TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS TANAH DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN PROGRAM *PLAXIS* V20

(*ANALYSIS OF SOIL STABILITY REINFORCED WITH GEOTEXTILES USING PLAXIS V20)*

(Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak STA 11+310)

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

Daryn Nurmala Alisha
18511268

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025

TUGAS AKHIR

ANALAISIS STABILITAS TANAH DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN PROGRAM *PLAXIS* V20

(*ANALYSIS OF SOIL STABILITY REINFORCED WITH GEOTEXTILES USING PLAXIS V20)*

(Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak STA 11+310)

Disusun oleh

Daryn Nurmala Alisha
18511268

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

Diuji pada tanggal 11 Agustus 2025
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Dr. Hanindya Kusuma A., S.T., M.T.	**Anisa Nur A., S.T., M.Eng.**	**Miftahul F., S.T., M.T., Ph.D.**
NIK: 045110407	**NIK: 215111305**	**NIK: 955110103**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

12/8 2025

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarja di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun pada bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila 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, 11 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan



Daryn Nurmala Alisha

(18511268)

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur jalan tol merupakan bagian penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan konektivitas antar wilayah. Salah satu tantangan dalam pembangunan jalan tol adalah permasalahan kestabilan lereng timbunan, terutama pada kondisi tanah yang kurang stabil. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng timbunan pada proyek pembangunan Jalan Tol Semarang–Demak STA 11+310, khususnya pada kondisi tanah asli dan tanah yang diperkuat dengan *prefabricated vertical drain* serta geotekstil tipe *woven* GT-250.

Data yang digunakan berupa data sekunder hasil uji laboratorium dan lapangan, serta parameter beban lalu lintas dan gempa sesuai SNI. Analisis dilakukan dengan bantuan program Plaxis V20 yang berbasis elemen hingga, dengan pendekatan pemodelan numerik tiga tahap: input data, perhitungan, dan output hasil.

Berdasarkan hasil analisis, timbunan tanah asli memiliki angka keamanan sebesar 1,81 saat diberi beban kendaraan dan konstruksi, serta menurun menjadi 1,77 saat ditambah beban gempa, menunjukkan kestabilan lereng berkurang akibat beban dinamis. Perkuatan geotekstil meningkatkan faktor keamanan menjadi 2,20 dalam kondisi beban statis dan gempa, menunjukkan efektivitas tinggi dalam meningkatkan kestabilan, sedangkan perkuatan PVD hanya meningkatkan angka keamanan menjadi 1,83 (statis) dan 1,82 (gempa). Dari sisi penurunan tanah, lereng tanpa perkuatan mengalami penurunan 0,3721 meter, lebih besar dibanding geotekstil (0,3691 meter), sementara PVD justru menghasilkan penurunan lebih tinggi, yaitu 0,3786 meter, mengindikasikan bahwa geotekstil lebih efektif dalam menahan deformasi dibanding PVD yang lebih berperan mempercepat konsolidasi.

Kata kunci: faktor keamanan, geotekstil, konsolidasi tanah, Plaxis V20, *prefabricated vertical drain*, stabilitas lereng.

ABSTRACT

The construction of toll road infrastructure is a crucial part of supporting economic growth and interregional connectivity. One of the challenges in toll road construction is the issue of embankment slope stability, especially in areas with weak soil conditions. This study aims to analyze the stability of embankment slopes in the Semarang–Demak Toll Road construction project at STA 11+310, particularly in original soil conditions and soil reinforced with prefabricated vertical drains and woven geotextile type GT-250.

The data used in this study are secondary data obtained from laboratory and field tests, as well as traffic load and earthquake parameters in accordance with Indonesian National Standards (SNI). The analysis was carried out using the Plaxis V20 program based on the finite element method, with a three-stage numerical modeling approach: data input, computation, and output analysis.

Based on the analysis, the original soil embankment has a safety factor of 1.81 under vehicle and construction loads, which decreases to 1,77 when seismic loads are added, indicating that slope stability is reduced under dynamic loading. The use of geotextile reinforcement increases the safety factor to 2,20 under both static and seismic loads, demonstrating its high effectiveness in enhancing slope stability, while PVD reinforcement raises the safety factor to 1,83 (static) and 1,82 (seismic). In terms of soil settlement, the unreinforced slope experiences a settlement of 0,3721 meters, which is higher than that of the geotextile-reinforced slope at 0,3691 meters, while the PVD-reinforced slope shows a slightly higher settlement of 0,3786 meters. This indicates that geotextile is more effective in minimizing deformation, whereas PVD primarily functions to accelerate consolidation.

***Keywords**: geotextile, Plaxis V20, prefabricated vertical drain, safety factor, slope stability, soil consolidation.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas diberikan kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **"Analisis Stabilitas Tanah Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program *Plaxis* V20 (Studi Kasus Pembangunan Proyek Jalan Tol Semarang – Demak Sta 11+310)"**. Karya ilmiah ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak waktu, tenaga dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir.
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. dan Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan saran, masukan, dan kritik untuk kesempurnaan Tugas Akhir.
3. Seluruh dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencananaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu selama masa kuliah.
4. Bapak dan Ibu penulis yang selalu mendukung dan mendoakan penulis kapanpun dan di manapun. Terima kasih atas kasih sayang dan pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis, sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan studi sampai Sarjana.
5. Kedua adik penulis, Brina dan Laksa yang menjadi semangat penulis untuk menyelesaikan studi.
6. Seluruh keluarga besar yang selalu memberikan doa dan semangat.
7. Sahabat-sahabat penulis sejak SMP hingga kuliah yaitu Ella, Sese, Emil, Yana, Deyak, Wulan, Lintang, Hape, Lupi, Lili, Riska, Kikik, Syifa, Vira, Mivtah atas

segala bentuk dukungan, semangat dan kehadiran kalian yang senantiasa menguatkan baik secara langsung maupun tidak langsung.

8. Teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2018 yang ikut terlibat selama proses penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Serta pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan bagi mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencananaan, Universitas pada khususnya.

Yogyakarta, 11 Agustus 2025

Daryn Nurmala Alisha
18511268

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

HALAMAN PENGESAHAN ii

LEMBAR PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii

ABSTRAK iv

ABSTRACT v

KATA PENGANTAR vi

DAFTAR ISI viii

DAFTAR TABEL xii

DAFTAR GAMBAR xiii

DAFTAR LAMPIRAN xvii

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xviii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 2

1.4 Manfaat Penelitian 3

1.5 Batasan Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Tinjauan Umum 5

2.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil 5

2.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Fellenius 5

2.4 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil 6

2.5 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* 7

2.6 Perbandingan Penelitian yang Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan 9

BAB III LANDASAN TEORI 11

3.1 Tanah 11

3.1.1 Definisi Tanah 11

3.1.2 Klasifikasi Tanah 12

3.1.3 Komponen-komponen Tanah 14

3.2 Lereng 18

3.2.1 Stabilitas Lereng 19

3.2.2 Faktor Keamanan 20

3.2.3 Metode Fellenius 20

3.3 Perkuatan Lereng 23

3.3.1 Pengertian Umum 23

3.3.2 Geotekstil 23

3.3.3 Perkuatan Menggunakan Geotekstil 25

3.3.4 *Prefabricated Drain* 29

3.4 Konsolidasi 32

3.4.1 Pengertian Umum 33

3.4.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi konsolidasi 33

3.4.3 Penurunan Konsolidasi Primer (*Primary Consolidation Settlement*) 33

3.4.4 Parameter Perhitungan Penurunan 34

3.5 *Plaxis* 40

3.5.1 Pendahuluan 40

3.5.2 Analisis Stabilitas Lereng menggunakan *PLAXIS V20* 41

BAB IV METODE PENELITIAN 42

4.1 Tinjauan Umum 42

4.2 Data Penelitian 42

4.3 Tahapan Penelitian 42
4.4 Analisis Data 43
4.4.1 Parameter Tanah 43
4.4.2 Geotekstil 43
4.4.3 Beban Perkerasan Lalu Lintas 43
4.4.4 *Prefabricated Drain* 44
4.4.5 Beban Gempa 44
4.5 Pengoperasian Program *Plaxis* 45
4.5.1 *Plaxis Input* 45
4.5.2 *Plaxis Calculation* 49
4.5.3 *Plaxis Output* 50
4.6 Bagan Alir Penelitian 50
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 53
5.1 Gambaran Umum Analisis 53
5.1.1 Data Penelitian 53
5.1.2 Perhitungan Manual Dengan Metode Fellenius 54
5.2 Analisis Stabilitas Timbunan 61
5.2.1 Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan 61
5.2.2 Perhitungan Geotekstil 66
5.2.3 Stabilitas Eksternal 68
5.2.4 Stabilitas Internal 70
5.2.5 Cek Gaya Tarik Tanah – Geotekstil 71
5.2.6 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Tanah 71
5.2.7 Timbunan Tanah Dengan Geotekstil 78
5.2.8 Timbunan Tanah Asli Perkuatan PVD 83
5.3 Pembahasan 88
5.3.1 Angka Keamanan 89
5.3.2 *Total Displacement* 90
5.3.3 Konsolidasi 93
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 94

6.1 Kesimpulan 94
6.2 Saran 95
6.2.1 Variasi Metode Analisis Kestabilan Lereng 95
6.2.2 Gunakan Variasi Timbunan 96
DAFTAR PUSTAKA 97
LAMPIRAN 100

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian 9
Tabel 3. 1 Klasifikasi Tanah Sistem USCS 12
Tabel 3. 2 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO 13
Tabel 3. 3 Nilai Koefisien Permeabilitas 16
Tabel 3. 4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah 16
Tabel 3. 5 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson 17
Tabel 3. 6 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Kohesi 18
Tabel 3. 7 Hubungan Antara Sudut Geser dengan Jenis Tanah 18
Tabel 3. 8 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng 19
Tabel 3. 9 Faktor Keamanan Lereng 20
Tabel 4. 1 Data Parameter Geotekstil Woven GT-250 43
Tabel 4. 2 Data Parameter Beban Lalu Lintas 44
Tabel 4. 3. Spesifikasi *Prefabricated Vertical Drain* 44
Tabel 5. 1 Data Parameter Beban Lalu Lintas 54
Tabel 5. 2 Parameter Tanah Masing-Masing Lapisan 61
Tabel 5. 3 Perhitungan Stabilitas Lereng 58
Tabel 5. 4 Data Geotekstil Woven GT-250 67
Tabel 5. 5 Nilai Koefisien Daya Dukung Tanah 68
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Perhitungan Penurunann Konsolidasi 73
Tabel 5. 7 Rekapitulasi Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (Uv) Tanpa PVD 74
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Hasil Analisis Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD 78
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Menggunakan Metode Fellenius 89
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Total Displacement* Dengan *Plaxis* V20 91
Tabel 5. 11 Waktu Konsolidasi Sampai Penurunan 90% 93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 2 Diagram Fase Tanah 14
Gambar 3. 3 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan (Sumber: Das, 2002) 19
Gambar 3. 4 Gambar Ilustrasi Gaya-Gaya Pada Setiap Irisan Dengan Metode Fellenius 21
Gambar 3. 5 Geotekstil *Non-Woven* 24
Gambar 3. 6 Geotekstil *Woven* 24
Gambar 3. 7 Pemasangan Geotekstil Pada Timbunan 25
Gambar 3. 8 Lereng Timbunan di Atas Tanah Lunak 25
Gambar 3. 9 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral 26
Gambar 3. 10 *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) 30
Gambar 3. 11 Modifikasi Jarak Tempuh Air 30
Gambar 3. 12 Pola PVD (Kiri Pola Bujur Sangkar, Kanan Pola Segitiga) 32
Gambar 3. 13 *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) 32
Gambar 3. 14 Faktor Pengaruh Akibat Beban 35
Gambar 4. 1 Peta Zonasi Gempa 45
Gambar 4. 3 Kotak *Dialog Project Properties* 46
Gambar 4. 4 Jendela *Model Properties* 46
Gambar 4. 5 Lembar *Tab General* dari Jendela *Material Sets* 47
Gambar 4. 6 Lembar *Tab Parameters* dari Jendela *Material Sets* 48
Gambar 4. 7 Jaringan Elemen Hingga (*Meshing*) 48
Gambar 4. 8 Jendela *Phase* dengan Lembar *Tab General* 49
Gambar 4. 9 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau 50
Gambar 4. 10 Jendela *Output* Perhitungan 50
Gambar 4. 11. Bagan Air Penelitian 51
Gambar 4. 12 Bagan Alir Plaxis 52
Gambar 5. 1 Potongan Peta Stasiun Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Sta 11+310 53
Gambar 5. 2 Penampang Irisan Pada Timbunan 5,5 m 55

Gambar 5. 3 Geometri Kondisi Eksisting Lereng Tanah Menggunakan PVD dan Geotekstil 60
Gambar 5. 4 Pemodelan Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Asli 61
Gambar 5. 5 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Asli 62
Gambar 5. 6 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Asli Akibat Beban Struktur dan Kendaraan 63
Gambar 5. 7. *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Asli Akibat Beban Struktur dan Gempa 63
Gambar 5. 8 *Total Displacement* Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Asli Akibat Beban Struktur dan Kendaraan 64
Gambar 5. 9 Total *Displacement* Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Asli Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur, Kendaraan, dan Gempa 64
Gambar 5. 10 Arah Pergerakan Tanah Timbunan Akibat Beban Struktur dan Kendaraan 65
Gambar 5. 11 Arah Pergerakan Tanah Timbunan Akibat Beban Struktur, Kendaraan dan Gempa 65
Gambar 5. 12 Kurva *SF* Timbunan Kondisi Tanah Asli Beban Konstruksi, dan Kendaraan 66
Gambar 5. 13 Kurva *SF* Timbunan Kondisi Tanah Asli Beban Konstruksi, Kendaraan, dan Gempa 66
Gambar 5. 14 Grafik Hubungan Waktu dan Derajat Konsolidasi Tanpa PVD 75
Gambar 5. 15 Pemasangan PVD *Triangular Pattern* Sumber: *Geotextiles and Geomembranes* dalam Barimbing, 2017) 75
Gambar 5. 16 Grafik Hubungan Waktu dan Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD 78
Gambar 5. 17 Pemodelan Timbunan 5,5 m Kondisi Perkuatan Geotekstil 79
Gambar 5. 18 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Perkuatan Geotekstil 80
Gambar 5. 19 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Kendaraan 80

Gambar 5. 20 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Perkuatan Geotestil Akibat Beban Struktur, Kendaraan Dan Gempa 80
Gambar 5. 21 Total *Displacement* Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Kendaraan 81
Gambar 5. 22 Total *Displacement* Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur, Kendaraan Dan Gempa 81
Gambar 5. 23 Arah Pergerakan Tanah Perkuatan Geotekstil Timbunan Akibat Beban Struktur dan Kendaraan 82
Gambar 5. 24 Arah Pergerakan Tanah Perkuatan Geotekstil Timbunan Akibat Beban Struktur, Kendaraan Dan Gempa 82
Gambar 5. 25 Kurva *SF* Timbunan Kondisi Tanah Perkuatan Geotekstil Beban Konstruksi, dan Kendaraan 83
Gambar 5. 26 Kurva *SF* Timbunan Kondisi Tanah Perkuatan Geotekstil Beban Konstruksi, Kendaraan, dan Gempa 83
Gambar 5. 27 Pemodelan Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Perkuatan PVD 84
Gambar 5.28 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah PVD 84
Gambar 5. 29 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Perkuatan PVD Akibat Beban Struktur dan Kendaraan 85
Gambar 5. 30 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Perkuatan PVD Akibat Beban Struktur, Kendaraan dan Gempa 85
Gambar 5. 31 Total *Displacement* Kondisi Tanah Perkuatan PVD Akibat Beban Struktur dan Kendaraan 86
Gambar 5. 32 *Total Displacement* Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Perkuatan PVD Akibat Beban Struktur, Kendaraan Dan Gempa 86
Gambar 5. 33 Arah Pergerakan Tanah Perkuatan PVD Timbunan Akibat Beban Struktur dan Kendaraan 87
Gambar 5. 34 Arah Pergerakan Tanah Timbunan Perkuatan PVD Akibat Beban Struktur, Kendaraan dan Gempa 87
Gambar 5. 35 Kurva *SF* Timbunan Kondisi Tanah Peruatan PVD dan Geotekstil Beban Konstruksi dan Kendaraan 88

Gambar 5. 36 Kurva *SF* Timbunan Kondisi Tanah Peruatan PVD dan Geotekstil Beban Konstruksi, Kendaraan, dan Gempa 88
Gambar 5. 37 Rekapitulasi SF 90
Gambar 5. 38 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Total Displacement* Dengan *Plaxis* V20 91
Gambar 5. 39 Waktu Konsolidasi Sampai Penurunan 90% 93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Geotekstil 101
Lampiran 2. Data Penyelidikan Tanah 102

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Ww = Berat air (kg/m³)
Ws = Berat butiran padat (kg/m³)
Wi = Berat irisan tanah (kN)
W = Berat total (kN)
Vw = Volume air (m³)
Vv = Volume rongga (m³)
Vs = Volume butiran padat (m³)
Va = Volume udara (m³)
V = Volume total (m³)
φ = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil (°)
σhc = Tegangan ultimit (kN/m²)
θi = Sudut yang didefinisikan (°)
γb = Berat volume tanah (kN/m³)
γ = Berat volume tanah (kN/m³)
ui = Tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m²)
qσ = Berat volume tanah efektif.
ai = Panjang bagian lingkaran pada irisan ke-i (m)
Lef = Panjang efektif geotekstil (m)
Lo = Panjang overlapping (m)
l = Faktor pengaruh
H = Tebal lapisan tanah (m)
F = Faktor aman
ψ = Sudut dilatasi (°)
φ’ = Sudut geser dalam tanah efektif (°)
φ = Sudut geser dalam tanah (°)
τ’f = Tegangan geser efektif pada saat terjadi keruntuhan
τ = Kuat geser tanah (kN/m²)
σ’f = Tegangan normal efektif pada saat terjadi keruntuhan

σ’ = Tegangan normal efektif (kN/m²)

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

θi = Sudut yang didefinisikan

θ = Sudut keruntuhan (°)

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

Zi = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m)

Uv = Derajat konsolidasi arah vertikal (°)

Ui = Tekanan air pori di dasar irisan (kPa)

U1, Ur = Tekanan air pori yang bekerja dikedua sisi irisan, dan

u = Tekanan air pori (kN/m²)

U = Derajat konsolidasi rata-rata (°)

Tv = Faktor waktu (detik)

Ti = Resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

Th = Faktor waktu untuk drainase arah radial

Tc = Waktu konsolidasi dengan PVD

Ta = Kuat tarik geotekstil allowable

t = Waktu konsolidasi (detik)

Sv = Jarak tulangan arah vertikal (m)

SF = Faktor aman

Sc = Penurunan konsolidasi primer

S = Spacing atau jarak antar PVD

R = Jari-jari lingkaran bidang longsor

q = Beban merata (kN/m²)

Po’ = Tekanan overburden efektif

Pc’ = Tekanan prakonsolidasi

p = Panjang PVD

Ni = Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

n = Jumlah irisan

m = Bilangan bulat

LL = Batas cair (%)

L = Lebar irisan yang terkenan beban (m)

l = Lebar PVD

Ka = Koefisien tanah aktif

Hn = Tebal lapisan ke-n (cm)

Hdr = Jarak air pori (m)

H1 = Tebal lapisan ke-1

H = Tinggi lapisan tanah (m)

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

F(n) = Faktor hambatan

eo = Angka pori

E1, Er = Gaya normal efektif di sepanjang sisi irisan

e = Nilai eksentrisitas tanah (m)

Dw = Diameter ekuivalen PVD

De = Diameter jangkauan PVD

D = Diameter zona pengaruh satu drain

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

Cv = Koefisien konsolidasi (m^2/tahun)

Cs = Indeks pemuaian/mengembang

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

Cv = Koefisien konsolidasi arah horizontal

Cc = Indeks pemampatan

c’ = Kohesi tanah efektif (kN/m^2)

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

b = Ketebalan PVD

Ai = Luas irisan tanah (m^2)

a = Lebar PVD

Δp = Distribusi tekanan

$\emptyset$ = Sudut gesek dalam tanah (°)

$\gamma_{timbunan}$ = Tebal lapisan tanah (KN/ m^3)

γ' = Berat volume tanah efektif (KN/ m^3)

dw = Diameter PVD (m)

Ur = Derajat konsolidasi arah horizontal

Uv = Derajat konsolidasi arah vertikal

UH = Derajat konsolidasi arah radial

TH = Faktor waktu radial

CV = Koefisien konsolidasi (cm^2/s)

$\Delta l / l$ = Regangan pada geotekstil

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ekonomi yang pesat di Indonesia tercermin dari perluasan kawasan industri, pertumbuhan permukiman, dan peningkatan intensitas aktivitas bisnis. Fenomena ini mendorong perlunya infrastruktur transportasi yang memadai guna menjamin kelancaran konektivitas antar wilayah, yang pada gilirannya menunjang efisiensi aktivitas ekonomi. Interaksi ekonomi tersebut ditandai dengan pertukaran barang dan jasa memerlukan sistem transportasi yang andal agar distribusi antarwilayah dapat berlangsung optimal. Ketersediaan infrastruktur yang baik akan mempercepat laju pertumbuhan ekonomi nasional. Pembangunan jalan tol sering kali dijadikan salah satu indikator utama dalam mengukur kemajuan perekonomian suatu negara, baik dalam konteks makroekonomi maupun mikroekonomi. Oleh karena itu, proyek pembangunan Jalan Tol Semarang Demak diharapkan mampu memperkuat sistem konektivitas antarwilayah di Provinsi Jawa Tengah. Jalan tol tersebut dirancang sebagai jalur transportasi strategis yang mengintegrasikan kawasan industri dengan pelabuhan yang berada di wilayah Demak, sehingga mendukung kelancaran arus logistik dan mobilitas ekonomi secara lebih efisien.

Pada proyek konstruksi, khususnya dalam pembangunan infrastruktur jalan, permasalahan kelongsoran lereng merupakan fenomena yang kerap terjadi, terutama saat curah hujan meningkat. Kondisi ini umumnya dipicu oleh naiknya tekanan air pori dalam tubuh lereng, yang menyebabkan menurunnya kekuatan geser tanah serta berkurangnya nilai sudut geser dalam. Stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh sejumlah faktor yang dapat menimbulkan tegangan geser pada seluruh massa tanah. Suatu kelongsoran akan terjadi apabila tegangan geser yang berkembang pada bidang runtuh melebihi kekuatan geser tanah yang tersedia untuk menahan pergerakan tersebut (Bowles, 1991).

Lereng timbunan terbentuk dari akumulasi material hasil pekerjaan penggalian, yang umumnya memiliki karakteristik fisik berbeda dengan lereng alami. Kondisi ini menjadikan lereng timbunan cenderung lebih rentan terhadap ketidakstabilan, karena material penyusunnya bersifat lepas (*loose*) dan telah mengalami proses pengembangan volume (*swell*). Oleh karena itu, area timbunan memerlukan penanganan teknik yang lebih cermat dan terencana. Stabilitas lereng secara umum dinilai berdasarkan nilai faktor keamanan (*safety factor*), yakni perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya penggerak massa tanah. Lereng dianggap berada dalam kondisi stabil apabila gaya penahannya melebihi gaya yang mendorong pergerakan.

Pada kegiatan pekerjaan lapangan, diperlukan pendekatan metode yang sesuai dengan karakteristik lokasi. Penelitian ini mengambil studi kasus pada proyek pembangunan jalan tol Semarang–Demak, tepatnya di titik Sta 11+310. Analisis stabilitas lereng timbunan dilakukan melalui pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak *Plaxis*, dengan tujuan untuk mengevaluasi kestabilan timbunan pada kondisi tanah alami serta menghitung kebutuhan perkuatan yang diperlukan guna menjamin keamanan struktur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut.

1. Berapa angka keamanan pada timbunan asli?
2. Berapa angka keamanan dengan perkuatan geotekstil dan geotekstil ditambah dengan PVD?
3. Berapa penurunan tanah pada masing-masing desain lereng?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Mengetahui angka keamanan pada timbunan asli.

2. Mengetahui angka keamanan dengan perkuatan geotekstil dan geotekstil ditambah dengan PVD.
3. Mengetahui penurunan tanah pada masing-masing desain lereng.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan sejumlah kontribusi yang dapat dijadikan landasan bagi berbagai pihak, antara lain:

1. Memberikan referensi awal yang dapat dimanfaatkan sebagai dasar bagi penelitian-penelitian lanjutan yang berkaitan dengan analisis kestabilan lereng maupun penggunaan perangkat lunak geoteknik.
2. Memberikan masukan praktis dalam upaya mitigasi potensi kelongsoran pada tanah timbunan, khususnya pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang–Demak, sehingga mendukung kelancaran dan keselamatan konstruksi.
3. Memberikan pemahaman teknis dan keterampilan operasional dalam penggunaan perangkat lunak *Plaxis* V20, yang berperan penting dalam pemodelan geoteknik dan analisis kestabilan tanah.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan sejumlah batasan ruang lingkup agar fokus analisis tetap terarah dan sesuai tujuan kajian. Adapun batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini memanfaatkan data tanah yang bersifat sekunder, diperoleh dari pelaksanaan Proyek Jalan Tol Semarang Demak, khususnya pada titik lokasi Sta 11+310. Data tersebut menjadi dasar utama dalam kajian karakteristik tanah setempat.
2. Parameter beban gempa dalam analisis ini mengacu pada standar nasional, yaitu peta zonasi gempa sebagaimana tercantum dalam SNI 1726:2019.
3. Material geosintetik yang dimanfaatkan dalam simulasi stabilisasi timbunan adalah jenis woven GT-250, yang memiliki kekuatan tarik ultimit sebesar 63 kN/m².

4. Pendekatan manual dalam penentuan faktor keamanan lereng dilakukan dengan menggunakan metode irisan sederhana menurut Fellenius, yang umum digunakan dalam analisis kestabilan lereng konvensional.
5. Proses pemodelan dan simulasi numerik terhadap perilaku tanah dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Plaxis* versi 20 (V20).
6. Fokus utama analisis dalam penelitian ini mencakup evaluasi terhadap stabilitas lereng timbunan serta estimasi besarnya penurunan (*settlement*) yang terjadi akibat kondisi pembebanan.
7. Timbunan yang digunakan adalah timbunan pilihan yang diambil dari lokasi terdekat.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tinjauan pustaka berfungsi untuk mengidentifikasi serta mengkaji penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan topik atau masalah yang sedang diteliti. Selain itu, tinjauan ini bertujuan untuk memahami secara mendalam teori-teori yang akan dijadikan landasan literatur dalam pelaksanaan penelitian, yang nantinya akan diuraikan dalam laporan penelitian.

2.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil

Hayumi (2021) melakukan studi yang menelaah stabilitas timbunan pada struktur badan jalan dengan penerapan geotekstil menggunakan perangkat lunak *Plaxis*, mengambil studi kasus pada Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi I. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi nilai faktor keamanan, besaran penurunan, serta dampak penggunaan geotekstil terhadap stabilitas dan deformasi timbunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi tanah asli, simulasi menggunakan *Plaxis* mengalami kegagalan pada massa tanah (*soil body collapse*), sehingga perhitungan faktor keamanan dilakukan secara manual dengan metode Fellenius. Nilai faktor keamanan yang diperoleh dengan metode tersebut pada tahap konstruksi adalah sebesar 0,996 untuk timbunan setinggi 4 meter, 0,895 untuk 6 meter, dan 0,820 untuk 8 meter. Pada tahap pasca konstruksi, nilai faktor keamanan masing-masing untuk timbunan 4 meter, 6 meter, dan 8 meter berturut-turut adalah 0,858, 0,818, dan 0,781. Sementara itu, analisis penurunan menggunakan *Plaxis* pada kondisi tanah asli juga mengindikasikan terjadinya kegagalan massa tanah pada semua variasi tinggi timbunan saat perhitungan dilakukan.

2.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Fellenius

Arsy (2018) melakukan studi mengenai stabilitas timbunan dalam pembangunan badan jalan dengan menggunakan perkuatan geotekstil. Penelitian

ini menggunakan metode Fellenius untuk menghitung nilai faktor keamanan serta menentukan potensi bidang longsor pada badan jalan. Tujuannya adalah agar penguatan yang diterapkan dapat efektif sehingga jalan tol yang dibangun dapat berfungsi secara maksimal. Hasil perhitungan manual metode Fellenius menunjukkan bahwa timbunan badan jalan tanpa perkuatan memiliki faktor keamanan sebesar 1,786.

Pangemanan (2014) melakukan penelitian yang berfokus pada evaluasi kestabilan lereng di kawasan Citraland dengan menggunakan pendekatan metode Fellenius. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi tingkat kestabilan lereng melalui perhitungan faktor keamanan berdasarkan metode tersebut. Analisis lebih mendalam dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak Slide 6 sebagai alat bantu komputasi. Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh dari program tersebut, nilai faktor keamanan yang didapatkan adalah 0,193.

2.4 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil

Penelitian yang dilakukan oleh Budiasto (2018) mengkaji kestabilan timbunan badan jalan dengan penerapan geotekstil sebagai bahan perkuatan menggunakan software *Plaxis*. Fokus studi ini adalah proyek Jalan Tol Solo–Kertosono pada rentang STA 118+700 sampai 139+760. Penelitian bertujuan untuk menganalisis faktor keamanan timbunan serta perubahan penurunan tanah yang terjadi dalam jangka waktu 200 hari. Simulasi dilakukan dengan variasi tinggi timbunan yakni 2 meter, 4 meter, 6 meter, dan 8 meter. Selain itu, kondisi timbunan juga dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu timbunan menggunakan tanah asli, timbunan dengan tanah pengganti, serta timbunan pengganti yang diperkuat menggunakan geotekstil. Hasil analisis *Plaxis* menunjukkan faktor keamanan pada semua variasi timbunan melebihi nilai minimum 1,4. Pada timbunan 2 m dengan tanah asli dan geotekstil, faktor keamanan tercatat 1,785 saat konstruksi dan 1,452 pasca konstruksi dengan penurunan -0,038 m. Timbunan tanah pengganti 0,5 m dan 1 m dengan geotekstil masing-masing memiliki faktor keamanan di kisaran 1,629–2,065 dan penurunan sekitar -0,038 sampai -0,043 m. Untuk timbunan 4 m dan 6 m

dengan tanah pengganti 1 m dan perkuatan geotekstil, faktor keamanan berada di antara 1,410–1,645 dengan penurunan tanah sangat kecil (-0,005 sampai 0,045 m). Timbunan 8 m dengan tanah pengganti 1 m, geotekstil, dan counterweight menunjukkan faktor keamanan sekitar 1,5 dan penurunan sebesar 0,471 m.

Penelitian yang dilakukan oleh Suryadinullah (2018) berfokus pada analisis kestabilan timbunan lereng menggunakan metode Fellenius. Studi ini mengambil lokasi di Jalan Tol Terbanggi Besar-Pemantang Panggang, tepatnya pada Sta 3+650 di Lampung. Tujuan utama penelitian adalah untuk menentukan faktor keamanan serta mengukur besarnya penurunan pada timbunan dengan variasi tinggi mulai dari 2 meter, 4 meter, 6 meter, hingga 8 meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa timbunan dengan ketinggian 6 meter dan 8 meter yang telah mendapat perkuatan memperlihatkan faktor keamanan yang lebih tinggi dari batas aman yang ditetapkan.

