

TUGAS AKHIR

**ANALISIS STABILITAS LERENG DAN PENURUNAN
TIMBUNAN JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL
DAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN*
(*SLOPE STABILILITY AND SETTLEMENT ANALYSIS OF
EMBANKMENTS REINFORCED WITH GEOTEXTILES AND
PREFABRICATED VERTICAL DRAINS*)**

(Studi Kasus: Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA. 6+475)



GILDAN RAHMAT FADHILLAH

19511105

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

2024

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG DAN PENURUNAN TIMBUNAN JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL DAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* *(SLOPE STABILITTY AND SETTLEMENT ANALYSIS OF EMBANKMENTS REINFORCED WITH GEOTEXTILES AND PREFABRICATED VERTICAL DRAINS)*

(Studi Kasus: Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA. 6+475)



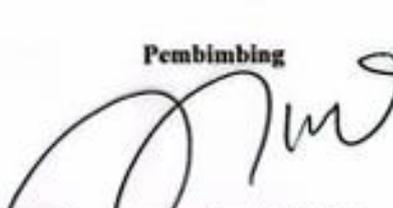
Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 28 mei 2024
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Penguji I

Penguji II


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


Dr. Hanindya K., Artati, S.T., M.T.
NIK: 045110407


Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 955110103

Mengesahkan,

Ir. Yuhana Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng., IPM
NIK: 095110101



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya dengan sesungguhnya menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir yang saya buat sebagai persyaratan untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil di Universitas Islam Indonesia adalah hasil karya pribadi saya. Saya telah dengan jelas mengidentifikasi dan mengutip dengan benar sumber-sumber yang saya gunakan dalam penulisan ini sesuai dengan standar, aturan, dan moralitas penulisan ilmiah. Jika di masa mendatang terbukti bahwa seluruh atau sebagian dari laporan Tugas Akhir ini bukan karya saya sendiri atau terdapat unsur plagiarisme dalam bagian tertentu, saya bersedia menerima konsekuensi yang berlaku, termasuk pencabutan gelar akademik saya sesuai dengan hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Mei 2024,
Yang membuat pernyataan,



MEYRAI
TEMPER
KALX 160231327
Gilang Khatmat Rabbillah
19511105

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan segala karunia-Nya dan atas izin-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan semestinya. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Stabilitas Lereng dan Penurunan Timbunan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil dan (Studi Kasus : Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA. 6+475)”. Tugas akhir ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan meraih gelar sarjana di Program Studi Teknil Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Tugas akhir ini tidak akan selesai tanpa bimbingan, pertolongan, dan dukungan dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan doa, dukungan motivasi, bantuan, dan saran yang sangat bermanfaat bagi penulis dalam menyelesaikan laporan ini, yaitu :

1. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T.,M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing serta memberikan arahan, kritik, dan saran demi penulisan tugas akhir yang lebih baik.
2. Pak Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing serta memberikan arahan, kritik, dan saran demi penulisan tugas akhir yang lebih baik.
3. Hanindya Kusuma Artati, S.T.,M.T, selaku dosen penguji 1.
4. Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D, selaku dosen penguji 2.
5. Ibu Dr. Eng. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil.
6. Dan untuk semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberikan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan lancar.

Penulis menyadari bahwa dalam tugas akhir ini masih banyak berbagai kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi tugas akhir yang lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi semua pihak.

Yogyakarta, 28 Mei 2024
Yang membuat pernyataan,

Gildan Rahmat Fadhillah
(19511105)

DAFTAR ISI

HALAMAN PEMBUKA	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Penelitian	3
1.6. Lokasi Studi Kasus	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Umum	5
2.2. Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan	6
2.3. Analisis Penurunan Konsolidasi pada Timbunan	8
2.4. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil	9
2.5. Analisis Penurunan Konsolidasi Menggunakan <i>Prefabricated Vertical drain</i>	12
2.6. Pengaruh <i>Prefabricated Vertical Drain</i> terhadap Angka Keamanan (<i>Safety Factor</i>)	13
2.7. Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan	14
BAB III LANDASAN TEORI	17
3.1. Tanah	17
3.1.1 Klasifikasi Tanah	17
3.1.2 Parameter Tanah	20

3.2.	Lereng	28
3.2.1	Stabilitas Lereng	28
3.2.2	Faktor Keamanan	29
3.2.3	Metode <i>Fellenius</i>	30
3.3.	Perkuatan Lereng	33
3.3.1	Geosintetik	34
3.3.2	Geotekstil	34
3.3.3	Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Geotekstil	36
3.3.4	Prefabricated Drain	40
3.4.	Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>) dan Konsolidasi	43
3.4.1	Penurunan Konsolidasi Primer (<i>Primary Consolidation Settlement</i>)	43
3.4.2	Parameter Perhitungan Penurunan	44
3.5.	PLAXIS	50
BAB IV METODE PENELITIAN		53
4.1.	Tinjauan Umum	53
4.2.	Data Penelitian	54
4.3.	Tahapan Penelitian	54
4.4.	Analisis Data	55
4.4.1	Parameter Tanah	55
4.4.2	Geotekstil	55
4.4.3	Beban Perkerasan dan Lalu Lintas	56
4.4.4	<i>Prefabricated Drain</i>	56
4.4.5	Beban Gempa	57
4.5.	Pengoperasian Program PLAXIS	58
4.5.1	PLAXIS <i>Input</i>	58
4.5.2	PLAXIS <i>Calculations</i>	61
4.5.3	PLAXIS <i>Output</i>	63
4.6.	Bagan Alur Penelitian	63
BAB V PEMBAHASAN		65
5.1	Gambaran Umum Analisis	65

5.1.1	Data Analisis Program PLAXIS	65
5.2	Lereng Timbunan Tanah Asli	67
5.2.1	Analisis Menggunakan Program PLAXIS	67
5.2.2	Perhitungan Manual Dengan Metode <i>Fellenius</i>	76
5.3	Perhitungan Kebutuhan Geotekstil	80
5.3.1	Data Perhitungan Geotekstil	80
5.3.2	Stabilitas Eksternal	82
5.3.4	Cek Gaya Tarik Tanah – Geotekstil	86
5.3.5	Analisis Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil menggunakan Program Plaxis v22	87
5.4	Perhitungan Penurunan Konsolidasi Tanah	96
5.4.1	Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	96
5.4.2	Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanpa Dengan PVD	97
5.4.3	Perhitungan Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD	98
5.5	Lereng Timbunan Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated vertical drain</i>	101
5.6	Pembahasan	106
5.6.1	Konsolidasi	109
5.6.2	Derajat Konsolidasi	110
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		112
5.7	Kesimpulan	112
5.8	Saran	113
DAFTAR PUSTAKA		114
LAMPIRAN		116

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya	15
Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi USCS (Unified Soil Classification System)	19
Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Berdasarkan AASHTO	20
Tabel 3.3 Nilai Koefisien Permeabilitas	22
Tabel 3.4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	23
Tabel 3.5 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	23
Tabel 3.6 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Kohesi	27
Tabel 3.7 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	28
Tabel 3.8 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng	29
Tabel 3.9 Faktor Keamanan Lereng	30
Tabel 4.1 Data Parameter Tanah	55
Tabel 4.2 Data Parameter Woven GT-250	56
Tabel 4.3 Data Parameter Beban Lalu Lintas	56
Tabel 5.1 Tahapan Analisis Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli Tanpa Beban Gempa	70
Tabel 5.2 Fase Pada Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan	74
Tabel 5.3 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli	76
Tabel 5.4 Rekapitulasi Perhitungan Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	78
Tabel 5.5 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Dengan Metode <i>Fellenius</i>	79
Tabel 5.6 Data Geotekstil <i>Woven</i> HRX-250	81
Tabel 5.7 Koefisien Daya Dukung Tanah	81
Tabel 5.8 Hasil Rekapitulasi Perhitungan <i>Lo</i>	85
Tabel 5.9 Rekapitulasi Perhitungan Panjang Efektif Geotekstil	86
Tabel 5.10 Phase Analisis Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil	89
Tabel 5.11 Phase Analisis Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil	93
Tabel 5.12 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi	97
Tabel 5.13 Rekapitulasi Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (C_v) Tanpa PVD	98

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Analisis Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD dengan Pola Segitiga dan Jarak 0,9 m	99
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil SF Tanpa Beban Gempa	107
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil SF Dengan Beban Gempa	107
Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Total <i>Displacement</i> Dengan PLAXIS V22	108
Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Penurunan Excess Pore Pressure	109
Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil untuk mencapai tingkat konsolidasi 90%	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram Fase Tanah	21
Gambar 3.2	Kriteria Kegagalan Mohr dan Coulomb	25
Gambar 3.3	Lingkungan Mohr Saat Kegagalan	26
Gambar 3.4	Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan	28
Gambar 3.5	Ilustrasi Gaya-Gaya Pada Setiap Irisan dengan Metode Fellenius	31
Gambar 3.6	Geotekstil Non-Woven	35
Gambar 3.7	Geotekstil Woven	35
Gambar 3.8	Pemasangan Geotekstil Pada Timbunan	36
Gambar 3.9	Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral	37
Gambar 3.10	Prefabricated vertical drain (PVD)	40
Gambar 3.11	Pola PVD (Kiri Pola Bujur Sangkar & Kanan Pola Segitiga)	42
Gambar 3.12	Prefabricated Horizontal Drain (PHD)	43
Gambar 3.13	Faktor Pengaruh Akibat Beban Timbunan	46
Gambar 4.1	Plan Jalan Tol Cibitung – Cilincing Seksi 2 STA. 6+47	53
Gambar 4.2	Spesifikasi <i>Prefabricated vertical drain</i>	57
Gambar 4.3	Peta Zonasi Gempa	57
Gambar 4.4	Kotak Dialog <i>Project Properties</i>	58
Gambar 4.5	Jendela <i>Model Properties</i>	59
Gambar 4.6	Lembar <i>Tab General</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	60
Gambar 4.7	Lembar <i>Tab Parameters</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	61
Gambar 4.8	Jaringan Elemen Hingga (<i>Meshing</i>)	61
Gambar 4.9	Jendela <i>Phase</i> dengan Lembar <i>Tab General</i>	62
Gambar 4.10	Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau	62
Gambar 4.11	Jendela <i>Output</i> Perhitungan	63
Gambar 4.12	Bagan Alur Penelitian	64
Gambar 5.1	Geometri Kondisi Eksisting Lereng Tanah Asli	67

Gambar 5.2 Pemodelan Lereng Timbunan 7,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	68
Gambar 5.3 Pemodelan Lapisan Tanah pada Geometri Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli tanpa Beban Gempa	68
Gambar 5.4 Meshing pada Lereng Timbunan 7,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan	69
Gambar 5.5 Generate Water Pressures pada Lereng Timbunan 7,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi	69
Gambar 5.6 <i>Initial Soil Stresses</i> pada Lereng Timbunan 7,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi	70
Gambar 5.7 Total Displacements Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli tanpa Beban Gempa	71
Gambar 5.8 Nilai Angka Aman (SF) Timbunan Lereng Tanah Asli 7,5m Tanpa Beban Gempa	71
Gambar 5.9 Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli Dengan Beban Gempa	72
Gambar 5.10 Meshing pada Lereng Timbunan 7,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan dengan Beban Gempa	73
Gambar 5.11 Generate Water Pressures pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan dengan Beban Gempa	73
Gambar 5.12 Total Displacements Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli dengan Beban Gempa	75
Gambar 5.13 Nilai Angka Aman (SF) Timbunan Lereng Tanah Asli 7,5m dengan Beban Gempa	75
Gambar 5.14 Analisis Stabilitas Sta. 6+475 dengan Metode <i>Fellenius</i>	76
Gambar 5.15 Pemodelan Geometri Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	88
Gambar 5.16 meshing pada timbunan dengan perkuatan geotekstil	88

Gambar 5.17 Peletakkan Muka Air Tanah pada Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil	89
Gambar 5.18 Total Displacement Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil	91
Gambar 5.19 <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil	91
Gambar 5.20 Pemodelan Geometri Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	92
Gambar 5.21 Meshing Pada Timbunan dengan Beban Gempa dan Perkuatan Geotekstil	92
Gambar 5.22 Peletakkan Muka Air Tanah Pada Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil dan Beban Gempa	93
Gambar 5. 23 Deformed Mesh Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil dan Beban Gempa	95
Gambar 5.24 Total Displacements Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil dan Beban Gempa	95
Gambar 5.25 <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil dan Beban Gempa	95
Gambar 5.28 Jaringan Elemen (<i>Meshing</i>) Timbunan 7,5 Meter Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	102
Gambar 5.29 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 7,5 m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated vertical drain</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	102
Gambar 5.30 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan 7,5 m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated vertical drain</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	103
Gambar 5.31 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 7,5 m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated vertical drain</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	103

Gambar 5.32 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 7,5 m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated vertical drain</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	104
Gambar 5.33 Arah Pergerakan Total Tanah Timbunan 7,5m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur	104
Gambar 5.34 Arah Pergerakan Tanah Total Timbunan 7,5m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated vertical drain</i> Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa	105
Gambar 5.35 Kurva SF Timbunan 7,5m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Masa Konstruksi	105
Gambar 5.36 Kurva SF Timbunan 7,5m Kondisi Tanah Asli dengan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Masa Konstruksi dengan Beban Gempa	106
Gambar 5.37 Grafik Rekapitulasi Angka Keamanan PLAXIS V22	107
Gambar 5.38 Grafik Rekapitulasi Total <i>Displacement</i> PLAXIS V22	108
Gambar 5.39 Grafik Rekapitulasi Hasil Konsolidasi	109
Gambar 5.40 Grafik rekapitulasi waktu derajat konsolidasi 90%	111

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

φ	= Sudut gesek antara tanah dan geotekstil ($^{\circ}$)
σ_{hc}	= Tegangan ultimit (kN/m^2)
θ_i	= sudut yang didefinisikan ($^{\circ}$).
γ_b	= Berat volume tanah (kN/m^3)
γ	= Berat volume tanah (kN/m^3).
u_i	= tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m^2).
q_0	= Berat volume tanah efektif.
c	= kohesi tanah (kN/m^2),
a_i	= panjang bagian lingkaran pada irisan ke-i (m),
L_{ef}	= Panjang efektif geotekstil (m).
L_0	= Panjang <i>overlapping</i> (m).
I	= Faktor pengaruh
H	= Tebal lapisan tanah (m).
F	= faktor aman,
ψ	= Sudut dilatansi ($^{\circ}$)
φ'	= Sudut geser dalam tanah efektif ($^{\circ}$)
φ	= Sudut geser dalam tanah ($^{\circ}$)
$\tau'f$	= Tegangan geser efektif pada saat terjadi keruntuhan
τ	= Kuat geser tanah (kN/m^2)
σ_3'	= Tegangan utama minor efektif (kN/m^2)
σ_1'	= Tegangan utama mayor efektif (kN/m^2)
$\sigma'f$	= Tegangan normal efektif pada saat terjadi keruntuhan
σ'	= Tegangan normal efektif (kN/m^2)
σ	= Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)
θ_i	= sudut yang didefinisikan
θ	= Sudut keruntuhan ($^{\circ}$)
γ	= berat volume tanah (kN/m^3),
Z_i	= Kedalaman tulangan yang ditekek masuk ketanah (m).

X_l, X_r = gaya geser efektif di sepanjang sisi irisan
 W_w = berat air (kg/m^3)
 W_s = berat butiran padat (kg/m^3)
 W_i = berat irisan tanah (kN),
 W = berat total (kN)
 V_w = volume air (m^3)
 V_v = volume rongga (m^3)
 V_s = volume butiran padat (m^3)
 V_a = volume udara (m^3)
 V = volume total (m^3)
 U_v = Derajat konsolidasi arah vertikal ($^\circ$)
 U_i = tekanan air pori di dasar irisan (kPa)
 U_1, U_r = tekanan air pori yang bekerja di kedua sisi irisan, dan
 u = Tekanan air pori (kN/m^2)
 U = Derajat konsolidasi rata-rata ($^\circ$)
 T_v = Faktor waktu (detik)
 T_i = resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
 T_h = Faktor waktu untuk drainase arah radial.
 T_c = Waktu konsolidasi dengan *PVD*.
 T_a = Kuat tarik geotekstil *allowable*
 t = Waktu konsolidasi (detik).
 S_v = Jarak tulangan arah vertikal (m).
 SF = Faktor aman.
 S_c = Penurunan konsolidasi primer
 S = *Spacing* atau jarak antar *PVD*
 R = jari-jari lingkaran bidang longsor
 q = Beban merata (kN/m^2).
 P_o' = Tekanan *overburden* efektif.
 P_c' = Tekanan prakonsolidasi
 p = Panjang *PVD*.
 N_i = 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 <i>PVD</i>
K_a	= Koefisien tanah aktif.
H_n	= Tebal lapisan ke- n (cm).
H_{dr}	= Jarak air pori (m).
H_1	= Tebal lapisan ke-1.
H	= Tinggi lapisan tanah (m).
F_g	= Kuat tarik ijin geotekstil (kN/m), dan
$F(n)$	= <i>Faktor hambatan</i>
e_o	= Angka pori
E_1, E_r	= gaya normal efektif di sepanjang sisi irisan
e	= Nilai eksentrisitas tanah (m).
D_w	= <i>Diameter ekuivalen PVD</i>
D_e	= Diameter jangkauan <i>PVD</i>
D	= Diameter zona pengaruh satu drain.
C_v	= Koefisien konsolidasi vertikal (cm ² /s).
C_v	= Koefisien konsolidasi (m ² /tahun).
C_s	= Indeks pemuaian/ mengembang
C_H	= Koefisien konsolidasi horizontal (cm ² /s).
C_h	= Koefisien konsolidasi arah horizontal
C_c	= Indeks pemampatan.
c'	= Kohesi tanah efektif (kN/m ²)
c	= Kohesi tanah (kN/m ²)
b	= Ketebalan <i>PVD</i>
A_i	= luas irisan tanah (m ²),
a	= Lebar <i>PVD</i>
Δp	= Distribusi tekanan
ΔP	= Tekanan <i>overbuden</i> efektif.

- \emptyset = sudut gesek dalam tanah ($^{\circ}$),
 γ_{Timbunan} = Tebal lapisan tanah (m).
 γ' = Berat volume tanah efektif.
 d_w = Diameter *PVD*.
 U_r = Derajat konsolidasi arah horizontal.
 U_v = Derajat konsolidasi arah vertikal.
 U_H = Derajat konsolidasi arah radial.
 T_H = *Faktor waktu radial*.
 C_v = Koefisien konsolidasi (cm^2/s).
 $\Delta l/l$ = Regangan pada geotekstil

ABSTRAK

Indonesia adalah salah satu negara berkembang yang sedang melakukan pembangunan dalam sektor infrastruktur seperti jalan transportasi. Kota Bekasi membutuhkan infrastruktur yang mudah untuk akses transportasi. Maka dari itu, dibangun jalan Tol Cibitung – Cilincing untuk membantu akses jalan transportasi supaya lebih melayani masyarakat dalam perputaran ekonomi yang ada di Kota Bekasi.

Pembangunan konstruksi terutama pada proyek konstruksi jalan, banyak beberapa peristiwa seperti lereng yang longsor terjadi ketika musim hujan tiba. Dalam meningkatkan daya dukung tanah ini diperlukan analisis potensi kelongsoran lereng pada Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing. Beberapa faktor seperti faktor keamanan (*safety factor*) harus diperhatikan karena berpengaruh terhadap stabilitas lereng seperti pada Timbunan. Dengan menggunakan metode analisis Fellenius digunakan sebagai alat untuk perhitungan manual dalam mengevaluasi stabilitas lereng dan penurunan timbunan jalan. Penelitian ini menganalisis stabilitas dan konsolidasi timbunan setinggi 7,5 meter menggunakan program Plaxis V22 dengan berbagai metode perkuatan.

Hasil analisis stabilitas menunjukkan bahwa angka keamanan untuk timbunan tanpa perkuatan adalah 1,238, lebih tinggi dibandingkan metode Fellenius yang mencapai 1,184. Namun, penambahan beban gempa pada timbunan tanpa perkuatan menyebabkan soil body collapse. Analisis konsolidasi tanpa perkuatan menunjukkan nilai konsolidasi sebesar 0,472 m. Dengan menggunakan perkuatan geotekstil, angka keamanan meningkat menjadi 1,723, dan dengan beban gempa menjadi 1,427, serta nilai konsolidasi mencapai 0,571 m. Kombinasi perkuatan geotekstil dan *prefabricated vertical drain* menghasilkan angka keamanan 1,712, dan dengan beban gempa menjadi 1,469, serta nilai konsolidasi 0,390 m. Penggunaan geotekstil tidak signifikan mempengaruhi penurunan, namun penggunaan kombinasi geotekstil dan *prefabricated vertical drain* mempercepat waktu konsolidasi hingga mencapai 90%, sementara penggunaan geotekstil saja membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai derajat konsolidasi 90%.

