan :

- F = faktor aman,
- c = kohesi tanah (kN/m^2),
- \emptyset = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$),
- a_i = panjang bagian lingkaran pada irisan ke-i (m),
- W_i = berat irisan tanah ke-i (kN),
- u_i = tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m^2), dan
- θ_i = sudut yang didefinisikan ($^\circ$).

Proses perhitungan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode Fellenius, berat pada setiap irisan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.22 untuk irisan yang hanya dibebani oleh berat tanah dan Persamaan 3.24 untuk irisan yang juga dibebani oleh beban perkerasan dan beban lalu lintas di atasnya.

$$W_i = \gamma \times A_i \quad (3.24)$$

$$W_i = \gamma \times A_i \quad (3.25)$$

dengan:

- W_i = berat irisan tanah (kN),
- γ = berat volume tanah (kN/m^3),
- A_i = luas irisan tanah (m^2),
- q = beban (kN/m^2), dan
- L = lebar irisan yang terkena beban (m).

Jika terdapat gaya-gaya selain berat lereng tanahnya sendiri, seperti beban bangunan di atas lereng, maka momen akibat beban diperhitungkan sebagai M_D . Batas-batas nilai kesalahan pada metode Fellenius dapat mencapai antara 5 hingga 40% tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih dan besarnya tekanan air pori, walaupun analisisnya ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahannya masih merupakan fungsi dari faktor aman dan sudut pusat dari lingkaran.

3.3 Perkuatan Lereng

3.3.1 Pengertian Umum

Perkuatan Lereng (*revetments*) adalah suatu bangunan yang ditempatkan pada permukaan suatu lereng yang berfungsi untuk menstabilkan kondisi tanah tertentu, pada umumnya dipasang pada daerah tebing yang labil. Fungsi dari konstruksi *revetments* adalah menahan tanah dari bahaya longsor.

3.3.2 Geosintetik

Geosintetik berasal dari kata *geo* yang berarti tanah dan *sinetik* yang berarti tiruan. Maka geosintetik adalah bahan tiruan (sintetik) atau bahan yang bukan merupakan bahan alami yang penggunaannya berhubungan dengan tanah atau batuan (Suryolelono, 2000). Bahan sintesis ini dapat berupa bahan-bahan yang berasal dari polimerisasi hasil industri-industri minyak bumi, serat-serat sintesis, kain, baja dan lain lain. Dalam perkembangan selanjutnya geosintetik adalah bahan sintesis berupa serat-serat sintesis yang dianyam, tanpa anyam atau bentuk lainnya yang digunakan dalam pekerjaan pekerjaan tanah.

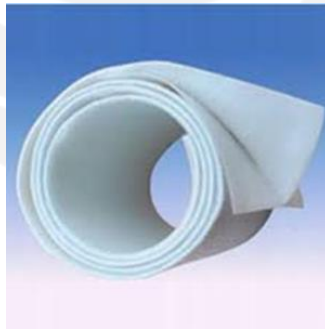
3.3.2.1. Geotekstil

Geotekstil adalah salah satu jenis geosintetik yang lolos air yang berasal dari bahan tekstil (bahan polimer) yang berfungsi untuk memperbaiki kinerja tanah dan berbentuk seperti karpet atau kain. Dalam proses pembuatan geotekstil, elemen tekstil seperti serat-serat atau beberapa untaian (*yarn*) dikombinasikan menjadi struktur tekstil lembaran. Elemen tersebut berupa filamen (serat menerus) berbentuk benang polimer tipis dan panjang atau serabut serat (*staple fiber*)

berbentuk filamen pendek dengan panjang antara 20-150mm. Berdasarkan metode yang digunakan dalam mengkombinasikan filamen atau pita menjadi struktur lembaran, jenis geotekstil dibagi menjadi :

1. Geotekstil tak-teranyam (*non-woven*)

Geotekstil tak-teranyam (*non-woven*) adalah salah satu jenis geotekstil yang terbuat dari bahan *polypropylene* dan *polyester*. Bentuk dari *geotekstil non-woven* tidak teranyam seperti karpet kain dan geotekstil ini dirancang untuk memberikan kinerja optimal per satuan berat. Ketahanan mekanik dan hidrolis yang sangat baik menjadikan geotekstil *non-woven* sebagai pilihan yang tepat untuk lapisan pemisah dan penyaring karena memiliki kekuatan jebol (*puncture resistance*) yang tinggi untuk menjamin material tidak rusak pada saat pelaksanaan.

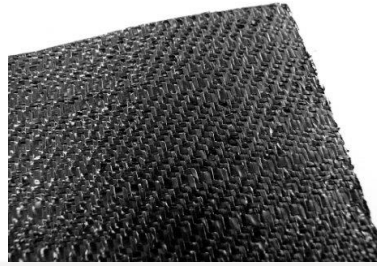


Gambar 3. 6 Geotekstil Non-Woven

(Sumber : Isparmo, 2010)

2. Geotekstil teranyam (*woven*)

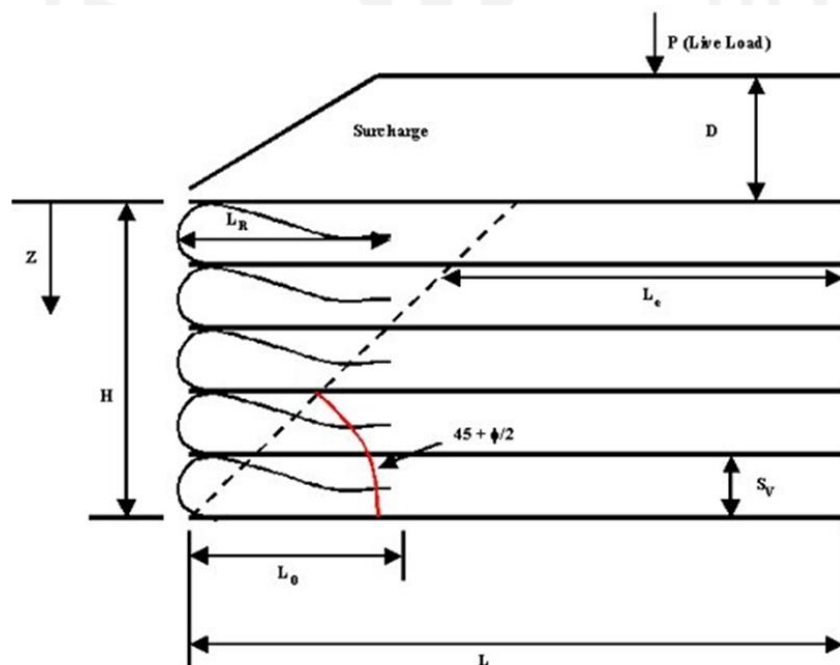
Geotekstil teranyam (*woven*) adalah salah satu jenis geotekstil yang diproduksi dengan mengadopsi teknik seperti tenun tekstil pakaian biasa. Geotekstil jenis ini berbentuk anyaman, biasanya dua arah atas dan bawah serta terbuat dari serat atau benang *polymer* yang berbahan dasar *polypropylene* atau *polyester*. Geotekstil *woven* memberikan keuntungan ekonomis yang besar untuk mendapatkan tingkat keamanan struktur yang diharapkan. Geotekstil *woven* bersifat *permeable* dan memiliki kuat tarik yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan geotekstil jenis *non-woven*



Gambar 3. 7 Geotekstil Woven

(Sumber : Isparmo,2010)

Timbunan yang diberi perkuatan menggunakan geotekstil dapat memberikan penghematan yang signifikan dibandingkan dengan menggunakan metode konvensional seperti metode stabilisasi dengan pembangunan berm. Geotekstil yang digunakan untuk perkuatan timbunan dapat berupa geotekstil woven maupun geotekstil non-woven. Fungsi geotekstil yang dipasang dapat sebagai tulangan, pemisah ataupun drainase. Untuk hal tersebut, perancangan biasanya didasarkan pada analisis stabilitas lereng. Perkuatan geotekstil dapat dipasang satu lapis atau lebih tergantung besarnya gaya geser yang akan ditahan, seperti pada Gambar 3.8 berikut ini.

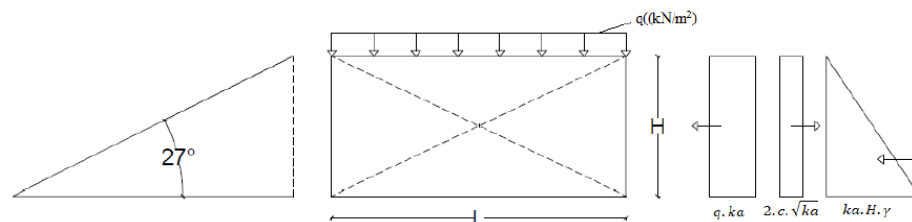


Gambar 3. 8 Pemasangan Geotekstil pada Timbunan

(Christopher dkk, 1985)

3.3.2.2. Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Geotekstil

Analisis stabilitas dengan perkuatan geotekstil terdiri atas analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Stabilitas eksternal terdiri dari stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas dan kapasitas dukung tanah. Sedangkan stabilitas internal terdiri dari stabilitas terhadap putus tulangan dan cabut tulangan. Stabilitas internal merupakan stabilitas terhadap gaya-gaya internal yang diperhitungkan terhadap panjang overlap geotekstil dan panjang efektif geotekstil. Adapun diagram distribusi tekanan tanah lateral pada lereng dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3. 9 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral

(Sumber: Purwanto, 2012)

Untuk mendapatkan jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (S_v) dapat dilakukan dengan Persamaan 3.26 sampai dengan Persamaan 3.28 berikut ini.

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \left(\frac{\phi}{2} \right) \right) \quad (3.26)$$

$$\sigma_{hc} = q \cdot k_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_a} + k_a \cdot H \cdot \gamma \quad (3.27)$$

$$S_v = \frac{T_a}{\sigma_{hc} \cdot S_f} \quad (3.28)$$

Keterangan:

K_a = Koefisien tanah aktif.

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

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

SF = Faktor aman.

S_v = Jarak tulangan arah vertikal (m).

γ = Berat volume tanah (kN/m^3).

c = Kohesi (kN/m^2)

Ta = Kuat tarik geotekstil *allowable*.

1. Stabilitas Eksternal

a. Stabilitas Terhadap Geser

Faktor aman terhadap geser dinyatakan pada Persamaan 3.29.

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

Keterangan:

SF = Faktor aman.

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

L = Panjang geotekstil (m).

H = Tinggi lapisan tanah (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m^3).

Ka = Koefisien tanah aktif.

C = Kohesi (kN/m^2).

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

b. Stabilitas Terhadap Guling

Faktor aman terhadap guling dapat dinyatakan pada Persamaan 3.30 berikut ini.

$$SF = \frac{L^2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot q + \frac{1}{2} \cdot \gamma b \cdot H \right)}{\frac{1}{2} \cdot q \cdot ka \cdot H^2 + \frac{1}{6} \cdot Ka \cdot H^2 \cdot \gamma b - c \cdot \sqrt{Ka} \cdot H^2} \quad (3.30)$$

Keterangan:

SF = Faktor aman.

L = Panjang geotekstil (m).

H = Tinggi lapisan tanah (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m^3).

c = Kohesi (kN/m²).

q = Beban merata (kN/m²).

c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Nilai $\frac{1}{6}L$ harus lebih besar dari nilai eksentrisitas yang dinyatakan pada Persamaan 3.31 dan Persamaan 3.32 berikut ini.

$$\frac{1}{6}L \geq e \quad (3.31)$$

$$\frac{1}{6}L \geq \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot q \cdot ka \cdot H^2 + \frac{1}{6} \cdot ka \cdot H^3 \cdot \gamma b - c \cdot \sqrt{ka} \cdot H^2\right)}{(q \cdot L + \gamma b \cdot H \cdot L)} \quad (3.32)$$

Keterangan:

e = Nilai eksentrisitas tanah (m).

q = Beban merata (kN/m²).

Ka = Koefisien tanah aktif.

H = Tinggi lapisan tanah (m).

c = Kohesi (kN/m²).

L = Panjang geotekstil (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m³)

d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Faktor keamanan terhadap kapasitas dukung tanah dinyatakan pada Persamaan 3.33 sampai dengan Persamaan 3.35 berikut ini.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{q_{ult}} \quad (3.33)$$

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

$$\sigma_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot L \cdot \gamma b \cdot N_\gamma \quad (3.35)$$

2. Stabilitas Internal

a. Panjang Geotekstil *Overlapping*

Panjang geotekstil *overlapping* dapat dinyatakan pada Persamaan 3.36 berikut ini.

$$L0 = \frac{\sigma_{hc} \times S_v \times SF}{2 \times Z_i \times \gamma_b \times \tan \varphi} \quad (3.36)$$

Keterangan:

$L0$ = Panjang *overlapping* (m).

σ_{hc} = Tegangan ultimit (kN/m^2).

S_v = Jarak tulangan arah vertikal (m).

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

γ_b = Berat volume tanah (kN/m^3).

SF = Faktor aman.

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

b. Panjang Efektif Geotekstil

Panjang tulangan di belakang bidang longsor (L_{ef}) pada ujung geotekstil dapat dihitung pada Persamaan 3.37 berikut ini.

$$L_{ef} = \frac{SF \times S_v \times K_a \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \tan \varphi} \geq 0,5\text{m} \quad (3.37)$$

Keterangan:

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

K_a = Koefisien tanah aktif .

S_v = Jarak tulangan arah vertikal (m).

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

γ_b = Berat volume tanah (kN/m^3).

SF = Faktor aman.

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

3.3.2.3. *Prefabricated Drain*

Prefabricated Drain adalah lembaran plastik untuk drainase yang panjang dan berkantung yang merupakan kombinasi antara bahan inti (*core*) *polypropylene* berkekuatan mekanik tinggi dan lapisan pembungkus dari bahan geotekstil. *Prefabricated Drain* berfungsi untuk mempercepat proses konsolidasi tanah, terutama pada jenis tanah lempung (*clay*) atau lanau (*silty clay*). Berdasarkan metode yang digunakan, *Prefabricated Drain* dibagi menjadi :

1. *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Prefabricated Vertical Drain (PVD) adalah material penyaring geotekstil yang berfungsi sebagai saringan drainase dipasang secara vertikal. Penggunaan PVD dilakukan dengan tujuan mempercepat konsolidasi dengan mengurangi kadar air pada tanah serta meningkatkan daya dukung tana sehingga kelongsoran pada tanah lunak dapat dicegah.



Gambar 3. 10 *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

(Sumber : PT. Teknindo Geosistem, 2018)

PVD berperan besar dalam proses konsolidasi. Pada penggunaan PVD proses konsolidasi dapat berjalan lebih cepat. Terdapat dua faktor yang mempengaruhi proses konsolidasi berjalan lebih cepat yaitu sebagai berikut.

1) Jarak antar PVD

Jarak antar PVD ini berpengaruh terhadap panjang lintasan drainase air pori secara horizontal. Semakin jauh jarak antar PVD mengakibatkan semakin jauh jarak yang harus ditempuh air untuk

mencapai PVD dan keluar sehingga proses konsolidasi menjadi semakin lama. Jarak minimum yang diperbolehkan adalah 1 meter sebab jika lebih kecil dari 1 meter dapat menurunkan kekuatan tahanan geser tanah.

2) Panjang PVD

Pada proses konsolidasi, PVD hanya mempercepat proses konsolidasi pada daerah sepanjang vertical drain saja.

3) Transformasi Tampang PVD

Hasbon (1960) menyatakan bahwa “Pada perhitungan PVD, penampang dari PVD akan dimodelkan menjadi berbentuk lingkaran dengan perhitungan diameter ekuivalen yang diasumsikan sebagai keliling persegi panjang dibagi π “. Asumsi tersebut didasarkan pada Persamaan 3.38 dan Persamaan 3.39.

$$\pi d_w = 2(p+l) \quad (3.38)$$

$$d_w = \frac{2(p+l)}{\pi} \quad (3.39)$$

dengan:

d_w = diameter PVD,

p = panjang PVD, dan

l = lebar PVD

4) Smear Zone

Efek *smear* adalah berkurangnya nilai koefisien permeabilitas tanah arah radial (k_r) akibat proses peremasan (*remoulding*) selama pemasangan PVD (terutama jika digunakan paksi). Gangguan tersebut tergantung pada ukuran dan bentuk *mandrel*, *soil macrofabric* dan prosedur penginstalannya.

Jamiolkowski et al (1983) dalam Hansbo (1987) merekomendasikan untuk suatu perencanaan diameter *smear zone* dapat diestimasi (2-3) kali diameter mandrel.

Daerah pengaruh pemasangan PVD (jangkauan kerja PVD) yang disebut sebagai diameter ekuivalen (D_e), bergantung kepada pola dan jarak pemasangan PVD. Pada umumnya, PVD dipasang dengan pola

bujur sangkar atau segitiga seperti Gambar 3.11. Persamaan yang berlaku untuk mengetahui daerah pengaruh pemasangan PVD yaitu Persamaan 3.40 dan Persamaan 3.41.

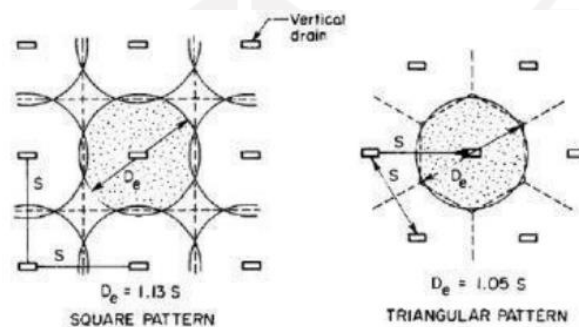
$$D_e = 1,13 S \text{ (untuk pola bujur sangkar)} \quad (3.40)$$

$$D_e = 1,05 S \text{ (untuk pola segitiga)} \quad (3.41)$$

dengan :

D_e = Diameter ekivalen (setelah penampang diubah menjadi bentuk lingkaran) ,dan

S = *spacing* atau jarak antar PVD.



Gambar 3. 11 Pola PVD (Kiri Pola Bujur Sangkar, Kanan Pola Segitiga)

(Sumber : Geotextiles and Geomembranes dalam Barimbing, 2017)

2. *Prefabricated Horizontal Drain (PHD)*

Sama seperti PVD, *Prefabricated Horizontal Drain (PHD)* material penyaring geotekstil yang berfungsi sebagai saringan drainase. PHD dipasang secara horizontal dengan tujuan agar dapat mengalirkan air secara horizontal yang berasal dari vertical drain. Air dipompa naik melalui PVD secara vertikal, kemudian air akan mengalir keluar menuju parit drainase yang telah disediakan jalur PHD.



Gambar 3. 12 Prefabricated Horizontal Drain (PHD)

(Sumber : PT. Teknindo Geosistem, 2018)

3.4 Penurunan Tanah (*Settlement*) dan Konsolidasi

3.4.1 Pengertian Umum

Salah satu permasalahan yang terjadi pada tanah lunak adalah penurunan tanah, penurunan tanah dapat terjadi ketika lapisan tanah menerima pembebanan. Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah yang berada di bawahnya mengalami penambahan tegangan dan pemampatan serta mengalami regangan pada tanah sehingga terjadi penurunan (*settlement*).

Konsolidasi adalah proses pengurangan volume atau rongga pori pada tanah jenuh dengan permeabilitas rendah akibat adanya pembebanan, dimana pada prosesnya dipengaruhi oleh laju air pori keluar dari rongga tanah. Untuk mencatat perubahan tekanan air pori dengan waktunya, dapat dilakukan dengan pemasangan piezometer. Besar penurunan yang terjadi dapat diukur dengan mengacu pada tempat tertentu.

3.4.2 Penurunan Konsolidasi Primer (*Primary Consolidation Settlement*)

Perubahan volume tanah yang terjadi pada saat masa konsolidasi berlangsung yang menyebabkan keluarnya air pori dalam tanah mengakibatkan terjadinya penurunan konsolidasi primer. Hal ini mengakibatkan keluarnya air pori sehingga terjadinya tegangan air pori secara terus-menerus dan berpindah kedalam tegangan efektif.

Terdapat tiga jenis dalam tahap konsolidasi primer, antara lain :

1. *Normally Consolidated*, yaitu pada saat tegangan efektif *overburden* yang terjadi pada saat ini merupakan tegangan maksimum yang dialami oleh tanah.

Tanah yang mengalami terkonsolidasi secara normal dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.42 berikut :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1+e_0} \log \frac{P_{o'} + \Delta p}{P_{o'}} \quad (3.42)$$

2. *Over Consolidated*, yaitu pada saat tegangan efektif *overburden* lebih kecil daripada tegangan yang pernah dialami oleh tanah sebelumnya. Berikut merupakan Persamaan 3.43 dan 3.44 untuk *over Consolidated* :

Jika $P_o + \Delta P \leq P_c'$, maka menggunakan persamaan :

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1+e_0} \log \frac{P_{o'} + \Delta p}{P_{o'}} \quad (3.43)$$

Jika $P_o + \Delta P \geq P_c'$, maka menggunakan persamaan :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1+e_0} \log \frac{P_c'}{P_{o'}} + \frac{C_s \cdot H}{1+e_0} \log \frac{P_{o'} + \Delta p}{P_{o'}} \quad (3.44)$$

Dimana :

S_c = Penurunan konsolidasi primer

C_c = Indeks pemampatan

C_s = Indeks pemuai/mengembang

H = Tebal lapisan tanah

e_0 = Angka pori

$P_{o'}$ = Tekanan *overburden* efektif

P_c' = Tekanan prakonsolidasi

Δp = Distribusi tekanan

3. *Under Consolidated*, yaitu pada saat tegangan efektif *overburden* belum mencapai maksimum, sehingga proses konsolidasi masih berlangsung pada saat sampel tanah diambil.

3.4.3 Parameter Perhitungan Penurunan

Pada saat melakukan perhitungan besarnya penurunan suatu lapisan tanah, diperlukan beberapa parameter. Berikut ini merupakan parameter dalam perhitungan penurunan konsolidasi primer, yaitu :

1. Tegangan *Overburden* Efektif ($P_{o'}$)

Winner (2017) mengatakan bahwa “Tegangan *overburden* efektif merupakan tegangan vertikal efektif dari tanah asli akibat beban atau lapisan tanah di atas

titik tanah asli yang ditinjau”. Tegangan *overburden* efektif dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.45 berikut.

$$Po' = \gamma' \times H \quad (3.45)$$

Dengan :

Po' = Tekanan *overburden* efektif

γ' = Berat volume tanah efektif

H = Tebal lapisan tanah (m)

2. Distribusi Tegangan Tanah (ΔP)

Distribusi tegangan tanah adalah tambahan tegangan yang diakibatkan adanya pengaruh beban timbunan di atas tanah (Winner, 2017). Distribusi tegangan tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.46 berikut.

$$\Delta p = 2 \times q_0 \times I \quad (3.46)$$

$$q_0 = \gamma_{\text{timbunan}} \times H$$

Dengan :

Δp = Tekanan *overburden* efektif

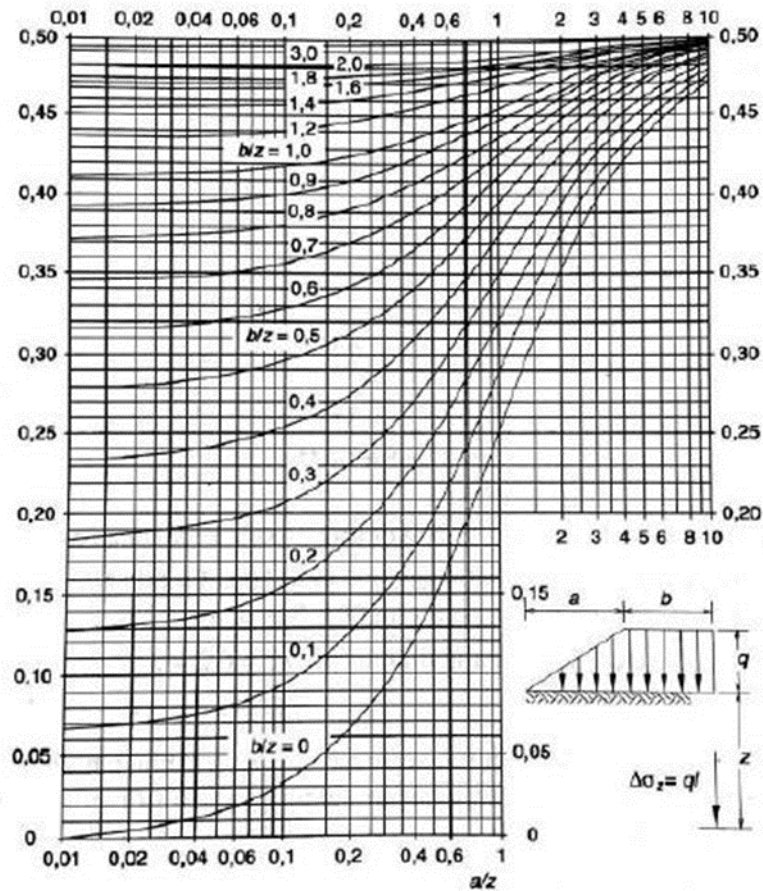
q_0 = Berat volume tanah efektif

γ_{timbunan} = Berat volume timbunan (m)

H = Tebal lapisan tanah (m)

I = Faktor pengaruh, perhitungan dilakukan dengan melihat Gambar

3.12



Gambar 3. 13 Faktor Pengaruh Akibat Beban Timbunan (Osterberg, 1957)

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

3. Koefisien Konsolidasi

A. Koefisien Arah Vertikal (C_v)

Pada umumnya konsolidasi terjadi pada satu arah, yaitu arah vertikal. Dalam menentukan kecepatan pengaliran air dalam tanah pada arah vertikal, digunakan koefisien konsolidasi arah vertikal (C_v). Nilai konsolidasi arah vertikal (C_v) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.47 berikut.

$$C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t} \quad (3.47)$$

Dimana :

C_v = Koefisien konsolidasi vertikal (cm^2/s)

T_v = Faktor waktu, tergantung pada derajat konsolidasi akibat

pengaliran arah vertikal (detik)

H = Panjang aliran yang harus ditempuh oleh air pori selama proses konsolidasi (cm)

t = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi (detik)

B. Koefisien Arah Horizontal (C_H)

Nilai koefisien konsolidasi horizontal pada material tanah jenis lempung homogen dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.48 berikut.

$$C_H = (1 \text{ s.d. } 2)C_v \quad (3.48)$$

Dimana :

C_H = Koefisien konsolidasi horizontal (cm^2/s)

C. Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal Gabungan

Pada tanah yang memiliki ketebalan lapisan yang berbeda, nilai C_v gabungan dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 3.49 berikut.

$$C_v \text{ gabungan} = \frac{(H_1+H_2+\dots+H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}}\right)^2} \quad (3.49)$$

Dimana :

H_1 = Tebal lapisan ke-1

H_n = Tebal lapisan ke-n (cm)

C_{vn} = Nilai C_v pada lapisan ke-n (cm^2/s)

4. Indeks Pemampatan (C_c)

Terzaghi dan Peck (1967) menyarankan pada tanah lempung *undisturbed* dan *remolded* untuk menggunakan rumus yang ditampilkan pada Persamaan 3.50 dan Persamaan 3.51 berikut.

$$C_c = 0,009 (LL - 10) \quad (3.50)$$

$$C_c = 0,007 (LL - 10) \quad (3.51)$$

Dimana :

C_c = Indeks pemampatan

LL = Batas cair (%)

5. Indeks Pemuaihan (C_s)

Nilai indeks pemuaihan dapat ditentukan di laboratorium dengan menggunakan Persamaan 3.52 berikut.

$$C_s = 1/5 \text{ sampai } 1/10 C_c \quad (3.52)$$

Dengan :

C_s = Indeks pemuaian

C_c = Indeks pemampatan

6. Faktor Waktu

A. Faktor Waktu Konsolidasi Arah Vertikal (T_v)

Pada tanah yang tidak dikonsolidasikan dengan menggunakan PVD, pengaliran hanya mengalir pada arah vertikal saja. Faktor waktu konsolidasi di lapangan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.53 berikut.

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2} \quad (3.53)$$

Dimana :

T_v = Faktor waktu, tergantung dengan derajat konsolidasi (U)

H = Panjang maksimum lintasan drainase (cm)

C_v = Koefisien konsolidasi (cm^2/s)

t = Waktu konsolidasi (detik)

B. Faktor Waktu Konsolidasi Arah Horizontal (T_H)

Faktor waktu konsolidasi arah horizontal dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.54 berikut.

$$T_H = \frac{C_h \cdot t}{D_e^2} \quad (3.54)$$

Dimana :

T_H = Faktor waktu arah radial, tergantung dengan derajat konsolidasi

C_h = Koefisien konsolidasi arah horizontal

D_e = Diameter jangkauan PVD

t = Waktu ke-n

7. Kecepatan Waktu Konsolidasi (t)

Salah satu parameter dalam memperkirakan penurunan konsolidasi adalah kecepatan waktu penurunan. Kecepatan waktu penurunan dipengaruhi oleh panjang aliran yang ditempuh air pori agar terdisipasi. Terzaghi (1943) menyatakan kecepatan waktu konsolidasi dapat dihitung dengan

menggunakan Persamaan 3.55 berikut.

$$t = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{C_v} \quad (3.55)$$

Dimana :

t = Waktu konsolidasi (tahun)

H_{dr} = Jarak air pori (m)

T_v = Faktor waktu

C_v = Koefisien konsolidasi (m²/tahun)

Stabilisasi tanah lunak dengan menggunakan PVD memberikan waktu penurunan yang lebih cepat. Waktu penurunan konsolidasi dengan menggunakan *vertical drain* dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 3.56 berikut.

$$T_c = \frac{t_h \cdot D^2}{C_h} \quad (3.56)$$

Dimana :

T_h = Faktor waktu untuk drainase arah radial

D = Diameter zona pengaruh satu drain

C_h = Koefisien konsolidasi dengan drainase arah radial

T_c = Waktu konsolidasi dengan PVD

8. Derajat Konsolidasi

A. Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (U_v)

Persamaan matematis untuk konsolidasi satu dimensi (1-D) dari Terzaghi untuk menentukan besar nilai derajat konsolidasi arah vertikal (U_v) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.57 berikut.

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot T_v}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \cdot T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}} \quad (3.57)$$

Dimana :

U_v = Derajat konsolidasi arah vertikal

m = bilangan bulat

T_v = faktor waktu

B. Derajat Konsolidasi Arah Horizontal (U_H)

Derajat Konsolidasi Arah Horizontal (U_H) dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 3.58 berikut.

$$U_H = 1 - \frac{u_{av}}{u_i} = 1 - \exp\left(\frac{-8Th}{F(n)}\right) \quad (3.58)$$

Dimana :

U_H = Derajat konsolidasi arah radial

Th = Faktor waktu radial

$F(n)$ = Faktro hambatan

Nilai faktor hambatan akibat jarak pada PVD dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.59 berikut.

$$F(n) = \ln\left(\frac{De}{Dw}\right) - \frac{3}{4} \quad (3.59)$$

De = Diameter jangkauan PVD

Dw = Diameter ekivalen PVD

$$Dw = \frac{2x(a+b)}{\pi}$$

a = Lebar PVD

b = Ketebalan PVD

9. Derajat Konsolidasi Rata-Rata (U)

Derajat konsolidasi rata-rata ialah perbandingan antara waktu penurunan tanah dengan penurunan total. Carillo (1942) menyatakan derajat konsolidasi pada tanah yang distabilisasi dengan menggunakan PVD dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.60 berikut.

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_r) \quad (3.60)$$

Dimana :

U = Derajat konsolidasi rata-rata

U_v = Derajat konsolidasi arah vertikal

U_r = Derajat konsolidasi arah horizontal

3.5 PLAXIS

3.5.1 Pendahuluan

PLAXIS adalah sebuah program analisis geoteknik besutan *Bentley System* yang mana program ini dipilih karena dapat menganalisa stabilitas pada tanah dengan menggunakan metode elemen hingga dan mampu melakukan analisis hingga mendekati perilaku sebenarnya. *PLAXIS* menyediakan berbagai analisis mengenai displacement, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, faktor keamanan lereng dan lain-lain.

Cara kerja dari program *PLAXIS* ini ialah dengan cara menyimulasikan kondisi di lapangan ke dalam program *PLAXIS* dengan tujuan mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program. Diharapkan pelaksanaan di lapangan dapat mendekati sedekat mungkin pada program sehingga respon yang diperoleh melalui program dapat diasumsikan sebagai cerminan kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan.

3.5.2 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan PLAXIS V20

Pada tahap analisis dengan menggunakan program *PLAXIS* terdapat beberapa langkah yang perlu dilakukan, diantaranya sebagai berikut.

1. *Input data*

Pada tahapan *input data* yang dilakukan adalah melakukan permodelan berupa data geometri dinding penahan tanah dan lereng yang akan dianalisis, pembebanan, material tanah, *meshing* serta *initial condition*. Sehingga model yang dihasilkan menggambarkan kondisi nyata yang terdapat di lapangan.

2. *Calculation*

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

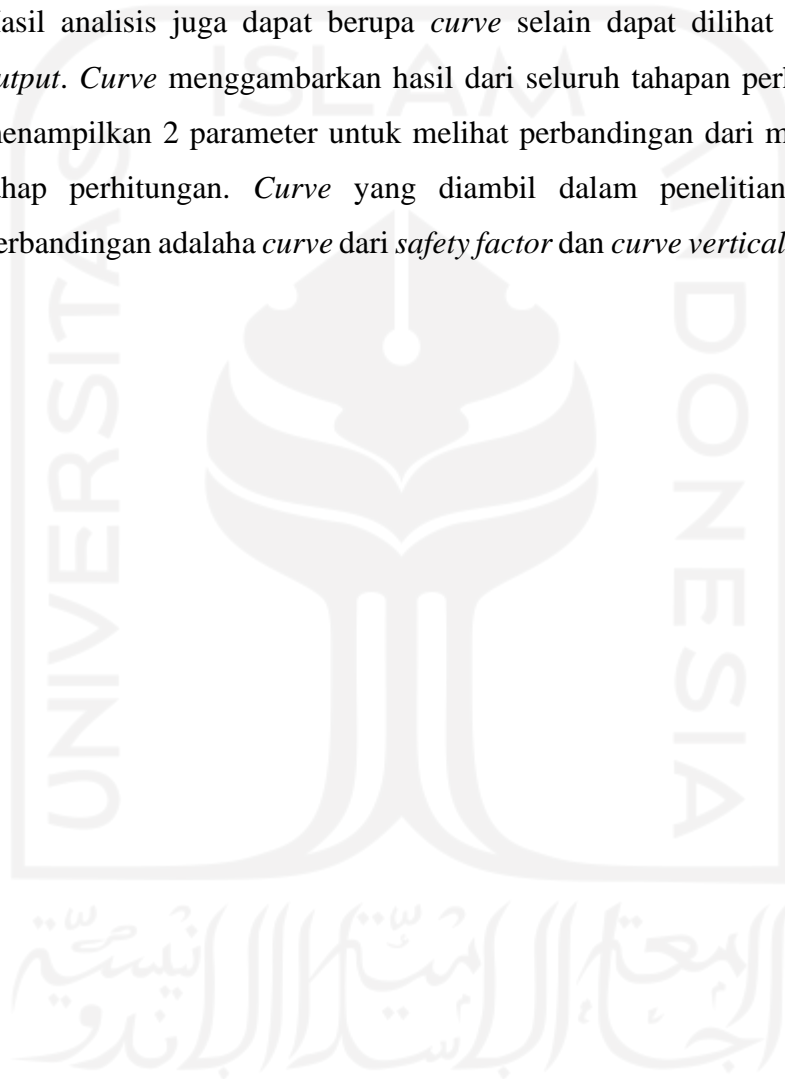
3. *Output*

Setelah selesai proses analisis, hasil dari analisis pada tahap *calculation* dapat

dilihat pada tahap *output*. Hasil analisis pada tahap *output* dapat ditampilkan dalam bentuk gambar, angka dan kurva. *Output* yang dihasilkan kemudian akan ditinjau dalam penelitian ini berupa *safety factor*, *total displacement*, potensi kelongsoran dan *total stresses*.

4. *Curve*

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



BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah proses atau langkah yang dilakukan oleh peneliti dalam rangka mengumpulkan data atau informasi serta melakukan investigasi terhadap data yang telah didapatkan. Dalam sebuah penelitian, metode merupakan bagian yang cukup penting, dikarenakan metode penelitian memberikan gambaran rancangan penelitian perancangan meliputi prosedur, waktu penelitian, sumber data dan dengan langkah apa data tersebut diperoleh hingga selanjutnya diolah dan dianalisis. Penelitian dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak. Penelitian meliputi analisis stabilitas lereng dengan kondisi tanah asli dan tanah dengan *replacement* menggunakan program *PLAXIS*, kemudian didapatkan output berupa nilai faktor keamanan (*safety factor*). Parameter analisis yang digunakan ialah variasi ketinggian timbunan lereng, sehingga didapatkan tinggi timbunan yang berpotensi mengalami kelongsoran dan akan digunakan perkuatan geotekstil.

4.2 Data Penelitian

Data penelitian ini merupakan data sekunder Proyek Jalan Tol Semarang – Demak. Data sekunder yang diperlukan meliputi :

1. Data tanah, yang meliputi : data uji lapangan dan data uji tanah laboratorium. Data uji lapangan yaitu data dari hasil pengujian SPT (Standard Penetration Test) dalam bentuk grafik dan tabel. Data tanah uji laboratorium yaitu data hasil pengujian di laboratorium yang meliputi.
 - a. berat volume tanah (γ)
 - b. sudut geser dalam (ϕ), dan
 - c. kohesi (c).
2. Data lapisan tanah.
3. Data gempa.

4. Data lereng.

4.3 Tahapan Penelitian

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

1. Tahap pengumpulan data, pada tahap ini meliputi pengambilan data tanah dan data lereng (data uji lapangan dan laboratorium) yang dibutuhkan untuk analisis dari Tugas Akhir
2. Tahap pengolahan data software dan analisis, tahapan ini data yang telah didapatkan kemudian akan diolah untuk melakukan analisis timbunan badan jalan dan di input kedalam software PLAXIS dengan variasi permodelan yaitu kondisi timbunan tanah asli, timbunan tanah asli dengan perkuatan geotekstil. kemudian dilakukan analisis secara manual sebagai perbandingan dan koreksi terhadap pengolahan data menggunakan software.
3. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan, tahap ini akan dilakukan penulisan kedalam laporan, dimana berisi hasil yang telah didapatkan kemudian akan dihasilkan solusi dari masalah-masalah yang timbul dan diambil kesimpulan berdasarkan teori yang ada.

4.4 Analisis Data

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

4.4.1 Parameter Tanah

Parameter tanah merupakan input yang penting dalam analisis stabilitas lereng, parameter tanah didapatkan berdasarkan data sekunder dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Semarang – Demak. Adapun input parameter tanah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Data Parameter Tanah

URAIAN	SATUAN	TANAH DASAR		TANAH TIMBUNAN
		LEMPUNG KEPASIRAN	LEMPUNG KELANAUAN	KERIKIL KEPASIRAN
Nama				
<i>Model</i>		MC	MC	MC
Jenis		<i>UNDRAINED</i>	<i>UNDRAINED</i>	<i>DRAINED</i>
Kedalaman	m	0 – 5,5	5,5 – 23,5	-
γ_{unsat}	gr/cm ³	1,291	1,014	1,632
γ_{sat}	gr/cm ³	1,797	1,596	1,937
K_x	m/hari	0,0000646272	0,000126144	0,01
K_y	m/hari	0,0000646272	0,000126144	0,01
E_{ref}	kN/m ²	3064	5362	11000
Void Ratio (<i>e</i>)	-	1,043	1,568	-
Kohesi (<i>c</i>)	kN/m ²	5,0014	9,1202	10
Sudut geser (ϕ)	°	4,175	6,221	25
Sudut dilatasi (Ψ)	°	0	0	0
C_v	cm ² /s	0,384	0,462	-
C_c	cm ² /s	0,385	0,300	-
P_c'	gr/cm ³	0,535	0,7	-

4.4.2 Geotekstil

Dalam program *PLAXIS*, nilai geotekstil yang digunakan sebagai input berupa nilai *stiffness (EA)* yang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.1 berikut ini.

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

Keterangan :

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

$\Delta l / l$ = Regangan pada geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan produksi dari PT. Geo Permata Abadi. Geotekstil yang digunakan merupakan jenis woven atau geotekstil teranyam. Adapun data geotekstil dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2 Data Parameter Geotekstil Woven GT-250

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	Ta	63	kN/m
Regangan	E	19	%
Kekakuan Normal	EA	331,579	kN/m

Sumber : PT. Geo Permata Abadi

4.4.3 Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Jalan Tol Semarang – Demak memiliki beban perkerasan sebesar 13,65 kN/m² dari data sekunder, sedangkan beban lalu lintas yang bekerja sebesar 15 kN/m². Beban lalu lintas dapat dilihat berdasarkan fungsi jalan dan sistem jaringan jalan sesuai dengan yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4. 3 Data Parameter Beban Lalu Lintas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Sekunder	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum (2009)

4.4.4 Prefabricated Drain

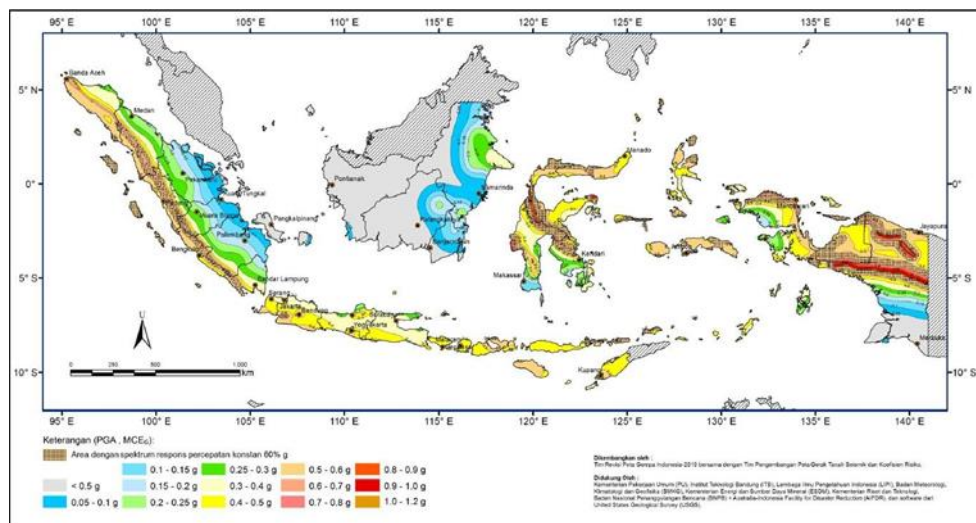
Prefabricated Drain yang digunakan pada proyek Tol Semarang – Demak disesuaikan dengan spesifikasi material yang disyaratkan dalam SNI Geoteknik 8460:2017. Spesifikasi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut

No	Paramater	Unit	SNI Geoteknik (2017)
A	COMPOSITE		
1	Tebal (<i>Thickness</i>)	mm	2-10
2	Lebar (<i>Width</i>)	mm	±100
3	Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>)		
-	Regang Putus (<i>Elongation Break</i>)	%	> 2
-	Regang @0.5kN (<i>Elongation at 0.5kN tensile</i>)	%	≤ 10
-	Kuat Tarik Minimum (<i>Tensile Strength at break</i>)	kN	> 1.5
4	Uji Kapasitas Pelepasan (<i>Discharge Capacity</i>)	cm ³ /s	≥ 6.5
B	FILTER		
1	Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>)	kN/m	≥ 3
2	Ukuran Pori (<i>Apparent Opening Size</i>)	um	< 80
3	Index Kecepatan Filter (<i>Vh₅₀</i>)	mm/s	> 1

Gambar 4. 1 Spesifikasi Prefabricated Vertical Drain

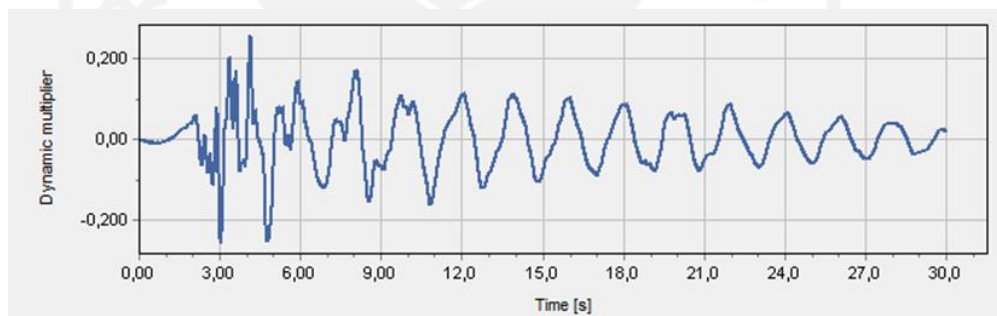
4.4.5 Beban Gempa

Dalam analisa stabilitas lereng ini, beban gempa yang digunakan adalah beban gempa dinamik. Wilayah Demak memiliki percepatan puncak gempa (PGA) antara 0,258 g dimana percepatan tersebut sama dengan data di kawasan American Canyon, California pada tahun 2014 sebesar 0,3 – 0,4 g . Waktu interval yang dimasukkan dalam program PLAXIS diambil sebesar 4,15 detik dengan anggapan telah melewati percepatan puncak gempa. Peta zonasi serta grafik hubungan antara percepatan gempa dan waktu gempa dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3 dibawah ini.



Gambar 4. 2 Peta Zonasi Gempa

(Sumber: puskim.pu.go.id, 2018)



Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa

(Sumber : usgs.gov, 2018)

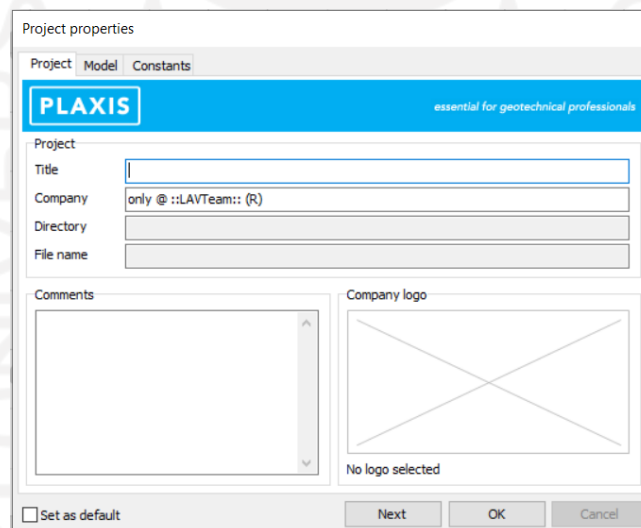
4.5 Pengoperasian Program PLAXIS

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

4.5.1 PLAXIS Input

1. Buka Program PLAXIS

Pengoperasian aplikasi PLAXIS dimulai dengan klik ganda pada icon program PLAXIS *input*. Lalu akan muncul kotak dengan pilihan *Start new project/open an existing project*, kemudian pilih *new project* dan klik OK untuk membuat pekerjaan baru. Lalu mengisi kotak dialog *Project Properties* seperti tampak pada Gambar 4.4 berikut ini.

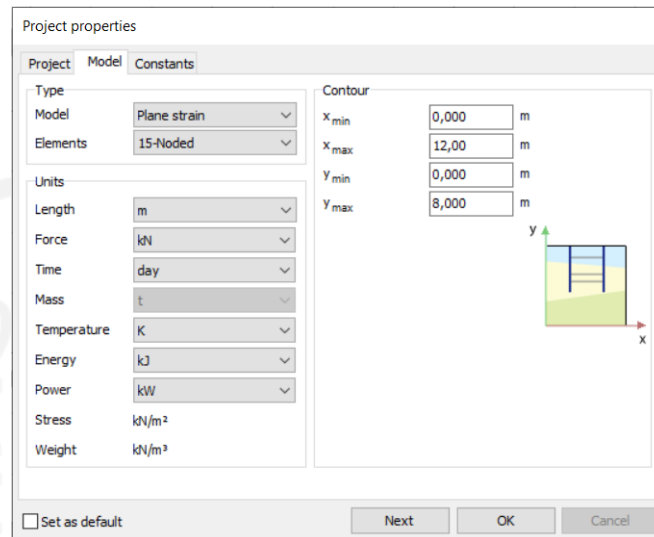


Gambar 4. 4 Kotak Dialog *Project Properties*

2. *Project Properties*

Terdapat tiga tab dialog pada *project properties*, yaitu tab *project*, *model* dan *constant*. Masukkan nama proyek yang akan dimodelkan didalam kotak dialog *tittle* pada lembar tab *project*. Kemudian pilih analisis model plain strain (regangan bidang) pada kotak general dan pilih jenis elemen dasar 15-*Noded* untuk analisis dengan menghasilkan tegangan dan beban runtuh yang akurat, serta menentukan satuan pada kolom *units* sebagai acuan dalam proses *input*



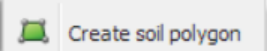


parameter permodelan timbunan dan lapisan tanah, selain itu mengisi permodelan *contour* untuk penggambaran permodelan.



Gambar 4. 5 Jendela *Model Properties*

3. Permodelan Geometri

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penggambaran model geometri adalah sebagai berikut.

- a.  Pilih opsi *Structure* pada tab.
- b. Klik *icon*  kemudian pilih opsi  setelah itu gambar geometri sesuai dengan koordinat yang telah ditentukan.
- c.  Klik tombol *Create load*, kemudian pilih opsi  lalu klik pada titik awal dan titik akhir pada geometri yang menerima beban, lalu klik kanan *mouse* untuk mengakhiri masukan beban merata.

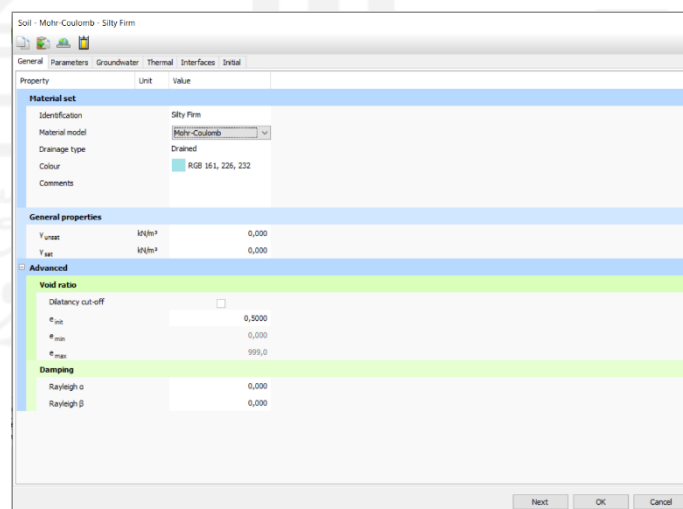
4. *Input* Parameter Material

Pada program ini, data material dapat dimasukkan dengan menggunakan tombol *material sets* pada *toolbar* atau dapat melalui pilihan yang tersedia dalam menu *materials*. Pilih tombol *material sets* pada *toolbar*.