2.5 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Prefabricated Vertical Drain*

Rafi (2018) mengkaji stabilitas lereng timbunan jalan melalui penerapan Prefabricated Vertical Drain (PVD) dan geotekstil dengan bantuan perangkat lunak *Plaxis*. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengukur besaran penurunan yang terjadi pada lereng. Analisis dilakukan dengan memodelkan perbaikan tanah lempung menggunakan metode PVD yang dikombinasikan dengan preloading, yang kemudian dimodelkan secara numerik menggunakan *Plaxis* 2D. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penurunan tanah timbunan yang terjadi hanya dengan metode preloading mencapai 2,6 meter dalam kurun waktu 2070 hari (sekitar 5 tahun). Oleh karena itu, diperlukan penerapan metode percepatan penurunan tanah, yakni dengan penggunaan PVD. Perbandingan waktu penurunan antara kondisi dengan dan tanpa penggunaan PVD memperlihatkan perbedaan signifikan, dimana penggunaan PVD dapat mempercepat proses penurunan hingga 1890 hari, atau setara dengan percepatan sebesar 1140%.

Pratama (2023) mengkaji stabilitas timbunan badan jalan yang diperkuat menggunakan geotekstil dengan bantuan perangkat lunak *PLAXIS*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi faktor keamanan (safety factor) timbunan serta

penurunan tanah yang terjadi selama periode 200 hari. Model penelitian dilakukan dengan variasi tinggi timbunan sebesar 2 m, 4 m, 6 m, dan 8 m. Selain variasi tinggi, tiga kondisi timbunan juga dianalisis, yaitu timbunan menggunakan tanah asli, timbunan dengan tanah pengganti (replacement), dan timbunan tanah pengganti yang diperkuat dengan geotekstil. Hasil analisis stabilitas pada kondisi tanah asli yang dipadukan dengan perkuatan berupa *prefabricated vertical drain* dan geotekstil melalui simulasi *PLAXIS* selama masa konstruksi menunjukkan nilai faktor keamanan lereng timbunan sebagai berikut: 2,2325 untuk ketinggian 4 m, 2,0694 untuk 6 m, 1,4484 untuk 8 m, dan 1,1958 untuk 10 m.

Pada kondisi pasca konstruksi lereng timbunan, nilai faktor keamanan pada tanah asli menunjukkan variasi tergantung pada tinggi timbunan, yaitu sebesar 1,4582 untuk timbunan setinggi 4 meter, 1,2752 untuk timbunan 6 meter, dan 1,1061 untuk timbunan 8 meter. Namun, pada ketinggian timbunan 10 meter terjadi kegagalan berupa keruntuhan massa tanah (*soil body collapse*). Selanjutnya, analisis penurunan tanah yang dilakukan menggunakan perangkat lunak *PLAXIS* dengan penerapan drainase prefabrikasi dan geotekstil menghasilkan nilai penurunan berdasarkan perhitungan tekanan air pori berlebih (excess pore water pressure) sebagai berikut: 0,1524 meter pada timbunan 4 meter, 0,2175 meter pada timbunan 6 meter, 0,3014 meter pada timbunan 8 meter, dan 0,4737 meter pada timbunan 10 meter.

2.6 Perbandingan Penelitian yang Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu								**Penelitian yang Dilakukan**
Peneliti	**Budiasto (2018)**	**Suryadinullah (2018)**	**Arsy (2018)**	**Hayumi (2021)**	**Fadhillah (2023)**	**Rafi (2023)**	**Pratama (2023)**	**Alisha (2025)**
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan Tol Solo-Kertosono Tahap III Sta 118+700-139+760	Analisis Stabilitas Timbunan Tol Terbanggi Besar – Pemantang Panggang Sta 3+650, Lampung	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Degan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius	Analisis Stabilitas Timbunan Tol Padang-Pekanbaru Seksi I)	Analisis Kestabilan Lereng Timbunan Jalan Inspeksi Proyek Pembangunan Bendungan Bener Purworejo	Analisis Stabilitas Timbunan Tol Padang – Sicincin STA 10+369	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Jalan Dengan Prefabricated Vertical Drain Dan Geotekstil Menggunakan Program *Plaxis*	Analisis Stabilitas Timbunan Tanah dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program *Plaxis* 8.6 Pada Jalan Tol Semarang - Demak
Tujuan Penelitian	Mendapatkan nilai SF serta besar penurunan tanah timbunan yang terjadi pada badan jalan dengan variasi tinggi timbunan.	Mendapatkan nilai SF dan mencari besarnya penurunan pada timbunan lereng dengan variasi tinggi timbunan.	Mendapatkan nilai SF dan bidang longsor potensial pada badan jalan agar upaya perkuatan dapat efektif dan ruas jalan tol yang telah dibangun dapat berfungsi secara optimal	Untuk menganalisis timbunan tanah asli dengan metode Fellenius dan tanah asli dengan perkuatan geotekstil untuk mencari angka aman.	Untuk mengetahui nilai SF menggunakan metode *Fellenius* dan metode *Bishop Simplified.*	Untuk mengetahui besar penurunan yang terjadi	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	Untuk mengetahui nilai angka aman pada timbunan tanah dengan menggunakan variasi lapisan yang diperkuat dengan geotekstil dengan program *Plaxis*.

Lanjutan Tabel 5.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

							juga variasi pada tiga kondisi yaitu, timbunan tanah asli, timbunan dengan tanah replacement dan timbunan tanah replacement yang diperkuat dengan geotekstil.	
Metode Penelitian	Analisis menggunakan PlaxisV20.	Analisis menggunakan PlaxisV20	Analisis menggunakan PlaxisV20	Analisis menggunakan PlaxisV20	Analisis menggunakan PlaxisV20	Analisis menggunakan PlaxisV20	Analisis menggunakan PlaxisV20	Analisis menggunakan PlaxisV20
Hasil Penelitian	Hasil SF adalah 1,4.	Hasil SF adalah 1,3.	Hasil SF adalah 1,8.	Soil Colapse tetapi Metode Fellenius tidak	Hasil SF adalah 1,7.	PVD mempercepat konsolidasi sebesar 1140%.	Stabilitas terbaik didapastkan. Pada timbunan 4 m	

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Bagian ini menguraikan tentang tanah beserta parameter-parameter yang digunakan sebagai dasar dalam analisis pada bab-bab berikutnya.

3.1.1 Definisi Tanah

Pada kajian mekanika tanah, istilah tanah mencakup berbagai material mulai dari tanah liat (*clay*) hingga material berukuran besar seperti kerikil dan batuan. Secara umum, tanah dapat didefinisikan sebagai kumpulan mineral, bahan organik, serta endapan yang relatif longgar yang terletak di atas lapisan batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antar butiran tanah yang bersifat lemah biasanya disebabkan oleh keberadaan karbonat, zat organik, atau oksida yang mengendap di sela-sela partikel tersebut. Ruang antar partikel tanah ini dapat diisi oleh udara, air, atau kombinasi keduanya. Pembentukan tanah merupakan hasil dari proses pelapukan. Secara fisik, proses ini terjadi melalui pengaruh erosi, angin, air, dan perubahan suhu yang menyebabkan batuan terpecah menjadi partikel-partikel kecil. Secara kimiawi, pelapukan tanah melibatkan reaksi dengan oksigen, karbon dioksida, dan air. Tanah yang masih berada di lokasi asalnya disebut tanah residual, sedangkan tanah yang telah mengalami perpindahan lokasi dikenal sebagai tanah terangkut (Hardiyatmo, 2010).

Tanah diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori berdasarkan ukuran partikel penyusunnya. Kelompok batu, kerikil, dan pasir termasuk dalam kelas material berbutir kasar atau non-kohesif, sementara lanau dan lempung digolongkan sebagai material berbutir halus yang memiliki sifat kohesif. Istilah pasir, lempung, lanau, atau lumpur merujuk pada ukuran partikel tertentu yang telah ditetapkan sebagai batas klasifikasi. Sebagian besar tanah merupakan campuran dari berbagai ukuran partikel, sehingga tanah lempung tidak selalu hanya mengandung partikel lempung, tetapi sering kali juga mengandung partikel

berukuran lanau maupun pasir. Ukuran partikel tanah ini dapat berkisar dari lebih dari 100 mm hingga kurang dari 0,001 mm.

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan suatu metode pengelompokan berbagai tipe tanah yang berbeda, namun memiliki karakteristik serupa, ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan penggunaannya. Sistem klasifikasi ini dirancang untuk menyajikan informasi mengenai sifat-sifat fisik dan karakteristik tanah, mengingat keberagaman perilaku dan sifat tanah yang sangat luas. Secara umum, proses klasifikasi tanah didasarkan pada ukuran partikel yang diperoleh melalui analisis penyaringan serta tingkat plastisitas tanah.

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

   Berdasarkan referensi dari Hardiyatmo (2010) berikut ini adalah klasifikasi USC ketentuan ASTM D-2487.

Tabel 3. 1 Klasifikasi Tanah Sistem USCS

Divisi Utama			Simbol Kelomok	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar (lebih dari 50% atau lebih lolos saringan no. 200 / 0.075 mm)	Kerikil (lebih dari 50% atau lebih tahan saringan no. 4 / 4.75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tidak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung
	Pasir (lebih dari 50% atau lebih tahan saringan no. 4 / 4.75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tidak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung
Tanah berbutir halus (lebih dari 50% atau lebih lolos saringan no. 200 / 0.075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang		ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung
			CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('lean clays')
			OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
	Lanau dan lempung batas cair > 50% atau kurang		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatome, lanau elastis
			CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')
			OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi
			Pt	Gambut ('peat') dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi

(Sumber:ASTM D-2487,2000)

2. Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Society for Testing and Materials).*

   Klasifikasi tanah menurut sistem AASHTO berfungsi sebagai alat evaluasi mutu tanah dengan mengelompokkan tanah ke dalam tujuh kategori utama, yaitu dari A-1 hingga A-7, yang masing-masing terdiri dari beberapa subkelompok. Penjelasan rinci mengenai klasifikasi ini dapat diperoleh pada Tabel 3.1, sebagaimana dijelaskan dalam buku *Mekanika Tanah 1* karya Hardiyatmo (2010).

Klasifikasi umum	Material granuler (< 35% lolos saringan no. 200)							Tanah-tanah lanau-lempung (< 35% lolos saringan no. 200)			
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50maks 30 maks	50 maks 25 maks	51 min 10 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40 Batas cair (*LL*) Indeks plastis (*PI*)	6 maks		Np	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Indeks kelompok (*G*)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

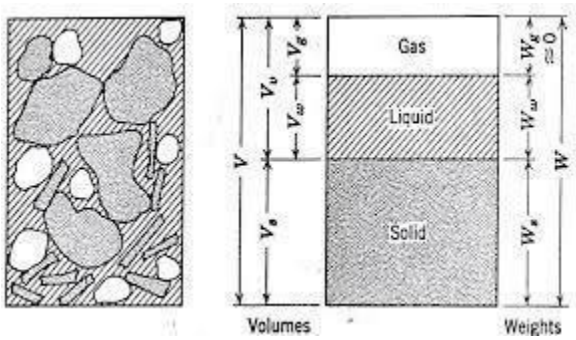
Catatan :
Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (*PL*)
Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5
Untuk PL ≤ 30, klasifikasinya A-7-6
Np = Nonplastis

Tabel 3. 2 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

(Sumber : Hardiyatmo,2010)

3.1.3 Komponen-komponen Tanah

Tanah merupakan agregat dari partikel-partikel dengan ukuran yang bervariasi, di antara partikel tersebut terdapat ruang kosong yang dikenal sebagai pori-pori. Ruang-ruang ini biasanya diisi oleh campuran udara dan air, namun dalam situasi tertentu dapat hanya berisi udara atau air secara penuh. Struktur hubungan antar komponen tanah ini dapat divisualisasikan melalui diagram fase, yang tersaji pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 1 Diagram Fase Tanah

(Sumber : Lambe dan Whitman, 1969)

Merujuk pada Gambar 3.3, setiap partikel tanah terdiri dari tiga komponen utama, yakni udara, air, dan padatan. Setiap komponen tersebut memiliki nilai volume dan massa yang spesifik. Berdasarkan diagram fase tanah, hubungan antar komponen ini dapat dijelaskan melalui Persamaan 3.1 hingga Persamaan 3.3 berikut.

$$W = Ws + Ww \text{ (gr)} \quad (3.1)$$

dan

$$V = Vs + Vw + Va \text{ (cm}^3\text{)} \quad (3.2)$$

$$Vv = Vw + Va \text{ (cm}^3\text{)} \quad (3.3)$$

Keterangan :

W = berat total.

Ws = berat butiran padat.

Ww = berat air.

V = volume total.

Vs = volume butiran padat.

Vw = volume air.

Va = volume udara.

Vv = volume rongga.

1. Kadar Air (W)

   Kadar air didefinisikan sebagai rasio antara massa air (Ww) dan massa butiran padat tanah (Ws), yang dapat dirumuskan seperti pada Persamaan 3.4 di bawah ini.

   $$W(\%) = \frac{W_w}{V_S} \times 100 \quad (3.4)$$

2. Berat Volume Butiran Padat (γs)

   Volume massa jenis partikel padat dihitung berdasarkan perbandingan antara nilai massa partikel padat (Ws) dengan volume yang ditempatinya (Vs). Hubungan ini secara matematis dituangkan dalam Persamaan 3.5.

   $$\gamma_s = \frac{W_S}{V_S} \ ((\mathrm{kN/m^3}) \quad (3.5)$$

3. Berat Volume Jenuh Air (γ_{sat})

   Pada kondisi kejenuhan penuh terhadap air (S = 100%), berat volume tanah dapat dirumuskan melalui Persamaan 3.6 berikut ini.

   $$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_s(G_s+e)}{1+e} \ (\mathrm{kN/m^3}) \quad (3.6)$$

4. Permeabilitas

   Sifat permeabilitas menggambarkan kemampuan media berpori untuk menghantarkan fluida, seperti air atau minyak, melalui pori-porinya. Dalam konteks tanah, konektivitas antar pori berperan penting dalam memungkinkan pergerakan air dari zona bertekanan tinggi ke zona dengan tekanan lebih rendah. Das (1983), dalam karyanya *Mekanika Tanah 1 Edisi Ke Enam*,

menyajikan kisaran nilai permeabilitas untuk berbagai jenis tanah sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.2.

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 Elastisitas

Nilai modulus elastisitas merepresentasikan sejauh mana tanah merespons tegangan melalui regangan selama berada dalam batas elastis. Nilai perkiraannya dapat ditentukan dengan mengacu pada karakteristik jenis tanah yang tercantum dalam Tabel 3.3.

Tabel 3. 4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

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

(Sumber: Bowles,1977)

6. Poisson Ratio

Poisson ratio merepresentasikan rasio antara deformasi aksial akibat kompresi dan deformasi lateral akibat pemuaian. Nilainya bervariasi tergantung jenis tanah, yang rinciannya disajikan dalam Tabel 3.4.

Tabel 3. 5 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson

No	Jenis Tanah	Poisson *Ratio* (μ)
1	Lempung jenuh	0,4 – 0,5
2	Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
3	Lempung berpasir	0,2 – 0,3
4	Lanau	0,3 – 0,35
5	Pasir Padat	0,2 – 0,4
6	Pasir tidak padat	0,15
7	Pasir halus	0,25
8	Batu	0,1 – 0,4
9	Loess	0,1 – 0,3

(Sumber: Hardiyatmo, 2003)

7. Sudut Dilantasi (ψ)

Sudut dilatansi (ψ) dalam derajat mencerminkan perubahan volume saat tanah tergeser. Pada lempung dan lanau, nilainya cenderung mendekati nol ($\psi \approx 0$). Sementara pada pasir, ψ bergantung pada kerapatan dan sudut geser, dan untuk kondisi sangat lepas, umumnya digunakan rumus $\psi = \varphi - 30°$.

8. Kohesi (c)

Kemampuan tanah dalam menahan deformasi, khususnya akibat gaya geser lateral, ditentukan oleh dua parameter utama, yaitu kohesi dan sudut geser dalam. Kohesi sendiri merupakan gaya tarik-menarik antar partikel tanah yang berkontribusi terhadap kekuatan geser tanah. Untuk memperoleh nilai kohesi, biasanya dilakukan pengujian laboratorium seperti *triaxial* dan *direct shear test*. Selain melalui uji laboratorium, nilai kohesi juga dapat diperkirakan dari nilai qc yang diperoleh melalui uji sondir, sebagaimana tersaji dalam Tabel 3.5.

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

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

(Sumber: Bowles, 1996)

9. Sudut Geser Dalam (φ)

   Sudut geser dalam adalah ukuran ketahanan tanah terhadap tekanan lateral, ditentukan oleh hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser. Nilainya diperoleh melalui *triaxial test* dan *direct shear test*, serta bervariasi sesuai jenis tanah seperti pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 7 Hubungan Antara Sudut Geser 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

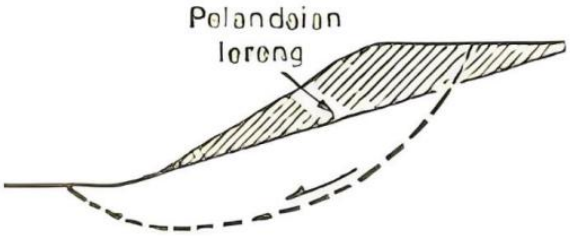
(Sumber: Bowles, 1996)

3.2 Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang miring dan rawan longsor. Terdapat dua jenis lereng, yaitu alami seperti perbukitan dan tebing sungai, serta buatan yang terbentuk dari aktivitas manusia seperti timbunan tanah, galian, dan konstruksi bangunan atau jalan.

3.2.1 Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng mengacu pada keseimbangan antara gaya yang mendorong longsor dan gaya yang menjaga lereng tetap stabil (Das, 2010). Ketidakstabilan lereng dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti gravitasi, penetrasi air hujan, aktivitas manusia, serta kondisi geologi di lokasi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan
(Sumber: Das, 2002)

Departemen Pekerjaan Umum menyajikan faktor keamanan untuk menilai kestabilan lereng dalam Tabel 3.7.

Tabel 3. 8 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng

Biaya dan Konsekuensi dari kegagalan lereng	**Tingkat Ketidakpastian Kondisi Analisis**	
	Rendah	**Tinggi**
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih
Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.		

Sumber : SNI 8560 (2017)

3.2.2 Faktor Keamanan

Longsor pada lereng biasanya terjadi di sepanjang bidang gelincir. Untuk menilai kestabilan lereng, digunakan faktor keamanan yang merupakan perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya yang mendorong pergerakan tanah. Lereng dikatakan stabil jika faktor keamanan lebih dari satu. Namun, penilaian lebih tepat di lokasi tertentu memerlukan tambahan parameter empiris. Bowles (1989) mengklasifikasikan kondisi lereng berdasarkan nilai faktor keamanan seperti tercantum pada Tabel 3.8.

Tabel 3. 9 Faktor Keamanan Lereng

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

Sumber : Bowles (1989)

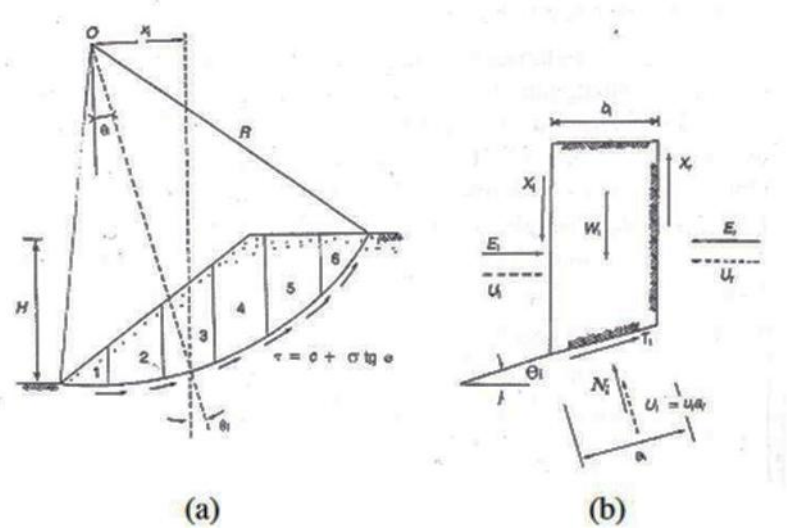
Lereng dinilai tidak stabil jika sering terjadi longsor dan memiliki faktor keamanan kurang dari 1,07. Lereng dalam kondisi kritis adalah yang pernah longsor dengan faktor keamanan antara 1,07 sampai 1,25. Sedangkan lereng yang dianggap stabil memiliki faktor keamanan di atas 1,25 dan jarang mengalami longsor.

3.2.3 Metode Fellenius

Metode ini umum dipakai untuk menganalisis kegagalan lereng dengan menggunakan bidang longsor berbentuk lingkaran yang dibagi menjadi beberapa segmen vertikal. Lebar segmen dibuat sangat kecil agar dasar setiap segmen dianggap datar dengan tingkat kesalahan minimal. Fellenius mengembangkan metode ini dengan asumsi bahwa keruntuhan lereng terjadi melalui rotasi blok tanah di sekitar titik pusat rotasi O pada bidang longsor sirkular. Gaya normal P dianggap bekerja di tengah tiap segmen, dan gaya antar segmen diasumsikan saling

menyeimbangkan sehingga resultan gaya antar segmen diabaikan. Beberapa asumsi utama metode ini adalah:

Gaya normal P berada tepat di tengah alas irisan. Total resultan gaya antar irisan adalah nol, dengan jumlah gaya sebanyak 2n – 1 dari n – 1 irisan. Contoh pemodelan gaya pada irisan menurut metode Fellenius disajikan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 3 Gambar Ilustrasi Gaya-Gaya Pada Setiap Irisan Dengan Metode Fellenius

(sumber : Hardiyatmo, 2010)

Berdasarkan asumsi tersebut, persamaan keseimbangan momen pada semua irisan terhadap titik rotasi dapat diuji untuk menentukan Faktor Keamanan. Dengan asumsi ini, keseimbangan gaya vertikal dan gaya-gaya lain yang bekerja adalah sebagai berikut:

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \qquad (3.7)$$

Atau,

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i$$

$$= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \qquad (3.8)$$

Faktor aman didefinisikan sebagai,

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

$$= \frac{\sum \mathrm{Mr}}{\sum \mathrm{Md}} \tag{3.9}$$

Lengan momen dari berat tanah tiap irisan adalah R sin θ (Persamaan 3.10).

$$\sum \mathrm{Md} = \mathrm{R} \sum_{\mathrm{n=1}}^{\mathrm{i=n}} \mathrm{W_i} \sin\theta_\mathrm{i} \tag{3.10}$$

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.

Momen penahan longsor tanah ditunjukkan pada Persamaan 3.11.

$$\sum \mathrm{Md} = \mathrm{R} \sum_{\mathrm{n=1}}^{\mathrm{i=n}} (\mathrm{ca_i} + \mathrm{N_i tg}\ \varphi) \tag{3.11}$$

Maka Persamaan untuk faktor aman menjadi seperti pada Persamaan 3.12.

$$\mathrm{SF} = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} (ca_i + N_i\, tg\ \varphi)}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i sin\ \theta_i} \tag{3.12}$$

Kehadiran air dalam lereng menyebabkan tekanan air pori pada bidang gelincir tidak memengaruhi momen longsor (Md), karena gaya resultan melewati pusat rotasi, seperti pada Persamaan 3.13.

$$\mathrm{SF} = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} ca_i + \mathrm{W_i} \cos\theta_\mathrm{i} - \mathrm{u_i a_i}}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i sin\theta_i} \tag{3.12}$$

Keterangan:

SF = Faktor aman.

C = Kohesi tanah (kN/m²).

Φ = Sudut gesek dalam tanah (º).

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

W_i = Berat irisan tanah ke-*i* (kN).

u_i = Tekanan air pori pada irisan ke-*i* (kN/m^2).

θ_i = Sudut yang didefinisikan (^{o}).

Kalau ada beban tambahan seperti bangunan, momen beban itu juga dihitung dalam MD.

3.3 Perkuatan Lereng

Berikut ini akan dijelaskan defisinis perkuatan lereng dan juga berbbagai metode perkuatan lereng yang mungkin dilakukan sesuai kondisi.

3.3.1 Pengertian Umum

Perkuatan lereng atau dinding penahan tanah adalah struktur yang dirancang untuk menjaga kestabilan tanah, khususnya pada area tebing yang rawan bergerak. Tujuan utama dari bangunan ini adalah mencegah tanah di belakangnya agar tidak runtuh atau tergelincir.

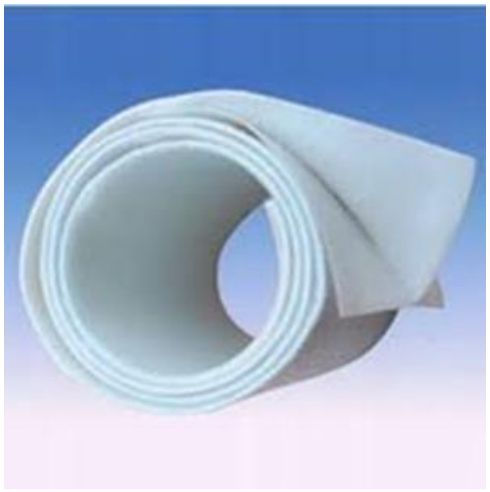
3.3.2 Geotekstil

Geotekstil adalah bahan teknis yang dipakai dalam rekayasa geoteknik untuk mendukung berbagai konstruksi. Penggunaan geotekstil efektif memperkuat tanah dengan biaya lebih rendah dibanding metode lain, serta memiliki ketahanan yang menjaga kestabilan tanah dari penurunan. Berdasarkan proses pembuatannya, geotekstil dibedakan menjadi dua jenis. Geotekstil memiliki manfaat utama sebagai material teknik sipil yang berfungsi untuk memperbaiki kinerja tanah dalam berbagai proyek konstruksi. Salah satu manfaat utamanya adalah sebagai lapisan pemisah (separator) antara dua jenis tanah yang berbeda agar tidak tercampur, misalnya antara lapisan agregat dan tanah lunak di bawahnya.

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

   Geotekstil non-anyam terbuat dari polypropylene dan polyester dengan struktur tidak terjalin. Material ini dirancang agar ringan namun kuat secara mekanik dan hidrolik. Karena tahan sobek tinggi, geotekstil ini cocok digunakan sebagai

lapisan pemisah dan penyaring untuk menjaga keawetan material saat pemasangan.

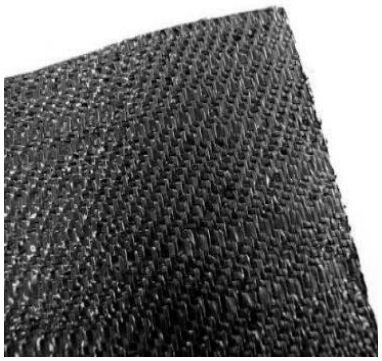


Gambar 3. 4 Geotekstil *Non-Woven*

(Sumber : Isparmo, 2010)

2. Geoktekstil teranyam (*woven*)

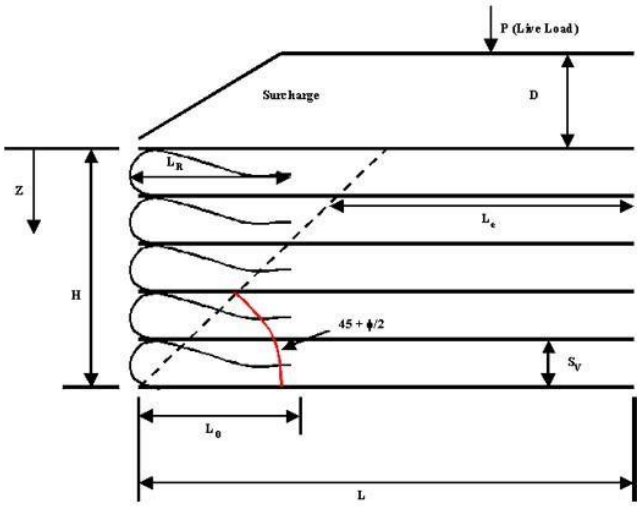
   Geotekstil anyam dibuat menggunakan metode tenun serupa kain pakaian, dengan pola anyaman dua arah. Bahan utamanya adalah serat polymer seperti polypropylene atau polyester. Jenis geotekstil ini menawarkan efisiensi biaya sekaligus memastikan kekuatan struktur yang optimal. Selain bersifat permeabel, geotekstil anyam juga memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan geotekstil non-anyam.



Gambar 3. 5 Geotekstil *Woven*

(Sumber : Isparmo, 2010)

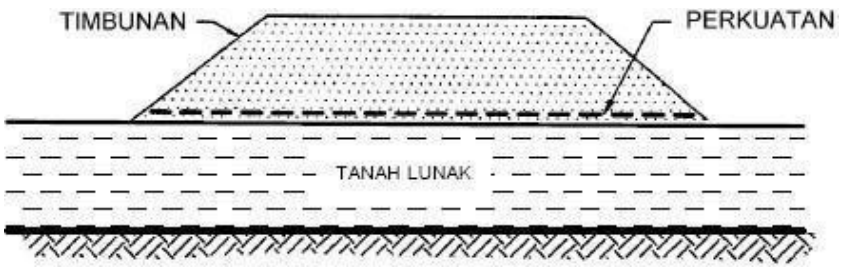
Geotekstil woven atau non-woven digunakan untuk memperkuat timbunan sebagai tulangan, pemisah, atau drainase. Perancangan berdasarkan analisis stabilitas lereng dan jumlah lapisan disesuaikan dengan gaya geser yang ditahan (lihat Gambar 3.7).



Gambar 3. 6 Pemasangan Geotekstil Pada Timbunan

3.3.3 Perkuatan Menggunakan Geotekstil

Geotekstil berfungsi sebagai penguat dan pemisah pada lereng timbunan, meningkatkan daya dukung tanah. Pada tanah lunak, tekanan horizontal dapat menyebabkan pergeseran, sehingga dasar timbunan diperkuat dengan geotekstil kuat tarik tinggi untuk stabilitas.

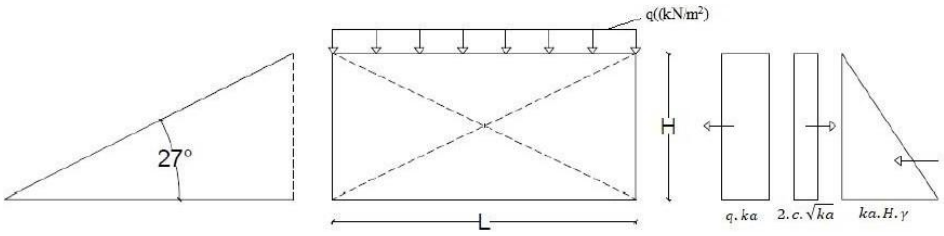


Gambar 3. 7 Lereng Timbunan di Atas Tanah Lunak

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

Perencanaan perkuatan lereng dengan geotekstil memerlukan analisis stabilitas eksternal (geser, guling, eksentrisitas, dan daya dukung tanah) dan internal (kegagalan robek atau tercabut geotekstil). Stabilitas internal dipengaruhi oleh

panjang overlap dan panjang efektif geotekstil. Distribusi tekanan lateral tanah pada lereng ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 8 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral

(Sumber: Purwanto, 2012)

Untuk mendapatkan jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (Sv) dapat dilakukan dengan Persamaan 3.14 sampai dengan Persamaan 3. 16 berikut ini.

$$Ka = \tan^2\left(\left(45° - \left(\frac{\varphi}{2}\right)\right)\right) \quad (3.14)$$

$$\sigma hc = q \,.ka - 2 \,.c \,.\sqrt{ka} + ka \,.\, H \,.\, \gamma b \quad (3.15)$$

$$V = \frac{Ta}{\sigma hc \,.\, SF} \quad (3.16)$$

Keterangan:

Ka = Koefisien tanah aktif.