Kata Kunci : Longsor, faktor keamanan, metode Fellenius, Plaxis, konsolidasi, perkuatan geotekstil, *prefabricated vertical drain*.

ABSTRACT

Indonesia is one of the developing countries that is carrying out development in the infrastructure sector such as transportation roads. Bekasi City needs easy infrastructure for transportation access. Therefore, the Cibitung - Cilincing Toll Road was built to help access transportation roads to better serve the community in the economic turnover in Bekasi City.

Construction development, especially in road construction projects, many events such as landslides occur when the rainy season arrives. In improving the bearing capacity of the soil, it is necessary to analyze the potential for slope collapse in the Cibitung-Cilincing Toll Road Development. Several factors such as the safety factor must be considered because it affects the stability of slopes such as embankments. Using the Fellenius analysis method is used as a tool for manual calculations in evaluating slope stability and road embankment settlement. This research analyzes the stability and consolidation of 7.5 meter high embankment using Plaxis V22 program with various reinforcement methods.

The results of the stability analysis showed that the safety number for the unreinforced embankment was 1.238, higher than the Fellenius method which reached 1.184. However, the addition of earthquake load to the unreinforced embankment caused soil body collapse. Consolidation analysis without reinforcement showed a consolidation value of 0.472m. By using geotextile reinforcement, the safety number increased to 1.723, and with earthquake loading to 1.427, and the consolidation value reached 0.571m. The combination of geotextile reinforcement and prefabricated vertical drain resulted in a safety figure of 1.712, and with earthquake loading to 1.469, and a consolidation value of 0.390 m. The use of geotextile did not significantly affect the settlement, but the use of a combination of geotextile and prefabricated vertical drain accelerated the consolidation time to reach 90%, while the use of geotextile alone took longer to reach 90% consolidation degree.

Keywords : *slope stability, soil bearing capacity, landslide, factor of safety, Fellenius method, Plaxis, consolidation, geotextile reinforcement, prefabricated vertical drain.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Indonesia adalah salah satu negara berkembang yang sedang melakukan pembangunan dalam sektor infrastruktur seperti jalan transportasi. Infrastruktur sangatlah penting bagi perkembangan ekonomi, oleh karena itu Indonesia sedang melakukan pembangunan di beberapa sektor khususnya transportasi, demi mencapai kesejahteraan perekonomian Indonesia, beberapa kota – kota besar di pulau Jawa memiliki perputaran ekonomi yang sangat besar. Kota Bekasi adalah kota yang berada di provinsi Jawa Barat yang termasuk salah satu kota yang menjadi target untuk berekonomi.

Kota Bekasi membutuhkan infrastruktur yang mudah untuk akses transportasi. Maka dari itu, dibangun jalan Tol Cibitung – Cilincing untuk membantu akses jalan transportasi supaya lebih melayani masyarakat dalam perputaran ekonomi yang ada di Kota Bekasi. Dengan adanya tol ini akan membantu meningkatkan ekonomi untuk mensejahterakan masyarakat Indonesia khususnya wilayah Kota Bekasi dan sekitarnya. Pemerintah memberikan amanah untuk mewujudkan Program Pembangunan Jangka Menengah (RPJMN) 2015-2020 salah satu tujuannya untuk menyediakan infrastruktur jalan untuk membantu perkembangan perekonomian Indonesia. Dalam proyek ini membangun infrastruktur berupa jalan tol dengan panjang 34 Km, menghubungkan ruas JORR II sampai dengan jalan Tol Cimanggis – Cilincing serta ruas jalan Tol JORR I barat.

Pembangunan konstruksi terutama pada proyek konstruksi jalan, banyak beberapa peristiwa seperti lereng yang longsor terjadi ketika musim hujan tiba. Peristiwa longsor tersebut diakibatkan dengan meningkatnya air di bagian lereng, Akibatnya, terjadi penurunan signifikan dalam kekuatan geser tanah serta sudut geser dalam. Hal ini menciptakan faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng, yang pada gilirannya dapat menghasilkan tegangan geser di seluruh massa tanah dan menyebabkan pergerakan yang tidak diinginkan, terutama jika ketahanan geser di setiap permukaan runtuh tidak terjaga. Dampak dari tegangan geser yang

beroperasi dapat menyebabkan kelongsoran tanah tanpa adanya perubahan kondisi lingkungan atau gempa bumi yang signifikan (Terzaghi, 1950).

Tinjauan pada lapangan, membutuhkan cara ataupun metode untuk memperkuat dan memperbaiki jenis tanah yang dapat menimbulkan kelongsoran tersebut dengan efektif untuk memperkuat jenis tanah yang kurang baik di lereng tersebut. Dalam hal tersebut dibutuhkan untuk memberikan perkuatan untuk meningkatkan daya dukung tanah. Dalam meningkatkan daya dukung tanah ini diperlukan analisis potensi kelongsoran lereng pada Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing. Beberapa faktor seperti faktor keamanan (*safety factor*) harus diperhatikan karena berpengaruh terhadap stabilitas lereng seperti pada Timbunan. Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing dapat dilihat pada Gambar 1.1.

1.2. Rumusan Masalah

Berikut ini adalah rumusan masalah berdasarkan latar belakang di atas.

1. Bagaimana angka aman (*safety factor*) pada timbunan tanah asli?
2. Bagaimana angka aman (*safety factor*) pada timbunan tanah asli menggunakan geotekstil?
3. Bagaimana angka aman (*safety factor*) pada timbunan tanah asli menggunakan *prefabricated drain* dan geotekstil?
4. Berapa besar penurunan tanah yang terjadi pada tanah asli dan tanah yang telah diberi perkuatan *prefabricated drain* dan geotekstil?
5. Berapa lama waktu yang dibutuhkan agar tanah mencapai derajat konsolidasi 90% pada tanah asli dan tanah yang telah diberikan perkuatan *prefabricated drain* dan geotekstil?

1.3. Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah tujuan penelitian yang diperoleh berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan diatas.

1. Mengetahui angka aman (*safety factor*) stabilitas lereng timbunan tanah asli,

2. Mengetahui angka aman (*safety factor*) stabilitas lereng timbunan tanah asli dengan menggunakan geotekstil.
3. Mengetahui angka aman (*safety factor*) stabilitas lereng timbunan tanah asli dengan menggunakan geotekstil dan *prefabricated vertical drain*.
4. Mengetahui besar penurunan tanah pada timbunan asli dan timbunan tanah asli yang diperkuat dengan geotekstil dan *prefabricated vertical drain*.
5. Mengetahui rentan waktu yang dibutuhkan pada tanah sehingga mendapat derajat konsolidasi 90%.

1.4. Manfaat Penelitian

Berikut adalah beberapa manfaat yang diharapkan penulis dalam penelitian ini.

1. Panduan dalam mendesain yang efektif serta aman dalam menggunakan perkuatan geotekstil pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing.
2. Sebagai panduan pengoperasian program PLAXIS untuk menganalisis kestabilan lereng.
3. Memberi jalan penelitian yang sejenis untuk bahan referensi dalam rekayasa geoteknik.

1.5. Batasan Penelitian

Demi berjalannya penelitian ini dengan sistematis, maka perlu membatasi permasalahan yang ada, berikut adalah batasan – batasan yang digunakan untuk penelitian ini.

1. Timbunan lereng pada Pembangunan Tol Cibitung – Cilincing sta. 6+475.
2. Data tanah yang dipakai berasal dari laporan penyelidikan tanah Tol Cibitung – Cilincing.
3. Menggunakan geosintetik jenis geotekstil *woven* produksi PT. Teknindo Geosistem, dengan kuat tarik ultimit 52 kN/m^2 .
4. Penggunaan *prefabricated drain* disesuaikan pada kondisi lapangan pola segitiga, jarak antar PVD sebesar 0,9 dan kedalaman PVD sebesar 22m.

5. Beban gempa dinamik diperhitungkan sesuai dengan PUSKIM dan *Whitter Narrow California* tahun 2014.
6. Data beban gempa mengacu pada peta zonasi gempa berdasarkan SNI 1726:2019.
7. Menggunakan Metode *Fellenius* dalam menghitung manual guna mengetahui angka aman timbunan tanah asli.
8. Analisis menggunakan bantuan program PLAXIS.

1.6. Lokasi Studi Kasus

Penulis menggunakan penelitian ini yang didapatkan pada studi kasus Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing. Berikut adalah gambar lokasi pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Denah Lokasi Pembangunan Jalan Tol Cibitung - Cilincing
(Sumber: PT CTP Tollways, 2020)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Stabilitas lereng adalah kemampuan suatu lereng untuk bertahan terhadap perubahan bentuk atau pergerakan tanah. Ini adalah faktor penting dalam rekayasa geoteknik dan lingkungan karena dapat mempengaruhi keamanan dan keberlanjutan struktur di lereng. Berikut adalah beberapa pengetahuan umum tentang stabilitas lereng.

1. Faktor yang Mempengaruhi Stabilitas Lereng sebagai berikut.

a. Tekanan air tanah

Kenaikan air tanah dapat melemahkan kekuatan lereng dengan merendahkan daya dukung tanah.

b. Hujan

Air hujan dapat merendam tanah, meningkatkan bobot atau beban dan membuat lereng lebih rentan terhadap pergerakan.

c. Gempa bumi

Guncangan dari gempa bumi dapat menyebabkan pergeseran tanah di lereng.

2. Analisis Stabilitas diantaranya :

a. metode analisis

Metode yang umum digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng dengan perhitungan manual seperti metode *fellenius*, dan

b. faktor keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan adalah perbandingan antara kekuatan lereng dan gaya – gaya yang dapat melemahkannya. Sebuah faktor keamanan yang tinggi menunjukkan stabilitas yang baik

3. Geologi dan Jenis Tanah

a. Sifat Tanah

Sifat fisik dan mekanik tanah, seperti kekuatan geser dan konsolidasi, mempengaruhi stabilitas lereng.

- b. Struktur Geologi
Struktur geologi seperti retakan atau lapisan lemah dapat mempengaruhi perilaku stabilitas lereng.
4. Pencegahan dan perbaikan
 - a. Drainase yang Baik
Sistem drainase yang efisien dapat mengurangi tekanan air tanah dan meningkatkan stabilitas lereng.
 - b. Pengurangan Beban
Mengurangi beban pada lereng dapat membantu mengurangi risiko pergerakan tanah.
5. Penyebab kegagalan
 - a. Gaya Dorong Terlampaui
Ketika gaya dorong yang bekerja pada lereng melebihi kapasitas daya dukung tanah, dapat terjadi kegagalan lereng.
 - b. Pengaruh Eksternal
Perubahan lingkungan sekitar seperti pembangunan, penggundulan tanah, atau penggalian dapat memicu kegagalan lereng.

2.2. Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

Hediyanto (2018) melakukan penelitian terhadap analisis stabilitas lereng dengan penguatan dinding kantilever dan *sheet pile* di Bantaran Sungai Code. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi faktor keamanan (SF) dari lereng eksisting, mengidentifikasi penguatan kantilever dan penguatan *sheet pile* menggunakan perangkat lunak *Geoslope/w*, serta menilai pergerakan tanah pada kedua jenis penguatan tersebut, dengan perbandingan saat terjadi gempa dan tanpa gempa menggunakan program *Sigma/w*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor keamanan (SF) lereng eksisting akibat gempa sendiri adalah 1,118, sedangkan akibat gempa adalah 0,565. Faktor keamanan (SF) lereng dengan penguatan kantilever akibat beban sendiri adalah 2,639, dan akibat gempa adalah 1,789. Sementara faktor keamanan (SF) lereng dengan penguatan *sheet pile* kantilever akibat beban sendiri adalah 2,726, dan akibat gempa adalah 1,846.

Berdasarkan perencanaan dua variasi penguatan, diperoleh bahwa faktor keamanan (SF) lebih besar dari 1,5, menunjukkan bahwa lereng tersebut stabil. Hasil pergerakan tanah terbesar pada penguatan kantilever saat tanpa gempa terdapat pada potongan A-A sebesar 0,7 m, potongan B-B sebesar 1,01 m, dan potongan C-C sebesar 0,1 m. Sementara itu, pergerakan tanah terbesar pada penguatan *sheet pile* tanpa gempa terdapat pada potongan A-A sebesar 0,44 m, potongan B-B sebesar 1,03 m, dan potongan C-C sebesar 0,088 m.

Utomo (2019) menyelidiki stabilitas lereng dengan menerapkan penguatan *soil nailing* dengan menggunakan perangkat lunak *Geoslope*, di Bantaran Sungai Code, khususnya di Padukuhan Gemawang, Desa Sinduadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi faktor keamanan lereng alami dengan menganalisis potensi kelongsoran menggunakan metode perhitungan manual *Fellenius* dan *Bishop* yang disederhanakan. Selanjutnya, penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai faktor keamanan lereng dengan menggunakan analisis kelongsoran program *Geoslope*, serta untuk mengevaluasi faktor keamanan penguatan *soil nailing* berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan metode perhitungan baji (*wedge*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius* menghasilkan nilai faktor keamanan (SF) sebesar 0,929 ($< 1,3$, tidak aman), sedangkan metode *Bishop* menghasilkan SF sebesar 1,125 ($< 1,3$, tidak aman). Analisis dengan program *Geoslope* menggunakan metode *Fellenius* menghasilkan SF sebesar 0,933 ($< 1,3$, tidak aman), dan metode *Bishop* menghasilkan SF sebesar 1,125 ($< 1,3$, tidak aman). Sementara itu, untuk perhitungan penguatan *soil nailing* menggunakan metode baji (*wedge*), pada sudut nail 10° menghasilkan SF sebesar 1,5391 ($> 1,3$, aman). Pada sudut nail 20° , SF sebesar 1,5977 ($> 1,3$, aman), dan pada sudut nail 30° , SF sebesar 1,6051 ($> 1,3$, aman). Program *Geoslope* memberikan hasil SF tanpa beban gempa sebesar 2,294 ($> 1,3$, aman) dan dengan beban gempa sebesar 1,278 ($> 1,1$, aman) pada sudut nail 10° . Pada sudut *nail* 20° , SF tanpa beban gempa sebesar 3,253 ($> 1,3$, aman) dan dengan beban gempa sebesar 1,653 ($> 1,3$, aman). Pada sudut nail 30° , SF tanpa beban gempa sebesar 3,253 ($> 1,3$, aman) dan dengan beban gempa sebesar 1,653

(> 1,3, aman). Analisis menunjukkan perbedaan nilai SF antara metode baji (*wedge*) dan program *Geoslope* disebabkan oleh penggunaan bidang gelincir longsor planar dalam metode baji (*wedge*) dan bidang gelincir longsor lingkaran dalam program *Geoslope*.

Sekarti (2018) melakukan penelitian terkait stabilitas timbunan di bagian jalan Tol Semarang – Solo di wilayah Salatiga Kartasura. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi faktor keamanan (SF) lereng timbunan dengan mengubah geometri penambahan trap, dan menganalisis potensi kelongsoran menggunakan program *Geoslope/W* dengan metode *Fellenius*, *Janbu Simplified*, dan *Morgenstern Price*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa mempertimbangkan beban gempa, metode *Fellenius*, *Janbu Simplified*, dan *Morgenstern Price* secara berturut-turut mengalami peningkatan SF sebesar 9,72%, 9,36%, dan 10,8%. Namun, jika mempertimbangkan pengaruh beban gempa, peningkatan SF berturut-turut adalah 1,86%, 1,94%, dan 2%. Perbedaan hasil yang signifikan dengan metode *Janbu Simplified* menunjukkan kekritisian metode ini dalam mengevaluasi stabilitas timbunan. Selain itu, terbukti bahwa beban gempa memiliki dampak yang signifikan terhadap stabilitas timbunan dengan rata-rata penurunan sebesar 44,4062%.

2.3. Analisis Penurunan Konsolidasi pada Timbunan

Pratama (2022) melakukan penelitian berjudul “Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Jalan Dengan *Prefabricated vertical drain* Dan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis”. Penelitian berfokus pada studi kasus Jalan Tol Semarang – Demak STA. 20 + 475. Analisis kestabilan timbunan dalam penelitian ini dikerjakan dengan menggunakan program PLAXIS V20 dengan variasi tinggi pemodelan timbunan 4 meter, 6 meter, 8 meter dan 10 meter dengan perkuatan *geotekstil* dan *prefabricated vertical drain*. Timbunan yang mengalami *collapse* pada tahapan analisis kemudian dilakukan perhitungan manual (metode *Fellenius*) untuk mendapatkan nilai angka keamanan (SF). Pada masa konstruksi, hasil analisis stabilitas timbunan menggunakan program PLAXIS V20 pada kondisi tanah asli menunjukkan angka keamanan sebesar 1,9510 untuk timbunan 4 meter, 1,4897

untuk timbunan 6 meter, 1,2363 untuk timbunan 8 meter, dan 1,00 untuk timbunan 10 meter. Setelah masa konstruksi, angka keamanan pada timbunan 4 meter menjadi 1,4041, 1,2272 untuk timbunan 6 meter, 1,0513 untuk timbunan 8 meter, dan timbunan 10 meter mengalami kegagalan. Untuk mengetahui angka keamanan pada timbunan 10 meter setelah masa konstruksi, dilakukan perhitungan menggunakan metode *Fellenius*, dan hasilnya adalah 0,9098. Di tanah asli dengan penguatan *prefabricated vertical drain* dan penggunaan geotekstil selama periode konstruksi, faktor keamanan untuk timbunan setinggi 4 meter adalah 2,2325, sedangkan untuk timbunan setinggi 6 meter adalah 2,0694, 1,4484 untuk timbunan 8 meter, dan 1,1958 untuk timbunan 10 meter. Setelah masa konstruksi, angka keamanan pada timbunan 4 meter menjadi 1,9076, 1,6162 untuk timbunan 6 meter, 1,3814 untuk timbunan 8 meter, dan 1,2080 untuk timbunan 10 meter. Untuk analisis penurunan tanah dengan perhitungan *excess pore water pressure* pada kondisi tanah asli dengan penguatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil, pada timbunan 4 meter didapatkan nilai sebesar 0,1524 meter, 0,2175 meter untuk timbunan 6 meter, 0,3014 meter untuk timbunan 8 meter, dan 0,4737 meter untuk timbunan 10 meter. Penggunaan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil pada tanah asli memiliki potensi untuk mempercepat proses konsolidasi tanah sehingga dapat mencapai derajat 90% pada setiap tinggi timbunan, yakni 4 meter, 6 meter, 8 meter, dan 10 meter. Waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dipengaruhi oleh variasi tinggi pada timbunan. Semakin tinggi variasi timbunan yang sedang dianalisis, maka waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% juga akan semakin besar.

2.4. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil

Arsy (2018) melakukan penelitian berjudul “Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode *Fellenius*.” Fokus penelitian ini adalah pada proyek jalan Tol Solo-Kertosono pada STA 4+175. Tujuan utama penelitian adalah untuk melakukan analisis kestabilan timbunan di sepanjang badan jalan, baik dengan atau tanpa penggunaan perkuatan geotekstil. Selain itu, penelitian juga bertujuan untuk memahami korelasi antara

panjang, jarak vertikal, dan sudut kemiringan geotekstil terhadap faktor keamanan. Hasil analisis tanpa perkuatan dengan metode *fellenius* secara manual menunjukkan angka keamanan sebesar 1,786. Namun, ketika menggunakan *Geoslope*, angka keamanan tanpa pengaruh gempa meningkat menjadi 1,957 dan dengan pengaruh gempa menjadi 1,030. Selanjutnya, hasil analisis menggunakan perkuatan dengan metode *Fellenius* secara manual pada variasi panjang geotekstil (10m, 13m, dan 15m) menghasilkan angka keamanan masing-masing sebesar 2,399, 2,347, dan 2,375. Pada *Geoslope* tanpa pengaruh gempa, angka keamanan meningkat menjadi 2,497, 2,855, dan 2,947, dan dengan pengaruh gempa menjadi 1,304, 1442, dan 1,448. Selanjutnya, hasil analisis menggunakan perkuatan metode *Fellenius* secara manual pada variasi jarak vertikal antar geotekstil (0,3 m, 0,4 m, dan 0,6 m) menghasilkan angka keamanan masing-masing sebesar 2,646, 2,347, dan 2,059. Pada *Geoslope* tanpa pengaruh gempa, angka keamanan meningkat menjadi 2,869, 2,855, dan 2,758 dan dengan pengaruh gempa menjadi 1,436, 1,422, dan 1,405. Terakhir, hasil analisis menggunakan perkuatan dengan metode *Fellenius* secara manual pada variasi sudut kemiringan lereng (19° , 25° , dan 29°) menghasilkan angka keamanan masing-masing sebesar 2,440, 2,347, dan 2,355. Pada *Geoslope* tanpa pengaruh gempa, angka keamanan meningkat menjadi 2,930, 2,855, dan 2,696, dan dengan pengaruh gempa menjadi 1,423, 1,422, dan 1,409.