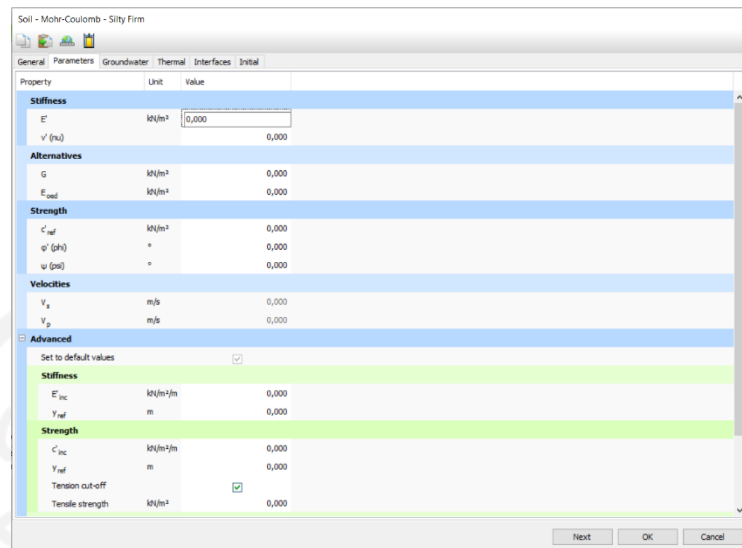
- a. Klik *new* pada sisi bawah dari jendela *material sets*. Lalu akan muncul sebuah kotak dialog dengan tiga buah lembar-tab, yaitu *general*,

parameters, interface (Lihat Gambar 4.6 dan Gambar 4.7)

- b. Tuliskan “*Silty Firm*” dalam kotak *identification* yang terdapat pada kotak dialog *material sets* dalam lembar-tabs *general*.
- c. Lalu pilih *Mohr-coulomb* pada *combo box material model* dan *drained* pada *combo box material model*.
- d. Masukkan nilai yang akan diinput pada *general properties* dan pada kotak *void ratio* sesuai dengan sifat material yang digunakan.
- e. Klik pada tab menu *parameters*, ada empat lembar-tan dan masukkan nilai sesuai dengan sifat material yang digunakan.
- f. Klik pada tab menu *groundwater*, masukan nilai *flow parameters* sesuai data yang digunakan. Dikarenakan model geometri tidak menggunakan *interface*, maka lembar-tab ketiga dapat dilewati lalu klik OK untuk menyimpan material.
- g. Klik serta seret (*drag*) kumpulan data dari jendela *material sets* ke klaster tanah pada bidang gambar dan lepas di atasnya. Maka material yang telah masuk dalam bidang gambar apabila bidang berubah warna.
- h. Lalu klik tombol OK pada jendela *material sets* untuk menutup basis data.



Gambar 4. 6 Lembar Tab General dari Jendela Material Sets



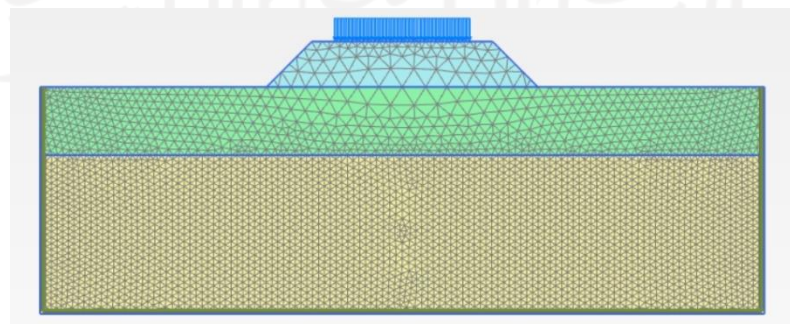
Gambar 4. 7 Lembar Tab Parameters dari Jendela Material Sets

i. Sebelum melakukan *Mesh Generation*, klik  untuk memberikan *boundary* pada permodelan.

5. *Mesh Generation*



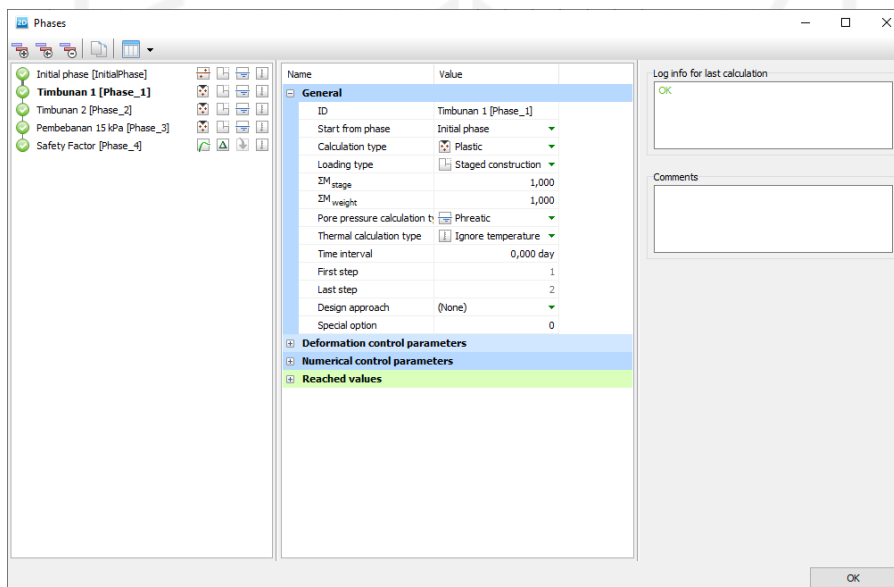
Klik pilihan *Generate Mesh* yang terdapat pada *toolbar* atau pilih susunan dari menu *mesh*. Setelah penyusunan jaringan elemen maka akan terbuka sebuah jendela baru dimana ditunjukkan jaringan elemen hingga yang terbentuk seperti pada Gambar 4.8. kemudian klik tombol <perbarui untuk kembali ke modus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



Gambar 4. 8 Jaringan Elemen Hingga (*Meshing*)

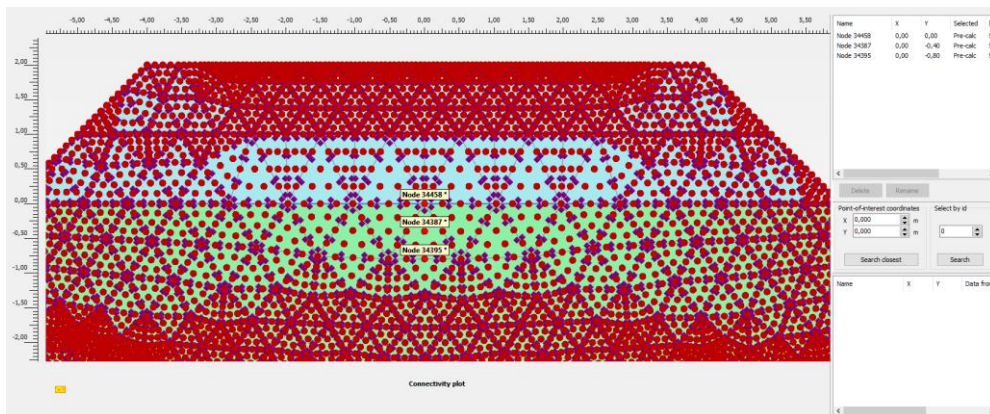
4.5.2 PLAXIS Calculations

Pada tahapan PLAXIS *calculations* dilakukan pada menu *staged construction* kemudian dilanjutkan dengan menambahkan *phase* sesuai dengan permodelan. Dalam lembar *tab general*, pada *calculation type* dipilih *plastic analysis* yang digunakan untuk mengetahui besar *displacement* dari kondisi yang ditinjau, dipilih *phi/c reduction* untuk mengetahui pengaruh dari akibat gempa sedangkan pada lembar *tab parameters* dipilih *staged construction* untuk *loading input*.




Gambar 4. 9 Jendela *Phase* dengan Lembar *Tab General*


Langkah selanjutnya yaitu menentukan titik yang akan ditinjau untuk menggambarkan dalam tampilan kurva yaitu dengan mengklik tombol *select point for curve* seperti tampak pada Gambar 4.10 berikut.

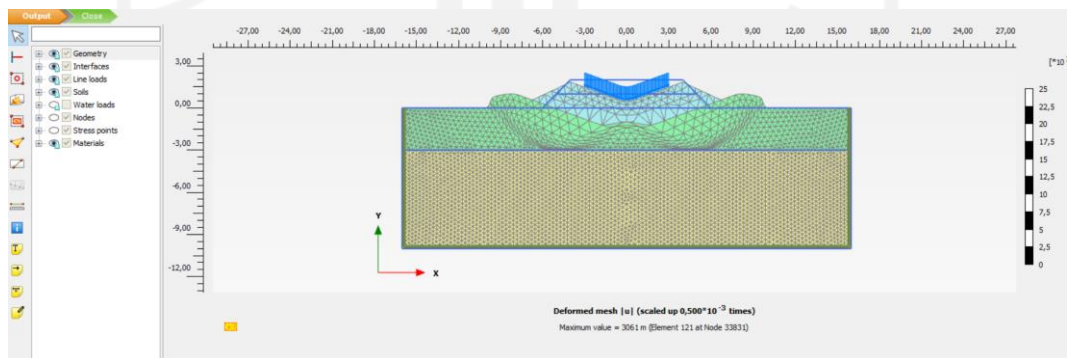


Gambar 4. 10 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau

 Langkah selanjutnya yaitu dengan mengklik tombol *calculate* untuk menjalankan analisis perhitungan.

4.5.3 PLAXIS *Output*

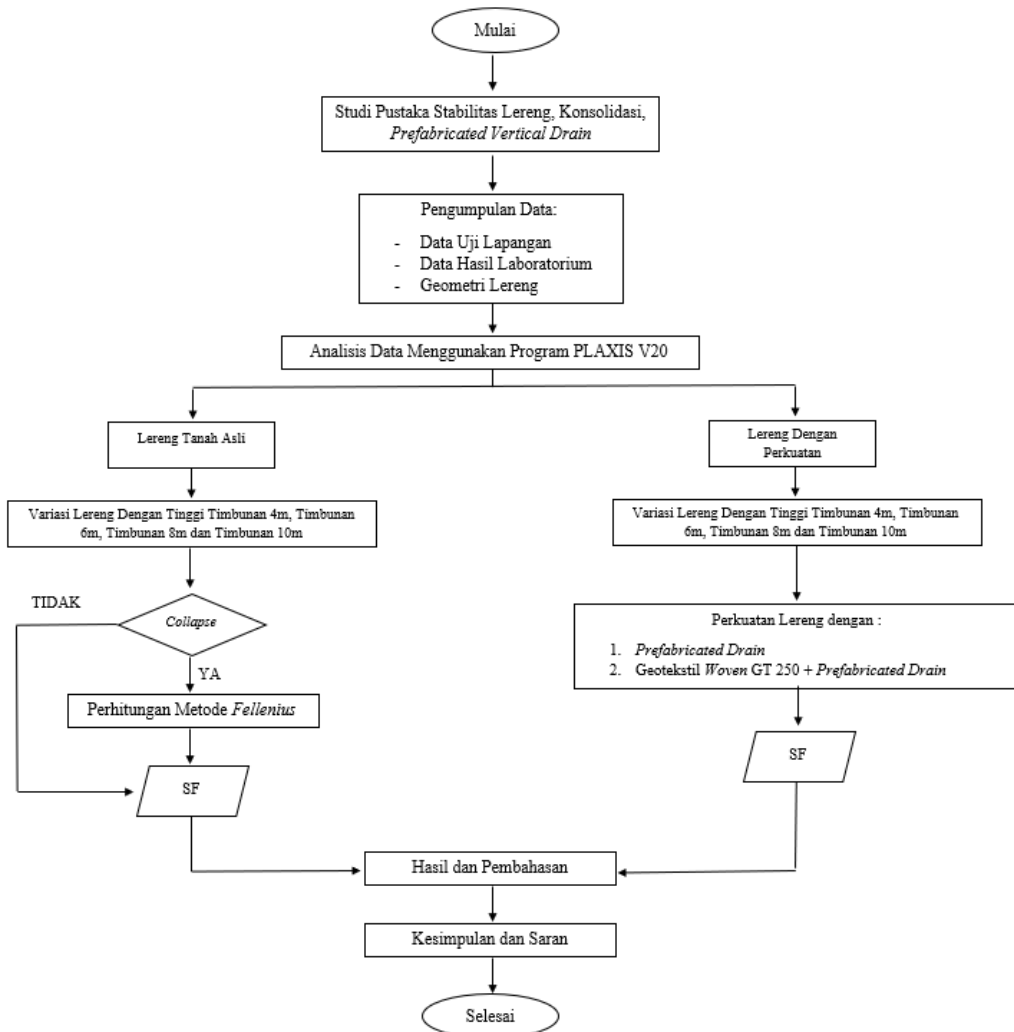
Hasil analisis dapat dilihat melalui menu *PLAXIS Output* dengan mengklik  . Kemudian akan muncul jendela *output* hasil analisis perhitungan seperti tampak pada Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4. 11 Jendela *Output* Perhitungan

4.6 Bagan Alur Penelitian

Pada penelitian ini dibuat langkah-langkah pelaksanaan alur penelitian atau flowchart yang dapat dilihat pada gambar 4.12 berikut



Gambar 4. 12 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum Analisis

Kondisi lereng timbunan pada proyek jalan tol Semarang – Demak STA 20+475 adalah tempat yang dilakukan penelitian untuk tugas akhir ini. Pada umumnya lapisan tanah pada lokasi penelitian didominasi dengan tanah lempung. Lapisan tanah yang digunakan sampai lapisan kedua pada kedalaman 23,5 meter. Sedangkan tanah yang digunakan sebagai timbunan berupa tanah kerikil dan lanau kepasiran yang dipadatkan. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pada ketinggian berapa timbunan sudah mengalami keruntuhan pada lereng. Keruntuhan yang terjadi dapat diakibatkan oleh beberapa faktor mulai dari timbunan yang tidak dapat menahan gaya-gaya yang terjadi akibat beban saat pelaksanaan maupun setelah pelaksanaan atau pada saat masa pemakaian.

Adapun analisis yang dilakukan dengan menggunakan variasi tinggi timbunan mulai dari 4m, 6m, 8m dan 10m. Dengan tinggi timbunan yang bervariasi tersebut, analisis digunakan untuk mengetahui tinggi timbunan yang sangat efektif dan memiliki keamanan terhadap beban-beban yang terjadi. Adapun analisis yang dilakukan pada dua tahap yaitu, tahap pertama pada masa konstruksi dan paska konstruksi dengan parameter beban yang berbeda.

5.1.1 Data Analisis Program PLAXIS

Kondisi timbunan lereng sesuai dengan proyek Tol Semarang – Demak pada Sta. 20+475 didominasi tanah lempung. Adapun parameter data yang digunakan dalam tahapan analisis yaitu parameter tanah, data beban yang bekerja, data perkuatan geotekstil yang digunakan dan kondisi eksisting lereng.

1. Data Parameter Tanah

Data parameter tanah yang digunakan sebagai input data material tanah pada program PLAXIS merupakan data yang diperoleh dari Laporan Survei Lapangan Penyelidikan Tanah Jalan Tol Semarang – Demak Paket II PT.

Pembangunan Perumahan Tahun 2020 yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

2. Data Beban Struktur

Parameter yang digunakan dalam perhitungan analisis selama masa konstruksi dianggap memiliki beban merata akibat adanya beban struktur dari perkerasan jalan. Beban struktur yang dimasukkan merupakan beban dari perkerasan jalan. Pada proyek Jalan Tol Semarang – Demak, berdasarkan data yang digunakan beban dari struktur lapis perkerasan sebesar $13,65 \text{ kN/m}^2$.

3. Data Beban Lalu Lintas

Dalam *input* ke dalam program PLAXIS besar beban lalu lintas untuk stabilitas digunakan sebesar 15 kN/m^2 , beban tersebut diperoleh berdasarkan fungsi dan sistem jaringan karena jalan Tol Semarang -Demak termasuk ke dalam kelas jalan primer arteri. Data parameter yang digunakan dapat dilihat melalui Tabel 4.3 pada Bab IV.

4. Data Beban Gempa

Pada wilayah proyek Tol Semarang – Demak Sta. 20+475 yang akan ditinjau terletak pada Provinsi Jawa Tengah. Berdasarkan peta zonasi gempa Indonesia dalam SNI 1726:2019 dapat dilihat pada Gambar 5.1, wilayah Demak memiliki percepatan puncak gempa (PGA) sebesar $0,258g$. Selanjutnya data gempa yang digunakan dalam PLAXIS merupakan data gempa di kawasan American Canyon California pada tahun 2014 yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar $0,3-0,4g$. Waktu interval yang dimasukkan dalam program PLAXIS diambil sebesar $4,15$ detik dengan anggapan telah melewati percepatan puncak gempa. Gambar grafik percepatan gempa dari Whitter Narrow California dan peta zonasi gempa Indonesia dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3

5. Data *Prefabricated Drain*

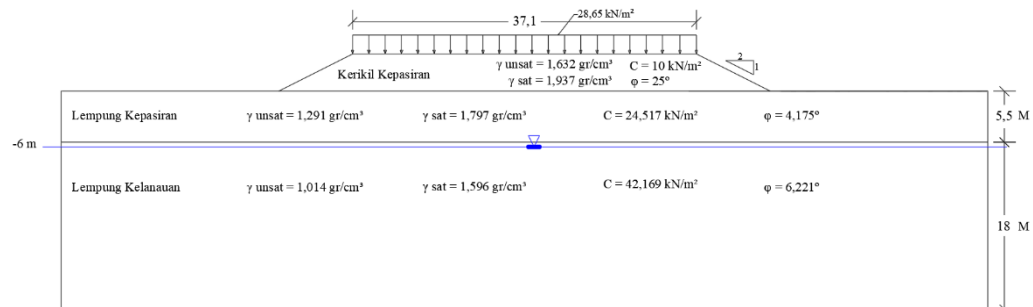
Prefabricated Drain yang digunakan pada proyek Tol Semarang – Demak disesuaikan dengan spesifikasi material yang disyaratkan dalam *SNI Geoteknik 8460:2017*. Spesifikasi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.1

6. Data Geotekstil

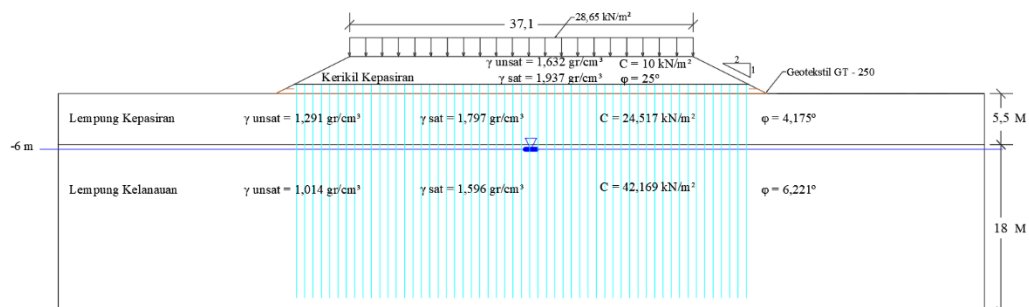
Geotekstil yang digunakan merupakan produksi dari PT. Geo Permata Abadi dengan jenis woven GT 250. Data geotekstil yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.2

7. Kondisi Eksisting Lereng

Timbunan dan data tanah yang telah didapatkan kemudian dapat diilustrasikan menjadi bentuk gambar. Kondisinya eksisting timbunan dan jenis tanah pada setiap lapisan dapat dilihat pada Gambar 5. 1



Gambar 5. 1 Geometri Kondisi Eksisting Lereng Tanah Asli



Gambar 5. 2 Permodelan Geometri Lereng Tanah Menggunakan PVD dan Geotekstil

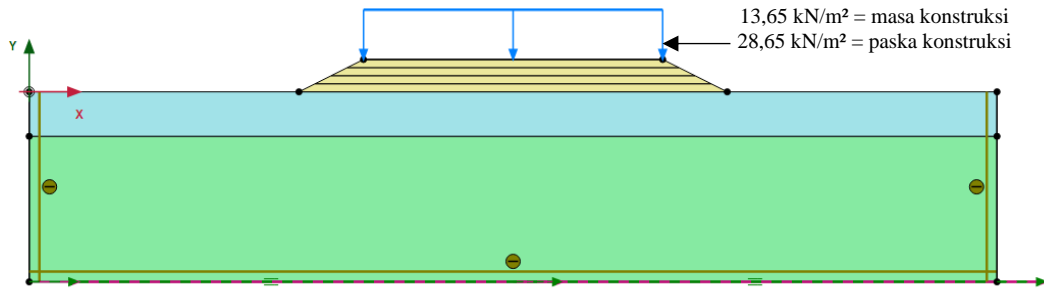
5.2 Lereng Timbunan Tanah Asli

5.2.1 Analisis Menggunakan Program PLAXIS

Hasil analisis dari program PLAXIS V20 yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng tanah timbunan dengan tinggi 4m. timbunan tanah berada diatas tanah asli yang terdiri dari 2 lapisan dengan total kedalaman 23,5m. Penjabaran analisis meliputi permodelan awal lereng, kondisi masa konstruksi dan kondisi paska konstruksi.

1. Permodelan awal lereng

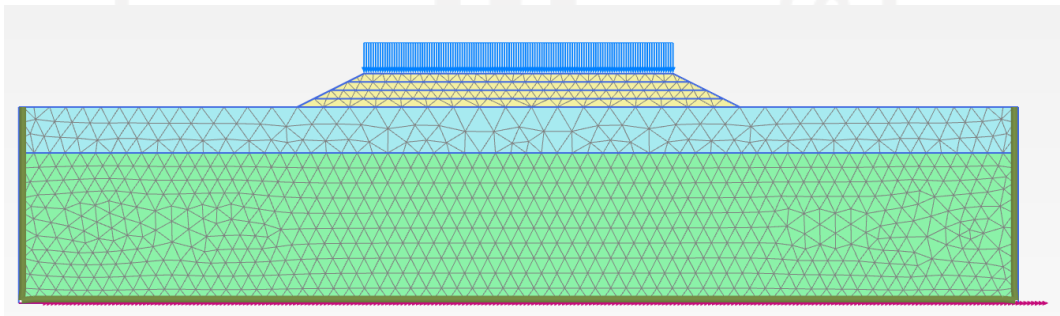
Permodelan lereng menggunakan tanah asli yang terdapat pada lokasi proyek dengan tinggi timbunan sebesar 4 meter pada saat konstruksi dan paska konstruksi seperti pada Gambar 5.3 Berikut.



Gambar 5. 3 Permodelan Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli

2. Pembuatan Jaring Elemen (*Meshing*)

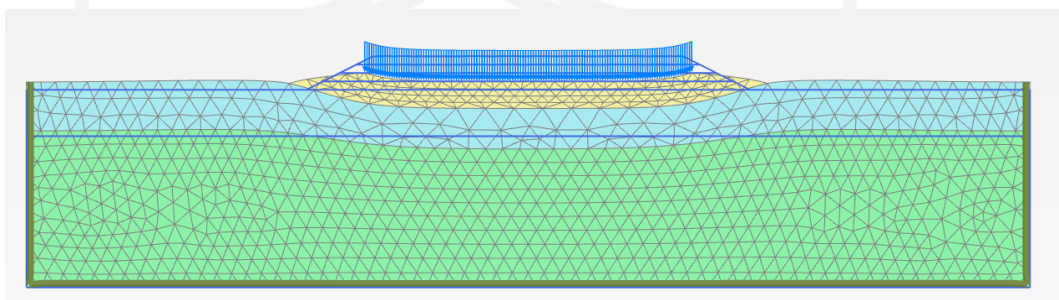
Langkah berikutnya setelah dilakukan permodelan dan input data adalah melakukan penyusunan jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng dengan pilihan jenis *meshing* yaitu *medium*. Jaringan elemen (*meshing*) pada timbunan 4 meter dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



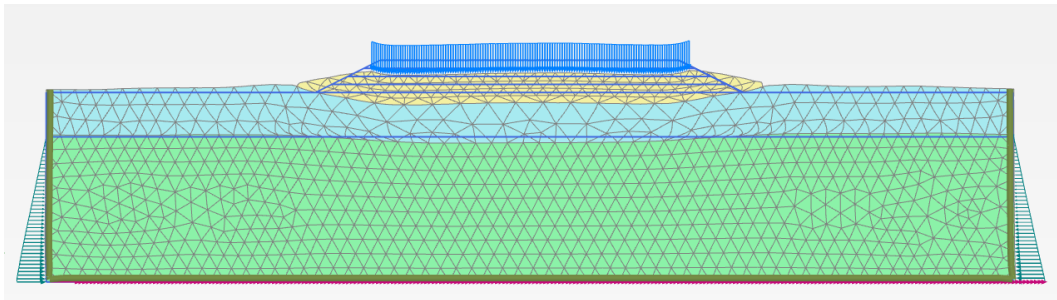
Gambar 5. 4 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli

3. Kondisi masa konstruksi

Kondisi masa konstruksi terjadi pada saat awal pembuatan timbunan lereng, tanah timbunan pada masa konstruksi masih bersifat *drained* karena tanah dianggap masih terdrainase dengan baik. Untuk beban merata yang di *input* pada saat masa konstruksi sebesar 13,65 kN/m akibat beban dari struktur perkerasan pada jalan. Kemudian setelah dilakukan input parameter tanah dan bahan pada permodelan timbunan lereng, dilanjutkan dengan penyusunan jaringan elemen (*meshing*). Setelah dilakukan *meshing* kemudian dilanjutkan tahap *flow condition* untuk *input* muka air tanah. Pada tahap selanjutnya masuk pada tahapan perhitungan pada menu *staged construction* timbunan 4m tanah asli tanpa perkuatan dengan enam tahap. Tahap pertama yaitu *initial phase* dilanjutkan dengan tahap kedua yaitu analisis perhitungan akibat beban diberikan timbunan setinggi 4 m. Tahap ketiga yaitu analisis perhitungan akibat diberi beban struktur jalan sebesar 13,65 kN/m² pada permukaan lereng timbunan . Tahap ketiga yaitu perhitungan akibat beban gempa yang ada dan tahap keempat yaitu analisis perhitungan nilai angka aman (SF) akibat beban struktur. Kemudian tahap kelima yaitu perhitungan konsolidasi penurunannya. Adapun hasil *deformed mesh* pada timbunan lereng 4 m kondisi tanah asli masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 berikut.

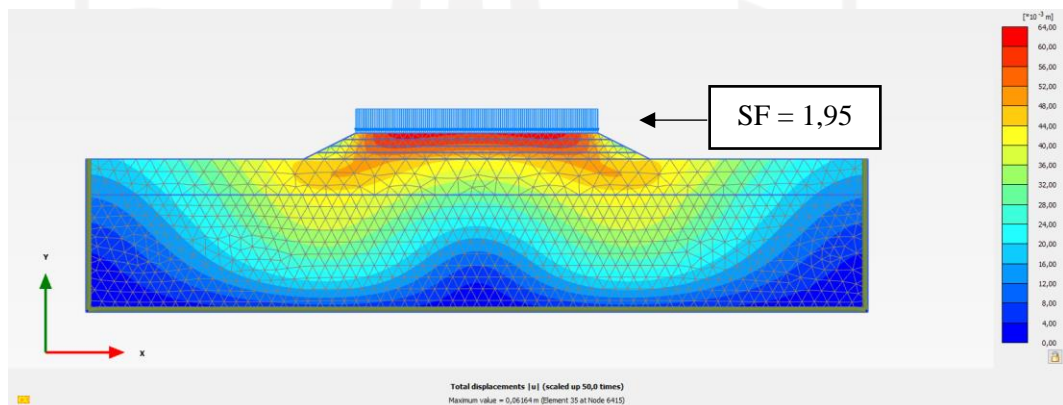


Gambar 5. 5 *Deformed Mesh* Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

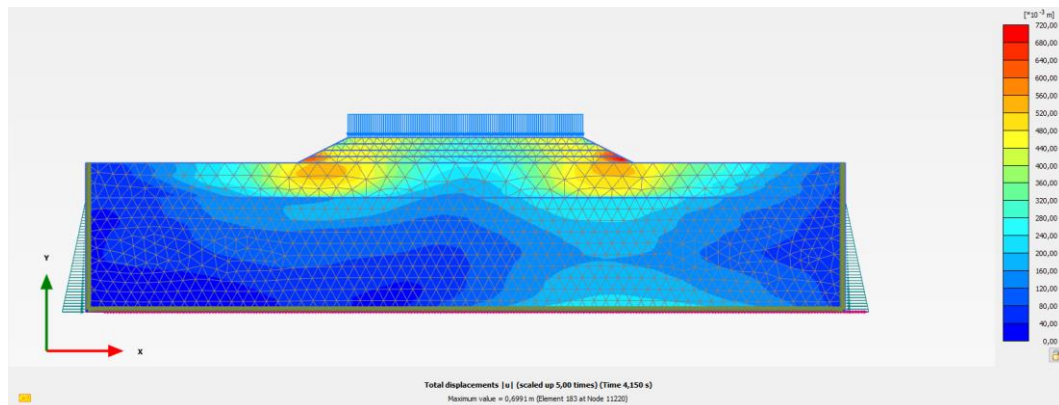


Gambar 5. 6 Deformed Mesh Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Pada timbunan yang diberi dengan struktur perkerasan terjadi *displacement*, bagian yang mengalami *displacement* pada timbunan ditandai dengan warna merah dan lebih terkonsentrasi pada tanah timbunan bagian tengah. Sedangkan pada timbunan yang diberi dengan beban struktur dan gempa, *displacement* terbesar terjadi pada bagian kanan timbunan. Kemudian untuk besarnya nilai *total displacement* pada timbunan lereng tanah kondisi tanah asli 4 meter dengan beban struktur sebesar 0,06164m, sedangkan pada timbunan lereng tanah dengan beban struktur dan gempa sebesar 0,6991m. *Total displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 berikut.

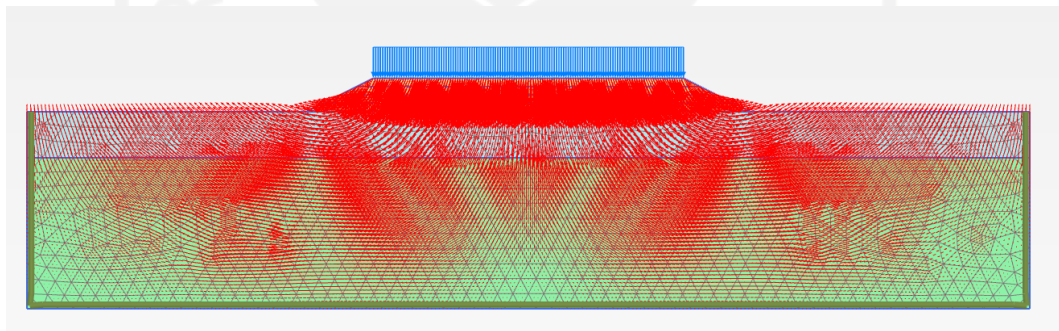


Gambar 5. 7 Total Displacement Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

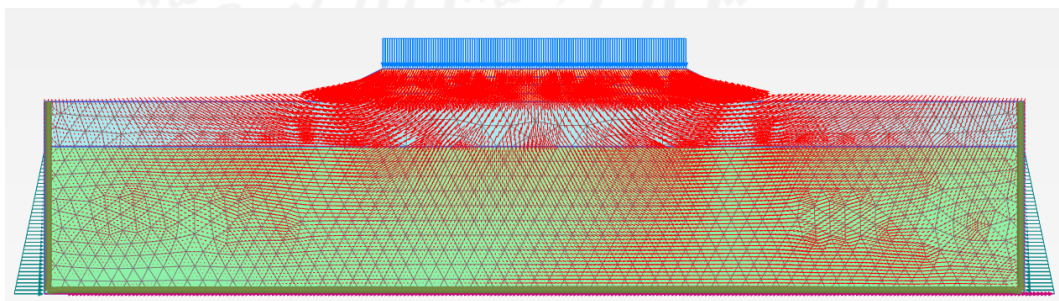


Gambar 5. 8 Total Displacement Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Adapun arah pergerakan tanah yang terjadi pada timbunan lereng kondisi tanah asli 4 meter pada masa konstruksi akibat beban struktur dan akibat struktur dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan 5.10 berikut.

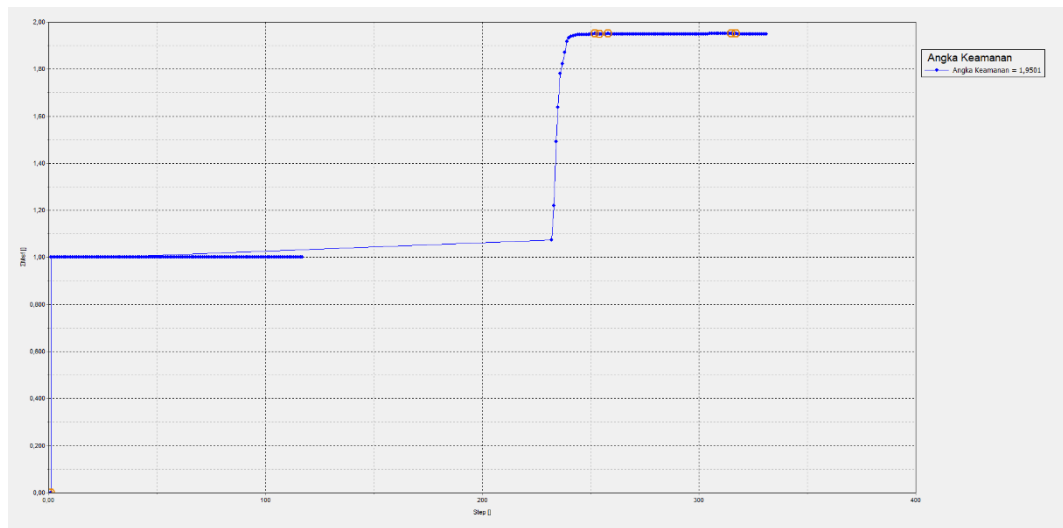


Gambar 5. 9 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 10 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

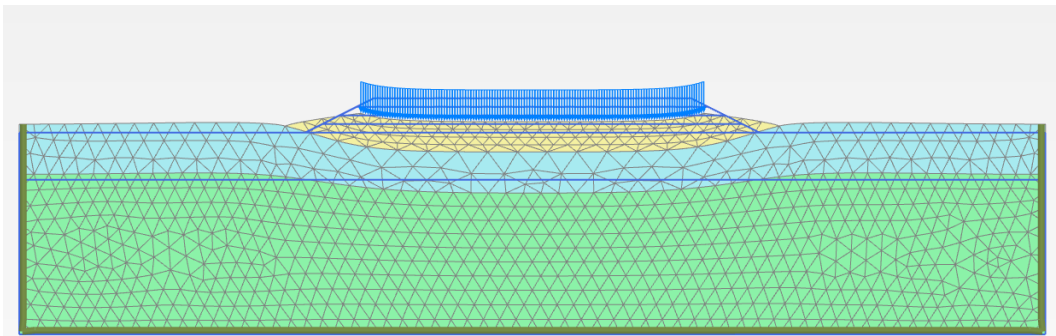
Pada timbunan 4m kondisi tanah asli didapatkan nilai angka aman sebesar 1,9501, sedangkan angka keamanan pada kondisi dengan beban gempa tidak dapat dihitung setelah dilakukan proses perhitungan dinamik pada PLAXIS V20. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5. 11 Kurva SF Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi

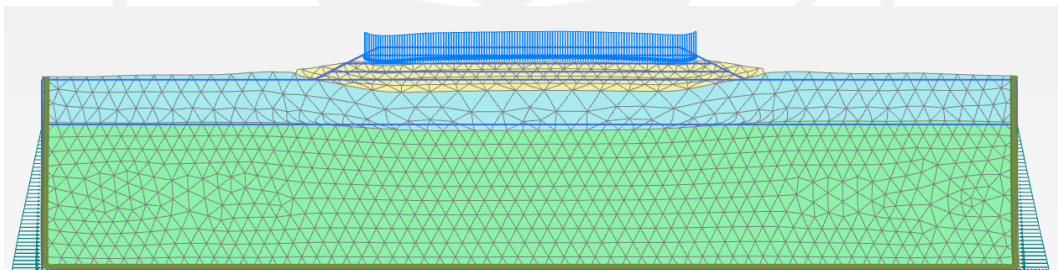
4. Kondisi paska konstruksi

Pada kondisi paska konstruksi, semua tahapan pada umumnya sama seperti pada tahap masa konstruksi analisis timbunan 4m yang telah dijelaskan pada penjelasan sebelumnya, hanya saja pada kondisi ini timbunan tanah asli dianggap bersifat *undrained* karena timbunan dianggap sudah tak terdrainase lagi. Pada kondisi ini juga beban lalu lintas menjadi parameter beban tambahan untuk analisis. Jaringan elemen hingga (*meshing*) kondisi paska konstruksi sama dengan saat masa konstruksi seperti tampak pada Gambar 5.3. Adapun hasil *deformed mesh* pada timbunan lereng 4 m kondisi tanah asli paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 berikut.

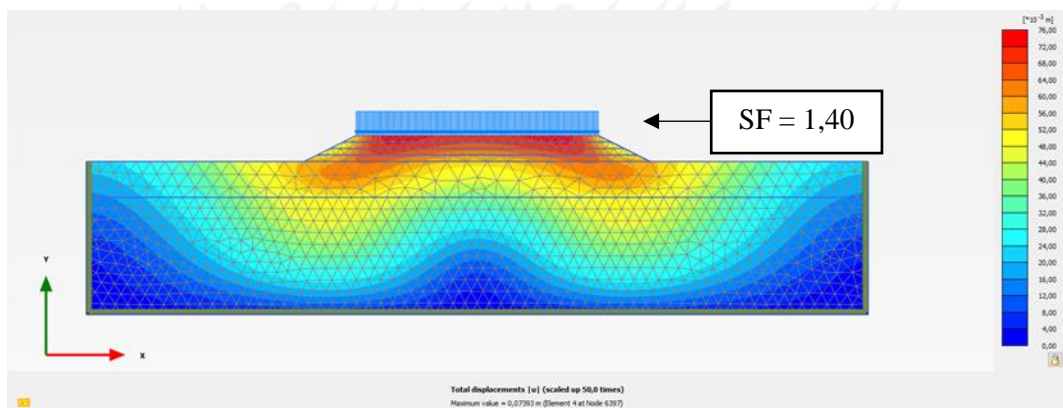


Gambar 5. 12 Deformed Mesh Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur

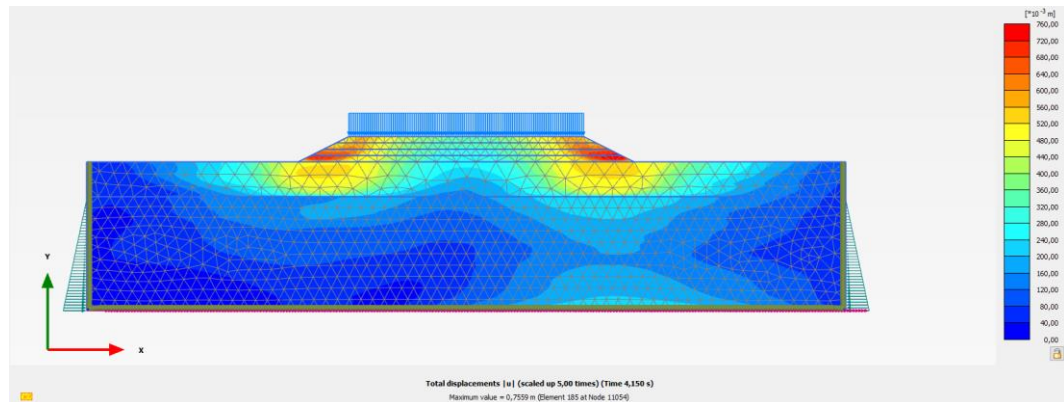
Kemudian untuk besarnya nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan lereng tanah kondisi tanah asli 4 meter paska konstruksi akibat beban struktur perkerasan lalu lintas mempunyai nilai sebesar 0,07393m, sedangkan akibat beban struktur lalu lintas dan beban gempa didapatkan nilai sebesar 0,7559m. Adapun nilai dari hasil *total displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.14 dan Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5. 13 Deformed Mesh Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

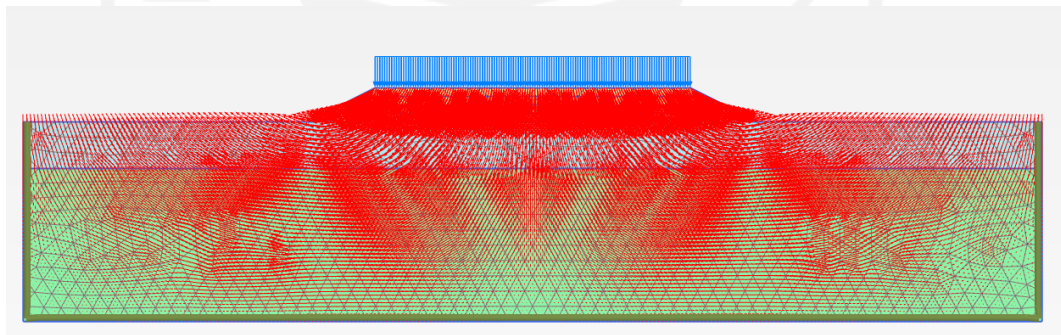


Gambar 5. 14 Total Displacement Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur

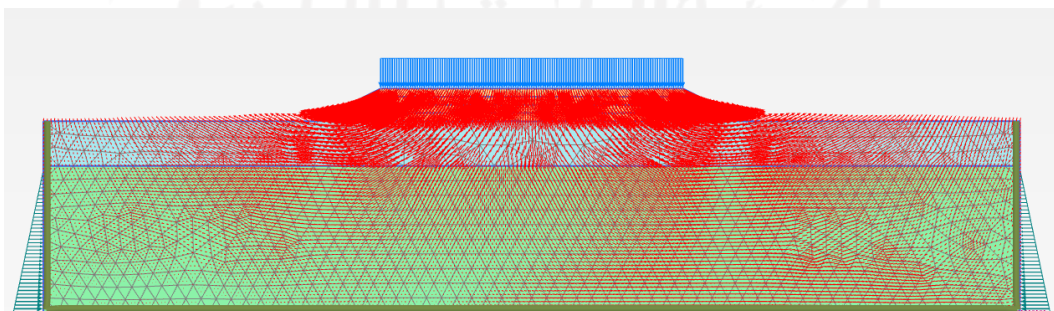


Gambar 5. 15 Total Displacement Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Adapun arah pergerakan tanah yang terjadi pada timbunan lereng tanah kondisi tanah asli 4 meter pada paska konstruksi akibat beban struktur lalu lintas dan akibat struktur lalu lintas dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.16 dan 5.17 berikut

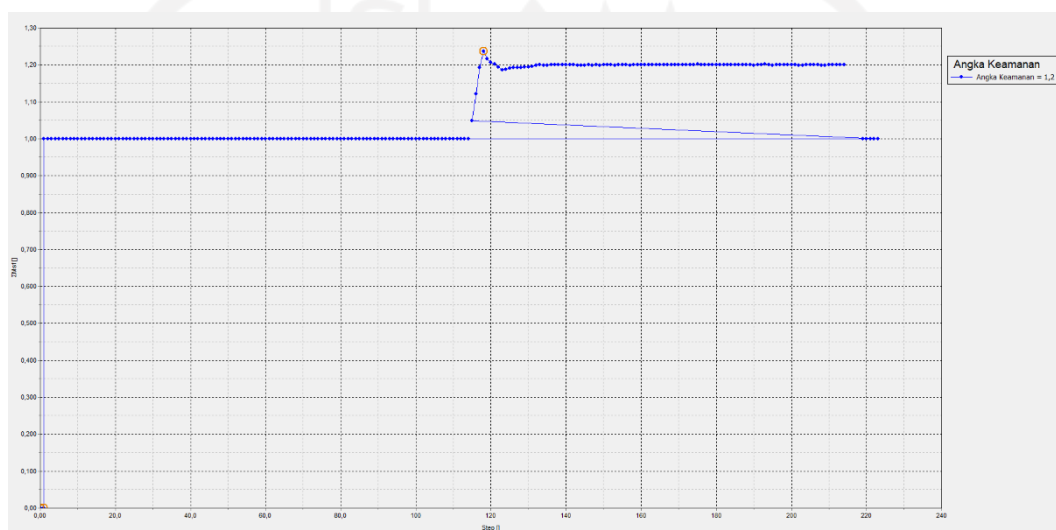


Gambar 5. 16 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 17 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Pada timbunan 4m kondisi tanah asli paska konstruksi didapatkan nilai angka aman sebesar 1,4041, sedangkan angka keamanan pada kondisi dengan beban gempa tidak dapat dihitung setelah dilakukan proses perhitungan dinamik pada PLAXIS V20. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5. 18 Kurva SF Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi

5. Rekapitulasi Hasil Angka Aman (SF)

Adapun rekapitulasi dari hasil analisis angka aman (SF) pada timbunan lereng asli dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli

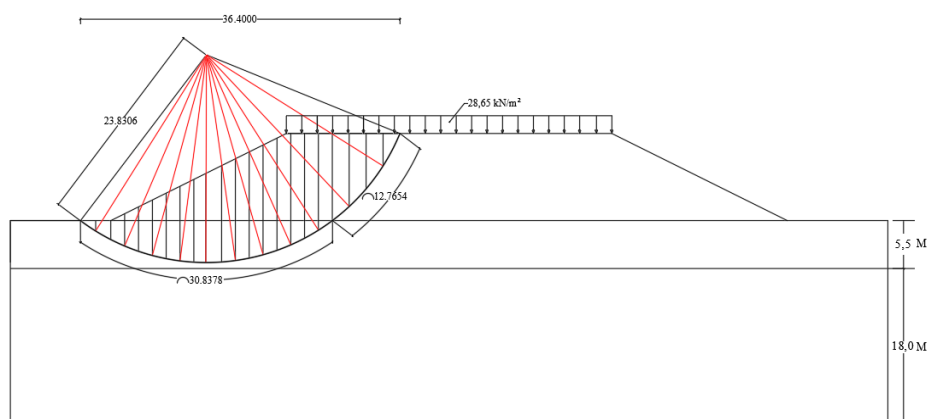
Variasi Timbunan	Kondisi Tanah Asli	
	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi
	Beban Struktur	Beban Struktur
Timbunan 4m	1,95	1,40
Timbunan 6m	1,49	1,23
Timbunan 8m	1,24	1,05
Timbunan 10m	1,00	<i>Collapse</i>

Dapat dilihat melalui Tabel 5.1 hasil angka aman (SF) yang dihasilkan dari variasi tinggi timbunan yang digunakan memiliki nilai *safety factor* yang masih belum memenuhi syarat $SF > 1,3$ dan pada timbunan 10m kondisi tanah

asli tanpa perkuatan terjadi *soil body collapse*. Maka dilakukan analisis kembali pada timbunan yang masih belum memenuhi syarat dan terjadi yang terjadi *collapse* dengan menambahkan perbaikan dan perkuatan pada timbunan tersebut.

5.2.2 Perhitungan Manual Dengan Metode Fellenius

Perhitungan manual ini bertujuan untuk mendapatkan nilai angka aman pada lereng timbunan tanah asli dikarenakan program PLAXIS tidak dapat menunjukkan hasilnya. Hasil analisis yang ditunjukkan dengan program PLAXIS didapatkan garis potensi kelongsoran pada tinggi timbunan 10 meter pada paska konstruksi yang dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5. 19 Analisis Stabilitas Sta. 20+475 dengan Metode Fellenius

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa garis potensi kelongsoran terbentuk hingga kaki lereng dengan R (jari-jari) sebesar 23,8342 dan panjang total dari bidang longsor arah horizontal adalah 36,4 m. Pada perhitungan ini akan dibagi menjadi 11 pias irisan, maka setiap piasnya akan mempunyai panjang horizontal $36,4/11 = 3,309$ m. Berikut merupakan langkah-langkah dalam perhitungan stabilitas menggunakan metode *fellenius*.

1. Perhitungan berat irisan tanah (W_i)

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Pada irisan yang terdapat beban di atasnya, perhitungan berat irisan dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

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

Dimana nilai q merupakan besarnya beban jalan (kN/m^2) dan nilai L merupakan lebar irisan yang terkena beban (m).