σhc = Tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m²).

Q = Beban merata (kN/m²).

SF = Faktor aman.

Sv = Jarak tulangan arah vertikal (m).

γ = Berat volume tanah (kN/m^3).

c = Kohesi (kN/m²).

Ta = Kuat tarik geotekstil *allowable.*

1. Stabilitas Eksternal

   a. Stabilitas Terhadap Geser

      Faktor aman terhadap geser dinyatakan pada Persamaan 3.16 berikut ini.

$$SF = \frac{L.(1 + \gamma b)\tan\varphi}{(q.ka.H) + ka.H^2.\gamma b - 2.c.\sqrt{ka.H}} \quad (3.17)$$

      Keterangan:

      SF = Faktor aman.

      φ = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil (º).

      L = Panjang geotekstil (m).

      H = Tinggi lapisan tanah (m).

      γb = Berat volume tanah (kN/m³).

      Ka = Koefisien tanah aktif.

      C = Kohesi (kN/m²).

      q = Beban merata (kN/m²).

   b. Stabilitas Terhadap Guling

      Faktor aman terhadap guling dinyatakan pada Persamaan 3.17 berikut ini.

$$SF = \frac{L^2.\left(\frac{1}{2}.q + \frac{1}{2}.\gamma b.H\right)}{\left(\frac{1}{2}.q.ka.H\right) + \left(\frac{1}{6}.q.ka.H^2.\gamma b - 2.c.\sqrt{ka.H^2}\right)} \quad (3.18)$$

   c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

      Nilai $\frac{1}{6}L$ harus lebih besar dari nilai eksentrisitas yang dinyatakan pada Persamaan 3.18 dan Persamaan 3.19 berikut ini.

$$\frac{1}{6}L \geq e \quad (3.19)$$

$$\frac{1}{6}L \geq \frac{\left(\frac{1}{2}.q.ka.H^2 + \frac{1}{6}.ka.H^2.\gamma b - c.\sqrt{ka.H^2}\right)}{(q.L + \gamma b.H.L} \quad (3.20)$$

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/m^3)

d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Faktor aman terhadap kapasitas dukung tanah dinyatakan pada Persamaan 3.20 berikut ini.

$$\text{SF} = \frac{\sigma\text{ult}}{\text{qult}} \quad (3.21)$$

$$qult = c.Nc + 0{,}5.L.\gamma b.N\gamma \quad (3.22)$$

$$\text{qult} = \text{c.Nc} + \text{q.Nq} + 0{,}5.\text{L.}\gamma\text{b.N}\gamma \quad (3.23)$$

2. Stabilitas Internal

a. Panjang Geotekstil *Overlapping*

Faktor aman terhadap kapasitas dukung tanah dinyatakan pada Persamaan 3.23 berikut ini.

$$\text{L0} = \frac{\sigma\text{hc} \times \text{Sv} \times \text{SF}}{2 \times \text{Zi} \times \gamma\text{b} \times \tan\varphi} \quad (3.24)$$

dengan:

L0 = panjang *overlapping* (m).

σhc = tegangan ultimit (kN/m²).

Sv = jarak tulangan arah vertikal (m).

Zi = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m).

γb = berat volume tanah (kN/m^3).

SF = faktor aman.

b. Panjang Efektif Geotekstil

Panjang tulangan di belakang bidang longsor (L*ef*) pada ujung geotekstil dapat dihitung pada Persamaan 3.24 berikut ini.

$$Lef = \frac{SF \times Sv \times Ka \times \gamma b \times Zi}{2 \times \gamma b \times Zi \times \tan \varphi} \geq 0{,}5 \text{ m} \qquad (3.25)$$

dengan:

Lef = panjang efektif geotekstil (m).

Ka = koefisien tanah aktif.

Sv = jarak tulangan arah vertikal (m).

Zi = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m).

γb = berat volume tanah (kN/m^3).

SF = faktor aman.

φ = sudut gesek antara tanah dan geotekstil (º).

3.3.4 Prefabricated Drain

Prefabricated Drain adalah lembaran plastik berongga dengan inti polypropylene kuat dan lapisan geotekstil, digunakan dalam sistem drainase. Tipe Prefabricated Drain dibedakan berdasarkan metodenya:

1. *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

   Prefabricated Vertical Drain (PVD) adalah lembaran plastik kantung dengan inti *polypropylene* dan pembungkus geotekstil yang ditanam vertikal untuk mempercepat keluarnya air dari tanah lunak, terutama lempung dan lanau.



Gambar 3. 9 *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

(Sumber : PT. Indotex Bangun Mandiri, 2021)

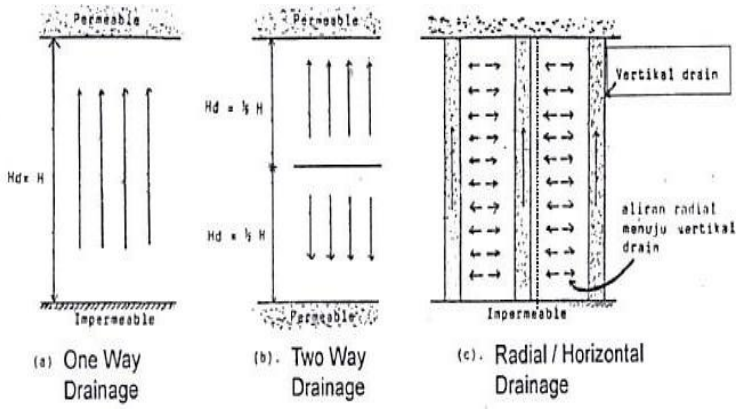
PVD memiliki peran penting dalam mempercepat proses konsolidasi tanah. Kecepatan konsolidasi meningkat karena dua faktor utama, yaitu:

a. Jarak antar PVD

   Jarak antar PVD menentukan panjang lintasan drainase air pori. Jarak yang terlalu jauh memperlambat konsolidasi, sedangkan jarak kurang dari 1 meter bisa melemahkan kekuatan geser tanah.

b. Panjang PVD

   PVD mempercepat konsolidasi hanya di sekitar saluran vertikal, sedangkan area di bawahnya mengalami konsolidasi biasa.



Gambar 3. 10 Modifikasi Jarak Tempuh Air dengan Keberadaan PVD

(Sumber : Gouw dalam Barimbing, 2017)

c. Transformasi Tampang PVD

Menurut Hasbon (1960) dalam Barimbing (2017), penampang PVD dihitung sebagai lingkaran dengan diameter ekivalen dari keliling persegi panjang dibagi π (Persamaan 3.25 dan 3.26).

$$\pi dw = 2\,(p + l) \tag{3.26}$$

$$dw = \frac{2\,(p + l)}{\pi} \tag{3.27}$$

dengan :

Dw = diameter PVD (m).

p = panjang PVD (m).

l = lebar PVD (m).

d. *Smear Zone*

Diameter ekuivalen (De) PVD tergantung pola dan jarak pemasangan, umumnya berbentuk bujur sangkar atau segitiga (Gambar 3.12).

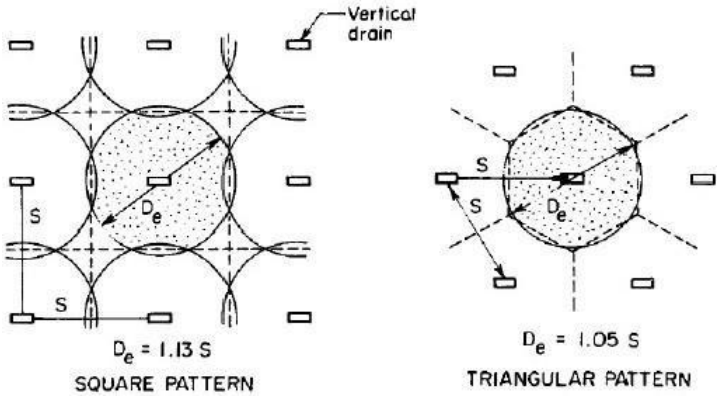
$$De = 1{,}13\ S \text{ (untuk pola bujur sangkar)} \tag{3.28}$$

$$De = 1{,}05\ S \text{ (untuk pola segitiga)} \tag{3.29}$$

dengan :

De = diameter ekivalen (setelah penampang diubah menjadi bentuk lingkaran) (m).

S = *spacing* atau jarak antar PVD (m)



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

(Sumber: *Geotextiles and Geomembranes* dalam Barimbing, 2017)

Pola bujur sangkar memudahkan pengendalian pemasangan, sementara pola segitiga menghasilkan penurunan yang lebih merata.

2. *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD)

   PHD berfungsi menyalurkan air dari PVD ke subdrain. Berbahan inti plastik dan geotekstil, PHD mempercepat drainase dan dapat menggantikan agregat alami secara efisien.



Gambar 3. 12 *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD)

(Sumber : PT. Teknindo Geosistem, 2018)

3.4 Konsolidasi

Berikut ini akan dijelaskan defisinis konsolidasi dan juga berbbagai metode perhitungan konsolidasi.

3.4.1 Pengertian Umum

Pemberian beban pada tanah jenuh berpermeabilitas rendah menyebabkan peningkatan tekanan air pori, yang memicu aliran air dan penurunan tanah. Proses ini lambat karena rendahnya permeabilitas. Konsolidasi adalah penyusutan pori akibat air pori keluar, dan penurunan diukur dari titik referensi tertentu.

3.4.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi konsolidasi

Menurut Whittaker dan Reddish (1989), penurunan permukaan tanah atau settlement dapat terjadi akibat berbagai faktor, antara lain: (1) proses geologi alami seperti aktivitas tektonik, vulkanik, dan pembentukan rongga bawah tanah; (2) ekstraksi fluida dari dalam tanah, seperti air tanah atau minyak bumi; (3) pembebanan berlebih di permukaan, misalnya akibat konstruksi bangunan, yang menyebabkan konsolidasi lapisan tanah; serta (4) pengambilan material padat melalui kegiatan seperti penambangan.

3.4.3 Penurunan Konsolidasi Primer (*Primary Consolidation Settlement*)

Penambahan beban pada tanah jenuh meningkatkan tekanan air pori, mendorong air keluar, dan mengurangi volume tanah. Akibatnya terjadi penurunan yang disebut konsolidasi primer, yang terdiri dari tiga tahap utama, yaitu:

1. Tanah tergolong normally consolidated apabila tegangan efektif overburden saat ini merupakan tegangan maksimum yang pernah diterima. Kondisi ini memungkinkan perhitungan karakteristik tanah menggunakan Persamaan 3.30 berikut.

$$\mathrm{Sc} = \frac{\mathrm{Cc.H}}{1+\mathrm{e0}} \log \frac{\mathrm{Po'} + \Delta \mathrm{p}}{\mathrm{P0'}} \qquad (3.30)$$

2. Tanah disebut over consolidated bila tegangan overburden saat ini lebih kecil dari tegangan maksimum sebelumnya. Jika: Po + $\Delta p \leq Pc'$, maka menggunakan persamaan :

$$\mathrm{Sc} = \frac{\mathrm{Cs.H}}{1+\mathrm{e0}} \log \frac{\mathrm{Po'} + \Delta \mathrm{p}}{\mathrm{P0'}} \qquad (3.31)$$

Jika If Po Po + $\Delta p \geq Pc'$, maka menggunakan persamaan :

$$Sc = \frac{Cc.H}{1+e0}\log\frac{Pc'}{P0'} + \frac{Cs.H}{1+e0}\log\frac{Po' + \Delta p}{P0'} \quad (3.32)$$

dengan :

Sc = penurunan konsolidasi primer.
Cc = indeks pemampatan.
Cs = indeks pemuaian/mengembang.
H = tebal lapisan tanah.
eo = angka pori.
Po' = tekanan overburden efektif.
Pc' = tekanan prakonsolidasi.
Δp = distribusi tekanan.

3. Tanah under consolidated terjadi ketika tegangan efektif overburden belum mencapai nilai puncak, sehingga tanah masih mengalami proses konsolidasi saat pengambilan sampel.

3.4.4 Parameter Perhitungan Penurunan

Perhitungan penurunan pada lapisan tanah memerlukan beberapa parameter penting. Berikut adalah parameter utama yang digunakan dalam analisis konsolidasi primer:

1. Tegangan *Overburden* Efektif (Po')

   Menurut Winner (2017) dalam Satindra (2018), tegangan overburden efektif adalah tekanan vertikal pada tanah asli akibat beban di atasnya. Perhitungannya menggunakan Persamaan 3.33.

$$Po' = \gamma' \times H \quad (3.33)$$

   dengan :

   Po' = tekanan *overburden* efektif.
   γ' = berat volume tanah efektif.
   H = tebal lapisan tanah (m).

2. Distribusi Tegangan Tanah (Δp)

Distribusi tegangan tanah adalah kenaikan tegangan akibat beban timbunan di atasnya (Winner, 2017) dan dihitung dengan Persamaan 3.34.

$$\Delta p = 2 \times qo \times I \quad (3.34)$$

$$qo = \gamma_{timbunan} \times H$$

dengan :

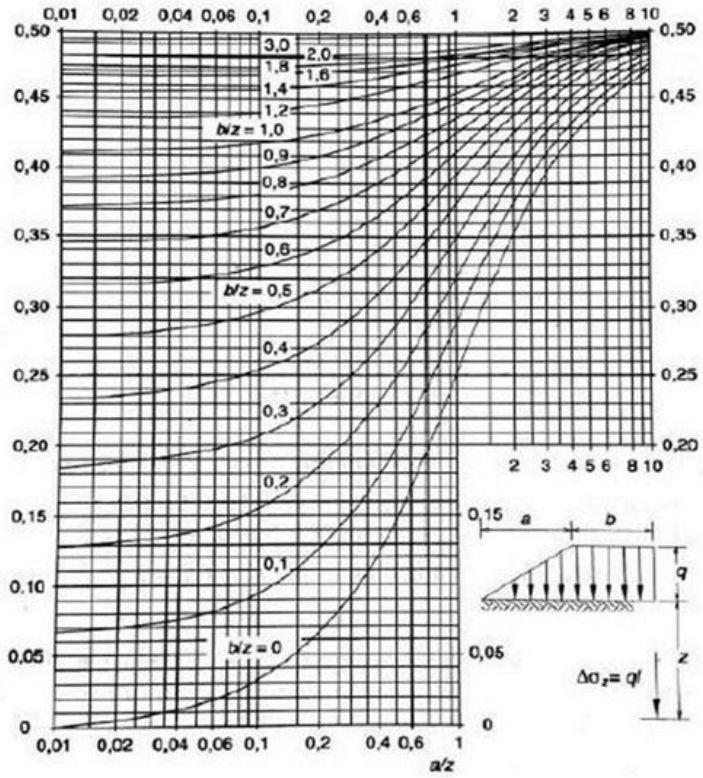
Δp = tekanan *overburden* efektif.

qo = berat volume tanah efektif.

$\gamma_{timbunan}$ = tebal lapisan tanah (m).

H = tebal lapisan tanah (m).

I = faktor pengaruh, perhitungan dilakukan dengan melihat Gambar 3. 14



Gambar 3. 13 Faktor Pengaruh Akibat Beban Timbunan (*Osterberg*, 1975)

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

3. Koefisien Konsolidasi

a. Koefisien Arah Vertikal (Cv)

Konsolidasi biasanya terjadi secara vertikal. Koefisien konsolidasi vertikal (Cv) digunakan untuk menghitung kecepatan aliran air dan dapat diperoleh dari Persamaan 3.35.

$$CV = \frac{Tv \times H^2}{t} \tag{3.35}$$

dengan :

Cv = koefisien konsolidasi vertikal (cm^2/s).

Tv = 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)

Hitungan dapat dilihat pada Persamaan 3.36

$$C_H = (1 \text{ s.d } 2)\, Cv \tag{3.36}$$

dengan :

C_H = koefisien konsolidasi horizontal (cm^2/s),

c. Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal Gabungan

Hitungan dapat dilihat pada Persamaan 3.37

$$Cv\ gabungan = \frac{(H1 + H2 + \cdots + Hn)^2}{\left(\frac{H1}{\sqrt{Cv_1}} + \frac{H2}{\sqrt{Cv_2}} + \cdots + \frac{Hn}{\sqrt{Cv_n}}\right)^2} \tag{3.37}$$

dengan :

H1 = Tebal lapisan ke-1.

H_n = Tebal lapisan ke-n (cm).

CV_n = Nilai Cv pada lapisan ke-n (cm^2/s).

4. Indeks Pemampatan (Cc)

   Terzaghi dan Peck (1967) merekomendasikan penggunaan Persamaan 3.38 dan 3.39 untuk tanah lempung *undisturbed* dan *remolded.*

$$Cc = 0{,}009\ (LL - 10) \tag{3.38}$$

$$Cc = 0{,}007\ (LL - 10) \tag{3.39}$$

   dengan :

   Cc = indeks pemampatan.

   LL = batas cair (%).

5. Indeks Pemuaian (Cs)

   Indeks pemuaian dapat ditentukan melalui pengujian laboratorium menggunakan Persamaan 3.40 berikut ini.

$$Cs = 1/5 \text{ sampai } 1/10\ Cc \tag{3.40}$$

   dengan :

   Cs= indeks pemuaian.

   Cc= indeks pemampatan.

6. Faktor Waktu

   a. Faktor Waktu Konsolidasi Arah Vertikal (Tv)

      Pada tanah belum konsolidasi dengan PVD, aliran hanya vertikal. Waktu konsolidasi dihitung melalui Persamaan 3.41.

$$Tv = \frac{Cv.t}{H^2} \tag{3.41}$$

dengan :

Tv = faktor waktu, tergantung dengan derajat konsolidasi (U).

H = panjang maksimun lintasan drainase (cm).

Cv = koefisien konsolidasi (cm^2/s).

t = waktu konsolidasi (detik).

b. Faktor Waktu Konsolidasi Arah Horizontal (T_H)

Waktu konsolidasi dalam arah horizontal dapat ditentukan melalui Persamaan 3.42 berikut ini.

$$Th = \frac{Ch.t}{De^2} \quad (3.42)$$

dengan :

Th = faktor waktu arah radial, tergantung dengan derajat konsolidasi.

Ch = koefisien konsolidasi arah horizontal.

De = diameter jangkaun PVD.

t = waktu ke-n.

7. Kecepatan Waktu Konsolidasi (t)

Laju waktu penurunan konsolidasi dipengaruhi oleh panjang aliran air pori. Terzaghi (1943) menghitungnya dengan Persamaan 3.43 berikut.

$$t = \frac{Tv.Hdr^2}{Cv} \quad (3.43)$$

dengan :

t = waktu konsolidasi (tahun) .

Hdr = jarak air pori (m).

Tv = faktor waktu.

Cv = koefisien konsolidasi (m^2/tahun).

PVD mempercepat penurunan konsolidasi tanah lunak. Waktu penurunan dihitung dengan Persamaan 3.44.

$$\mathrm{Tc} = \frac{\mathrm{th.D^2}}{\mathrm{Ch}} \tag{3.44}$$

dengan :

Th = faktor waktu untuk drainase arah radial.

D = diameter zona pengaruh satu drain.

Ch = koefisien konsolidasi dengan drainase arah radial.

Tc = waktu konsolidasi dengan PVD.

8. Derajat Konsolidasi

a. Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (Uv)

Persamaan Terzaghi 1-D untuk menghitung derajat konsolidasi vertikal (Uv) ditunjukkan pada Persamaan 3.45.

$$Uv = \frac{\sqrt{\frac{4.Tv}{\pi}}}{\left(1+\left(\frac{4.Tv}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}} \tag{3.45}$$

dengan :

Uv = derajat konsolidasi arah vertikal.

m = bilangan bulat.

Tv = faktor waktu.

b. Derajat Konsolidasi Arah Horizontal (U_H)

Derajat konsolidasi horizontal (UH) dihitung menggunakan Persamaan 3.46 berikut.

$$\mathrm{U_H} = 1 - \frac{uav}{ui} = 1 - exp\left(\frac{-8Th}{F(n)}\right) \tag{3.46}$$

dengan :

U_H = derajat konsolidasi arah radial.

Th = faktor waktu radial.

F(n)= faktor hambatan.

Faktor hambatan jarak pada PVD dihitung menggunakan Persamaan 3.47 berikut.

$$\mathrm{F(n)} = \ln\left(\frac{De}{Dw}\right) - \frac{3}{4} \tag{3.47}$$

dengan :

De = diameter jangkauan pvd.

Dw = diameter ekuivalen pvd.

$$Dw = \frac{2 \times (a+b)}{\pi} \tag{3.48}$$

dengan :

a = lebar pvd.

b = ketebalan pvd.

9. Derajat Konsolidasi Rata-rata (U)

Derajat konsolidasi rata-rata adalah rasio waktu dan penurunan total, dihitung dengan Persamaan 3.49 (Carillo, 1942).

$$\mathrm{U} = 1 - (1 - \mathrm{Uv})(1 - \mathrm{Ur}) \tag{3.49}$$

Dimana :

U = derajat konsolidasi rata-rata.

Uv = derajat konsolidasi arah vertikal.

Ur = derajat konsolidasi arah horizontal.

3.5 *Plaxis*

3.5.1 Pendahuluan

Plaxis adalah *software* geoteknik untuk menganalisis perilaku tanah dan struktur seperti pondasi dan dinding penahan. Program ini membantu memprediksi

deformasi dan stabilitas, mempermudah pengolahan data lapangan, serta menghemat waktu dibanding perhitungan manual.

3.5.2 Analisis Stabilitas Lereng menggunakan *PLAXIS V20*

Analisis menggunakan perangkat lunak *PLAXIS* V20 dilakukan melalui beberapa tahap sistematis untuk memastikan hasil yang akurat dan representatif terhadap kondisi lapangan. Tahap pertama adalah input data, di mana dilakukan pemodelan geometris dinding penahan tanah dan lereng yang menjadi objek studi, termasuk juga pengaturan pembebanan, karakteristik material tanah, proses meshing, serta kondisi awal yang mencerminkan situasi nyata di lapangan. Selanjutnya, pada tahap perhitungan, analisis dilakukan sesuai dengan tipe analisis yang diperlukan, seperti konsolidasi tanah, perilaku plastik material, pengurangan parameter geser, serta analisis dinamis. Setelah proses komputasi selesai, hasil analisis dapat diakses dalam bentuk visualisasi grafik, data numerik, dan kurva yang menggambarkan faktor keamanan, perpindahan total, potensi kelongsoran, serta distribusi tegangan total pada struktur. Tahap terakhir melibatkan penggunaan kurva sebagai alat untuk membandingkan hasil analisis antar tahapan, dengan fokus pada kurva faktor keamanan dan perpindahan vertikal sebagai parameter utama evaluasi kestabilan.

Analisis stabilitas lereng menggunakan PLAXIS v20 memberikan keuntungan signifikan karena perangkat lunak ini mampu memodelkan perilaku tanah secara realistis menggunakan metode elemen hingga (finite element method). Berbeda dengan metode konvensional seperti metode keseimbangan batas (limit equilibrium), PLAXIS memungkinkan analisis yang lebih detail terhadap tegangan dan deformasi yang terjadi dalam tubuh lereng. Hal ini sangat berguna untuk memahami bagaimana kondisi tanah dan beban eksternal mempengaruhi stabilitas, serta untuk memprediksi potensi keruntuhan atau longsor secara lebih akurat. Selain itu, PLAXIS v20 mendukung berbagai model tanah non-linear, seperti Mohr-Coulomb, Hardening Soil, atau Soft Soil, yang memungkinkan pengguna memilih model yang paling sesuai dengan karakteristik tanah di lokasi proyek.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah cara untuk mengumpulkan dan menganalisis data guna menarik kesimpulan. Penelitian ini menggunakan aplikasi *Plaxis* untuk mengevaluasi stabilitas lereng dan menentukan faktor keamanan lereng asli serta setelah perkuatan geotekstil. Hasilnya diharapkan membantu mengatasi masalah lereng di Jalan Tol Semarang-Demak.

4.2 Data Penelitian

Pada penelitian ini, pengumpulan data sekunder dari Proyek Jalan Tol Semarang-Demak sangat diperlukan. Data tersebut mencakup berbagai aspek penting, mulai dari data tanah yang diperoleh melalui uji lapangan dan laboratorium. Uji lapangan meliputi hasil Standard Penetration Test (SPT) yang disajikan dalam bentuk grafik dan tabel, sedangkan uji laboratorium meliputi parameter berat volume tanah, sudut geser dalam, dan kohesi. Selain itu, data mengenai lapisan tanah, gempa bumi, dan kondisi lereng juga dikumpulkan untuk mendukung analisis yang komprehensif.

4.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang sistematis. Tahap awal mencakup pengumpulan data berupa sampel tanah dan kondisi lereng, yang diperoleh melalui pengujian lapangan dan laboratorium sebagai dasar analisis. Selanjutnya, data tersebut diolah menggunakan perangkat lunak *Plaxis* untuk melakukan analisis stabilitas timbunan jalan, dengan tujuan memperoleh nilai faktor keamanan baik pada kondisi tanah asli maupun setelah penerapan perkuatan geotekstil. Tahap terakhir meliputi pembahasan hasil analisis dan penyusunan laporan yang memuat solusi atas permasalahan yang ditemukan serta kesimpulan yang diambil berdasarkan teori dan hasil penelitian.

4.4 Analisis Data

Metode analisis data berfungsi untuk memudahkan pemahaman terhadap data yang terkumpul. Analisis dilakukan sesuai tahapan pengerjaan yang telah ditetapkan. Berikut ini adalah data yang diperoleh.

4.4.1 Parameter Tanah

Parameter tanah penting dalam analisis stabilitas lereng dan diperoleh dari data sekunder Laporan Analisis Geoteknik Jalan Tol Semarang-Demak.

4.4.2 Geotekstil

Di *PLAXIS*, nilai kekakuan (EA) geotekstil sebagai input dihitung menggunakan Persamaan 4.1.

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

Keterangan :

Fg = Kuat tarik ijin geotekstil (kN/m).

$\Delta l/l$ = Regangan pada geotekstil.

Geotekstil yang digunakan adalah anyaman (woven) produksi PT. Geo Permata Abadi. Spesifikasinya tercantum pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 1 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 Lalu Lintas

Lereng dipengaruhi oleh beban perkerasan, lalu lintas, dan gempa. Beban lalu lintas diklasifikasikan berdasarkan fungsi dan jaringan jalan seperti tercantum pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 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

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum (2009)

4.4.4 *Prefabricated Drain*

Drainase pracetak pada proyek Tol Semarang – Demak mengikuti spesifikasi material sesuai SNI Geoteknik 8460:2017, seperti terlihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3. Spesifikasi *Prefabricated Vertical Drain*

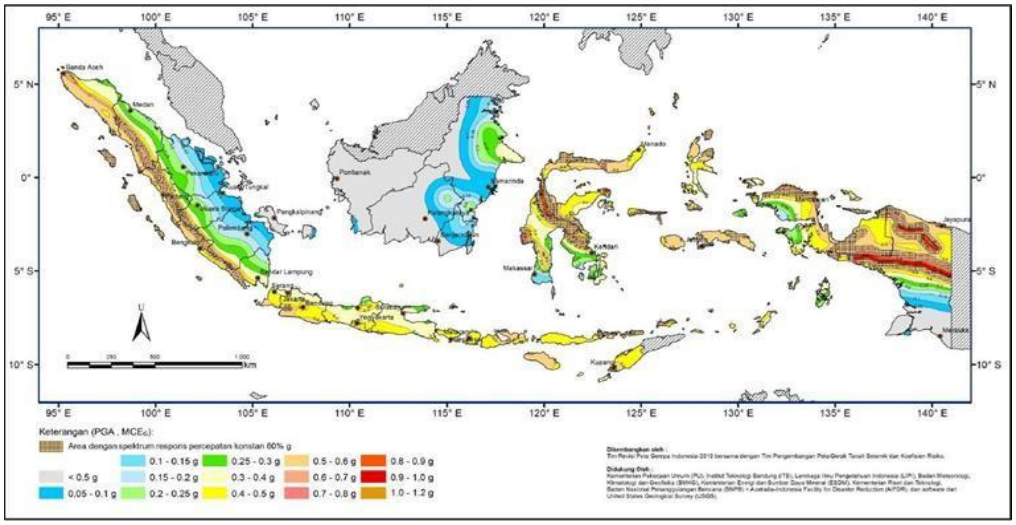
No	Parameter	Unit	SNI Geoteknik (2017)
A	Composite		
1	Tebal (Thickness)	mm	2-10
2	Lebar (Width)	mm	100
3	Kuat Tarik (Tensile Strength)		
-	Regangan putus (Elongation Break)	%	>2
-	Regangan @0.5 kN (Elongation at 0.5 kN tensile)	%	<10
-	Kuat tarik minimum (Tensile Setrength at break)	kN	>1.5
4	Uji kapasitas pelepasan (Discharge Capacity)	cm^3/s	>6.5
B	Filter		
1	Kuat Tarik (Tensile Strength)	kN/m	>3
2	Uuran Pori (Apparent Opening Size)	um	<80
3	Index Kecepatan Fiter (Vh50)	mm/s	>1

Sumber: SNI Geoteknik 8460:2017

4.4.5 Beban Gempa

Gambar 4.1 adalah peta zonasi gempa di Indonesia. Peta zonasi gempa berfungsi sebagai acuan penting dalam perencanaan dan perancangan bangunan serta infrastruktur untuk memastikan ketahanan terhadap gempa bumi. Peta ini memberikan informasi mengenai tingkat risiko seismik di suatu wilayah, seperti

intensitas gempa, percepatan tanah maksimum, dan karakteristik tanah lokal yang dapat memperkuat guncangan.



Gambar 4. 1 Peta Zonasi Gempa
(Sumber: Puskim, 2018)

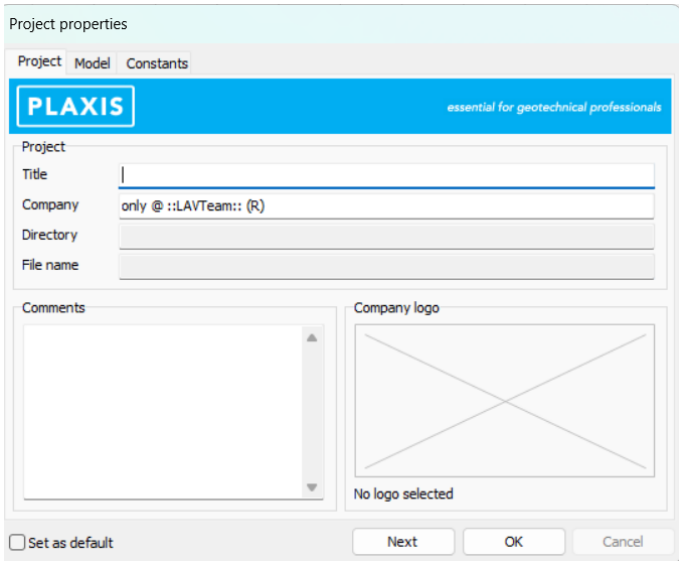
4.5 Pengoperasian Program *Plaxis*

Penelitian ini menggunakan tiga langkah analisis utama dengan software *Plaxis*: input data, perhitungan numerik, dan penyajian hasil.