Thantowi (2019) melakukan penelitian yang melibatkan penggunaan sheet pile baja dan geotekstil sebagai metode perkuatan. dalam penelitian tersebut, digunakan metode analisis menggunakan program PLAXIS V20 untuk mengevaluasi stabilitas timbunan dengan dan tanpa perkuatan *sheet pile* baja berangkur dan geotekstil. Tujuannya adalah untuk memahami perubahan nilai angka aman pada timbunan sebelum dan setelah penerapan kedua jenis perkuatan tersebut. program PLAXIS V20 tidak mampu menampilkan nilai angka aman dari timbunan tanah asli. Oleh karena itu, peneliti menggunakan metode perhitungan manual dengan metode *Fellenius* untuk menghitung angka aman, dan hasilnya adalah 0,3016. Nilai angka aman pada timbunan tanah asli (0,3016) lebih kecil dari 1,25, yang berarti timbunan tanah asli tersebut dinyatakan labil atau tidak aman terhadap kemungkinan keruntuhan. Pada suatu penimbunan tanah yang diperkuat

menggunakan perkuatan *Sheet pile* baja, dilakukan analisis dengan program PLAXIS V20 pada dua kondisi, yaitu pada masa konstruksi tanpa beban gempa dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,4953, dan pada masa konstruksi dengan beban gempa dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,4924. Setelah proses konstruksi, pada kondisi tanpa gempa, faktor keamanan timbunan tersebut adalah 1,2753, sedangkan dengan gempa adalah 1,2744. Untuk dianggap aman terhadap kemungkinan keruntuhan, sebuah timbunan harus memiliki faktor keamanan $> 1,25$. Selain itu, timbunan lain yang menggunakan perkuatan geotekstil juga dievaluasi dengan menggunakan program PLAXIS V20. Pada masa konstruksi tanpa beban gempa, timbunan ini memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1,6266, dan dengan beban gempa sebesar 1,6057. Setelah masa konstruksi, pada kondisi tanpa beban gempa, nilai faktor keamanannya adalah 1,5332, dan dengan beban gempa adalah 1,5151. Dengan demikian, timbunan ini dinyatakan aman terhadap keruntuhan karena memiliki nilai faktor keamanan $> 1,2$.

Budiastho (2018) melakukan penelitian yang mengkaji Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan yang diperkuat dengan Geotekstil menggunakan perangkat PLAXIS. Kasus yang diambil dari proyek Jalan Tol Solo – Kertosono di STA 118+700 – 139+760. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menilai faktor keamanan pada timbunan dan mengamati penurunan tanah dalam periode 200 hari. Penelitian ini mempertimbangkan variasi ketinggian model, yaitu 2 m, 4 m, 6 m, dan 8 m. Selain itu, penelitian juga mempertimbangkan tiga kondisi, yakni timbunan tanpa perubahan, timbunan dengan penambahan tanah, dan timbunan dengan penambahan tanah yang diperkuat dengan geotekstil. Analisis program PLAXIS menunjukkan bahwa faktor keamanan lebih besar dari nilai yang disyaratkan, yaitu 1,4. Penurunan yang didapat adalah 2 m untuk kondisi tanah asli dengan geotekstil pada saat konstruksi, 1,785 m pasca konstruksi, dan penurunan sebesar -0,038 m. Untuk penggantian tanah 0,5 m dengan geotekstil, nilainya pada saat konstruksi 1,859, pasca konstruksi 1,629, dengan penurunan -0,038 m. Penggantian tanah dengan geotekstil sepanjang 1 m menunjukkan nilai sebesar 2,065 pada saat konstruksi, 1,716 pada pasca konstruksi, dan penurunan sebesar -0,043 m. Untuk tanggul 4 m dengan penggantian tanah dan geotekstil 1 m, nilainya

pada saat konstruksi 1,645, pasca konstruksi 1,512, dengan penurunan -0,005 m. Untuk tanggul 6 m dengan penggantian tanah asli 1 m dan geotekstil nilainya 1,457 pada saat konstruksi, 1,410 pasca konstruksi, dengan penurunan 0,045 m. Terakhir, untuk tanggul sepanjang 8 m dengan penggantian tanah, geotekstil, dan beban penyeimbang 1 m, nilainya adalah 1,504 selama konstruksi, 1,501 pasca konstruksi, dengan penurunan 0,471 m.

2.5. Analisis Penurunan Konsolidasi Menggunakan *Prefabricated vertical drain*

Pratama (2022) melakukan penelitian berjudul “Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Jalan Dengan *Prefabricated vertical drain* Dan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis”. Penelitian berfokus pada studi kasus Jalan Tol Semarang – Demak STA. 20 + 475. Analisis kestabilan timbunan dalam penelitian ini dikerjakan dengan menggunakan program PLAXIS V20 dengan variasi tinggi permodelan timbunan 4 meter, 6 meter, 8 meter dan 10 meter dengan penguatan geotekstil dan *prefabricated vertical drain*. Timbunan yang mengalami *collapse* pada tahapan analisis kemudian dilakukan perhitungan manual (metode *Fellenius*) untuk mendapatkan nilai angka keamanan (SF). Pada masa konstruksi, hasil analisis stabilitas timbunan menggunakan program PLAXIS V20 pada kondisi tanah asli menunjukkan angka keamanan sebesar 1,9510 untuk timbunan 4 meter, 1,4897 untuk timbunan 6 meter, 1,2363 untuk timbunan 8 meter, dan 1,00 untuk timbunan 10 meter. Setelah masa konstruksi, angka keamanan pada timbunan 4 meter menjadi 1,4041, 1,2272 untuk timbunan 6 meter, 1,0513 untuk timbunan 8 meter, dan timbunan 10 meter mengalami kegagalan. Untuk mengetahui angka keamanan pada timbunan 10 meter setelah masa konstruksi, dilakukan perhitungan menggunakan metode *Fellenius*, dan hasilnya adalah 0,9098. Di dalam kondisi tanah asli dengan penguatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil selama masa konstruksi, faktor keamanan pada timbunan setinggi 4 meter adalah 2,2325, 2,0694 untuk timbunan 6 meter, 1,4484 untuk timbunan 8 meter, dan 1,1958 untuk timbunan 10 meter. Setelah masa konstruksi, angka keamanan pada timbunan 4 meter menjadi 1,9076, 1,6162 untuk timbunan 6 meter, 1,3814 untuk timbunan 8

meter, dan 1,2080 untuk timbunan 10 meter. Untuk analisis penurunan tanah dengan perhitungan *excess pore water pressure* pada kondisi tanah asli dengan penguatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil, pada timbunan 4 meter didapatkan nilai sebesar 0,1524 meter, 0,2175 meter untuk timbunan 6 meter, 0,3014 meter untuk timbunan 8 meter, dan 0,4737 meter untuk timbunan 10 meter. Penggunaan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil pada tanah asli memiliki potensi untuk mempercepat proses konsolidasi tanah sehingga dapat mencapai derajat 90% pada setiap tinggi timbunan, yakni 4 meter, 6 meter, 8 meter, dan 10 meter. Waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dipengaruhi oleh variasi tinggi pada timbunan. Semakin tinggi variasi timbunan yang sedang dianalisis, maka waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% juga akan semakin besar.

2.6. Pengaruh *Prefabricated vertical drain* terhadap Angka Keamanan (*Safety Factor*)

Pratama (2022) melakukan penelitian berjudul “Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Jalan Dengan *Prefabricated vertical drain* Dan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis”. Penelitian berfokus pada studi kasus Jalan Tol Semarang – Demak STA. 20 + 475. Analisis stabilitas timbunan pada penelitian ini dilakukan dengan memakai bantuan program PLAXIS V20 dengan variasi tinggi permodelan timbunan 4 meter, 6 meter, 8 meter dan 10 meter dengan perkuatan geotekstil dan *prefabricated drain*. Hasil analisis kestabilan timbunan pada tanah asli dengan penguatan *prefabricated vertical drain* memanfaatkan perangkat lunak PLAXIS selama periode konstruksi menunjukkan nilai faktor keamanan untuk lereng timbunan dengan tinggi 4 meter sebesar 1,9850, tinggi 6 meter sebesar 1,5357, tinggi 8 meter sebesar 1,2939, dan tinggi 10 meter sebesar 1,1415. Namun, setelah selesai konstruksi, kondisi tanah asli pada lereng timbunan menghasilkan nilai faktor keamanan dengan variasi tinggi 4 meter sebesar 1,4582, tinggi 6 meter sebesar 1,2752, dan tinggi 8 meter sebesar 1,1061, tetapi pada tinggi 10 meter terjadi runtuhnya struktur tanah. Selanjutnya, hasil analisis perubahan ketinggian tanah dengan menggunakan program PLAXIS pada kondisi tanah asli dengan

penambahan *prefabricated vertical drain* menunjukkan nilai penurunan dengan perhitungan excess pore water pressure pada timbunan 4 meter sebesar 0,1524 meter, timbunan 6 meter sebesar 0,2175 meter, dan timbunan 8 meter sebesar 0,3014 meter.

2.7. Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan

Perbandingan antara penelitian atau tugas akhir ini dengan beberapa penelitian sebelumnya ditampilkan dalam format tabel pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Arsy (2018)	Budiasto (2018)	Sekarti (2018)	Suryadinullah (2018)	Hamdani (2019)	Pratama (2022)	Fadhillah (2023)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Pada Proyek Jalan Tol Solo - Kertonsono	Analisis Stabilitas Timbunan di Jalan Tol Semarang – Solo ruas Salatiga Kartasura.	Analisis Stabilitas Timbunan Lereng pada jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS pada Jalan Tol Terbanggi Besar – Pematang Panggang Sta 3+650, Lampung	Analisis Stabilitas Timbunan Jalan di atas tanah lunak dengan perkuatan Sheet Pile dan Geotekstil.	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Tanah Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis (studi kasus : Proyek Jalan Tol Semarang-Demak)	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dan Penurunan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Dan <i>Prefabricated vertical drain</i>
Tujuan Penelitian	Mengetahui Hasil Analisis Stabilitas Badan Jalan Tanpa Menggunakan Geotekstil, Dengan Perkuatan, Hubungan Antara Panjang Geotekstil Terhadap Angka Aman	Mengetahui Nilai Angka Aman Serta Besar Penurunan Tanah Timbunan Yang Terjadi Pada Badan Jalan Dengan Variasi Tinggi Timbunan.	Mengetahui nilai faktor keamanan lereng timbunan dengan variasi penambahan trap berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan program Slope/W	Analisa menggunakan program PLAXIS untuk faktor angka aman timbunan dan konsolidasi yang terjadi akibat beban serta perhitungan manual kebutuhan geotekstil.	Mengetahui Faktor Keamanan Lereng Alami Berdasarkan Analisis Kelongsoran Metode Perhitungan Manual <i>Fellenius</i> Dan <i>Bishop</i> Yang Disederhanakan.	Mengetahui hubungan analisis stabilitas lereng dengan variasi tinggi timbunan tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program Plaxis.	Tujuannya Adalah Memahami Korelasi Antara Analisis Stabilitas Lereng Dengan Variasi Tinggi Timbunan Tanpa Menggunakan Perkuatan dan dengan Penerapan Geotekstil Menggunakan Perangkat Plaxis.

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Arsy (2018)	Budiasto (2018)	Sekarti (2018)	Suryadinullah (2018)	Hamdani (2019)	Pratama (2022)	Fadhillah (2023)
Metode Penelitian	Analisa Dan Pemodelmenggunakan Program <i>Geoslope</i> Dan Perhitungan Manual Dilakukan Dengan Metode <i>Fellenius</i> .	Timbunan Tanah Asli Memiliki (Sf) 1,4 Namun Penurunan Tanah Sangat Besar. Setelah Diperkuat Dengan Tanah Replacement Serta Geotekstil Penurunan Tanah Dapat Direduksi	Analisa menggunakan pengujian tanah langsung dilaboratorium dan faktor aman dengan program Slope/W.	Mengetahui angka aman dan mencari besarnya penurunan pada timbunan lereng dengan variasi tinggi timbunan .	Mengetahui nilai angka aman pada timbunan tanah yang diperkuat dengan sheet pile dan geotekstil.	Analisa menggunakan Program Plaxis untuk kestabilan angka aman timbunan dan konsolidasi yang terjadi.	Melakukan Analisis Dengan Menggunakan Program Plaxis Untuk Menentukan Angka Keamanan Terkait Stabilitas Dan Konsolidasi Dari Timbunan.
Hasil Penelitian	Hasil Analisis Stabilitas Jalan Menggunakan Perkuatan Dengan Metode <i>Fellenius</i> Secara Perhitungan Manual Diperoleh (Sf) Sebesar 1,786.	Timbunan Tanah Asli Memiliki (Sf) 1,4 Namun Penurunan Tanah Sangat Besar. Setelah Diperkuat Dengan Tanah Replacement Serta Geotekstil Penurunan Tanah Dapat Direduks	Timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan <i>Fellenius</i> terjadi peningkatan SF sebesar 9,72%.	Analisa menggunakan program PLAXIS untuk faktor angka aman timbunan dan konsolidasi yang terjadi akibat beban serta perhitungan manual kebutuhan geotekstil.	Analisis stabilitas timbunan badan jalan dengan melakukan permodelan menggunakan program PLAXIS 8.6	Timbunan Dengan Tinggi 6 M, 8 M dan 10 M Menggunakan Perkuatan Geotekstil Dan <i>Prefabricated vertical drain</i> Sudah Mempunyai Faktor Angka Aman Dari Yang Disyaratkan Sebesar 1,3.	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Tanah

Tanah adalah material padat yang terbentuk di permukaan bumi melalui proses perubahan bentuk batuan yang disebabkan oleh proses mekanis dan kimia, menjadi partikel berukuran lebih kecil. Menurut (Hardiyatmo, 2002), tanah merupakan suatu kumpulan yang terdiri dari bahan organik (tumbuhan), mineral atau anorganik (vulkanik) dan endapan longgar, yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*).

3.1.1 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan suatu metode untuk mengelompokkan berbagai jenis tanah yang berbeda, tetapi memiliki karakteristik serupa, ke dalam kelompok dan sub kelompok berdasarkan penggunaannya. Tujuan dari sistem klasifikasi tanah adalah untuk memberikan informasi mengenai karakteristik dan sifat-sifat fisik tanah, karena tanah memiliki beragam sifat dan perilaku. Biasanya, klasifikasi tanah dilakukan berdasarkan ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan dan plastisitas.

Secara umum, terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu sistem klasifikasi tanah berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS) dan sistem klasifikasi berdasarkan *American Association of State Highway and Transportation Officials Classification* (AASHTO).

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

Dalam sistem USCS (*Unified Soil Classification System*), Tanah dapat dibagi menjadi dua kategori, yakni tanah berbutir kasar (terdiri dari kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% dari partikel tanah dapat melewati saringan nomor 200, dan tanah berbutir halus (lempung atau lanau) jika lebih dari 50% partikel tanah dapat melewati saringan nomor 200. Tanah dikelompokkan ke dalam beberapa kelompok dan sub kelompok yang telah ditentukan. Informasi lebih rinci mengenai pengklasifikasian tanah berdasarkan sistem USCS dapat ditemukan

dalam Tabel 3.1 di bawah ini. Berikut merupakan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*).

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

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) adalah suatu sistem yang dikembangkan pada tahun 1929 yang digunakan untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, subbase, dan subgrade. Sistem klasifikasi AASHTO mengelompokkan tanah ke dalam 7 kelompok utama, yaitu A-1 hingga A-7. Tanah yang tergolong dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3 merupakan tanah granuler dengan persentase partikel yang lolos saringan No. 200 kurang dari 35%. Sedangkan tanah yang memiliki lebih dari 35% partikel yang lolos saringan No. 200 diklasifikasikan sebagai kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Biasanya, tanah dalam kelompok ini merupakan jenis tanah lanau dan lempung. Berikut ini adalah sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO yang ditampilkan pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi *USCS (Unified Soil Classification System)*

Prosedur Klasifikasi		Symbol	Nama Jenis	Identifikasi Lab	
Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 200 /Ø 0.075 mm)	Kerikil (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 4 /Ø 4.75 mm)	Kerikil Murni (Tanpa-sedikit butiran halus)	GW	Kerikil bergradasi baik, kerikil, bercampur sedikit pasir tanpa ada butiran halus.	CU = D60/D10 = 1-4
		Kerikil Murni (Terdapat sejumlah butiran halus)	GP	Kerikil bergradasi buruk, kerikil, bercampur pasir mengandung sedikit butiran halus.	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW
			GM	Kerikil berlanau, kerikil mengandung pasir-lanau bergradasi buruk.	Indeks Plastisitas kurang dari 7
			GC	Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	Indeks Plastisitas lebih dari 7
	Pasir (Lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 4 /Ø 4.75 mm)	Pasir bersih (Tanpa/sedikit butiran halus)	SW	Pasir bergradasi baik, pasir dengan sedikit pasir tanpa butiran halus.	CU = D60/D10 ≥ 6 CC = D30 ² /D10 = 1-3
			SP	Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus.	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC SW
		Pasir bersih (Terdapat sejumlah butiran halus)	SM	Pasir berlanau, pasir bercampur lanau bergradasi buruk.	Indeks Plastisitas lebih dari 7 Rasioindeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25
			SC	Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk.	Indeks Plastisitas lebih dari 7 Rasioindeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

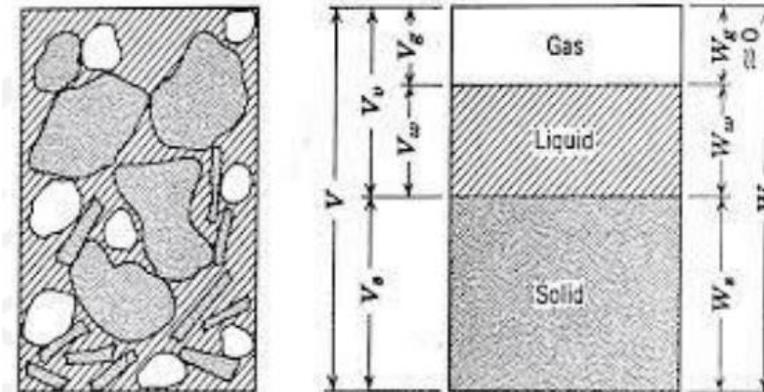
Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Berdasarkan AASHTO

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

(Sumber : Das, 1992)

3.1.2 Parameter Tanah

Hardiyatmo (2002), tanah memiliki komponen utama yakni udara, butiran tanah, dan air. Pada kondisi kering, tanah terdiri dari pori-pori udara dan butiran-butiran tanah. Sementara itu, pada kondisi jenuh, tanah terbagi menjadi bagian padat dan air pori. Pada kondisi tanah tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga komponen, yaitu butiran tanah (bagian padat), air pori, dan pori-pori udara. Bentuk hubungan antara bagian-bagian tanah dapat diilustrasikan dalam diagram fase yang terlihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah

Berdasarkan Gambar 3.1, setiap butir tanah memiliki tiga elemen, yaitu air, udara, dan padatan, dengan masing-masing memiliki berat dan volume. Dengan mengacu pada diagram fase tanah, kita dapat menyusun Persamaan 3.1 hingga Persamaan 3.3 sebagai berikut.

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

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

$$W_v = W_w + W_a \quad (3.3)$$

Keterangan :

W = berat total

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V = volume total

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

V_v = volume rongga

1. Kadar air (w)

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

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

2. Berat volume butiran padat (γ_s)

Rasio antara berat butiran padat (W_s) dan volume butiran padat (V_s) didefinisikan sebagai berat volume butiran padat, sebagaimana dijelaskan dalam persamaan 3.5

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

3. Berat volume jenuh air (γ_{sat})

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

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

4. Permeabilitas

Permeabilitas adalah karakteristik pada suatu materi berpori yang memungkinkan aliran fluida seperti air atau minyak melalui ruang-ruang pori. Karena pori-pori dalam tanah saling terhubung dan tekanan tinggi akan bergerak menuju tekanan yang lebih rendah, maka air dapat mengalir. Dalam konteks tanah, permeabilitas mencirikan kemampuan tanah untuk mengizinkan aliran air melalui rongga-rongga pori. Menurut Das (1983) dalam Buku Mekanika Tanah Edisi Keenam, estimasi nilai permeabilitas untuk berbagai jenis tanah dapat ditemukan di Tabel 3.3.