Berikut merupakan contoh perhitungan mencari berat irisan tanah pada irisan 1 dan irisan 11 untuk badan jalan tanpa perkuatan. Hasil dari perhitungan berat irisan 1 hingga 11 dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

$$W_1 = \gamma \times A_1 = (12,66 \times 3,9707) = 50,2690 \text{ kN}$$

$$W_{12} = (\gamma \times A_1) + (q \times L) = (16 \times 3,7693) + (28,65 \times 3,885) = 329,5482 \text{ kN}$$

2. Mengukur besar sudut (α) dan radians pada setiap pias irisan bidang longsor. Rekapitulasi dari besar sudut pada bidang longsor pada setiap pias irisan dapat dilihat pada Tabel 5 berikut

$$\begin{aligned} Rad_1 &= \alpha \times \frac{\pi}{180} \\ &= -32 \times \frac{\pi}{180} \\ &= -0,5585 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rad_{11} &= \alpha \times \frac{\pi}{180} \\ &= 58 \times \frac{\pi}{180} \\ &= 1,0123 \end{aligned}$$

3. Menghitung nilai $W \sin \alpha$ untuk setiap pias.

$$\begin{aligned} Pias 1 &= W \times \sin \alpha \\ &= 50,2690 \times \sin (-32) \\ &= -26,6385 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pias 11 &= W \times \sin \alpha \\ &= 329,5482 \times \sin (58) \\ &= 279,4727 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Rekapitulasi dari hasil perhitungan $W \sin \alpha$ untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

4. Menghitung nilai $W \cos \alpha$ untuk setiap pias.

$$Pias 1 = W \times \cos \alpha$$

$$= 50,2690 \times \cos (-32)$$

$$= 42,6306 \text{ kN/m}$$

$$\text{Pias 11} = W \times \cos \alpha$$

$$= 329,5482 \times \cos (58)$$

$$= 174,6339 \text{ kN/m}$$

Rekapitulasi dari hasil perhitungan $W \cos \alpha$ untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Berdasarkan hasil pengukuran dari geometri timbunan yang ada diperoleh panjang garis lengkung pada tanah lapis 1 (A-B) sebesar 12,7803 m, dan panjang garis lengkung pada tanah lapis 1 (B-C) sebesar 30,7847 m. setelah panjang garis lengkung diketahui, langkah selanjutnya dilakukan dengan melakukan perhitungan nilai tahanan kelongsoran yang dikerahkan oleh komponen kohesi sebagai berikut.

$$\sum c_{iai} = (10 \times 12,7803) + (5,0014 \times 30,7847)$$

$$= 882,551 \text{ kN}$$

Nilai tahanan longsoran oleh komponen gesekan pada kedua lapisan adalah sebagai berikut.

$$W_i \cos \theta - U_i \times \tan \varphi = (630,535 \times \tan (25)) + (3553,251 \times \tan (4,175))$$

$$= 553,399 \text{ kN}$$

Pada lereng timbunan jalan terdapat beban merata sebesar 13,65 kN/m² yang dihasilkan dari beban perkerasan. Maka momen yang dihasilkan dari beban merata tersebut diperhitungkan ke dalam momen yang menggerakkan tanah. Perhitungan pada momen tersebut sebagai berikut.

$$Mq = (q \times A)$$

$$= (28,65 \times 12,59)$$

$$= 360,704 \text{ kN}$$

Rekapitulasi dari hasil perhitungan manual dengan menggunakan Metode Fellenius dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Perhitungan Menggunakan Metode *Fellenius*

irisan no	Lapisan Tanah	A (m ²)	Berat Wi (kN)	θ (°)	Radian	Wi.cos θ_i (kN)	Wi.sin θ_i (kN)	Wi cos θ_i - Ui= ui. ai (kN)
1	1	0	0	-32	-0,5585	42,6306	-26,6385	42,6306
	2	3,9707	50,2690					
2	1	2,4883	31,5019	-23	-0,4014	134,9253	-57,2724	134,9253
	2	9,0897	115,0756					
3	1	7,4649	119,4348	-15	-0,2618	268,5431	-71,9559	268,5431
	2	12,5259	158,5779					
4	1	12,4415	199,064	-7	-0,1221	379,6085	-46,6100	379,6085
	2	14,4862	183,3953					
5	1	17,4181	278,6896	0	0	469,6910	0	469,6910
	2	15,0870	191,0014					
6	1	22,3947	358,3152	8	0,1396	534,8753	75,1718	534,8753
	2	14,3615	181,8166					
7	1	27,3713	437,9408	16	0,2793	570,2890	163,5278	570,2891
	2	12,2694	155,3306					
8	1	31,2621	500,1936	24	0,4189	611,9466	272,4562	611,9464
	2	8,6851	109,9559					
9	1	31,5488	504,7808	32	0,5585	540,7412	337,8926	540,7411
	2	3,3540	42,4616					
10	1	32,0557	512,8912	43	0,7505	455,9007	425,1343	455,9007
11	1	13,6839	219,1024	58	1,0123	174,6339	279,4727	174,6339
JUMLAH						4183,7853	1351,1785	

5. Menghitung nilai *safety factor* (SF) pada Sta. 20+475

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

$$\begin{aligned} SF &= \frac{(\sum c_{iai}) + ((W_i \cos \theta - U_i) \times \tan \phi)}{(W_i \sin \alpha) + (\text{Beban} \times \text{Luas})} \\ &= \frac{(882,551 + 553,399)}{(1351,178 + 360,704)} \\ &= 0,8388 \end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan badan jalan tanpa perkuatan dengan perhitungan manual menggunakan Metode *Fellenius*, dimana tidak memperhitungkan pengaruh beban gempa pada timbunan setinggi 10 m paska konstruksi yaitu sebesar 0,8388. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diketahui bahwa nilai angka aman tidak memenuhi persyaratan yaitu >1,3. Untuk rekapitulasi hasil angka keamanan dengan perhitungan manual menggunakan Metode *Fellenius* dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Menggunakan Metode *Fellenius*

Timbunan (m)	Angka Keamanan
	Paska Konstruksi
10	0,84

Berdasarkan hasil nilai angka keamanan yang didapatkan dari perhitungan diatas, maka perlu dilakukan perkuatan tanah dan perbaikan pada tanah dasar untuk meningkatkan angka keamanan pada lereng. Perkuatan yang digunakan pada penelitian ini adalah perkuatan dengan menggunakan *prefabricated drain* dan geotekstil.

5.3 Perhitungan Kebutuhan Geotekstil

5.3.1 Data Perhitungan Geotekstil

1. Parameter Tanah Timbunan

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

- a. Berat volume tanah (γ_b) = 16 kN/m³
- b. Kohesi (c) = 10kN/m³
- c. Sudut gesek dalam (ϕ) = 25

2. Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan pada analisis perhitungan ini menggunakan jenis geotekstil woven yang digunakan sebagai perkuatan pada timbunan tanah. Data geotekstil yang digunakan berasal dari produksi PT. Geo Permata Abadi dengan jenis geotekstil yang digunakan adalah GT – 250. Nilai kuat tarik pada geotekstil yang digunakan sebesar 63 kN/m dan nilai regangan yang digunakan sebesar 19%. Data geotekstil yang nantinya akan diinput ke dalam aplikasi PLAXIS ialah nilai *normall stiffness* (EA) yang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 EA &= \frac{Fg}{\Delta l/l} \\
 &= \frac{63}{0,19} \\
 &= 331,579 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 T_{all} &= \frac{T_{ult}}{SF_{geo}} \\
 &= \frac{63}{2}
 \end{aligned}$$

$$= 31,5 \text{ kN/m}^2$$

Data parameter geotekstil yang digunakan dalam perhitungan dan input program PLAXIS dapat dilihat dalam pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5. 4 Data Geotekstil Woven GT-250

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ultimit	T_{ulti}	63	kN/m
Regangan	E	19	%
Kekakuan Normal	EA	331,579	kN/m
Kuat Tarik <i>Allowable</i>	T_{all}	31,5	kN/m

3. Koefisien daya dukung tanah

Pada perhitungan kebutuhan geotekstil dibutuhkan data koefisien daya dukung tanah. Penelitian ini menggunakan data koefisien daya dukung tanah yang didapatkan dari Departemen Pekerjaan Umum (2009). Untuk nilai koefisien daya dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5. 5 Koefisien Daya Dukung Tanah

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

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum (2009)

5.3.2 Stabilitas Eksternal

Perhitungan stabilitas eksternal digunakan dalam menentukan jarak arah vertikal minimal lapisan geotekstil (SV) dan panjang total minimum geotekstil (L).

1. Menentukan jarak arah vertikal minimal antar lapis geotekstil (SV)

Perhitungan koefisien aktif tanah sebagai berikut.

$$Ka = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$\begin{aligned} Ka &= \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{25}{2} \right) \\ &= 0,40586 \end{aligned}$$

- a. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) zona 1 timbunan 4m

$$\begin{aligned} \sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\ &= (28,65 \times 0,40586) + (0,40586 \times 4 \times 16) - (2 \times 10 \times \\ &\quad \sqrt{0,40586}) \\ &= 24,861 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SV &= \frac{T_{\text{all}}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{31,5}{24,861 \times 1,5} \\ &= 0,845 \text{ m} \end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 1 m (minimal)

- b. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) zona 2 timbunan 6m

$$\begin{aligned} \sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\ &= (28,65 \times 0,40586) + (0,40586 \times 6 \times 16) - (2 \times 10 \times \\ &\quad \sqrt{0,40586}) \\ &= 37,849 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SV &= \frac{T_{\text{all}}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{31,5}{37,849 \times 1,5} \\ &= 0,555 \text{ m} \end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 1 m (minimal)

- c. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) zona 3 timbunan 8m

$$\begin{aligned}\sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\ &= (28,65 \times 0,40586) + (0,40586 \times 8 \times 16) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,40586}) \\ &= 50,836/m^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{31,5}{50,836 \times 1,5} \\ &= 0,413 \text{ m}\end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 m (minimal)

- d. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) zona 4 timbunan 10m

$$\begin{aligned}\sigma_{hc} &= (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \\ &= (28,65 \times 0,40586) + (0,40586 \times 10 \times 16) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,40586}) \\ &= 63,823 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SV &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \\ &= \frac{31,5}{63,823 \times 1,5} \\ &= 0,329 \text{ m}\end{aligned}$$

Dilapangan dipasang SV = 0,5 m (minimal)

2. Menentukan panjang geotekstil

- a. Stabilitas terhadap guling

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

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

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

$$SF = \frac{(\frac{1}{2} \times 28,65 \times L^2) + (\frac{1}{2} \times 16 \times 10 \times L^2)}{(28,65 \times 0,40586 \times \frac{1}{2} \times 10^2) + (\frac{1}{2} \times 0,40586 \times 16 \times 10^2 \times \frac{1}{2} \times 10) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,40586} \times \frac{1}{2} \times 10^2)}$$

$$SF = \frac{94,325 \times L^2}{1567,763}$$

$$L^2 = \frac{1567,763 \times 1,5}{94,325} = 24,931$$

$$L = 4,993 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan guling pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 4,993 m.

b. Stabilitas terhadap geser

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

Tahanan geser pada dasar perkuatan ($\delta = \frac{2}{3} \times 28,65 = 19,1$)

$$SF = \frac{(28,65 \times \tan(19,1) \times L) + (10 \times 16 \times \tan(19,1) \times L)}{(28,65 \times 0,40586 \times 10) + (0,5 \times 0,40586 \times 16 \times 10^2) - (2 \times 10 \times \sqrt{0,40586}) \times 10}$$

$$SF = \frac{81,376 \times L}{313,551}$$

$$L = \frac{313,551 \times 1,5}{81,376} = 5,7797 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan geser pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 6 m.

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

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

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

$$\frac{L}{6} \geq \frac{1567,756}{(10 \times 16 \times L) + (28,65 \times L)}$$

$$\frac{L}{6} \geq \frac{1567,756}{188,65 \times L}$$

$$L^2 = 49,8624 \text{ m}$$

$$L = 7,061 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan eksentrisitas pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 8 m.

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

$$N_c = 20,72$$

$$N_\gamma = 10,8$$

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

$$L \leq \frac{310,8 + (129,6 \times L)}{(10 \times 16) + 28,65}$$

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

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

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

$$L \leq \frac{310,8 + (129,6 \times L)}{(10 \times 16) + 28,65}$$

$$188,65 L \leq 319,8 + (129,6 \times L)$$

$$L = \frac{310,8}{188,65 - 129,6}$$

$$L = 5,263$$

Dari parameter stabilitas lereng diatas, panjang geotekstil yang digunakan pada timbunan 10 m sebesar 5m. Untuk panjang kebutuhan geotekstil lereng dengan tinggi timbunan yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil

Tinggi Timbunan (H)	Stabilitas Guling	Stabilitas Geser	Stabilitas Eksentrisitas	Stabilitas Daya Dukung Tanah	Panjang Minimum (L) (m)
4 m	1,754	1,783	2,480	-8,411	3
6 m	2,820	3,074	3,989	-62,787	4
8 m	3,903	4,415	5,520	11,4898	12
10 m	4,993	5,779	7,061	5,2633	8

5.3.3 Stabilitas Internal

1. Panjang *overlapping* geotekstil

a. Timbunan 4m

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

$$L_o = \frac{24,861 \times 1 \times 1,5}{2 \times 16 \times 4,6 \times \tan 25}$$

$$L_o = 0,625 \text{ m}$$

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

b. Timbunan 6m

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

$$L_o = \frac{37,849 \times 1,5 \times 1,5}{2 \times 16 \times 6 \times \tan 25}$$

$$L_o = 0,634 \text{ m}$$

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

c. Timbunan 8m

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

$$L_o = \frac{50,836 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 16 \times 8 \times \tan 25}$$

$$L_o = 0,319 \text{ m}$$

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

d. Timbunan 10m

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

$$L_o = \frac{63,824 \times 0,5 \times 1,5}{2 \times 16 \times 10 \times \tan 25}$$

$$L_o = 0,320 \text{ m}$$

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

2. Panjang efektif geotekstil

a. Timbunan 4m

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

$$Le = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,40586 \times 16 \times 4}{2 \times 16 \times 4 \times \tan 25}$$

$$Le = 0,653 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

b. Timbunan 6m

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

$$Le = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,40586 \times 16 \times 6}{2 \times 16 \times 6 \times \tan 25}$$

$$Le = 0,653 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

c. Timbunan 8m

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

$$Le = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,40586 \times 16 \times 8}{2 \times 16 \times 8 \times \tan 25}$$

$$Le = 0,326 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

d. Timbunan 10m

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

$$Le = \frac{1,5 \times 0,5 \times 0,40586 \times 16 \times 10}{2 \times 16 \times 10 \times \tan 25}$$

$$Le = 0,326 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

5.3.4 Cek Gaya Tarik Tanah – Geotekstil

Untuk memastikan apakah geotekstil yang digunakan dapat menahan gaya tarik yang terjadi dengan nilai SV 0,5m, maka dilakukan perhitungan tegangan geser yang bekerja. Geotekstil akan mengalami perlawanan dengan menegang dan mentransfer tegangan ke daerah (zona) pasif saat menerima beban dari atas (*soil embankment*), sehingga geotekstil mampu menahan gaya tarik yang bekerja akibat diberikan beban tersebut. Perlu dilakukan pengecekan terhadap jenis geotekstil yang mampu menahan gaya tarik dalam keperluan perencanaan jenis geotekstil yang digunakan.

Gaya tarik yang bekerja pada geotekstil dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{\tan \phi \times 2 \times \sigma_v \times b \times L}{SF} \\
 &= \frac{\tan (25) \times (0,5 \times 16) \times 1 \times 26,55}{2} \\
 &= 49,522 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan gaya tarik yang bekerja pada geotekstil diatas sebesar 49,522 kN, sedangkan kuat tarik pada geotekstil yang digunakan sebesar 63 kN/m. maka kekuatan pada geotekstil kuat dalam menahan gaya tarik yang bekerja dikarenakan $63 \text{ kN/m} > 49,522 \text{ kN}$ (aman).

5.4 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Tanah

5.4.1 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer

Analisis yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan prinsip penurunan *over consolidated* dengan asumsi bahwa nilai $OCR > 1$ dan $P_o + \Delta P \leq P_c'$. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.43

Lapisan 1

$$C_c = 0,384 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$C_s = 0,061$$

$$e_o = 1,043$$

Perhitungan untuk mencari nilai Tegangan *Overburden* Efektif (P_o') dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.45

$$\begin{aligned}
 P_o' &= 1,291 \times 400 \\
 &= 754,499 \text{ gr/cm}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk mencari nilai Distribusi Tegangan Tanah (ΔP) dengan menggunakan Persamaan 3.

$$\begin{aligned}
 q_o &= (\gamma \times H) + \text{Beban Struktur} \\
 &= (1,937 \times 400) + 292,148 \\
 &= 898,396 \text{ gr/cm}^2
 \end{aligned}$$

Menentukan Nilai ΔP dengan menggunakan Teori Boussinesq seperti berikut.

$$\alpha_1 = 10,2$$

$$\alpha_2 = 38,2$$

$$B_1 = 1855$$

$$B_2 = 800$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= \left(\frac{q_0}{180}\right) \left(\left(\frac{B_1+B_2}{B_2}\right) \times (\alpha_1 + \alpha_2)\right) - \left(\left(\frac{B_1}{B_2}\right) \times \alpha_2\right) \\ &= \left(\frac{898,396}{180}\right) \left(\left(\frac{1855+800}{800}\right) \times (10,2 + 38,2)\right) - \left(\left(\frac{1855}{800}\right) \times 38,2\right) \\ &= 754,499 \text{ gr/cm}^2 \end{aligned}$$

$$H = 550 \text{ cm}$$

Maka penurunan tanah yang terjadi pada lapisan tanah 1 kedalaman (0 m – 5,5 m) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,061 \times 550}{1+1,043} \log \frac{754,499 \times 710,05}{710,05} \\ &= 5,163 \text{ cm} \\ &= 0,05163 \text{ m} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan dapat dilihat melalui Tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Lapisan	H (cm)	Po (gr/cm ²)	Δp (gr/cm ²)	Cc (cm ² /s)	Cs	eo	S (cm)
Lapisan 1	550	710,05	754,499	0,38400	0,061	1,043	5,163
Lapisan 2	1800	1854,3	754,499	0,46200	0,115	1,568	11,951
Total Penurunan							17,114

5.4.2 Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanpa Menggunakan PVD

Perhitungan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 90% tanpa menggunakan PVD dilakukan dengan menggunakan metode konsolidasi 1-D Terzaghi. Sebelum dilakukan perhitungan derajat konsolidasi, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien konsolidasi vertikal gabungan (Cv_{gab}) terlebih dahulu sebelum menghitung derajat konsolidasi.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.49

$$\begin{aligned} Cv_{gab} &= \frac{(550+1800)^2}{\left(\frac{550}{\sqrt{0,000791}} + \frac{1800}{\sqrt{0,00513}}\right)^2} \\ &= 0,000563 \text{ cm}^2/\text{s} \\ &= 0,004866 \text{ m}^2/\text{hari} \end{aligned}$$

Perhitungan untuk mencari faktor waktu (T_v) pada hari pertama dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.53

$$T_v = \frac{0,004866 \times 1}{\left(\frac{22}{2}\right)^2}$$

$$= 4,021 \times 10^{-5}$$

Perhitungan untuk mencari derajat konsolidasi arah vertikal (U_v) pada hari pertama dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.57

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \times 0,00004021}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \times 0,00004021}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

$$= 0,007155$$

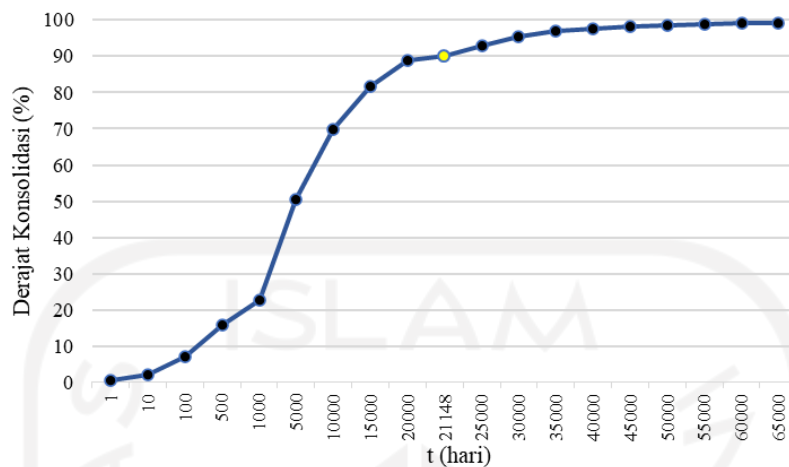
$$S = 0,007155 \times 0,17114$$

$$= 0,00122 \text{ m}$$

Hasil analisis derajat konsolidasi arah vertikal (U_v) tanpa menggunakan PVD dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Gambar 5.20 berikut.

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (C_v) Tanpa PVD

t (hari)	C_v gab (m^2/day)	T_v	U_v	S (m)
1	0,004866	4,021,E-05	0,00716	0,00122
10	0,004866	4,021,E-04	0,02263	0,00387
100	0,004866	4,021,E-03	0,07155	0,01225
207	0,004866	8,324,E-03	0,10295	0,01762
1000	0,004866	4,021,E-02	0,22626	0,03872
5000	0,004866	2,011,E-01	0,50399	0,08625
10000	0,004866	4,021,E-01	0,69748	0,11937
10420	0,004866	4,190,E-01	0,70993	0,12150
15000	0,004866	6,032,E-01	0,81720	0,13986
20000	0,004866	8,042,E-01	0,88846	0,15205
21148	0,004866	8,504,E-01	0,90001	0,15403
25000	0,004866	1,005,E+00	0,92961	0,15909
30000	0,004866	1,206,E+00	0,95354	0,16319
35000	0,004866	1,407,E+00	0,96790	0,16565
40000	0,004866	1,608,E+00	0,97684	0,16718
45000	0,004866	1,810,E+00	0,98264	0,16817
50000	0,004866	2,011,E+00	0,98653	0,16884
55000	0,004866	2,212,E+00	0,98922	0,16930
60000	0,004866	2,413,E+00	0,99113	0,16962
65000	0,004866	2,614,E+00	0,99251	0,16986



Gambar 5. 20 Grafik Hubungan Waktu dan Derajat Konsolidasi Tanpa PVD

5.4.3 Perhitungan Derajat konsolidasi Menggunakan PVD

Perhitungan derajat konsolidasi menggunakan PVD dilakukan dengan menggunakan pola segitiga. PVD dipasang dengan jarak sebesar 0,9 m. Berikut ini merupakan perhitungan derajat konsolidasinya :

Perhitungan diambil pada saat hari pertama ($t = 1$ hari)

$$\begin{aligned} C_{v \text{ gab}} &= 0,000563 \text{ cm}^2/\text{s} \\ &= 0,004866 \text{ m}^2/\text{hari} \end{aligned}$$

$$T_v = 4,021 \times 10^{-5}$$

$$U_v = 0,007155$$

Perhitungan untuk mencari nilai koefisien konsolidasi horizontal (C_H) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.48

$$\begin{aligned} C_H &= 1,5 \times C_v \\ &= 1,5 \times 0,004866 \\ &= 0,007298 \text{ m}^2/\text{hari} \end{aligned}$$

Perhitungan untuk mencari daerah ekuivalen (D_e) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.41

$$\begin{aligned} D_e &= 1,05 \times 0,9 \\ &= 0,945 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan untuk mencari diameter ekivalen (D_w) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.59

$$D_w = \frac{2 \times (0,01 + 0,005)}{\pi}$$

$$= 0,00955$$

Perhitungan untuk mencari faktor hambatan akibat jarak PVD ($F(n)$) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.59

$$F(n) = \ln \left(\frac{0,945}{0,00955} \right) - \frac{3}{4}$$

$$= 3,845$$

Perhitungan untuk mencari faktor waktu horizontal (T_h) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.54

$$T_h = \frac{0,007298 \times 1}{0,945^2}$$

$$= 0,00817$$

Perhitungan untuk mencari derajat konsolidasi horizontal (U_H) dilakukan dengan Persamaan 3.58

$$U_H = 1 - \exp \left(\frac{-8 \times 0,00817}{3,845} \right)$$

$$= 0,01686$$

Perhitungan untuk mencari derajat konsolidasi tanah (U) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.60

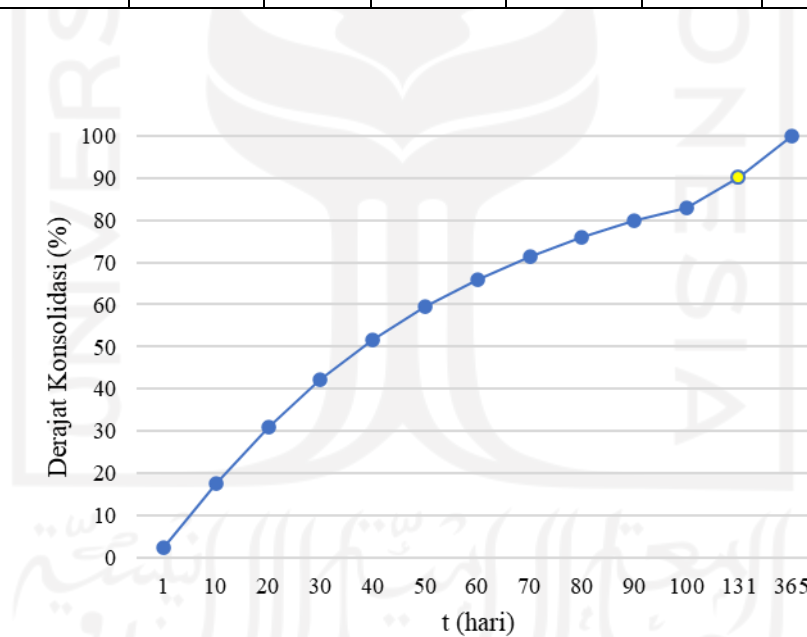
$$U = 1 - ((1 - 0,007155) \times (1 - 0,01686))$$

$$= 0,02396$$

Hasil analisis derajat konsolidasi dengan menggunakan PVD yang dipasang dengan menggunakan pola segitiga dan jarak pemasangan sebesar 0,9 meter dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Gambar 5.21 berikut ini.

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Hasil Analisis Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD dengan Pola Segitiga dan Jarak 0,9 m

T (hari)	T _v	C _v (m ² /hari)	U _v	Th	Ch (m ² /hari)	Uh	U	S (m)
1	4,02,E-05	0,00487	0,007	0,008	0,00730	0,017	0,024	0,004
10	4,02,E-04	0,00487	0,023	0,082	0,00730	0,156	0,175	0,030
20	8,04,E-04	0,00487	0,032	0,163	0,00730	0,288	0,311	0,053
30	1,21,E-03	0,00487	0,039	0,245	0,00730	0,400	0,423	0,072
40	1,61,E-03	0,00487	0,045	0,327	0,00730	0,493	0,516	0,088
50	2,01,E-03	0,00487	0,051	0,409	0,00730	0,573	0,594	0,102
60	2,41,E-03	0,00487	0,055	0,490	0,00730	0,640	0,660	0,113
70	2,81,E-03	0,00487	0,060	0,572	0,00730	0,696	0,714	0,122
80	3,22,E-03	0,00487	0,064	0,654	0,00730	0,743	0,760	0,130
90	3,62,E-03	0,00487	0,068	0,736	0,00730	0,784	0,798	0,137
100	4,02,E-03	0,00487	0,072	0,817	0,00730	0,817	0,830	0,142
131	5,27,E-03	0,00487	0,082	1,071	0,00730	0,892	0,901	0,154
365	1,47,E-02	0,00487	0,137	2,983	0,00730	0,998	0,998	0,171

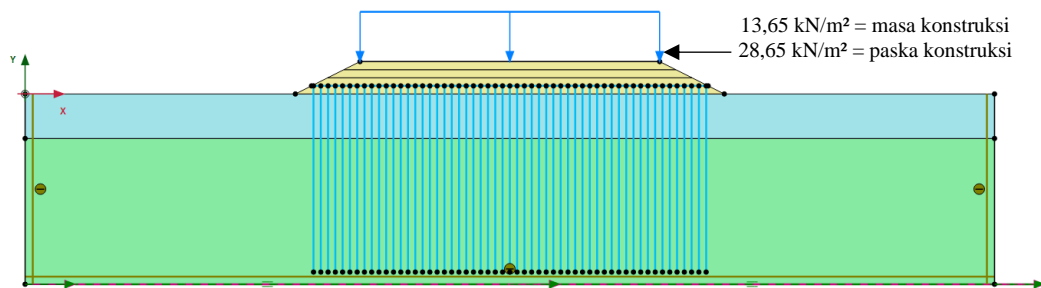


Gambar 5. 21 Grafik Hubungan Antara Waktu dan Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD dengan Pola Segitiga dan Jarak 0,9 m

5.5 Lereng Timbunan Tanah Asli Dengan *Prefabricated Vertical Drain*

1. Permodelan pada program PLAXIS V20

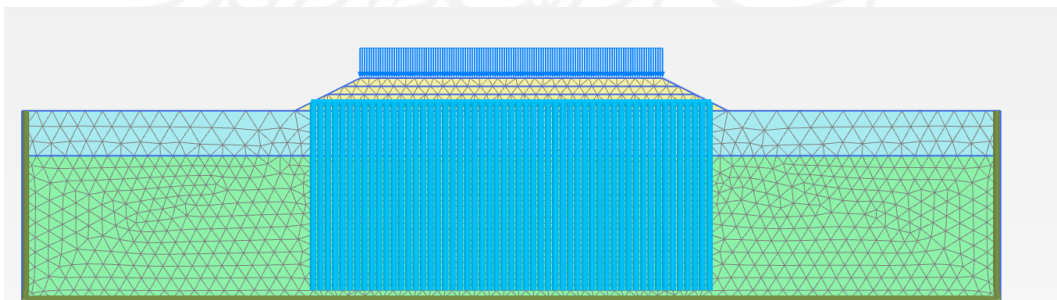
Permodelan awal timbunan lereng tanah asli 4 meter dengan menggunakan *prefabricated vertical drain* ini pada umumnya sama seperti pada permodelan timbunan 4 meter kondisi tanah asli, hanya saja pada permodelan ini ditambahkan dengan adanya pemasangan *prefabricated vertical drain* pada lapisan tanah dasar dan timbunan tanah platform setinggi 1m. Pemasangan *prefabricated vertical drain* dilakukan dengan jarak pemasangan sebesar 0,9 meter dan kedalaman sebesar 22 meter. Permodelan timbunan lereng tanah asli 4 meter dengan menggunakan *prefabricated vertical drain* dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5. 22 Permodelan Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain*

2. Pembuatan Jaring Elemen (*Meshing*)

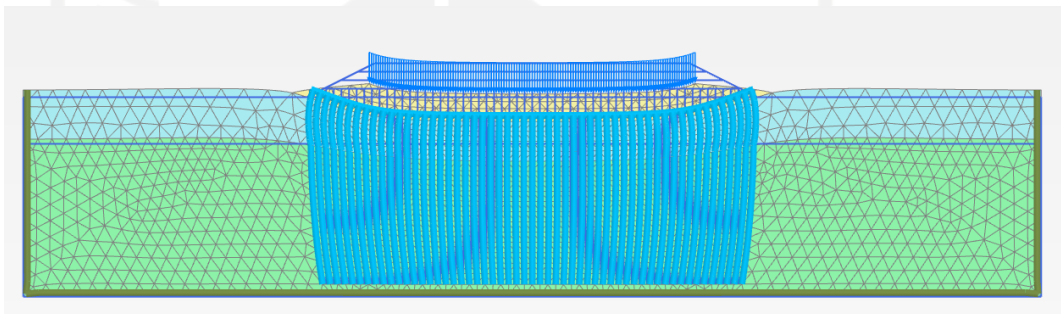
Langkah berikutnya setelah dilakukan permodelan dan input data adalah melakukan penyusunan jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng dengan pilihan jenis *meshing* yaitu *medium*. Jaringan elemen (*meshing*) pada timbunan lereng tanah asli 4 meter dengan menggunakan *prefabricated vertical drain* dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



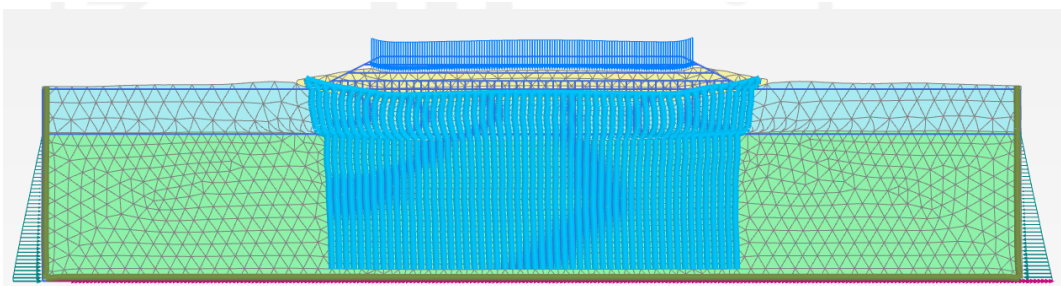
Gambar 5. 23 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain*

3. Kondisi masa konstruksi

Pada tahapan masa konstruksi timbunan lereng tanah asli 4m dengan *prefabricated drain* dilakukan sama seperti pada tahapan kondisi masa konstruksi pada tanah asli 4m, hanya saja ada penambahan perbaikan pada tanah dasar dengan melakukan pemasangan *prefabricated vertical drain* pada tanah dasar sedalam 22m sebelum dilakukan penimbunan lereng tanah. Adapun hasil *deformed mesh* pada timbunan lereng 4 m kondisi tanah asli dengan *prefabricated vertical drain* pada masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25 berikut.

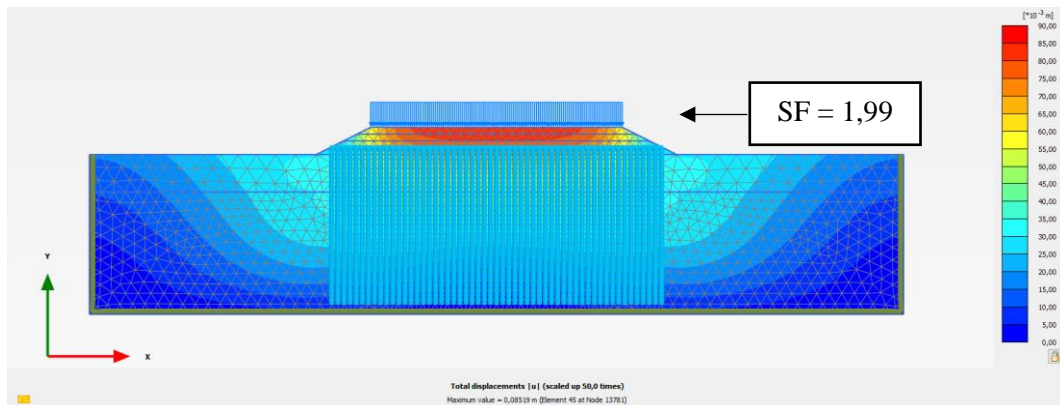


Gambar 5. 24 Deformed Mesh Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

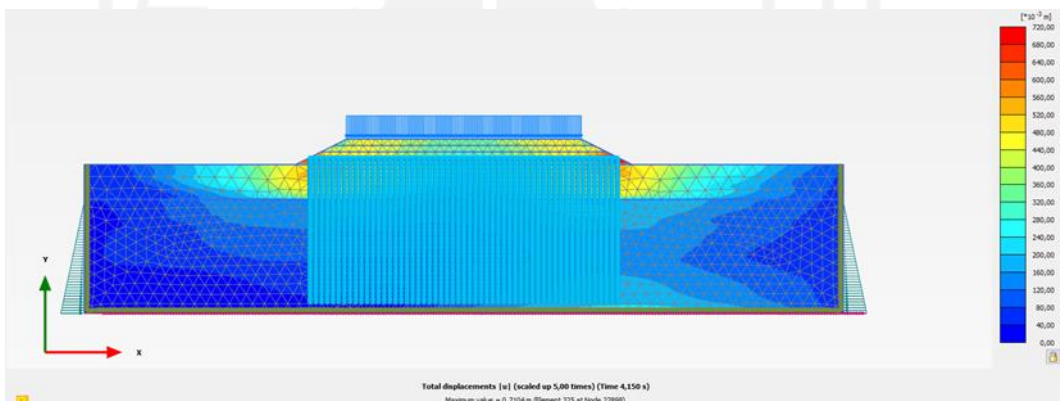


Gambar 5. 25 Deformed Mesh Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Kemudian untuk besarnya nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan tanah asli 4 meter dengan *prefabricated vertical drain* akibat beban struktur sebesar 0,08519m, sedangkan untuk akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 0,7104m. Adapun hasil dari *total displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.26 dan 5.27 berikut.

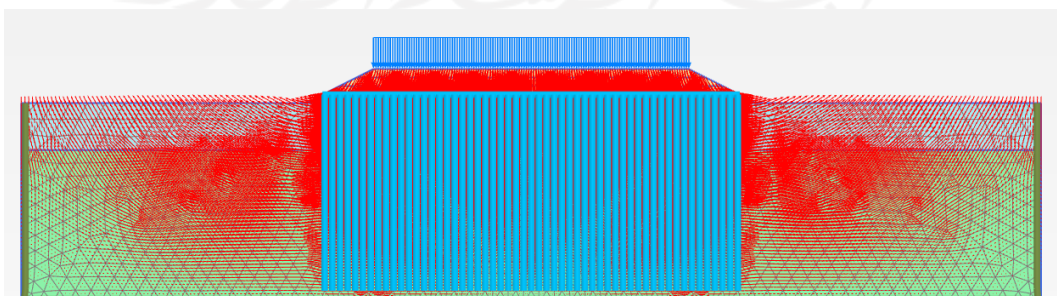


Gambar 5. 26 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

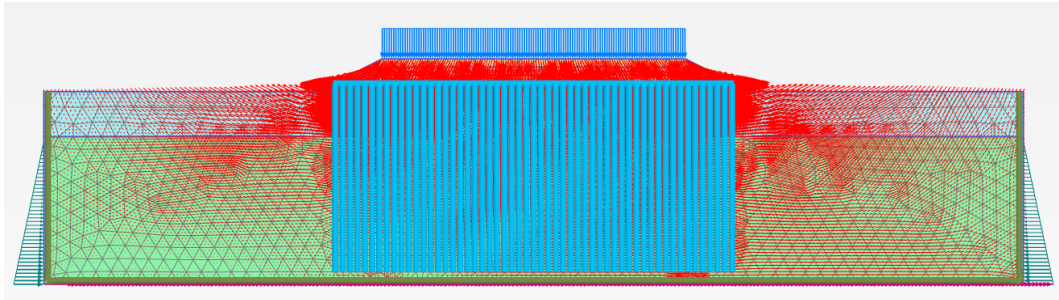


Gambar 5. 27 *Deformed Mesh* Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Kemudian untuk arah pergerakan tanah pada timbunan lereng tanah asli 4 meter dengan *prefabricated vertical drain* masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.28 dan 5.29 berikut.

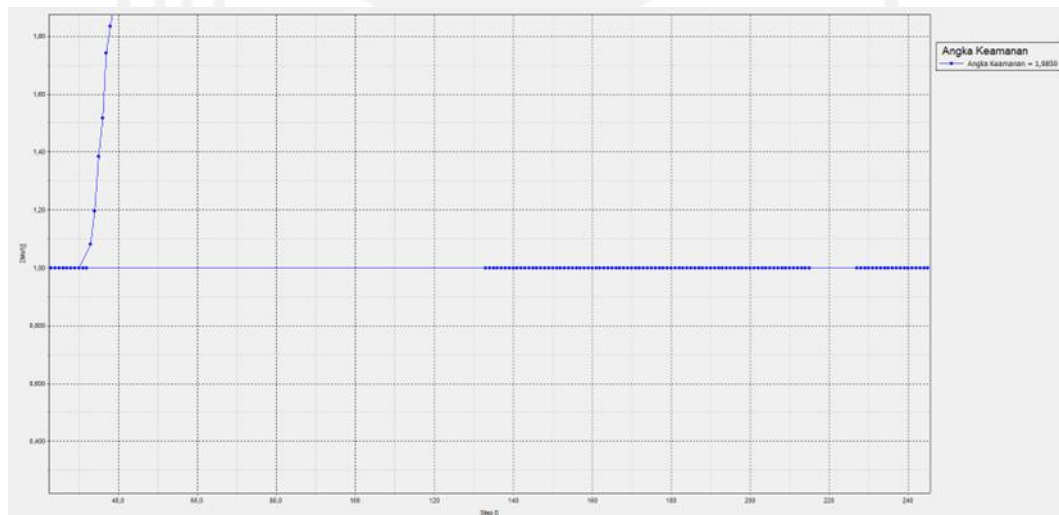


Gambar 5. 28 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 29 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

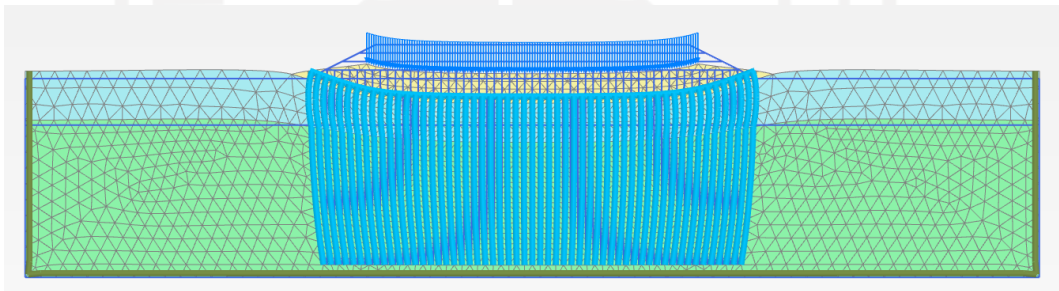
Untuk nilai angka aman pada timbunan 4m kondisi tanah asli dengan menggunakan *prefabricated vertical drain* masa konstruksi didapatkan nilai sebesar 1,9850, sedangkan angka keamanan pada kondisi dengan beban gempa tidak dapat dihitung setelah dilakukan proses perhitungan dinamik pada PLAXIS V20. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.30 berikut



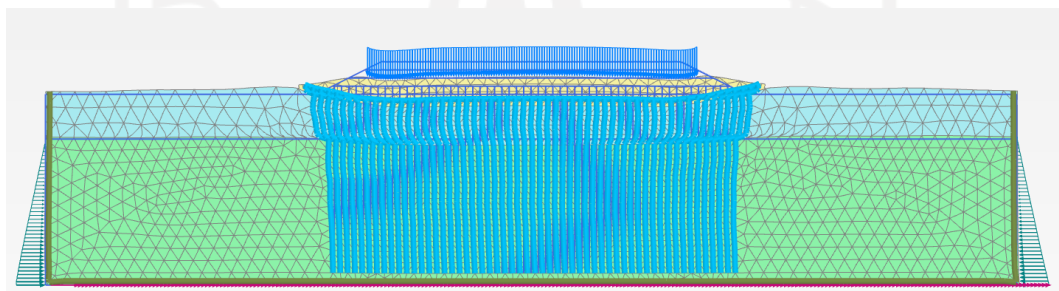
Gambar 5. 30 Kurva SF Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi

4. Kondisi paska konstruksi

Pada tahapan paska konstruksi timbunan lereng tanah asli 4m dengan *prefabricated vertical drain* dilakukan sama seperti pada tahapan kondisi paska konstruksi pada tanah asli 4m, hanya saja ada penambahan perbaikan pada tanah dasar dengan melakukan pemasangan *prefabricated vertical drain* pada tanah dasar sedalam 22m sebelum dilakukan penimbunan lereng tanah. Adapun hasil *deformed mesh* pada timbunan lereng 4 m kondisi tanah asli dengan *prefabricated vertical drain* pada masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.32 berikut.

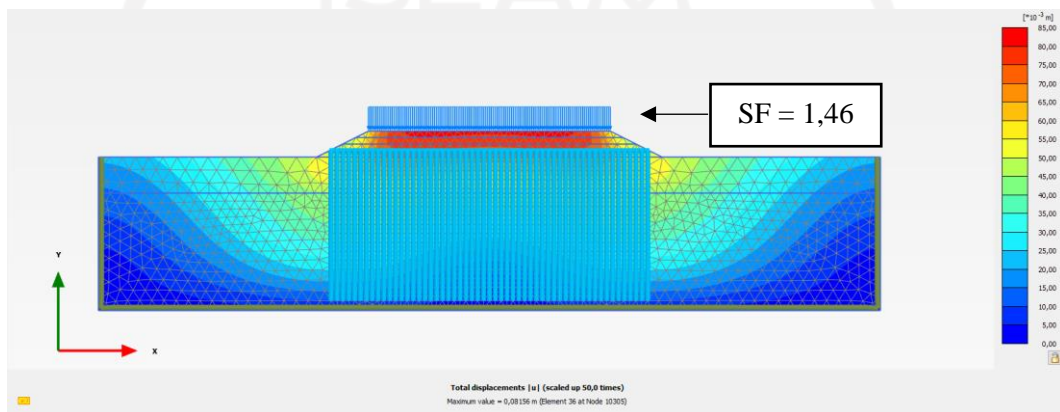


Gambar 5. 31 Deformed Mesh Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur

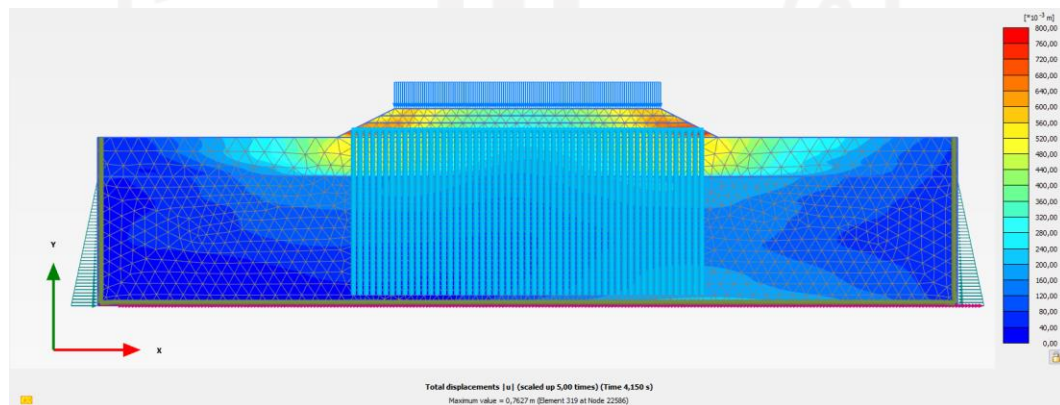


Gambar 5. 32 Deformed Mesh Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gemna

Kemudian untuk besarnya nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan tanah asli 4 meter dengan *prefabricated vertical drain* akibat beban struktur lalu lintas sebesar 0,08156m, sedangkan untuk akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 0,8648m. Adapun hasil dari *total displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.33 dan 5.34 berikut.

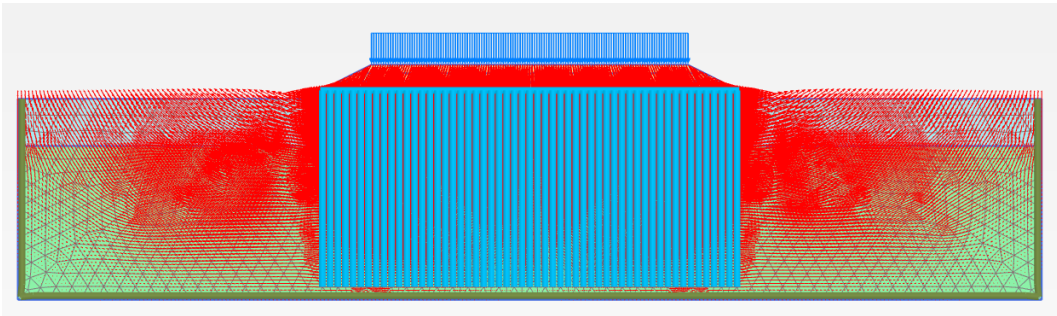


Gambar 5. 33 Total Displacement Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur

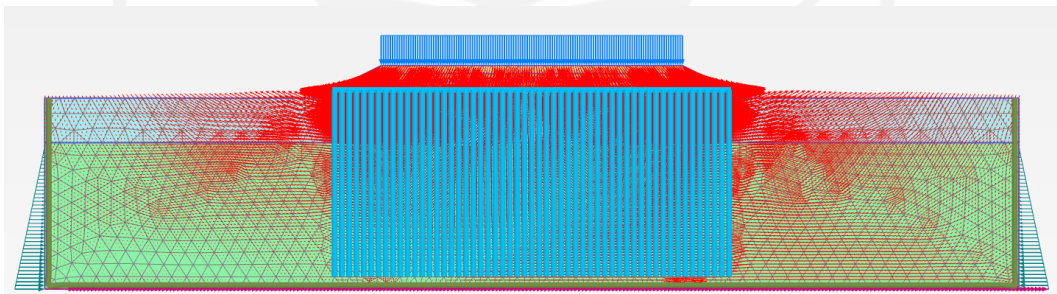


Gambar 5. 34 Total Displacement Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Kemudian untuk arah pergerakan tanah pada timbunan lereng tanah asli 4 meter dengan *prefabricated vertical drain* paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.35 dan 5.36 berikut.

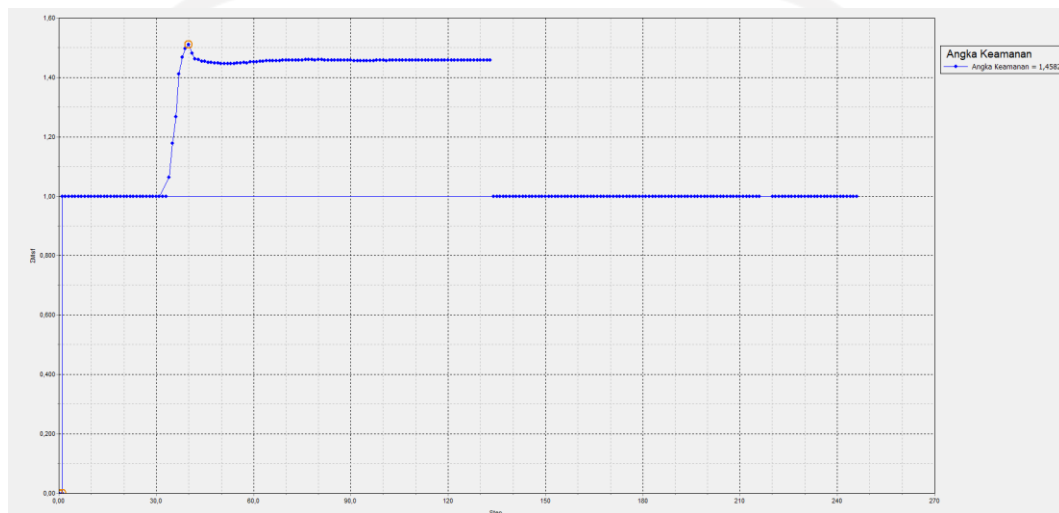


Gambar 5. 35 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 36 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Untuk nilai angka aman pada timbunan 4m kondisi tanah asli dengan menggunakan *prefabricated vertical drain* paska konstruksi didapatkan nilai sebesar 1,4582, sedangkan angka keamanan pada kondisi dengan beban gempa tidak dapat dihitung setelah dilakukan proses perhitungan dinamik pada PLAXIS V20. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar



Gambar 5. 37 Kurva SF Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Paska Konstruksi

5.37 berikut.

5. Rekapitulasi hasil angka aman (SF)

Hasil dari analisis perhitungan pada lereng timbunan dengan penambahan *prefabricated vertical drain* untuk nilai angka aman yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Timbunan Lereng Dengan *Prefabricated Vertical Drain*

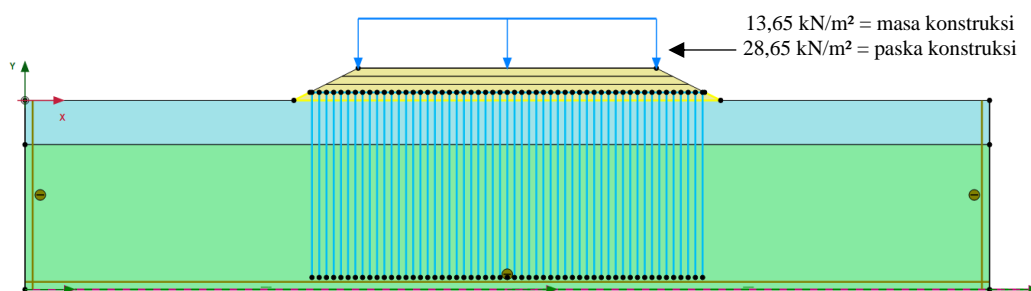
Variasi Timbunan	Kondisi Tanah Asli	
	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi
	Beban Struktur	Beban Struktur
Timbunan 4m	1,99	1,46
Timbunan 6m	1,54	1,28
Timbunan 8m	1,29	1,11
Timbunan 10m	1,14	<i>Collapse</i>

Dari hasil perhitungan tersebut, pada variasi tinggi timbunan 6m dan 8m memiliki nilai *safety factor* yang masih belum memenuhi syarat $SF > 1,3$ dan pada timbunan 10m masih terjadi *collapse*. Maka dilakukan analisis kembali dengan menambahkan perkuatan geotekstil pada timbunan tersebut.