4.5.1 *Plaxis Input*

1. Buka Program *Plaxis*

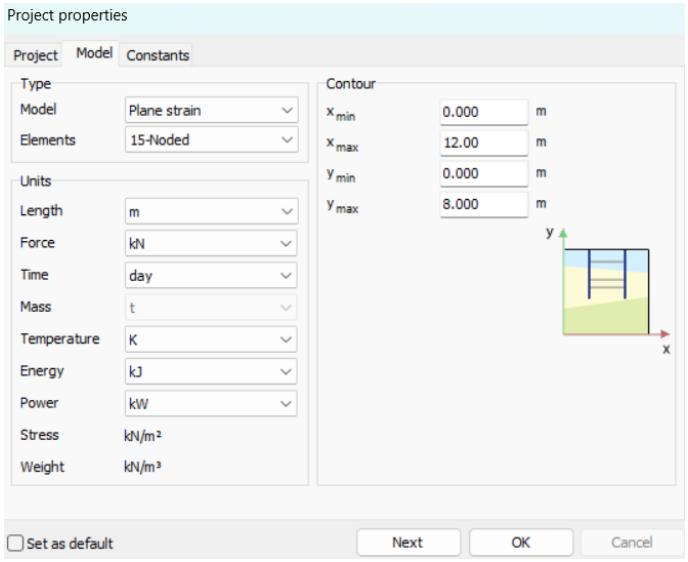
   Langkah pertama menggunakan *Plaxis* adalah klik ganda ikon *Plaxis* Input, kemudian pilih “New Project” pada dialog yang muncul dan tekan OK. Selanjutnya, isi data pada kotak dialog “Project Properties” sesuai dengan tampilan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Kotak *Dialog Project Properties*

2. *Project Properties*

Pada jendela *Project Properties*, isi nama proyek di *tab project* pada kolom title. Pilih analisis plain strain dan elemen 15-noded pada bagian general untuk meningkatkan akurasi. Tentukan satuan di kolom units sebagai referensi visualisasi.



Gambar 4. 3 Jendela *Model Properties*

3. Pemodelan Geometri

Berikut adalah langkah – langkah yang perlu diikuti dalam membuat model geometri.

a. 

pilih opsi "*Structure*" pada tab.

b. Klik *icon*  kemudian pilih opsi 

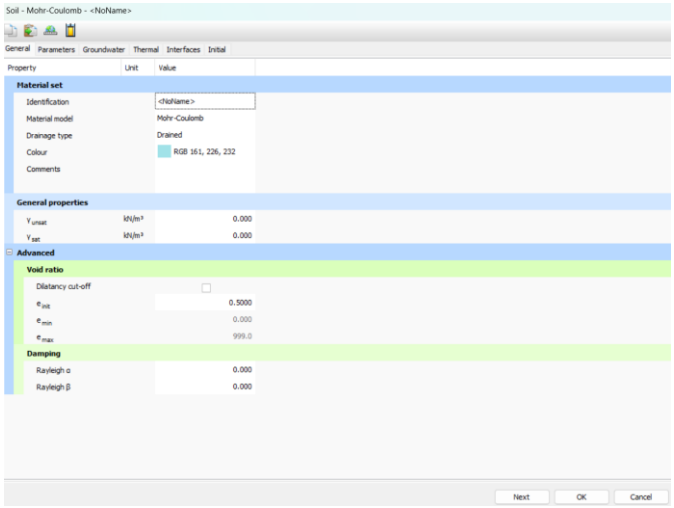
setelah itu gambar geometri sesuai dengan koordinat yang telah ditentukan.

c.  klik tombol *Create Load*, kemudian pilih opsi 

kemudian, klik pada titik awal dan titik akhir pada geometri yang akan menerima beban, lalu klik kanan *mouse* untuk menyelesaikan pengaturan beban merata.

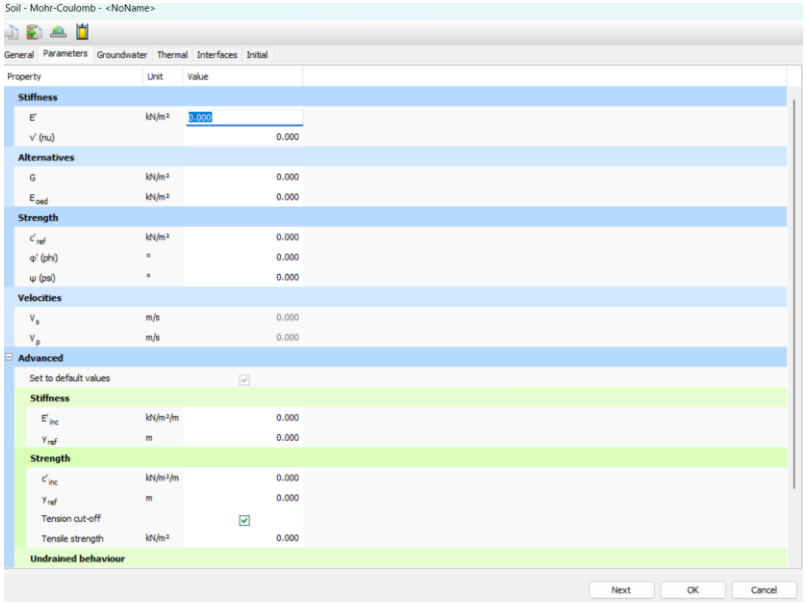
4. Input Parameter Material

Data material dapat diinput melalui tombol material sets di *toolbar* atau menu *materials*. Setelah mengklik new pada jendela material sets, akan muncul dialog dengan *tab general*, parameters, dan *interface*. Pada tab *general*, isi kolom identification dengan nama material dan pilih model Mohr–Coulomb. Lengkapi nilai properti material di bagian *general properties* dan *void ratio*. Isi karakteristik material pada tab parameters, serta parameter aliran pada *tab groundwater* jika diperlukan. Klik OK untuk menyimpan. Material kemudian diterapkan pada wilayah tanah dengan menyeret data dari jendela *material sets* ke area grafis hingga warna berubah. Akhiri dengan menekan OK untuk menutup jendela material.



Gambar 4. 4 Lembar *Tab General* dari Jendela *Material Sets*

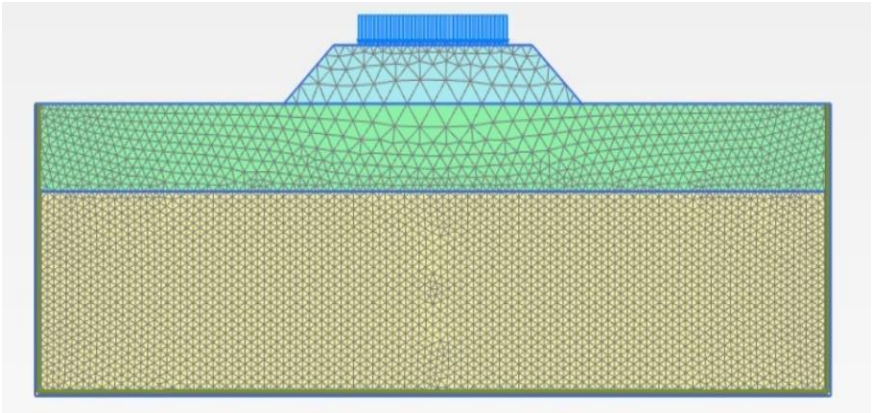
Sebelum memulai proses pembuatan mesh, klik  untuk menentukan batas (*boundary*) dalam model.



Gambar 4. 5 Lembar *Tab Parameters* dari Jendela *Material Sets*

5. Mesh Generation

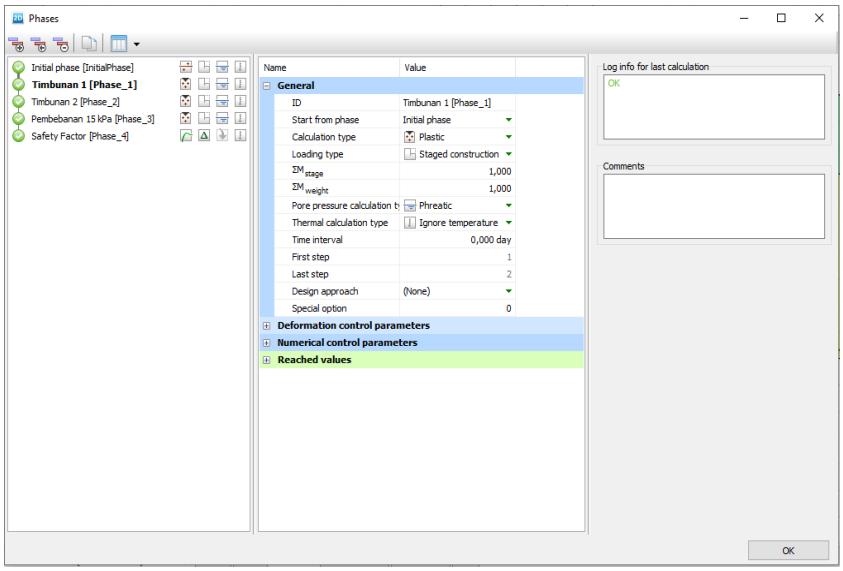
 Pilih "*Generate Mesh*" pada *toolbar* atau menu *mesh*. Setelah jala elemen terbentuk, akan tampil jendela baru memperlihatkan elemen tersebut (Gambar 4.6). Tekan "Perbarui" untuk kembali ke mode pengeditan geometri.



Gambar 4. 6 Jaringan Elemen Hingga (*Meshing*)

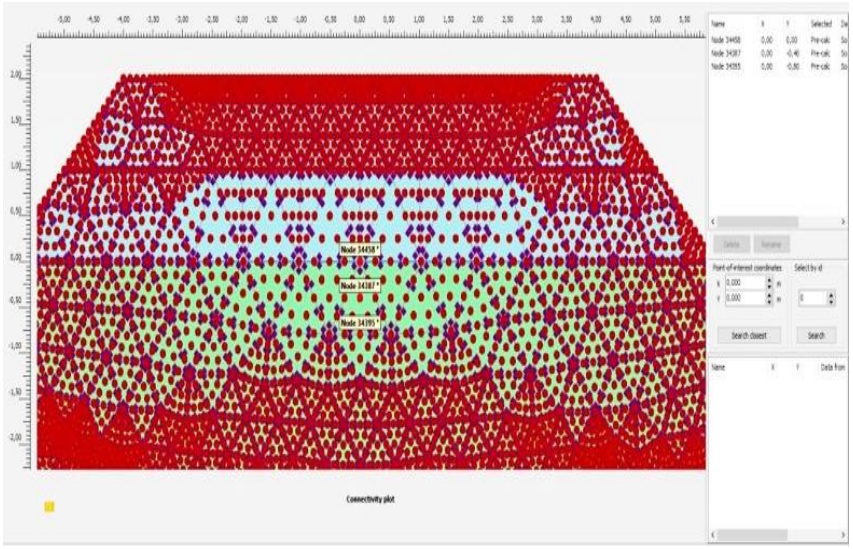
4.5.2 *Plaxis Calculation*

Analisis pada *Plaxis* diawali dengan membuka menu *staged construction* untuk menambahkan fase sesuai model yang dianalisis. Pada tab *general*, dipilih analisis plastis guna mengukur deformasi. Untuk simulasi dampak gempa, digunakan metode pengurangan nilai phi/c. Input beban dilakukan melalui *staged construction* pada tab parameter, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Jendela *Phase* dengan Lembar *Tab General*

 Langkah berikutnya yaitu memilih titik untuk ditampilkan dalam grafik dengan mengakses opsi *Select Point for Curve*, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.8.

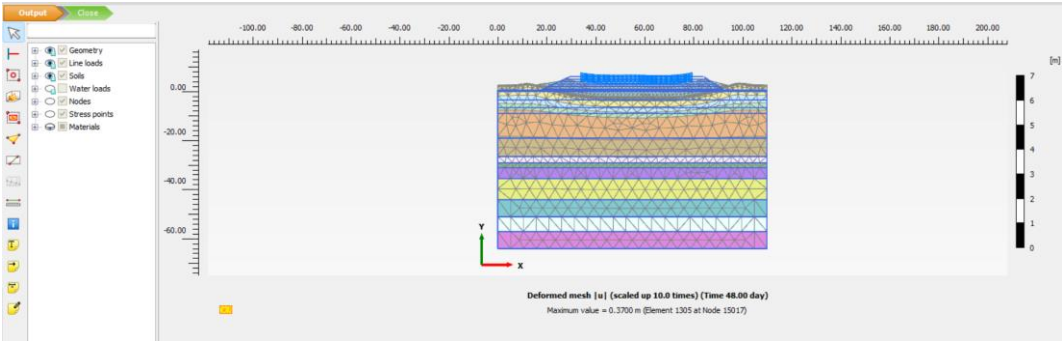


Gambar 4. 8 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau

 Langkah berikutnya adalah mengeksekusi analisis perhitungan dengan mengklik tombol "*Calculate*".

4.5.3 *Plaxis Output*

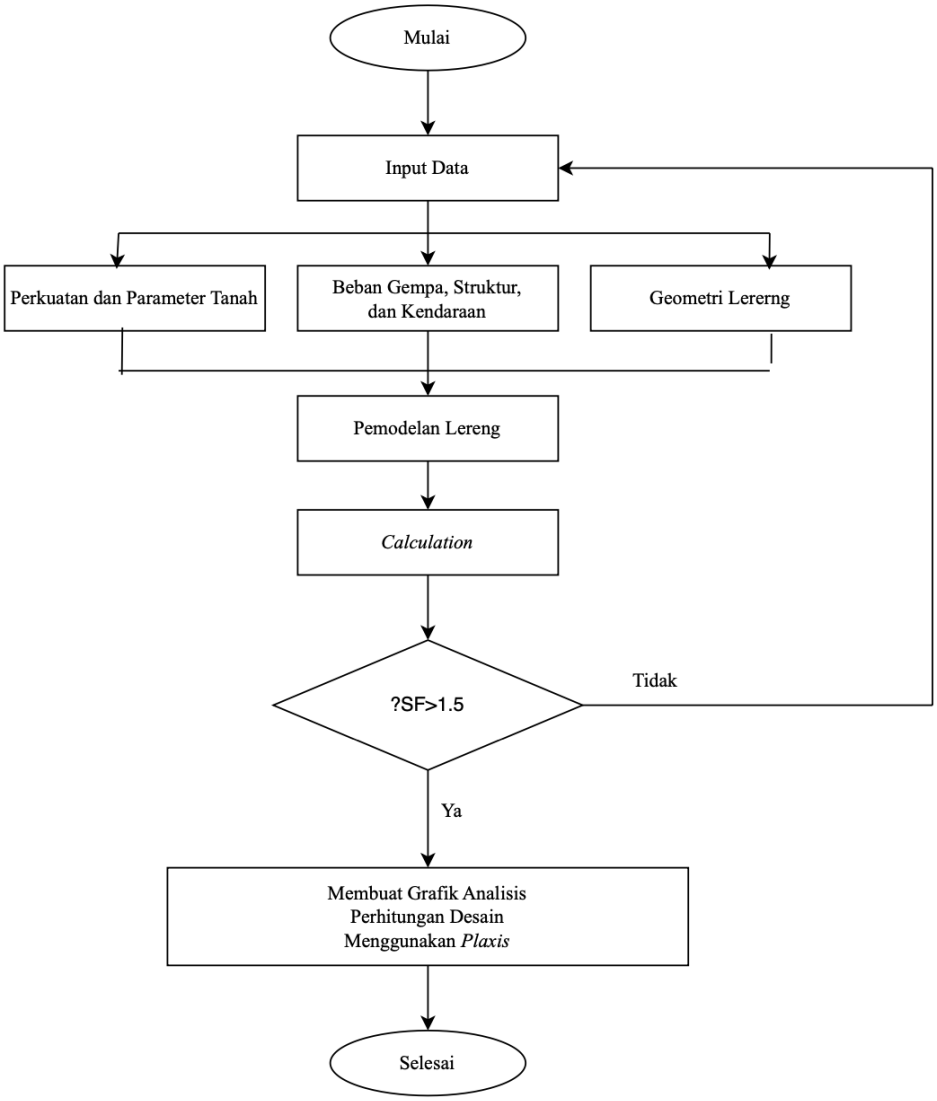
Hasil analisis dapat ditinjau melalui menu *Plaxis Output*  yang akan menampilkan jendela berisi output perhitungan, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.9.



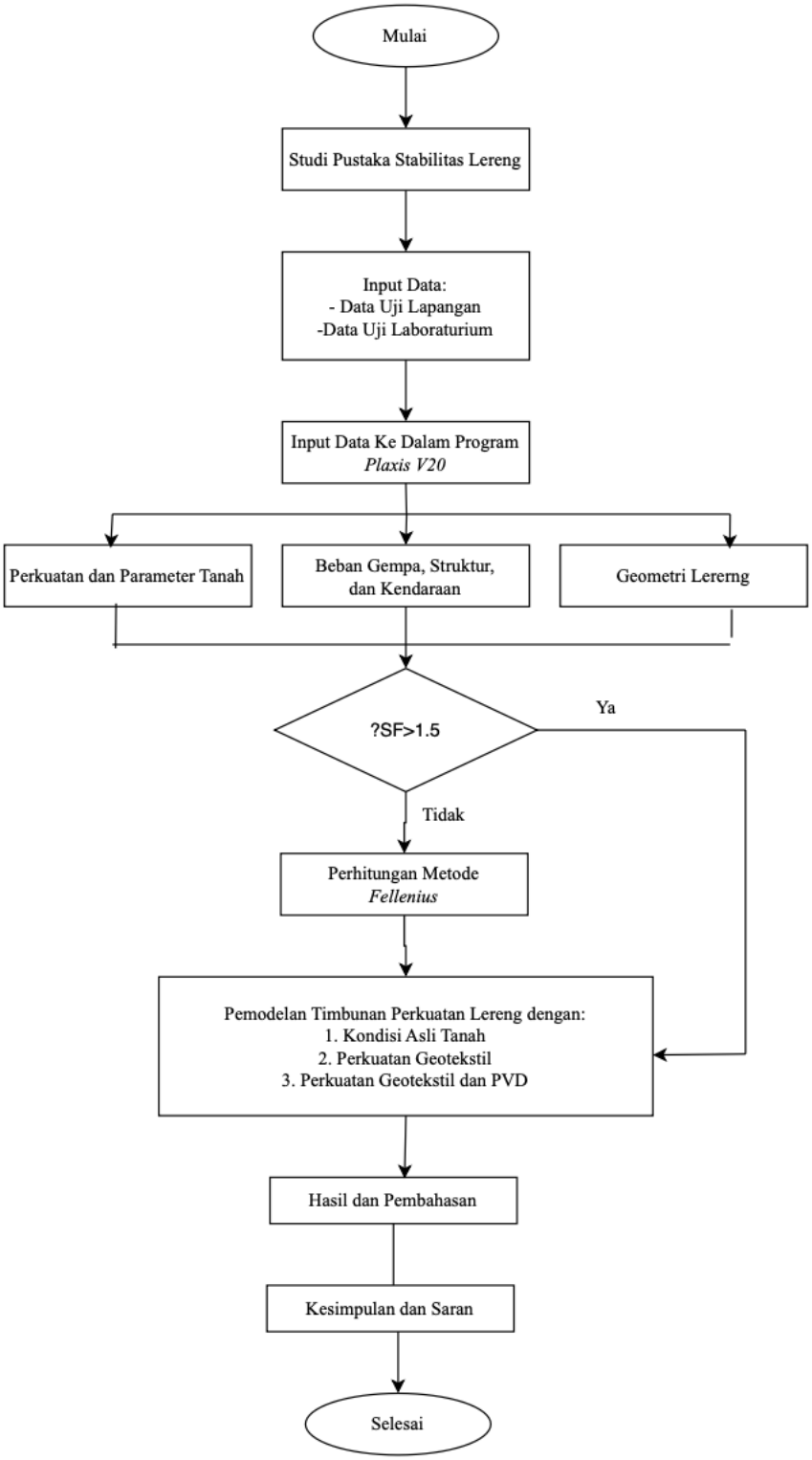
Gambar 4. 9 Jendela *Output* Perhitungan

4.6 Bagan Alir Penelitian

Pada penelitian ini dibuat langkah-langkah pelaksanaan alur penelitian atau *flowchart* yang dapat dilihat pada gambar 4.10 dan 4.11 berikut.



Gambar 4. 10. Bagan Air Penelitian

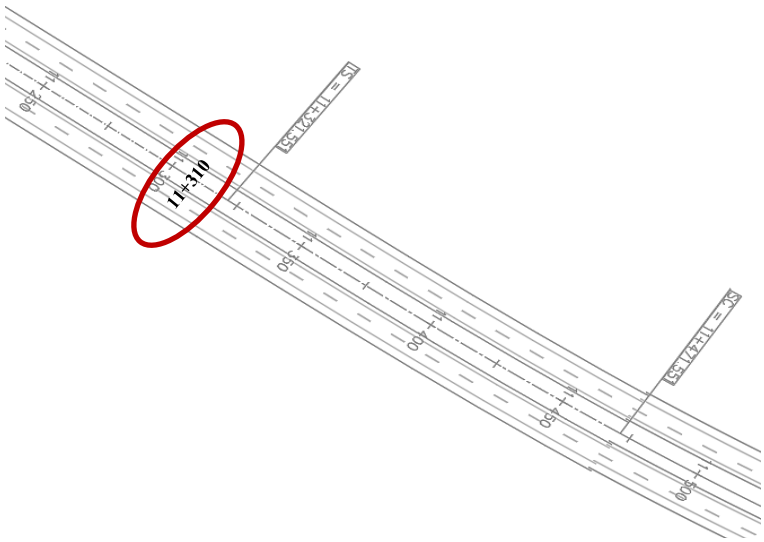


Gambar 4. 11 Bagan Alir Plaxis

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum Analisis

Analisis stabilitas timbunan dilakukan pada Jalan Tol Semarang–Demak Sta 11+310 dapat dilihat pada Gambar 5.1 menggunakan *Plaxis* V20, baik pada kondisi tanah asli maupun tanah yang diperkuat dengan geotekstil dan *prefabricated vertical drain*.



Gambar 5. 1 Potongan Peta Stasiun Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Sta 11+310

5.1.1 Data Penelitian

1. Data Parameter Tanah

   Data tanah diperoleh dari sumber sekunder, yakni Laporan Survei Penyelidikan Tanah Jalan Tol Semarang–Demak Paket II oleh PT Pembangunan Perumahan tahun 2020.

2. Data Beban Struktur

   Beban merata akibat lapisan perkerasan jalan sebesar 13,65 kN/m² digunakan dalam analisis konstruksi.

3. Data Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas sebesar 15 kN/m² dimasukkan ke *PLAXIS*, sesuai klasifikasi Jalan Tol Semarang–Demak sebagai jalan arteri primer.

4. Data Beban Gempa

   Proyek Tol Semarang–Demak Sta. 11+310 terletak di Jawa Tengah dengan PGA 0,258g sesuai SNI 1726:2019. Simulasi Grafik percepatan gempa dari Whitter Narrow California dan peta zonasi disajikan pada gambar 4.1 dan 4.2.

5. Data *Prafabricated Drain*

   Prefabricated Drain pada proyek Tol Semarang–Demak dirancang sesuai SNI Geoteknik 8460:2017, dengan spesifikasi material ditampilkan pada Tabel 4.3.

6. Data Geotekstil

   Material geotekstil yang dimanfaatkan dalam penelitian ini berasal dari PT. Geo Permata Abadi dan termasuk dalam kategori woven tipe GT 250. Informasi teknis terkait spesifikasi geotekstil tersebut disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Data Parameter Beban Lalu Lintas

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

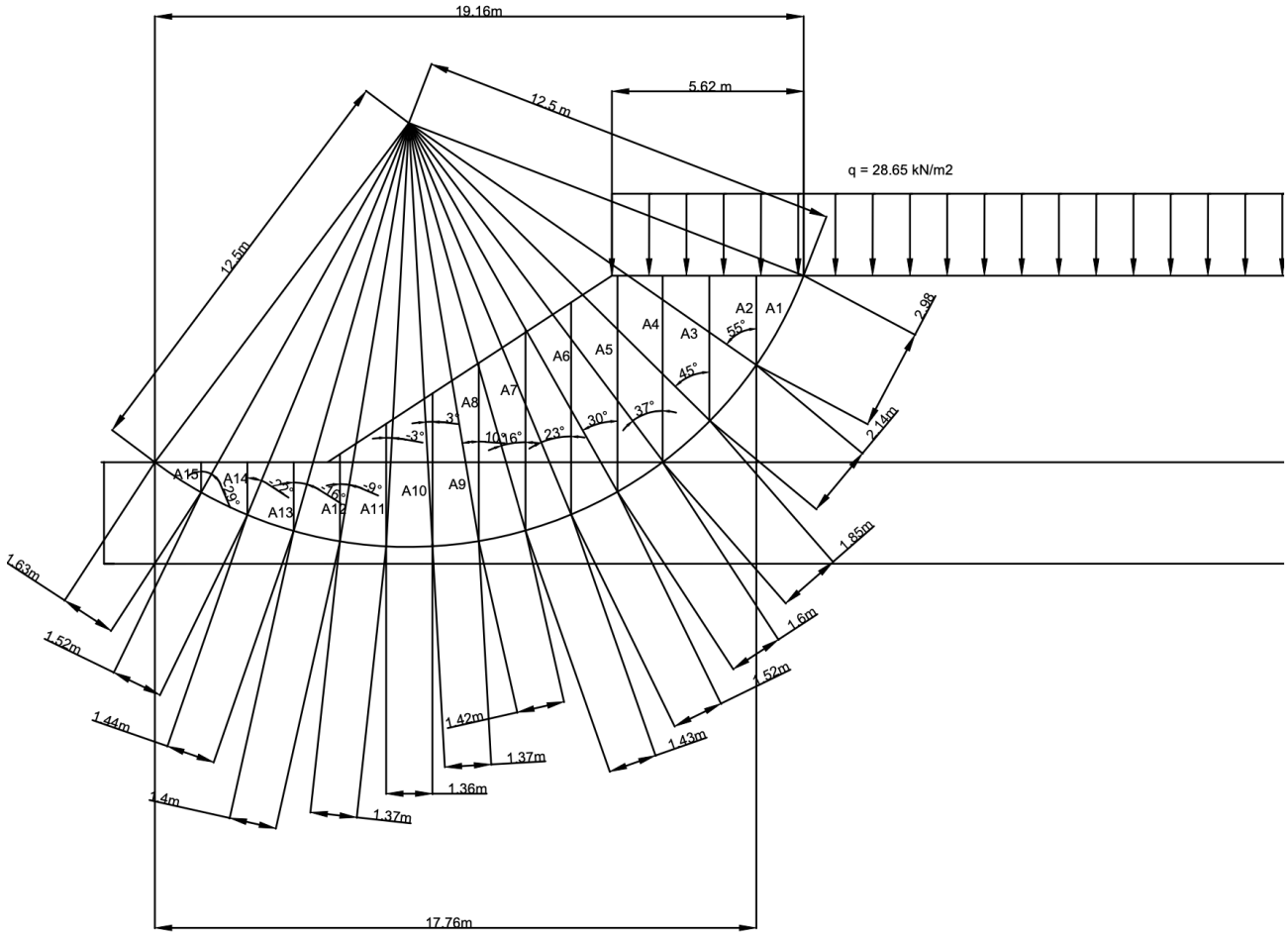
Sumber : PT. Geo Permata Abadi, 2021

7. Kondisi Eksisting Lereng

   Data timbunan dan karakteristik tanah yang telah diperoleh kemudian direpresentasikan dalam bentuk ilustrasi. Kondisi eksisting dari timbunan beserta jenis tanah pada setiap lapisannya ditampilkan pada Gambar 5.2

5.1.2 Perhitungan Manual Dengan Metode Fellenius

Analisis *Plaxis* mengungkap potensi longsoran pada timbunan 5,5 m untuk menentukan faktor keamanan lereng tanah asli dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5. 2 Penampang Irisan Pada Timbunan 5,5 m

Longsor dibagi 13 irisan horizontal sepanjang 1,57 m, dianalisis kestabilannya 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 irisam 1 dan irisan 11 untuk badan jalan tanpa perkuatan.

$W_1 = \gamma \times A_1 + (q \times L)$

$= 16{,}2022 \times 2{,}07 + 28{,}65 \times 1{,}57$

$= 78{,}53$ kN

$W_2 = (\gamma \times A_2) + (q \times L)$

$= (16{,}2022 \text{ x } 5{,}44) + (28{,}65 \text{ x } 5{,}62)$

$= 133{,}04$ kN

Mengukur besar sudut (α) dan radians pada setiap pias irisan bidang longsor.