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 longsor	$10^{-4} - 10^{-2}$
4.	Lanau padat, lanau berlempung	$10^{-5} - 10^{-4}$
5.	Lempung berlanau, lempung	$10^{-8} - 10^{-5}$

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

5. Modulus *Young*

Elastisitas tanah diukur dengan modulus *young*, yang adalah perbandingan antara tegangan dan regangan. Modulus ini dapat dihasilkan melalui uji triaksial dalam kondisi undrained. M. Das (2010) merekomendasikan penggunaan korelasi antara uji N-SPT dan CPT untuk mendapatkan modulus elastisitas tanah pasir, dengan persamaan *Schermaan* (1970) sebagai referensi:

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

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

Modulus elastisitas (E_s) dapat diperoleh secara empiris dari karakteristik tanah dan hasil pengujian sondir, sebagaimana tertera dalam Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

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

(Sumber : Bowles, 1977)

6. *Poisson Ratio*

Poisson Ratio diukur sebagai perbandingan antara kompresi poros dan regangan lateral. Penentuan nilai ini dapat bergantung pada jenis tanah, sebagaimana dicontohkan dalam Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

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

(Sumber : Hardiyatmo, 2003)

7. Sudut Dilatasi

Sudut Dilatasi (*Dilatancy Angle*) dijelaskan oleh Bolton (1986) dalam konteks PLAXIS, dimana korelasi antara sudut gesekan dan sudut dilatasi direkomendasikan untuk tanah kohesif sebagai $\psi = \phi - 30$. Untuk tanah kohesif yang cenderung memiliki dilatasi yang kecil, nilai $\psi = 0$ mungkin lebih realistis dalam kasus umum. Dilatasi pada tanah pasir dipengaruhi oleh kepadatan dan sudut gesernya. Persamaan 3.9 memberikan informasi tentang besarnya sudut dilatasi.

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

Keterangan:

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

ψ = Sudut dilatasi ($^\circ$)

Namun, umumnya, dalam situasi di mana ϕ kurang dari 30° , sudut dilatasi sering dianggap nol. Penggunaan nilai negatif kecil untuk ψ hanya masuk akal pada tanah pasir yang sangat longgar.

8. Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah respons dari tanah terhadap tekanan atau tarikan yang dikenakan padanya. Kuat geser tanah merupakan kemampuan maksimum tanah untuk bertahan di bawah tekanan dan kelembaban tertentu. Dengan dasar ini, ketika tanah mengalami beban, akan dihadapi dengan hambatan oleh (Hardiyatmo, 2008):

1. Sifat kohesif tanah terkait dengan jenis dan kepadatannya, tetapi tidak dipengaruhi oleh tegangan normal pada bidang geser.
2. Hubungan antara gesekan yang terjadi di antara butir-butir tanah dan tegangan normal pada bidang geser adalah sebanding. Coulomb (1776) mendefinisikan kuat geser tanah dengan Persamaan 3.10 berikut ini.

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

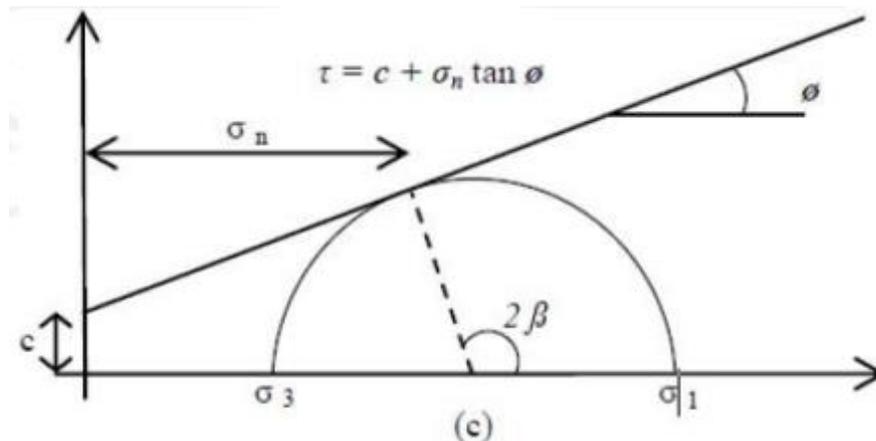
Keterangan:

τ = Kuat geser tanah (kN/m^2)

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

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



Gambar 3.2 Kriteria Kegagalan *Mohr* dan *Coulomb*

(Sumber : Das, 1995)

Kriteria kegagalan *Mohr* dan *Coulomb* direpresentasikan oleh garis lurus. Jika titik tegangan berada di titik P, maka kegagalan tidak akan terjadi. Kegagalan terjadi di titik Q karena titik tersebut berada tepat pada garis kegagalan. Titik R tidak akan tercapai karena tanah akan mengalami kegagalan sebelum mencapai titik tersebut. Terzaghi (1925) memodifikasi persamaan *Coulomb* ke dalam bentuk yang mempertimbangkan pengaruh tekanan air pori yang signifikan, sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 3.11 dan Persamaan 3.12 berikut ini.

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

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

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

Keterangan:

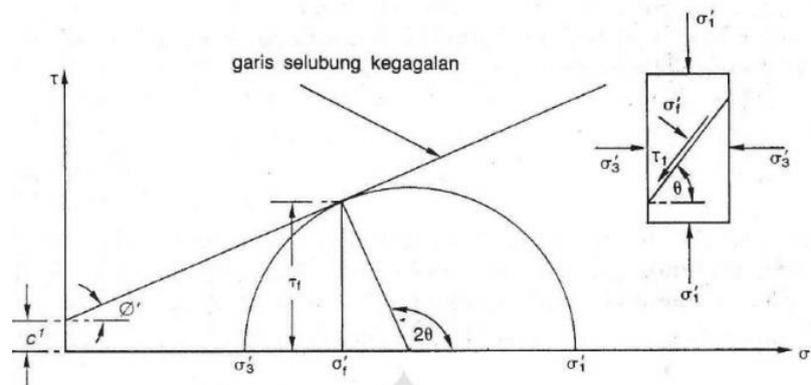
σ' = Tegangan normal efektif (kN/m^2)

c' = Kohesi tanah efektif (kN/m^2)

φ' = Sudut gesek dalam tanah efektif ($^\circ$)

u = Tekanan air pori (kN/m^2)

Kuat geser tanah dapat diungkapkan melalui tegangan efektif σ'_1 dan σ'_3 saat terjadi keruntuhan. Dalam Gambar 3.3 di bawah, lingkaran *Mohr* terbentuk sebagai setengah lingkaran dengan koordinat (τ) dan (σ').



Gambar 3.3 Lingkungan Mohr Saat Kegagalan

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Dari lingkaran *Mohr* pada Gambar 3.3 tersebut dapat dilihat bahwa:

c' = Kohesi (kN/m^2)

φ = Sudut gesek dalam efektif ($^\circ$)

σ'_1 = Tegangan utama mayor efektif (kN/m^2)

σ'_3 = Tegangan utama minor efektif (kN/m^2)

θ = Sudut keruntuhan ($^\circ$)

τ'_f = Tegangan geser efektif pada saat terjadi keruntuhan

σ'_f = Tegangan normal efektif pada saat terjadi keruntuhan

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

$$\tau'_f = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \sin 2\theta \quad (3.13)$$

$$\sigma'_f = (\sigma'_1 + \sigma'_3) / 2 + (\sigma'_1 - \sigma'_3) \cos 2\theta \quad (3.14)$$

$$\sin \varphi = \frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3) / 2}{(\sigma'_1 - \sigma'_3) / 2} \quad (3.15)$$

Beberapa cara dapat digunakan untuk menentukan kekuatan geser tanah antara lain:

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

Dalam penelitian ini, teknik yang digunakan untuk menentukan kekuatan geser tanah melibatkan pengujian langsung geser dan uji triaksial. Tujuan dari pengujian

kekuatan geser adalah untuk mendapatkan parameter seperti kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

1. Kohesi

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam tanah yang diukur dalam satuan berat per satuan luas. Parameter ini mempengaruhi kekuatan geser tanah dan kemampuannya untuk menahan deformasi akibat tegangan yang bekerja padanya, khususnya gerakan lateral tanah. Kohesi tanah akan meningkat seiring dengan peningkatan kekuatan geser. Nilai kohesi (c) dapat dihasilkan melalui pengujian langsung geser dan uji triaksial. Pengukuran tersebut juga dapat dilakukan berdasarkan nilai q_c pada uji sondir, sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Kohesi

No.	Konsentrasi Tanah	Tekanan konus q_c (kg/cm^2)	Kohesi derajat (kg/cm^2)
1.	<i>Very soft</i>	<2,56	<1,25
2.	<i>Soft</i>	2,50-5,0	1,25-2,50
3.	<i>Medium Stiff</i>	5,0-10,0	2,50-5,0
4.	<i>Stiff</i>	10,0-20,0	5,0-10,0
5.	<i>Very Stiff</i>	20,0-40,0	10,0-20,0
6.	<i>Hard</i>	>40,0	20,0

Sumber : Bowles (1996)

2. Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam, juga dikenal sebagai sudut geser, merupakan sudut yang terbentuk dari hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal dalam bahan seperti tanah atau batuan. Bersama dengan kohesi, sudut geser dalam mempengaruhi kekuatan tanah terhadap tekanan lateral. Penentuan nilai sudut geser dalam dapat dilakukan melalui pengujian kuat geser langsung dan pengujian triaksial. Selain itu, kisaran nilai sudut geser dalam juga dapat dipahami berdasarkan jenis tanah, sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

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

Sumber : Das (1994)

3.2. Lereng

Lereng adalah area permukaan bumi yang tidak rata dan membentuk sudut kemiringan terhadap bidang longsor. Terdapat dua tipe lereng, yakni yang terjadi secara alami dan yang dibuat oleh manusia. Lereng alami meliputi formasi seperti bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia mencakup struktur seperti timbunan, galian, dan pembangunan seperti gedung, jalan, dan tanggul.

3.2.1 Stabilitas Lereng

Gaya gravitasi dan infiltrasi cenderung menjadi penyebab ketidakstabilan pada lereng alami, lereng hasil penggalian, serta tanggul dan bendungan tanah. Analisis stabilitas lereng bergantung pada konsep keseimbangan plastis batas. Tujuan dari analisis stabilitas adalah menentukan tingkat keamanan dari potensi longsor. Keruntuhan yang diamati dalam analisis ini adalah gabungan dari beberapa jenis keruntuhan, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan

(Sumber : Das, 2002)

Departemen Pekerjaan Umum menunjukkan faktor keamanan yang tersedia dalam Tabel 3.8 untuk evaluasi kestabilan lereng.

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
<p>Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.</p> <p>Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.</p>		

Sumber : SNI 8560 (2017)

3.2.2 Faktor Keamanan

Longsoran pada lereng umumnya terjadi melalui bidang yang disebut bidang gelincir. Dalam penilaian stabilitas lereng, terdapat konsep faktor keamanan, yang merupakan perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak. Gaya penahan adalah gaya yang menghambat terjadinya longsoran pada tanah, sedangkan gaya penggerak adalah gaya yang menyebabkan terjadinya longsoran. Faktor keamanan (FK) adalah hasil dari perbandingan ini. Stabilitas lereng dianggap tercapai jika faktor keamanan memiliki nilai di atas 1 ($FK > 1$). Namun, diperlukan parameter-parameter empiris tambahan untuk menilai kestabilan lereng pada titik tertentu dari faktor keamanan. Bowles (1989) menggambarkan kondisi-kondisi lereng berdasarkan nilai safety factor (SF) seperti yang tertera dalam Tabel 3.9 berikut ini.

Tabel 3.9 Faktor Keamanan Lereng

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

Sumber : Bowles (1989)

Lereng yang tidak stabil adalah lereng dimana kejadian longsor sering terjadi, ditunjukkan oleh nilai faktor keamanan kurang dari 1,07. Lereng yang dianggap kritis adalah yang telah mengalami longsor, dengan faktor keamanan berkisar antara 1,07 hingga 1,25. Sedangkan, lereng yang relatif stabil adalah yang jarang mengalami longsor dan dianggap aman, dengan nilai faktor keamanan di atas 1,25.

3.2.3 Metode *Fellenius*

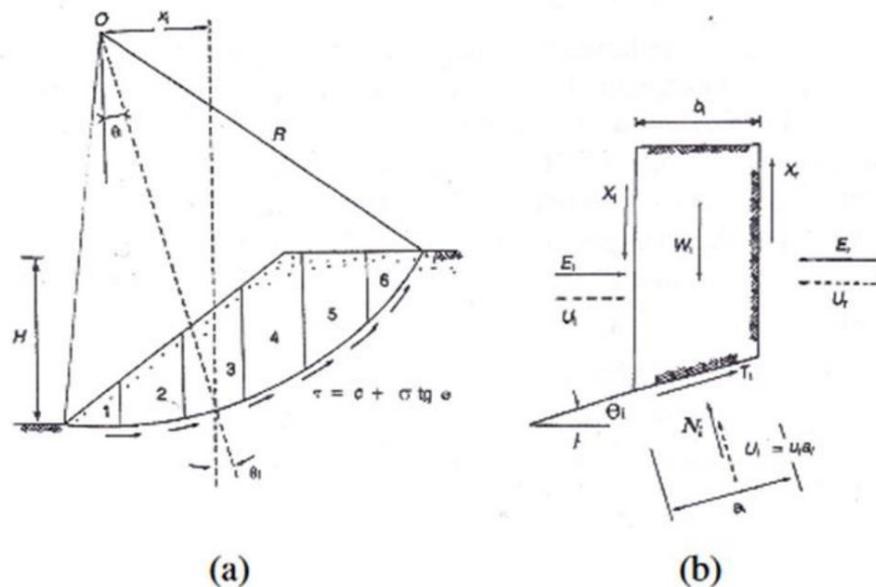
Metode *Fellenius*, atau yang juga dikenal sebagai Metode Irsian Biasa, pertama kali diperkenalkan oleh *Fellenius* (1927, 1936). Pendekatan ini menyatakan bahwa gaya memiliki sudut kemiringan sejajar dengan dasar irisan, dan faktor keamanannya dihitung dengan mempertimbangkan keseimbangan momen. Dalam analisis dengan menggunakan metode *Fellenius*, diasumsikan bahwa gaya-gaya yang beroperasi pada sisi kanan dan kiri dari irisan sembarang memiliki resultan nol dalam arah tegak lurus terhadap bidang longsor.

Fellenius menggambarkan metodenya dengan mengasumsikan bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi suatu blok tanah pada permukaan longsor yang berbentuk lingkaran (sirkuler), dengan titik O sebagai pusat rotasi. Pendekatan ini juga mempertimbangkan bahwa gaya normal P beroperasi di tengah-tengah irisan.

Dianggap bahwa total resultan gaya antar irisan pada setiap irisan adalah nol, atau dengan kata lain, resultan gaya antar irisan dianggap tidak berpengaruh. Oleh karena itu, asumsi yang diterapkan oleh metode ini adalah:

- a. Posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan: n,
- b. Resultan gaya antar irisan sama.

Gambar 3.5 memberikan gambaran mengenai gaya-gaya yang beroperasi pada irisan dengan menggunakan model metode *Fellenius*.



Gambar 3.5 Ilustrasi Gaya-Gaya Pada Setiap Irisan dengan Metode *Fellenius*

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Keterangan :

X_l, X_r = gaya geser efektif di sepanjang sisi irisan,

E_l, E_r = gaya normal efektif di sepanjang sisi irisan,

T_i = resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan,

N_i = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan,

U_l, U_r = tekanan air pori yang bekerja di kedua sisi irisan, dan

U_i = tekanan air pori di dasar irisan.

Dengan memperhitungkan asumsi-asumsi tersebut, keseimbangan gaya vertikal dapat diperiksa dengan mengevaluasi tekanan air pori sebagaimana yang tercantum dalam Persamaan 3.16 hingga 3.18.

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

Atau,

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

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

Faktor keamanan (F) diungkapkan sebagai rasio antara total momen dari tahanan geser pada permukaan longsor (ΣMR) dan total momen dari berat massa tanah yang mengalami longsor (ΣMD), sebagaimana dijelaskan dalam Persamaan 3.19.

$$F = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} \quad (3.19)$$

Panjang lengan momen dari berat massa tanah setiap irisan adalah $R \sin \theta$, seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan 3.20 berikut ini.

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

Keterangan :

R = jari-jari lingkaran bidang longsor

n = jumlah irisan

W_i = berat massa tanah irisan ke- i

N_i = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

θ_i = sudut yang didefinisikan

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

$$\Sigma M_R = \Sigma_{n=1}^{i=n} (ca_i + n_i \text{tg } \phi)(ca_i + n_i \text{tg } \phi) \quad (3.21)$$

Persamaan untuk faktor amannya menjadi seperti pada Persamaan 3.22.

$$F = \frac{\Sigma_{n=1}^{i=n} (ca_i + n_i \text{tg } \phi)}{\Sigma_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.22)$$

Jika terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak memengaruhi ΣMD , karena resultan gaya akibat tekanan air pori melalui titik pusat lingkaran. Dengan menggantikan Persamaan 3.20 ke dalam Persamaan 3.22, kita dapat mendapatkan Persamaan 3.23.

$$F = \frac{\Sigma_{n=1}^{i=n} ca_i (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \text{tg } \phi}{\Sigma_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.23)$$

Keterangan :

F = faktor aman,

c = kohesi tanah (kN/m^2),

ϕ = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$),

a_i = panjang bagian lingkaran pada irisan ke- i (m),

W_i = berat irisan tanah ke-i (kN),

u_i = tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m^2), dan

θ_i = sudut yang didefinisikan ($^\circ$).

Dalam analisis stabilitas lereng menggunakan metode *Fellenius*, Dengan menggunakan Persamaan 3.22 untuk potongan yang hanya dipengaruhi oleh berat tanah, dan Persamaan 3.24 untuk potongan yang juga memperhitungkan beban dari perkerasan dan lalu lintas di atasnya, kita dapat mengestimasi berat pada setiap potongan.

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

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

Keterangan :

W_i = berat irisan tanah (kN),

γ = berat volume tanah (kN/m^3),

A_i = luas irisan tanah (m^2),

q = beban (kN/m^2), dan

L = lebar irisan yang terkena beban (m).

Jika terdapat gaya selain dari berat sendiri lereng tanah, seperti beban dari bangunan yang berada di atasnya, maka momen yang dihasilkan oleh beban tersebut akan dianggap sebagai bagian dari ΣMD . Toleransi kesalahan dalam metode *Fellenius* dapat bervariasi antara 5 hingga 40%, bergantung pada faktor keamanan, sudut pusat lingkaran yang digunakan, dan tekanan air pori. Meskipun analisis dilakukan dalam konteks tegangan total, tingkat akurasi masih tergantung pada faktor keamanan dan sudut pusat dari lingkaran..

3.3. Perkuatan Lereng

Perkuatan lereng adalah struktur yang ditempatkan di permukaan lereng dengan tujuan untuk memperkuat stabilitas tanah tertentu. Biasanya digunakan di daerah – daerah tebing yang cenderung tidak stabil. Konstruksi *revetments* berfungsi untuk mencegah terjadinya longsor dan menjaga keamanan tanah dari risiko yang mungkin terjadi.

3.3.1 Geosintetik

Istilah ‘Geosintetik’ merupakan gabungan kata ‘geo’ yang mengacu pada tanah dan ‘sintetik’ yang berarti bahan buatan. Oleh karena itu, geosintetik adalah jenis bahan buatan atau non-alam yang digunakan dalam konteks tanah atau batuan (Suryolelono, 2000). Bahan sintesis ini termasuk berbagai macam material seperti polimer hasil industri minyak bumi, serat sintetis, kain, baja, dan sebagainya. Dalam pengembangan lebih lanjut, geosintetik adalah bahan sintetis yang terdiri dari serat – serat sintetis yang dianyam atau yang memiliki bentuk lain dan digunakan dalam proyek – proyek pekerjaan tanah.

3.3.2 Geotekstil

Geotekstil merupakan salah satu jenis geosintetik yang memiliki sifat permeabel dan terbuat dari bahan tekstil (polimer) yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja tanah. Geotekstil memiliki bentuk yang menyerupai karpet atau kain. Dalam proses produksinya, elemen – elemen tekstil seperti serat – serat atau berkas benang (*yarn*) digabungkan untuk membentuk lembaran tekstil. Elemen tersebut bisa berupa filamen (serat panjang tipis dan kontinu) atau serat – serat (*staple fiber*) yang berbentuk filamen pendek dengan panjang berkisar antara 20mm hingga 150mm. Geotekstil dibagi berdasarkan cara penggabungan filamen atau pita menjadi lembaran :

1. Geotekstil Tak – Teranyam (*Non Woven*)

Geotekstil tak – teranyam (*non woven*) merupakan salah satu variasi geotekstil yang terbuat dari bahan polypropylene dan polyester. Geotekstil *non – woven* memiliki struktur yang tidak teranyam seperti kain atau karpet, dan dirancang khusus untuk memberikan kinerja yang optimal per satuan beratnya. Kualitas ketahanan mekanik dan hidrolis yang sangat baik membuat geotekstil *non – woven* menjadi pilihan yang ideal untuk digunakan sebagai lapisan pemisah dan penyaring, karena memiliki tingkat kekuatan jebol yang tinggi sehingga dapat memastikan material tidak mengalami kerusakan selama proses aplikasinya.