5.1 Lereng Timbunan Tanah Asli Dengan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil

1. Permodelan pada program PLAXIS V20

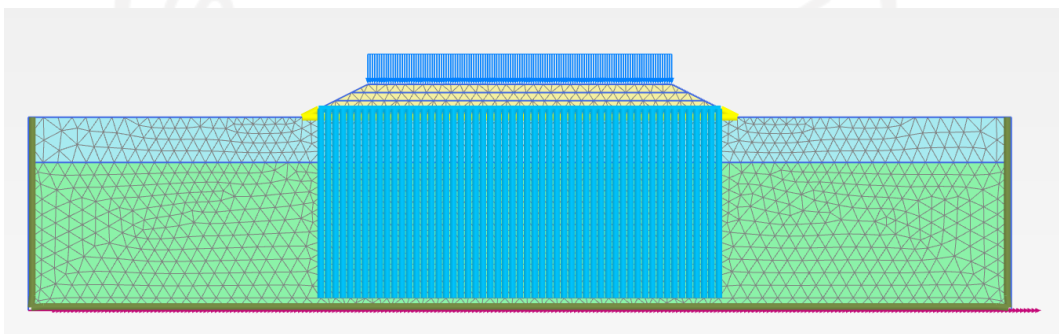
Permodelan awal timbunan lereng tanah asli 4 meter dengan menggunakan perkuatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil ini pada umumnya sama seperti pada permodelan timbunan 4 meter kondisi tanah asli, hanya saja pada permodelan ini ditambahkan dengan adanya pemasangan *prefabricated vertical drain* pada lapisan tanah dasar dan timbunan tanah platform setinggi 1m serta pemasangan geotekstil diatas tanah dasar. Pemasangan *prefabricated vertical drain* dilakukan dengan jarak pemasangan sebesar 0,9 meter dan kedalaman sebesar 22 meter serta pemasangan geotekstil. Permodelan timbunan lereng tanah asli 4 meter dengan menggunakan *prefabricated vertical drain* dapat dilihat pada Gambar 5.38 berikut.



Gambar 5. 38 Permodelan Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil

2. Pembuatan Jaring Elemen (*Meshing*)

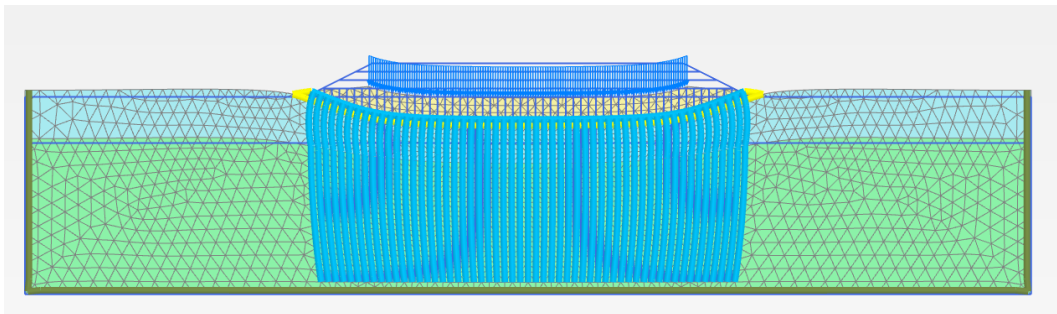
Langkah berikutnya setelah dilakukan permodelan dan input data adalah melakukan penyusunan jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng dengan pilihan jenis *meshing* yaitu *medium*. Jaringan elemen (*meshing*) pada timbunan lereng tanah asli 4 meter dengan menggunakan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.39 berikut.



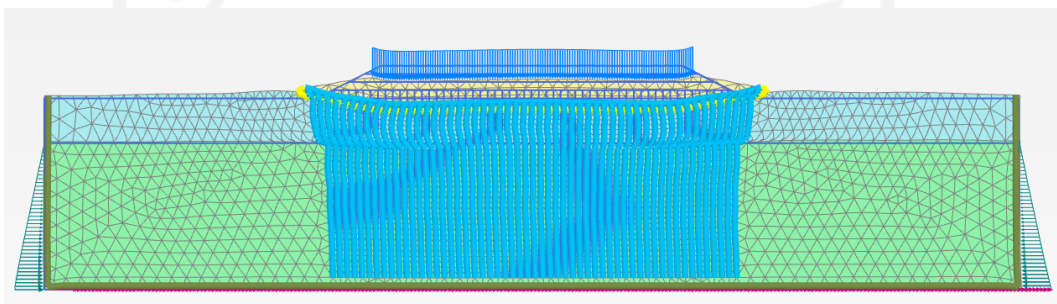
Gambar 5. 39 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil

3. Kondisi masa konstruksi

Pada tahapan paska konstruksi timbunan lereng tanah asli 4m dengan *prefabricated vertical drain* dilakukan sama seperti pada tahapan kondisi masa konstruksi pada tanah asli 4m, hanya saja ada penambahan perkuatan pada tanah dasar dengan melakukan pemasangan *prefabricated vertical drain* pada tanah dasar sedalam 22m dan pemasangan geotekstil sebelum dilakukan penimbunan lereng tanah. Adapun hasil *deformed mesh* pada timbunan lereng 4 m kondisi tanah asli dengan *prefabricated vertical drain* pada masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.40 dan Gambar 5.41 berikut.

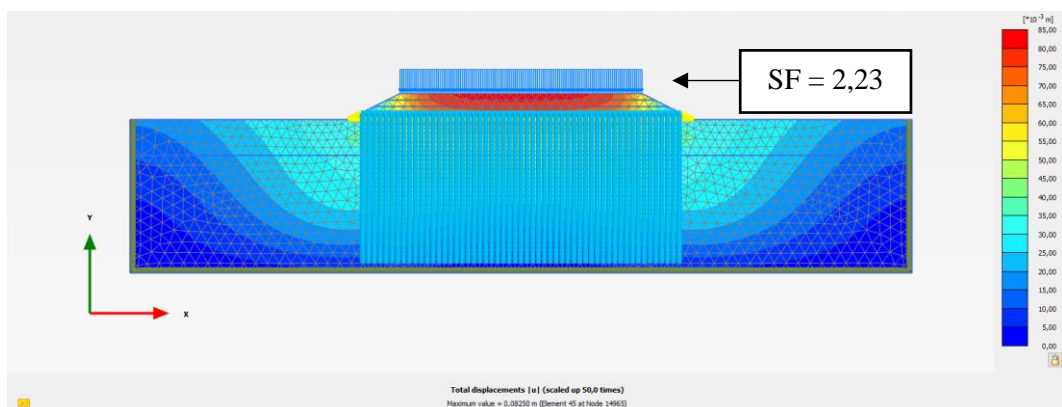


Gambar 5. 40 *Deformed Mesh* Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

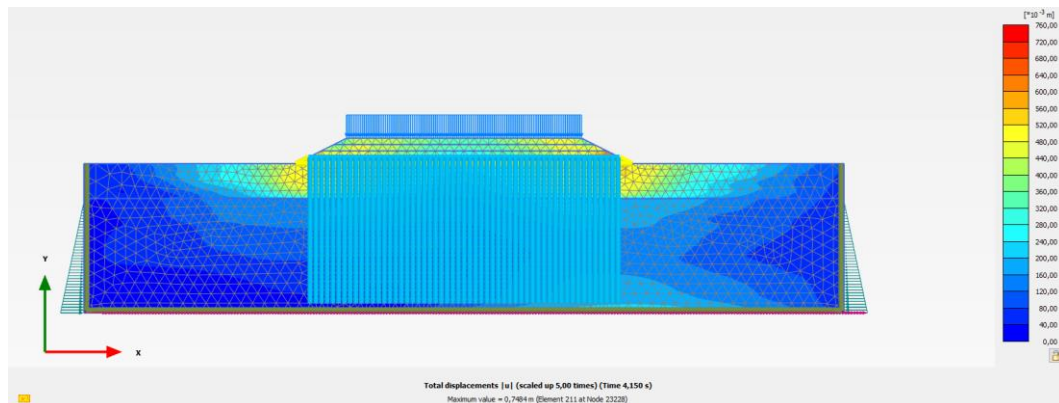


Gambar 5. 41 *Deformed Mesh* Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Kemudian untuk besarnya nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan tanah asli 4 meter dengan perkuatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil akibat beban struktur sebesar 0,08250m, sedangkan untuk akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 0,7484m. Adapun hasil dari *total displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.42 dan 5.43 berikut.

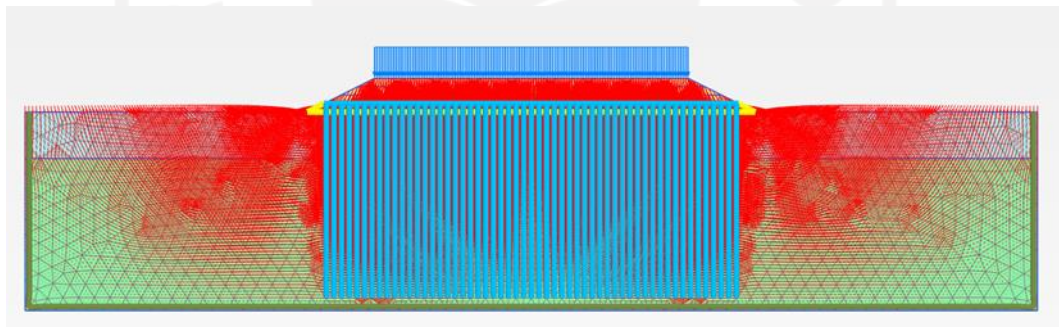


Gambar 5. 42 *Total Displacement* Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

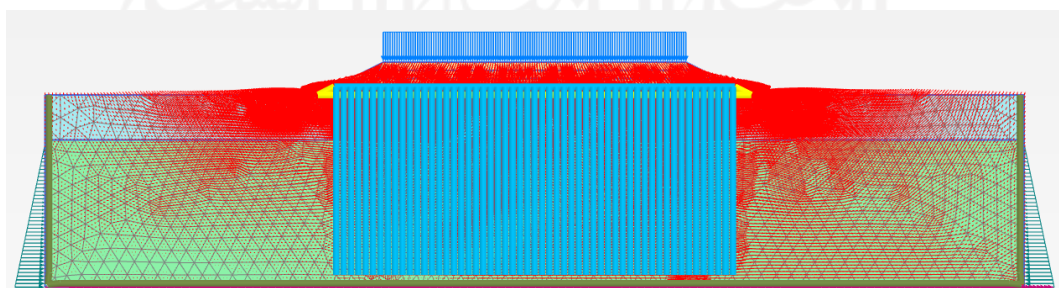


Gambar 5. 43 Total Displacement Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Kemudian untuk arah pergerakan tanah pada timbunan lereng tanah asli 4 meter dengan perkuatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.44 dan 5.45 berikut.

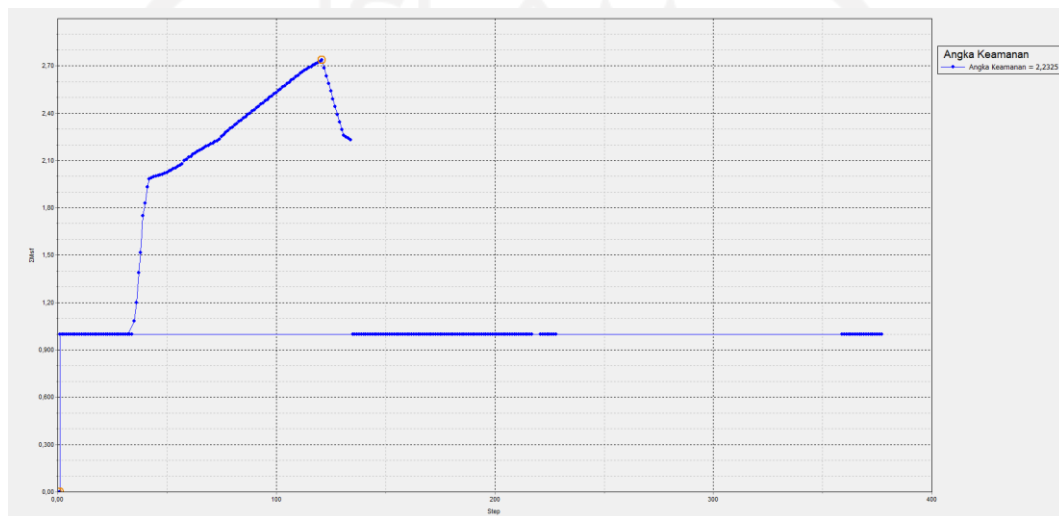


Gambar 5. 44 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur Gempa



Gambar 5. 45 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

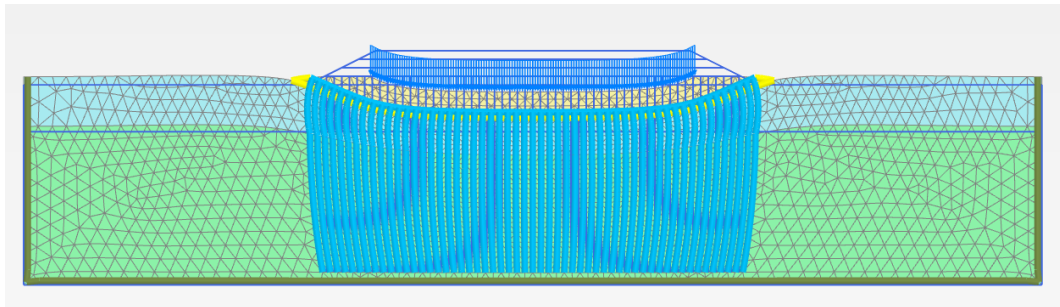
Untuk nilai angka aman pada timbunan 4m kondisi tanah asli dengan perkuatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil masa konstruksi didapatkan nilai sebesar 2,2325, sedangkan angka keamanan pada kondisi dengan beban gempa tidak dapat dihitung setelah dilakukan proses perhitungan dinamik pada PLAXIS V20. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.46 berikut.



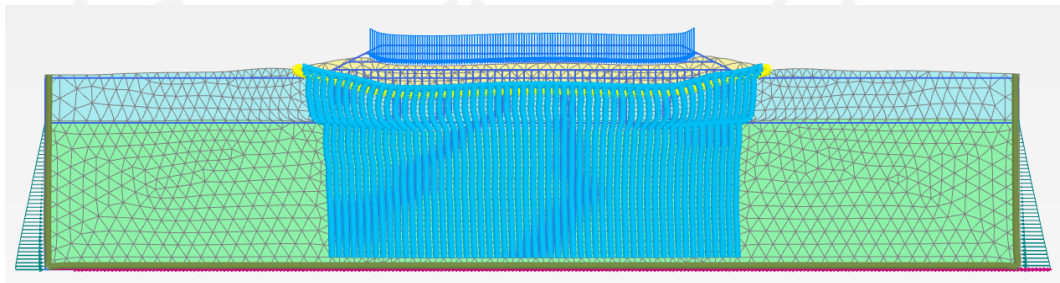
Gambar 5. 46 Kurva SF Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi

4. Kondisi paska konstruksi

Pada tahapan paska konstruksi timbunan lereng tanah asli 4m dengan *prefabricated vertical drain* dilakukan sama seperti pada tahapan kondisi paska konstruksi pada tanah asli 4m, hanya saja ada penambahan perkuatan pada tanah dasar dengan melakukan pemasangan *prefabricated vertical drain* pada tanah dasar sedalam 22m dan pemasangan geotekstil sebelum dilakukan penimbunan lereng tanah. Adapun hasil *deformed mesh* pada timbunan lereng 4 m kondisi tanah asli dengan *prefabricated vertical drain* pada masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.47 dan Gambar 5.48 berikut

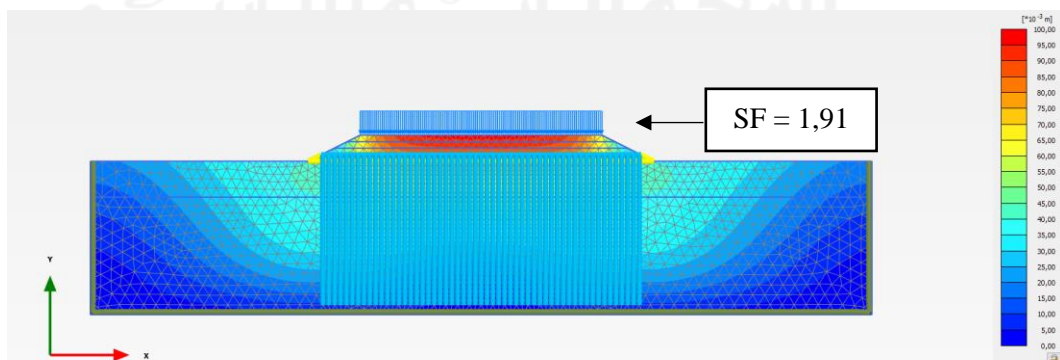


Gambar 5. 47 *Deformed Mesh* Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur

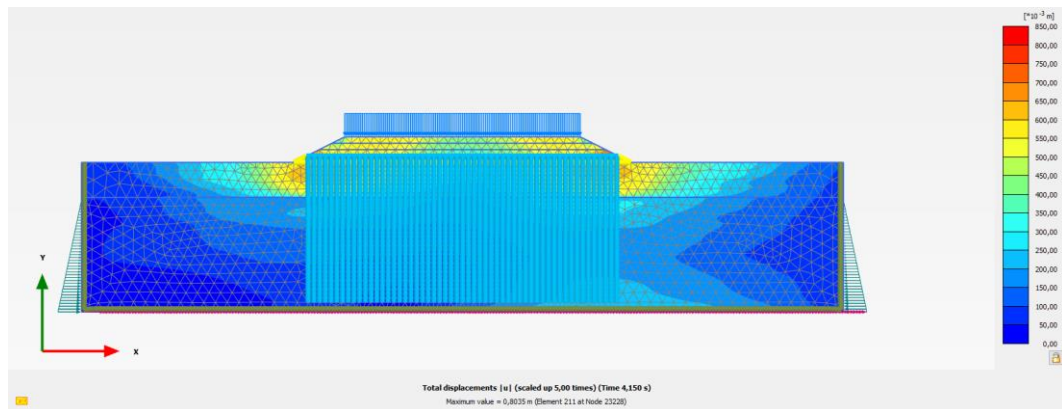


Gambar 5. 48 *Deformed Mesh* Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Kemudian untuk besarnya nilai *total displacement* yang terjadi pada timbunan tanah asli 4 meter dengan perkuatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil akibat beban struktur lalu lintas sebesar 0,09692m, sedangkan untuk akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 0,8035m. Adapun hasil dari *total displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.49 dan 5.50

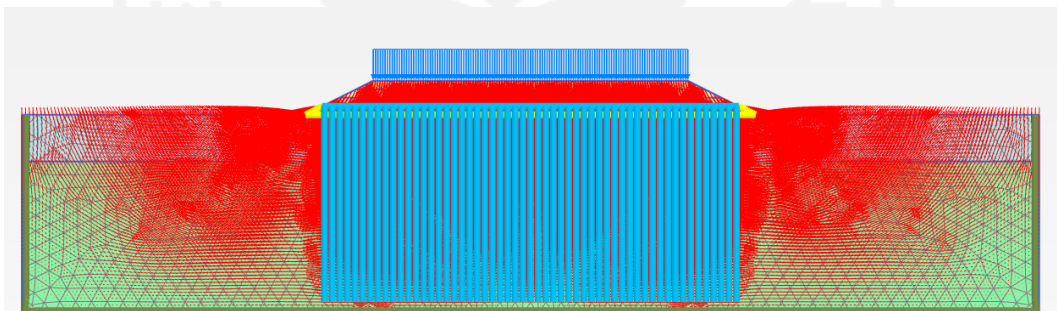


Gambar 5. 49 *Total Displacement* Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur

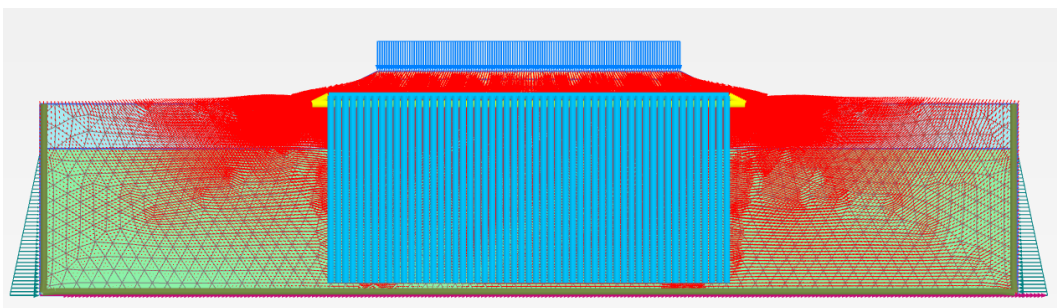


Gambar 5. 50 Total Displacement Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Kemudian untuk arah pergerakan tanah pada timbunan lereng tanah asli 4 meter dengan perkuatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil paska konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.51 dan 5.52 berikut.

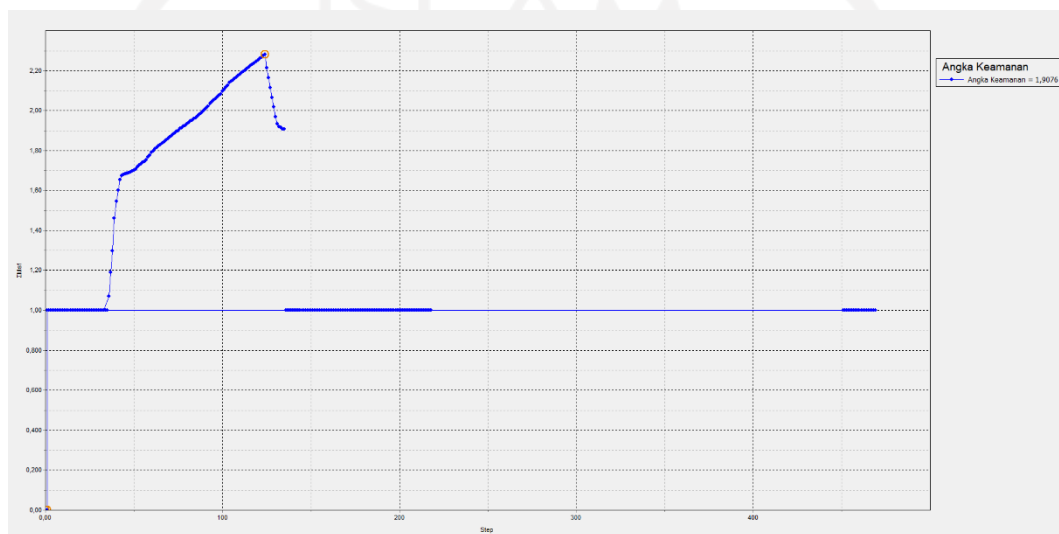


Gambar 5. 51 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 52 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Untuk nilai angka aman pada timbunan 4m kondisi tanah asli dengan perkuatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil paska konstruksi didapatkan nilai sebesar 1,9076, sedangkan angka keamanan pada kondisi dengan beban gempa tidak dapat dihitung setelah dilakukan proses perhitungan dinamik pada PLAXIS V20. Hasil nilai angka aman dapat dilihat pada kurva Gambar 5.53 berikut.



Gambar 5. 53 Kurva SF Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi

5. Rekapitulasi hasil angka aman (SF) dan konsolidasi

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Timbunan Lereng Dengan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil

Variasi Timbunan	Kondisi Tanah Asli	
	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi
	Beban Struktur	Beban Struktur
Timbunan 4m	2,23	1,91
Timbunan 6m	2,07	1,62
Timbunan 8m	1,45	1,38
Timbunan 10m	1,20	1,21

5.1 Pembahasan

Analisis stabilitas lereng timbunan jalan pada proyek Tol Semarang – Demak ini dilakukan dengan tujuan mengetahui nilai angka aman pada lereng timbunan jalan. Dalam tahapan analisis digunakan bantuan program PLAXIS V20 dengan ditambah variasi tinggi timbunan sebesar 6m, 8m dan 10m pada kondisi tanah asli dan kondisi tanah asli diperkuat dengan perkuatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil. Pada analisis stabilitas lereng ini pada tahapannya memperhitungkan akibat kondisi pada saat dilakukan masa konstruksi maupun kondisi saat timbunan telah siap digunakan atau kondisi paska konstruksi. Parameter yang digunakan dalam analisis ini adalah beban merata akibat struktur jalan tol dan beban lalu lintas kendaraan serta beban gempa sesuai dengan zonasi gempa pada daerah Demak.

5.5.1 Angka Keamanan

Pada program PLAXIS V20 ,perhitungan angka keamanan hanya dapat dihitung pada kondisi tanpa adanya beban gempa. Sedangkan angka keamanan pada kondisi dengan beban gempa tidak dapat dihitung setelah proses perhitungan dinamik pada PLAXIS V20. Sehingga pada analisis gempa dinamik yang dihasilkan hanya dapat menghitung *total displacement* yang terjadi. Hasil dari perhitungan angka keamana pada kondisi tanah asli paska konstruksis dengan menggunakan bantuan program PLAXIS V20 pada variasi tinggi timbunan 10m tidak dapat dimunculkan karena pada saat analisis terjadi *soil body collapse*. Maka untuk mendapatkan angka kewanaman pada kondisi tanah asli variasi tinggi timbunan 10m digunakan Metode *Fellenius*. Untuk hasil angka keamanan pada kondisi tanah asli dengan menggunakan Metode *Fellenius* pada tanah yang *collapse* dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Menggunakan Metode *Fellenius*

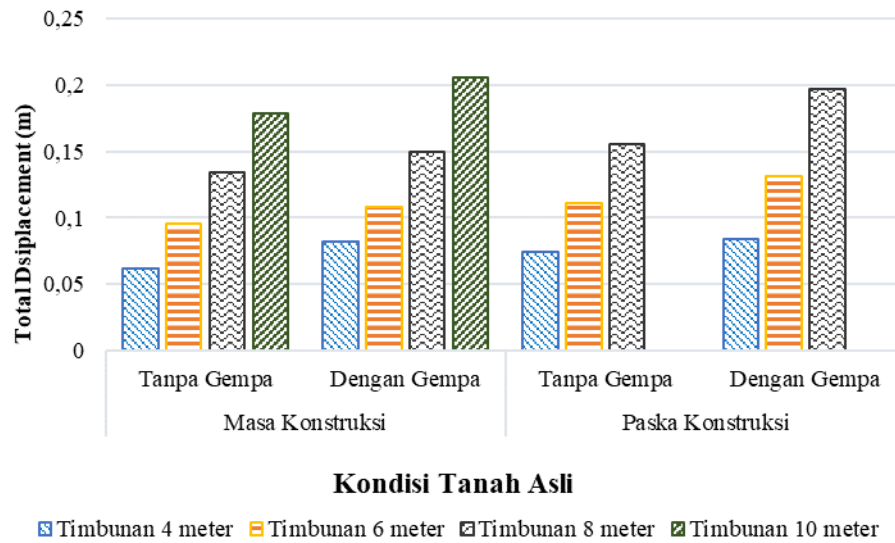
Timbunan (m)	Angka Keamanan
	Paska Konstruksi
10	0,84

Berdasarkan hasil analisis yang didapatkan dengan menggunakan program PLAXIS V20 pada setiap variasi tinggi timbunan kondisi tanah asli dengan perkuatan *prefabricated vertical drain* dan perkuatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil, didapatkan hasil total displacement dan angka kemananan pada setiap variasi tinggi timbunan yang dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Gambar berikut ini.

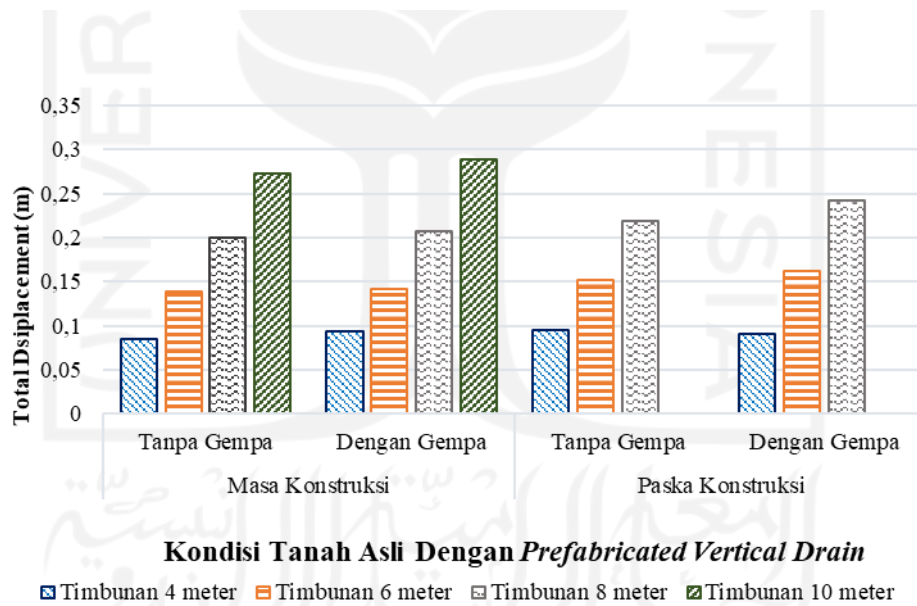
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Total Displacement* Dengan PLAXIS V20

Variasi Timbunan	Permodelan	Masa Konstruksi		Paska Konstruksi	
		Tanpa Gempa	Dengan Gempa	Tanpa Gempa	Dengan Gempa
Timbunan 4 m	Tanah Asli	0,06164	0,08205	0,07393	0,08363
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	0,08519	0,09388	0,09529	0,09095
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	0,08518	0,09379	0,09952	0,1086
Timbunan 6 m	Tanah Asli	0,09541	0,1076	0,1107	0,1315
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	0,1384	0,1421	0,1518	0,1627
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	0,1411	0,1446	0,1609	0,1671
Timbunan 8 m	Tanah Asli	0,1345	0,1496	0,1556	0,1970
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	0,1995	0,2072	0,2183	0,2421
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	0,1995	0,2072	0,2181	0,2187
Timbunan 10 m	Tanah Asli	0,1783	0,2058	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	0,2721	0,2883	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	0,2722	0,2886	0,3765	0,4751

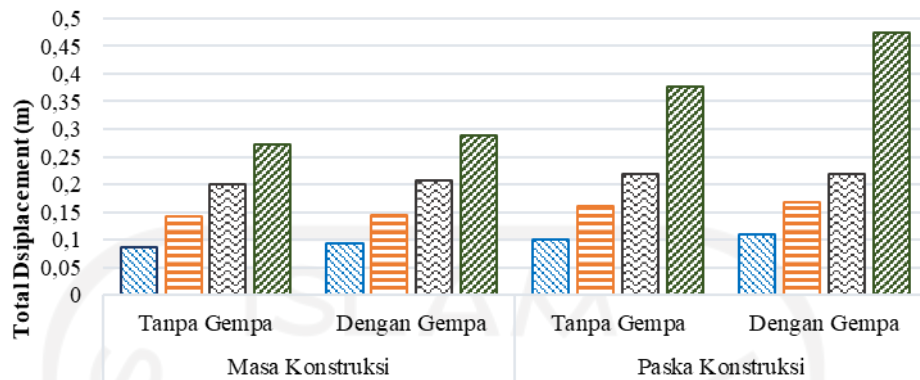
Berikut adalah grafik analisis perhitungan total displacement dengan menggunakan program PLAXIS V20 pada setiap variasi tinggi timbunan yang dapat dilihat pada Gambar 5.54, Gambar 5.55 dan Gambar 5.56 berikut ini.



Gambar 5. 54 Grafik Perhitungan *Total Displacement* Pada Kondisi Tanah Asli Menggunakan Program PLAXIS



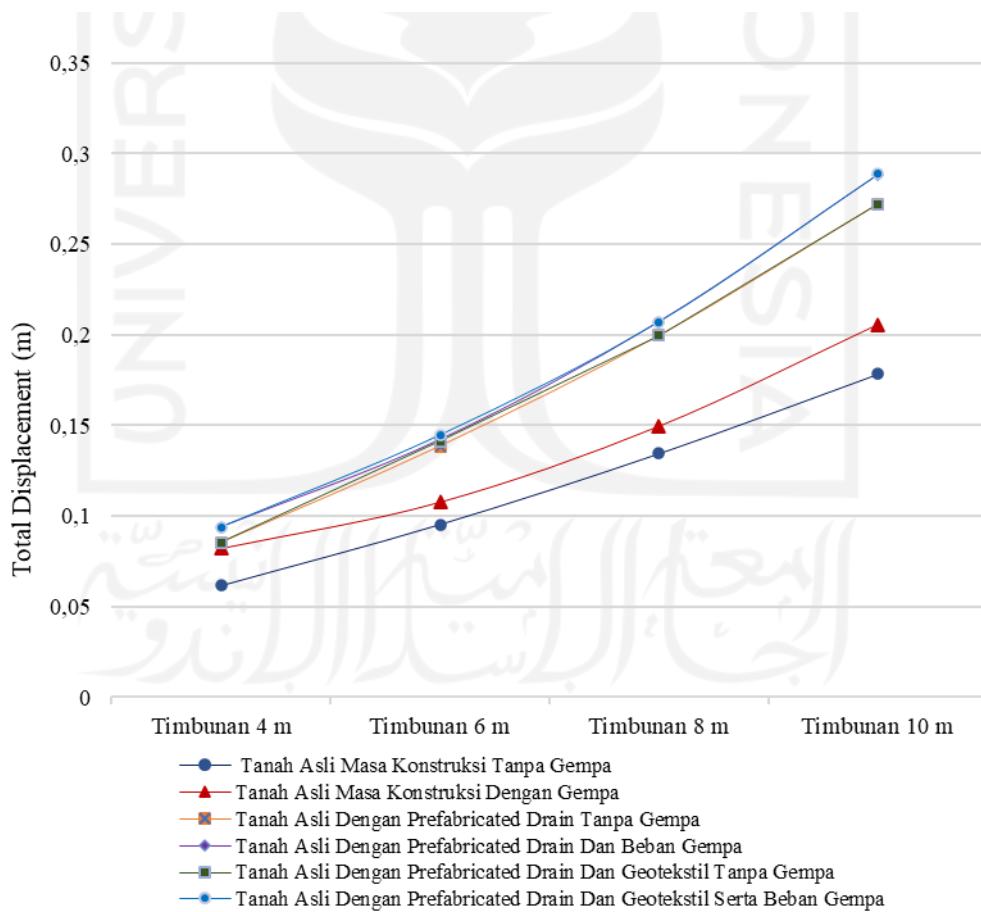
Gambar 5. 55 Grafik Perhitungan *Total Displacement* Pada Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Menggunakan Program PLAXIS



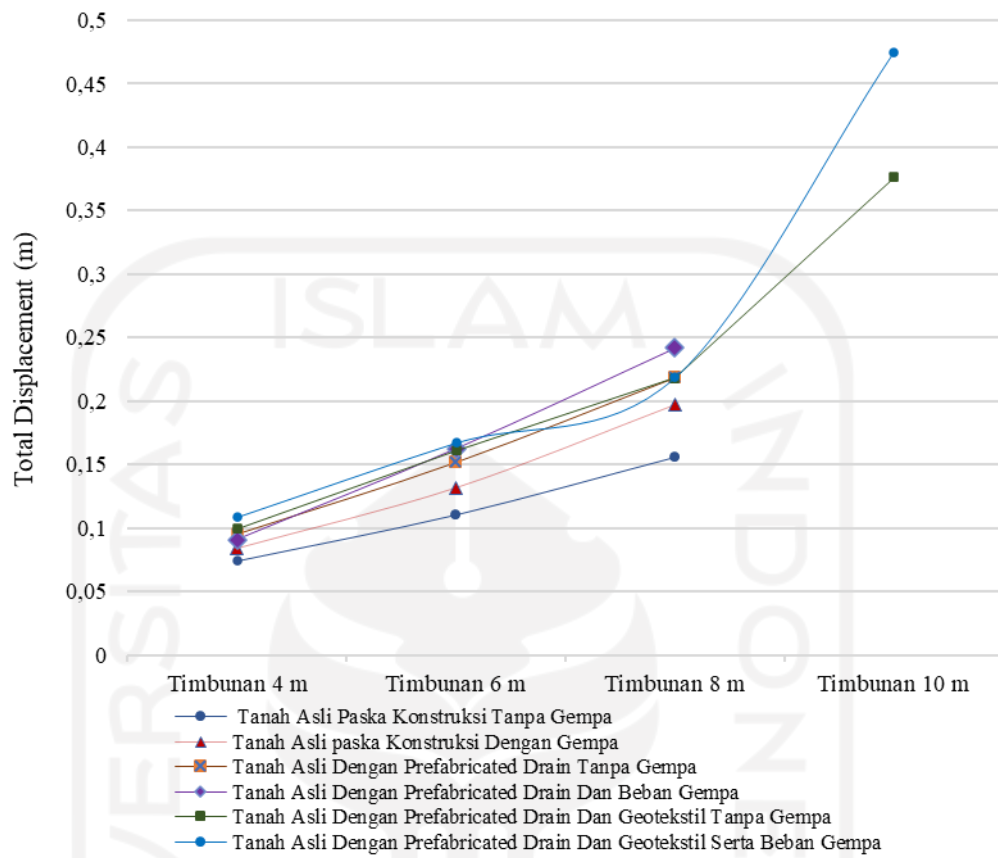
Kondisi Tanah Asli Dengan Prefabricated Vertical Drain dan Geotekstil

■ Timbunan 4 meter
 ■ Timbunan 6 meter
 ■ Timbunan 8 meter
 ■ Timbunan 10 meter

Gambar 5.56 Grafik Perhitungan *Total Displacement* Kondisi Tanah Asli Dengan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil



Gambar 5.57 Grafik Perbandingan *Total Displacement* Masa Konstruksi



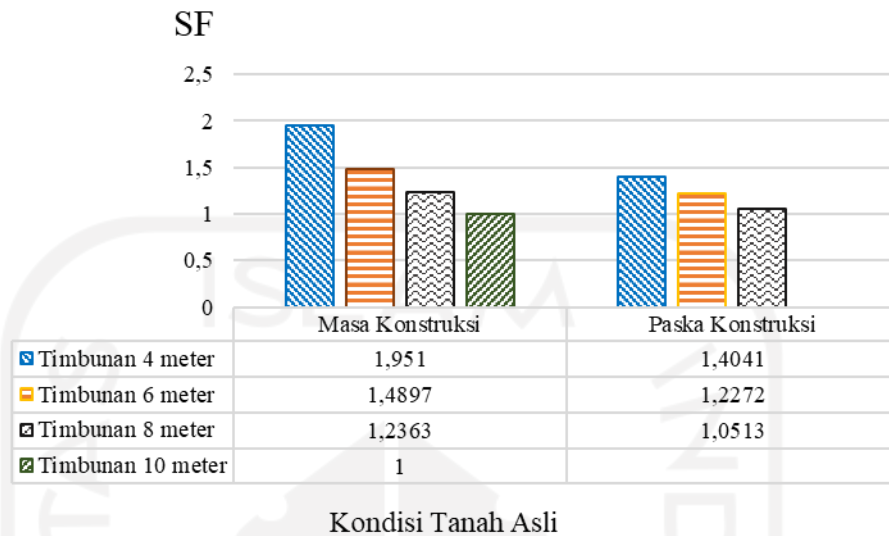
Gambar 5. 58 Grafik Perbandingan *Total Displacement* Paska Konstruksi

Rekapitulasi hasil angka kemananan dengan menggunakan program PLAXIS V20 pada setiap variasi tinggi timbunan dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

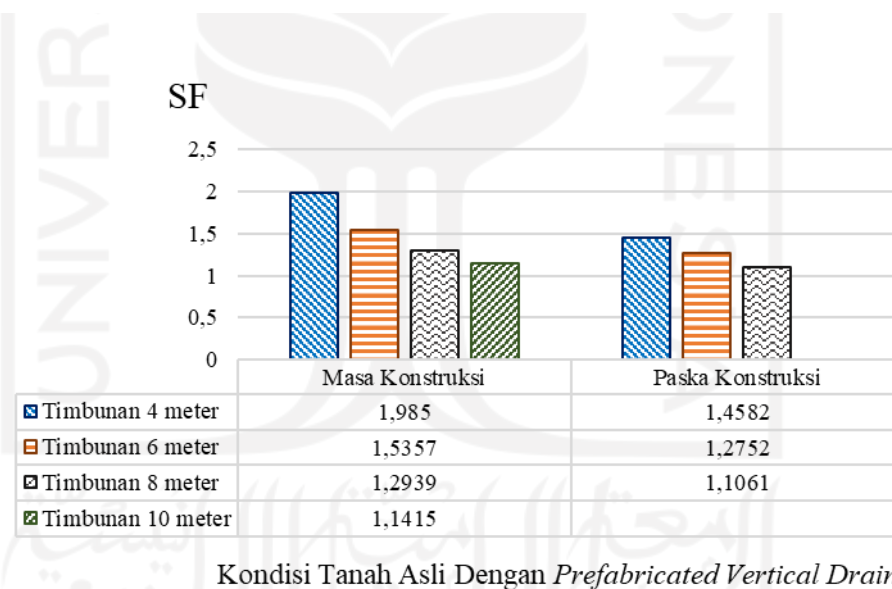
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Angka Keamanan Dengan PLAXIS V20

Variasi Timbunan	Permodelan	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi
Timbunan 4 m	Tanah Asli	1,95	1,40
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	1,99	1,46
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	2,23	1,91
Timbunan 6 m	Tanah Asli	1,49	1,23
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	1,54	1,28
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	2,07	1,62
Timbunan 8 m	Tanah Asli	1,24	1,05
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	1,30	1,11
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	1,45	1,38
Timbunan 10 m	Tanah Asli	1,00	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	1,14	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	1,20	1,21

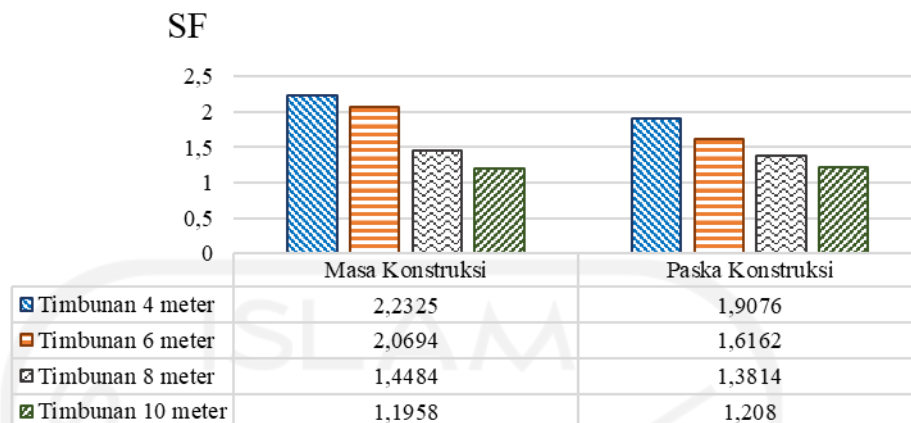
Berikut adalah grafik analisis perhitungan total displacement dengan menggunakan program PLAXIS V20 pada setiap variasi tinggi timbunan yang dapat dilihat pada Gambar 5.59, Gambar 5.60 dan Gambar 5.61 berikut ini.



Gambar 5. 59 Grafik Perhitungan Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli Menggunakan Program PLAXIS



Gambar 5. 60 Grafik Perhitungan Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Menggunakan Program PLAXIS



Kondisi Tanah Asli Dengan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil

Gambar 5. 61 Grafik Perhitungan Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS, dapat dilihat bahwa angka keamanan yang diperoleh pada setiap variasi tinggi timbunan dengan menggunakan *prefabricated vertical drain* mengalami kenaikan dibandingkan dengan kondisi asli tanpa menggunakan perkuatan. Namun pada variasi tinggi timbunan 8 meter dan timbunan 10 meter masa konstruksi serta timbunan 8 meter paska konstruksi masih belum memenuhi persyaratan angka aman sebesar $\geq 1,3$. Pada variasi tinggi timbunan 10 meter masih terjadi *soil body collapse*. Sedangkan hasil yang diperoleh pada angka keamanan pada setiap variasi tinggi timbunan dengan menggunakan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil mengalami kenaikan dibandingkan pada kondisi tanah asli dan kondisi tanah asli dengan penambahan *prefabricated vertical drain*. Namun hasil dari angka keamanan yang didapatkan pada variasi tinggi timbunan 10 meter masih belum memenuhi persyaratan angka aman sebesar $\geq 1,3$

5.5.2 Konsolidasi

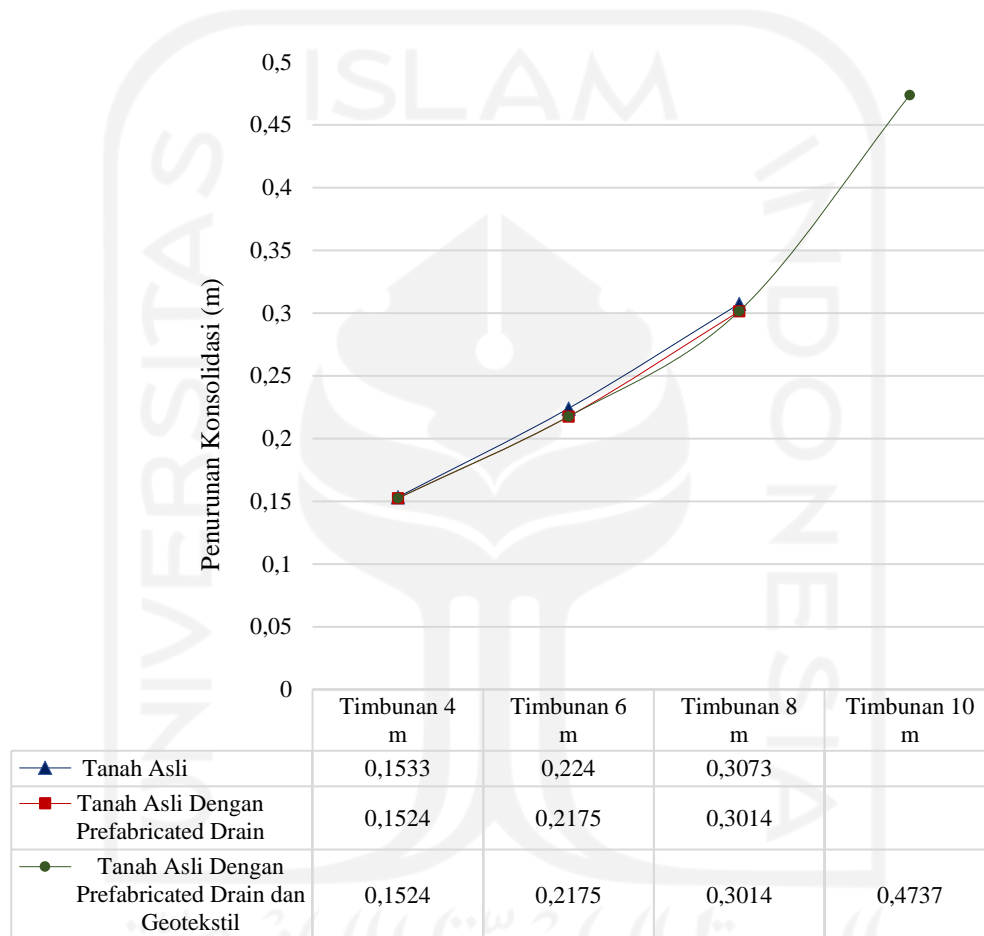
Analisis konsolidasi yang dilakukan dengan program PLAXIS V20 yaitu dengan perhitungan *consolidation* dengan pilihan loading *minimum excess pore pressure*. Hasil dari besar konsolidasi yang dianalisis dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Konsolidasi *Excess Pore Pressure*

Variasi Timbunan	Permodelan	Konsolidasi (m)
Timbunan 4 m	Tanah Asli	0,1533
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	0,1524
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	0,1524
Timbunan 6 m	Tanah Asli	0,224
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	0,2175
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	0,2175
Timbunan 8 m	Tanah Asli	0,3073
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	0,3014
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	0,3014
Timbunan 10 m	Tanah Asli	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	0,4737

Grafik rekapitulasi hasil konsolidasi dengan perhitungan *excess pore water pressure* dapat dilihat pada Gambar 5.62 berikut ini.

Dari hasil perhitungan konsolidasi dengan menggunakan *perhitungan excess pore water pressure* seperti tampak pada Gambar 5.57 dapat dilihat bahwa penggunaan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil dapat mengurangi nilai konsolidasi yang terjadi. Serta dapat dilihat juga bahwa semakin tinggi timbunan maka semakin besar (penurunan) konsolidasi yang terjadi.



Gambar 5. 62 Grafik Hasil Konsolidasi *Excess Pore Water Pressure*

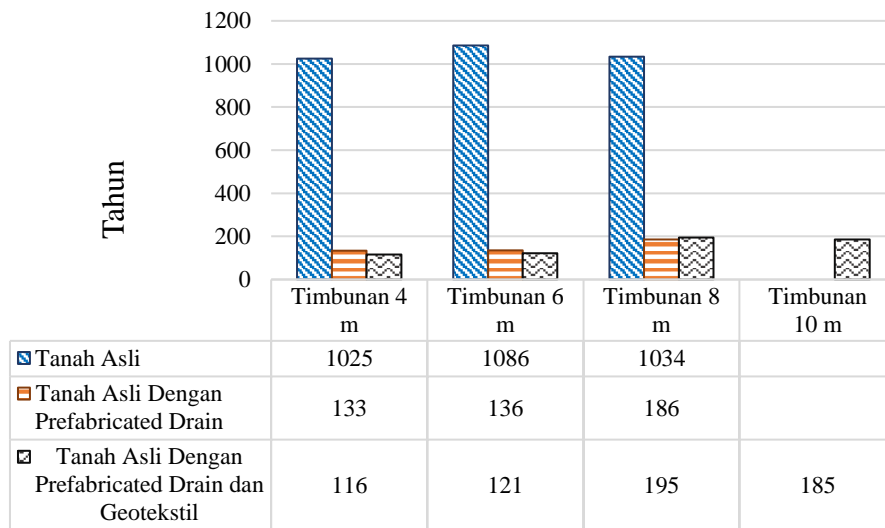
5.5.3 Derajat Konsolidasi

Analisis derajat konsolidasi yang dilakukan dengan PLAXIS V20 yaitu dengan perhitungan *consolidation* dengan pilihan *loading type degree of consolidation*. Perhitungan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan agar konsolidasi tanah mencapai 90%. Hasil dari waktu yang dibutuhkan agar konsolidasi tanah mencapai 90% dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Waktu Derajat Konsolidasi 90%

Variasi Timbunan	Permodelan	Waktu Derajat Konsolidasi 90% (tahun)
Timbunan 4 m	Tanah Asli	1025
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	133
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	116
Timbunan 6 m	Tanah Asli	1086
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	136
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	121
Timbunan 8 m	Tanah Asli	1034
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	186
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	195
Timbunan 10 m	Tanah Asli	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	185

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS, dapat dilihat bahwa penggunaan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil dapat mempercepat konsolidasi pada tanah untuk mencapai derajat konsolidasi 90%. Grafik rekapitulasi waktu derajat konsolidasi 90% dapat dilihat pada Gambar 5.63 berikut.