$Rad_1 = \alpha \times \frac{\pi}{180}$

$= 55 \times \frac{\pi}{180}$

$= 0{,}9594$

$Rad_1 = \alpha \times \frac{\pi}{180}$

$= 45 \times \frac{\pi}{180}$

$= 0{,}7857$

2. Menghitung nilai W sin α untuk setiap pias.

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

$= 78{,}53 \times \sin (0{,}9594)$

$= 64{,}31$ kN/m

Pias 2 $= W \times \sin \alpha$

$= 133{,}04 \times \sin (0{,}7857)$

$= 94{,}11$ kN/m

3. Menghitung W cos α untuk setiap pias.

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

$= 78{,}53 \times \cos (0{,}9594)$

$= 45{,}07$ kN/m

Pias 2 $= W \times \cos \alpha$

$= 133{,}04 \times \cos (0{,}7857)$

$= 94{,}05$ kN/m

Rekapitulasi hasil perhitungan gaya berat pias pada timbunan 5,5 meter dapat dilihat pada tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5. 2 Perhitungan Stabilitas Lereng

Slice	Luas (A)	Width	ΔLn	Γ	Weight	α	Sin α	Cos α	φ	Tan φ	W.sin α	W.cos α	C	(C.ΔLn + W cos α Tan φ)
	m^2	m	m	Kn/m^2	Kn/m				°		Kn	Kn	Kn/m^2	
A1	2,07	1,57	2,98	16,20	78,56	55,00	0,82	0,57	46,83	0,45	64,31	45,07	10	49,88
A2	5,44	1,57	2,14	16,20	133,12	45,00	0,71	0,71	46,83	0,45	94,11	94,05	10	63,29
A3	7,69	1,57	1,85	16,20	169,50	37,00	0,60	0,80	46,83	0,45	10,98	135,25	10	108,87
A4	9,32	1,57	1,60	16,20	195,95	30,00	0,50	0,87	46,83	0,45	97,95	169,57	10	129,29
A5	10,52	1,57	1,52	16,20	170,37	23,00	0,39	0,92	46,83	0,45	66,53	156,68	10	119,88
A6	10,17	1,57	1,43	16,20	164,76	16,00	0,28	0,96	46,83	0,45	45,39	158,23	10	120,02
A7	8,97	1,57	1,42	16,20	145,33	10,00	0,17	0,98	46,83	0,45	25,22	143	10	109,74
A8	7,57	1,57	1,37	16,20	122,58	3,00	0,05	1,00	46,83	0,45	6,41	122,31	10	95,42
A9	5,90	1,57	1,36	16,20	95,58	-3,00	-0,05	1,00	46,83	0,45	-5,00	95,37	10	77,32
A10	3,68	1,57	1,37	16,20	59,57	-9,00	-0,16	0,99	46,83	0,45	-9,31	58,79	10	52,98
A11	2,95	1,57	1,40	16,20	47,82	-16,00	-0,28	0,96	46,83	0,45	-13,18	45,93	10	44,69
A12	2,14	1,57	1,44	16,20	34,59	-22,00	-0,37	0,93	46,83	0,45	-12,95	32,05	10	35,81
A13	0,85	1,57	1,52	16,20	13,74	-29,00	-0,48	0,87	46,83	0,45	-6,66	12,00	10	23,22
Total											454.80			1030,41

4. Menghitung nilai *safety factor* (SF) pada Sta. 11 + 310

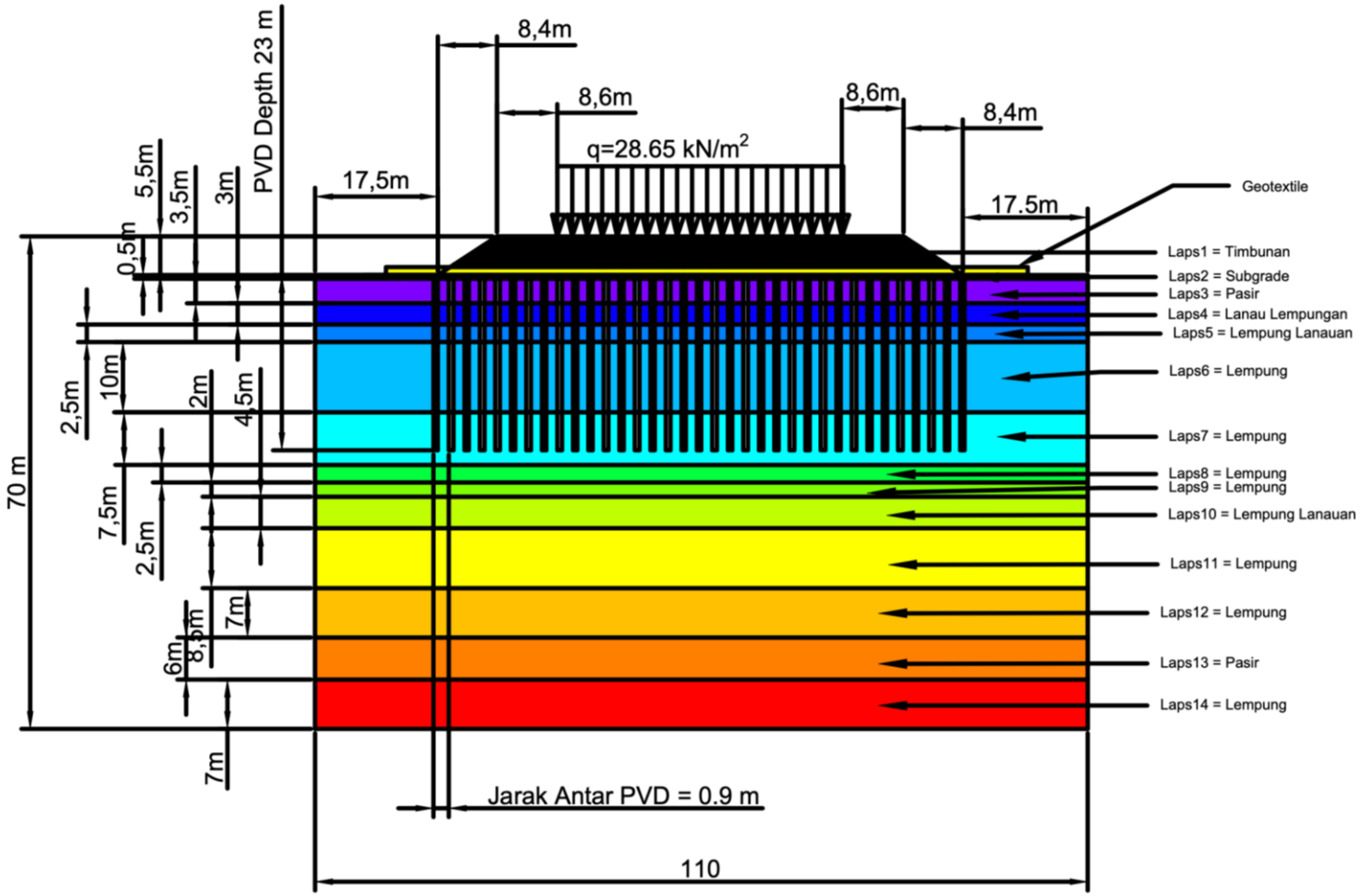
Nilai *safety factor* atau angka aman pada lereng timbunan asli dengan perhitungan manual dengan menggunakan *Metode Fellenius* adalah sebagai berikut.

$$SF = \frac{\Sigma\,(C.\Delta Ln + W\cos\alpha\tan\varphi)}{(\Sigma\, W\sin\alpha) + (Beban \times Luas)}$$

$$= \frac{1030{,}41}{(454{,}80) + (28{,}65 \times 5{,}62)}$$

$$= 1{,}67$$

Faktor keamanan badan jalan tanpa perkuatan pada timbunan 5,5 m pasca konstruksi sebesar 1,67 sudah memenuhi syarat minimum 1,3.



Gambar 5. 3 Geometri Kondisi Eksisting Lereng Tanah Menggunakan PVD dan Geotekstil

Tabel 5. 3 Parameter Tanah Masing-Masing Lapisan

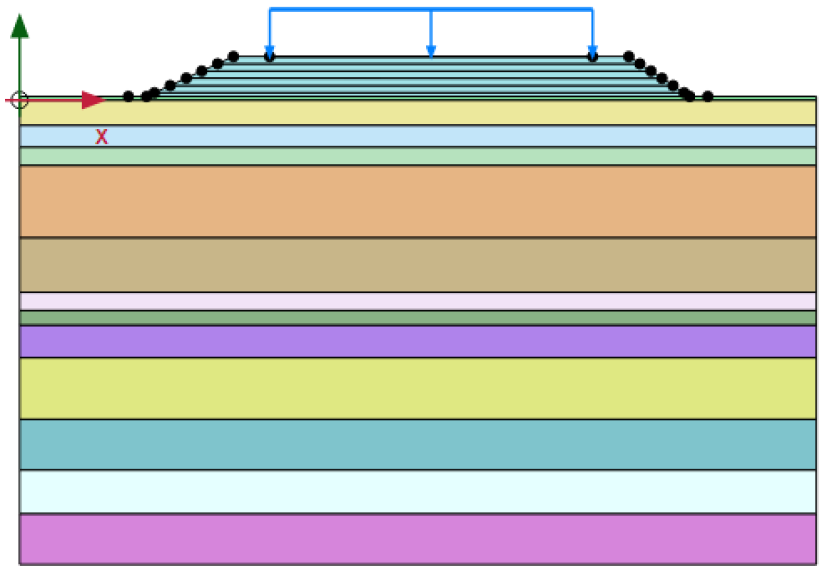
Lapisan Tanah	Keterangan	*Depth*	yunsat	ysat	E'	Vnu	Cref	Phi	Psi
		m	kN/m^3	kN/m^3	kN/m^2		kN/m^2	o	o
1	Pasir	0-5,5	10,17	16,20	45960,00	0,35	10	24	16,83
2	Lempung	5,5-6	10,17	16,20	13788,00	0,35	10	24	4,70
3	Pasir	6-9,5	10,16	16,19	3830,00	0,35	10	24	0,00
4	Lempung	9,5-12,5	11,32	16,75	124,25	0,35	10	24	0,00
5	Lempung	12,5-15	10,15	16,19	1532,00	0,35	10	24	0,00
6	Lempung	15-25	9,08	15,34	3217,20	0,35	10	24	0,00
7	Lempung	25-32.5	9,45	15,57	3638,50	0,35	10	24	0,00
8	Lempung	32,5-35	9,73	15,43	1532,00	0,35	10	24	0,00
9	Lempung	35-37	10,03	15,29	26810,00	0,35	10	24	10,49
10	Lempung	37-41,5	10,17	16,20	32172,00	0,35	10	24	12,45
11	Lempung	41,5-50	10,17	16,20	43087,50	0,35	10	24	15,98
12	Lempung	50-57	10,17	16,20	38555,33	0,35	10	24	14,58
13	Lempung	57-63	10,17	16,20	45194.00	0,35	10	24	16,61
14	Lempung	63-70	10,17	16,20	28086.67	0,35	10	24	10,98

5.2 Analisis Stabilitas Timbunan

5.2.1 Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan

1. Permodelan Awal Lereng

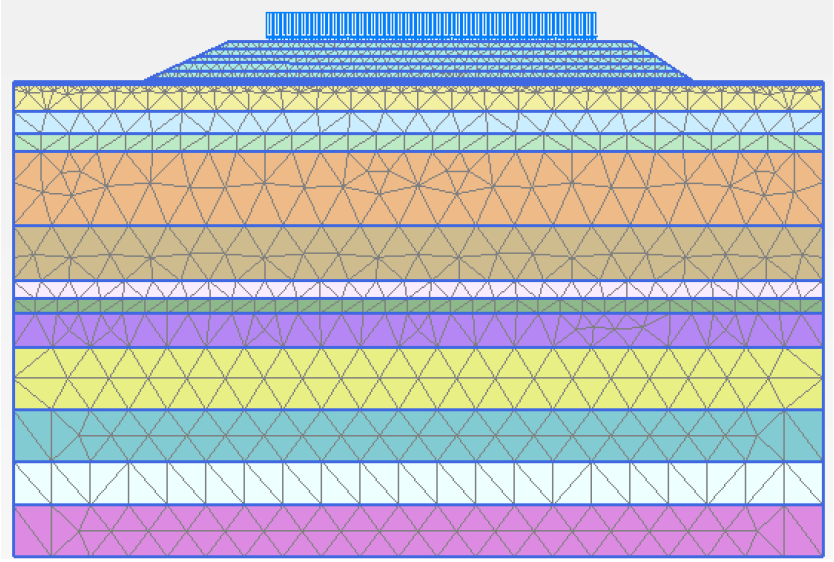
   Pemodelan lereng menggunakan tanah asli lokasi proyek dengan tinggi timbunan 5,5 meter, baik saat maupun pasca konstruksi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 4 Pemodelan Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Asli

2. Pembuatan Jenis Elemen

Setelah pemodelan dan input data selesai, dilakukan *meshing* bertipe medium pada lereng. Hasil *meshing* timbunan setinggi 5,5 meter ditampilkan pada Gambar 5.5.

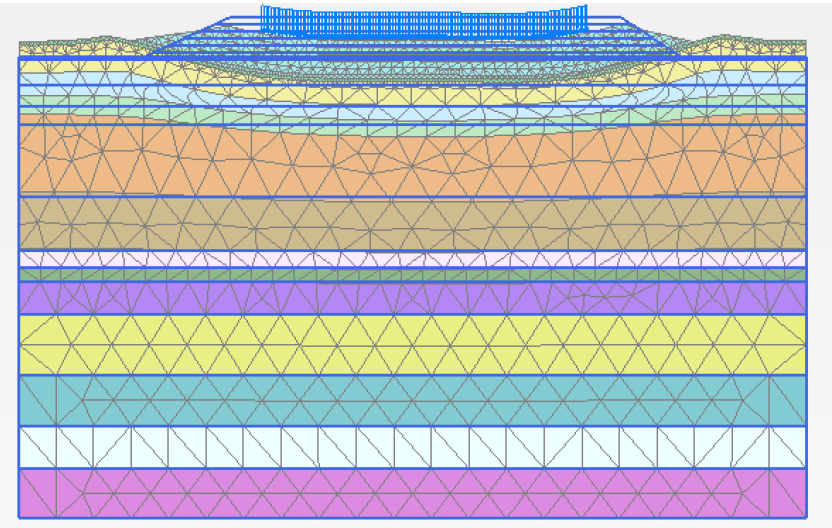


Gambar 5. 5 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Asli

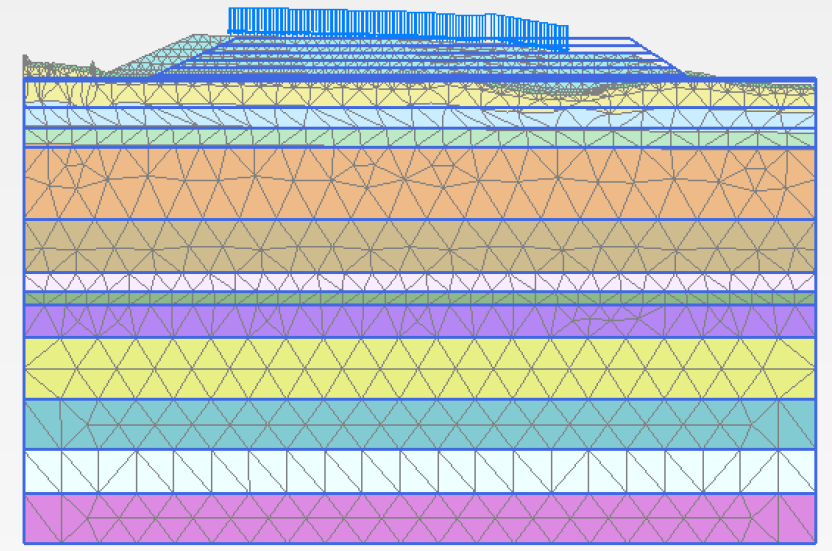
3. Kondisi Beban

Pada tahap awal konstruksi timbunan lereng, tanah diasumsikan dalam kondisi drained karena sistem drainase masih berfungsi optimal. Beban merata sebesar 13,65 kN/m diterapkan sebagai representasi beban struktur perkerasan jalan dan 15 kN/m sebagai beban total menjadi 28,65 kN/m. Setelah parameter tanah dan material dimasukkan, dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*), dilanjutkan dengan pengaturan kondisi aliran untuk input muka air tanah.

Analisis dilanjutkan melalui metode *staged construction* untuk timbunan setinggi 5,5 meter pada tanah asli tanpa perkuatan, yang terdiri dari 17 tahapan. Tahapan mencakup fase awal (*initial phase*), *reset deformas*i, hingga aplikasi beban struktur dan gempa.

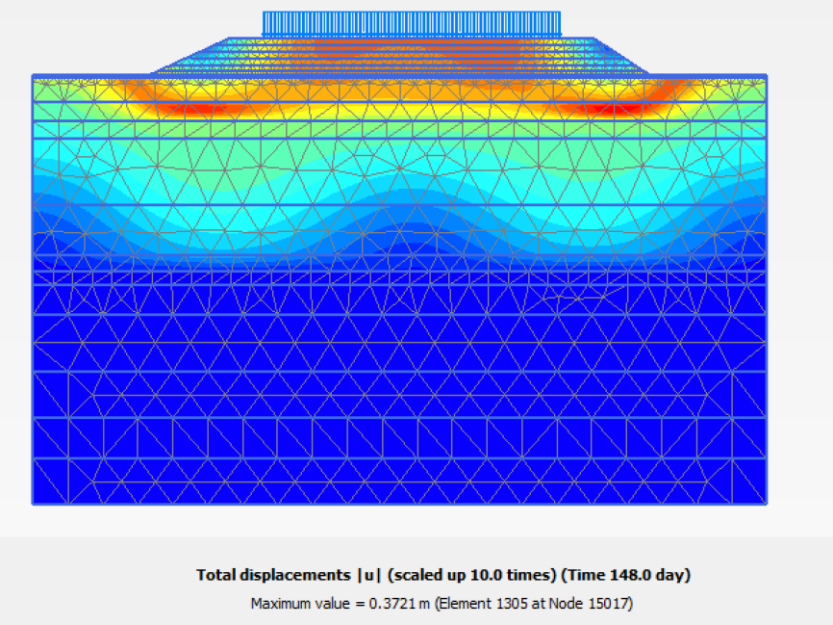


Gambar 5. 6 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Asli Akibat Beban Struktur dan Kendaraan

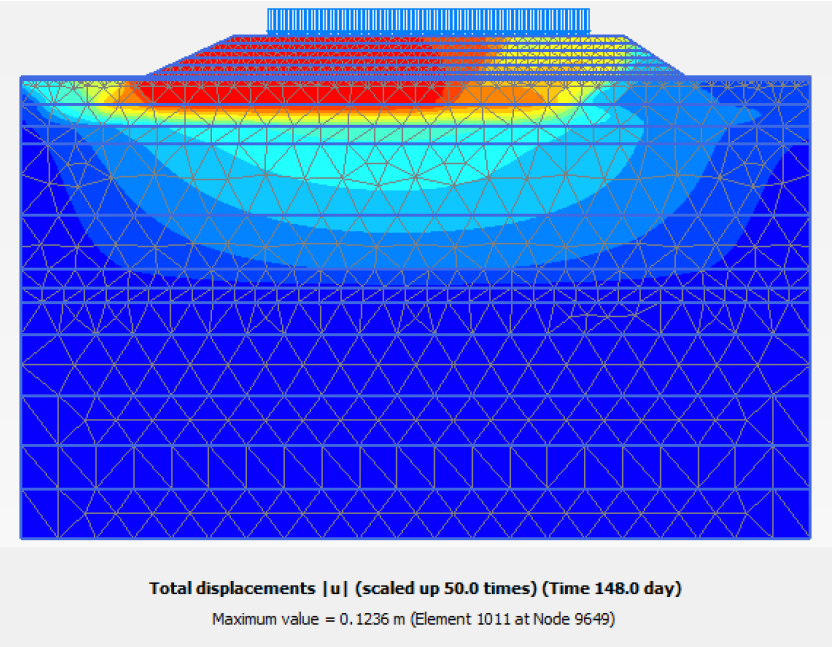


Gambar 5. 7. *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Asli Akibat Beban Struktur dan Gempa

Timbunan tanpa perkuatan mengalami pergeseran sekitar 0,05 meter pada ketinggian 5,5 meter akibat beban konstruksi dan gempa.

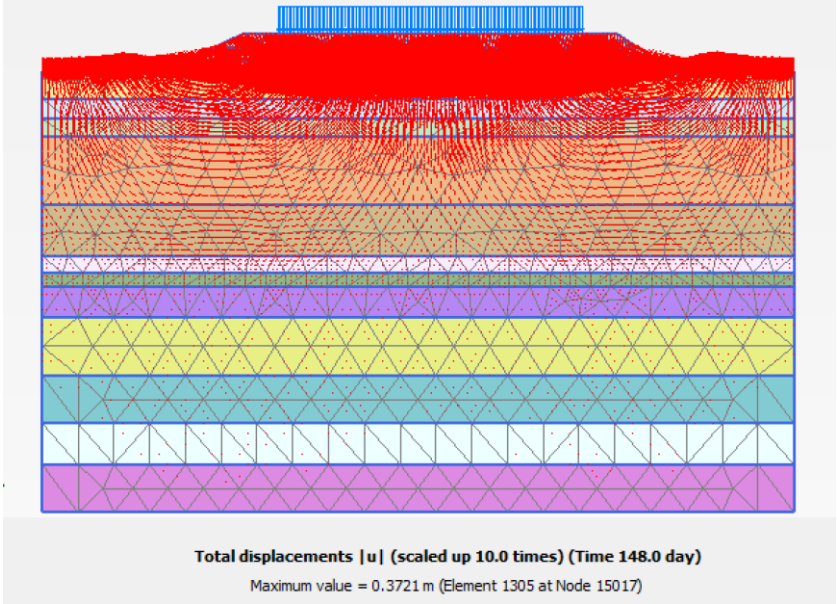


Gambar 5. 8 *Total Displacement* Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Asli Akibat Beban Struktur dan Kendaraan

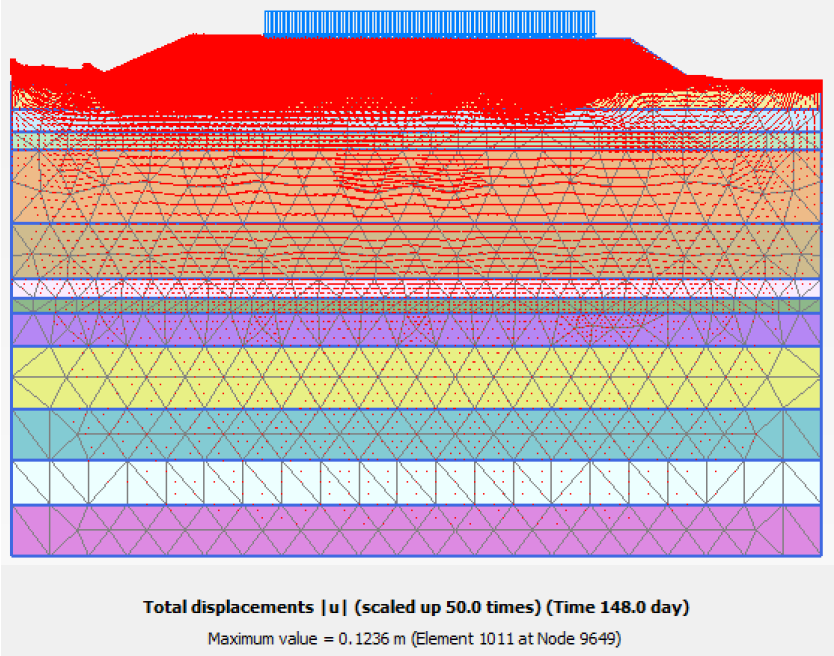


Gambar 5. 9 Total *Displacement* Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Asli Akibat Beban Struktur, Kendaraan, dan Gempa

Displacement divisualisasikan dengan panah yang menunjukkan perpindahan timbunan akibat beban dan gempa selama konstruksi.

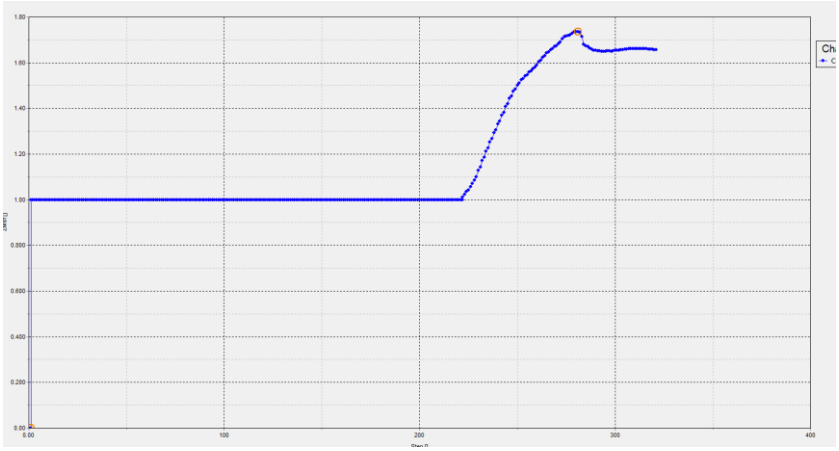


Gambar 5. 10 Arah Pergerakan Tanah Timbunan Akibat Beban Struktur dan Kendaraan

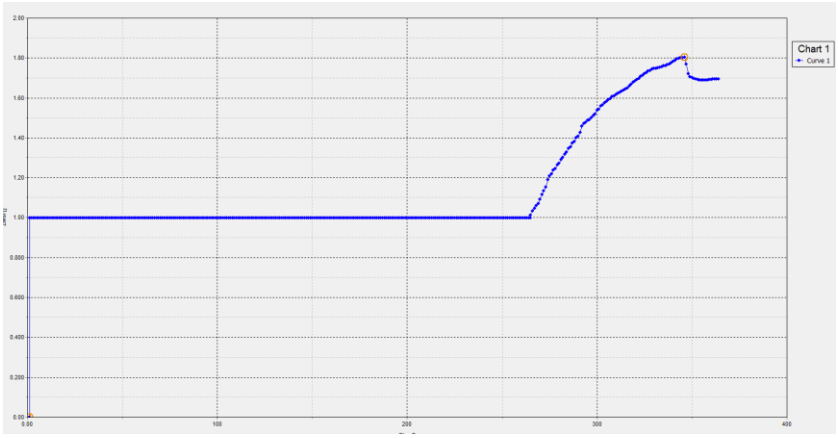


Gambar 5. 11 Arah Pergerakan Tanah Timbunan Akibat Beban Struktur, Kendaraan dan Gempa

Faktor keamanan tanah pada timbunan 5,5 m sebesar 1,77 saat beban kendaraan dan beban konstruksi dan 1,81 saat beban kendaraan, beban konstruksi, dan beban gempa.



Gambar 5. 12 Kurva *SF* Timbunan Kondisi Tanah Asli Beban Konstruksi, dan Kendaraan



Gambar 5. 13 Kurva *SF* Timbunan Kondisi Tanah Asli Beban Konstruksi, Kendaraan, dan Gempa

5.2.2 Perhitungan Geotekstil

Perhitungan Geotekstil memerlukan data parameter tanah dan koefisien daya dukung tanah sebagai berikut.

1. Parameter Tanah Timbunan

   Perhitungan kebutuhan geotekstil didasarkan pada karakteristik tanah timbunan yang berisiko longsor tinggi.

   a. Berat volume tanah (γb) = 16,2 kN/m^3

b. Kohesi (c) = 10 kN/m^3

c. Sudut gesek dalam (φ) = 24^o

2. Data Geotekstil

Geotekstil woven GT–250 dari PT. Geo Permata Abadi digunakan untuk memperkuat timbunan tanah dengan kekuatan tarik 63 kN/m dan regangan 19%, serta nilai kekakuan normal (EA) yang dihitung untuk simulasi di *Plaxis*.

$$EA = \frac{Fg}{\Delta l/l}$$

$$= \frac{63}{19/100}$$

$$= 331{,}571 \text{ kN/m}$$

$$Tall = \frac{Tult}{SFgeo}$$

$$= \frac{63}{2}$$

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

Data parameter geotekstil yang digunakan dalam perhitungan dan input program *Plaxis* dapat dilihat 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 *Allowable*	T_{all}	31,5	kN/m

3. Koefisien daya dukung tanah

Perhitungan kebutuhan geotekstil memerlukan data koefisien daya dukung tanah. Dalam penelitian ini, data tersebut mengacu pada sumber dari Departemen Pekerjaan Umum (2009), sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Nilai Koefisien Daya Dukung Tanah

φ	Nc	Nq	Nγ	φ	Nc	Nq	Nγ
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)

5.2.3 Stabilitas Eksternal

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

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

   Perhitungan koefisien aktif tanah sebagai berikut.

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

$$Ka = \tan^2\left(45 - \frac{24}{2}\right)$$

$$= 0{,}4217$$

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

$$\sigma hc = (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka})$$

$$= (28{,}65 \times 0{,}4217) + (0{,}4217 \times 5{,}5 \times 16{,}2) - (2 \times 10 \times \sqrt{0{,}2417})$$

$$= 36{,}6705 \text{ kN/m}^2$$

$$SV = \frac{Tall}{\sigma hc \times SF}$$

$$= \frac{31{,}5}{36{,}6705 \times 1{,}5}$$

$$= 0{,}57 \text{ m}$$

   Dilapangan dipasang SV = 0,5 m

2. Menentukan Panjang geotekstil

   a. Stabilitas terhadap guling

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

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

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

$$1{,}5 = \frac{(\frac{1}{2} \times 28{,}65 \times L^2) + (\frac{1}{2} \times 16{,}2 \times 5.5 \times L^2)}{(28.65 \times 0{,}4217 \times \frac{1}{2} \times 5{,}5^2) + (\frac{1}{2} \times 0{,}4217 \times 16{,}2 \times 5{,}5^2 \times \frac{1}{2} \times 5{,}5) - (2 \times 10 \times \sqrt{0{,}4217} \times \frac{1}{2} \times 5{,}5^2)}$$

L^2 = 21,91 m

L = 4,68 m

Panjang geotekstil minimal untuk menahan guling pada timbunan tanah adalah 4,68 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 ($\delta = {}^{2}/_{3} \times 28{,}65 = 19{,}1$)

$$1{,}5 = \frac{(28{,}65 \times \tan(19{,}1) \times L) + (5{,}5 \times 16 \times \tan(19{,}1) \times L}{(28{,}65 \times 0{,}4217 \times 5{,}5) + (0{,}5 \times 0{,}4217 \times 16 \times 5{,}5^2) - (2 \times 10 \times \sqrt{0{,}4217} \times 5{,}5)}$$

L = 8,87 m = 9 m

Panjang minimal untuk mendapatkan stabilitas gaya geser adalah 9 m.

c. Stabilitas terhadap eksentritas

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

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

$$\frac{1}{6} = \frac{\left(28{,}65 \times 0{,}4217 \times \frac{1}{2} \times 5{,}5^2\right) + \left(\frac{1}{2} \times 0{,}4217 \times 16{,}2 \times 5{,}5^2 \times \frac{1}{3} \times 5{,}5\right) - (2 \times 10 \times \sqrt{0{,}4217} \times \frac{1}{2} \times 5{,}5^2)}{(5{,}5 \times 16{,}2 \times L) + (28{,}65 \times L)}$$

L = 6,62 m = 7 m

Panjang minimal untuk mendapatkan stabilitas eksentrisitas adalah 7 m.

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

Nc = 19,32

Nγ = 9,44

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

L $\geq \frac{\sigma ult}{(5{,}5\times 16{,}2)+28{,}65}$

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

$\sigma ult = [\,(10 \times 19{,}32) + (0{,}5 \times 5{,}5 \times 16{,}2 \times 9{,}44)] \times 1{,}5$

$L =$ 14,34 m = 14 m

Panjang minimal untuk mendapatkan stabilitas kapasitas dukung tanah adalah 14 m. Untuk panjang kebutuhan geotekstil lereng dapat dilihat berikut.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil

Tinggi Timbunan (H)	**Stabilitas Guling**	**Stabilitas Geser**	**Stabilitas Eksentrisitas**	**Stabilitas Daya Dukung Tanah**
(m)	**(m)**	**(m)**	**(m)**	**(m)**
5,5	4,68	9	7	14

5.2.4 Stabilitas Internal

1. Panjang overlapping geotekstil

   a. Timbunan 5,5 m

   Lo $= \frac{\sigma hc \times SV \times SF}{2 \times \gamma b \times H \times tan\varphi}$

$$Lo = \frac{36{,}6705 \times 0{,}5 \times 1{,}5}{2 \times 16{,}2 \times 5{,}5 \times \tan(46{,}83)}$$

Lo = 0,693 m

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

2. Panjang efektif geotekstil

a. Timbunan 5,5 m

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

$$= \frac{1{,}5 \times 0{,}5 \times 0{,}4217 \times 16{,}2 \times 5{,}5}{2 \times 16{,}2 \times 5{,}5 \times \tan(24)}$$

= 0,710 m

Panjang efektif yang dipakai adalah 0,5 m.

5.2.5 Cek Gaya Tarik Tanah – Geotekstil

Untuk memastikan geotekstil yang digunakan dapat menahan gaya tarik yang terjadi dengan nilai SV 0,5 m, maka dilakukan perhitungan tegangan geser yang bekerja. Maka gaya tarik dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$T = \frac{\tan\varphi \times \sigma v \times b \times L}{SF}$$

$$= \frac{\tan(24) \times (0{,}5 \times 16{,}2) \times 1 \times 28{,}95}{2}$$

= 51,552 kN

Dari hasil perhitungan gaya tarik yang bekerja pada geotekstil diatas sebesar 51,552 kN, sedangkan kuat tarik pada geotekstil yang digunakan sebesar 63 Kn/m. Maka kekuatan pada geotekstil dalam menahan gaya tarik yang bekerja dikarenakan 63 kN/m > 51,552 kN (aman).