Gambar 3.6 Geotekstil *Non-Woven*
(Sumber : Isparmo, 2010)

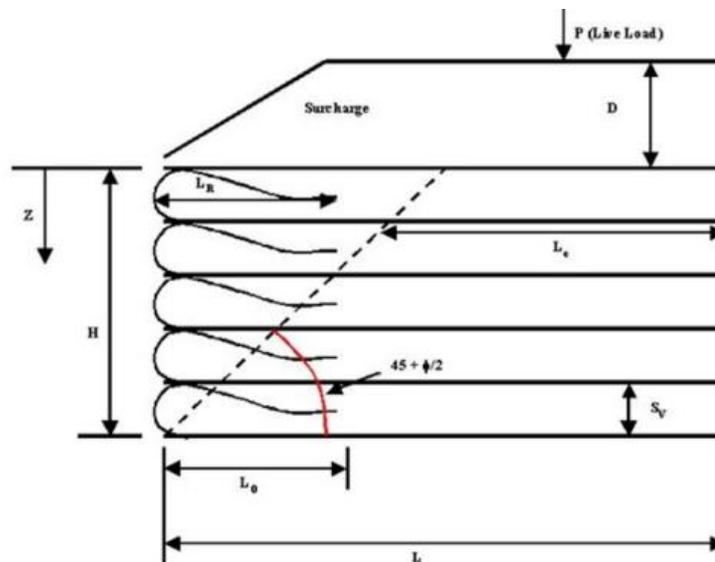
2. Geotekstil Teranyam (*Woven*)

Geotekstil teranyam (*woven*) merupakan salah satu varian geotekstil yang diproduksi dengan menerapkan teknik serupa dengan proses pembuatan tekstil biasa. Geotekstil jenis ini memiliki struktur berupa anyaman, seringkali dalam dua arah, yaitu vertikal dan horizontal, dan dibuat dari serat atau benang polimer, yang biasanya terbuat dari polypropylene atau polyester. Geotekstil *woven* memberikan keunggulan ekonomis yang signifikan untuk mencapai tingkat keamanan struktural yang diinginkan. Geotekstil *woven* memiliki sifat yang dapat memungkinkan aliran air dan memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan geotekstil jenis *non – woven*.



Gambar 3.7 Geotekstil *Woven*
(Sumber : Isparmo, 2010)

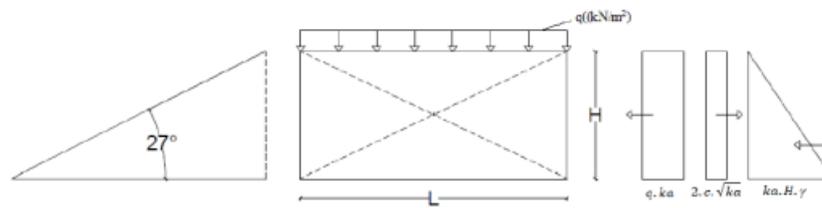
Memperkuat timbunan dengan menggunakan geotekstil dapat menghasilkan penghematan yang signifikan dibandingkan dengan menggunakan metode konvensional seperti pembangunan berbentuk berm. Jenis geotekstil yang digunakan untuk perkuatan timbunan bisa berupa geotekstil *woven* atau *non-woven*. Fungsi geotekstil yang dipasang dapat berperan sebagai penguat (tulangan), pemisah, atau sistem drainase. Dalam konteks ini, perancangan biasanya didasarkan pada analisis stabilitas lereng. Perkuatan geotekstil dapat dipasang dalam satu lapisan atau lebih, tergantung pada besarnya gaya geser yang perlu diatasi, seperti yang ditunjukkan pada *Gambar 3.8* berikut.



Gambar 3.8 Pemasangan Geotekstil Pada Timbunan
(Sumber : Christopher dkk, 1985)

3.3.3 Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Geotekstil

Analisis stabilitas dengan menggunakan perkuatan geotekstil melibatkan dua aspek, yaitu analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Stabilitas eksternal mencakup evaluasi terhadap potensi geseran, kemungkinan terjadinya guling, eksentrisitas, dan kapasitas dukungan tanah. Sementara itu, stabilitas internal melibatkan penilaian terhadap potensi terputusnya tulangan dan penarikan tulangan. Stabilitas internal merujuk pada kemampuan untuk menanggapi gaya-gaya internal yang memperhitungkan panjang tumpang tindih (overlap) dan panjang efektif geotekstil. Ilustrasi distribusi tekanan lateral pada lereng tersedia dalam *Gambar 3.9*.



Gambar 3.9 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral

(Sumber : Purwanto, 2012)

Untuk menghitung jarak vertikal antara lapisan geotekstil (S_v), dapat menggunakan Persamaan 3.26 hingga Persamaan 3.28 seperti yang dijelaskan berikut.

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

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

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

Keterangan :

K_a = Koefisien tanah aktif.

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

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

SF = Faktor aman.

S_v = Jarak tulangan arah vertikal (m).

γ = Berat volume tanah (kN/m^3).

c = Kohesi (kN/m^2).

T_a = Kuat tarik geotekstil *allowable*.

1. Stabilitas Eksternal

a. Stabilitas Terhadap Geser

Faktor aman terhadap geser dinyatakan pada Persamaan 3.29.

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

Keterangan :

SF = Faktor aman.

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

L = Panjang geotekstil (m).

H = Tinggi lapisan tanah (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m^3).

Ka = Koefisien tanah aktif.

c = Kohesi (kN/m^2).

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

b. Stabilitas Terhadap Guling

Faktor keamanan terhadap risiko guling dapat dinyatakan dengan menggunakan Persamaan 3.30 seperti berikut ini.

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

Keterangan :

SF = Faktor aman.

L = Panjang geotekstil (m).

H = Tinggi lapisan tanah (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m^3).

c = Kohesi (kN/m^2).

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

c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Nilai $\frac{1}{6}L$ harus lebih besar dari eksentrisitas yang dijelaskan dalam Persamaan 3.31 dan 3.32 berikut.

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

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

Keterangan :

e = Nilai eksentrisitas tanah (m).

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

Ka = Koefisien tanah aktif.

H = Tinggi lapisan tanah (m).

L = Panjang geotekstil (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m^3).

d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Faktor keamanan terhadap daya dukung tanah dijelaskan melalui Persamaan 3.33 hingga Persamaan 3.35 sebagai berikut.

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

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

$$\sigma_{ult} = c \cdot Nc + q \cdot Nq + 0,5 \cdot L \cdot \gamma b \cdot N\gamma \quad (3.35)$$

2. Stabilitas Internal

a. Panjang Geotekstil *Overlapping*

Panjang tumpang tindih (*overlap*) geotekstil dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.36 berikut.

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

Keterangan :

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

σ_{hc} = Tegangan ultimit (kN/m^2)

S_v = Jarak tulangan arah vertikal (m).

Z_i = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m^3)

SF = Faktor aman.

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

b. Panjang Efektif Geotekstil

Panjang tulangan yang berada di belakang bidang longsor (*Lef*) pada ujung geotekstil dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.37 seperti berikut.

$$Lef = \frac{SF \times S_v \times K_a \times \gamma b \times Z_i}{2 \times \gamma b \times Z_i \times \tan \varphi} \quad (3.37)$$

Keterangan :

Lef = Panjang efektif geotekstil (m).

K_a = Koefisien tanah aktif.

S_v = Jarak tulangan arah vertikal (m).

Z_i = Kedalaman tulangan yang ditebuk masuk ketanah (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m^3).

SF = Faktor aman.

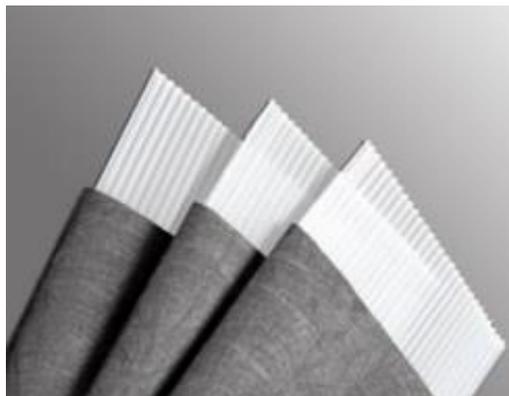
φ = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil ($^\circ$).

3.3.4 Prefabricated Drain

Prefabricated drain adalah lembaran plastik panjang yang memiliki kantung – kantung, yang menggabungkan bahan inti berkekuatan mekanik tinggi dari polypropylene dengan lapisan pembungkus dari geotekstil. Tujuan dari Drainase prefabrikasi adalah untuk meningkatkan proses konsolidasi tanah dengan cepat, terutama pada jenis tanah seperti lempung atau lanau. Berdasarkan teknik yang digunakan, *Prefabricated drain* dibagi menjadi sebagai berikut.

1. *Prefabricated vertical drain (PVD)*

Prefabricated vertical drain (PVD) merupakan jenis geotekstil yang berfungsi sebagai elemen drainase penyaring yang ditempatkan secara vertikal. Penerapan *PVD* bertujuan untuk mempercepat proses konsolidasi dengan mengurangi kandungan air dalam tanah serta meningkatkan daya dukung tanah, sehingga dapat mencegah terjadinya kelongsoran pada tanah yang lembek.



Gambar 3.10 *Prefabricated vertical drain (PVD)*

(Sumber : PT. Teknindo Geosistem, 2018)

Penggunaan *PVD* memiliki dampak signifikan pada percepatan proses konsolidasi. Terdapat dua faktor yang mempengaruhi kecepatan proses konsolidasi diantaranya :

1. jarak Antar *PVD*

Jarak antara *PVD* berdampak pada panjang aliran horizontal saluran drainase air pori. Semakin besar jarak antara *PVD*, semakin panjang jalur yang harus ditempuh oleh air untuk mencapai *PVD* dan mengalir keluar, yang pada akhirnya memperlambat proses konsolidasi. Jarak minimum yang diizinkan adalah 1 meter karena jarak yang lebih pendek dapat mengurangi kemampuan tanah untuk menahan gaya geser.

2. panjang *PVD*

Dalam proses konsolidasi, peran *PVD* terbatas pada area yang sejajar dengan elemen drainase vertikal tersebut.

3. transformasi Tampang *PVD*

Hasbon (1960) mengemukakan bahwa dalam perhitungan *PVD*, penampang *PVD* dianggap berbentuk lingkaran dengan diameter ekivalen yang dihitung sebagai kelilingnya dibagi oleh π . Asumsi ini didasarkan pada Persamaan 3.38 dan Persamaan 3.39 berikut.

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

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

Keterangan :

d_w = Diameter *PVD*.

p = Panjang *PVD*.

l = Lebar *PVD*.

4. *smear Zone*

Efek *smear* adalah penurunan nilai koefisien permeabilitas tanah pada arah radial (k_r) sebagai akibat dari proses peremasan selama pemasangan *PVD*, terutama jika menggunakan paksi. Gangguan ini bervariasi tergantung pada ukuran dan bentuk mandrel, struktur makro tanah, serta metode pemasangan.

Jamiolkoski dkk. (1983) yang dikutip dalam Hansbo (1987) merekomendasikan untuk mengestimasi diameter zona *smear* sekitar 2-3 kali diameter mandrel dalam perencanaan. Diameter ekivalen (D_e) dari daerah pengaruh

pemasangan *PVD*, yang merupakan jangkauan kerja *PVD*, tergantung pada pola dan jarak antar *PVD* yang digunakan dalam pemasangannya. Umumnya, *PVD* dipasang dengan pola tertentu, baik berbentuk bujur sangkar atau segitiga seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11. Terdapat persamaan yang digunakan untuk menghitung daerah pengaruh pemasangan *PVD*, yaitu Persamaan 3.40 dan Persamaan 3.41 berikut.

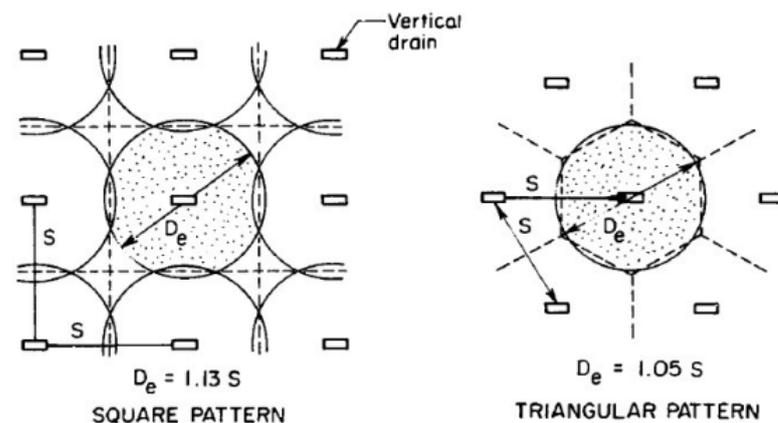
$$D_e = 1,13 S \text{ (untuk pola bujur sangkar)} \quad (3.40)$$

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

Keterangan :

D_e = Diameter ekuivalen (setelah penampang diubah menjadi bentuk lingkaran).

S = *Spacing* atau jarak antar *PVD*.



Gambar 3.11 Pola *PVD* (Kiri Pola Bujur Sangkar & Kanan Pola Segitiga)

(Sumber : Geotextiles and Geomembranes dalam Barimbing, 2017)

2. *Prefabricated Horizontal Drain (PHD)*

Prefabricated Horizontal Drain (PHD), mirip dengan *PVD* adalah jenis geotekstil yang berperan sebagai elemen penyaringan drainase. *PHD* dipasang dalam orientasi horizontal dengan maksud mengalirkan air secara horizontal yang berasal dari sistem drainase vertikal. Air diangkat melalui sistem *PVD* secara vertikal, kemudian dialirkan keluar menuju saluran drainase yang telah disiapkan oleh jaringan *PHD*.



Gambar 3.12 Prefabricated Horizontal Drain (PHD)

(Sumber : PT. Teknindo Geosistem, 2018)

3.4. Penurunan Tanah (*Settlement*) dan Konsolidasi

Penurunan tanah adalah masalah umum yang sering terjadi pada tanah yang lunak. Ini terjadi ketika suatu area tanah menerima beban tambahan. Saat beban diterapkan ke permukaan tanah, lapisan tanah di bawahnya mengalami peningkatan tekanan, pemadatan, dan perubahan dimensi, yang akhirnya menyebabkan penurunan tanah atau disebut sebagai penyesuaian permukaan (*settlement*).

Pada dasarnya, konsolidasi adalah proses di mana volume atau ruang pori dalam tanah yang jenuh dengan permeabilitas rendah mengalami perubahan atau penyusutan volume sebagai respons terhadap beban yang diterapkan. Selama proses konsolidasi, terjadi aliran air pori yang keluar dari rongga tanah, dan perubahan tekanan air pori seiring dengan waktu. Untuk memantau perubahan tekanan air pori selama proses ini, piezometer sering digunakan. Besarnya penurunan tanah yang terjadi dapat diukur dengan mengacu pada lokasi tertentu.

3.4.1 Penurunan Konsolidasi Primer (*Primary Consolidation Settlement*)

Selama proses konsolidasi terjadi perubahan volume tanah yang disebabkan oleh pengeluaran air pori dari tanah, yang menghasilkan konsolidasi primer. Ini menyebabkan pelepasan air pori, yang pada gilirannya mengakibatkan peningkatan tegangan air pori yang berlanjut dan pergeseran ke tegangan efektif.

Terdapat tiga jenis tahap dalam konsolidasi primer, yaitu :

1. *Normally Consolidated*, terjadi saat tegangan efektif overburden yang ada saat ini merupakan maksimum yang dialami oleh tanah pada saat ini. Tanah yang mengalami konsolidasi normal dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.42 berikut ini.

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

2. *Over Consolidated*, terjadi ketika tegangan efektif *overbuden* saat ini lebih rendah tegangan yang pernah dialami oleh tanah sebelumnya. Berikut pada Persamaan 3.43 dan Persamaan 3.44 yang digunakan untuk kondisi *over consolidated* :

Jika $P_o + \Delta p \leq P_{c'}$, maka dapat menggunakan persamaan :

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

Jika If $P_o + \Delta p \geq P_{c'}$, maka dapat menggunakan persamaan :

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

Keterangan :

S_c = Penurunan konsolidasi primer

C_c = Indeks pemampatan

C_s = Indeks pemuai/ mengembang

H = Tebal lapisan tanah

e_0 = Angka pori

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

$P_{c'}$ = Tekanan prakonsolidasi

Δp = Distribusi tekanan

3. *Under Consolidated*, terjadi saat tegangan efektif overburden belum mencapai tingkat maksimumnya, sehingga proses konsolidasi masih berlangsung ketika sampel tanah diambil.

3.4.2 Parameter Perhitungan Penurunan

Ketika menghitung besarnya penurunan dalam sebuah lapisan tanah, beberapa parameter perlu diperhitungkan. Berikut adalah parameter yang digunakan dalam perhitungan penurunan konsolidasi primer adalah :

1. Tegangan Efektif *Overbuden* (Po')

Winner (2017) menjelaskan bahwa “Tegangan efektif *overbuden* adalah tegangan efektif vertikal yang dihasilkan oleh beban atau lapisan tanah di atas titik yang sedang dianalisis.” Tegangan efektif *overbuden* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.45 berikut.

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

Keterangan :

Po' = Tekanan *overbuden* efektif.

γ' = Berat volume tanah efektif.

H = Tebal lapisan tanah (m).

2. Distribusi Tegangan Tanah (ΔP)

Distribusi tegangan tanah merujuk pada penambahan tegangan yang disebabkan oleh beban timbunan yang ditempatkan di atas tanah (Winner, 2017). Perhitungan distribusi tegangan tanah dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.46 berikut.

$$\Delta P = 2 x qo x I \quad (3.46)$$

$$qo = \gamma_{Timbunan} x H$$

Keterangan :

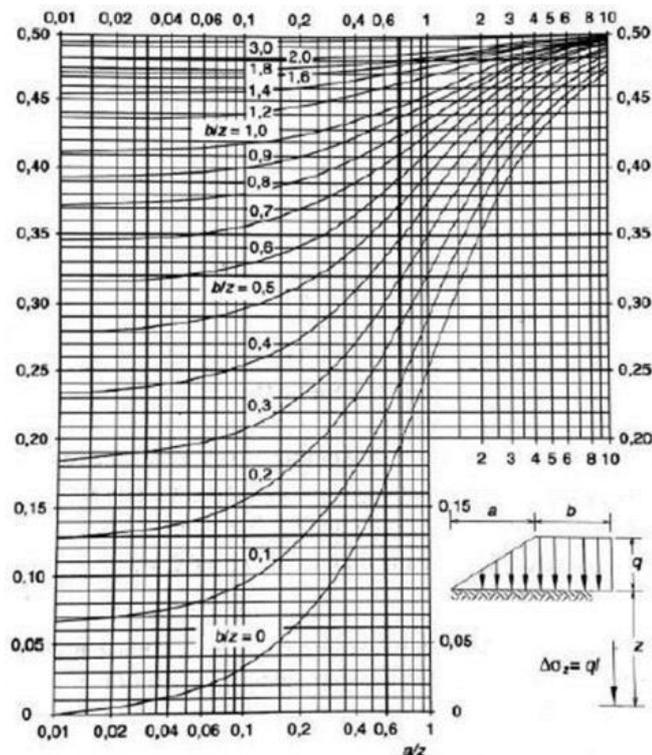
ΔP = Tekanan *overbuden* efektif.

qo = Berat volume tanah efektif.

$\gamma_{Timbunan}$ = Berat volume tanah timbunan (m).

H = Tebal lapisan tanah (m).

I = Faktor pengaruh, perhitungan dilakukan dengan melihat Gambar 3.13 berikut.



Gambar 3.13 Faktor Pengaruh Akibat Beban Timbunan

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

3. Koefisien Konsolidasi

Koefisien konsolidasi adalah parameter penting dalam rekayasa geoteknik yang menggambarkan kecepatan dan besarnya perubahan volume tanah yang disebabkan oleh pembebanan.

A. Koefisien Arah Vertikal (C_v)

Secara umum, proses konsolidasi terjadi dalam satu arah, yaitu arah vertikal. Untuk menentukan tingkat laju aliran air dalam tanah ke arah vertikal, digunakan koefisien konsolidasi arah vertikal (C_v). Perhitungan nilai koefisien konsolidasi arah vertikal (C_v) dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.47 berikut.

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

Keterangan :

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

T_v = Faktor waktu, tergantung pada derajat konsolidasi akibat pengaliran arah vertikal (detik).

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

t = Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi (detik).

B. Koefisien Arah Horizontal (C_H)

Koefisien konsolidasi horizontal dalam tanah jenis lempung homogen dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.48 berikut.