Gambar 5. 63 Grafik Waktu Derajat Konsolidasi 90%



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

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

1. Hasil analisis stabilitas timbunan pada kondisi tanah asli dengan menggunakan program PLAXIS pada masa konstruksi menunjukkan bahwa angka keamanan untuk lereng timbunan asli dengan variasi tinggi timbunan 4m sebesar 1,9510, timbunan 6m sebesar 1,4897, timbunan 8m sebesar 1,2363 dan timbunan 10m sebesar 1,00. Sedangkan pada kondisi paska konstruksi lereng timbunan kondisi tanah asli didapatkan nilai angka keamanan dengan variasi tinggi timbunan 4m sebesar 1,4041, timbunan 6m sebesar 1,2272 dan timbunan 8m sebesar 1,0513. Pada tinggi timbunan 10m terjadi *soil body collapse*, sehingga nilai angka keamanannya dihitung dengan menggunakan metode *Fellenius*. Didapatkan nilai angka keamanan dengan menggunakan metode *Fellenius* pada timbunan 10m paska konstuksit dengan nilai sebesar 0,9098. Kemudian nilai hasil analisis penurunan dengan menggunakan program PLAXIS pada kondisi tanah asli didapatkan nilai penurunan dengan perhitungan *excess pore water pressure* pada timbunan 4m memiliki nilai sebesar 0,1533 m, timbunan 6m sebesar 0,224 m dan timbunan 8m sebesar 0,3073 m.
2. Hasil analisis stabilitas timbunan pada kondisi tanah asli dengan perkuatan *prefabricated vertical drain* menggunakan program PLAXIS pada masa konstruksi didapatkan nilai angka kemananan untuk lereng timbunan dengan tinggi timbunan 4m sebesar 1,9850, timbunan 6m sebesar 1,5357, timbunan 8m sebesar 1,2939 dan timbunan 10m sebesar 1,1415. Sedangkan pada kondisi paska konstruksi lereng timbunan kondisi tanah asli didapatkan nilai angka keamanan dengan variasi tinggi timbunan 4m sebesar 1,4582,

timbunan 6m sebesar 1,2752 dan timbunan 8m sebesar 1,1061, namun pada tinggi timbunan 10m terjadi *soil body collapse*. Kemudian nilai hasil analisis penurunan dengan menggunakan program PLAXIS pada kondisi tanah asli dengan penambahan *prefabricated vertical drain* didapatkan nilai penurunan dengan perhitungan *excess pore water pressure* pada timbunan 4m memiliki nilai sebesar 0,1524 m, timbunan 6m sebesar 0,2175 m dan timbunan 8m sebesar 0,3014 m.

3. Hasil analisis stabilitas timbunan pada kondisi tanah asli dengan perkuatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil menggunakan program PLAXIS pada masa konstruksi didapatkan nilai angka keamanan untuk lereng timbunan dengan tinggi timbunan 4m sebesar 2,2325, timbunan 6m sebesar 2,0694, timbunan 8m sebesar 1,4484 dan timbunan 10m sebesar 1,1958. Sedangkan pada kondisi paska konstruksi lereng timbunan kondisi tanah asli didapatkan nilai angka keamanan dengan variasi tinggi timbunan 4m sebesar 1,4582, timbunan 6m sebesar 1,2752 dan timbunan 8m sebesar 1,1061, namun pada tinggi timbunan 10m terjadi *soil body collapse*. Kemudian nilai hasil analisis penurunan dengan menggunakan program PLAXIS pada kondisi tanah asli dengan penambahan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil didapatkan nilai penurunan dengan perhitungan *excess pore water pressure* pada timbunan 4m memiliki nilai sebesar 0,1524 m, timbunan 6m sebesar 0,2175 m, timbunan 8m sebesar 0,3014 m dan timbunan 10m sebesar 0,4737 m.
4. Penggunaan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil pada kondisi tanah asli dapat meningkatkan nilai angka keamanan pada setiap variasi tinggi timbunan yaitu 4 meter, 6 meter, 8 meter dan 10 meter. Tinggi pada timbunan mempengaruhi hasil angka keamanan yang diperoleh, dikarenakan semakin tinggi variasi timbunan yang dianalisis nilai angka keamanan yang diperoleh semakin kecil.
5. Penggunaan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil pada kondisi tanah asli dapat mengurangi nilai penurunan yang terjadi pada timbunan dengan perhitungan *excess pore water pressure*. Tinggi timbunan yang dianalisis

mempengaruhi hasil penurunan yang terjadi, karena semakin tinggi variasi timbunan yang dianalisis hasil yang diperoleh semakin besar.

6. Penggunaan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil pada kondisi tanah asli dapat mempercepat waktu konsolidasi tanah untuk mencapai derajat 90% pada setiap variasi tinggi timbunan yaitu 4 meter, 6 meter, 8 meter dan 10 meter. Variasi tinggi pada timbunan mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat 90%, dikarenakan semakin tinggi variasi timbunan yang dianalisis waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% semakin besar.

6.2 Saran

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

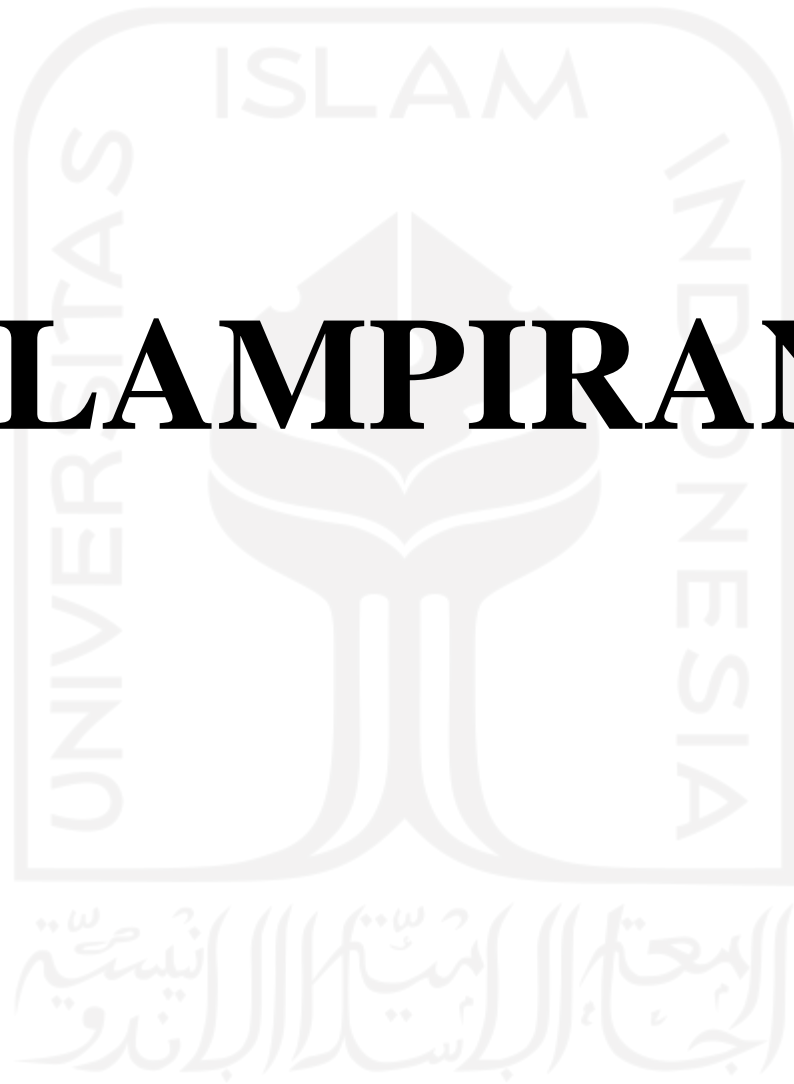
1. Penelitian dapat dilakukan dengan menggunakan software lain seperti Geostudio
2. Menggunakan metode analisis selain metode irisan Fellenius pada perhitungan manual agar angka aman yang diperoleh lebih mendekati kondisi yang sebenarnya.
3. Analisis ini dapat dikembangkan dengan penambahan perkuatan Mini Pile, Bore Pile atau Sheet Pile

DAFTAR PUSTAKA

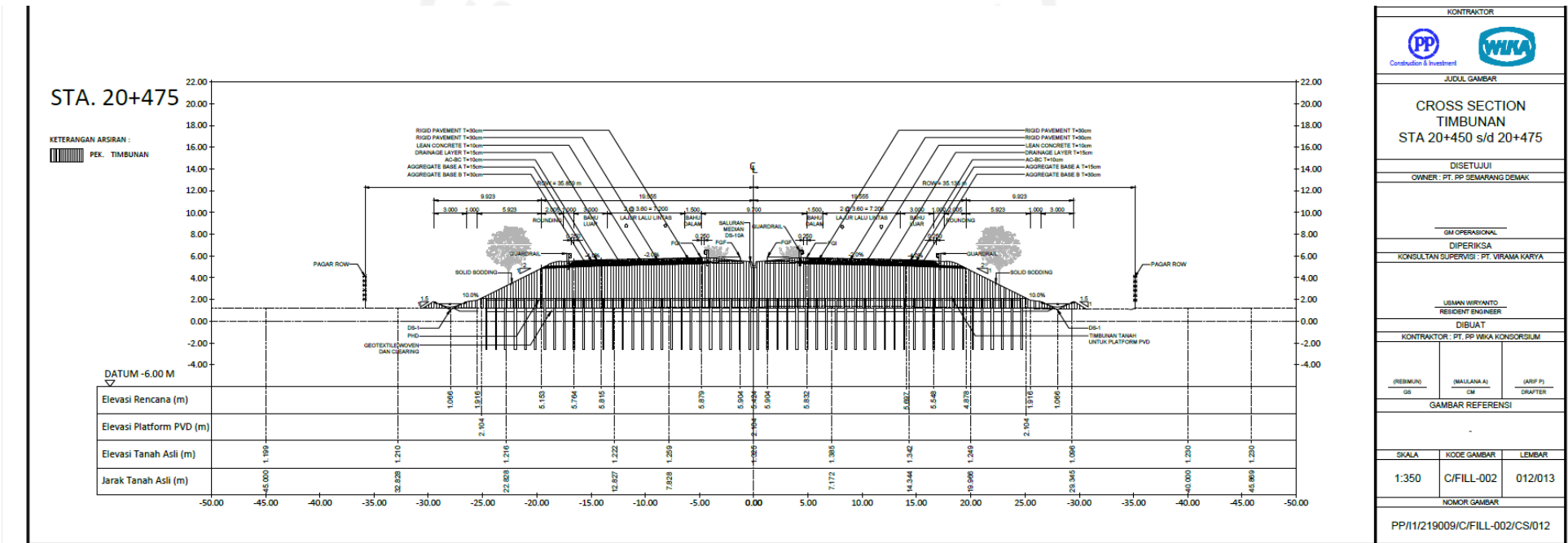
- Arsy, Aisyah. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius (Studi Kasus: Proyek Jalan Tol Solo-Kertosono STA 4+175). dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. SNI 1726:2019. Jakarta.
- Bina Marga. 2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta
- Bowles, J.E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Terjemahan. Erlangga. Jakarta.
- Bolton, M.D. 1986. *The Strength and Dilatancy of Sands*. *Geotechnique*, 36, 65-78.
- Budiastho, Adi. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil menggunakan Program PLAXIS pada Proyek Jalan Tol Solo-Kertosono. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.
- Das, B.M. (1988). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Edisi Pertama. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Das, B.M. (1995). *Mekanika Tanah I*. Erlangga. Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum. 2009. Modul Pelatihan Geosintetik Volume 3: Perencanaan Geosintetik Untuk Perkuatan Lereng
- Hamdani, A.T. 2019. Analisis Stabilitas Timbunan Jalan Di Atas Tanah Lunak Dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan Geotekstil. (Studi Kasus : Tol Balikpapan – Samarinda seksi V. STA. 9+726 s/d STA. 9+926). Dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (1994). *Mekanika Tanah 2*. Edisi Pertama. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (1996). *Mekanika Tanah I*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

- Hardiyatmo, H.C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2003). *Mekanika Tanah II*. Edisi Ke III Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C. (2006). *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2008). *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya*. Edisi Pertama. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Mekanika Tanah 1*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Purwanto, Edy. (2012). *Hand Out Mata Kuliah Perkuatan Tanah*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Suryadinullah, Aryanto. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Pada Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS Pada Tol Terbanggu Besar – Pemantang Panggang STA 3+650, Lampung. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta
- Terzaghi, K. And Peck, R. B., (1967), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Utomo, B.P. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing* Dengan Menggunakan Program *Geoslope* Pada Bantaran Sungai Code. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.

LAMPIRAN



Lampiran 1 Gambar Potongan Melintang Jalan



Gambar L-1. 1 Potongan Melintang STA 20+475


(Sumber: PT. Pembangunan Perumahan, 2020)

KONTRAKTOR		
JUDUL GAMBAR		
CROSS SECTION TIMBUNAN STA 20+450 s/d 20+475		
DISELUJUI		
OWNER : PT. PP SEMARANG DEMAK		
GM OPERASIONAL		
DIPERIKSA		
KONSULTAN SUPERVISI : PT. WIRAMA KARYA		
USMAN WISRYANTO RESIDENT ENGINEER		
DIBUAT		
KONTRAKTOR : PT. PP WIKA KONSORSIUM		
(REVISI) / NO	(MALLAMA) / CM	(SARIF P) / DRAFTER
GAMBAR REFERENSI		
SKALA	KODE GAMBAR	LEMBAR
1:350	C/FILL-002	012/013
NOMOR GAMBAR		
PP/11/219009/C/FILL-002/CS/012		

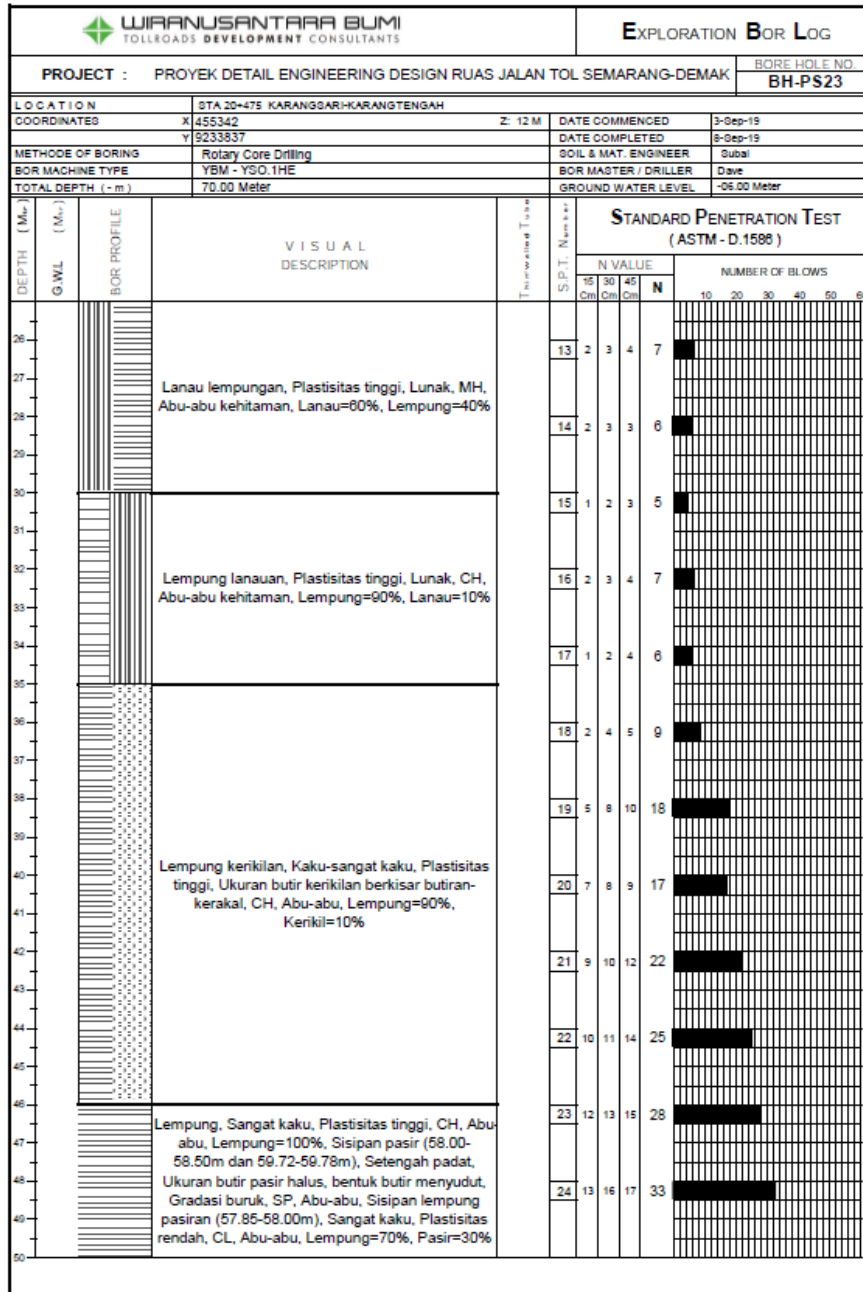
Lampiran 2 Data Penyelidikan Tanah

SUMMARY OF SOIL LABORATORY TEST							
SOIL INVESTIGATION							
PULOSARI - KARANGTENGGAH							
STA 20 + 475							
BORE HOLE No		BH. PS-23	BH. PS-23	BH. PS-23	BH. PS-23	BH. PS-23	
SAMPLE No		UDS. 1	UDS. 2	SPT. 5	SPT. 10	SPT. 10	
SAMPLE DEPTH (M)		5,00 ~ 5,50	15,00 ~ 15,50	10,00 ~ 10,45	20,00 ~ 20,45	20,00 ~ 20,45	
PHYSICAL PROPERTIES	ASTM D 422	GRADATIONS TEST					
		- Gravel (%)	0,04	1,52	0,04	0,58	0,44
		- Sand (%)	2,84	0,74	0,24	1,20	1,18
	- Silt and Clay (%)	97,12	97,74	99,72	98,22	98,38	
	ASTM D 425 & D 424	Classified Grading Pass					
		- Sieve No. 10 (2.00 mm) (%)	99,96	98,48	99,96	99,42	99,56
		- Sieve No. 40 (0.425 mm) (%)	99,84	97,88	99,88	98,36	99,00
	- Sieve No. 200 (0.075 mm) (%)	97,12	97,74	99,72	98,22	98,38	
	ASTM D 432 & D 434	ATTERBERG LIMITS TEST					
		- Liquid Limits (LL) (%)	60,04	99,72	92,82	110,05	117,84
- Plasticity Limit (PL) (%)		23,03	29,58	27,80	32,19	32,35	
- Plasticity Index (PI) (%)		37,01	70,14	65,02	77,86	85,49	
- Soils Classification (USC)		C H	C H	C H	C H	C H	
- Sub Group (AASHTO)	A - 7 - 6	A - 7 - 6	A - 7 - 6	A - 7 - 6	A - 7 - 6		
ASTM D 154	SPECIFIC GRAVITY (gr/cc)		2,6369	2,6055	2,5867	2,5915	2,5845
ASTM D 2216	NATURAL STATE						
	- Water Contents (W _n) (%)	39,23	57,34	56,76	69,47	81,31	
	- Wet Density (γ _w) (gr/cm ³)	1,797	1,596	1,525	1,559	1,502	
	- Dry Density (γ _{dry}) (gr/cm ³)	1,291	1,014	0,973	0,920	0,829	
	- Void Ratio (e)	1,043	1,568	1,660	1,816	2,119	
	- Porosity (n) (%)	51,04	61,07	62,40	64,49	67,94	
	- Degree Of Saturation (Sr) (%)	99,23	95,25	88,46	99,13	99,18	
ASTM D 2166	UNCONFINED COMPRESSION TEST						
	- Compressive Strength (kg/cm ²)	0,491	0,856	-	-	-	
	- Sensitivity Ratio (St)	1,139	1,163	-	-	-	
	- Modulus of Elasticity E ₅₀ (kg/cm ²)	-	-	-	-	-	
	TRIAxIAL COMPRESSION TEST						
	- Type of Test	UU	UU	-	-	-	
	- Angel of Internal Friction (φ) (°)	4,175	6,211	-	-	-	
	- Cohesion (C) (kg/cm ²)	0,051	0,093	-	-	-	
	DIRECT SHEAR TEST						
	- Type of Test	-	-	-	-	-	
	- Angel of Internal Friction (φ) (°)	-	-	-	-	-	
	- Cohesion (C) (kg/cm ²)	-	-	-	-	-	
	ASTM D 2485	CONSOLIDATION TEST					
		- Coefficient of Consolidation (C _v) (cm ² /sec)	5,48E-04	1,53E-03	-	-	-
		- Coefficient of Compressibility (M _v) (cm ² /kg)	0,132	0,101	-	-	-
- Coefficient of Permeability (k) (cm/sec)		7,48E-08	1,46E-07	-	-	-	
- Compression Index (C _c)		3,84E-01	4,62E-01	-	-	-	
- Recompression Index (C _r)		3,85E-01	3,00E-01	-	-	-	
- Preconsolidation Pressure (P _c) (kg/cm ²)	0,535	0,700	-	-	-		
SOAKED & UNSOAK METHODE	COMPACTION TEST						
	- Method of Test	-	-	-	-	-	
	- Optimum Moisture Content (W _{opt}) (%)	-	-	-	-	-	
	- Maximum Dry Density (γ _{d max}) (gr/cm ³)	-	-	-	-	-	
	CALIFORNIA BEARING RATIO						
	- Sample Condition (%)	-	-	-	-	-	
	- Condition Test	-	-	-	-	-	
	- Water Content (W _n) (%)	-	-	-	-	-	
	- Dry Density (95% γ _{d max}) (gr/cm ³)	-	-	-	-	-	
	- California Bearing Ratio (%)	-	-	-	-	-	
PERMEABILITY TEST (k) (cm/sec)	-	-	-	-	-		

Gambar L-2. 1 Hasil Penyelidikan Tanah STA 20+475

		EXPLORATION BOR LOG												
PROJECT : PROYEK DETAIL ENGINEERING DESIGN RUAS JALAN TOL SEMARANG-DEMAK					BORE HOLE NO. BH-PS23									
LOCATION		STA 20+475 KARANGGAR-KARANGTENGGAH		DATE COMMENCED										
COORDINATES		X 455342	Z: 12 M	3-Sep-19										
		Y 9233837		DATE COMPLETED										
METHOD OF BORING		Rotary Core Drilling		SOIL & MAT. ENGINEER										
BOR MACHINE TYPE		YBM - YSO.1HE		BOR MASTER / DRILLER										
TOTAL DEPTH (-m)		70.00 Meter		GROUND WATER LEVEL										
				-06.00 Meter										
DEPTH (M.)	G.W.L (M.)	BOR PROFILE	VISUAL DESCRIPTION	In-situ Test	STANDARD PENETRATION TEST (ASTM - D.1586)									
					SPT. Number			N VALUE						
					15	30	45	N	NUMBER OF BLOWS					
					15	30	45	N	10	20	30	40	50	60
1			Lempung sedikit pasir, Plastisitas tinggi, Sedikit lapuk-setengah lapuk, Lunak, CH, Coklat, Lempung=95%, Pasir=5%, Sisipan (01.00-02.00m) Lempung, Plastisitas tinggi, Setengah lapuk, Lunak, CH, Hitam, Lempung=100%											
2				1	6	1	1	2						
3														
4														
5	6.00													
6			Lempung lanauan, Plastisitas tinggi, Lunak, CH, Abu-abu, Lempung=80%, Lanau=20%, Sisipan (07.50-08.50m) Lanau lempungan, Plastisitas rendah, MH, Abu-abu, Lanau=90%, Lempung=10%	U06.1										
7				2	1	2	2	4						
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16			Lempung, Plastisitas tinggi, Terdapat cangkang kerang, Lunak-teguh, CH, Abu-abu, Lempung=100%	U06.2										
17				3	2	3	2	5						
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24			Lanau lempungan, Plastisitas tinggi, Lunak, MH, Abu-abu kehitaman, Lanau=60%, Lempung=40%											
25				4	1	2	3	5						

Gambar L-2. 9 Hasil SPT Pada STA 20+475 kedalaman 1-25 meter




Gambar L-2. 17 Hasil SPT Pada STA 20+475 kedalaman 26-50 meter

WIRANUSANTARA BUMI TOLLROADS DEVELOPMENT CONSULTANTS		EXPLORATION BOR LOG									
PROJECT : PROYEK DETAIL ENGINEERING DESIGN RUAS JALAN TOL SEMARANG-DEMAK					BORE HOLE NO. BH-PS23						
LOCATION		STA 20+475 KARANGGARI-KARANGTENGAH									
COORDINATES	X 455342	Z: 12 M	DATE COMMENCED	3-Sep-19							
	Y 9233837		DATE COMPLETED	8-Sep-19							
METHODE OF BORING	Rotary Core Drilling		SOIL & MAT. ENGINEER	Subal							
BOR MACHINE TYPE	YBM - YSO.1HE		BOR MASTER / DRILLER	Dave							
TOTAL DEPTH (- m)	70.00 Meter		GROUND WATER LEVEL	-06.00 Meter							
DEPTH (M) G.W.L (M) BOR PROFILE	VISUAL DESCRIPTION	SPT Tube	STANDARD PENETRATION TEST (ASTM - D.1588)								
			N VALUE			NUMBER OF BLOWS					
			15 Cm	30 Cm	45 Cm	10	20	30	40	50	60
51	Lempung, Sangat kaku, Plastisitas tinggi, CH, Abu-abu, Lempung=100%, Sisipan pasir (58.00-58.50m dan 59.72-59.78m), Setengah padat, Ukuran butir pasir halus, bentuk butir menyudut, Gradasi buruk, SP, Abu-abu, Sisipan lempung pasiran (57.85-58.00m), Sangat kaku, Plastisitas rendah, CL, Abu-abu, Lempung=70%, Pasir=30%	25	14	17	19	36	[Bar chart showing blow counts]				
52		26	16	21	22	43	[Bar chart showing blow counts]				
53		27	15	17	19	36	[Bar chart showing blow counts]				
54		28	8	10	11	21	[Bar chart showing blow counts]				
55	Lempung lanauan, Sangat kaku, Plastisitas tinggi, CH, Abu-abu, Lempung=70%, Lanau=30%	29	9	12	13	25	[Bar chart showing blow counts]				
56		30	8	11	11	22	[Bar chart showing blow counts]				
57	Lempung, Sangat kaku, Plastisitas tinggi, CH, Abu-abu kehijauan, Lempung=100%, Terdapat butiran berukuran berangkal-butiran dan lanau (67.90-68.00m dan 68.90-69.00m)	31	10	12	14	26	[Bar chart showing blow counts]				
58		32	13	15	22	37	[Bar chart showing blow counts]				
59		33	14	19	24	43	[Bar chart showing blow counts]				
60	END OF BORE HOLE 70.00 Mtr	34	16	21	26	47	[Bar chart showing blow counts]				
61		35									
62		36									
63		37									
64											
65											
66											
67											
68											
69											
70											
71											
72											
73											
74											
75											

Gambar L-2. 25 Hasil SPT Pada STA 20+475 kedalaman 51-70 meter

Lampiran 3 Data Geotekstil


GEO TEX - REINFOX
GEO TEKSTIL WOVEN




Polypropylene Woven Geotextiles
Technical Data

Geotekstil Woven Produksi Indonesia

Properties	Test Method	Units	Woven Geo Tex		
			GT - 150	GT - 200	GT - 250
PHYSICAL					
Mass	ASTM D 5261	gr/sqm	150	200	250
Polymer			PP	PP	PP
Color			Black	Black	Black
MECHANICAL					
Tensile Strength	ASTM D 4595				
Warp/Weft		kN/m	35/30	45/40	63/53
Elongation	ASTM D 4595				
Warp/Weft		%	21/22	20/20	19/21
Grab Tensile	ASTM D 4632				
Warp/Weft		kN/m	41/38	56/48	72/64
Trapezoidal Tear Strength	ASTM D 4533				
Warp/Weft		N	710/621	671/560	712/567
Puncture Resistance	ASTM D 4833				
		N	284	435	685
HYDRAULIC					
Effective Opening Size	NEN 5168	mm	0.40	0.30	0.28
Flow Rate	ASTM D 4491	l/sqm/sec	26	22	21
Permeability	ASTM D 4491	Cm/sec	0.04	0.03	0.025
ENVIRONMENTAL					
Effective Opening Size			Nil	Nil	Nil
Effect of Soil Acidity			Nil	Nil	Nil
Effect of U.V Light			Nil	Nil	Nil
DIMENSION					
Roll Width		m	3.8/4.0	3.8/4.0	3.8/4.0
Roll Length		m	200	200	200
Roll Diameter		m	0.4	0.5	0.55



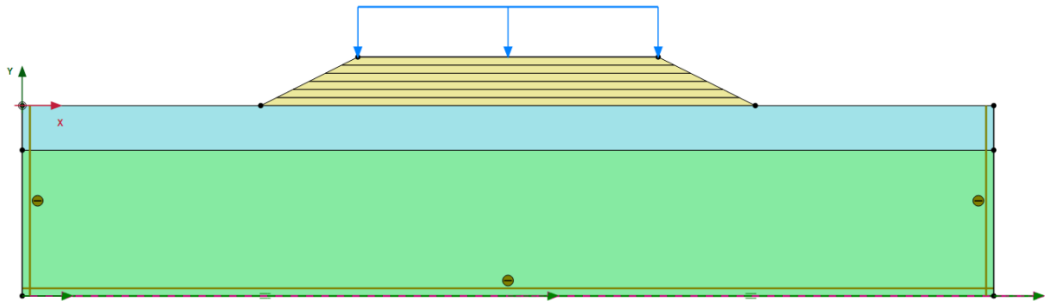


PT. GEO PERMATA ABADI
 Jl. Banteng Raya 6A, Semarang 50167
 ☎ : (024) - 6710673, 6717180
 📠 : 08156588988, 081390688989
 ✉ : arbanteng@yahoo.com
 permata.abadi6a@gmail.com

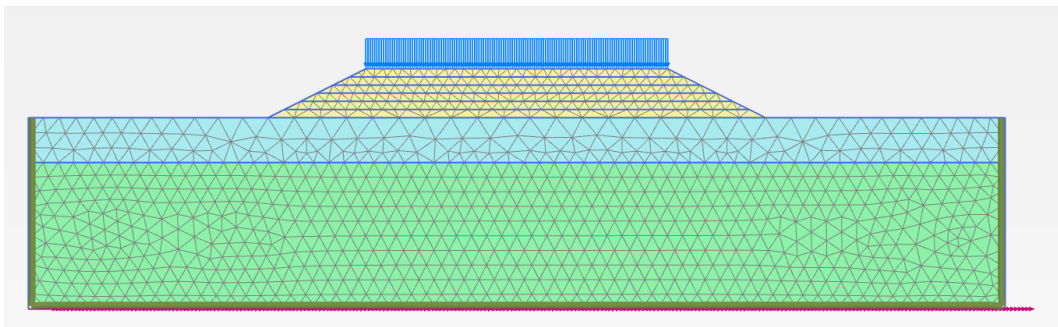
Gambar L-3. 1 Data Geotekstil

(Sumber : PT. Geo Permata Abadi)

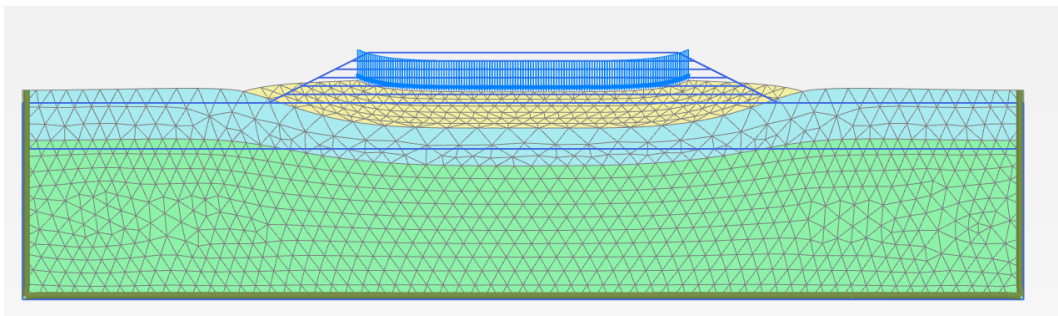
Lampiran 4 Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli



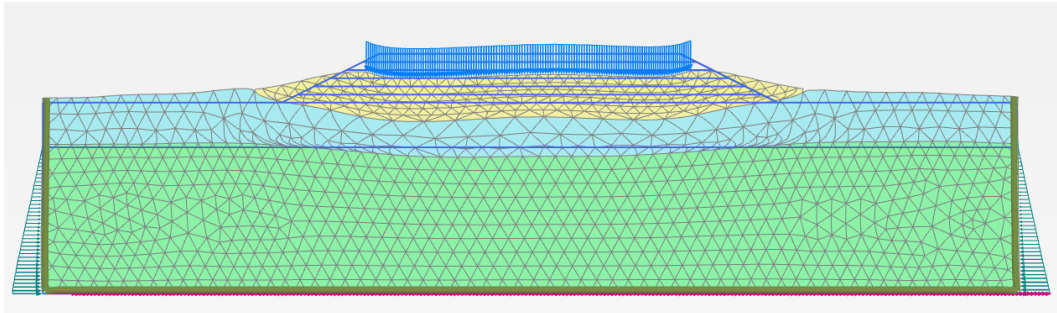
Gambar L-4. 1 Permodelan Timbunan 6 Meter Kondisi Tanah Asli



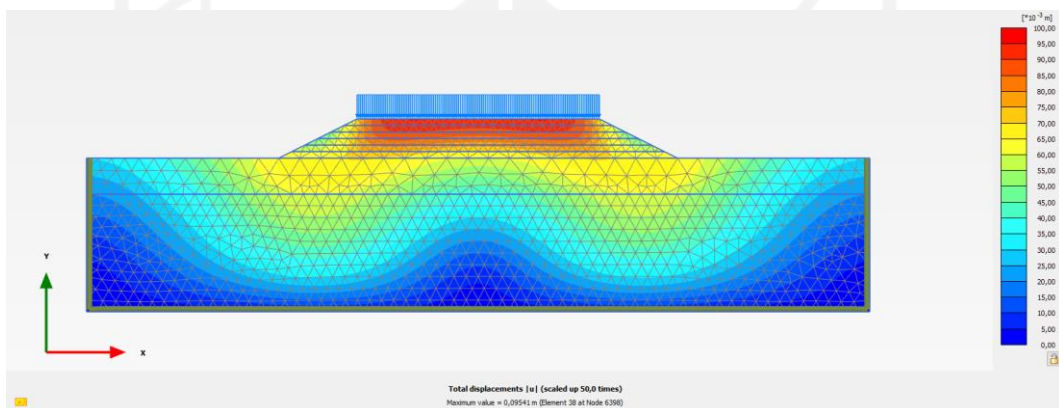
Gambar L-4. 2 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 6 Meter Kondisi Tanah Asli



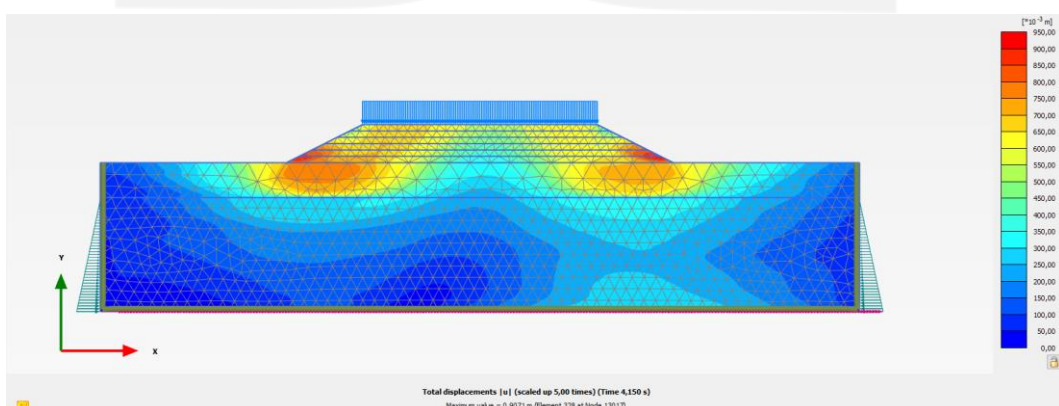
Gambar L-4. 3 *Deformed Mesh* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



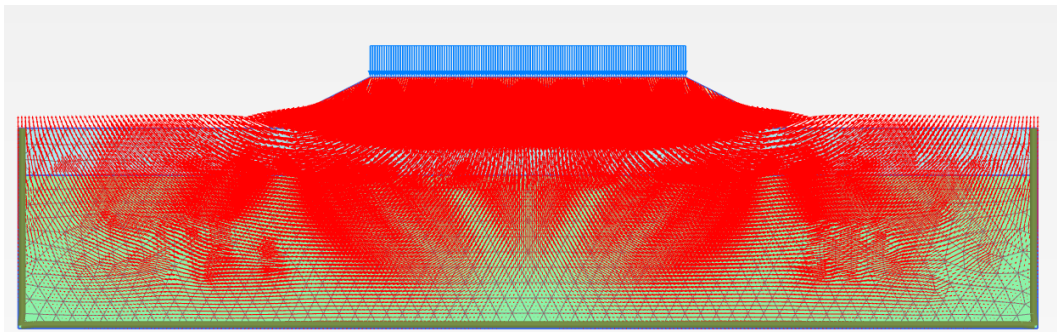
Gambar L-4. 4 *Deformed Mesh* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



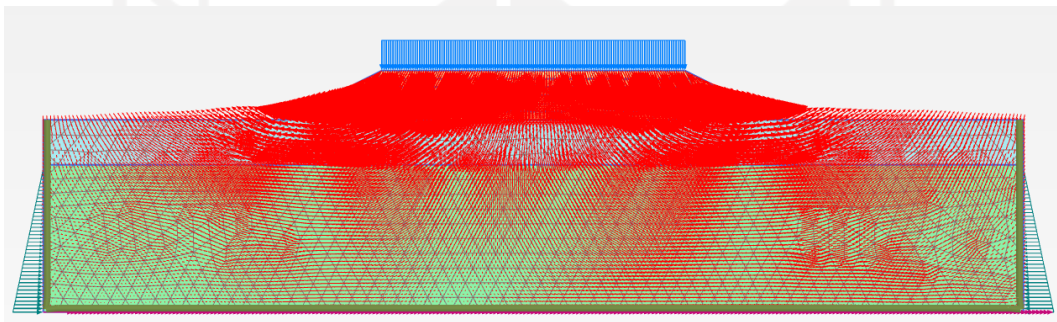
Gambar L-4. 5 *Total Displacement* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



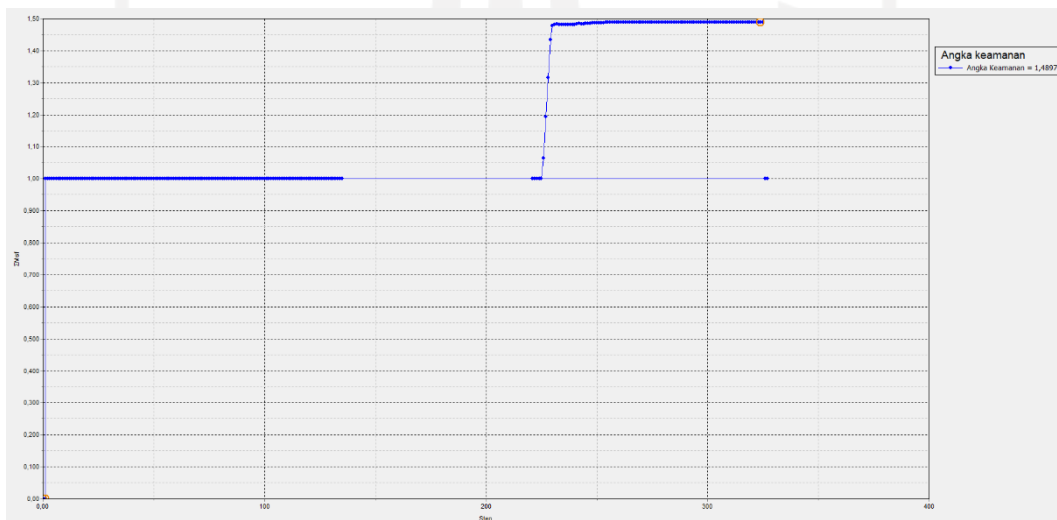
Gambar L-4. 6 *Total Displacement* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



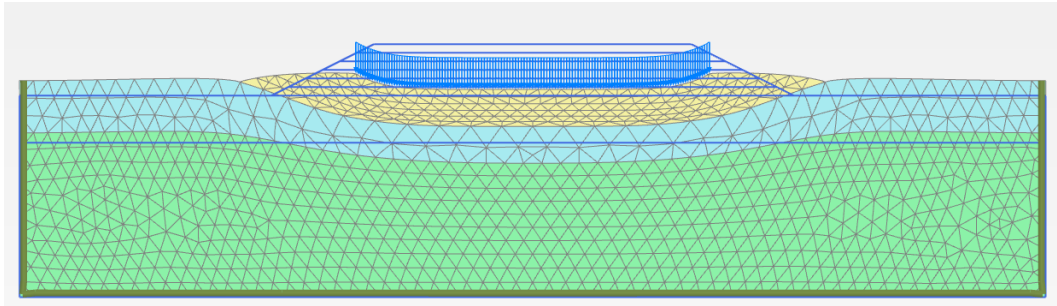
Gambar L-4. 7 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



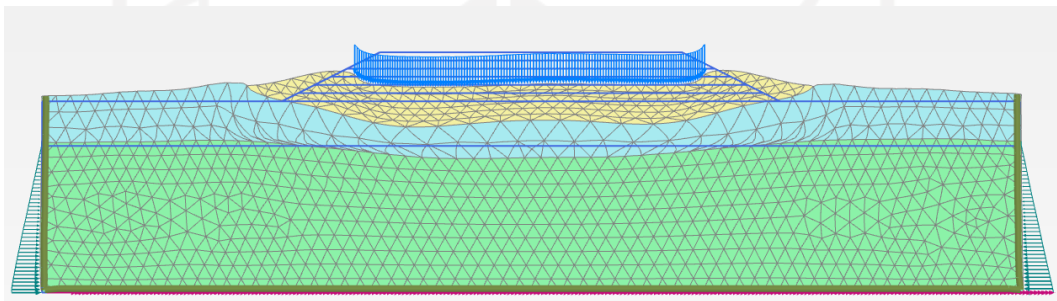
Gambar L-4. 8 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



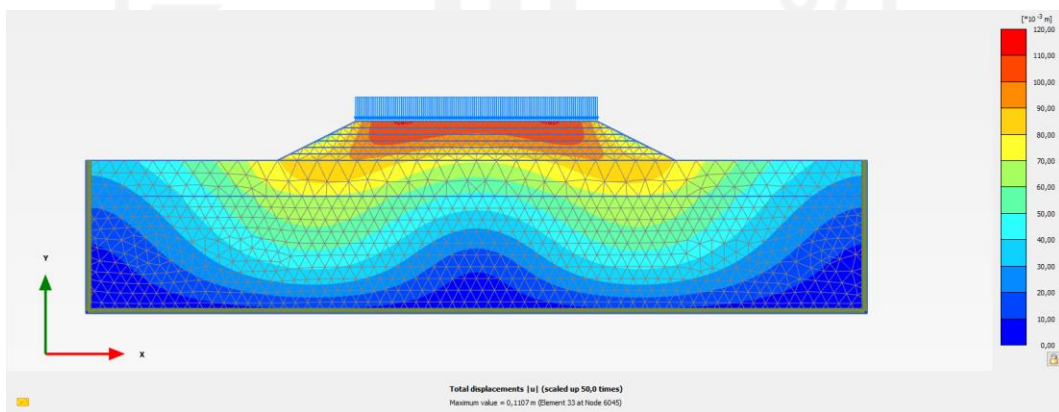
Gambar L-4. 9 Kurva SF Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi



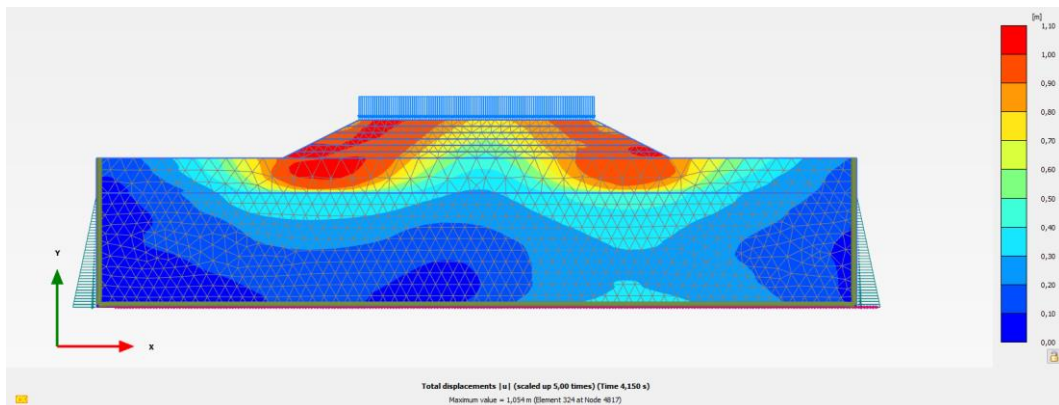
Gambar L-4. 10 *Deformed Mesh* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



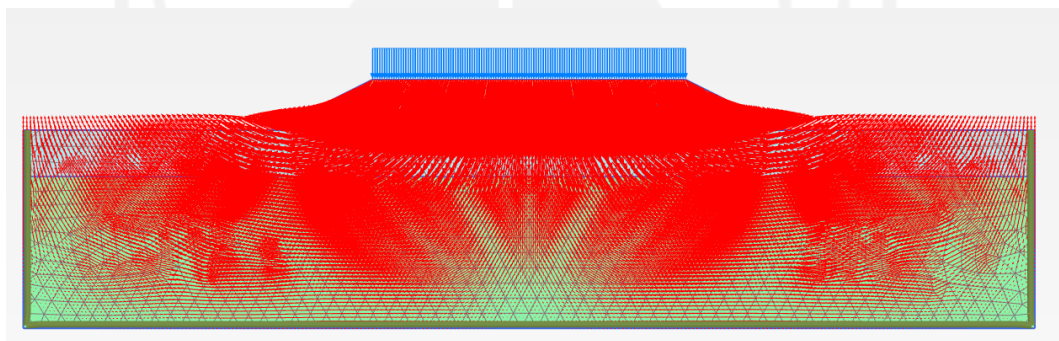
Gambar L-4. 11 *Deformed Mesh* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



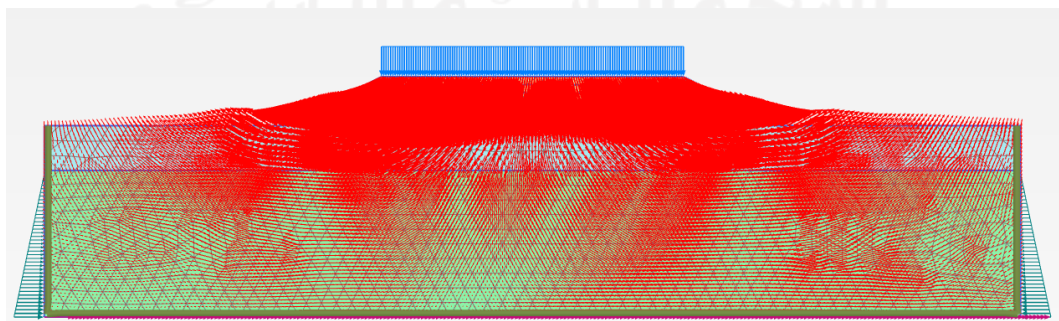
Gambar L-4. 12 *Deformed Mesh* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



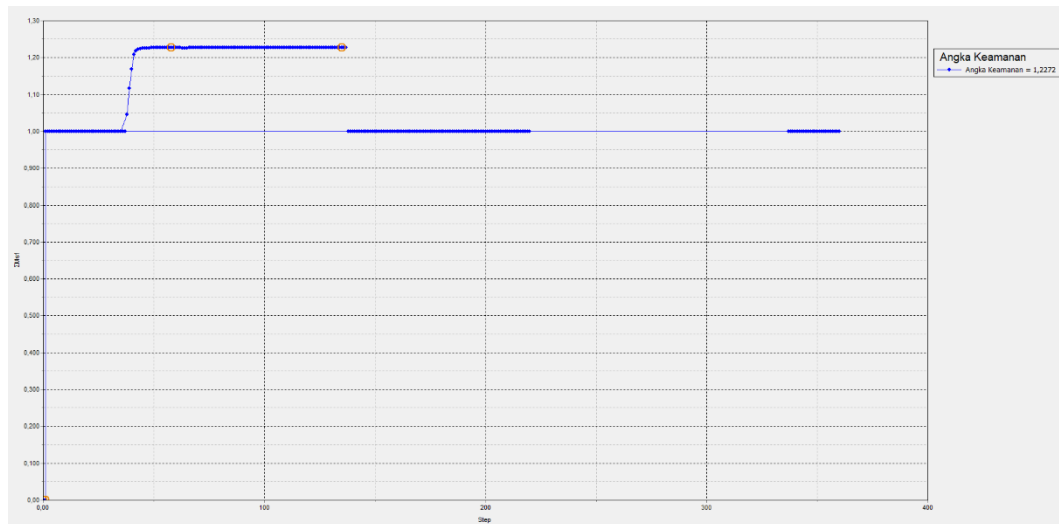
Gambar L-4. 13 Total Displacement Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



Gambar L-4. 14 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



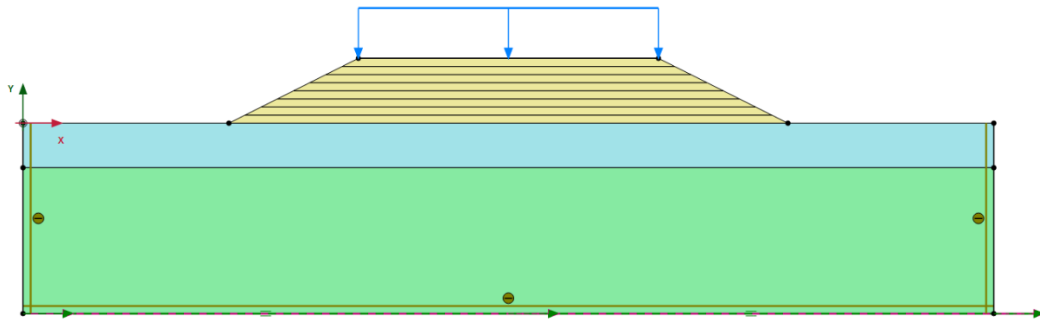
Gambar L-4. 15 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa



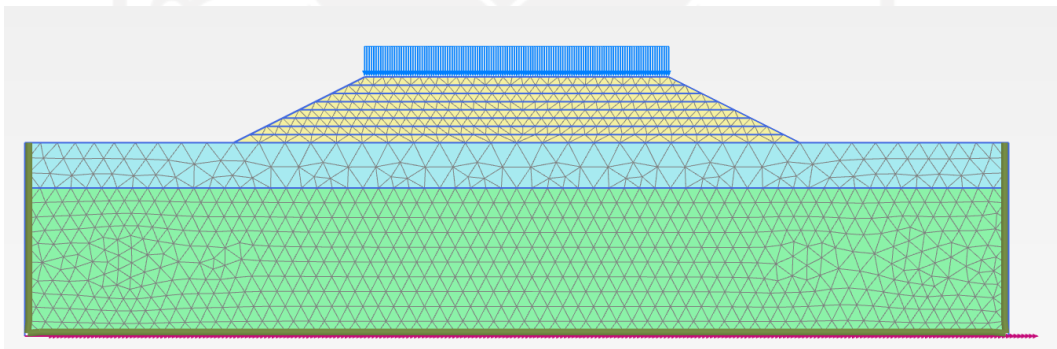
Gambar L-4. 16 Kurva SF Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi



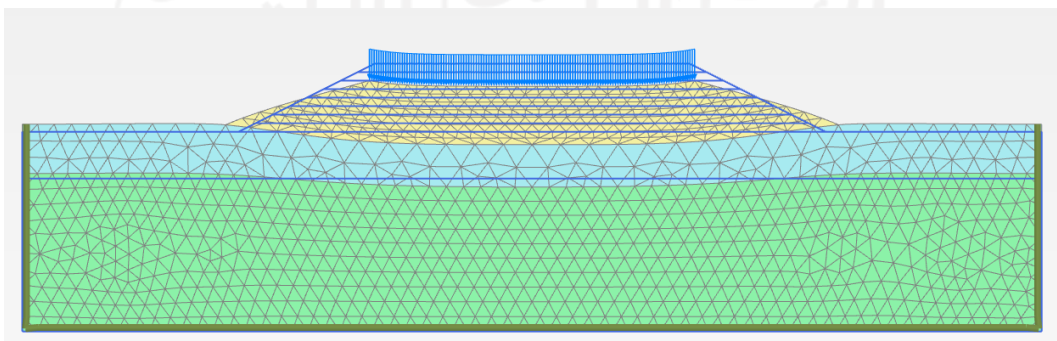
Lampiran 5 Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli



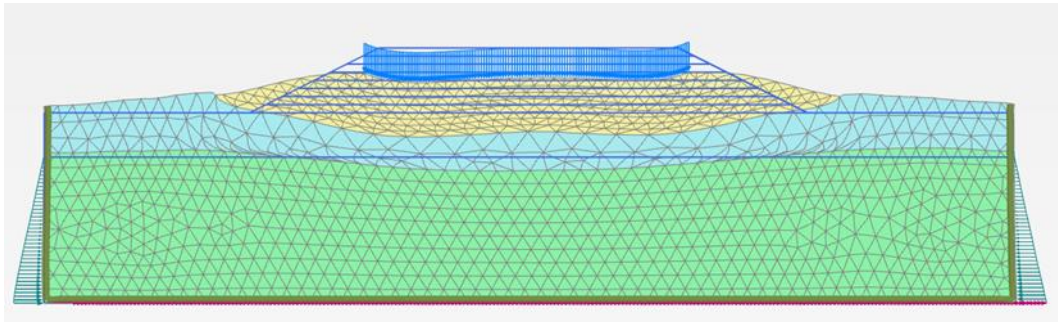
Gambar L-5. 1 Permodelan Timbunan 8 Meter Kondisi Tanah Asli



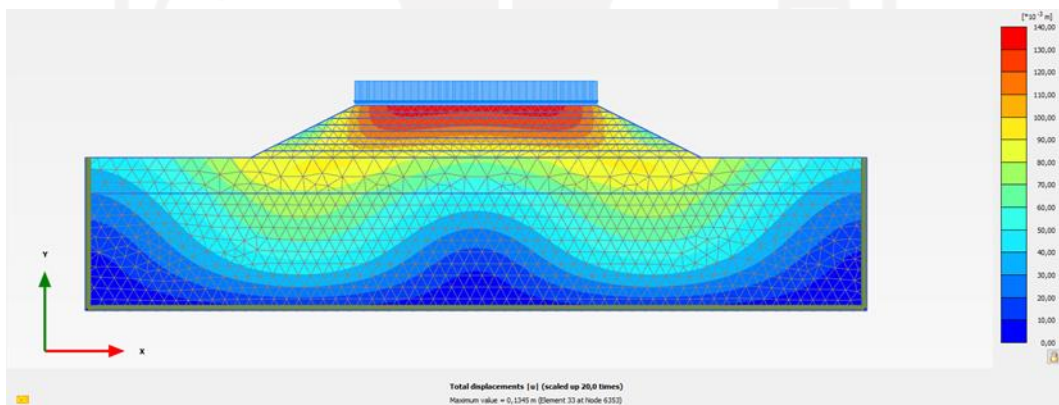
Gambar L-5. 2 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 8 Meter Kondisi Tanah Asli



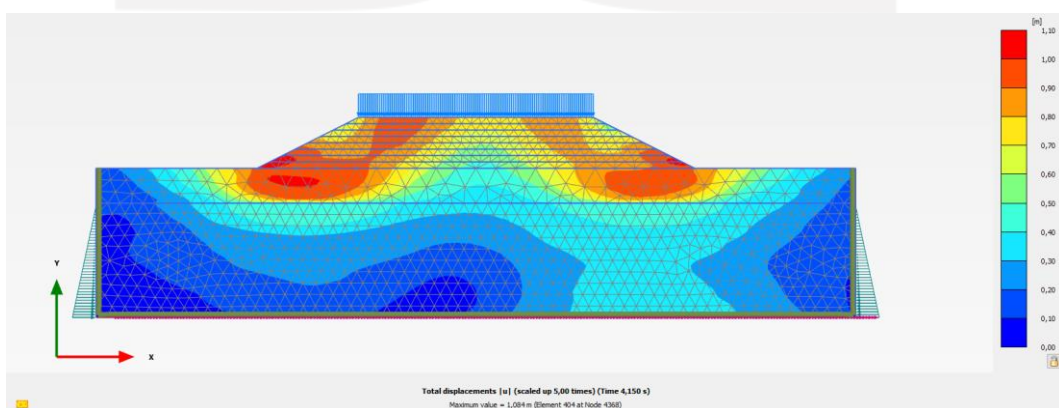
Gambar L-5. 3 *Deformed Mesh* Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



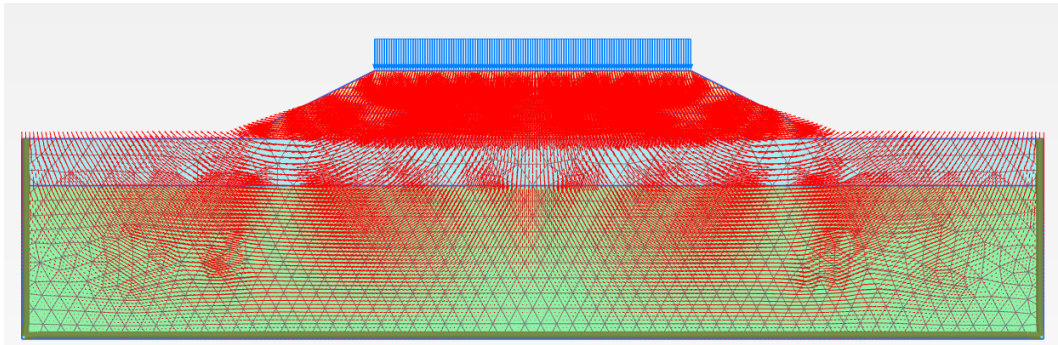
Gambar L-5. 4 Deformed Mesh Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



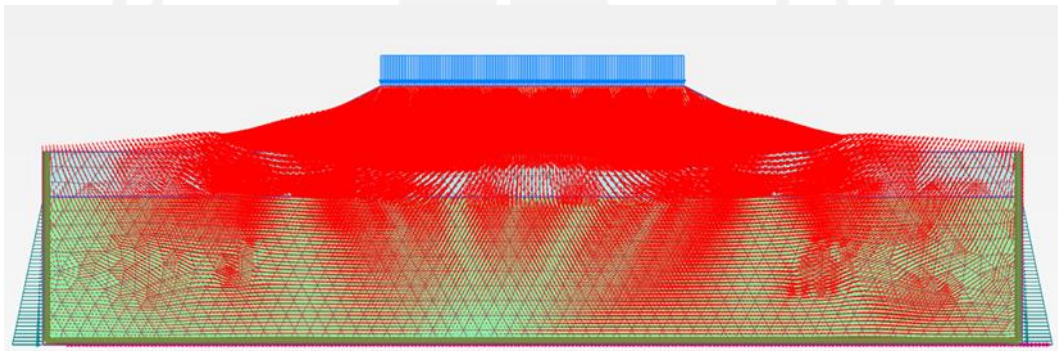
Gambar L-5. 5 Total Displacement Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



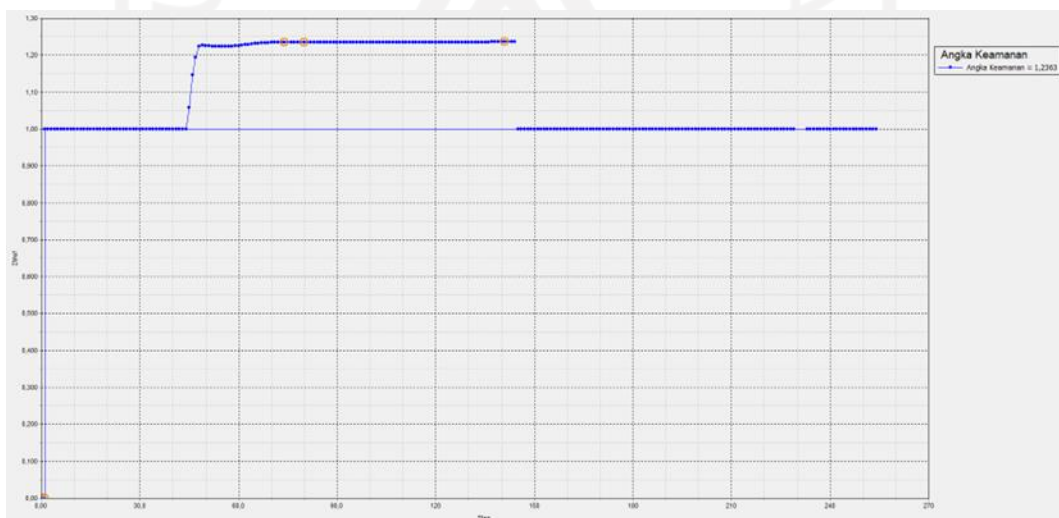
Gambar L-5. 6 Total Displacement Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



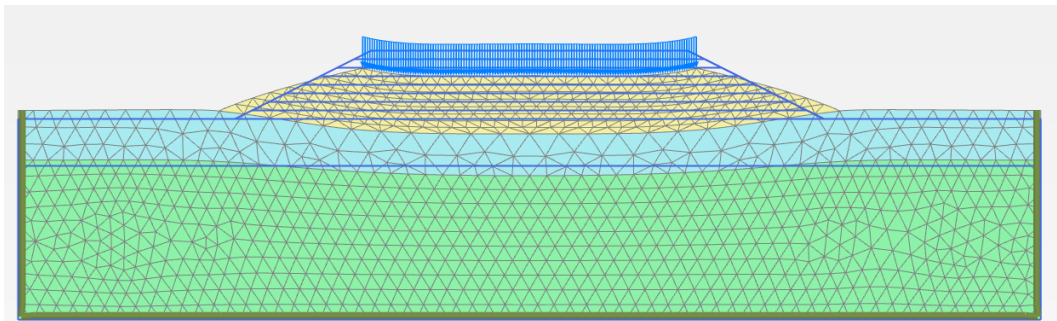
Gambar L-5. 7 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



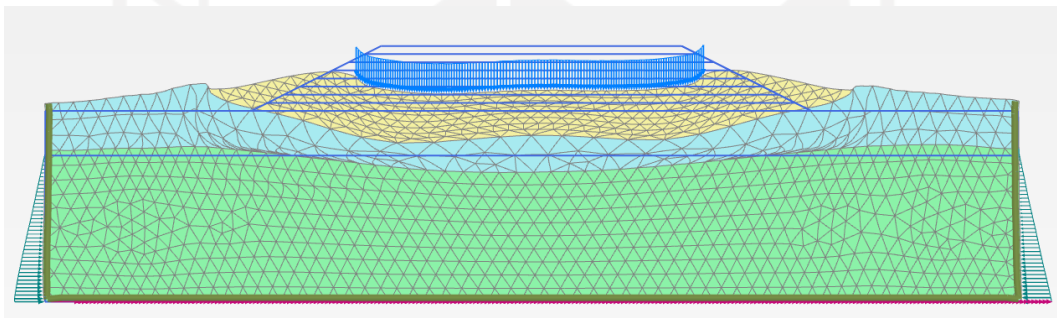
Gambar L-5. 8 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



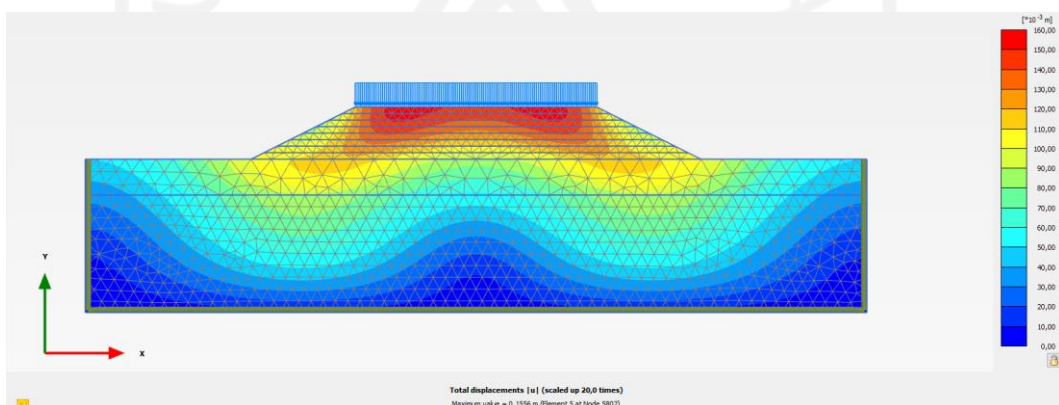
Gambar L-5. 9 Kurva SF Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi



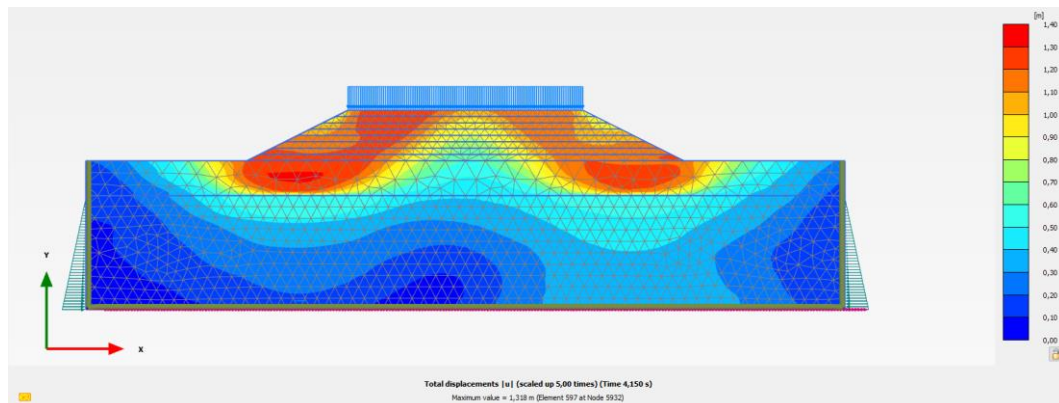
Gambar L-5. 10 Deformed Mesh Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



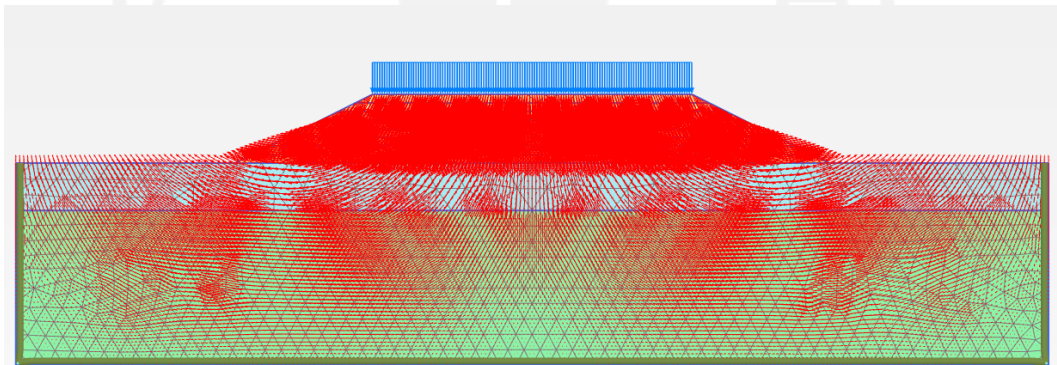
Gambar L-5. 11 Deformed Mesh Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



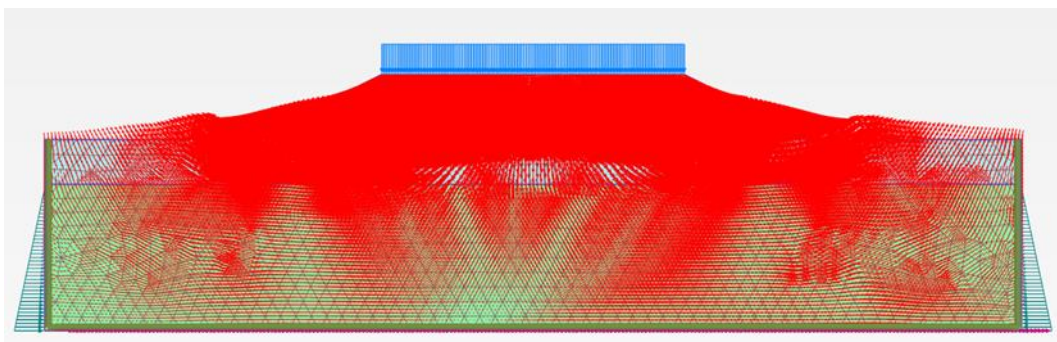
Gambar L-5. 12 Total Displacement Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



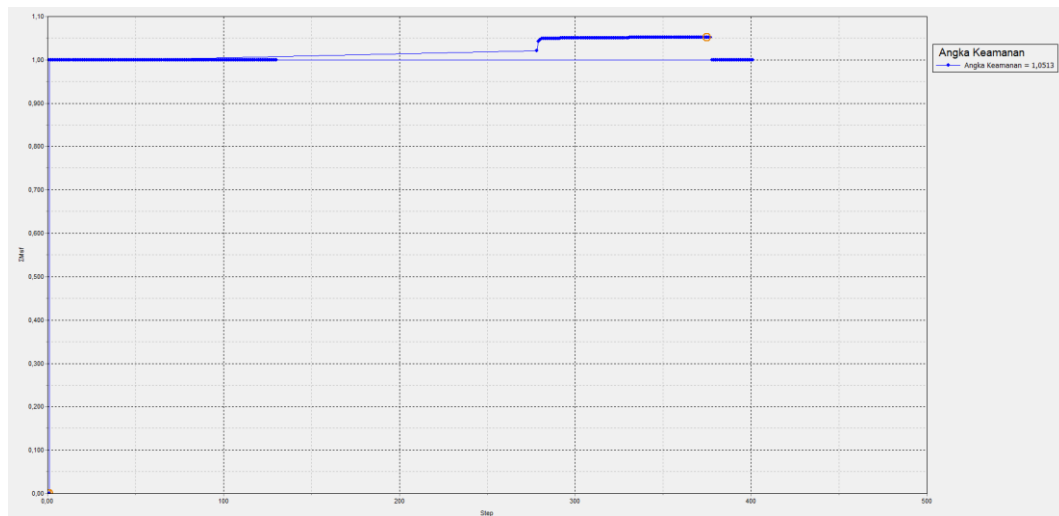
Gambar L-5. 13 Total Displacement Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



Gambar L-5. 14 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas



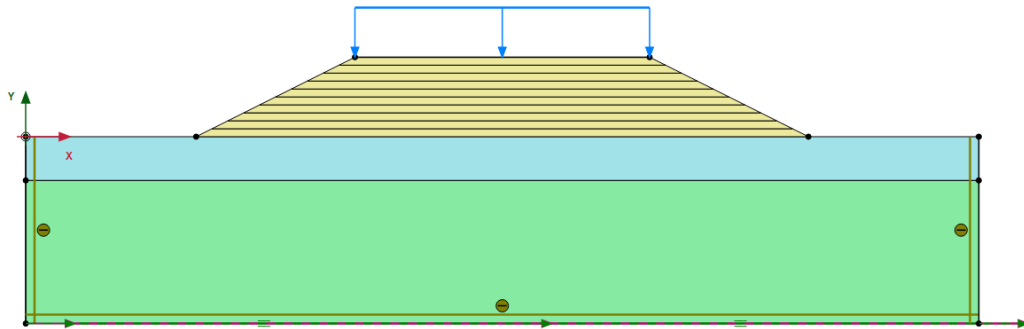
Gambar L-5. 15 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi Akibat Beban Lalu Lintas dan Gempa



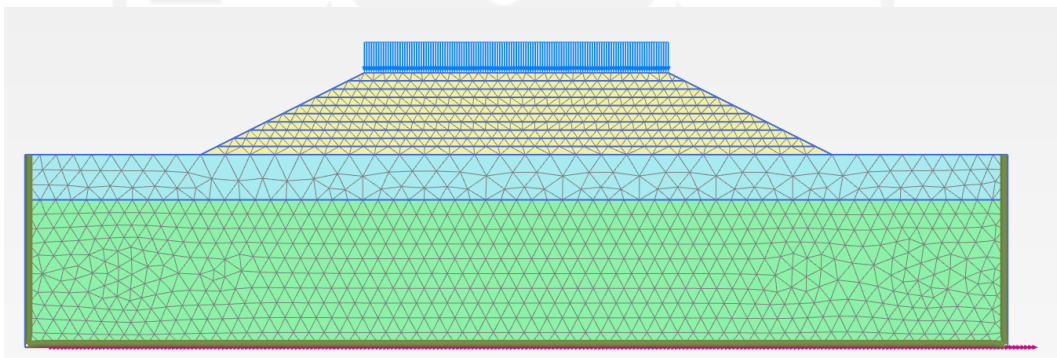
Gambar L-5. 16 Kurva SF Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi



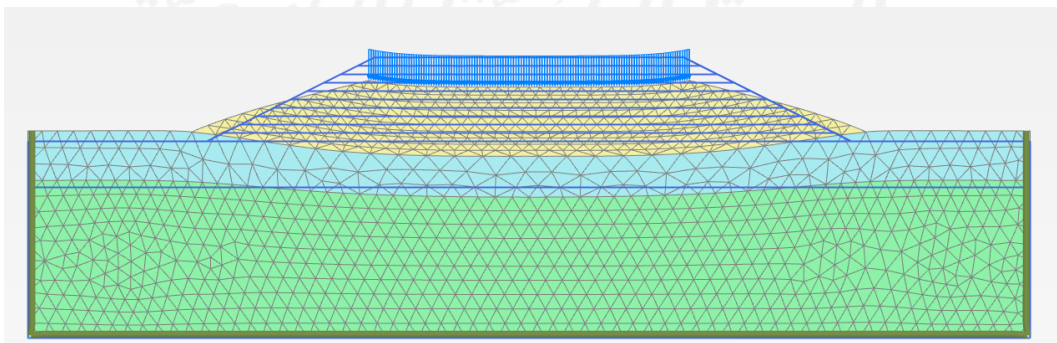
Lampiran 6 Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli



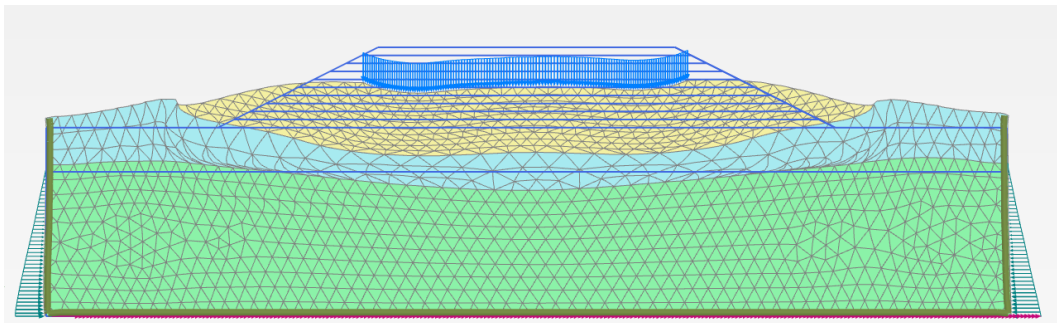
Gambar L-6. 1 Permodelan Timbunan 10 Meter Kondisi Tanah Asli



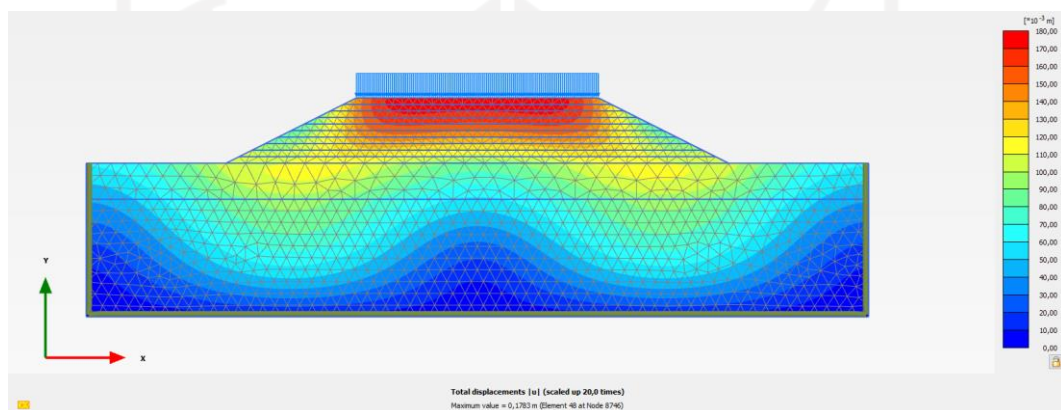
Gambar L-6. 2 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 10 Meter Kondisi Tanah Asli



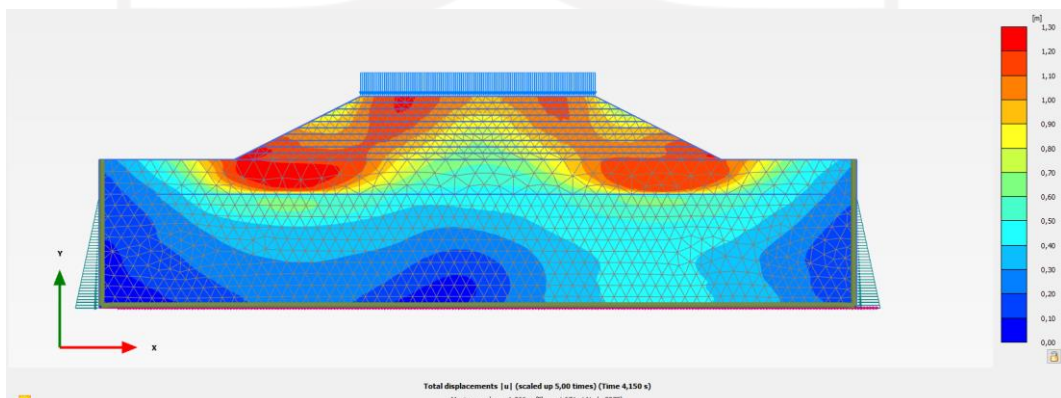
Gambar L-6. 3 *Deformed Mesh* Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



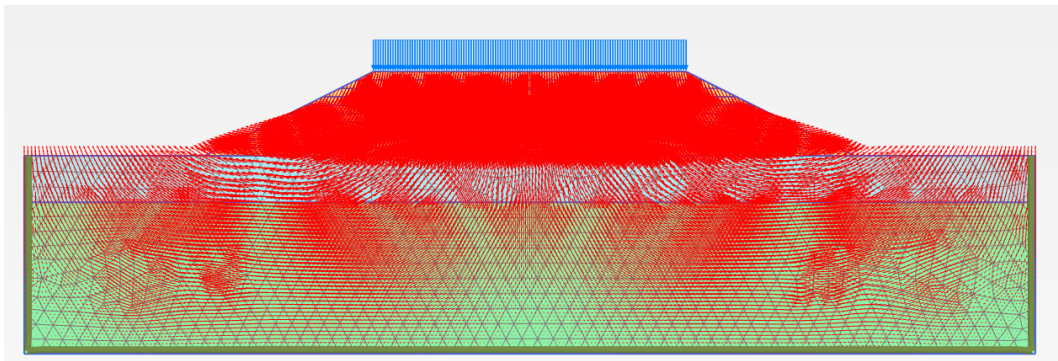
Gambar L-6. 4 Deformed Mesh Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



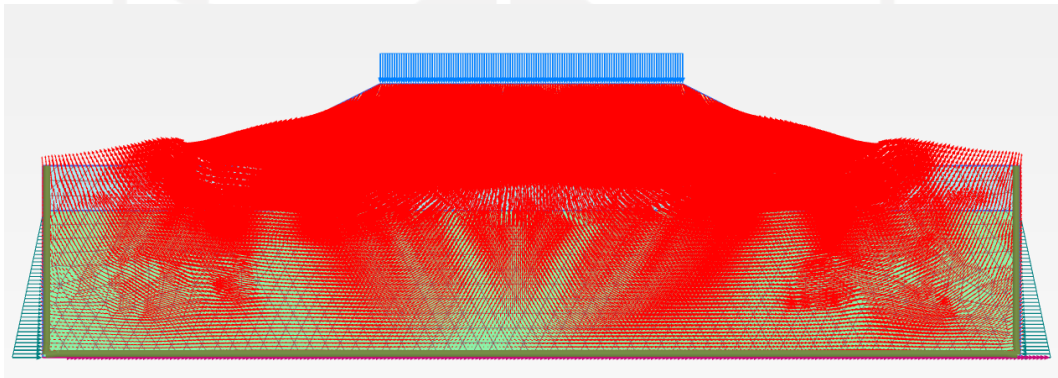
Gambar L-6. 5 Total Displacement Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



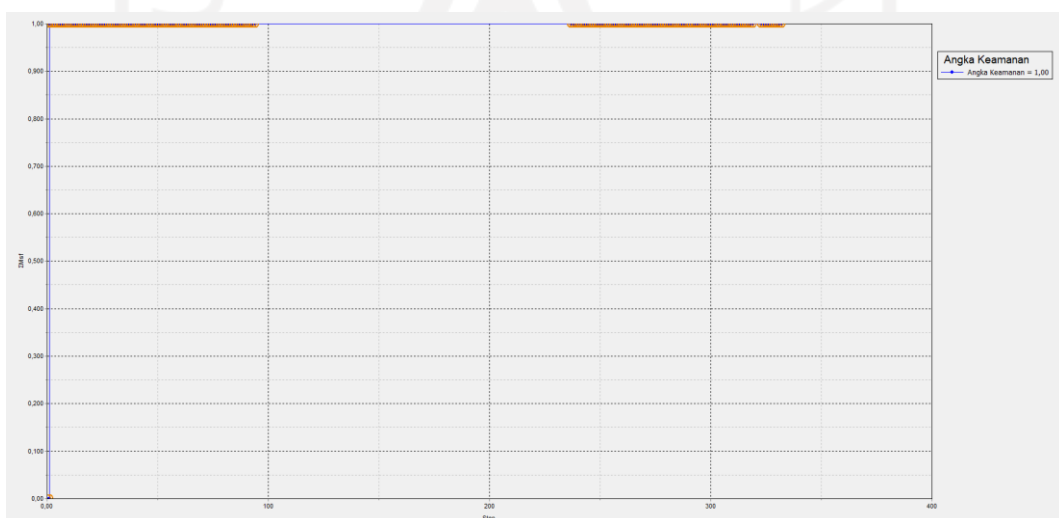
Gambar L-6. 6 Total Displacement Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



Gambar L-6. 7 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



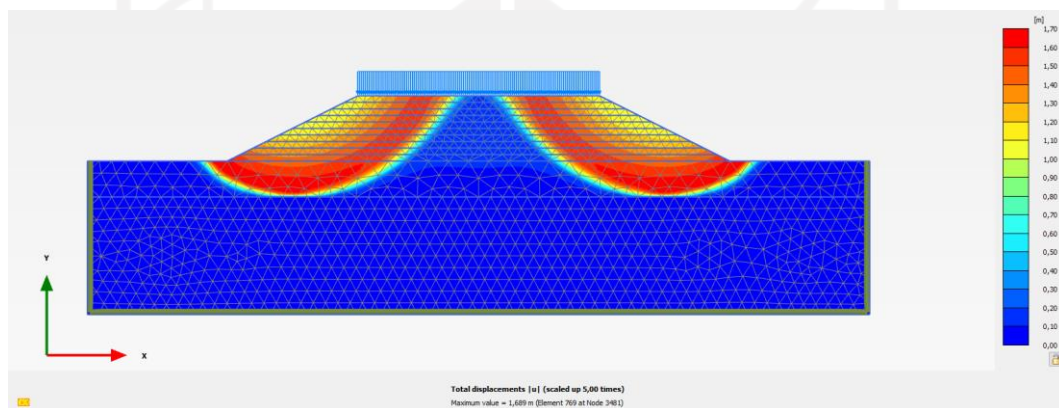
Gambar L-6. 8 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



Gambar L-6. 9 Kurva SF Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi

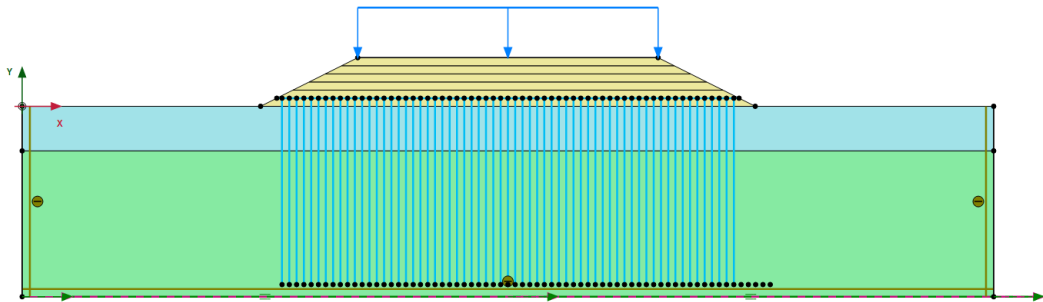
Name	Value	Log info for last calculation
General		Soil body seems to collapse. Please inspect Output results. [Error code: 101]
ID	Pembebanan 28,65 [Phase_	
Start from phase	Konsolidasi 10	
Calculation type	Plastic	

Gambar L-6. 10 Calculations Dengan Lembar Tab General Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi

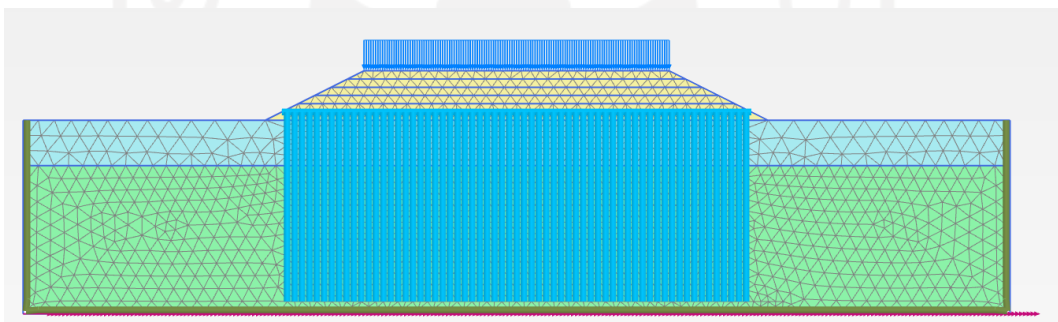


Gambar L-6. 11 Slip Surface Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Paska Konstruksi

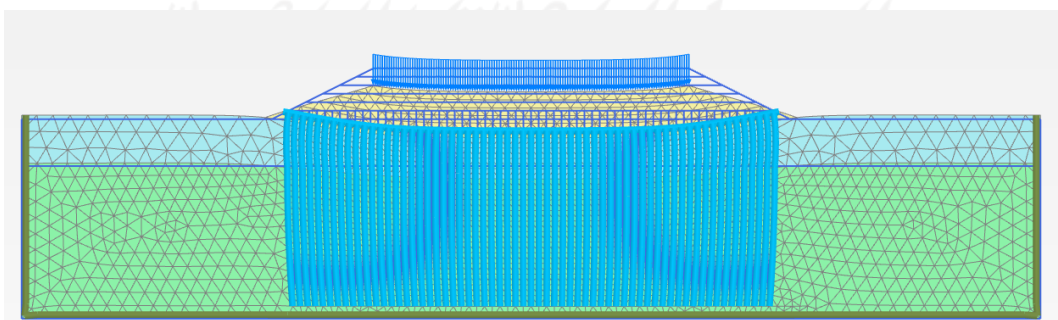
Lampiran 7 Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan *Prefabricated Vertical Drain*



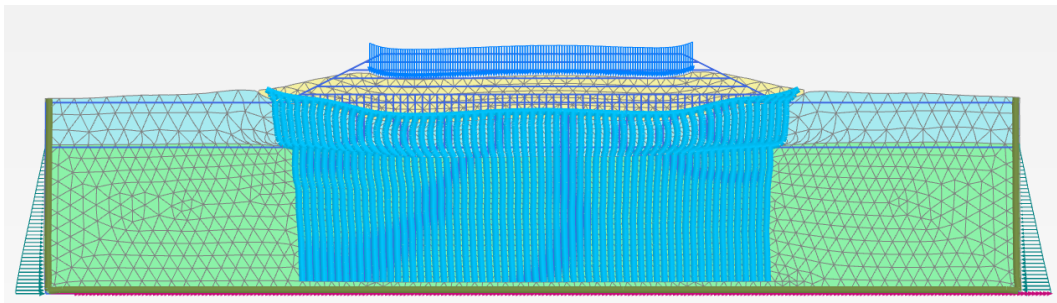
Gambar L-7. 1 Permodelan Timbunan 6 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain*



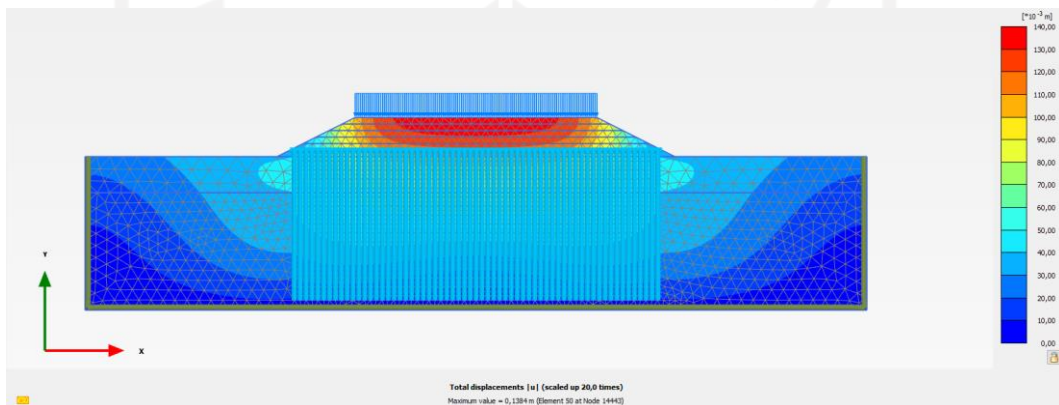
Gambar L-7. 2 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 6 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain*



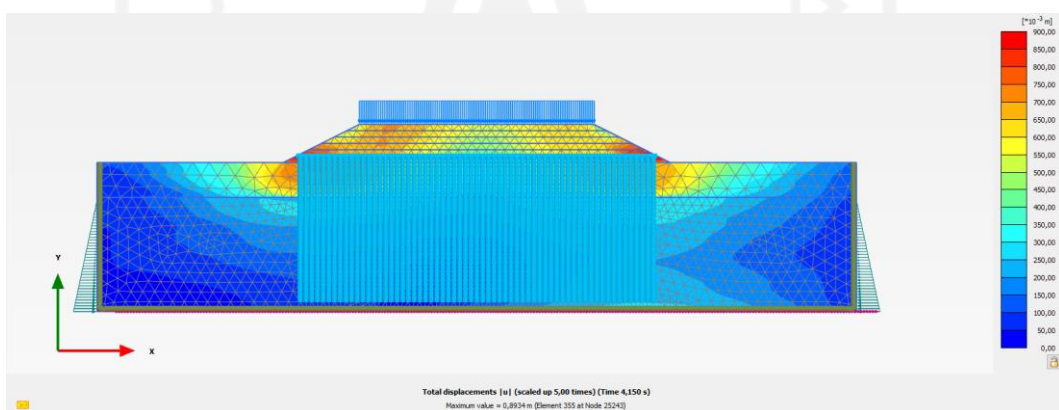
Gambar L-7. 3 *Deformed Mesh* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



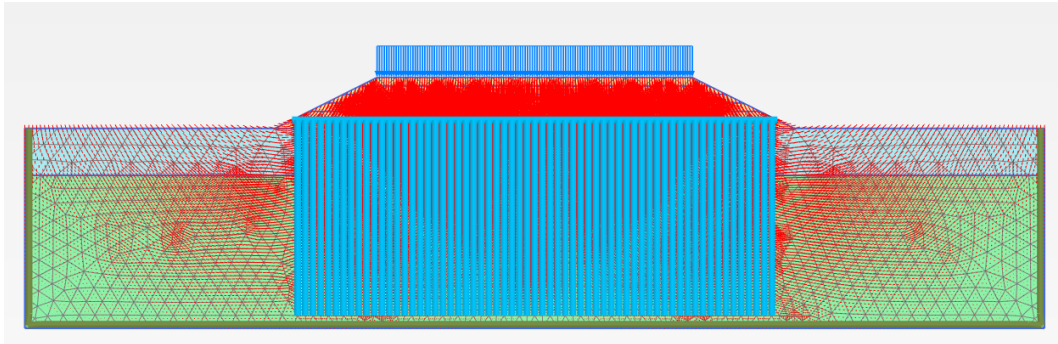
Gambar L-7. 4 Deformed Mesh Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



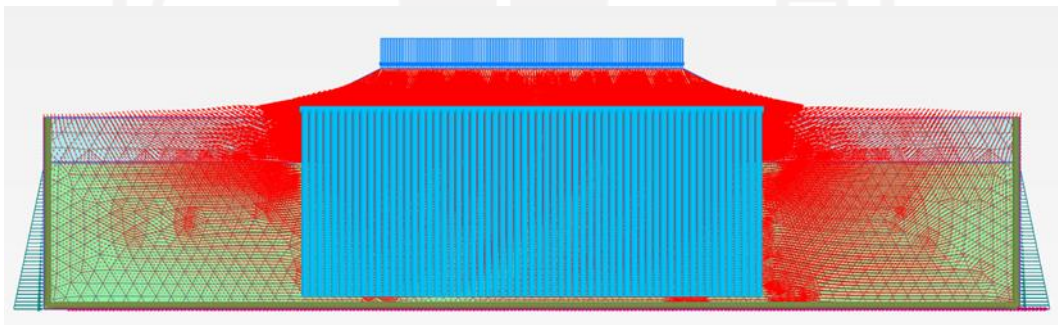
Gambar L-7. 5 Total Displacement Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



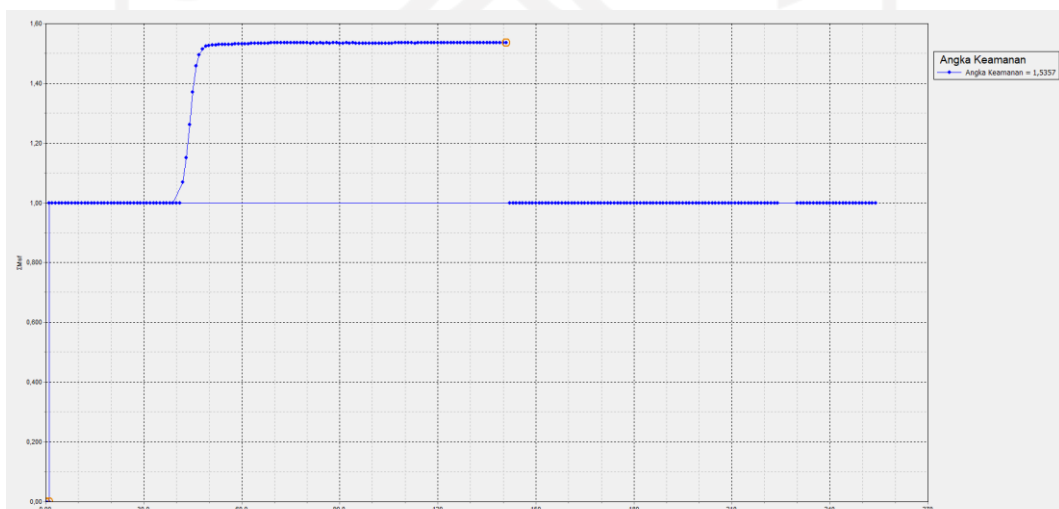
Gambar L-7. 6 Total Displacement Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



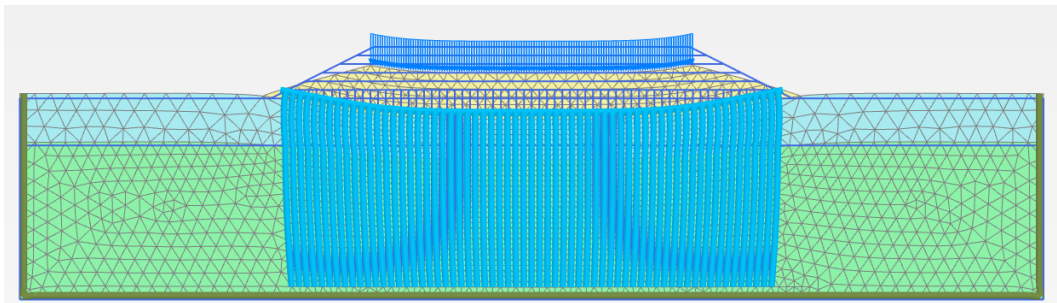
Gambar L-7. 7 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



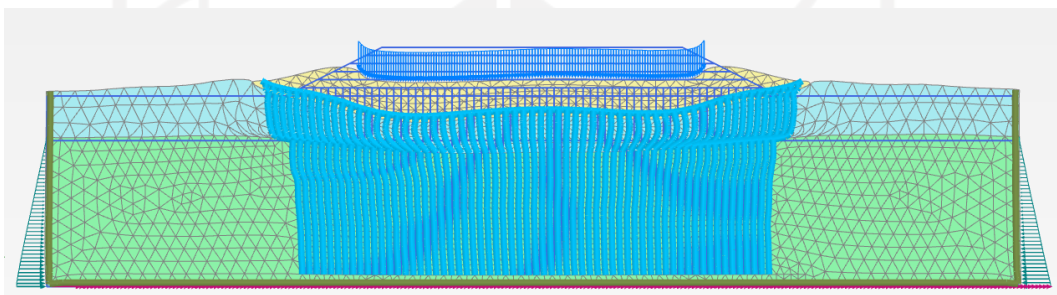
Gambar L-7. 8 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



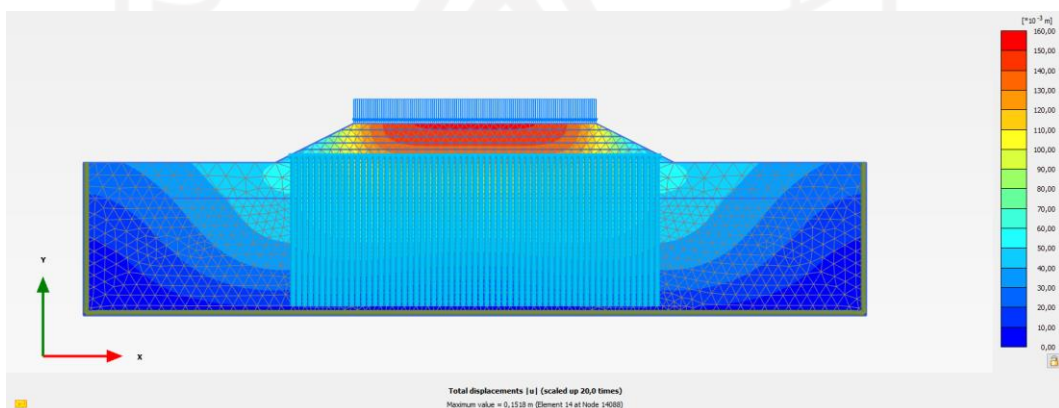
Gambar L-7. 9 Kurva SF Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi



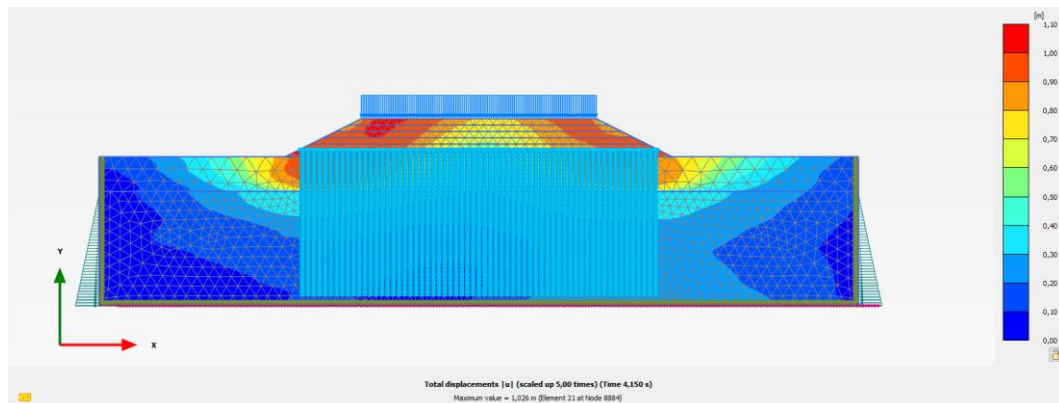
Gambar L-7. 10 Deformed Mesh Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