5.2.6 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Tanah

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 Po + $\Delta p > Pc'$. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.38

Lapisan 1

Cc = 0,112 m^2/hari

Cs = 0,022 m^2/hari

e_o = 0,644

Perhitungan untuk mencari nilai Tegangan *Overburden* Efektif (Po') dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.33

Po' = $\gamma' \times H$

= (16,2 – 9,81) x (5,5)

= 50,545 kN/m^2

Perhitungan untuk mencari nilai Distribusi Tegangan Tanah (Δp) adalah sebagai berikut:

qo = ($\gamma \times H$) + Beban Struktur

= (16,2 x 5,5) + 28.65

= 117,762 gr/cm^2

ΔP = 2 x qo x I (I didapat dari grafik Gambar 3.13)

= 2 x 117,762 x 0,5

= 117,762 gr/cm^2

H = 5,5 m

Sehingga perhitungan penurunan tanah konsolidasi primer adalah sebagai berikut :

$$S = \frac{Cs \times H}{1 + eo} \log\left(\frac{Pc'}{Po'}\right) + \frac{Cc \times H}{1 + eo} \log\left(\frac{Po \times \Delta p}{Pc'}\right)$$

$$= \frac{0{,}022 \times 5{,}5}{1 + 0{,}644} \log\left(\frac{102{,}919}{35{,}157}\right) \frac{0{,}112 \times 5{,}5}{1 + 0{,}644} \log\left(\frac{35{,}157 \times 117{,}762}{102{,}919}\right)$$

= 0,638 cm

= 0,006 m

Rekapitulasi perhitungan dapat dilihat melalui Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Perhitungan Penurunann Konsolidasi

Lapisan	H	ΔP	Cc	Cs	Po'	Pc'	eo	S
	(m)	(kN/m²)	(m²/hari)	(m²/hari)	(kN/m²)	(kN/m²)		(m)
1	5,500	117,762	0,112	0,022	35,157	102,919	0,644	0,006
2	0,500	36,748	0,130	0,026	3,193	9,941	0,705	0,000
3	3,500	85,314	0,136	0,027	22,329	57,644	0,724	0,004
4	3,000	78,899	0,419	0,084	20,819	49,719	1,250	0,009
5	2,500	69,122	0,137	0,084	15,947	35,068	1,667	0,002
6	10,000	182,026	0,469	0,094	55,276	187,302	1,795	0,031
7	7,500	145,447	0,632	0,126	43,222	138,669	1,673	0,031
8	2,500	67,215	0,764	0,153	14,040	31,254	1,585	0,011
9	2,000	59,227	0,742	0,148	10,957	20,184	1,506	0,009
10	4,500	101,560	0,120	0,024	28,765	80,325	0,670	0,005
11	8,500	166,369	0,114	0,023	54,334	170,702	0,650	0,011
12	7,000	142,065	0,116	0,023	44,745	136,811	0,658	0,009
13	6,000	125,863	0,113	0,023	38,353	114,216	0,646	0,007
14	7,000	142,065	0,122	0,024	44,745	136,811	0,678	0,001
Total Penurunan								0,138

2. Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanpa PVD

Waktu mencapai konsolidasi 90% tanpa PVD dihitung dengan metode konsolidasi 1-D Terzaghi, menggunakan nilai Cv gab dari Persamaan 3.35 sebagai acuan.

$$Cv_{gab} = \frac{(H1+H2+\cdots+Hn)^2}{\left(\frac{H1}{\sqrt{CV1}}+\frac{H2}{\sqrt{CV2}}+\cdots+\frac{Hn}{\sqrt{Cvn}}\right)^2}$$

$$Cv_{gab} = \frac{(5500+500+3500+\ldots\ldots\ldots+7000)^2}{\left(\frac{5500}{\sqrt{0.1}}+\frac{500}{\sqrt{0.0005}}+\frac{3500}{\sqrt{0.0005}}+\ldots\ldots\ldots\ldots+\frac{7000}{\sqrt{0.0005}}\right)^2}$$

$= 0{,}0006\ cm^2/s$

$= 0{,}0053\ m^2/hari$

Perhitungan untuk mencari faktor waktu (Tv) pada hari pertama dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.41

$H_{dr} = 0{,}5\ H$

$= 0{,}5\ (70\ m) = 35\ m$

$$T_{v\ hari\ ke\text{-}1} = \frac{Cv \times t}{(H)^2}$$

$$= \frac{0{,}0053 \times 1}{(35)^2}$$

= 4,33E-06 hari

Perhitungan untuk mencari derajat konsolidasi arah vertikal (Uv) pada hari pertama dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.45

$$U_{v \text{ hari ke-1}} = \frac{\sqrt{\frac{4.Tv}{\pi}}}{\left(1+\left(\frac{4.Tv}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

$$= \frac{\sqrt{\frac{4 \times 4,33E-06}{\pi}}}{\left(1+\left(\frac{4 \times 4,33E-06}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

= 0,0024 = 0,24 %

Penurunan tanah pada waktu t = 1 dihitung dengan Persamaan sebagai berikut.

$S_1 = Uv_1 \times S_{total}$

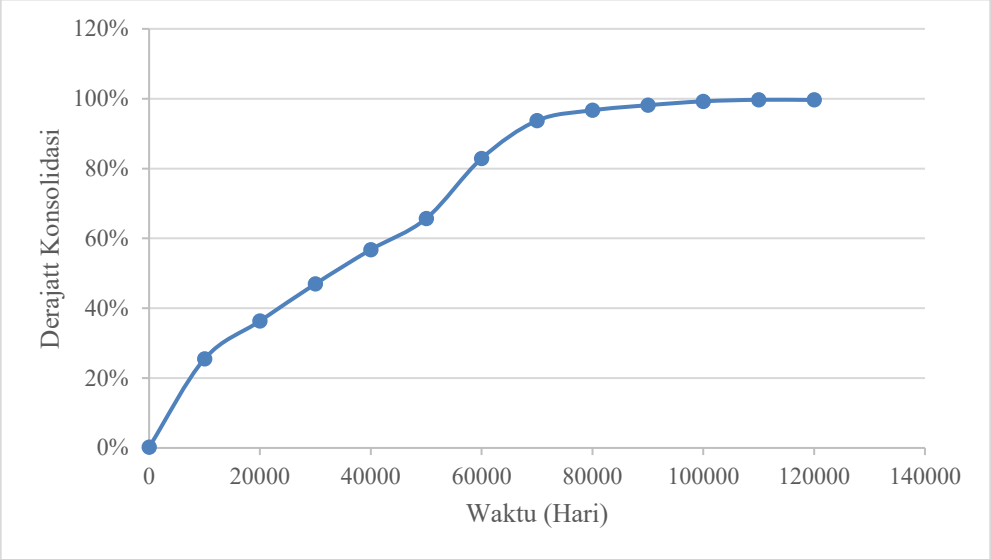
= 0,0024 × 0,138 m

= 0,0003 m

Hasil analisis derajat konsolidasi arah vertikal (Uv) tanpa menggunakan PVD dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Gambar 5.34 berikut.

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

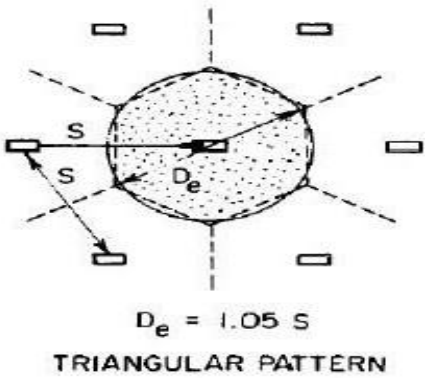
t	Cv Gabungan	Tv	Uv	S
(hari)	(m^2/hari)			(m)
1	0,0053	4,34E-06	0,0024	0,0003
10000	0,0053	5,11E-02	0,2550	0,0351
20000	0,0053	1,04E-01	0,3633	0,0500
30000	0,0053	1,74E-01	0,4697	0,0647
40000	0,0053	2,57E-01	0,5678	0,0782
50000	0,0053	3,51E-01	0,6570	0,0905
60000	0,0053	6,29E-01	0,8290	0,1142
70000	0,0053	1,06E+00	0,9372	0,1291
80000	0,0053	1,39E+00	0,9668	0,1332
90000	0,0053	1,76E+00	0,9813	0,1352
100000	0,0053	2,62E+00	0,9925	0,1367
110000	0,0053	5,84E+00	0,9969	0,1373
120000	0,0053	1,50E+01	0,9964	0,1372



Gambar 5. 14 Grafik Hubungan Waktu dan Derajat Konsolidasi Tanpa PVD

3. Perhitungan Derajat Konsolidasi menggunakan PVD

Perhitungan derajat konsolidasi menggunakan PVD dilakukan dengan menggunakan pola segitiga. PVD dipasang dengan jarak sebesar 0,9 m, dapat dilihat pada Gambar 5.35.



Gambar 5. 15 Pemasangan PVD *Triangular Pattern*

Sumber: *Geotextiles and Geomembranes* dalam Barimbing, 2017)

Berikut ini merupakan perhitungan derajat konsolidasinya, perhitungan diambil pada saat hari pertama (t = 1 hari)

Cv_{gab} = 0,0053 m^2/hari

$T_{v\ hari\ ke\text{-}1} = \frac{t \times Cv}{Hdr^2}$

$= \frac{1 \times 0{,}00533}{35^2}$

= 4,33 x 10^{-6} hari

$U_{v\ hari\ ke\text{-}1} = \frac{\sqrt{\frac{4 \times Tv}{\pi}}}{\left(1+\left(\frac{4Tv}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$

$= \frac{\sqrt{\frac{4 \times 4{,}33E-06}{\pi}}}{\left(1+\left(\frac{4 \times 4{,}33E-06}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$

= 0,0024 = 0,24%

Perhitungan untuk mencari nilai koefisien konsolidasi horizontal (C_H) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.36

C_H = 1,5 × Cv

= 1,5 × 0,0053

= 0,0079 m^2/hari

Perhitungan untuk mencari daerah ekuivalen (De) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.29

De = 1,05 × S

= 1,05 × 0,9

= 0,945 m

Perhitungan untuk mencari diameter ekivalen (Dw) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.48

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

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

= 0,00955 m

Perhitungan untuk mencari factor hambatan akibat jarak PVD (F(n)) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3. 47

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

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

= 3,845

Perhitungan untuk mencari factor waktu horizontal (Th) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3. 42

$Th = \frac{Ch \times t}{De^2}$

$= \frac{0.0079 \times 1}{0{,}00955^2}$

= 3,845 hari

Perhitungan untuk mencari derajat konsolidasi horizontal (U_H) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.46

$U_H = 1 - exp^{\left(\frac{-8Th}{F(n)}\right)}$

$= 1 - exp^{\left(\frac{-8*0{,}0089}{3{,}845}\right)}$

= 0,0184

Perhitungan untuk mencari derajat konsolidasi tanah (U) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.49

$U = 1 - ((1 - U_V) \times (1 - U_H))$

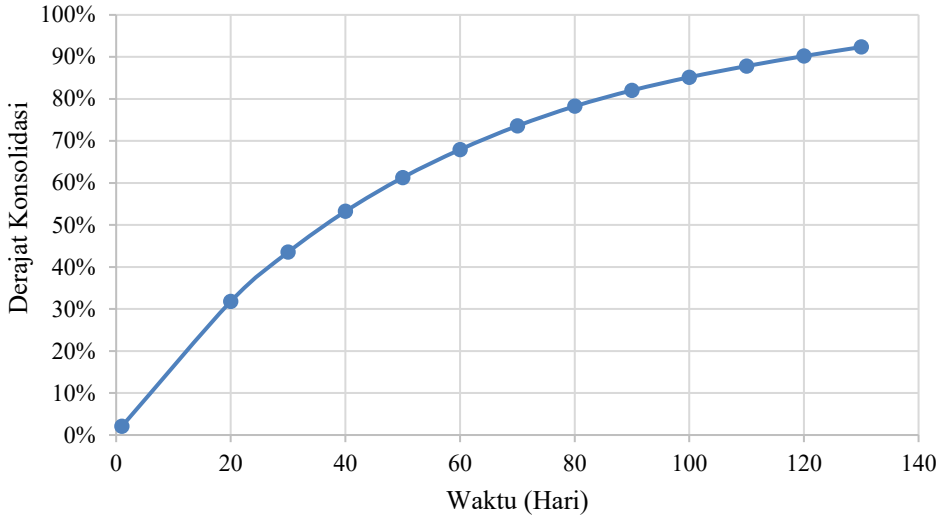
$= 1 - ((1 - 0{,}0024) \times (1 - 0{,}0184))$

= 0,02070

Hasil analisis derajat konsolidasi dengan menggunakan PVD yang dipasang dengan menggunakan pola segitiga dan jarak pemasangannya sebesar 0,9 meter dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Gambar 5.36 berikut ini.

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Hasil Analisis Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD

t (hari)	Cv (m^2/day)	Tv	Uv	S (m)	Ch (m^3/day)	Th	Uh	U
1	0,0053	4,34E-06	0,0024	0,0003	0,007967	0,0089	0,0184	0,0207
20	0,0053	1,02E-04	0,0114	0,0016	0,007967	0,1784	0,3102	0,3180
30	0,0053	1,56E-04	0,0141	0,0019	0,007967	0,2676	0,4270	0,4351
40	0,0053	2,32E-04	0,0172	0,0024	0,007967	0,3568	0,5241	0,5323
50	0,0053	3,21E-04	0,0202	0,0028	0,007967	0,4461	0,6048	0,6128
60	0,0053	4,21E-04	0,0232	0,0032	0,007967	0,5353	0,6717	0,6793
70	0,0053	7,34E-04	0,0306	0,0042	0,007967	0,6245	0,7273	0,7357
80	0,0053	1,21E-03	0,0392	0,0054	0,007967	0,7137	0,7735	0,7824
90	0,0053	1,56E-03	0,0446	0,0061	0,007967	0,8029	0,8119	0,8203
100	0,0053	1,95E-03	0,0499	0,0069	0,007967	0,8921	0,8438	0,8516
110	0,0053	2,88E-03	0,0605	0,0083	0,007967	0,9813	0,8703	0,8781
120	0,0053	6,37E-03	0,0901	0,0124	0,007967	1,0705	0,8922	0,9019
130	0,0053	1,63E-02	0,1443	0,0199	0,007967	1,1597	0,9105	0,9234

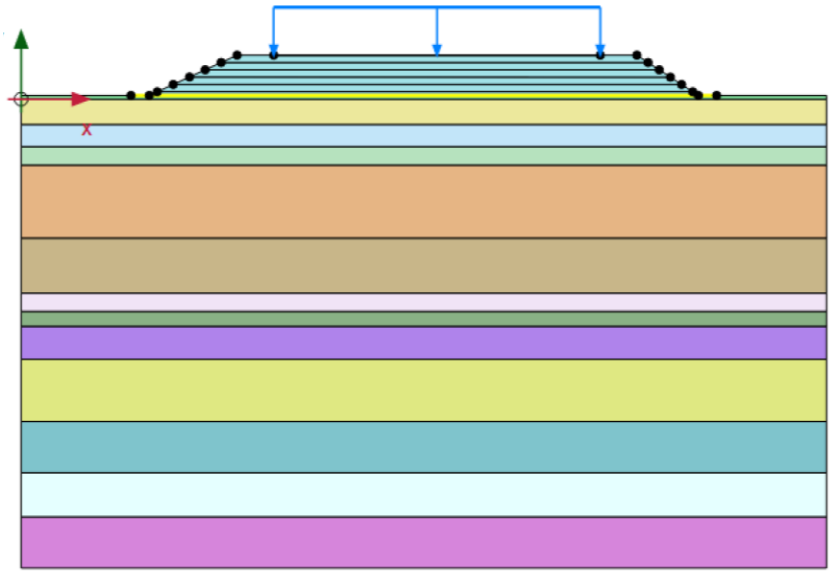


Gambar 5. 16 Grafik Hubungan Waktu dan Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD

5.2.7 Timbunan Tanah Dengan Geotekstil

1. Permodelan Awal Lereng

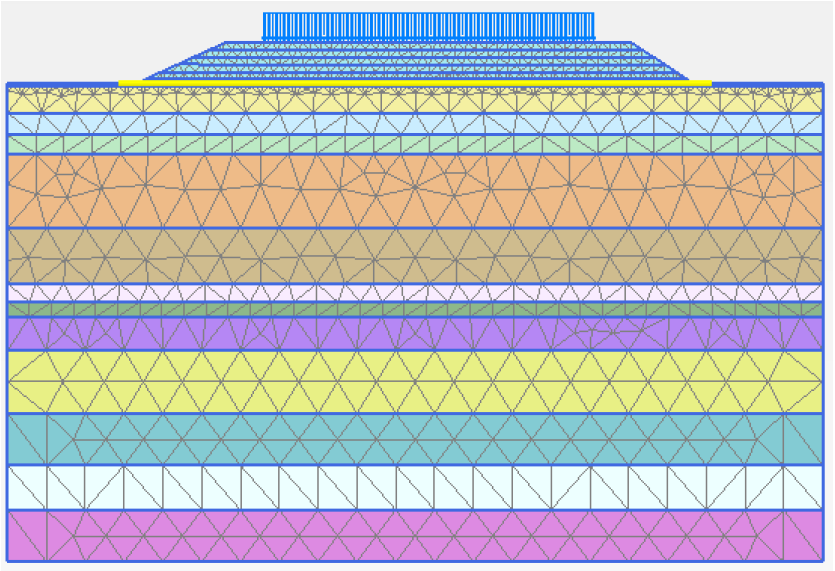
Pemodelan lereng menggunakan tanah asli lokasi proyek dengan tinggi timbunan 5,5 meter, baik saat maupun pasca konstruksi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.17.



Gambar 5. 17 Pemodelan Timbunan 5,5 m Kondisi Perkuatan Geotekstil

2. Pembuatan Jenis Elemen

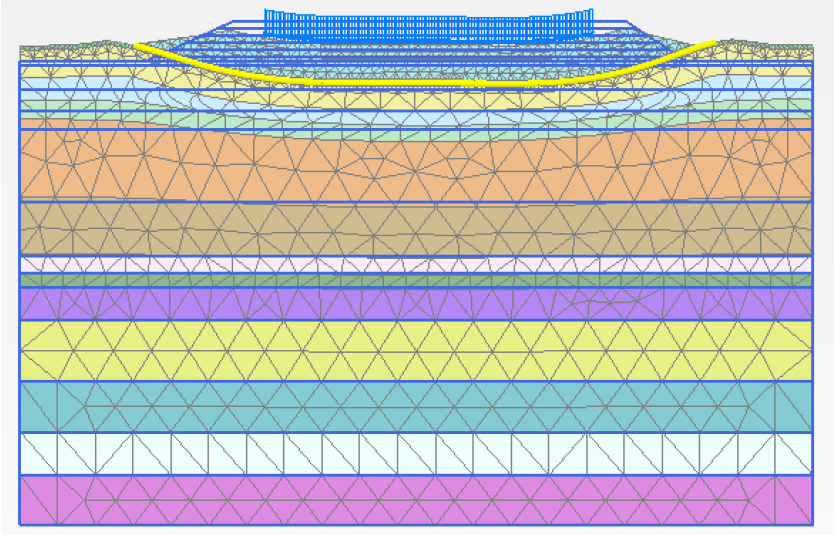
Setelah pemodelan dan input data selesai, dilakukan *meshing* bertipe medium pada lereng. Hasil *meshing* timbunan setinggi 5,5 meter ditampilkan pada Gambar 5.18.



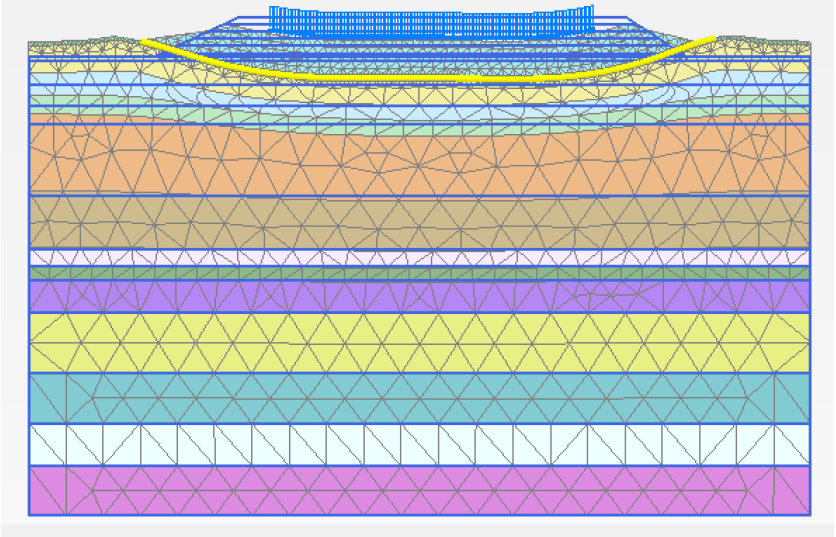
Gambar 5. 18 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Perkuatan Geotekstil

3. Kondisi Beban

Pada tahap awal konstruksi timbunan lereng, tanah diasumsikan dalam kondisi drained karena sistem drainase masih berfungsi optimal. Beban merata sebesar 13,65 kN/m diterapkan sebagai representasi beban struktur perkerasan jalan dan 15 kN/m sebagai beban total menjadi 28,65 kN/m.

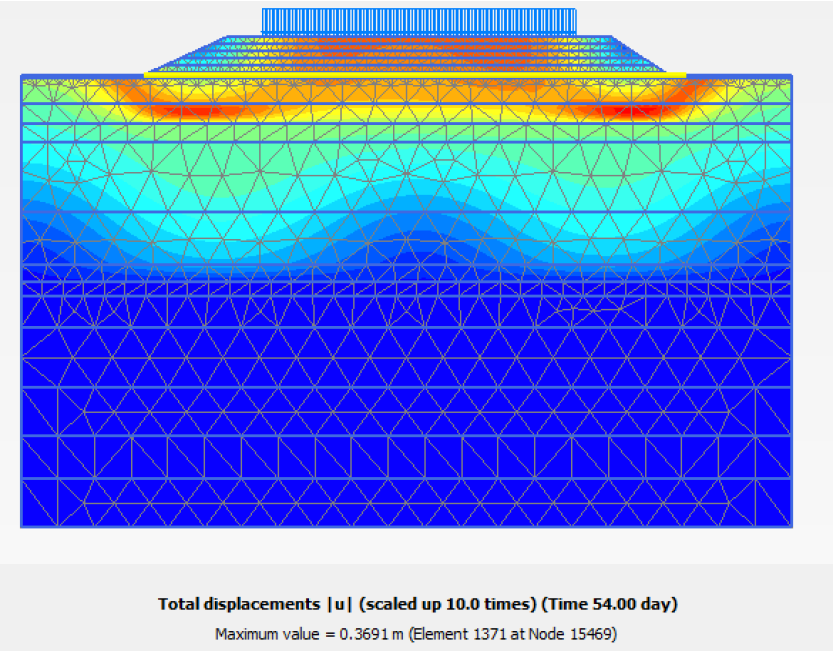


Gambar 5. 19 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Kendaraan

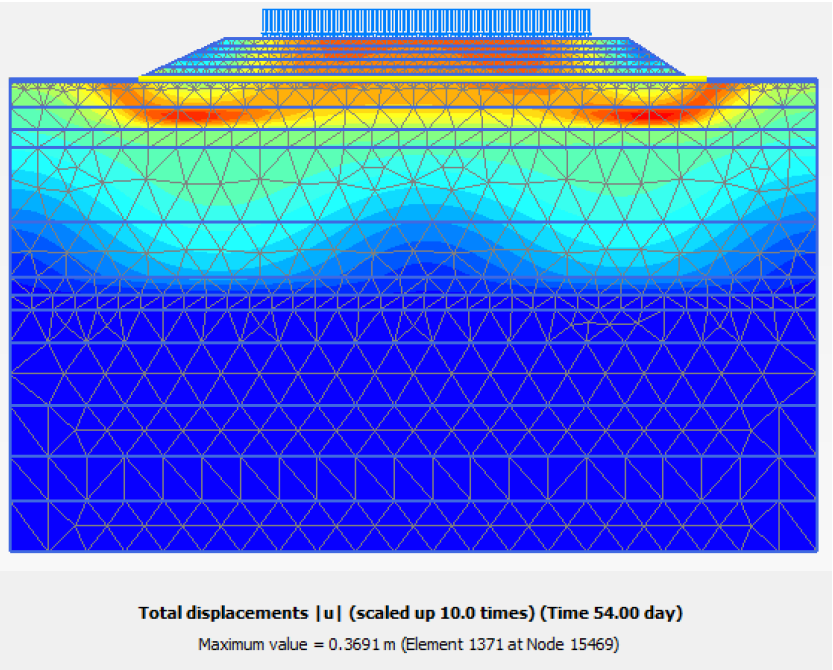


Gambar 5. 20 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Perkuatan Geotestil Akibat Beban Struktur, Kendaraan Dan Gempa

Timbunan tanpa perkuatan mengalami pergeseran sekitar 0,05 meter pada ketinggian 5,5 meter akibat beban konstruksi dan gempa.

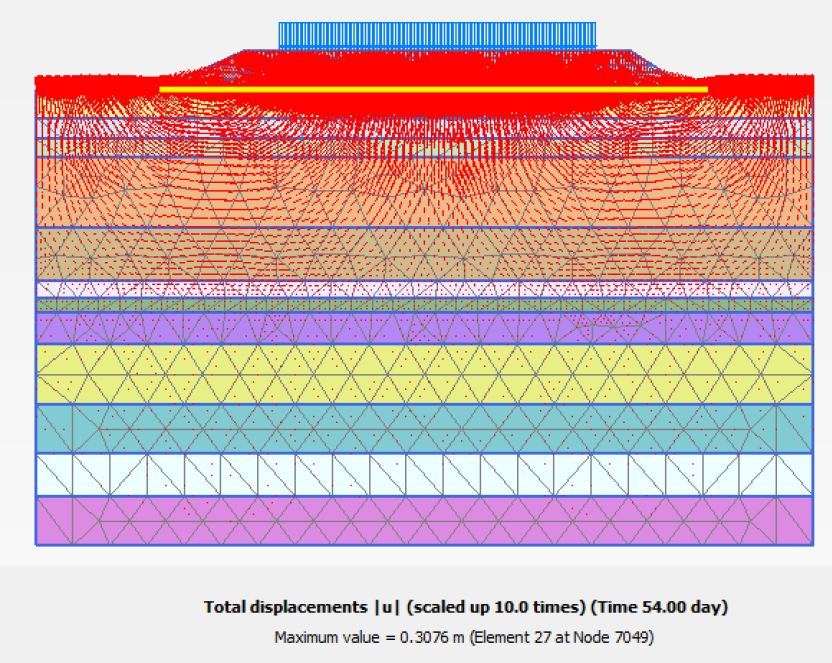


Gambar 5. 21 Total *Displacement* Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Struktur dan Kendaraan

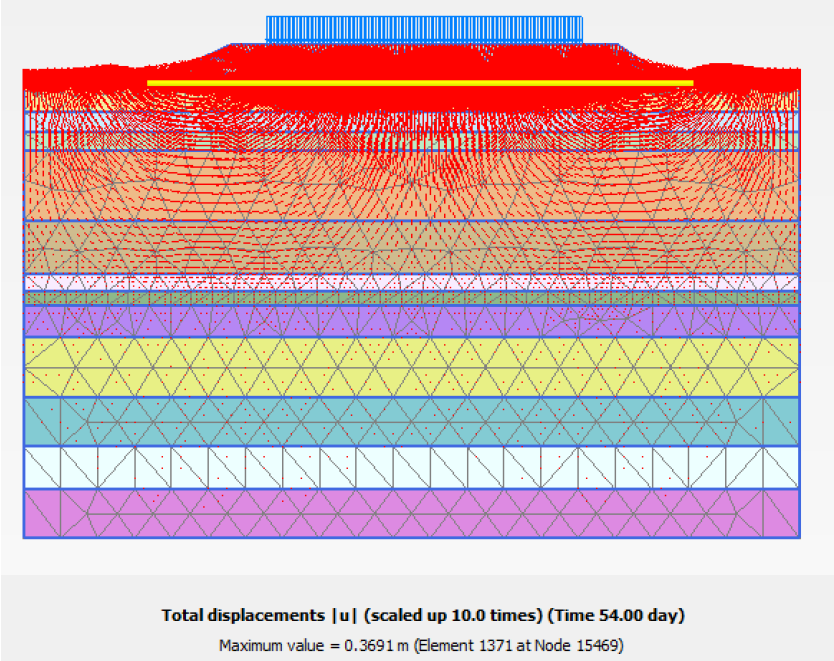


Gambar 5. 22 Total *Displacement* Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Peruatan Geotekstil Akibat Beban Struktur, Kendaraan Dan Gempa

Displacement divisualisasikan dengan panah yang menunjukkan perpindahan timbunan akibat beban dan gempa selama konstruksi.

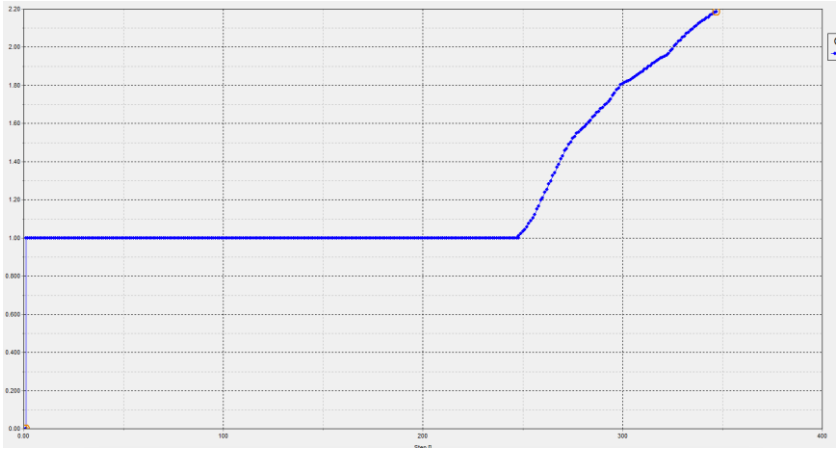


Gambar 5. 23 Arah Pergerakan Tanah Perkuatan Geotekstil Timbunan Akibat Beban Struktur dan Kendaraan

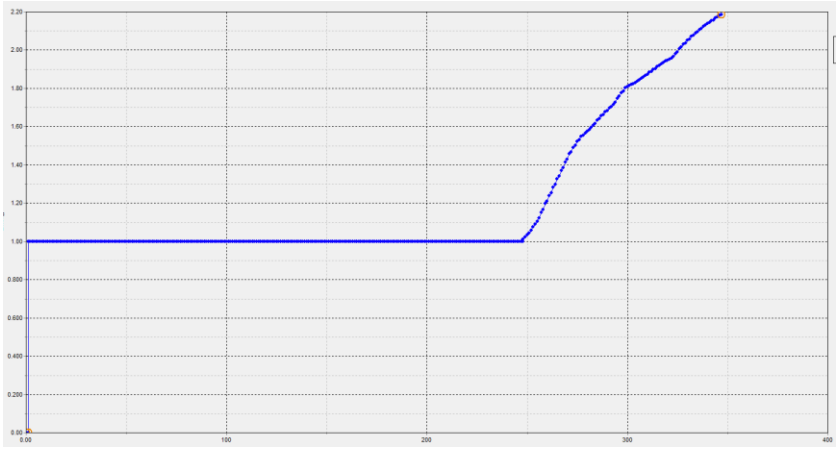


Gambar 5. 24 Arah Pergerakan Tanah Perkuatan Geotekstil Timbunan Akibat Beban Struktur, Kendaraan Dan Gempa

Faktor keamanan tanah pada timbunan 5,5 m sebesar 2,20 saat beban konstruksi dan beban kendaraan dan 2,20 saar beban kendaraan, beban konstruksi dan beban gempa.