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

Keterangan :

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

C. Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal Gabungan

Pada tanah dengan variasi ketebalan lapisan yang berbeda, nilai gabungan C_V dapat dihitung dengan Persamaan 3.49 berikut.

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

Keterangan :

H_1 = Tebal lapisan ke-1.

H_n = Tebal lapisan ke-n (cm).

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

4. Indeks Pemampatan Pemampatan (C_c)

Terzaghi dan Peck (1967) merekomendasikan penggunaan rumus yang tercantum dalam Persamaan 3.50 dan Persamaan 3.51 berikut ini untuk tanah lempung yang dalam kondisi alami dan yang telah diubah (*remolded*).

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

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

Keterangan :

C_c = Indeks pemampatan

LL = Batas cair (%)

5. Indeks Pemuaian (C_s)

Indeks pemuaian dapat diukur dalam lingkungan laboratorium dengan menggunakan Persamaan 3.52 berikut.

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

Keterangan :

C_s = Indeks pemuaian.

C_c = Indeks pemampatan.

6. Faktor Waktu

A. Faktor Waktu Konsolidasi Arah Vertikal (T_V)

Pada tanah yang tidak mengalami konsolidasi dengan bantuan *PVD*, aliran air hanya terjadi dalam arah vertikal. Faktor waktu konsolidasi di lapangan dapat diestimasi dengan menggunakan Persamaan 3.53 berikut.

$$T_V = \frac{C_V \cdot t}{H^2} \quad (3.53)$$

Keterangan :

T_V = Faktor waktu, tergantung dengan derajat konsolidasi (U).

H = Panjang maksimum lintasan drainase (cm).

C_V = Koefisien konsolidasi (cm^2/s).

t = Waktu konsolidasi (detik).

B. Faktor Waktu Konsolidasi Arah Horizontal (T_H)

Perhitungan faktor waktu konsolidasi dalam arah horizontal dapat dilakukan dengan Persamaan 3.54 berikut.

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

Keterangan :

T_h = Faktor waktu arah radial, tergantung dengan derajat konsolidasi.

C_h = Koefisien konsolidasi arah horizontal

D_e = Diameter jangkauan *PVD*

t = Waktu ke- n

7. Kecepatan Waktu Konsolidasi (t)

Salah satu parameter dalam memperkirakan penurunan konsolidasi adalah tingkat kecepatan penurunan. Tingkat kecepatan penurunan ini ditentukan oleh jarak yang ditempuh oleh air pori untuk disipasi. Terzaghi (1943) menjelaskan bahwa kecepatan waktu konsolidasi dapat dihitung dengan Persamaan 3.55 berikut.

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

Keterangan :

t = Waktu konsolidasi (tahun).

H_{dr} = Jarak air pori (m).

T_v = Faktor waktu.

C_v = Koefisien konsolidasi (m²/tahun).

Penggunaan *PVD* untuk stabilisasi tanah lunak mempercepat waktu penurunan. Waktu konsolidasi dengan penggunaan drainase vertikal dapat diestimasi menggunakan Persamaan 3.56 seperti berikut.

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

Keterangan :

T_h = Faktor waktu untuk drainase arah radial.

D = Diameter zona pengaruh satu drain.

C_h = Koefisien konsolidasi dengan drainase arah radial.

T_c = Waktu konsolidasi dengan *PVD*.

8. Derajat Konsolidasi

A. Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (U_v)

Persamaan matematika Terzaghi untuk konsolidasi satu dimensi (1-D) dipakai untuk menghitung tingkat konsolidasi dalam arah vertikal (U_v) dan bisa diaproksimasi menggunakan Persamaan 3.57 seperti berikut.

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot T_v}{\pi}}}{(1 + (\frac{4 \cdot T_v}{\pi})^{2/8})^{0.179}} \quad (3.57)$$

Keterangan :

U_v = Derajat konsolidasi arah vertikal.

m = Bilangan bulat.

T_v = Faktor waktu.

B. Derajat Konsolidasi Arah Horizontal (U_H)

Untuk mengukur tingkat konsolidasi dalam arah horizontal (U_H), digunakan Persamaan 3.58 berikut.

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

Keterangan :

U_H = Derajat konsolidasi arah radial.

T_H = Faktor waktu radial.

$F(n)$ = Faktor hambatan

Faktor hambatan yang terpengaruh oleh jarak dalam *PVD* dapat diperkirakan menggunakan Persamaan 3.59 berikut.

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

De = Diameter jangkauan *PVD*

Dw = Diameter ekivalen *PVD*

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

a = Lebar *PVD*

b = Ketebalan *PVD*

9. Derajat Konsolidasi Rata-Rata (U)

Derajat konsolidasi rata-rata mengacu pada perbandingan antara waktu penurunan tanah dengan total penurunan. Carillo (1942) menjelaskan bahwa derajat konsolidasi dalam tanah yang telah di-stabilisasi menggunakan *PVD* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.60 berikut ini.

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

Keterangan :

U = Derajat konsolidasi rata-rata.

U_V = Derajat konsolidasi arah vertikal.

U_r = Derajat konsolidasi arah horizontal.

3.5. PLAXIS

PLAXIS adalah sebuah perangkat lunak analisis geoteknik yang dikembangkan oleh Bentley Systems. Program tersebut dipilih karena kemampuannya dalam menganalisis stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga dan dapat melakukan analisis yang mendekati perilaku aktual.

PLAXIS menawarkan berbagai jenis analisis termasuk perpindahan, tegangan pada tanah, faktor keamanan lereng, dan sebagainya.

Cara kerja program PLAXIS adalah dengan mensimulasikan kondisi lapangan ke dalam perangkat lunak PLAXIS. Tujuannya adalah untuk menggambarkan tahapan pelaksanaan lapangan dalam tahap pekerjaan di dalam program. Dengan demikian, diharapkan bahwa pelaksanaan di lapangan dapat mencerminkan kondisi yang sangat mendekati apa yang diperoleh melalui program.

Dalam proses analisis menggunakan program PLAXIS, terdapat serangkaian langkah yang perlu diikuti, seperti berikut ini :

1. *Input Data*

Pada tahap penginputan data, dilakukan pemodelan yang mencakup informasi mengenai geometri dinding penahanan tanah dan lereng yang akan dianalisis, beban-beban yang diterapkan, sifat material tanah, pembentukan jaringan elemen (*meshing*), dan kondisi awal (*initial condition*). Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk membuat model yang mencerminkan kondisi lapangan yang sesungguhnya.

2. *Calculation*

Setelah pemodelan pada tahap *input data*, langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan. Pada tahap ini, analisis dilakukan sesuai dengan kebutuhan terhadap model yang telah didefinisikan dalam *input data*. Program PLAXIS menawarkan berbagai jenis perhitungan seperti konsolidasi, analisis plastis, reduksi ϕ/c , dan analisis dinamis.

3. *Output*

Setelah analisis selesai, hasil perhitungan dari tahap perhitungan dapat dilihat dalam tahap output. Hasil analisis ini dapat disajikan dalam berbagai bentuk, seperti gambar, nilai numerik, dan kurva. *Output* yang dihasilkan akan ditinjau dalam penelitian ini, seperti faktor keamanan (*safety factor*), perpindahan total (*total displacement*), potensi kelongsoran, dan tegangan total.

4. *Curva*

Selain hasil *output* yang mencatat data numerik, hasil analisis juga bisa disajikan dalam bentuk kurva. Kurva ini mencerminkan hasil dari semua tahapan perhitungan dan memungkinkan perbandingan antara parameter yang relevan dalam

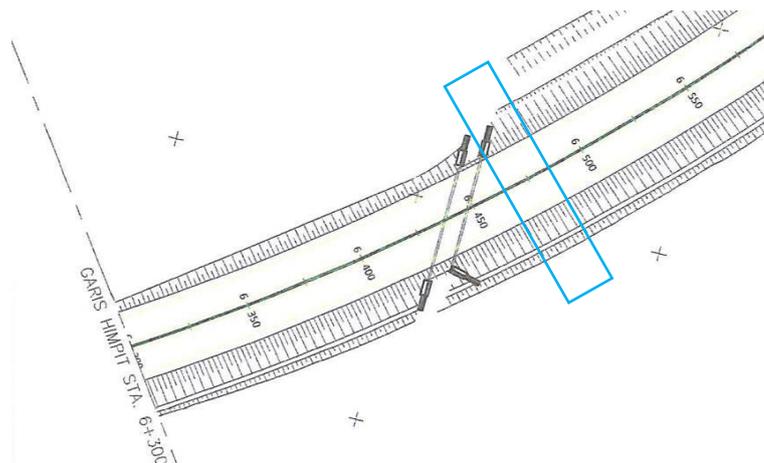
perhitungan tersebut. Dalam penelitian ini, kurva digunakan untuk membandingkan faktor keamanan dan perpindahan vertikal.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah proses atau langkah – langkah yang dilakukan peneliti guna mengumpulkan data atau informasi dan menyelidiki data yang telah diperoleh. Dalam suatu penelitian, metode adalah bagian yang cukup penting, karena metode penelitian memberikan gambaran mengenai rancangan penelitian meliputi prosedur, waktu penelitian, sumber data dan dengan langkah apa data tersebut diperoleh hingga diolah dan dianalisis. Penelitian ini dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA. 6+475. Studi tersebut mencakup evaluasi stabilitas lereng menggunakan PLAXIS, baik dengan kondisi tanah asli maupun tanah yang telah digantikan. *Output* yang diperoleh adalah nilai faktor keamanan (*safety factor*). Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan variasi ketinggian timbunan, untuk menentukan ketinggian timbunan yang berpotensi mengalami longsor dan akan diperkuat dengan geotekstil. Berikut adalah Plan Jalan Tol Cibitung – Cilincing Seksi 2 STA. 6+475 dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Plan Jalan Tol Cibitung – Cilincing Seksi 2 STA. 6+475

(sumber : PT Cibitung Tanjung Priok Port Tollways (CTP))

4.2. Data Penelitian

Data penelitian ini merupakan data sekunder Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA. 6+475. Data sekunder yang diperlukan meliputi :

1. data tanah, yang meliputi data uji lapangan dan data uji tanah laboratorium. Data uji lapangan merupakan data hasil uji SPT (Uji Standar Penetrasi) yang berbentuk grafik dan tabel. Data tanah uji laboratorium merupakan data hasil pengujian laboratorium yang meliputi :
 - a. Berat volume tanah (γ),
 - b. Sudut geser dalam (ϕ), dan
 - c. Kohesi (c).
2. data lapisan tanah.
3. data gempa, dan
4. data lereng.

4.3. Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini, proses penelitian terbagi menjadi beberapa tahap, yang antara lain sebagai berikut.

1. Tahap pengumpulan data, mencakup pengambilan data tanah serta data mengenai kemiringan lereng (melalui pengujian lapangan dan laboratorium) yang diperlukan untuk analisis dalam Tugas Akhir.
2. Tahap pengolahan dan analisis data perangkat lunak, pada tahap ini data yang telah diperoleh kemudian diolah untuk menganalisis timbunan badan jalan dan diinputkan ke dalam perangkat lunak PLAXIS dengan variasi pemodelan yaitu kondisi tanah asli timbunan, tanah asli timbunan dengan geotekstil bantuan. Kemudian dilakukan analisis manual sebagai perbandingan dan koreksi pengolahan data menggunakan perangkat lunak.
3. Tahap pembahasan dan kesimpulan, tahapan ini akan dituangkan dalam bentuk laporan yang berisikan hasil – hasil yang telah diperoleh kemudian akan dihasilkan solusi dari permasalahan yang muncul dan diambil kesimpulan berdasarkan teori yang ada.

4.4. Analisis Data

Metode analisis data digunakan untuk mempermudah pemahaman data yang telah dikumpulkan dengan menyederhanakan prosesnya. Data yang diperoleh kemudian dianalisis sesuai dengan tahapan yang ditetapkan. Berikut adalah data yang diperoleh.

4.4.1 Parameter Tanah

Parameter tanah merupakan komponen penting dalam analisis stabilitas lereng, dan data parameter tanah diperoleh dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA. 6+475. Informasi lengkap mengenai parameter tanah yang digunakan dapat ditemukan dalam Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Data Parameter Tanah

Jenis tanah	γ_{unsat}	γ_{sat}	K	E	v	c	ϕ
	kN/m ³	kN/m ³	m/hari	kPa		kPa	
Timbunan	15	17	8,64 E-03	2000	0,3	5	26
Lanau	16	18	8,64 E-03	3300	0,3	3	17
Lanau	18	20	8,64 E-03	6600	0,3	6	27
Lanau	17	19	8,64 E-03	4400	0,3	5	20
Pasir	16	18	8,64	78500	0,4	1	36

(Sumber: PT. Cibitung Tanjung Priok Port Tollways)

4.4.2 Geotekstil

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

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

Keterangan :

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

$\Delta l/l$ = Regangan pada geotekstil

Geotekstil yang digunakan berasal dari perusahaan PT. Geo Permata Abadi. Jenis geotekstil yang dipakai adalah yang teranyam atau *woven*. Informasi lebih rinci tentang data geotekstil dapat diakses dalam Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Data Parameter *Woven* GT-250

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

(Sumber : PT. Geo Permata Abadi)

4.4.3 Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA. 6+475 memiliki beban perkerasan sebesar 12,10 kN/m² berdasarkan data sekunder, sementara beban lalu lintas yang diberlakukan adalah sebesar 15 kN/m². Penentuan beban lalu lintas didasarkan pada karakteristik fungsi jalan dan sistem jaringan jalan, seperti yang tercantum dalam Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Data Parameter Beban Lalu Lintas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m ²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Sekunder	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 5.000	10
		< 5.000	10

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum (2009)

4.4.4 *Prefabricated Drain*

Prefabricated drain yang dipakai dalam Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA. 6+475 telah disesuaikan dengan ketentuan material yang diuraikan

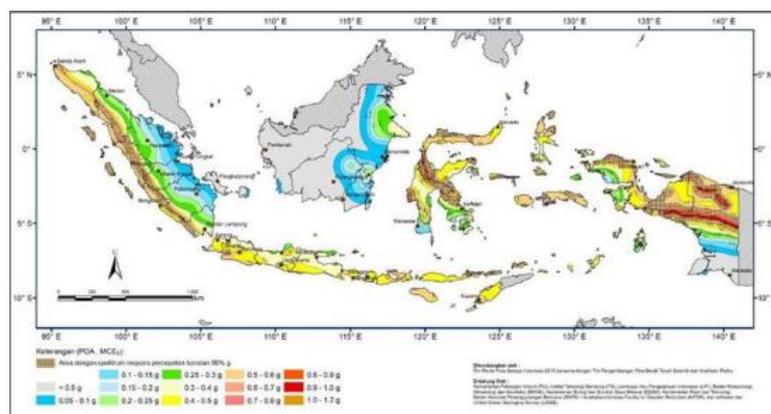
dalam standar SNI Geoteknik 8460:2017. Detail spesifikasi yang digunakan dapat ditemukan dalam Gambar 4.2 di bawah ini

Tabel 4.2 Spesifikasi *Prefabricated vertical drain*

No	Parameter	Unit	SNI Geoteknik (2017)
A	COMPOSITE		
1	Tebal	mm	2-10
2	Lebar	mm	±100
3	Kuat tarik		
-	Regang putus	%	>2
-	Regang @0.5kN	%	≤ 10
-	Kuat tarik minimum	kN	> 1.5
4	Uji kapasitas pelepasan	cm ³ /s	≥ 6.5
B	FILTER		
1	Kuat tarik	kn/m	≥ 3
2	Ukuran pori	um	< 80
3	Indeks kecepatan filter	mm/s	>1

4.4.5 Beban Gempa

Dalam analisis stabilitas lereng ini, digunakan beban gempa dinamik. Daerah Bekasi memiliki percepatan puncak gempa (PGA) sekitar 0,393g, yang serupa dengan data yang tercatat di American Canyon, California pada tahun 2014, yang berkisar antara 0,3g hingga 0,4g. Waktu interval yang digunakan sebagai parameter dalam program PLAXIS diatur sebesar 3,2 detik dengan anggapan bahwa waktu tersebut telah melewati puncak percepatan gempa. Informasi lebih lanjut mengenai peta zonasi serta hubungan antara percepatan gempa dan waktu gempa dapat ditemukan dalam Gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4.3 Peta Zonasi Gempa

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

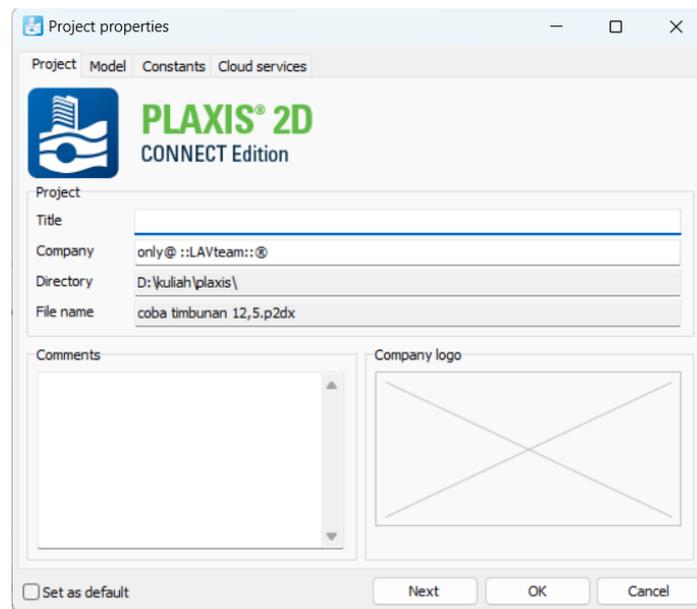
4.5. Pengoperasian Program PLAXIS

Analisis dalam penelitian ini dilakukan melalui tiga langkah utama, yakni tahap PLAXIS *input*, perhitungan PLAXIS, dan hasil *output* dari PLAXIS, dengan menggunakan *software* PLAXIS.

4.5.1 PLAXIS *Input*

1. Buka Program PLAXIS

Untuk memulai menggunakan aplikasi PLAXIS, langkah pertama adalah mengklik dua kali ikon program PLAXIS *input*. Ini akan muncul sebuah kotak dialog dengan opsi “*Start New Project/ Open an Existing Project*”. Pilih “*New Project*” dan klik OK untuk memulai pekerjaan baru. Selanjutnya, isi kotak dialog “*Project Properties*” sesuai dengan tampilan yang terlihat pada Gambar 4.4 berikut.

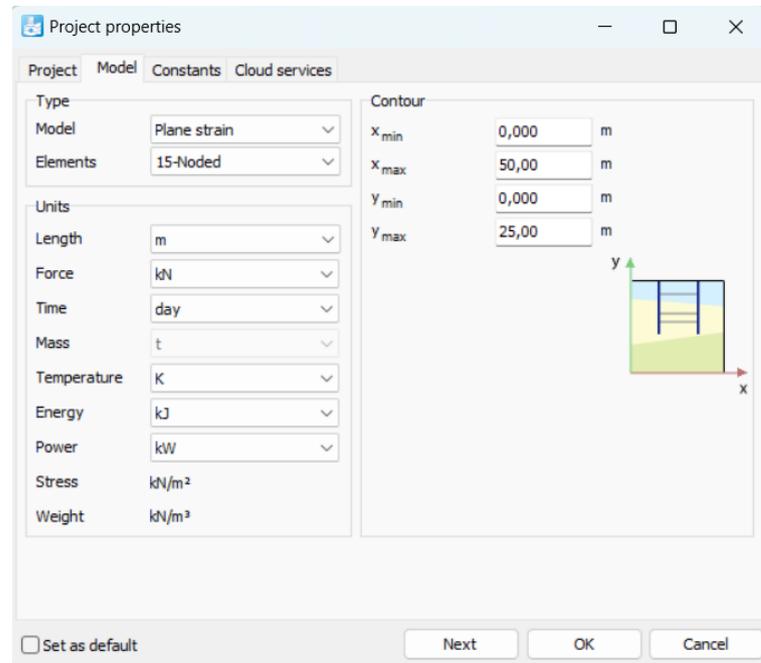


Gambar 4.4 Kotak Dialog *Project Properties*

2. *Project Properties*

Pada jendela “*Project Properties*”, terdapat tiga tab dialog, yaitu “*tab project*”, “*model*”, dan “*constant*”. Di dalam kotak dialog tab “*project*”, masukkan nama proyek yang akan diidentifikasi di dalam kolom “*tittle*”. Selanjutnya, dalam kotak “*general*”, pilih analisis model “*plain strain*” (regangan bidang) dan jenis elemen dasar 15-Noded untuk memungkinkan analisis dengan tingkat akurasi yang lebih

tinggi dalam menghitung tegangan dan potensi runtuh. Selain itu, tentukan satuan yang akan digunakan dalam kolom “*units*” sebagai referensi untuk kontur pemodelan untuk visualisasi pemodelan.