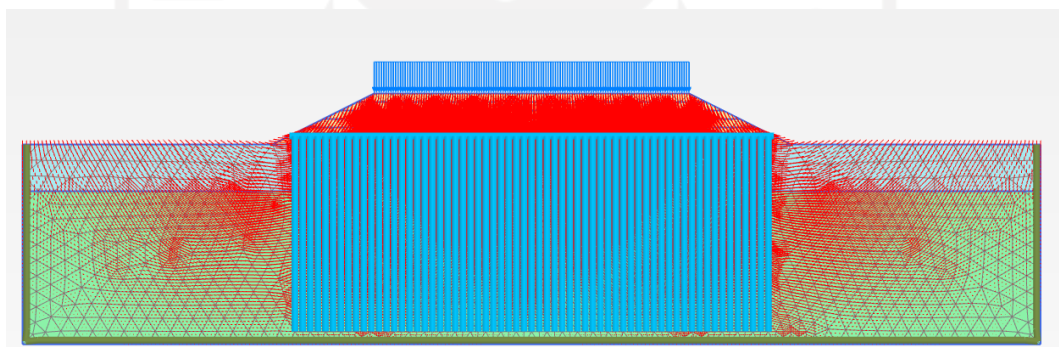
Gambar L-7. 11 Deformed Mesh Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



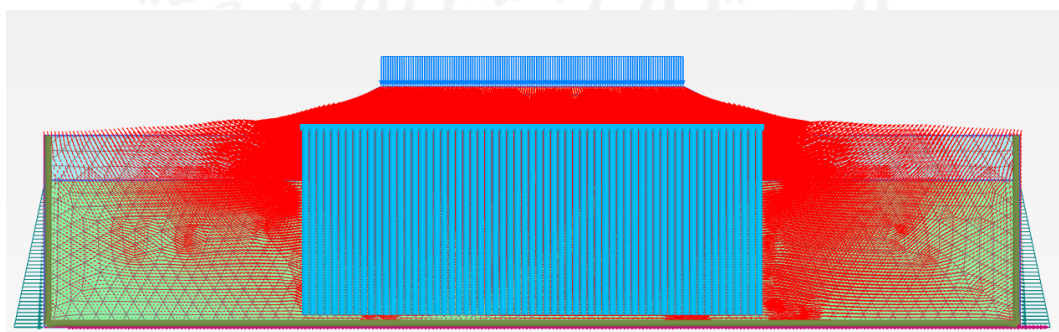
Gambar L-7. 12 Total Displacement Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



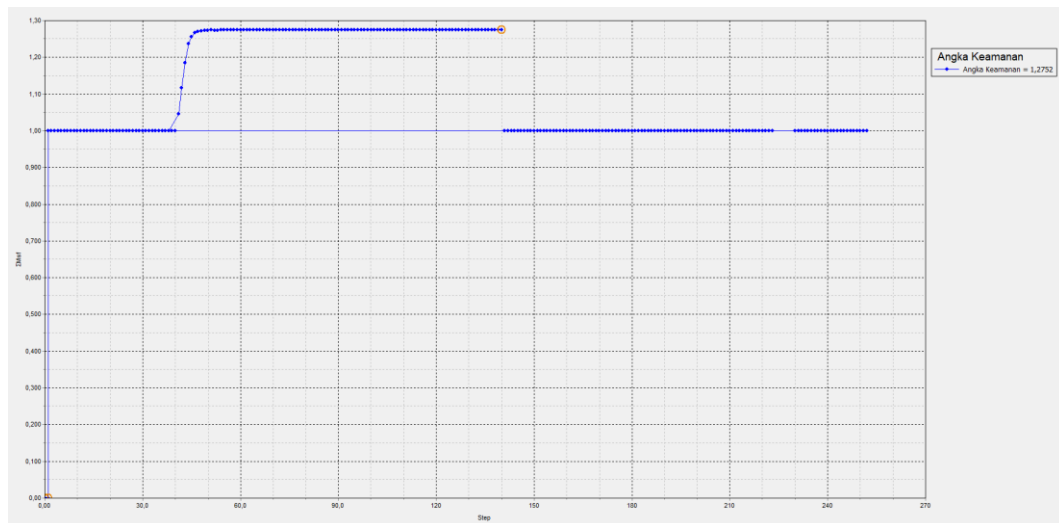
Gambar L-7. 13 Total Displacement Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



Gambar L-7. 14 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



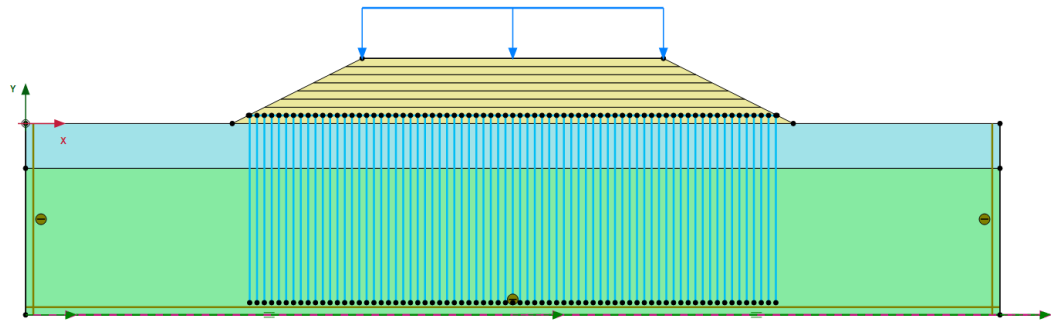
Gambar L-7. 15 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



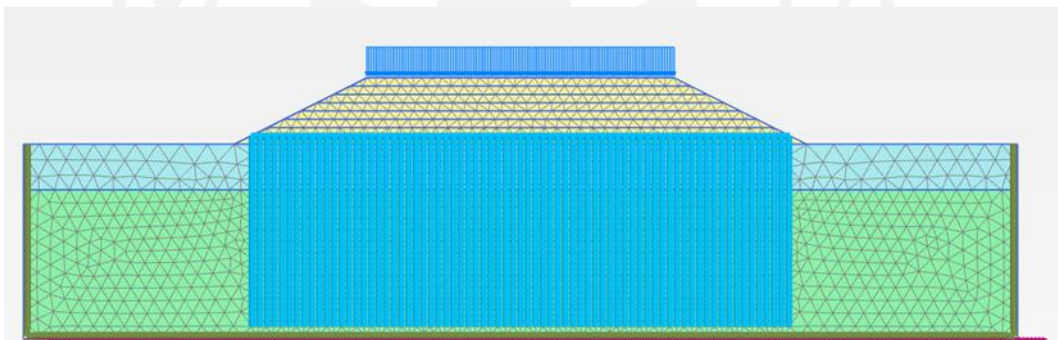
**Gambar L-7. 16 Kurva SF Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan
Prefabricated Vertical Drain Paska Konstruksi**



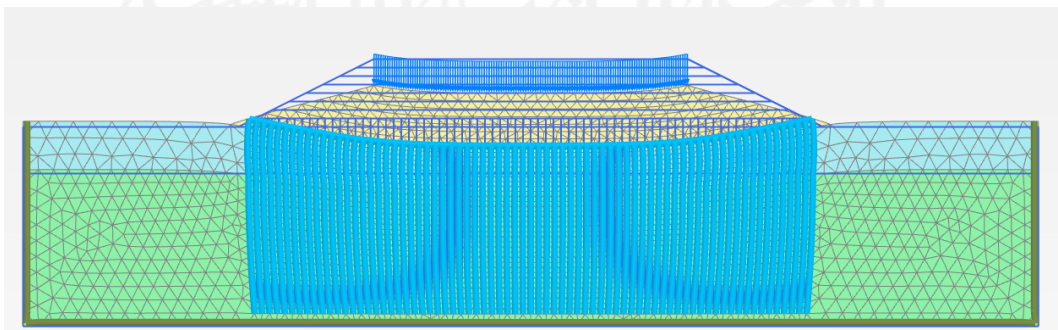
Lampiran 8 Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan *Prefabricated Vertical Drain*



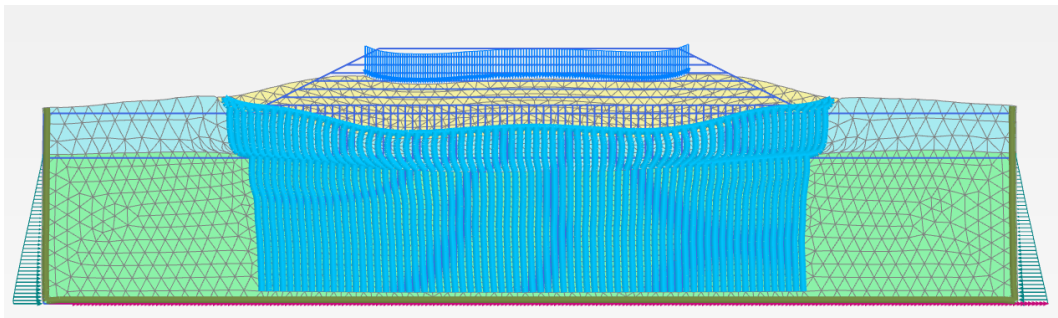
Gambar L-8. 1 Permodelan Timbunan 8 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain*



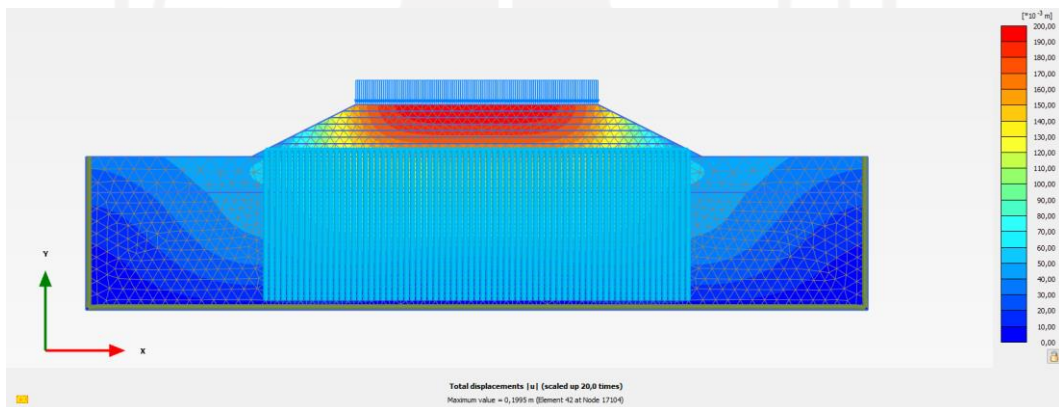
Gambar L-8. 2 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 8 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain*



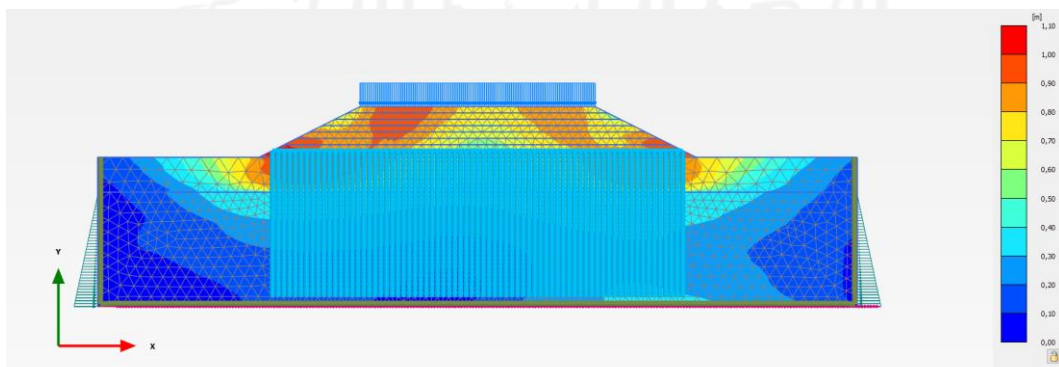
Gambar L-8. 3 *Deformed Mesh* Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



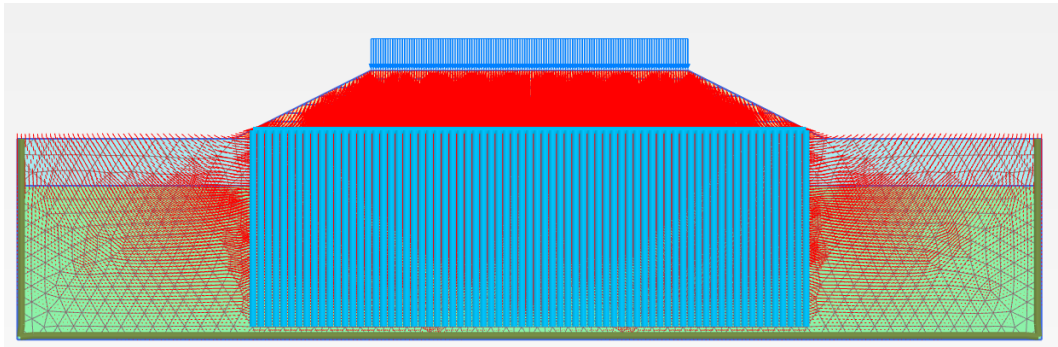
Gambar L-8. 4 Deformed Mesh Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



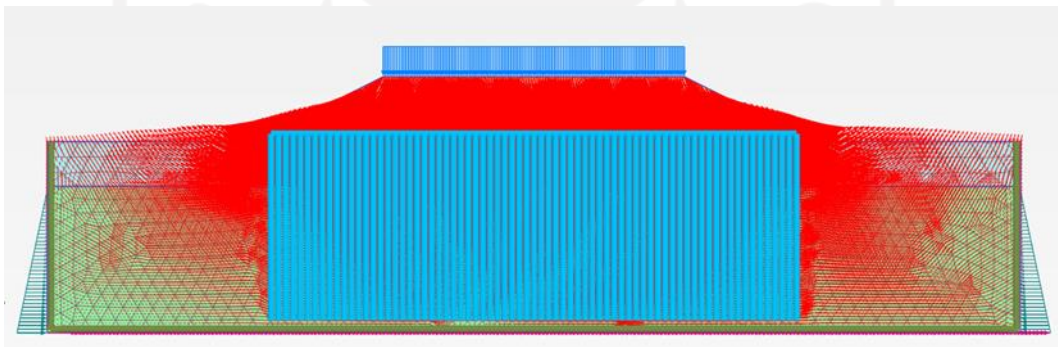
Gambar L-8. 5 Total Displacement Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



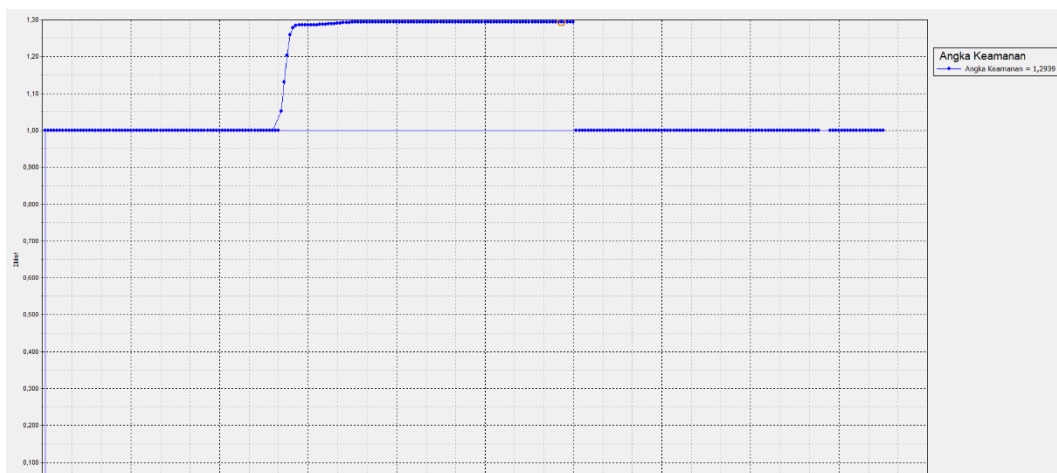
Gambar L-8. 6 Total Displacement Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



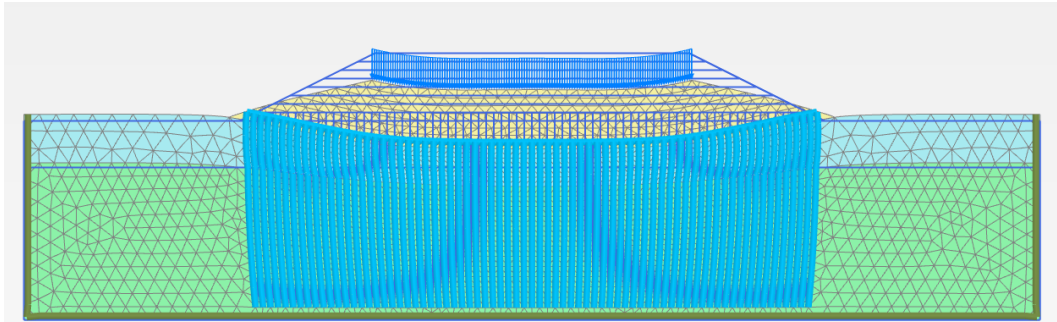
Gambar L-8. 7 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



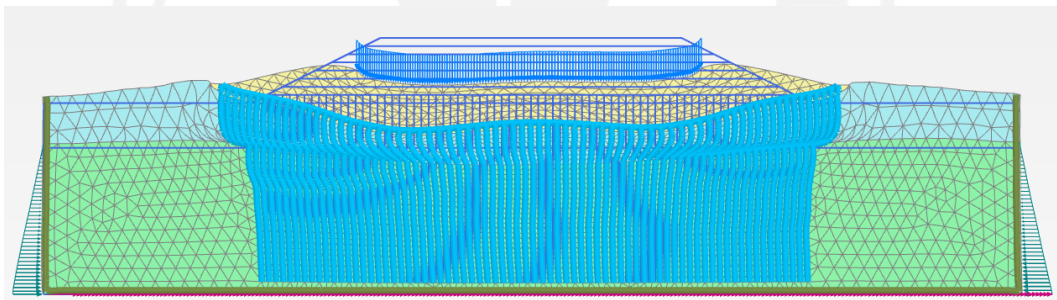
Gambar L-8. 8 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



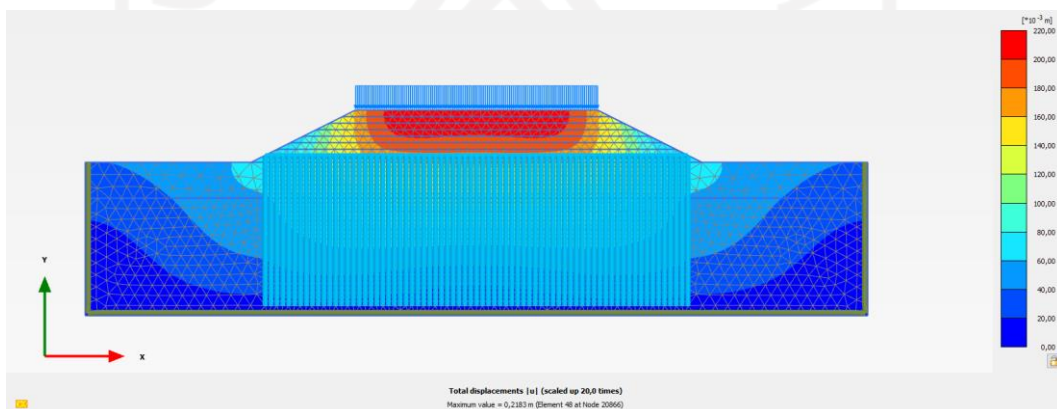
Gambar L-8. 9 Kurva SF Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi



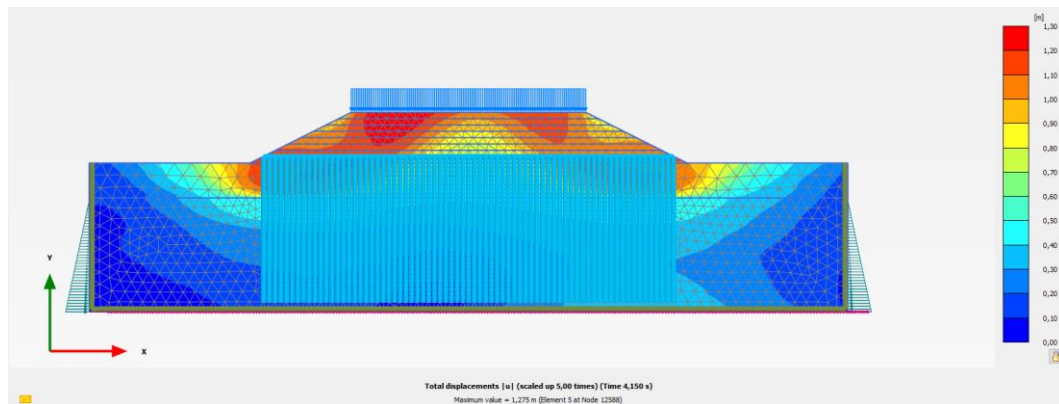
Gambar L-8. 10 Deformed Mesh Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



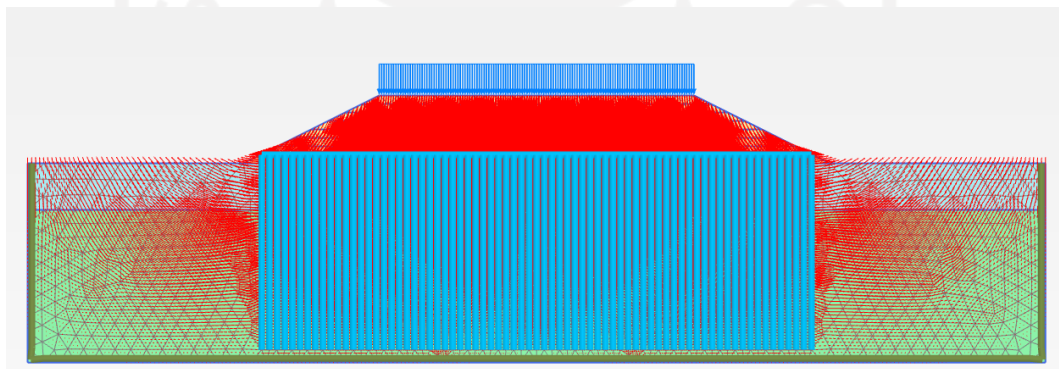
Gambar L-8. 11 Deformed Mesh Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gemma



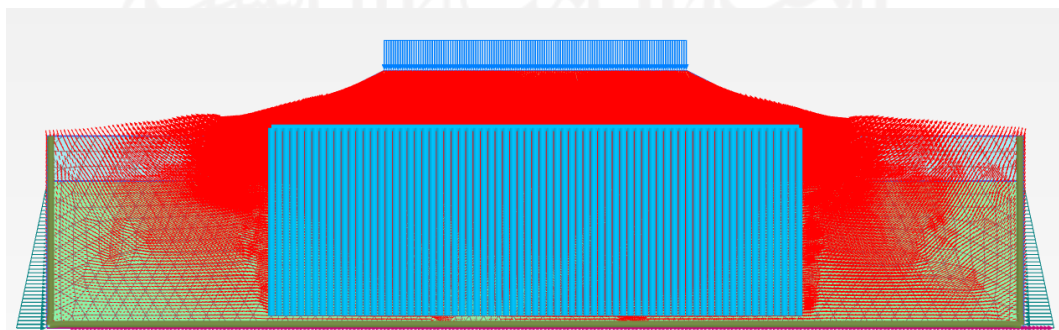
Gambar L-8. 12 Total Displacement Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



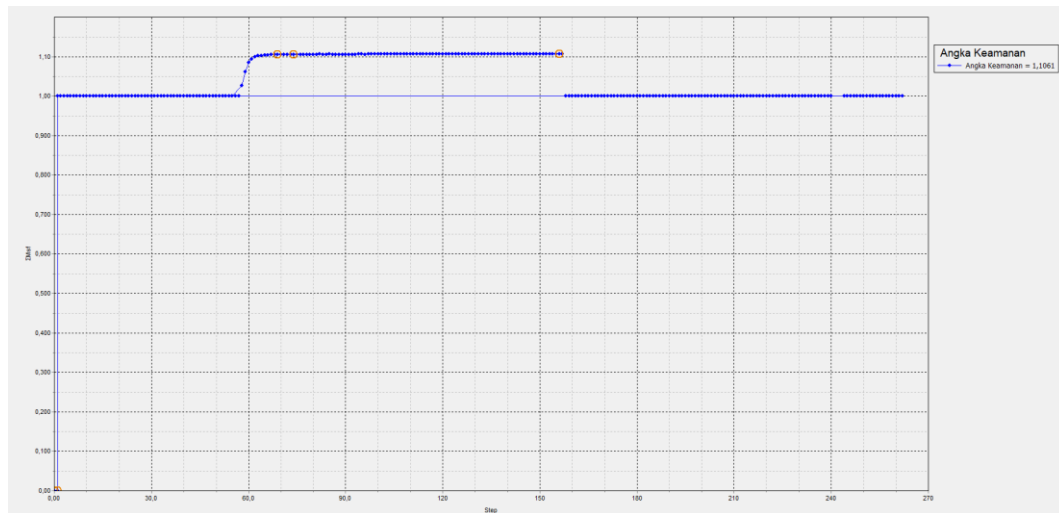
Gambar L-8. 13 Total Displacement Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



Gambar L-8. 14 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



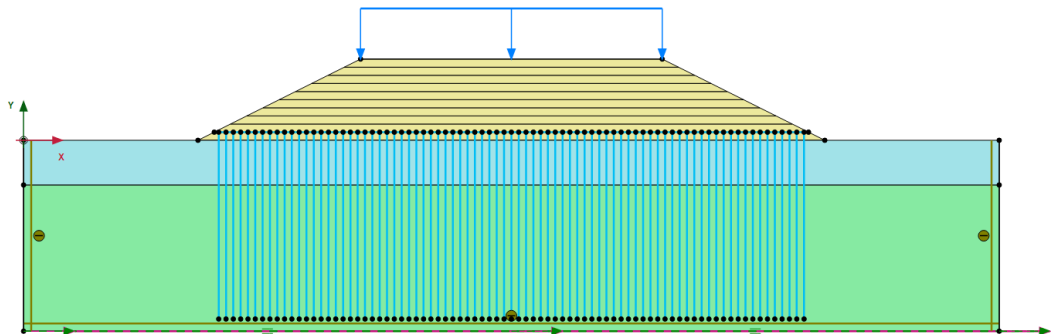
Gambar L-8. 15 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



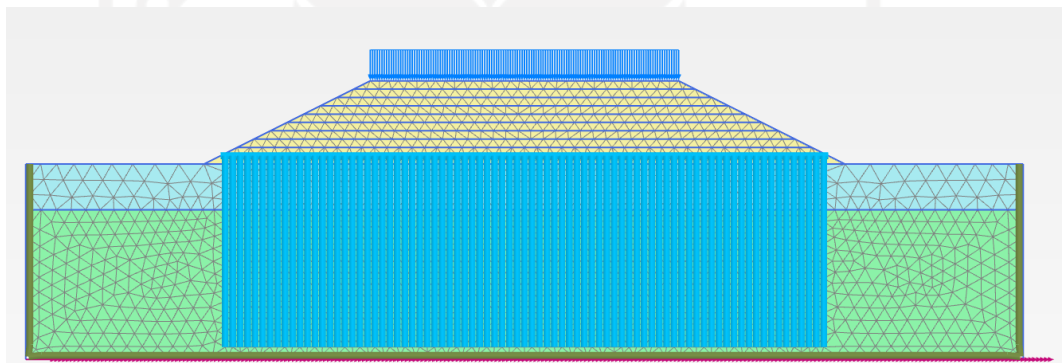
**Gambar L-8. 16 Kurva SF Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan
Prefabricated Vertical Drain Paska Konstruksi**



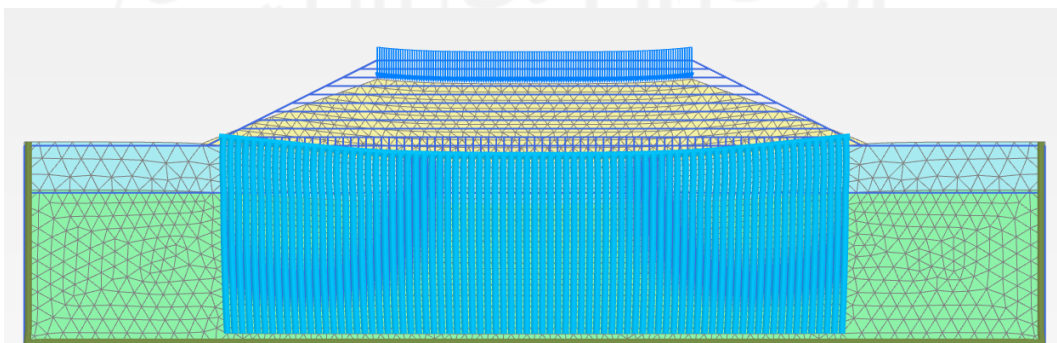
Lampiran 9 Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan *Prefabricated Drain*



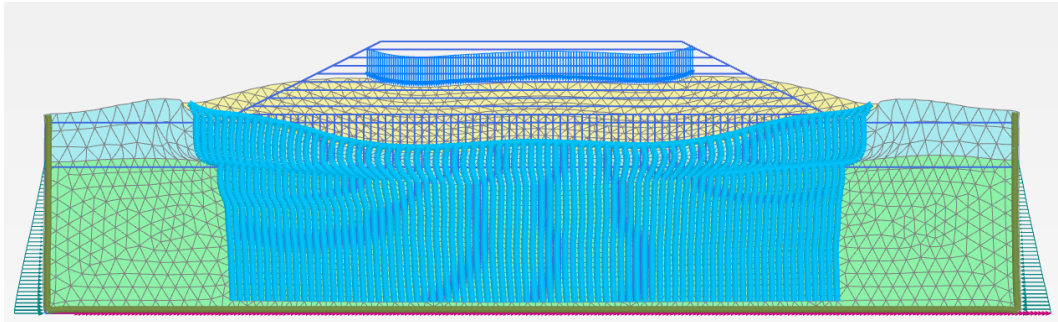
Gambar L-9. 1 Permodelan Timbunan 10 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain*



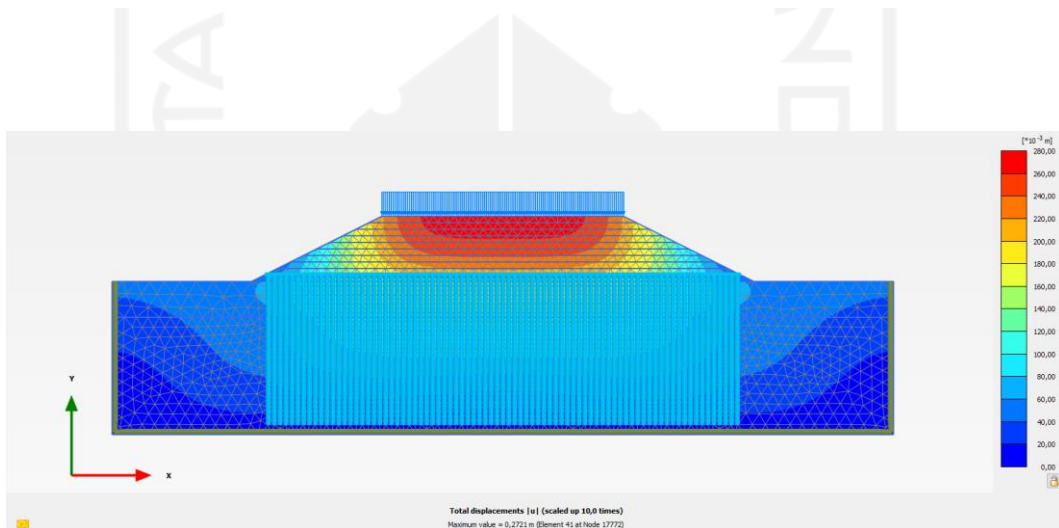
Gambar L-9. 2 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 10 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain*



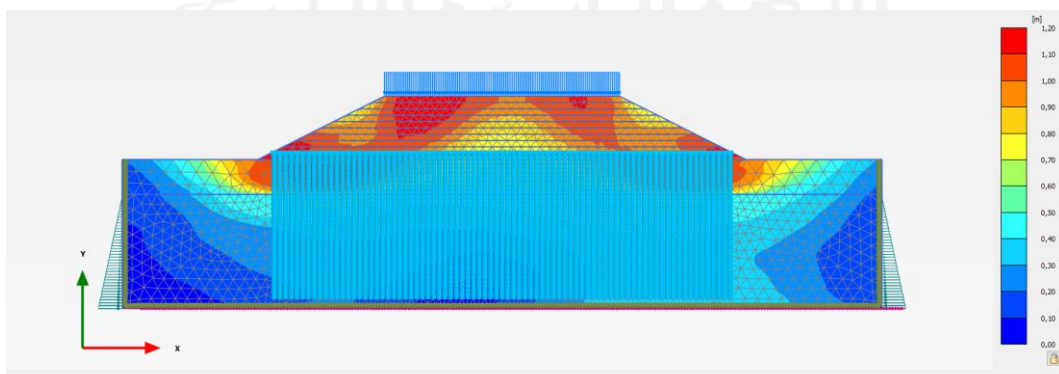
Gambar L-9. 3 *Deformed Mesh* Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



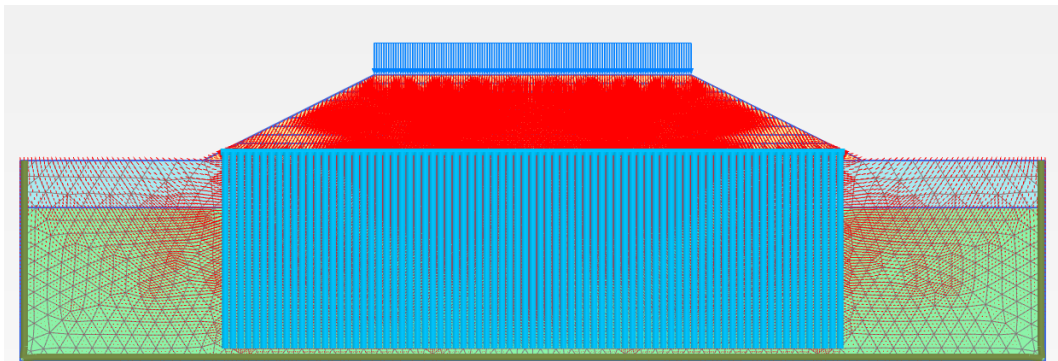
Gambar L-9. 4 Deformed Mesh Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



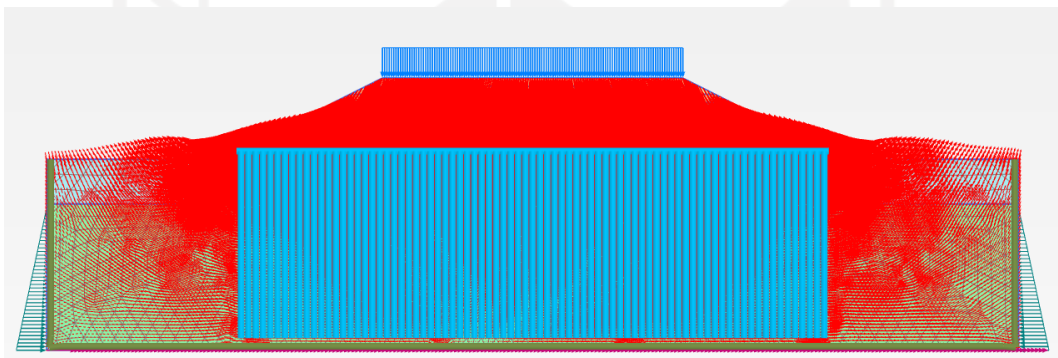
Gambar L-9. 5 Total Displacement Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



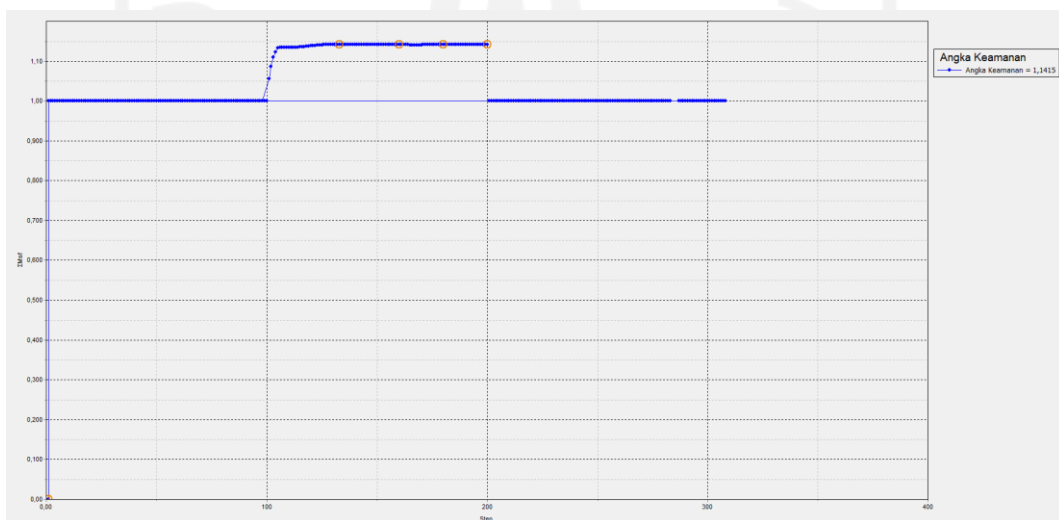
Gambar L-9. 6 Total Displacement Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated Vertical Drain Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



Gambar L-9. 7 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar L-9. 8 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



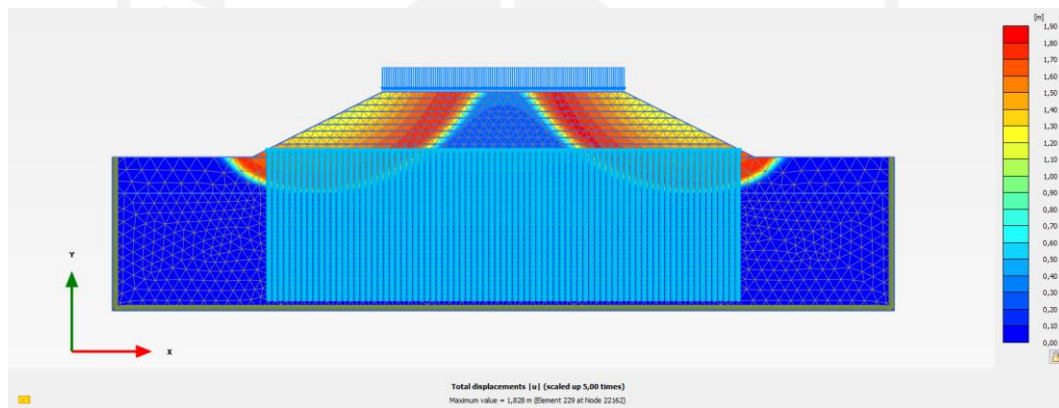
Gambar L-9. 9 Kurva SF Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Masa Konstruksi

Name	Value	
General		
ID	Pembebanan 28,65 [Phase_	
Start from phase	Konsolidasi 10	▼
Calculation type	Plastic	▼

Log info for last calculation

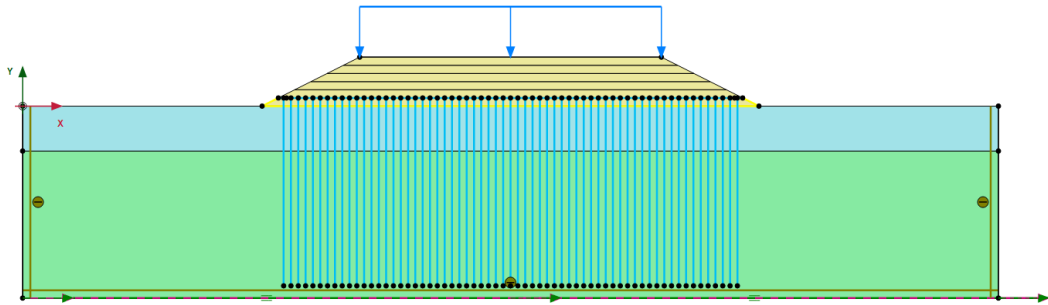
Soil body seems to collapse. Please inspect Output results. [Error code: 101]

Gambar L-9. 10 *Calculations* Dengan Lembar Tab General Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Paska Konstruksi

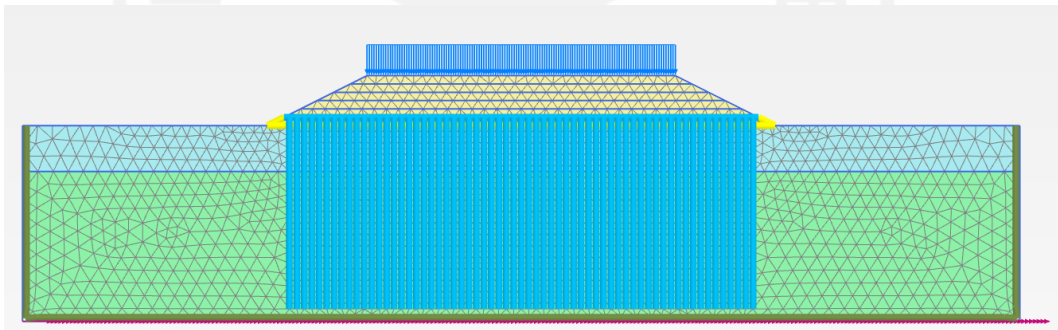


Gambar L-9. 11 *Slip Surface* Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* Paska Konstruksi

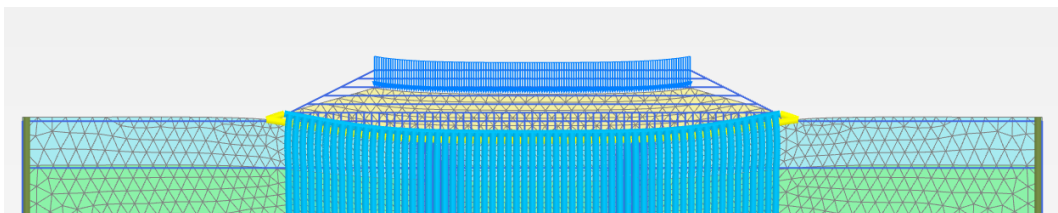
Lampiran 10 Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 6 meter Kondisi Tanah Asli Dengan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil



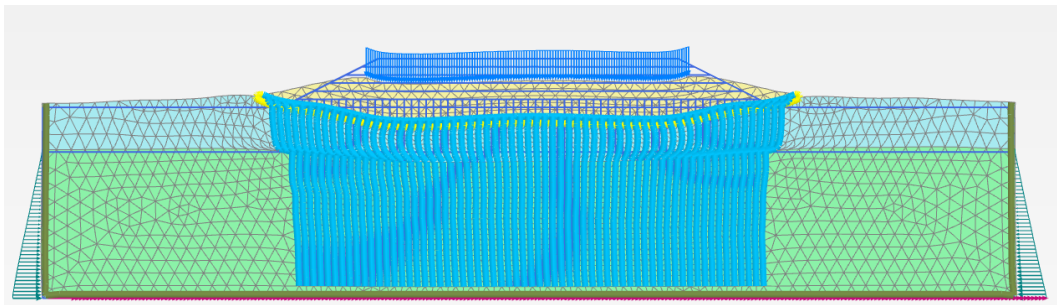
Gambar L-10. 1 Permodelan Timbunan 6 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil



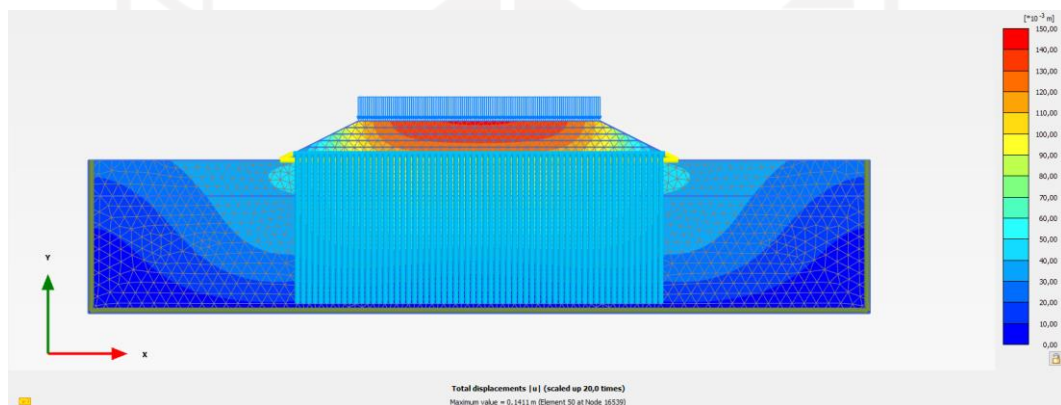
Gambar L-10. 2 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 6 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil



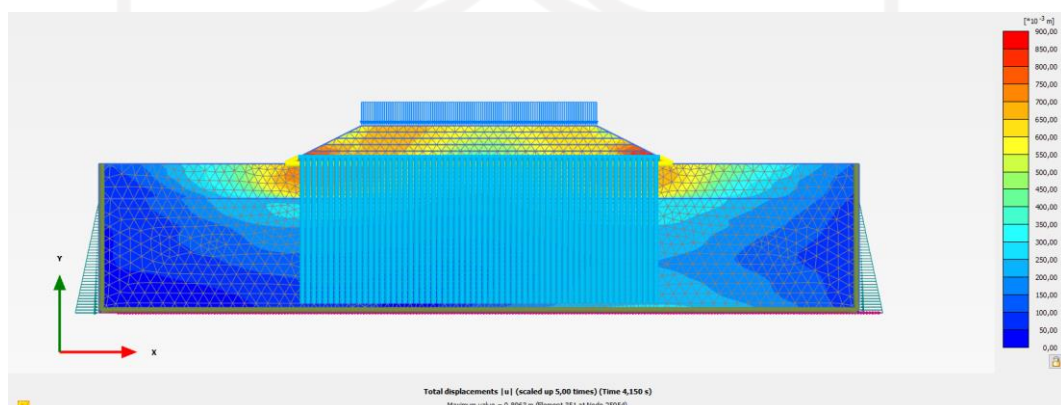
Gambar L-10. 3 *Deformed Mesh* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



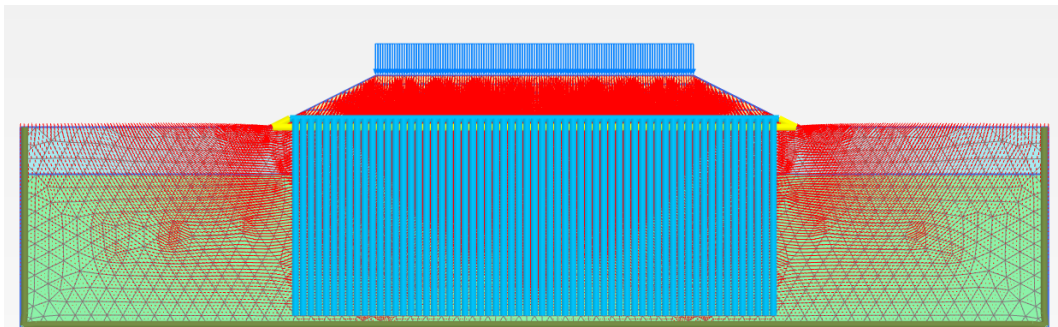
Gambar L-10. 4 *Deformed Mesh* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



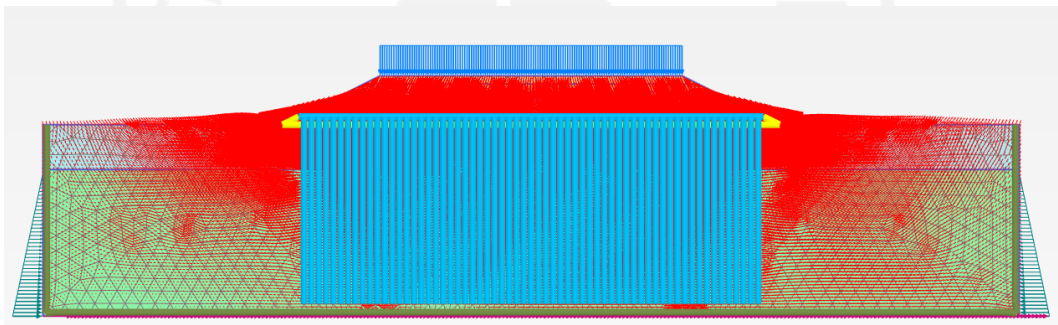
Gambar L-10. 5 *Total Displacement* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



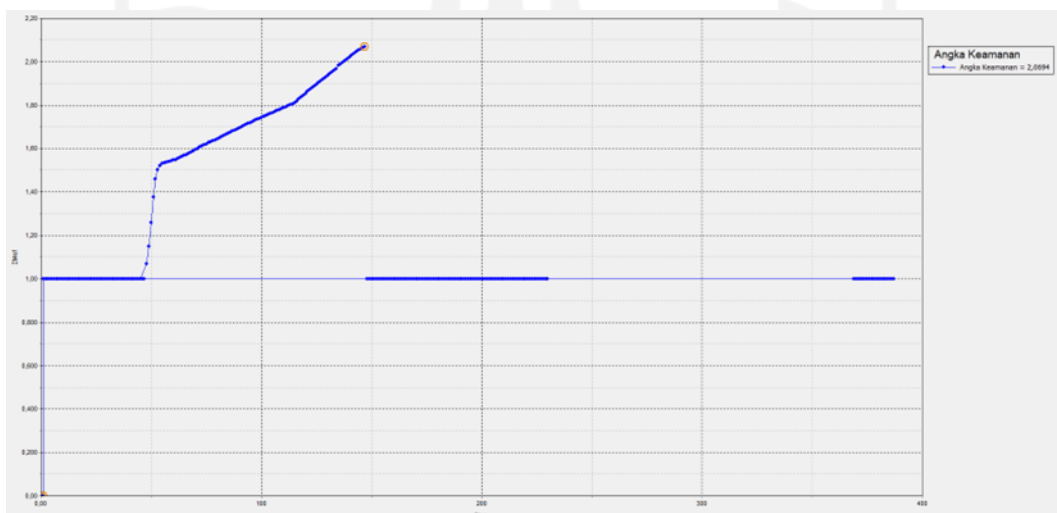
Gambar L-10. 6 *Total Displacement* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



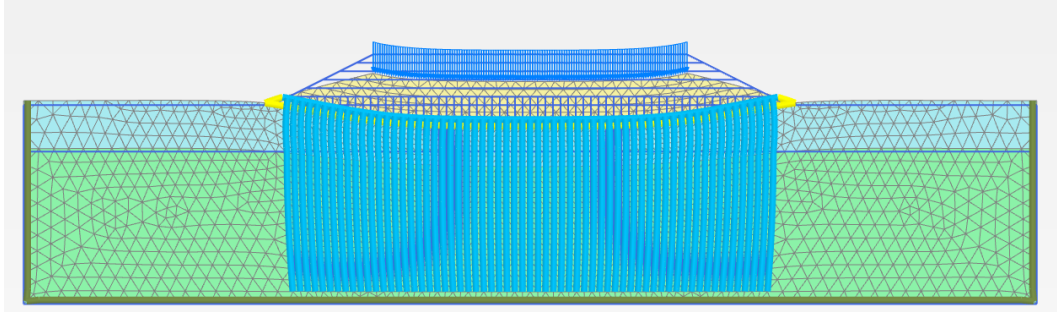
Gambar L-10. 7 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