Gambar 5. 25 Kurva *SF* Timbunan Kondisi Tanah Perkuatan Geotekstil Beban Konstruksi, dan Kendaraan

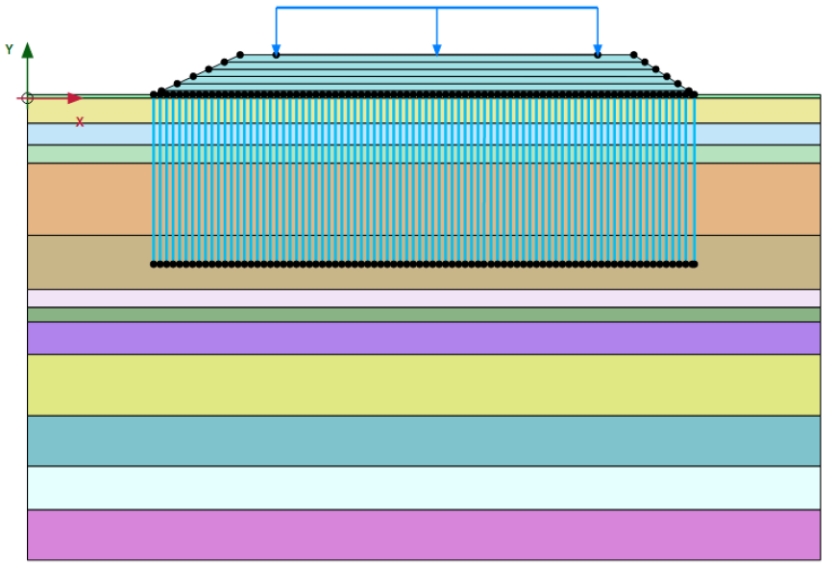


Gambar 5. 26 Kurva *SF* Timbunan Kondisi Tanah Perkuatan Geotekstil Beban Konstruksi, Kendaraan, dan Gempa

5.2.8 Timbunan Tanah Asli Perkuatan PVD

1. Permodelan Awal Lereng

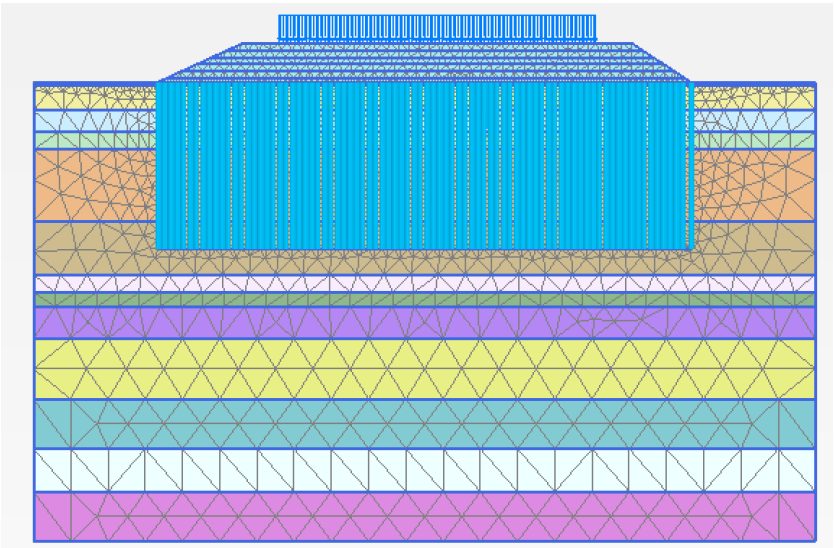
   Pemodelan lereng menggunakan tanah asli lokasi proyek dengan tinggi timbunan 5,5 meter, baik saat maupun pasca konstruksi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.27.



Gambar 5. 27 Pemodelan Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Perkuatan PVD

2. Pembuatan Jenis Elemen

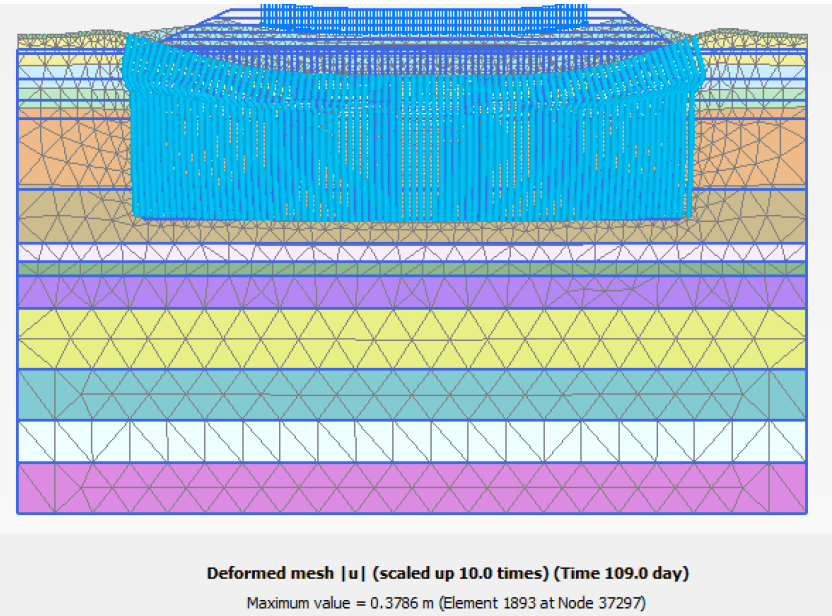
Setelah pemodelan dan input data selesai, dilakukan *meshing* bertipe medium pada lereng. Hasil *meshing* timbunan setinggi 5,5 meter ditampilkan pada Gambar 5.28.



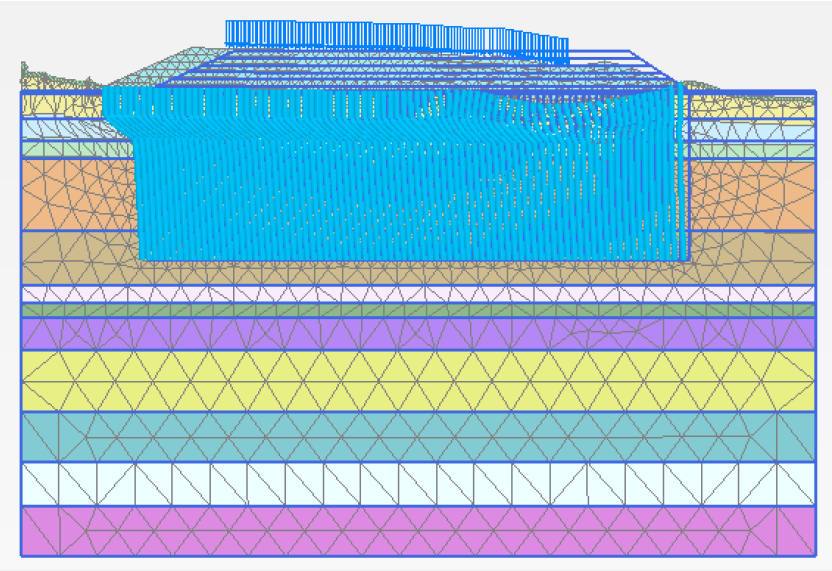
Gambar 5. 28 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah PVD

3. Kondisi Masa Konstruksi

Pada tahap awal konstruksi timbunan lereng, tanah diasumsikan dalam kondisi drained karena sistem drainase masih berfungsi optimal. Beban merata sebesar 13,65 kN/m diterapkan sebagai representasi beban struktur perkerasan jalan dan 15 kN/m sebagai beban total menjadi 28,65 kN/m.

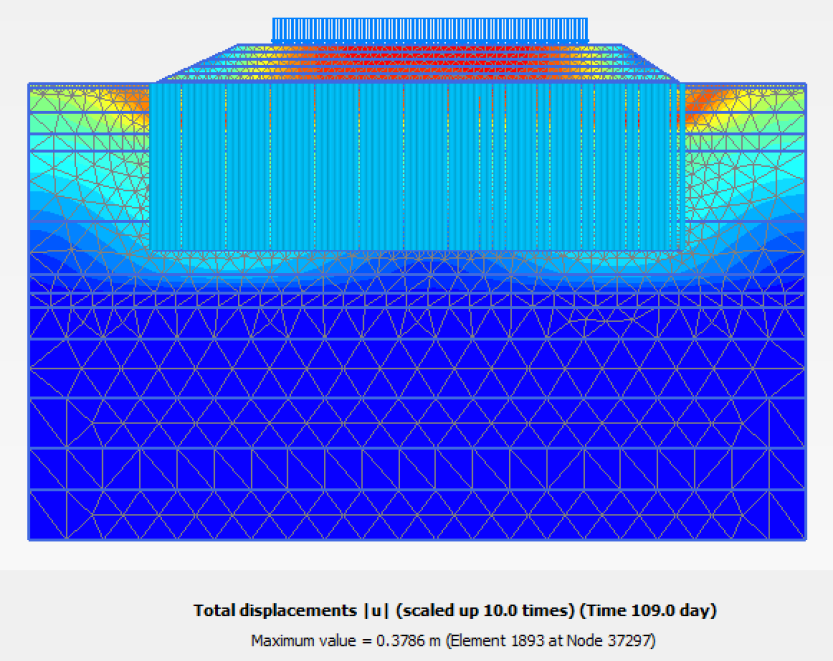


Gambar 5. 29 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Perkuatan PVD Akibat Beban Struktur dan Kendaraan

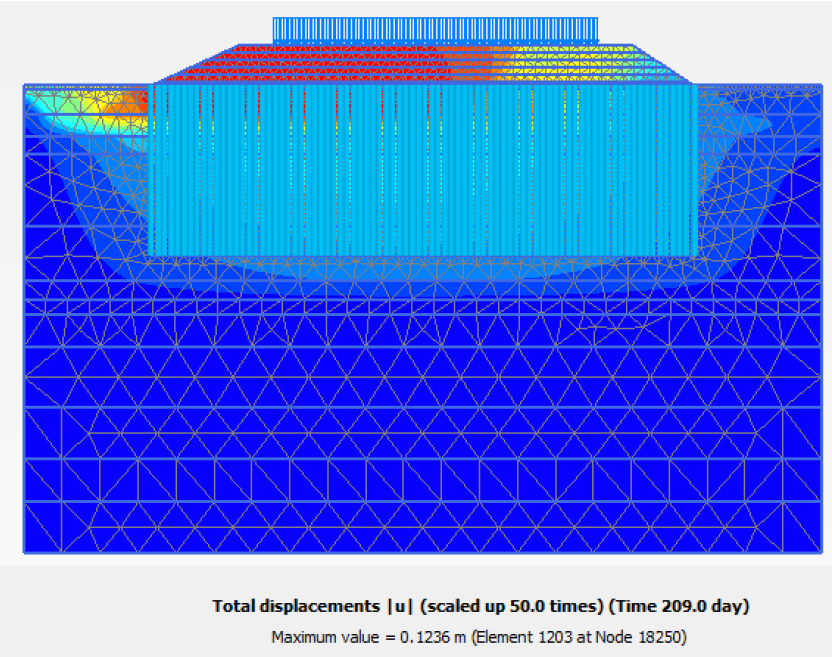


Gambar 5. 30 *Deformed Mesh* Kondisi Tanah Perkuatan PVD Akibat Beban Struktur, Kendaraan dan Gempa

Timbunan tanpa perkuatan mengalami pergeseran sekitar 0,05 meter pada ketinggian 5,5 meter akibat beban konstruksi dan gempa.

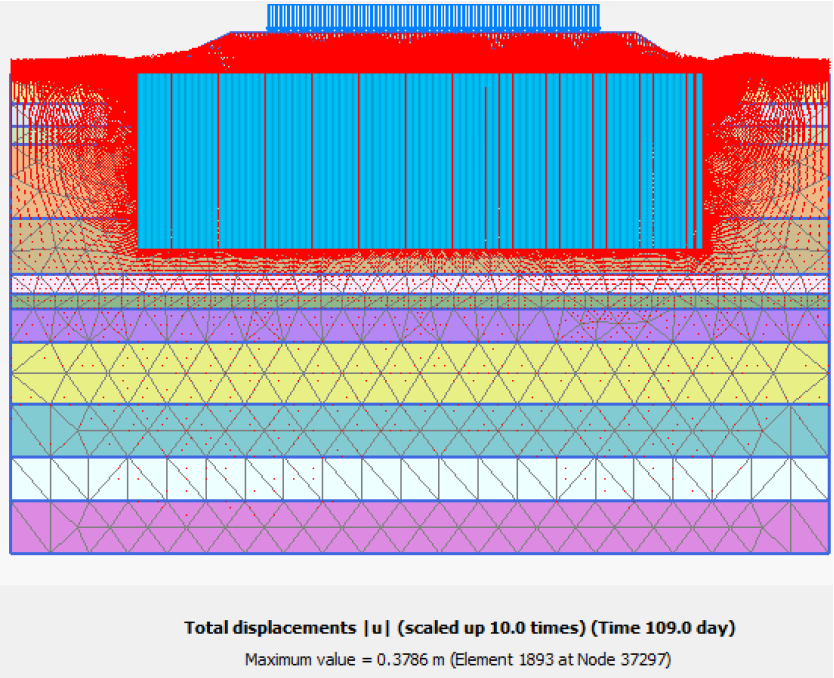


Gambar 5. 31 Total *Displacement* Kondisi Tanah Perkuatan PVD Akibat Beban Struktur dan Kendaraan

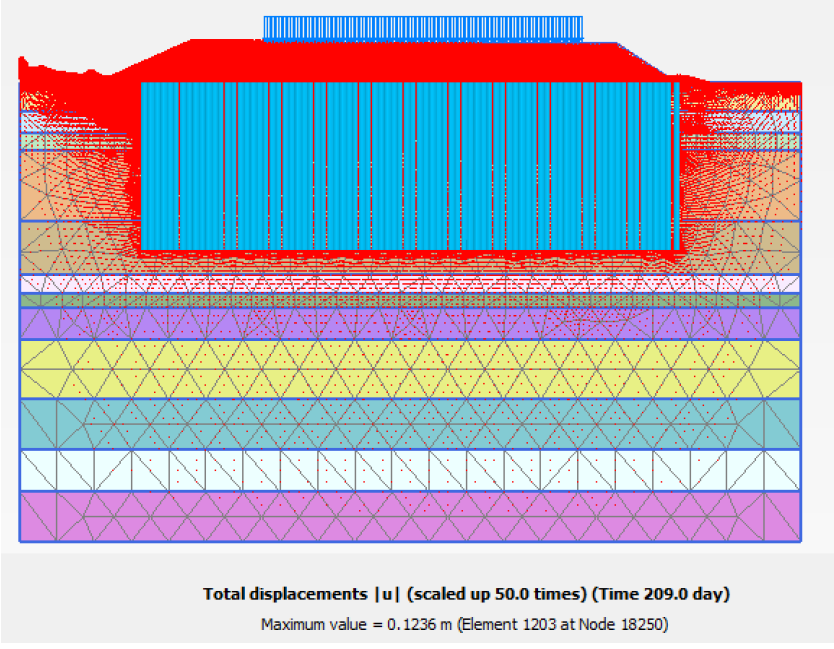


Gambar 5. 32 *Total Displacement* Timbunan 5,5 m Kondisi Tanah Perkuatan PVD Akibat Beban Struktur, Kendaraan Dan Gempa

Displacement divisualisasikan dengan panah yang menunjukkan perpindahan timbunan akibat beban dan gempa selama konstruksi.

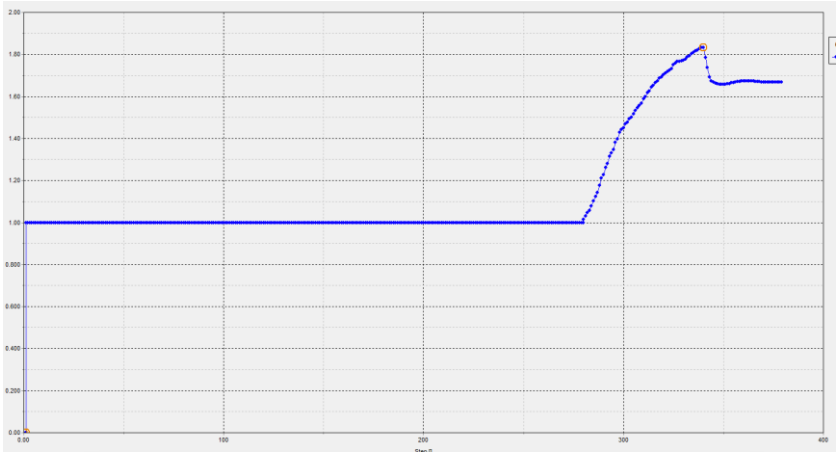


Gambar 5. 33 Arah Pergerakan Tanah Perkuatan PVD Timbunan Akibat Beban Struktur dan Kendaraan

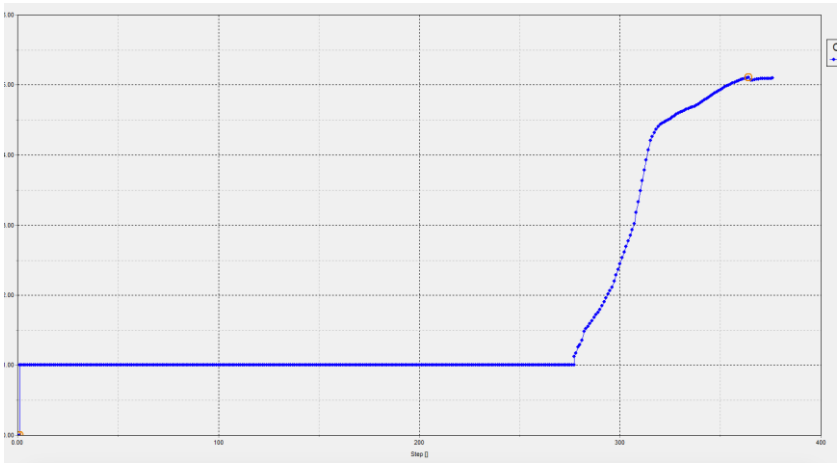


Gambar 5. 34 Arah Pergerakan Tanah Timbunan Perkuatan PVD Akibat Beban Struktur, Kendaraan Dan Gempa

Faktor keamanan tanah pada timbunan 5,5 m sebesar 1,82 saat beban kendaraan dan beban konsteruksi dan 1,83 saat beban kendaraan, konstruksi, dan beban gempa.



Gambar 5. 35 Kurva *SF* Timbunan Kondisi Tanah Peruatan PVD dan Geotekstil Beban Konstruksi dan Kendaraan



Gambar 5. 36 Kurva *SF* Timbunan Kondisi Tanah Peruatan PVD dan Geotekstil Beban Konstruksi, Kendaraan, dan Gempa

5.3 Pembahasan

Analisis stabilitas lereng pada proyek Tol Semarang–Demak bertujuan mengetahui faktor keamanan lereng timbunan setinggi 5,5 meter. Dengan bantuan *Plaxis* V20, analisis dilakukan pada kondisi konstruksi dan pascakonstruksi, dengan

perkuatan PVD dan geotekstil. Parameter yang diperhitungkan mencakup beban struktur jalan, lalu lintas, dan gempa sesuai zonasi wilayah Demak.

5.3.1 Angka Keamanan

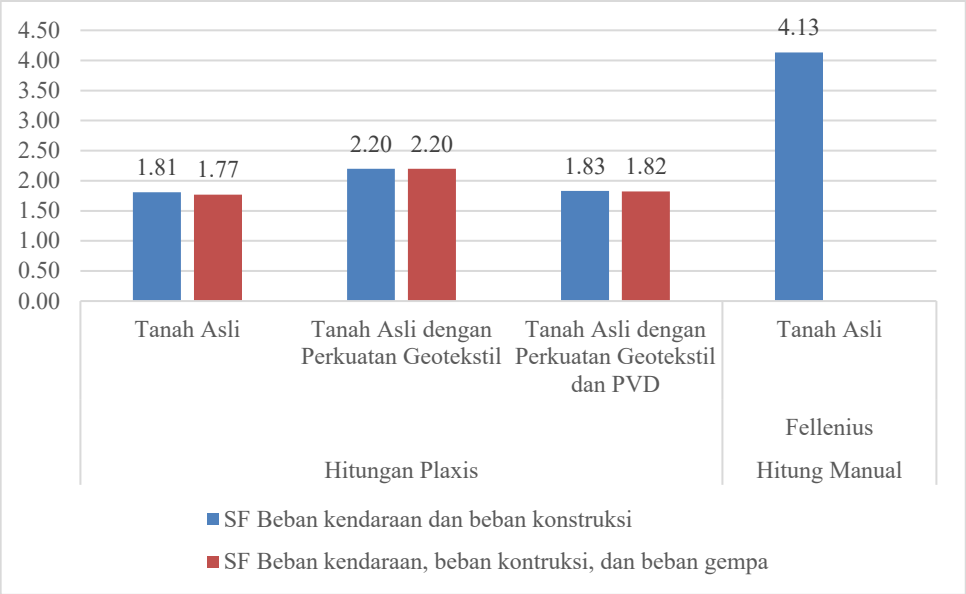
Plaxis V20 hanya memungkinkan perhitungan faktor keamanan pada kondisi tanpa beban gempa. Setelah analisis dinamik gempa dilakukan, program ini tidak dapat menghitung faktor keamanan dan hanya menyajikan hasil berupa total deformasi. Adapun nilai faktor keamanan tanah asli pascakonstruksi pada timbunan setinggi 5,5 meter dihitung menggunakan *Plaxis* V20, sedangkan perhitungan dengan Metode Fellenius disajikan pada Tabel 5.9.

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Menggunakan Metode Fellenius

Kondisi	Hitungan Plaxis			Hitung Manual Fellenius
	Tanah Asli	Perkuatan Geotekstil	Perkuatan PVD	Tanah Asli
SF Beban kendaraan dan beban konstruksi	1,81	2,20	1,83	1,67
SF Beban kendaraan, beban kontruksi, dan beban gempa	1,77	2,20	1,82	-

Berdasarkan Tabel 5.10, hasil analisis angka keamanan (*Safety Factor*) menggunakan metode Fellenius menunjukkan bahwa perkuatan dengan geotekstil dan PVD memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan stabilitas lereng dibandingkan kondisi tanah asli. Pada kondisi beban kendaraan dan konstruksi, SF hasil perhitungan Plaxis untuk tanah asli hanya sebesar 1,81, sedangkan dengan perkuatan geotekstil meningkat menjadi 2,20, dan dengan perkuatan PVD menjadi 1,83. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan geotekstil memberikan peningkatan yang paling signifikan terhadap kestabilan lereng. Hal serupa juga terlihat pada kondisi pemuatan dengan tambahan beban gempa, di mana SF pada tanah asli sebesar 1,77 meningkat menjadi 2,20 dengan perkuatan geotekstil, dan menjadi 1,82 dengan perkuatan PVD. Ini menegaskan bahwa geotekstil efektif

dalam menahan deformasi dan gaya geser tambahan akibat beban dinamis. Tabel 5.10 bisa dibuat *bar chart* sebagai berikut:



Gambar 5. 37 Rekapitulasi SF

Berdasarkan Tabel 5.10, dapat dilihat bahwa perkuatan lereng, baik dengan geotekstil maupun PVD, secara umum meningkatkan nilai faktor keamanan (SF) dibandingkan kondisi tanah asli, baik pada beban statis (kendaraan dan konstruksi) maupun dinamis (ditambah beban gempa). Perkuatan geotekstil memberikan peningkatan SF paling signifikan, dari 1,81 pada tanah asli menjadi 2,20, dan tetap stabil pada nilai yang sama meskipun ditambah beban gempa. Sementara itu, perkuatan dengan PVD juga menunjukkan peningkatan dari 1,81 menjadi 1,83 pada beban statis, dan hanya sedikit penurunan menjadi 1,82 saat ada beban gempa. Hal ini menunjukkan bahwa jenis perkuatan sangat memengaruhi kestabilan lereng, di mana geotekstil lebih efektif dalam menahan beban tambahan, terutama beban dinamis, sedangkan penambahan jenis beban (gempa) cenderung menurunkan SF namun dapat dikompensasi dengan penerapan perkuatan yang tepat.

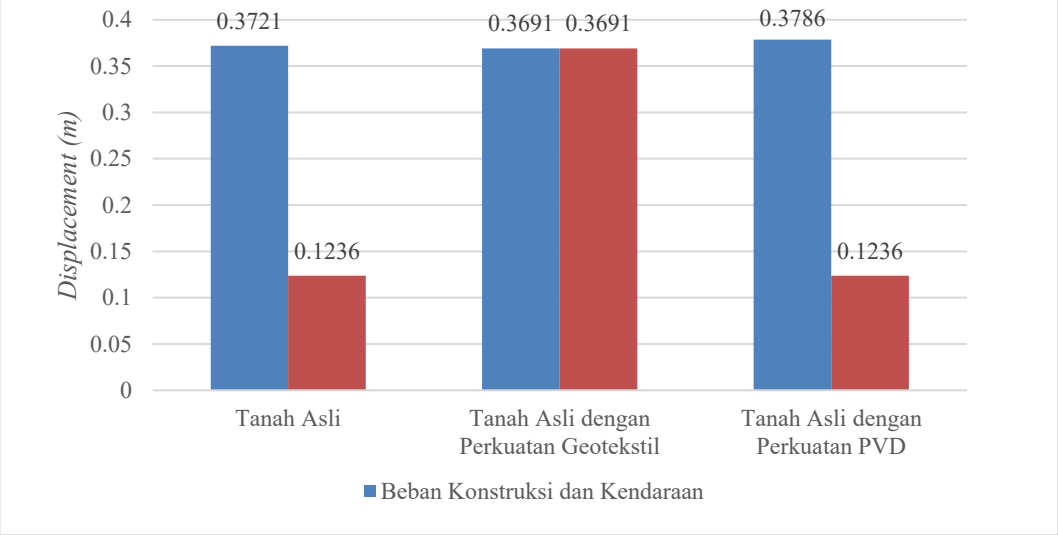
5.3.2 *Total Displacement*

Berdasarkan hasil analisis yang didapatkan dengan menggunakan program *Plaxis V20* pada 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 tinggi timbunan yang dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Total Displacement Dengan *Plaxis* V20

Kondisi	*Total Displacemet* Pada Beban (m)	
	Konstruksi 13,68 kN/m Kendaraan 15 kN/m	**Konstruksi 13,68 /m Kendaraan 15 kN/m Gempa Akselerasi 0,3**
Tanah Asli	0,3721	0,1236
Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil	0,3691	0,3691
Tanah Asli dengan Perkuatan PVD	0,3786	0,1236



Gambar 5. 38 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Total Displacement* Dengan *Plaxis* V20

Berdasarkan tabel di atas, terlihat bahwa besar perpindahan (displacement) lereng dipengaruhi oleh jenis beban yang diberikan serta keberadaan perkuatan seperti geotekstil dan PVD. Pada kondisi beban konstruksi dan kendaraan (tanpa gempa), tanah asli mengalami *displacement* sebesar 0,3721 m, sementara ketika

ditambah gempa, *displacement* justru menurun menjadi 0,1236 m, kemungkinan disebabkan oleh karakteristik respons numerik terhadap beban dinamis dalam simulasi. Ketika perkuatan geotekstil diterapkan, displacement menjadi lebih stabil, yakni 0,3691 m pada kedua kondisi beban. Ini menunjukkan bahwa geotekstil membantu menstabilkan deformasi tanah terhadap variasi beban. Sebaliknya, perkuatan dengan PVD menunjukkan hasil yang kurang konsisten—displacement justru sedikit meningkat menjadi 0,3786 m pada beban statis dan kembali turun ke 0,1236 m saat ada beban gempa, sama seperti kondisi tanah asli. Hal ini mengindikasikan bahwa geotekstil lebih efektif dalam mengendalikan deformasi lereng secara keseluruhan, sementara PVD mungkin lebih berperan dalam mempercepat konsolidasi tanah jenuh namun tidak secara langsung mengurangi deformasi pada saat beban statis maksimum terjadi.

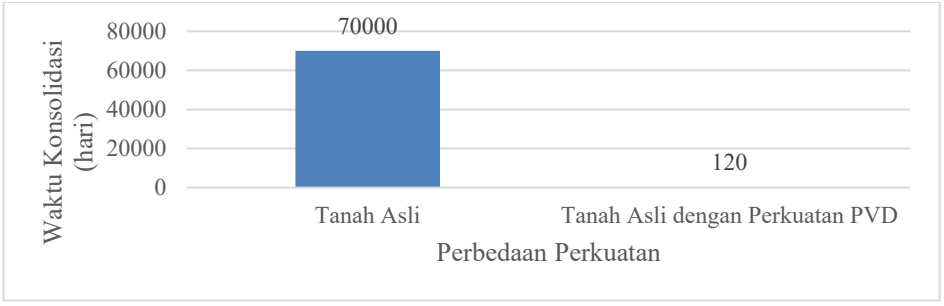
Berdasarkan data displacement, terlihat bahwa jenis perkuatan dan variasi beban memiliki pengaruh nyata terhadap besar deformasi lereng. Perkuatan dengan geotekstil memberikan efek stabilisasi yang lebih baik, ditunjukkan oleh nilai displacement yang konsisten (0,3691 m) meskipun beban bertambah dengan adanya gempa, menandakan kemampuannya menahan deformasi akibat beban dinamis maupun statis. Sebaliknya, perkuatan dengan PVD menunjukkan respons yang lebih fluktuatif—displacement sedikit meningkat pada beban statis (0,3786 m), namun turun signifikan saat ditambah beban gempa (0,1236 m), yang sebanding dengan kondisi tanah asli. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun PVD membantu dalam pengendalian deformasi akibat beban dinamis, efektivitasnya dalam mereduksi deformasi akibat beban statis belum sebaik geotekstil. Secara keseluruhan, geotekstil terbukti lebih andal dalam menstabilkan lereng dari sisi deformasi terhadap variasi beban, sementara PVD lebih tepat digunakan pada tanah jenuh untuk mempercepat konsolidasi.