Gambar 4.5 Jendela *Model Properties*

3. Pemodelan Geometri

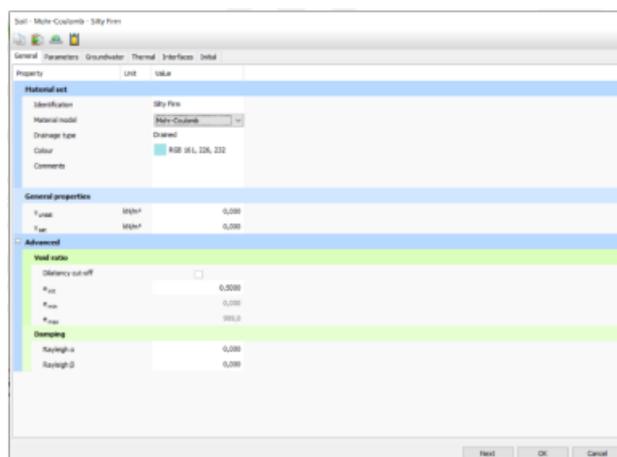
Berikut adalah langkah – langkah yang perlu diikuti dalam membuat model geometri.

-  pilih opsi “*Structure*” pada tab.
- Klik *icon*  kemudian pilih opsi  setelah itu, buat gambar geometri sesuai dengan koordinat yang telah ditetapkan.
-  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.

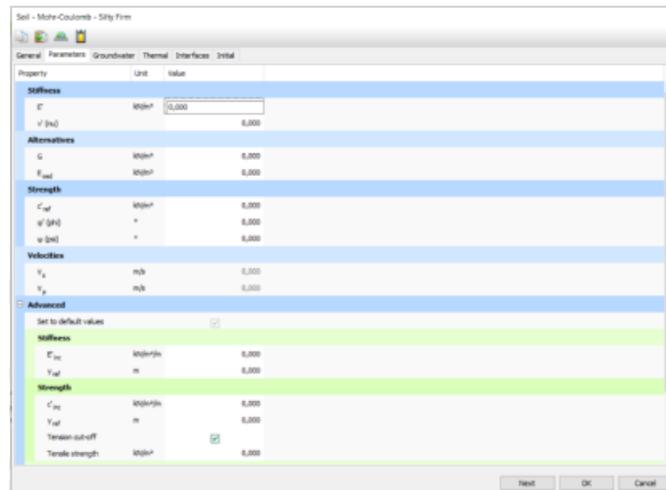
4. *Input* Parameter Material

Pada aplikasi ini, informasi material dapat dimasukkan dengan dua cara : melalui tombol “*materials sets*” di *toolbar* atau melalui opsi yang ada di menu “*materials*”. Berikut langkah – langkahnya :

- a. Klik “new” dibagian bawah jendela “*materials sets*”. Ini akan membuka kotak dialog dengan tiga tab, yaitu “*general*”, “*parameters*”, dan “*interface*”. (seperti Gambar 4.6 dan Gambar 4.7).
- b. Di dalam tab “*general*”, masukkan “*Silty Firm*” dalam kotak “*identification*” yang terdapat dalam jendela “*material sets*”.
- c. Selanjutnya, pilih “*Mohr – Coulomb*” dalam kotak *combo box* “*material model*” juga.
- d. Isi nilai – nilai yang sesuai dengan sifat material yang digunakan di dalam “*general properties*” dan kotak “*void ratio*”.
- e. Beralih ke tab “*parameters*” dan isilah nilai sesuai dengan karakteristik material yang digunakan.
- f. Di tab “*groundwater*”, masukkan parameter aliran sesuai dengan data yang relevan. Jika model geometri tidak melibatkan *interface*, dapat melewati tab ketiga. Klik OK untuk menyimpan informasi material.
- g. Kemudian, klik dan seret data dari jendela “*material sets*” ke wilayah tanah di gambaran grafis. Saat wilayah tanah berubah warna, ini menandakan bahwa material sudah dimasukkan.
- h. Akhiri proses dengan mengklik tombol OK di jendela “*material sets*” untuk menutup basis data material.



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

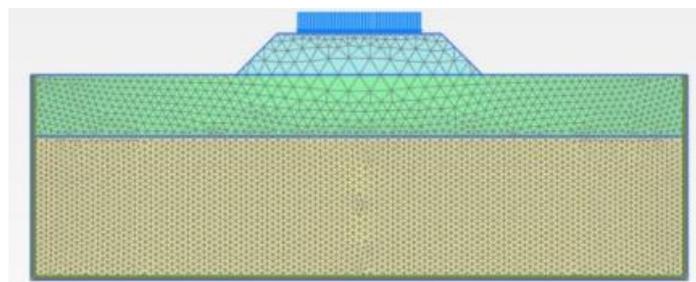


Gambar 4.7 Lembar Tab Parameters dari Jendela Material Sets

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

5. Mesh Generation

 Klik opsi “Generate Mesh” yang ada di *toolbar* atau pilih pengaturan dari menu *mesh*. Setelah jala elemen dibuat, akan muncul jendela baru yang menampilkan tampilan elemen yang terbentuk, seperti yang terlihat pada Gambar 4.8. Selanjutnya, klik tombol “Perbarui” untuk kembali ke mode pengeditan geometri.

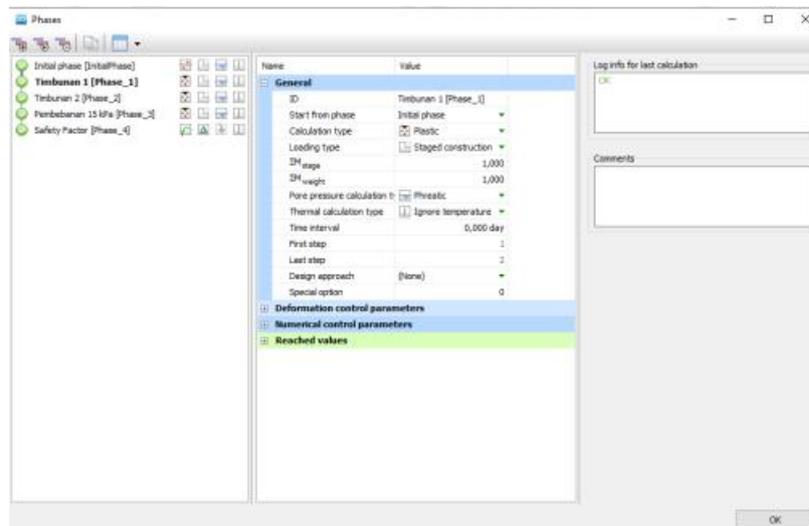


Gambar 4.8 Jaringan Elemen Hingga (*Meshing*)

4.5.2 PLAXIS Calculations

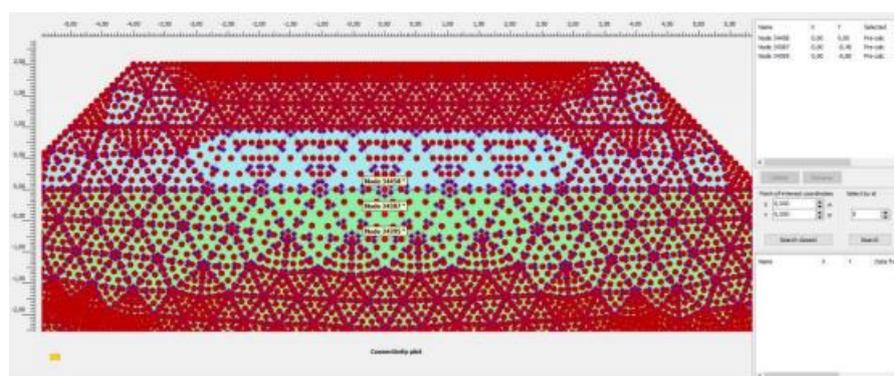
Pada tahap perhitungan PLAXIS, langkah pertama adalah mengakses menu konstruksi bertahap (*staged construction*), yang kemudian diikuti dengan menambah fase sesuai dengan model yang sedang dibangun. Pada tab umum

(*general*), dalam jenis perhitungan dipilih analisis plastis yang digunakan untuk mengukur pergeseran (*displacement*) dari keadaan yang sedang diamati. Selanjutnya, dipilih pengurangan ϕ/c untuk mengevaluasi dampak dari gempa, sementara pada tab parameter, dipilih konstruksi bertahap (*staged construction*) sebagai masukan beban (*loading input*).



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

Langkah selanjutnya adalah memilih titik yang akan digambarkan dalam grafik dengan mengklik opsi “*select point for curve*” seperti yang ditampilkan dalam Gambar 4.10 dibawah ini.

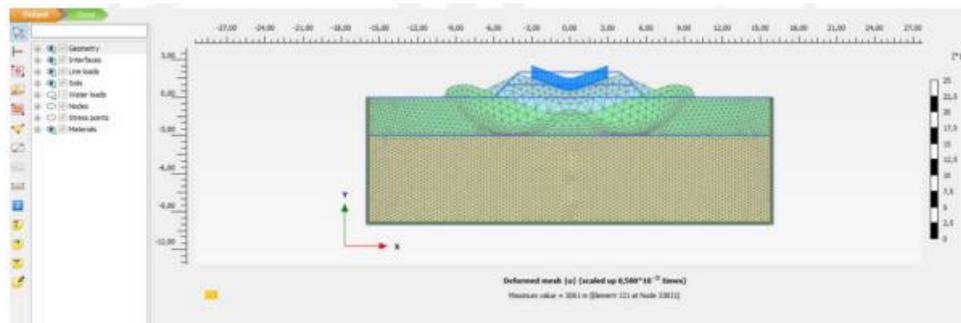


Gambar 4.10 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau

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

4.5.3 PLAXIS *Output*

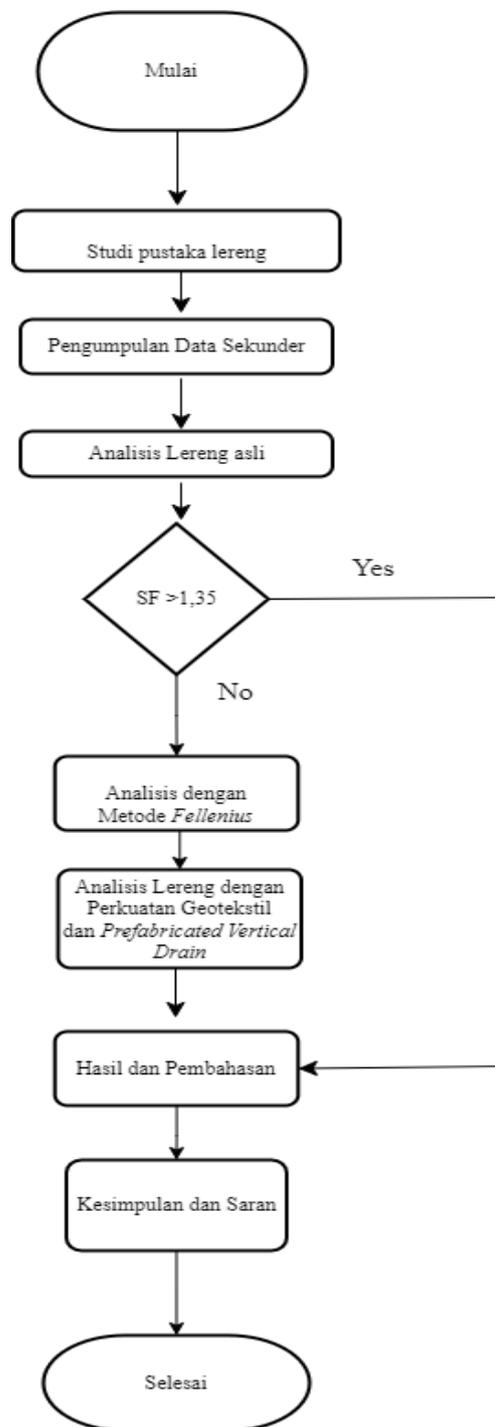
Untuk melihat hasil analisis, dengan cara membuka menu “PLAXIS *Output*” dengan mengklik . Akan menghasilkan jendela *output* yang menampilkan hasil perhitungan analisis, seperti yang ditunjukkan Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.11 Jendela *Output* Perhitungan

4.6. Bagan Alur Penelitian

Dalam penelitian ini, disusun rangkaian langkah – langkah pelaksanaan atau diagram alur penelitian yang tersedia dalam Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.12 Bagan Alur Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum Analisis

Studi kasus untuk penelitian ini dilakukan pada kondisi lereng timbunan di proyek jalan tol Cibitung – Cilincing di sta 6+475. Di lokasi tersebut, lapisan tanah didominasi oleh campuran tanah lanau, dan penggunaan tanah mencapai lapisan ketiga pada kedalaman 10 m. Sementara itu, bahan timbunan terdiri dari tanah lempung berpasir yang telah dipadatkan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan timbunan pada ketinggian yang telah didapatkan dapat mengalami kelongsoran pada lereng. Potensi keruntuhan bisa terjadi jika tanah timbunan tidak dapat menahan gaya beban yang terjadi selama proses konstruksi atau saat penggunaan timbunan.

Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai tinggi timbunan, yaitu 7,5m. Tinggi timbunan dianalisis untuk menentukan setiap lapisan timbunan yang dapat menanggung beban – beban yang akan terjadi. Kondisi timbunan dievaluasi dalam dua situasi, yaitu selama masa konstruksi dan setelah konstruksi, dengan mempertimbangkan parameter beban yang berbeda. Parameter beban meliputi beban struktural dari perkerasan jalan selama masa konstruksi dan beban lalu lintas setelah konstruksi. Jika lereng timbunan memiliki angka aman yang tidak memenuhi persyaratan, maka akan dilakukan penguatan dengan tambahan geotekstil, dan untuk mempercepat waktu konsolidasi menggunakan *prefabricated vertical drain*. Oleh karena itu, analisis tambahan dilakukan untuk menentukan apakah penggunaan geotekstil dan *prefabricated vertical drain* dapat mencegah potensi kelongsoran dan mempercepat waktu konsolidasi dari timbunan lereng jalan.

5.1.1 Data Analisis Program PLAXIS

Lereng timbunan di proyek Tol Cibitung – Cilincing Sta. 6+475 didominasi oleh tanah lempung. Parameter data yang dianalisis meliputi sifat-sifat tanah, beban yang bekerja, penggunaan perkuatan geotekstil, dan kondisi awal lereng tersebut.

1. Data parameter tanah

Data mengenai parameter tanah yang dijadikan sebagai input untuk material tanah dalam program PLAXIS berasal dari hasil survei lapangan yang dilakukan pada proyek jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta. 6+475. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1.

2. Data Beban Struktur

Selama fase konstruksi, Dalam analisis, parameter dianggap memiliki distribusi beban merata karena adanya beban struktural dari perkerasan jalan. Beban struktural yang dimasukkan merupakan beban dari lapisan perkerasan jalan. Berdasarkan data yang diperoleh dari proyek Jalan Tol Cibitung - Cilincing Sta. 6+475, beban dari lapisan perkerasan adalah sekitar 12,10 kN/m².

3. Data Beban Lalu Lintas

Dalam memasukkan data ke dalam program PLAXIS, beban lalu lintas yang digunakan untuk mempertahankan stabilitas adalah sekitar 15 kN/m², beban tersebut diperoleh berdasarkan fungsi dan sistem jaringan karena jalan Tol Cibitung – Cilincing termasuk ke dalam kelas jalan primer arteri. Rincian parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.3 pada Bab IV.

4. Data Beban Gempa

Di wilayah proyek Tol Cibitung -Cilincing Sta. 6+475, yang berlokasi di Provinsi Jawa Barat, terdapat informasi mengenai percepatan puncak gempa (PGA) yang sebesar 0,3 – 0,4g berdasarkan peta zonasi gempa Indonesia dari SNI 1726:2019. Gambaran grafik percepatan gempa dari *Whitter Narrow California* dan peta zonasi gempa Indonesia dapat ditemukan pada Gambar 4.3.

5. Data *Prefabricated Drain*

Prefabricated Drain yang dipakai dalam proyek Tol Cibitung – Cilincing telah disesuaikan dengan ketentuan material yang diatur dalam SNI Geoteknik 8460:2017. Spesifikasi tersebut dapat ditemukan dalam Gambar 4.2

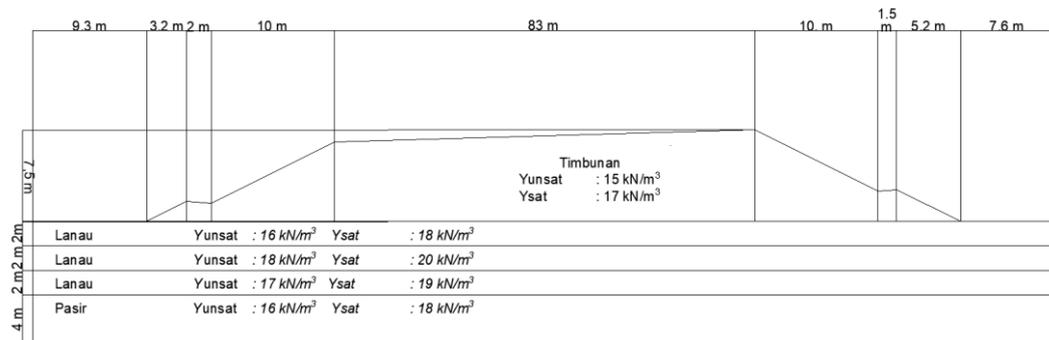
6. Data geotekstil

Geotekstil yang digunakan diproduksi oleh PT.Tekindo Geosistem lebih unggul dari grade *woven HRX 250*. Nilai kuat tarik dan deformasi ijin sebesar diambil dari dokumen produksi yaitu 40 kN/m dan 35%. Oleh karena itu nilai

geotekstil yang dijadikan masukan pada program Plaxis V22 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

7. Kondisi Eksisting Lereng

Timbunan dan informasi tanah yang telah dikumpulkan dapat dijelaskan melalui representasi visual. Kondisi timbunan yang ada dan jenis tanah pada masing-masing lapisan dapat disajikan dalam Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Geometri Kondisi Eksisting Lereng Tanah Asli

5.2 Lereng Timbunan Tanah Asli

5.2.1 Analisis Menggunakan Program PLAXIS

Dalam analisis ini, akan ditampilkan hasil analisis dari program PLAXIS V22 yang melibatkan sebuah lereng tanah timbunan dengan tinggi 7,5. Lereng ini berada di atas tanah asli yang memiliki 4 lapisan dengan total kedalaman 10m. Analisis akan melibatkan pembuatan model awal lereng, situasi selama proses konstruksi, dan kondisi setelah penyelesaian konstruksi.