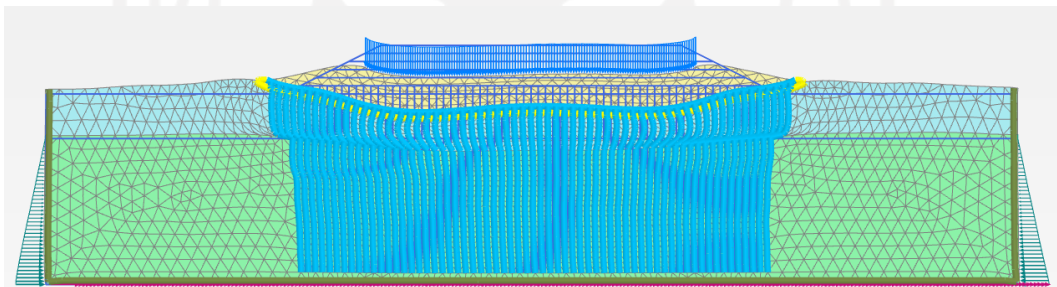
Gambar L-10. 8 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



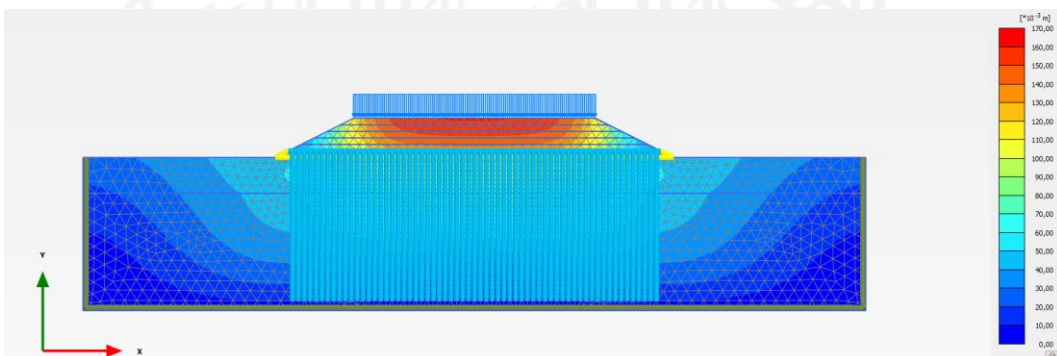
Gambar L-10. 9 Kurva SF Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi



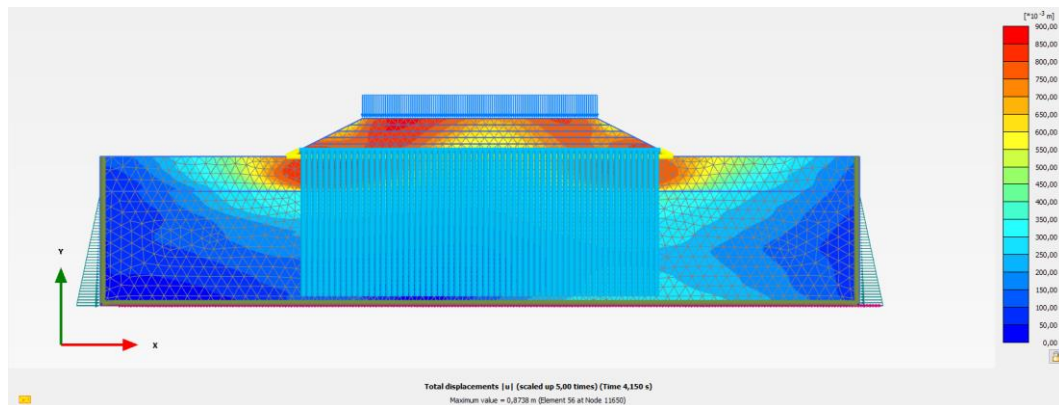
Gambar L-10. 10 *Deformed Mesh* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



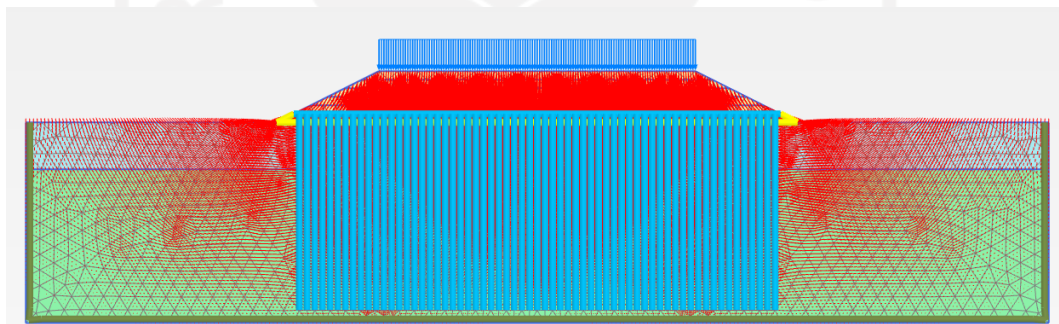
Gambar L-10. 11 *Deformed Mesh* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



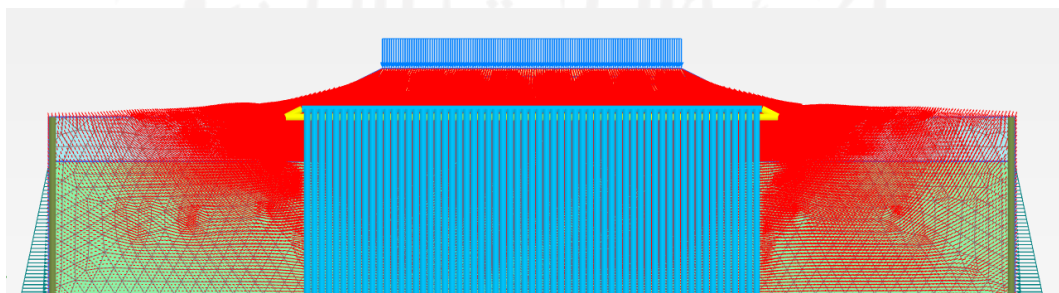
Gambar L-10. 12 *Total Displacement* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



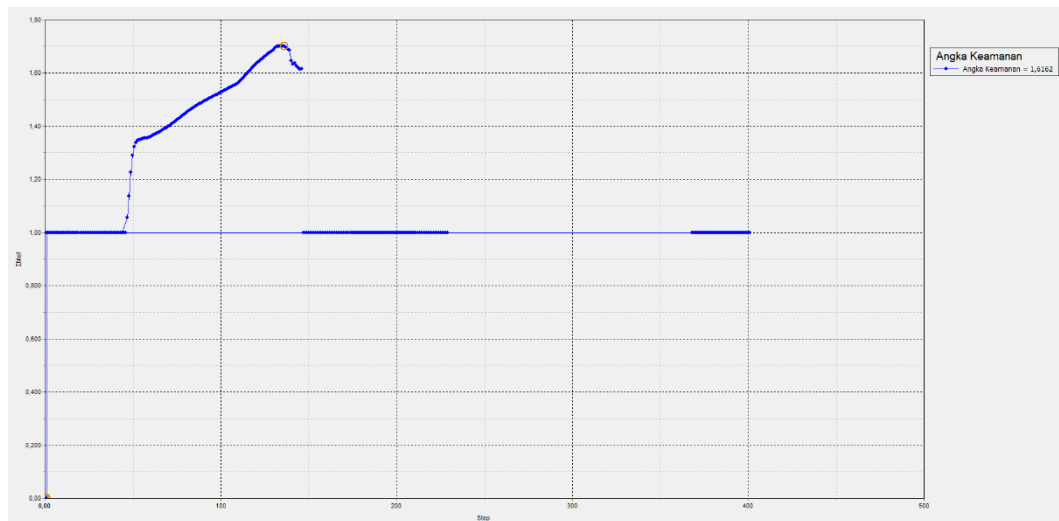
Gambar L-10. 13 Total Displacement Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



Gambar L-10. 14 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



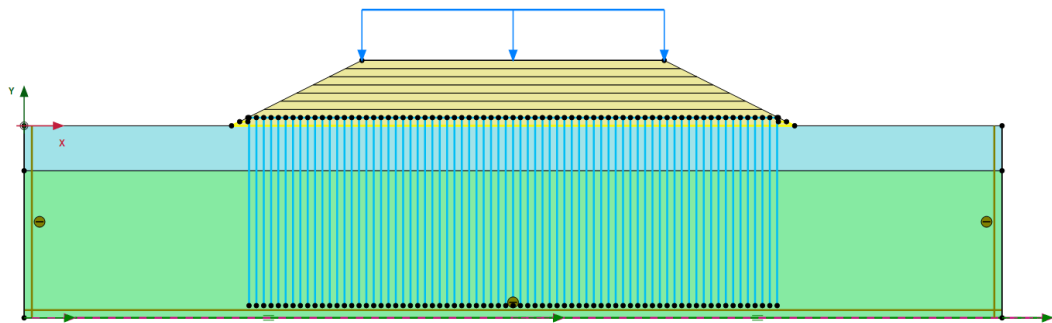
Gambar L-10. 15 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



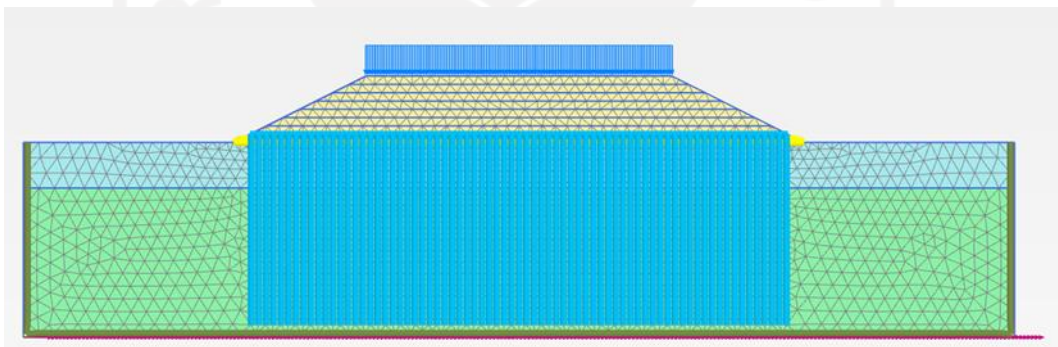
Gambar L-10. 16 Kurva SF Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi



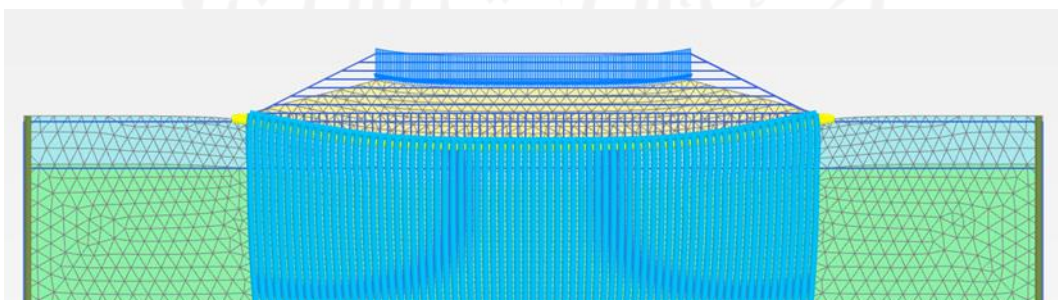
Lampiran 11 Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 8 meter Kondisi Tanah Asli Dengan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil



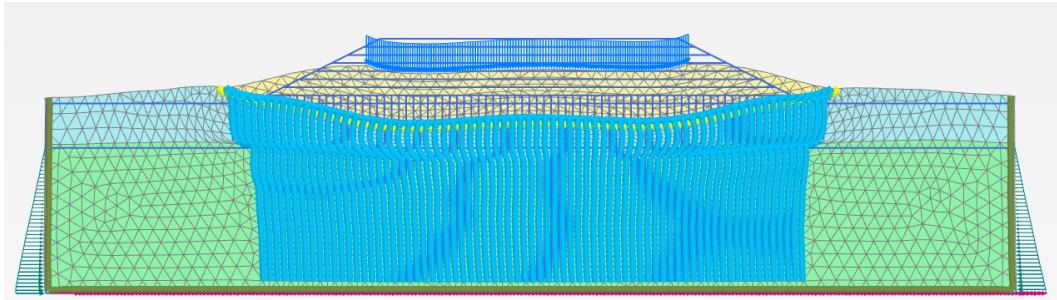
Gambar L-11. 1 Permodelan Timbunan 8 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil



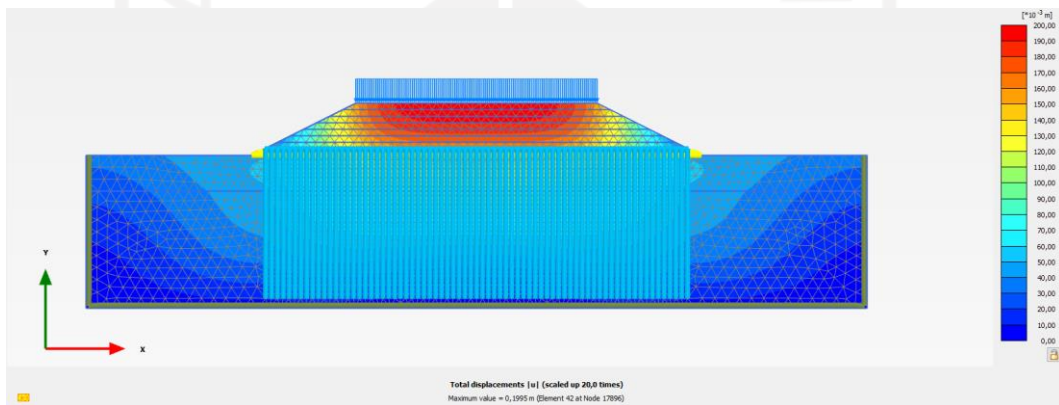
Gambar L-11. 2 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 8 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil



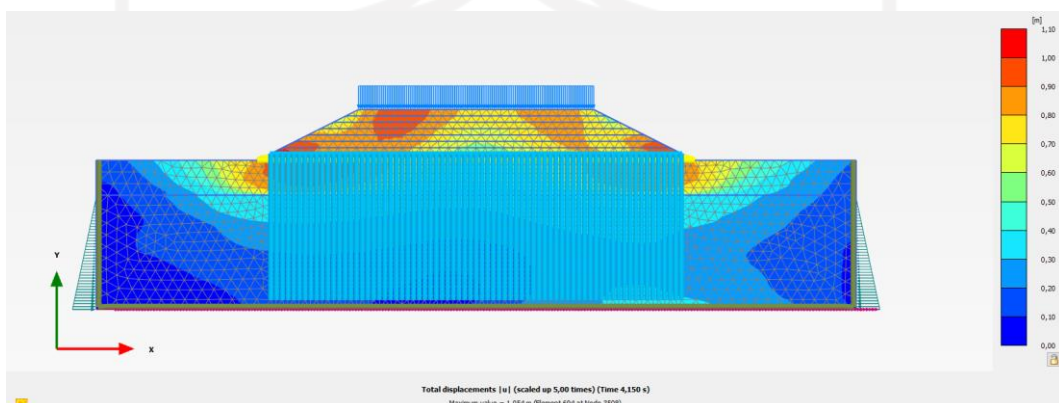
Gambar L-11. 3 *Deformed Mesh* Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



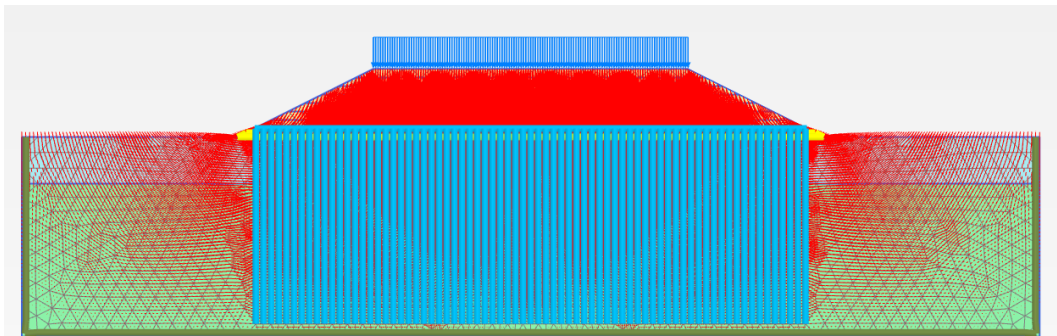
Gambar L-11. 4 *Deformed Mesh* Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan *Perkuatan Prefabricated Vertical Drain* dan *Geotekstil Masa Konstruksi* Akibat *Beban Struktur dan Gempa*



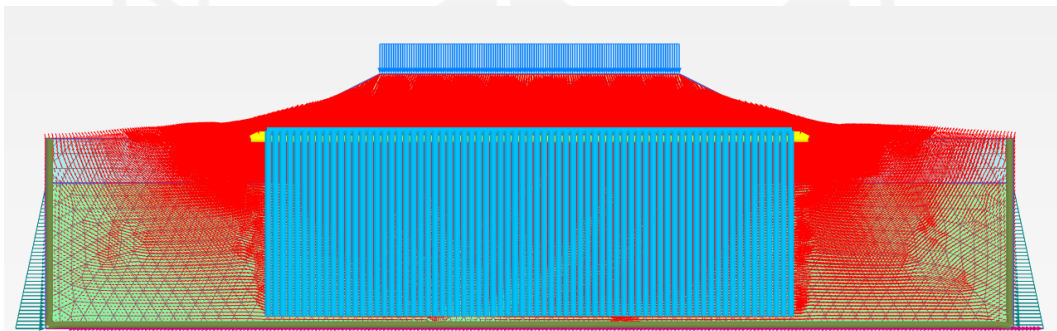
Gambar L-11. 5 *Total Displacement* Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan *Perkuatan Prefabricated Vertical Drain* dan *Geotekstil Masa Konstruksi* Akibat *Beban Struktur*



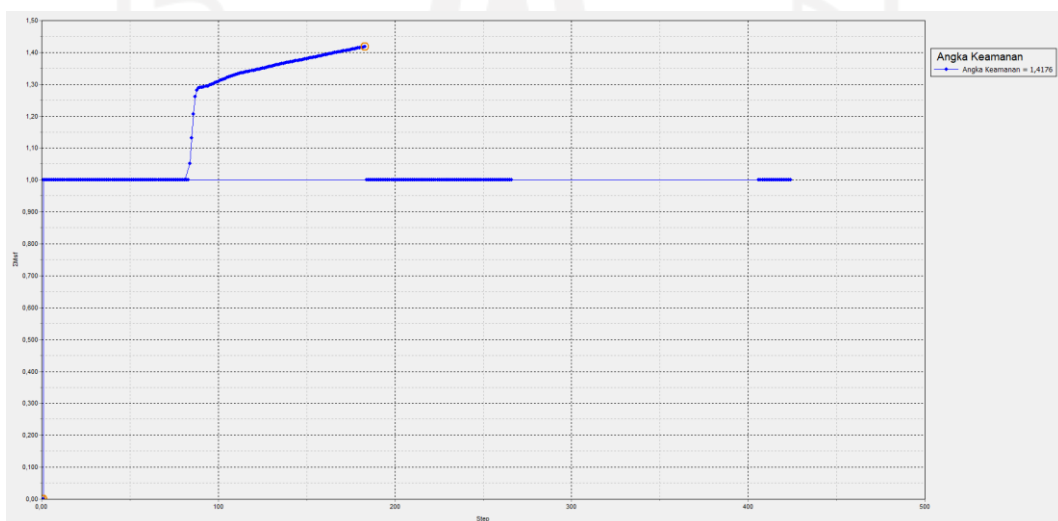
Gambar L-11. 6 *Total Displacement* Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan *Perkuatan Prefabricated Vertical Drain* dan *Geotekstil Masa Konstruksi* Akibat *Beban Struktur dan Gempa*



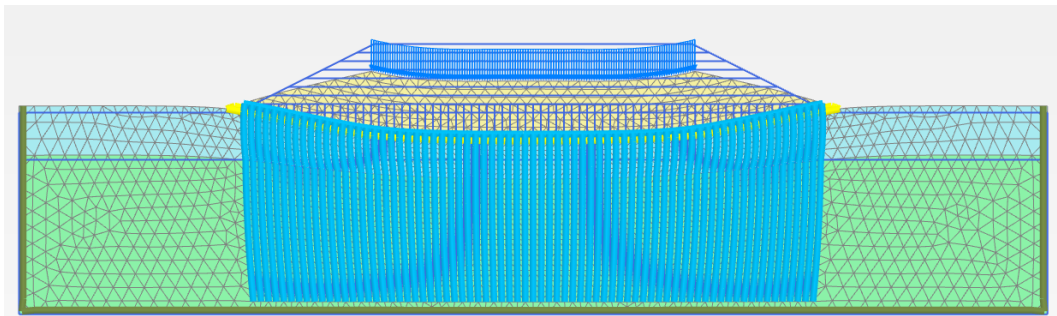
Gambar L-11. 7 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



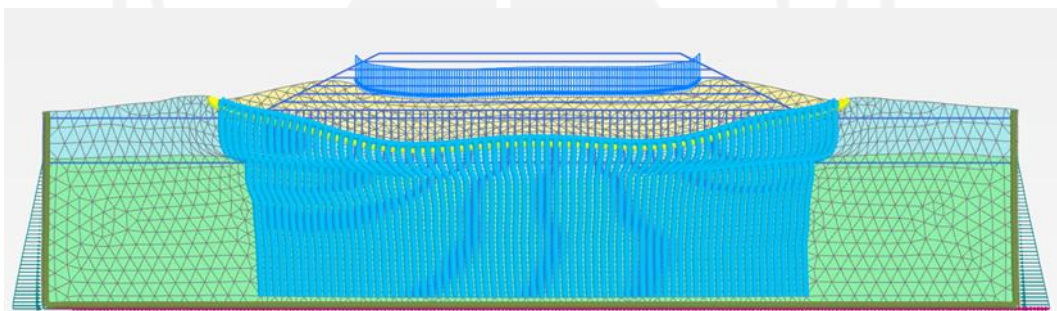
Gambar L-11. 8 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



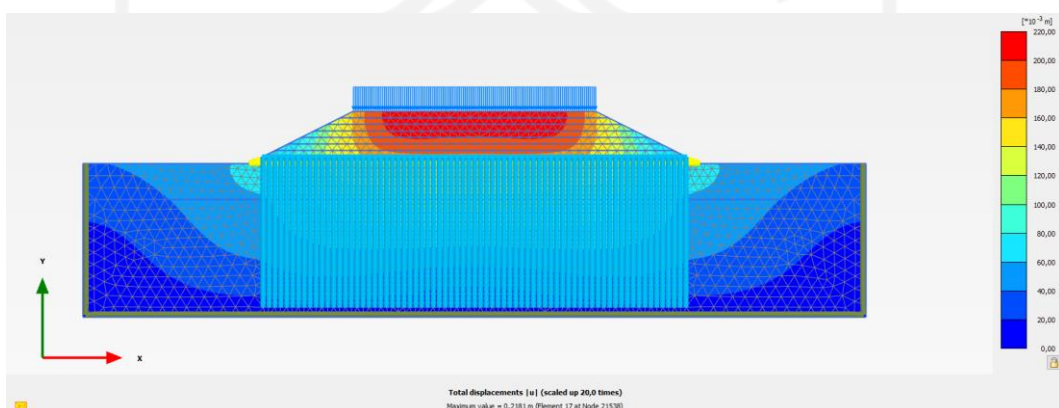
Gambar L-11. 9 Kurva SF Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi



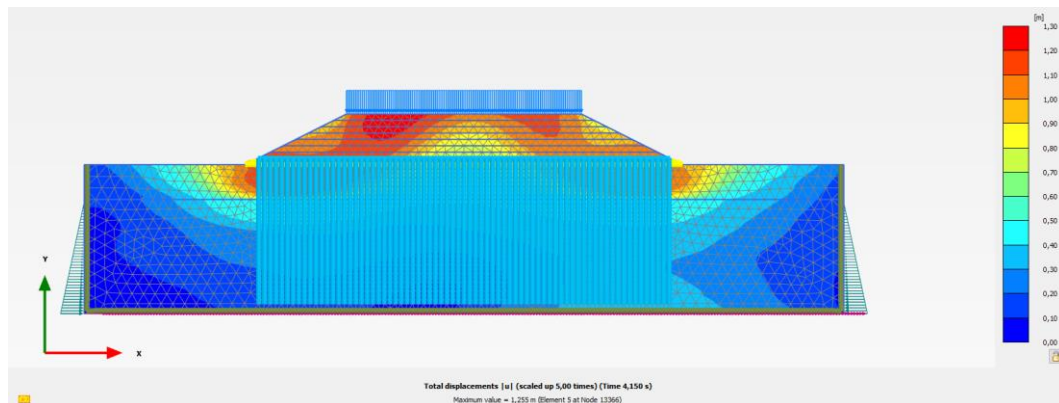
Gambar L-11. 10 *Deformed Mesh* Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



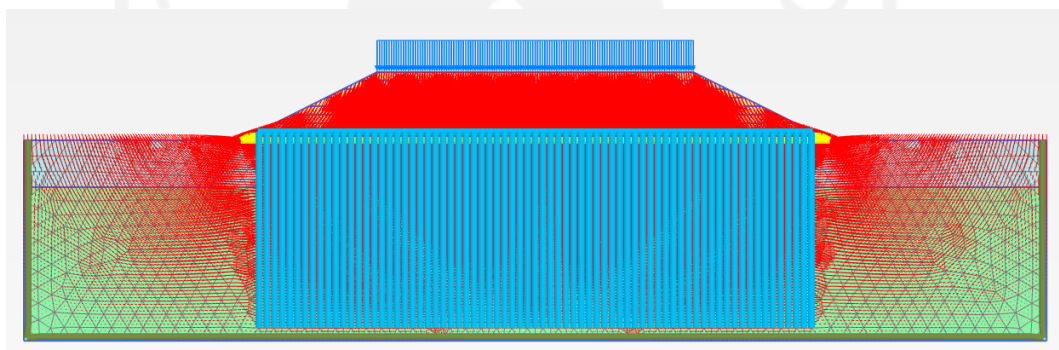
Gambar L-11. 11 *Deformed Mesh* Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



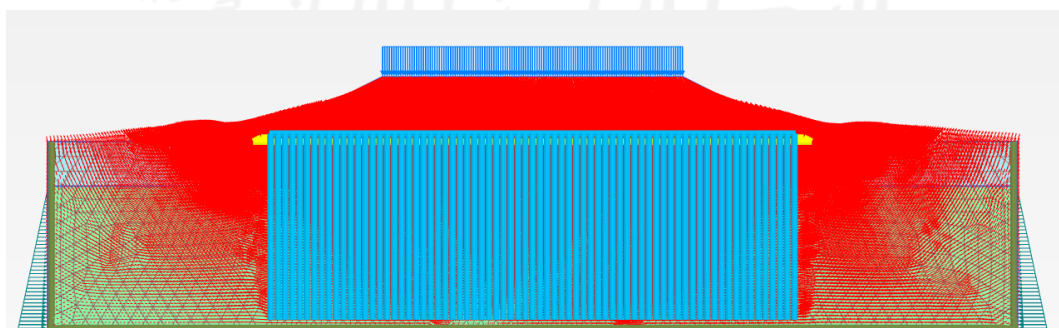
Gambar L-11. 12 *Total Displacement* Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur



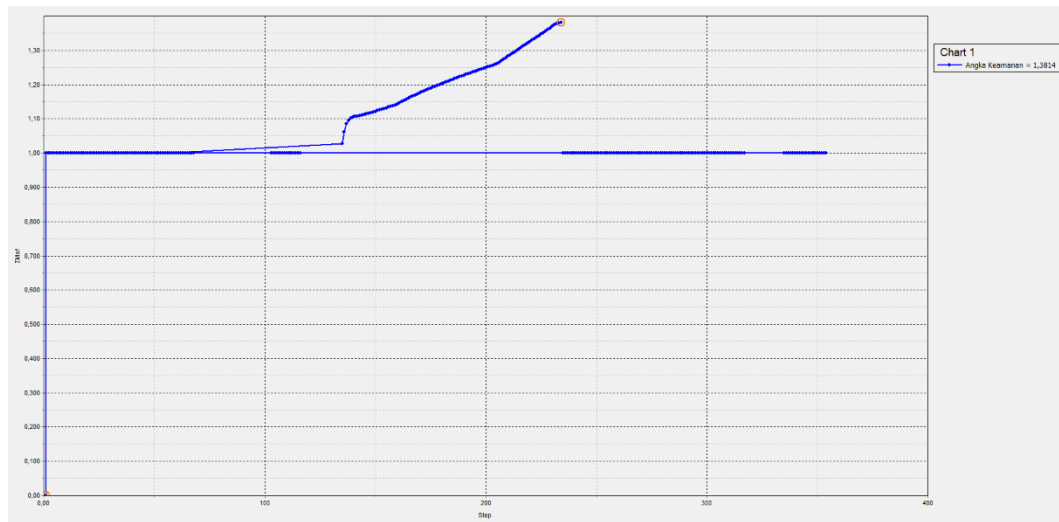
Gambar L-11. 13 Total Displacement Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



Gambar L-11. 14 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



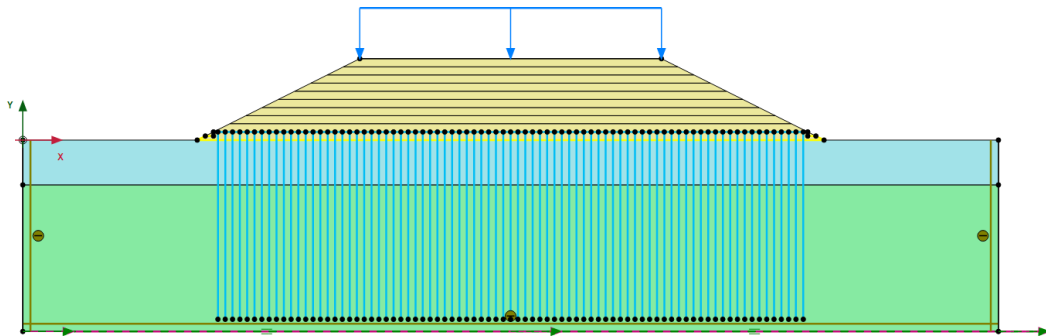
Gambar L-11. 15 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



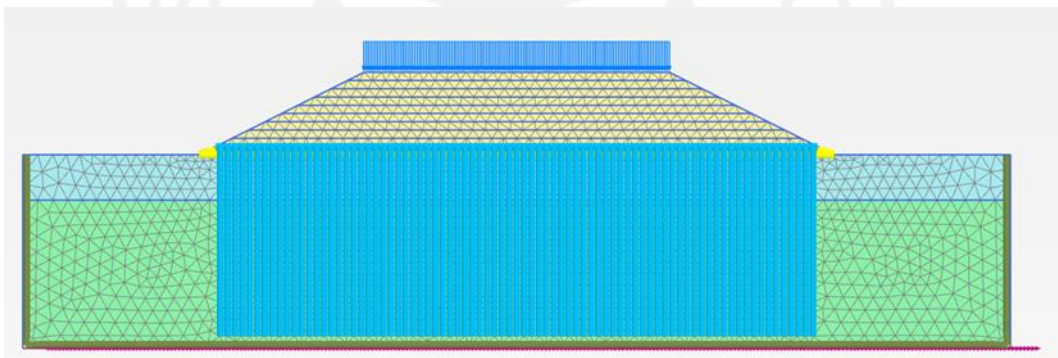
Gambar L-11. 16 Kurva SF Timbunan 8m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi



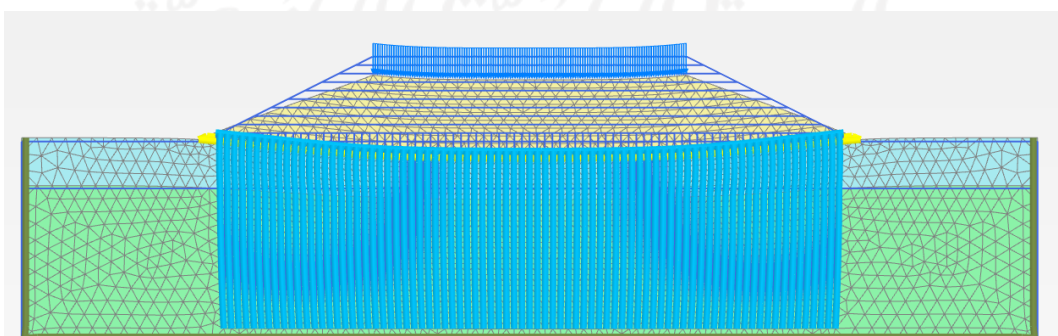
Lampiran 12 Hasil Permodelan Menggunakan PLAXIS Pada Timbunan 10 meter Kondisi Tanah Asli Dengan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil



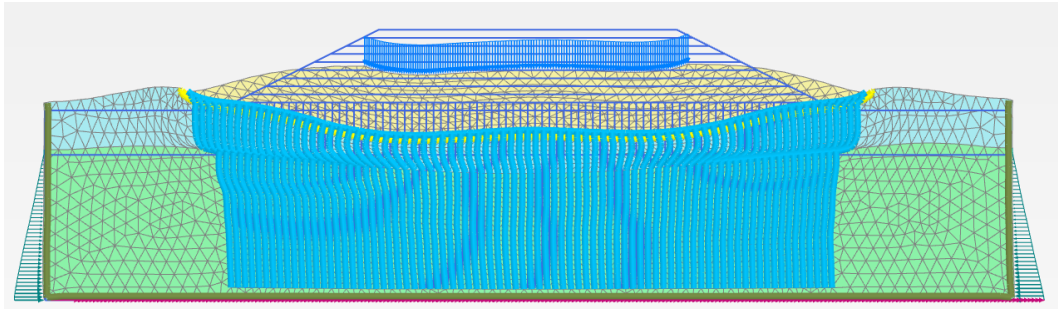
Gambar L-12. 1 Permodelan Timbunan 10 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil



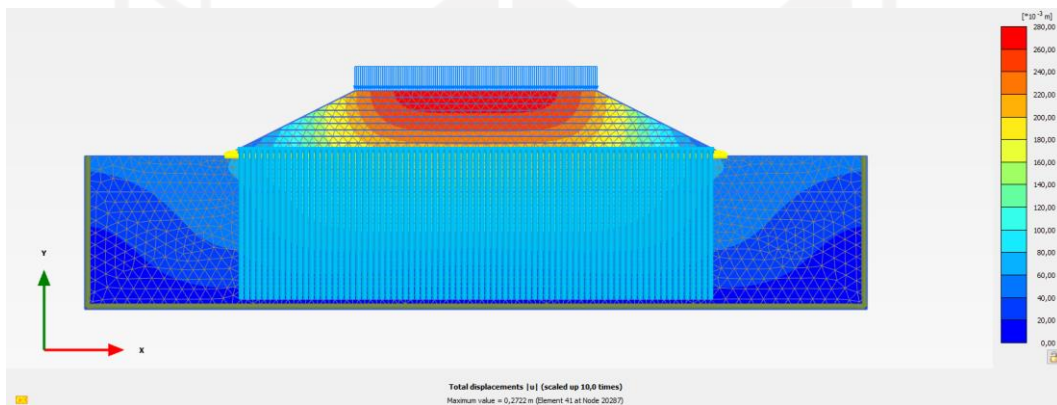
Gambar L-12. 2 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 10 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil



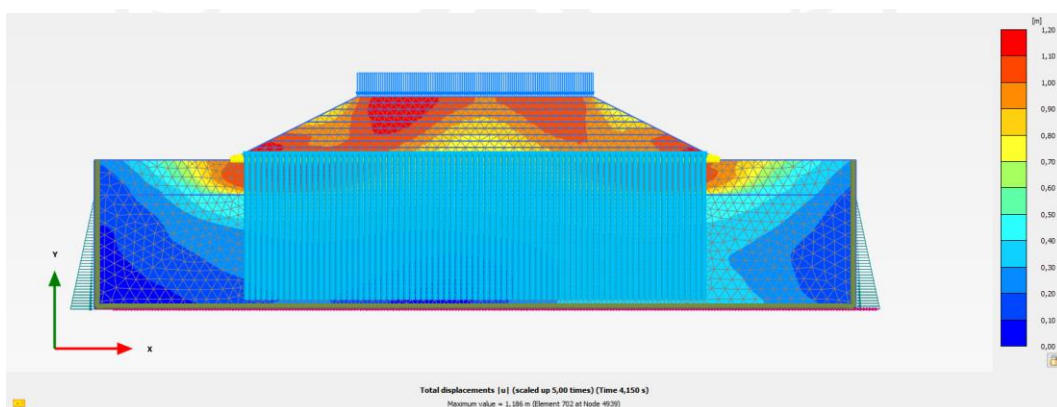
Gambar L-12. 3 *Deformed Mesh* Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



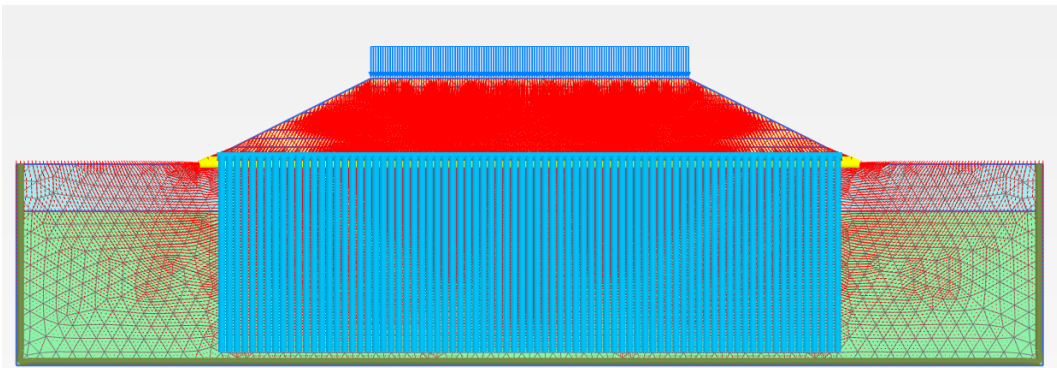
Gambar L-12. 4 *Deformed Mesh* Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



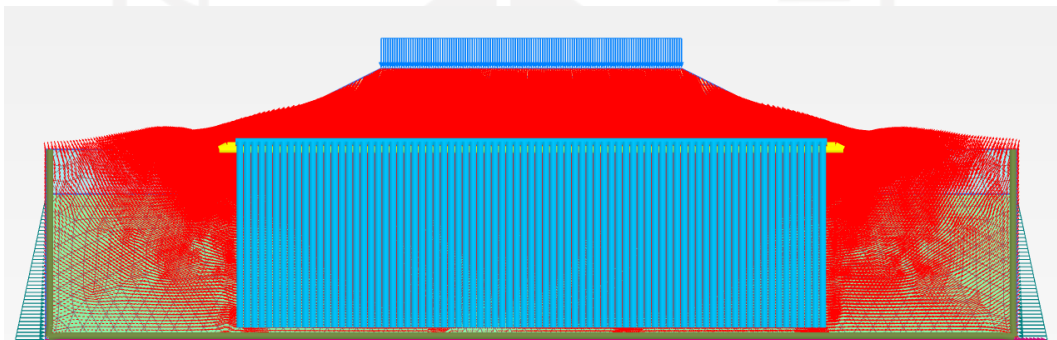
Gambar L-12. 5 *Total Displacement* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



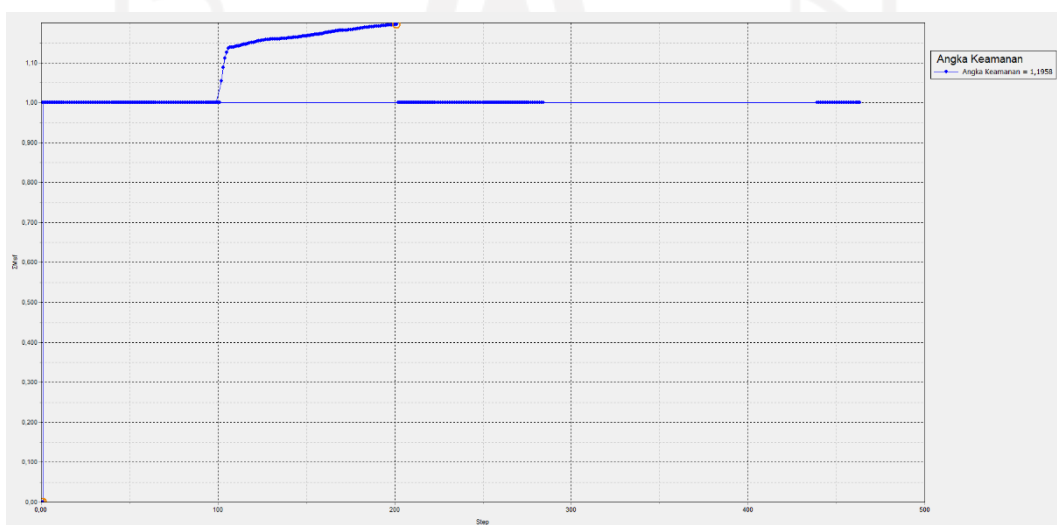
Gambar L-12. 6 *Total Displacement* Timbunan 6m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



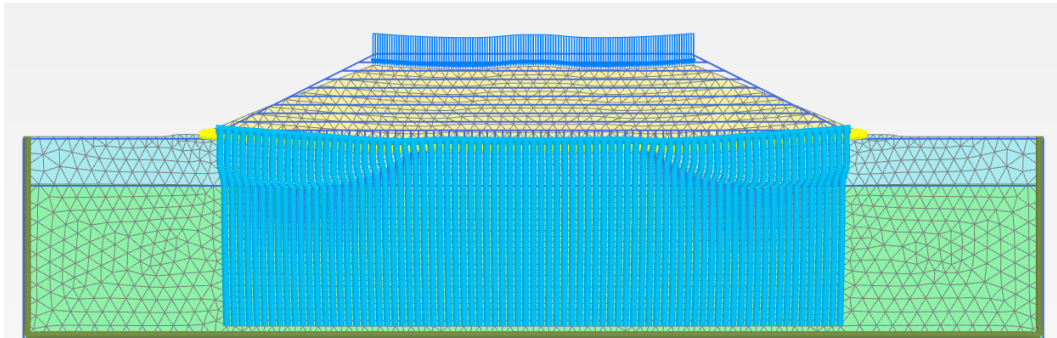
Gambar L-12. 7 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



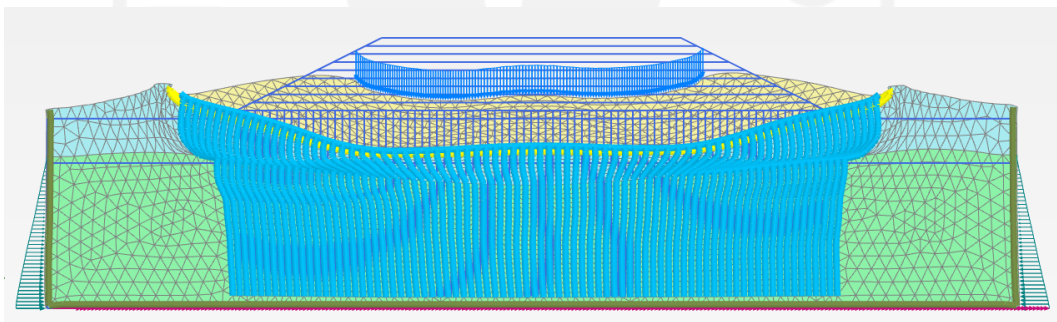
Gambar L-12. 8 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



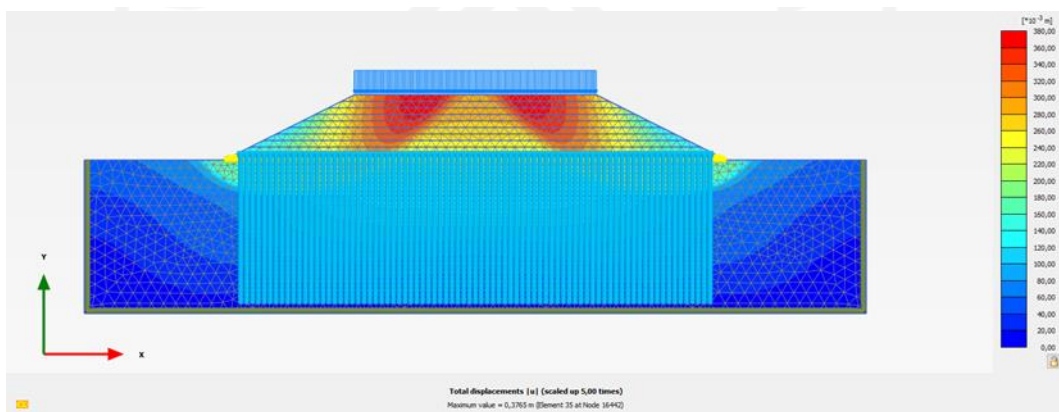
Gambar L-12. 9 Kurva SF Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi



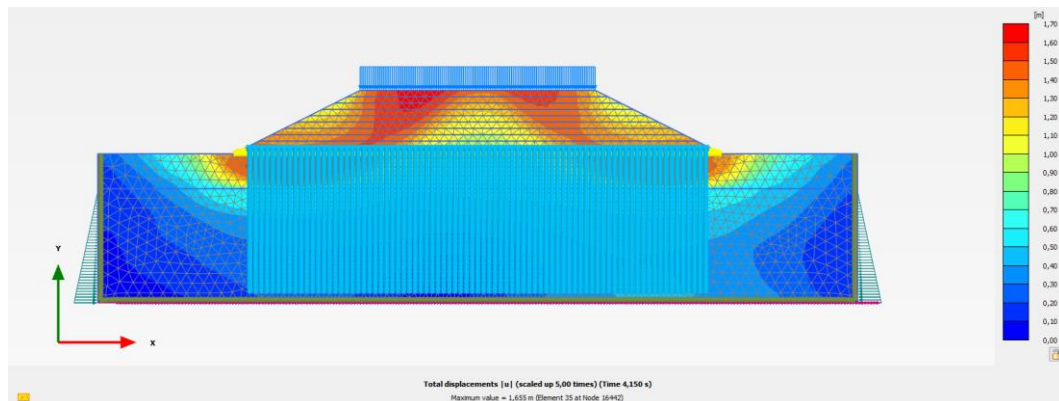
Gambar L-12. 10 *Deformed Mesh* Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat **Beban Struktur**



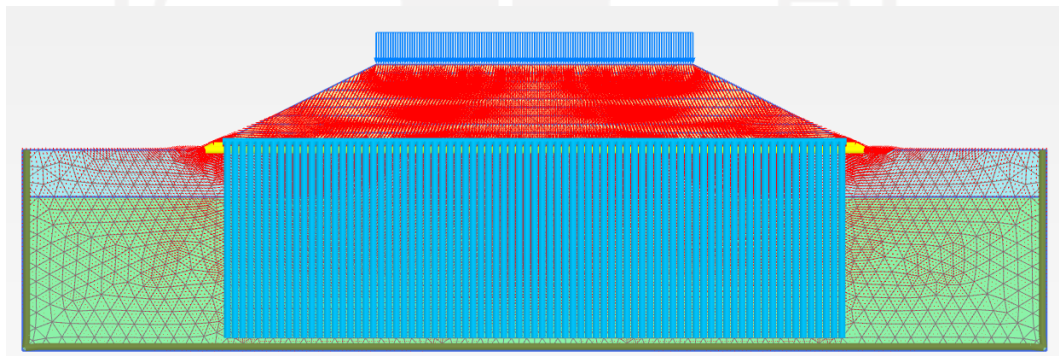
Gambar L-12. 11 *Deformed Mesh* Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat **Beban Struktur dan Gempa**



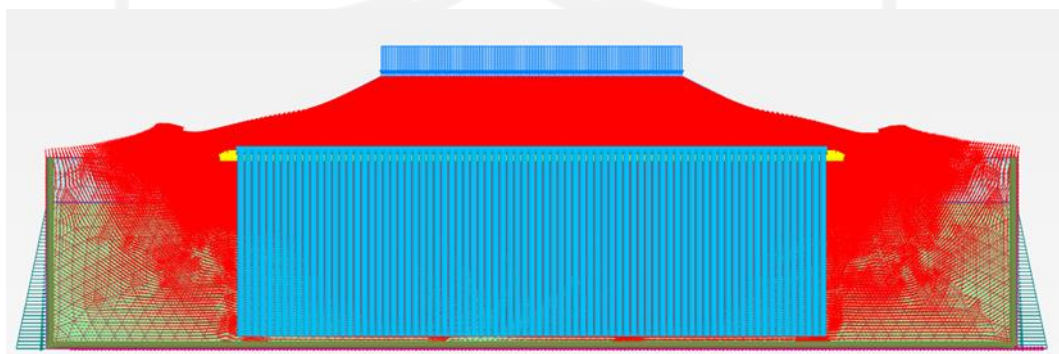
Gambar L-12. 12 *Deformed Mesh* Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat **Beban Struktur**



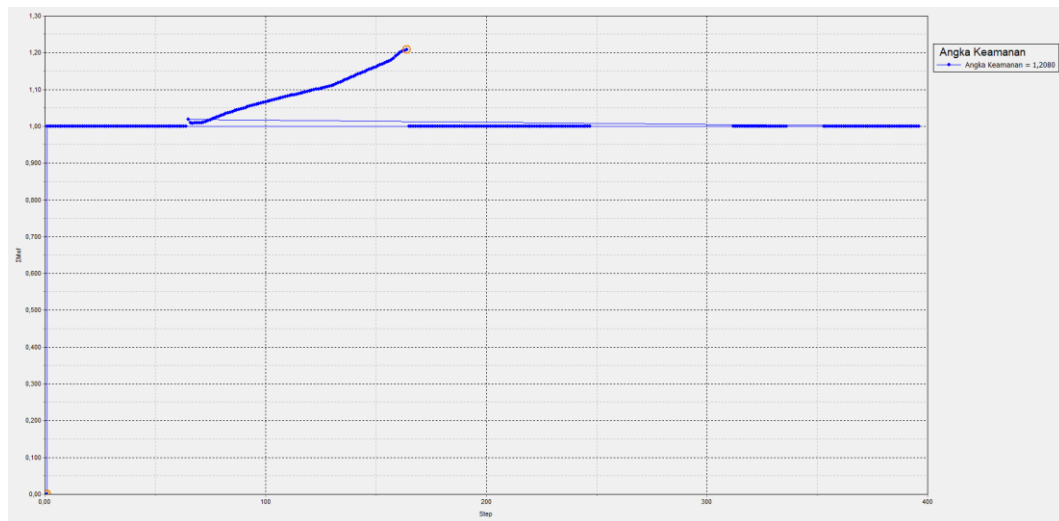
Gambar L-12. 13 Total Displacement Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



Gambar L-12. 14 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur



Gambar L-12. 15 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa



Gambar L-12. 16 Kurva SF Timbunan 10m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan *Prefabricated Drain* dan Geotekstil Paska Konstruksi