5.3.3 Konsolidasi

Analisis konsolidasi yang dilakukan dengan menggunakan metode mayerhoff. Nilai besaran penurunan yang dianalisis dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5. 12 Waktu Konsolidasi Sampai Penurunan 90%

Permodelan	Waktu konsolidasi (hari)
Tanah Asli	70000
Tanah Asli dengan Perkuatan PVD	120



Gambar 5. 39 Waktu Konsolidasi Sampai Penurunan 90%

Berdasarkan Tabel 5.12, hasil analisis konsolidasi menggunakan metode Mayerhoff menunjukkan perbedaan waktu konsolidasi yang sangat signifikan antara kondisi tanah original dan tanah yang diperkuat dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*). Pada tanah original tanpa perkuatan, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 90% konsolidasi mencapai 70.000 hari, mencerminkan proses konsolidasi yang sangat lambat akibat rendahnya permeabilitas vertikal. Namun, setelah dilakukan perkuatan dengan PVD, waktu konsolidasi drastis menurun menjadi hanya 120 hari.

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.

Berdasarkan data yang telah dianalisis, berikut adalah jawaban untuk ketiga pertanyaan:

1. Angka keamanan pada timbunan asli menunjukkan seberapa stabil lereng tanpa adanya intervensi perkuatan. Berdasarkan data yang tersedia, nilai faktor keamanan (*safety factor*) untuk timbunan tanah asli adalah 1,81 saat dikenai beban kendaraan dan konstruksi. Ketika beban gempa turut ditambahkan, nilai faktor keamanan sedikit menurun menjadi 1,77. Penurunan ini menunjukkan bahwa keberadaan beban dinamis seperti gempa dapat mengurangi kestabilan lereng jika tidak diberikan perkuatan tambahan..
2. Angka keamanan dengan perkuatan geotekstil dan PVD mengalami peningkatan dibandingkan kondisi tanah asli. Dengan perkuatan geotekstil, nilai faktor keamanan naik menjadi 2,20, baik dalam kondisi beban statis (kendaraan dan konstruksi) maupun saat ditambah beban gempa. Ini menunjukkan bahwa geotekstil sangat efektif dalam meningkatkan kestabilan lereng. Sementara itu, perkuatan dengan PVD menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,83 untuk beban statis dan sedikit menurun menjadi 1,82 ketika ada tambahan beban gempa. Meskipun tidak sekuat geotekstil, PVD tetap memberikan peningkatan keamanan dibanding kondisi tanpa perkuatan.
3. Berdasarkan gambar yang ditampilkan, penurunan tanah (*total displacement*) pada masing-masing desain lereng berbeda-beda tergantung pada jenis perkuatan yang digunakan. Untuk desain lereng dengan tanah asli tanpa perkuatan, penurunan tanah mencapai sekitar 0,3721 meter. Pada

4. desain lereng dengan perkuatan geotekstil, penurunan sedikit lebih rendah dan lebih stabil, yaitu sekitar 0,3691 meter. Sementara itu, pada desain lereng dengan perkuatan PVD, penurunan tanah justru sedikit lebih tinggi dibanding tanah asli, yaitu mencapai 0,3786 meter. Hasil ini menunjukkan bahwa geotekstil lebih efektif dalam mengurangi penurunan tanah dibanding PVD, yang tampaknya lebih berfungsi mempercepat konsolidasi daripada menahan deformasi secara langsung.

6.2 Saran

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

6.2.1 Variasi Metode Analisis Kestabilan Lereng

Analisis lereng dengan metode lain, seperti metode elemen hingga (FEM) menggunakan perangkat lunak Plaxis maupun metode konvensional seperti Fellenius, sangat penting untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif dan akurat. Setiap metode memiliki pendekatan dan asumsi yang berbeda dalam menghitung stabilitas lereng, sehingga dengan membandingkan beberapa metode, insinyur dapat mengidentifikasi potensi kegagalan dari berbagai sudut pandang. Metode numerik seperti Plaxis mampu mempertimbangkan kondisi tanah yang kompleks, perkuatan geotekstil, serta pengaruh beban dinamis seperti gempa, yang mungkin sulit dimodelkan secara rinci dalam perhitungan manual. Oleh karena itu, penggunaan lebih dari satu metode meningkatkan keandalan desain dan membantu pengambilan keputusan teknis yang lebih aman dan efisien. Selain metode Fellenius dan analisis numerik menggunakan Plaxis, beberapa contoh metode lain yang umum digunakan dalam analisis stabilitas lereng antara lain:

1. Metode Bishop – Merupakan metode keseimbangan batas yang lebih akurat dari Fellenius karena memperhitungkan gaya geser antar irisan, cocok untuk lereng tanah dengan kondisi jenuh.
2. Metode Janbu – Digunakan untuk lereng yang tidak melingkar (*non-circular slip surface*), dan dapat diaplikasikan pada kondisi tanah yang heterogen atau berlapis.

3. Metode Morgenstern-Price – Metode ini menggabungkan keseimbangan momen dan gaya dengan fleksibilitas tinggi, serta sering dianggap salah satu metode paling akurat dalam keseimbangan batas.
4. Metode Spencer – Serupa dengan Morgenstern-Price, tetapi menggunakan pendekatan berbeda dalam distribusi gaya, dan sangat direkomendasikan untuk analisis lereng yang kompleks.
5. Metode Limit Equilibrium (LE) berbasis *software* lain seperti GeoStudio (SLOPE/W) – Digunakan untuk mengevaluasi faktor keamanan dengan berbagai asumsi bidang gelincir dan kondisi tanah.

Menggunakan metode-metode ini secara kombinatif atau sebagai pembanding dapat meningkatkan keyakinan terhadap hasil analisis dan memperkuat justifikasi teknis dalam desain lereng.

6.2.2 Gunakan Variasi Timbunan

Analisis variasi timbunan sangat penting dalam penelitian kestabilan lereng karena variasi ketinggian, geometri, dan material timbunan secara langsung memengaruhi distribusi tegangan, tekanan air pori, dan daya dukung tanah di bawahnya. Perubahan ini dapat mengakibatkan perbedaan signifikan dalam nilai faktor keamanan dan potensi longsor. Dengan memahami bagaimana perubahan pada tinggi atau jenis material timbunan memengaruhi stabilitas lereng, peneliti dapat merancang solusi teknis yang lebih tepat, seperti pemilihan metode perkuatan, pengaturan geometri lereng, atau sistem drainase yang lebih efektif.

Analisis variasi timbunan membuka peluang untuk melakukan optimasi desain, sehingga lereng tidak hanya stabil tetapi juga efisien secara ekonomi dan konstruktif. Dalam konteks penelitian lanjutan, pemahaman terhadap pengaruh variasi timbunan dapat digunakan sebagai dasar pengembangan model numerik yang lebih akurat dan realistis. Hal ini juga menjadi penting ketika lereng berada di wilayah rawan gempa atau memiliki kondisi geoteknik yang kompleks, di mana *respons* tanah terhadap beban tambahan dari timbunan sangat krusial untuk dievaluasi.

DAFTAR PUSTAKA

Arsy, A. A. 2018. *Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.* Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. *SNI 2847:2019 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Bertulang unutk Bangunan Gedung.* Jakarta.

Barimbing, F. R. B., & Iskandar, R. (2017). *Analisis Penurunan dan Waktu Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading dan Pre Fabricated Vertical drain (Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Bebas Hambatan Medan–Kualanamu Sta 35+ 950). Skripsi Universitas Sumatera Utara*.

Bina Marga. 2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

Bowles, J. E. 1989. Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Jilid 1. Penerbit Erlangga, Jakarta.

Budiasto, A. 2018. *Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis pada Jalan Tol Solo-Kertosono Tahap III Sta 118+700-139+760.* Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Das, B. M. 2002. *Principles of Geotechnical Engineering*. PWS Publishing.

Departemen Pekerjaan Umum., 2009. *Undang – Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Jalan*. Direktorat Jenderal Bina Marga ,Jakarta,Indonesia.

Fadhillah, M. T 2023. *Analisis Kestabilan Lereng Timbunan Jalan Inpeksi Proyek Pembangunan Bendungan Bener Purworejo*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Hamdani, A. T. 2019. *Analisis Stabilitas Timbunan Jalan di atas tanah lunak dengan perkuatan Sheet Pile dan Geotekstil.* Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Hardiyatmo (2002). *Mekanika Tanah II*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Hardiyatmo (2012). *Tanah Longsor dan Erosi*. Edisi Pertama. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H. C. 2003. *Mekanika Tanah II*. *Edisi Ke III*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H. C. 2008. *Teknik Pondasi 2*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta, Indonesia.

Hardiyatmo, H.C (2010). *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H. C. 2012. *Mekanika Tanah 2 Edisi V*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta, Indonesia.

Hardiyatmo, H. C. 2013. *Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya (Perancangan dan Aplikasi)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta, Indonesia.

Hayumi (2021). *Analisis Stabilitas Timbunan Pada Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Studi Kasus Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi I*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Isparmo, (2010). Geotextile Woven, Definisi dan Fungsi. (http://geotextile.web.id//geotextile-woven-definisi-dan-fungsi.html. Diakses 15 November 2024

Kurniawan, D. 2019. *Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah dan Sheet Pile Baja pada Lereng Jalan Tol Balikpapan- Samarinda Sta 2+850 – 3+050.* Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). Soil Mechanics John Wiley & Sons Inc. *New York*, *553*.

Nurtanti, E. Z. 2019. *Analisis Perkuatan Tanah dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Beton Bertulang dan Dinding Turap Baja dengan Program PLAXIS 8.6 pada Sungai Pabelan.* Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Pangemanan, V. G. M., Turangan, A. E., & Sompie, O. B. A. (2014). Analisis kestabilan lereng Dengan metode Fellenius. *Jurnal Sipil Statik*, *2*(1), 37-46.

PT. Indotex Bangun Mandiri. 2021. PVD (*Prefabricated Vertical Drain*). (https://indotexbangunmandiri.com/pvd-prefabricated-vertical-drain/). Diakses 15 November 2024

Purwanto, Edy (2012). *Hand Out Mata Kuliah Perkuatan Tanah*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Puskim, (2018). Desain Spektra Indoensia. (https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2018/). Diakses 15 November 2024

Reddish, D. J., & Whittaker, B. N. (2012). *Subsidence: occurrence, prediction and control* (Vol. 56). Elsevier.

Satindra, S. K., Ridwan, M., & Suroso, P. (2018). Analisa Penurunan Konsolidasi Metode Preloading Dengan Dan Tanpa Prefabricated Vertical Drain (Pvd) Pada

Proyek Jalan Tol Balikpapan–Samarinda Segmen Lima Sta 20+ 375. *Jurnal Inersia*, *10*(2), 1-12.

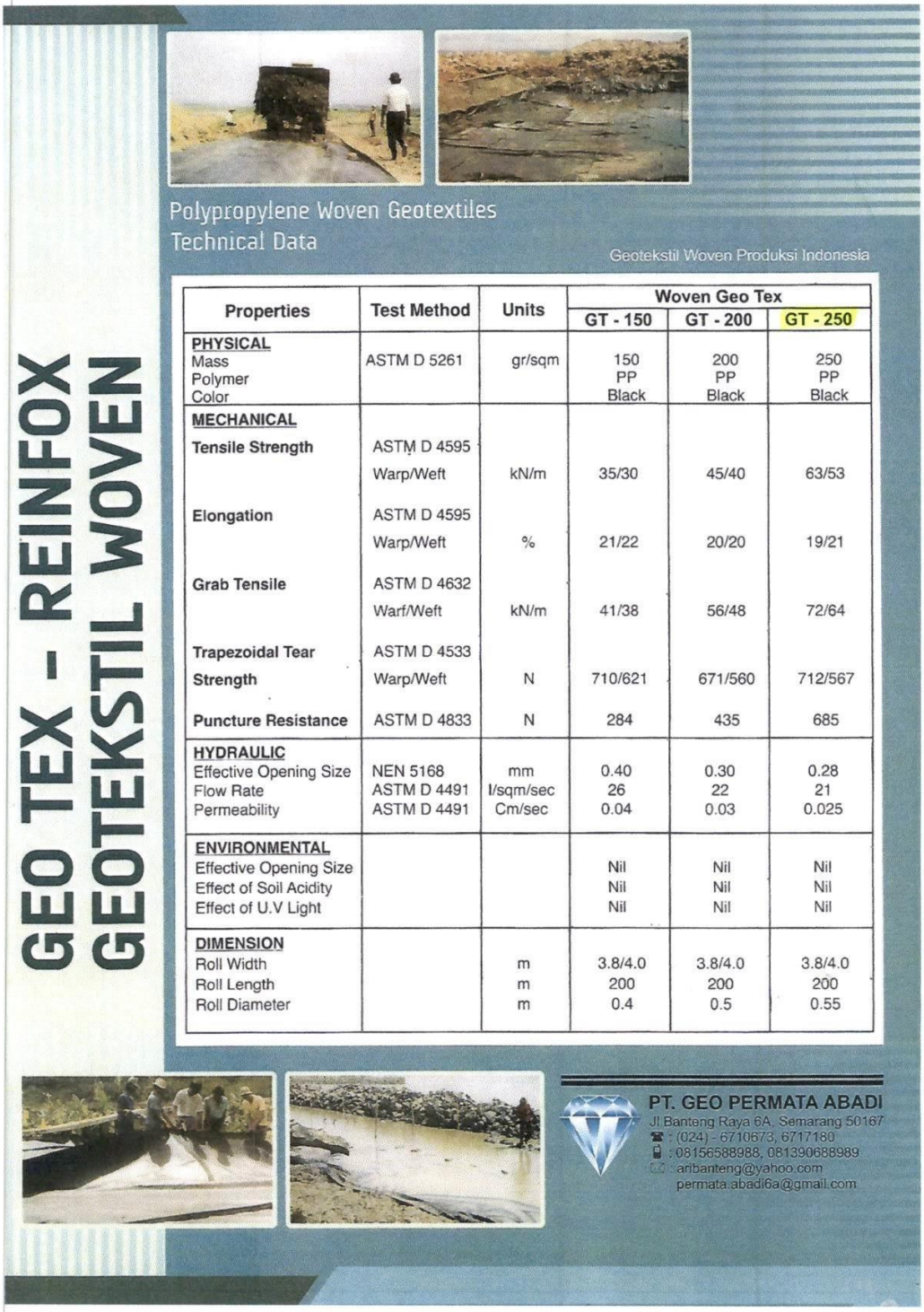
Suryadinullah, A. S. 2018. A*nalisis Stabilitas Timbunan Lereng pada jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS pada Jalan Tol Terbanggi Besar – Pemantang Panggang Sta 3+650, Lampung.* Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

USSGS. 2018. Additional Period and Site Class Maps for the 2014 National Seismic Hazard Model for the Conterminous United States. (https://pubs.usgs.gov/of/2018/1111/ofr20181111.pdf). Diakses Diakses 15 November 2024

Winner, D., (2017), *Perbaikan Tanah Dasar Menggunakan Pre-fabricated Vertical Drain Dengan Variasi Kedalaman dan Perkuatan Lereng Dengan Turap*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Geotekstil



GEO TEX - REINFOX
GEOTEKSTIL 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				
	Warf/Weft	kN/m	41/38	56/48	72/64
Trapezoidal Tear	ASTM D 4533				
Strength	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
: aribanteng@yahoo.com
permata.abadi6a@gmail.com

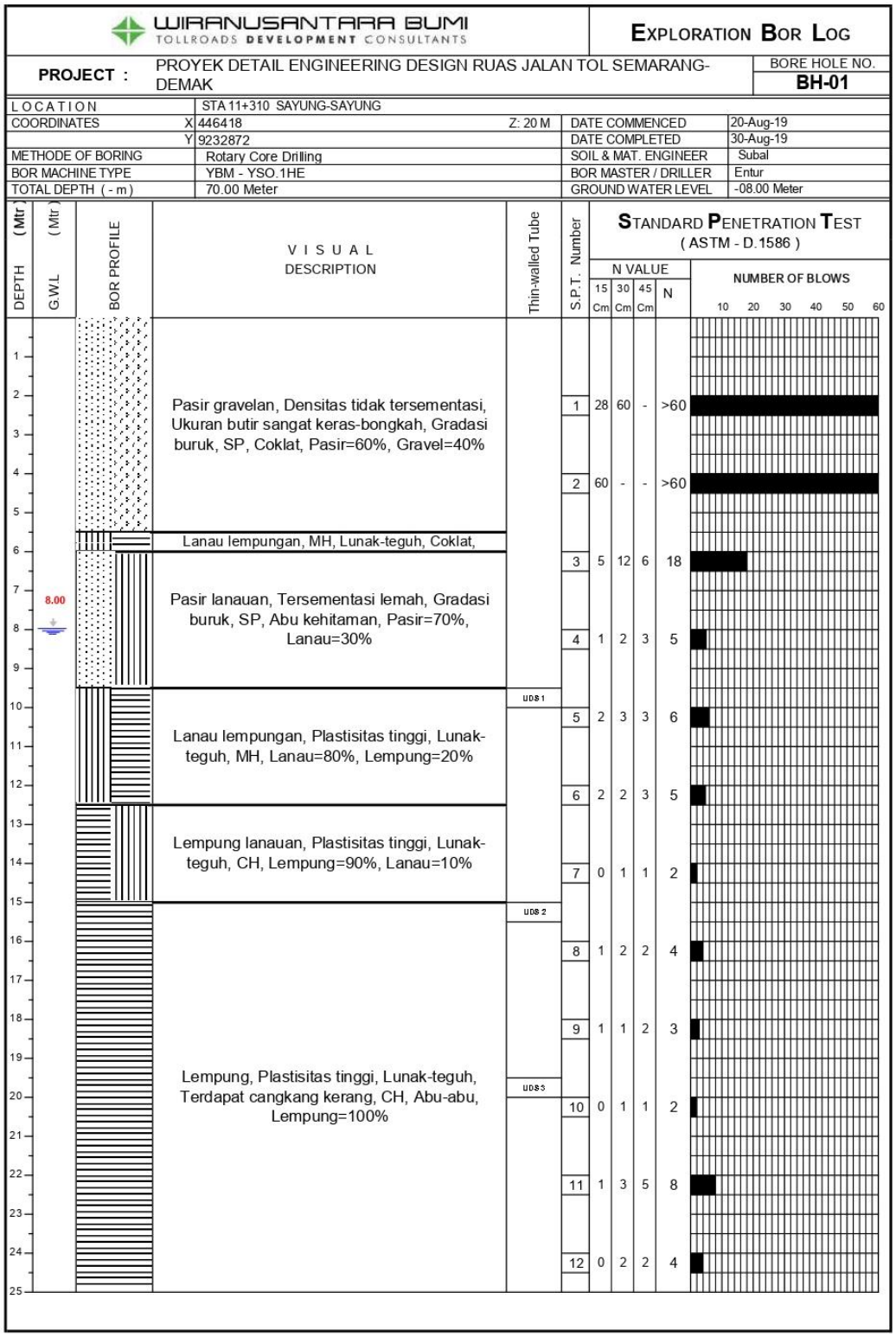
Lampiran 2. Data Penyelidikan Tanah

SUMMARY OF SOIL LABORATORY TEST

SOIL INVESTIGATION

SAYUNG - SAYUNG

					STA 11 + 310			
BORE HOLE No					BH. A01	BH. A01	BH. A01	BH. A01	BH. A01
SAMPLE No					UDS. 01	UDS. 02	UDS. 03	UDS. 04	SPT. 15
SAMPLE DEPTH (M)					9.50 ~ 10.00	15.00 ~ 15.50	19.50 ~ 20.00	29.50 ~ 30.00	30.00 ~ 30.45
PHYSICAL PROPERTIES	ASTM D 422	GRADATIONS TEST							
		- Gravel		(%)	0,18	0,58	0,42	0,58	0,68
		- Sand		(%)	5,04	0,82	0,52	1,40	0,76
		- Silt and Clay		(%)	94,78	98,60	99,06	98,02	98,56
		Classified Grading Pass							
		- Sieve No. 10	(2.00 mm)	(%)	99,82	99,42	99,58	99,42	99,32
		- Sieve No. 40	(0.425 mm)	(%)	99,32	98,86	99,24	98,34	98,68
		- Sieve No. 200	(0.075 mm)	(%)	94,78	98,60	99,06	98,02	98,56
	ASTM D 423 & D 424	ATTERBERG LIMITS TEST							
		- Liquit Limits	(LL)	(%)	66,89	74,03	97,26	116,17	113,03
		Plasticity Limit	(PL)	(%)	23,70	25,65	28,39	33,20	32,53
		- Plasticity Index	(PI)	(%)	43,19	48,38	68,87	82,97	80,49
		- Soils Classification	(USC)		C H	C H	C H	C H	C H
		- Sub Group	(AASTHO)		A - 7 - 6	A - 7 - 6	A - 7 - 6	A - 7 - 6	A - 7 - 6
	ASTM D 854	SPECIFIC GRAVITY		(gr/cc)	2,5979	2,5868	2,5778	2,5633	2,5635
	ASTM D 2216	NATURAL STATE							
		- Water Contents	(Wn)	(%)	48,00	69,02	64,71	58,66	52,42
		- Wet Density	(γ_m)	(gr/cm^3)	1,708	1,564	1,588	1,573	1,559
		- Dry Density	(γ_{dry})	(gr/cm^3)	1,154	0,926	0,964	0,992	1,023
		- Void Ratio	(e)		1,250	1,795	1,673	1,585	1,506
		- Porosity	(n)	(%)	55,56	64,22	62,59	61,31	60,09
		- Degree Of Saturation		(Sr) (%)	99,72	99,48	99,71	94,87	89,24
ENGINEERING PROPERTIES	ASTM D 2166	UNCONFINED COMPRESSION TEST							
		- Compressive Strength		(kg/cm^2)	0,262	-	0,345	-	-
		- Sensitivity Ratio	(St)		1,267	-	1,288	-	-
		- Modulus of Elasticity E_{50}		(kg/cm^2)	-	-	-	-	-
		TRIAXIAL COMPRESSION TEST							
		- Type of Test			UU	-	UU	-	-
		- Angel of Internal Friction	(ϕ)	(°)	3,563	-	3,947	-	-
		- Cohesion	(C)	(kg/cm^2)	0,028	-	0,027	-	-
		DIRECT SHEAR TEST							
		- Type of Test			-	-	-	-	-
		- Angel of Internal Friction	(ϕ)	(°)	-	-	-	-	-
		- Cohesion	(C)	(kg/cm^2)	-	-	-	-	-
	ASTM D 2435	CONSOLIDATION TEST							
		- Coefficient of Consolidation	(Cv)	(cm^2/sec)	1,33E-03	-	8,58E-04	-	-
		- Coefficient of Compressibility	(Mv)	(cm^2/kg)	0,109	-	0,178	-	-
		- Coefficient of Permeability	(k)	(cm/sec)	1,50E-07	-	1,66E-07	-	-
		- Compression Index	(Cc)		3,74E-01	-	8,60E-01	-	-
		- Recompression Index	(Cr)		3,51E-01	-	4,76E-01	-	-
		- Preconsolidation Pressure	(Pc')	(kg/cm2)	0,530	-	0,600	-	-
	SOAKED & UNSOAK METHODE	COMPACTION TEST							
		- Method of Test			-	-	-	-	-
		- Optimum Moisture Content	(Wopt)	(%)	-	-	-	-	-
		- Maximum Dry Density	(γd max)	(gr/cm3)	-	-	-	-	-
		CALIFORNIA BEARING RATIO							
		Sample Condition		(%)	-	-	-	-	-
		Condition Test			-	-	-	-	-
		Water Content (Wn)		(%)	-	-	-	-	-
		Dry Density (95% yd max)		(gr/cm3)	-	-	-	-	-
		California Bearing Ratio		(%)	-	-	-	-	-
		PERMEABILITY TEST	(k)	(cm/sec)	-	-	-	-	-



WIRANUSANTARA BUMI
TOLLROADS DEVELOPMENT CONSULTANTS

EXPLORATION BOR LOG

PROJECT : PROYEK DETAIL ENGINEERING DESIGN RUAS JALAN TOL SEMARANG-DEMAK

BORE HOLE NO. **BH-01**

LOCATION	STA 11+310 SAYUNG-SAYUNG				
COORDINATES	X	446418	Z: 20 M	DATE COMMENCED	20-Aug-19
	Y	9232872		DATE COMPLETED	30-Aug-19
METHODE OF BORING	Rotary Core Drilling			SOIL & MAT. ENGINEER	Subal
BOR MACHINE TYPE	YBM - YSO.1HE			BOR MASTER / DRILLER	Entur
TOTAL DEPTH (- m)	70.00 Meter			GROUND WATER LEVEL	-08.00 Meter

DEPTH (Mtr)	G.W.L (Mtr)	BOR PROFILE	VISUAL DESCRIPTION	Thin-walled Tube	S.P.T. Number	STANDARD PENETRATION TEST (ASTM - D.1586) N VALUE 15 Cm	30 Cm	45 Cm	N	NUMBER OF BLOWS 10 20 30 40 50 60
1–2			Pasir gravelan, Densitas tidak tersementasi, Ukuran butir sangat keras-bongkah, Gradasi buruk, SP, Coklat, Pasir=60%, Gravel=40%		1	28	60	-	>60	
3–4					2	60	-	-	>60	
5–6			Lanau lempungan, MH, Lunak-teguh, Coklat,		3	5	12	6	18	
7–8	8.00		Pasir lanauan, Tersementasi lemah, Gradasi buruk, SP, Abu kehitaman, Pasir=70%, Lanau=30%		4	1	2	3	5	
9–10				UDS 1	5	2	3	3	6	
11–12			Lanau lempungan, Plastisitas tinggi, Lunak-teguh, MH, Lanau=80%, Lempung=20%		6	2	2	3	5	
13–14			Lempung lanauan, Plastisitas tinggi, Lunak-teguh, CH, Lempung=90%, Lanau=10%		7	0	1	1	2	
15–16				UDS 2	8	1	2	2	4	
17–18					9	1	1	2	3	
19–20			Lempung, Plastisitas tinggi, Lunak-teguh, Terdapat cangkang kerang, CH, Abu-abu, Lempung=100%	UDS 3	10	0	1	1	2	
21–22					11	1	3	5	8	
23–24					12	0	2	2	4	
25										

WIRANUSANTARA BUMI
TOLLROADS DEVELOPMENT CONSULTANTS

EXPLORATION BOR LOG

PROJECT : PROYEK DETAIL ENGINEERING DESIGN RUAS JALAN TOL SEMARANG-DEMAK

BORE HOLE NO. **BH-01**

LOCATION	STA 11+310 SAYUNG-SAYUNG			
COORDINATES	X 446418	Z: 20 M	DATE COMMENCED	20-Aug-19
	Y 9232872		DATE COMPLETED	30-Aug-19
METHODE OF BORING	Rotary Core Drilling		SOIL & MAT. ENGINEER	Subal
BOR MACHINE TYPE	YBM - YSO.1HE		BOR MASTER / DRILLER	Entur
TOTAL DEPTH (- m)	70.00 Meter		GROUND WATER LEVEL	-08.00 Meter

DEPTH (Mtr)	G.W.L (Mtr)	BOR PROFILE	VISUAL DESCRIPTION	Thin-walled Tube	S.P.T. Number	STANDARD PENETRATION TEST (ASTM - D.1586) N VALUE 15 Cm	30 Cm	45 Cm	N	NUMBER OF BLOWS 10 20 30 40 50 60
26			Lempung, Plastisitas tinggi, Lunak-teguh, Terdapat cangkang kerang, CH, Abu-abu, Lempung=100%		13	1	1	3	4	
27										
28					14	1	2	3	5	
29										
30				UDS-4	15	1	2	2	4	
31										
32					16	0	2	4	6	
33			Lempung, Plastisitas tinggi, Lunak, Setengah lapuk, Terdapat cangkang kerang, CH, Abu kehitaman, Lempung=100%							
34					17	0	1	1	2	
35			Lempung, Plastisitas tinggi, Sangat kaku, Setengah lapuk, Kadar organik tinggi, Sedikit kandungan kerang, CH, Hitam, Lempung=100%							
36					18	11	14	21	35	
37			Lempung lanauan, Plastisitas tinggi, Setengah lapuk, Sedikit cangkang kerang, Abu-abu kehitaman, Lempung=80%, Lanau=20%							
38					19	13	16	26	42	
39										
40			Lempung, Plastisitas tinggi, Fragmen gamping (butiran-bongkah), Sangat kaku, Setengah lapuk, CH, Abu-abu kehitaman		20	18	19	24	43	
41										
42			Lempung, Plastisitas tinggi, Fragmen gamping (butiran-kerakal), Sangat kaku, CH, Abu-abu kecoklatan, Lempung=100%		21	14	20	27	47	
43										
44					22	21	27	31	58	
45										
46					23	19	24	36	60	
47										
48					24	22	28	32	60	
49										
50										

WIRANUSANTARA BUMI
TOLLROADS DEVELOPMENT CONSULTANTS

EXPLORATION BOR LOG

PROJECT : PROYEK DETAIL ENGINEERING DESIGN RUAS JALAN TOL SEMARANG-DEMAK

BORE HOLE NO. **BH-01**

LOCATION	STA 11+310 SAYUNG-SAYUNG			
COORDINATES	X 446418	Z: 20 M	DATE COMMENCED	20-Aug-19
	Y 9232872		DATE COMPLETED	30-Aug-19
METHODE OF BORING	Rotary Core Drilling		SOIL & MAT. ENGINEER	Subal
BOR MACHINE TYPE	YBM - YSO.1HE		BOR MASTER / DRILLER	Entur
TOTAL DEPTH (- m)	70.00 Meter		GROUND WATER LEVEL	-08.00 Meter

DEPTH (Mtr)	G.W.L (Mtr)	BOR PROFILE	VISUAL DESCRIPTION	Thin-walled Tube	S.P.T. Number	N VALUE 15 Cm	30 Cm	45 Cm	N	NUMBER OF BLOWS 10 20 30 40 50 60
51			Lempung, Plastisitas tinggi, Fragmen gamping (butiran-kerakal), Setengah lapuk, Sangat kaku, CH, Abu-abu kehitaman, Lempung=100%, Sisipan (53.50-54.50m) Lempung lanauan sedikit pasir, Plastisitas tinggi, Pasir berukuran pasir halus, Sangat kaku, CH, Abu-abu, Lempung=70%, Lanau=20%, Pasir=10%, Sisipan (54.50-55.00m) Pasir lempungan, Densitas padat, Tersemen lemah-sedang, Ukuran butir pasir halus-sedang, Membundar, Gradasi buruk, Sangat kaku, SC, Abu-abu, Pasir=70%, Lempung=30%, Sisipan (55.50-56.00m) Lanau lempungan, Plastisitas tinggi, Sangat kaku, MH, Abu-abu, Lanau=70%, Lempung=30%		25	19	27	33	60	
52					26	21	29	31	60	
53										
54					27	20	24	36	60	
55										
56					28	9	13	18	31	
57			Pasir, Densitas padat, Sangat urai, Tersementasi (tidak), Pasir sangat kasar, Membundar, Gradasi buruk, SP, Coklat kehitaman							
58					29	21	24	35	59	
59										
60					30	19	25	33	58	
61										
62					31	22	27	33	60	
63										
64			Lempung, Sangat kaku, Plastisitas tinggi, Setengah lapuk, Fragmen gamping (butiran-kerakal), Abu-abu keputihan, Lempung=100%, Sisipan (65.00-69.00m) Lempung pasiran, Plastisitas tinggi, Pasir berukuran sedang-keras, Bentuk butir membundar, CH, Coklat, Lempung=70%, Pasir=30%		32	16	21	29	50	
65										
66					33	1	2	3	5	
67										
68					34	18	24	31	55	
69										
70			END OF BORE HOLE 70.00 Mtr		35					
71										
72					36					
73										
74					37					
75										

STANDARD PENETRATION TEST (ASTM - D.1586)