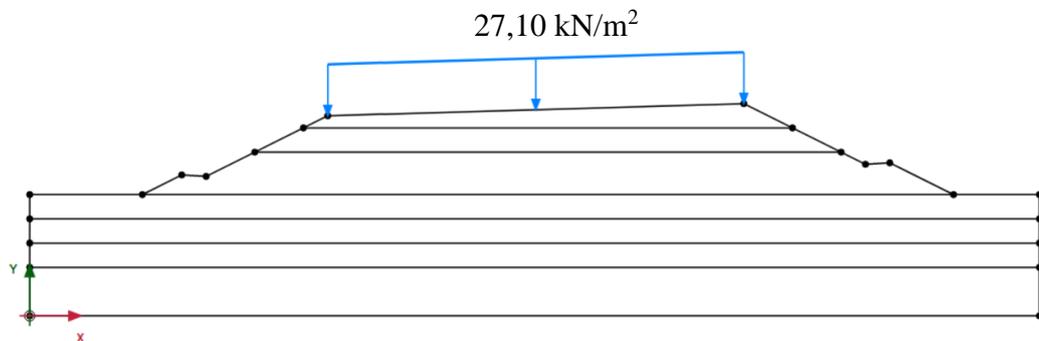
1. Lereng kondisi tanah asli tanpa beban gempa

Proses analisis menggunakan PLAXIS V22 melibatkan penggunaan tanah asli yang terdapat di lokasi proyek. Tinggi timbunan yang dibangun adalah 7,5m. Baik selama proses konstruksi maupun setelahnya.

a. Pemodelan geometri

Pemodelan geometri lereng timbunan dilakukan pada semua potongan karena karakteristik potongan melintang lereng timbunan bersifat tidak simetris. Beban yang diterapkan pada geometri mencakup beban lalu lintas sebesar 15 kN/m² dan

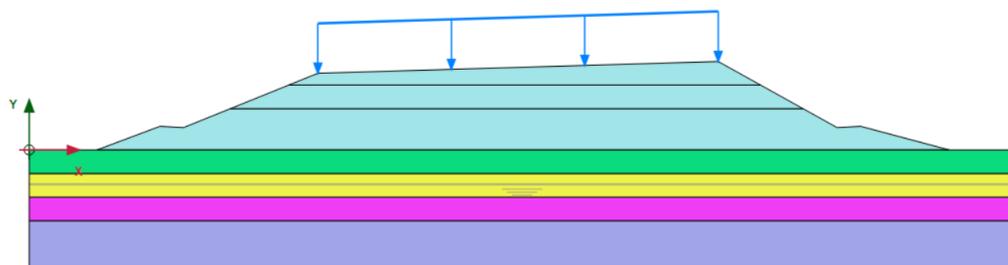
beban perkerasan sebesar $12,10 \text{ kN/m}^2$. Berikut adalah Gambar pemodelan geometri dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 5.2 Pemodelan Lereng Timbunan 7,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan

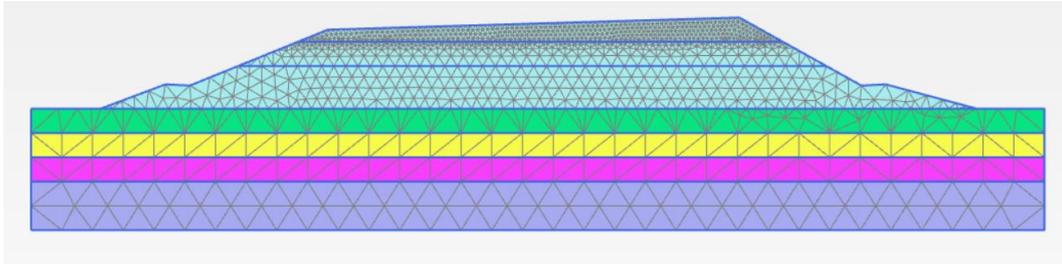
b. Material dan Pembuatan Jaring Elemen (Meshing)

Tahap selanjutnya setelah pemodelan geometri lereng timbunan dibuat, maka selanjutnya input data parameter tanah pada setiap lapisan tanah dan timbunan. Gambar input material pada geometri lereng dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5.3 Pemodelan Lapisan Tanah pada Geometri Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli tanpa Beban Gempa

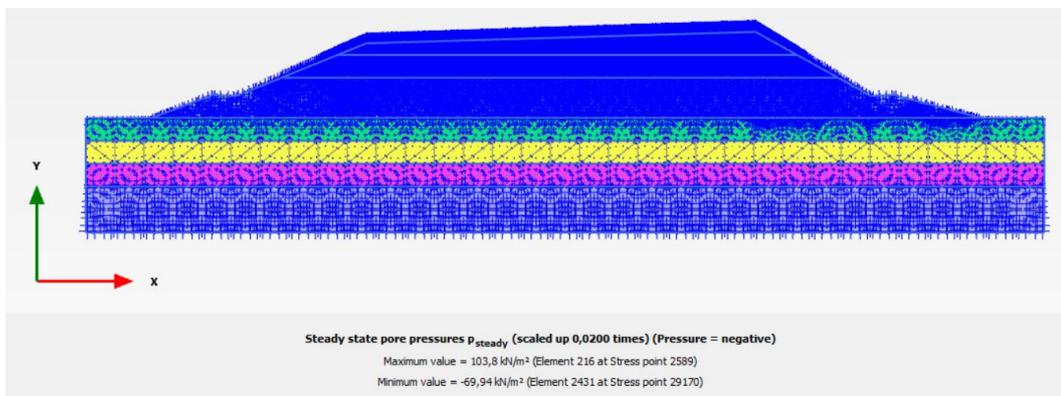
Pada tahap awal konstruksi, tanah timbunan masih mempertahankan sifat drainase karena kemampuan strukturnya untuk mengalirkan air dengan baik. Kemudian, dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*) untuk memodelkan lereng timbunan. Hasil dari jaringan elemen (*meshing*) pada lereng timbunan dapat dilihat dalam gambar di bawah ini.



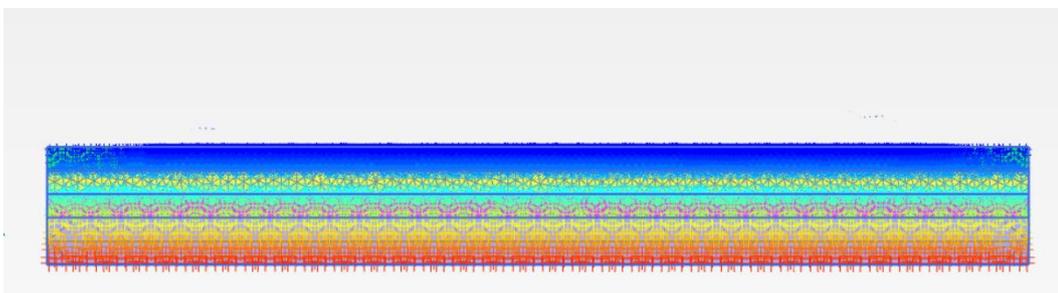
Gambar 5.4 Meshing pada Lereng Timbunan 7,5 m Tanah Asli Tanpa Perkuatan

c. Kondisi Aliran *Flow condition*

Setelah proses meshing selesai, langkah selanjutnya adalah mengatur kondisi awal (initial condition). Pada proyek ini, air tanah berada pada kedalaman 5 m dari permukaan asli. Oleh karena itu, dilakukan proses pembentukan tekanan air (generate water pressures) sesuai dengan kedalaman air tanah tersebut. Setelah itu, dilakukan konfigurasi geometri awal dan perhitungan tegangan awal secara umum (general initial stresses). Hasil dari pembentukan tekanan air dan tegangan awal dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6.



Gambar 5.5 Generate Water Pressures pada Lereng Timbunan 7,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi



Gambar 5.6 Initial Soil Stresses pada Lereng Timbunan 7,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan Masa Konstruksi

d. Tahapan analisis

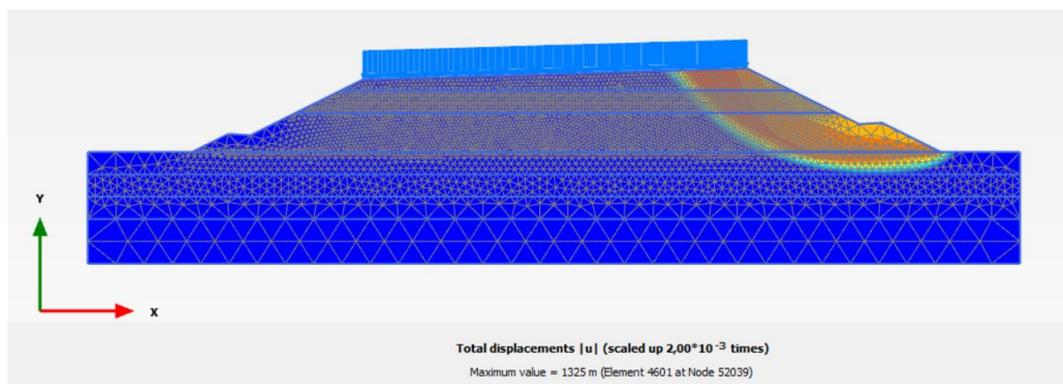
Analisis terbatas pada perhitungan nilai faktor keamanan selama tahap konstruksi, yang mencakup periode dari pembangunan hingga tahap perkerasan. Berdasarkan kondisi di lapangan durasi konstruksi ditetapkan selama 380 hari. Berikut adalah *phases explorer* pada program Plaxis V22 dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Tahapan Analisis Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli Tanpa Beban Gempa

No	Fase	Hari	Total Hari	Tipe Perhitungan
1	Kondisi awal	0	0	-
2	Timbunan Lapis 1	5	5	<i>Plastic Analysis</i>
3	Konsolidasi Timbunan Lapis 1	100	105	<i>Consolidation Analysis</i>
4	Timbunan Lapis 2	5	110	<i>Plastic Analysis</i>
5	Konsolidasi Timbunan Lapis 2	100	210	<i>Consolidation Analysis</i>
6	Timbunan Lapis 3	5	215	<i>Plastic Analysis</i>
7	Konsolidasi Timbunan Lapis 3	100	315	<i>Consolidation Analysis</i>
8	Beban Lalu Lintas + Perkerasan	5	320	<i>Plastic Analysis</i>
9	Konsolidasi Beban Lalu Lintas + Perkerasan	60	380	<i>Consolidation Analysis</i>
10	SF Konstruksi	-	-	<i>Safety Analysis</i>

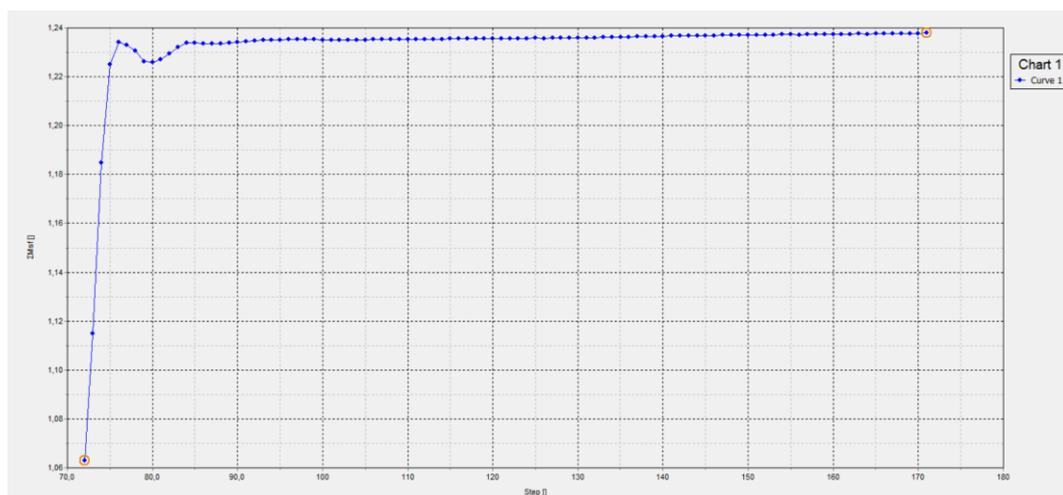
e. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli

Berikut adalah Gambar 5.7 potensi kelongsoran pada lereng timbunan hasil pemodelan dalam Plaxis V22.



Gambar 5.7 Total Displacements Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli tanpa Beban Gempa

Angka keamanan (SF) untuk tanah asli dengan timbunan lereng 7,5 m tanpa perkuatan karena beban struktur lalu lintas adalah 1,238. Hasil dari angka keamanan (SF) dapat ditemukan dalam Gambar 5.8.



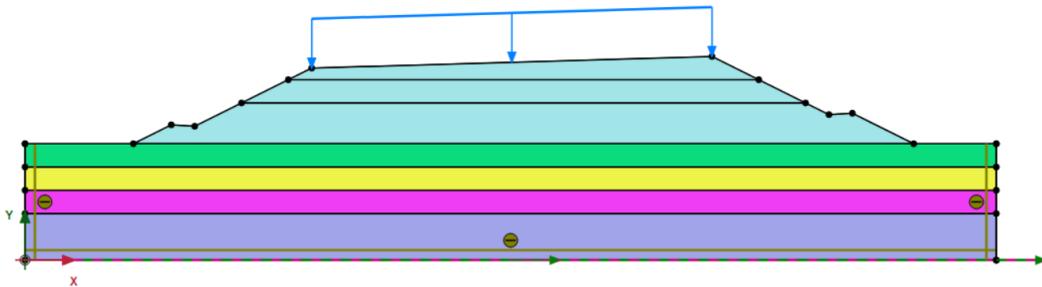
Gambar 5.8 Nilai Angka Aman (SF) Timbunan Lereng Tanah Asli 7,5m Tanpa Beban Gempa

2. Lereng Kondisi Tanah Asli dengan Beban Gempa

Dalam analisis ini, akan ditampilkan hasil analisis dari program PLAXIS V22 yang melibatkan sebuah lereng tanah timbunan dengan tinggi 7,5m. Lereng ini berada di atas tanah asli yang memiliki 4 lapisan dengan total kedalaman 10m. Analisis akan melibatkan pembuatan model awal lereng, situasi selama proses konstruksi, dan kondisi setelah penyelesaian konstruksi.

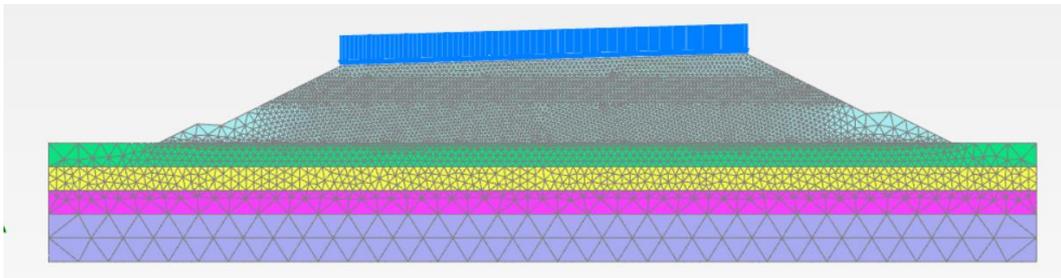
a. Pemodelan geometri beban gempa

Pemodelan geometri lereng timbunan dilakukan pada semua potongan karena karakteristik potongan melintang lereng timbunan bersifat tidak simetris. Beban yang diterapkan pada geometri mencakup beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 , beban gempa sebesar $\text{PGA} = 0,4 : 2 = 0,2 \text{ g}$, dan beban perkerasan sebesar $12,10 \text{ kN/m}^2$. Berikut adalah pemodelan geometri dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Pemodelan Geometri Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli Dengan Beban Gempa

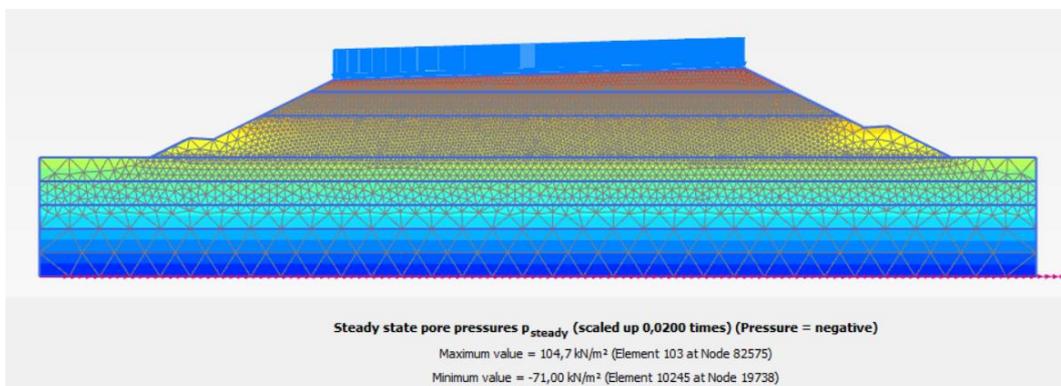
Seperti sebelumnya selama fase konstruksi awal, kondisi tanah timbunan masih bersifat undrained dimana struktur tanah masih banyak air pada pori . Setelah itu, dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*) untuk pemodelan timbunan lereng. Gambaran dari susunan elemen (*meshing*) pada lereng timbunan tersedia dalam Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Meshing pada Lereng Timbunan 7,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan dengan Beban Gempa

b. Kondisi Aliran *Flow condition* beban gempa

Setelah proses meshing selesai, langkah selanjutnya adalah mengatur kondisi awal (*initial condition*). Pada proyek ini, air tanah berada pada kedalaman 5 m dari permukaan asli. Oleh karena itu, dilakukan proses pembentukan tekanan air (*generate water pressures*) sesuai dengan kedalaman air tanah tersebut. Setelah itu, dilakukan konfigurasi geometri awal dan perhitungan tegangan awal secara umum (*general initial stresses*). Hasil dari pembentukan tekanan air dan tegangan awal dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Generate Water Pressures pada Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan dengan Beban Gempa

c. Tahapan analisis beban gempa

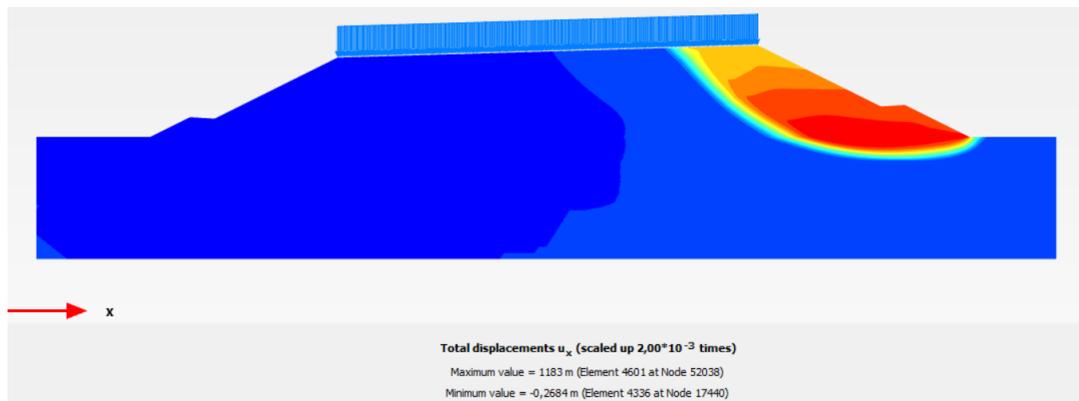
Analisis terbatas pada perhitungan nilai faktor keamanan selama tahap konstruksi, yang mencakup periode dari pembangunan hingga tahap perkerasan. Durasi konstruksi ditetapkan selama 380 hari. Berikut adalah *phases explorer* pada program Plaxis V22 dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Fase Pada Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan

No	Fase	Hari	Total Hari	Tipe Perhitungan
1	Kondisi awal	0	0	-
2	Timbunan Lapis 1	5	5	<i>Plastic Analysis</i>
3	Konsolidasi Timbunan Lapis 1	100	105	<i>Consolidation Analisis</i>
4	Timbunan Lapis 2	5	110	<i>Plastic Analysis</i>
5	Konsolidasi Timbunan Lapis 2	100	210	<i>Consolidation Analisis</i>
6	Timbunan Lapis 3	5	215	<i>Plastic Analysis</i>
7	Konsolidasi Timbunan Lapis 3	100	315	<i>Consolidation Analisis</i>
8	Beban Lalu Lintas + Perkerasan	5	320	<i>Plastic Analysis</i>
9	Konsolidasi Beban Lalu Lintas + Perkerasan	60	380	<i>Consolidation Analisis</i>
10	Beban Gempa	-	-	<i>Dynamic Analysis</i>
11	SF Konstruksi	-	-	<i>Safety Analysis</i>

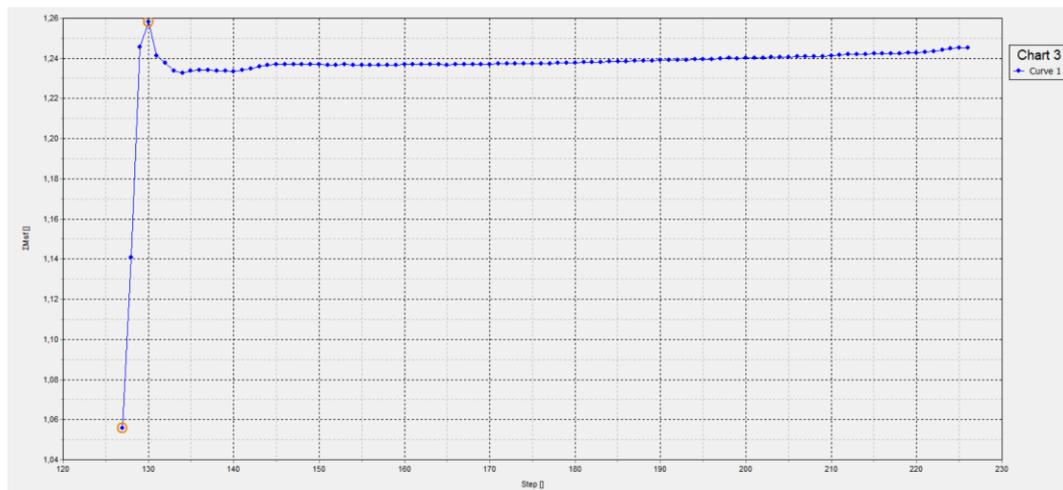
- d. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli dengan Beban Gempa

Berikut adalah Gambar potensi kelongsoran pada lereng timbunan hasil pemodelan dalam Plaxis V22.



Gambar 5.12 Total Displacements Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli dengan Beban Gempa

Angka keamanan (SF) untuk tanah asli dengan timbunan lereng 7,5m dengan perkuatan dan beban gempa terjadi *collapse*. Hasil dari angka keamanan (SF) dapat ditemukan dalam Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Nilai Angka Aman (SF) Timbunan Lereng Tanah Asli 7,5m dengan Beban Gempa

3. Rekapitulasi Hasil Angka Aman (SF)

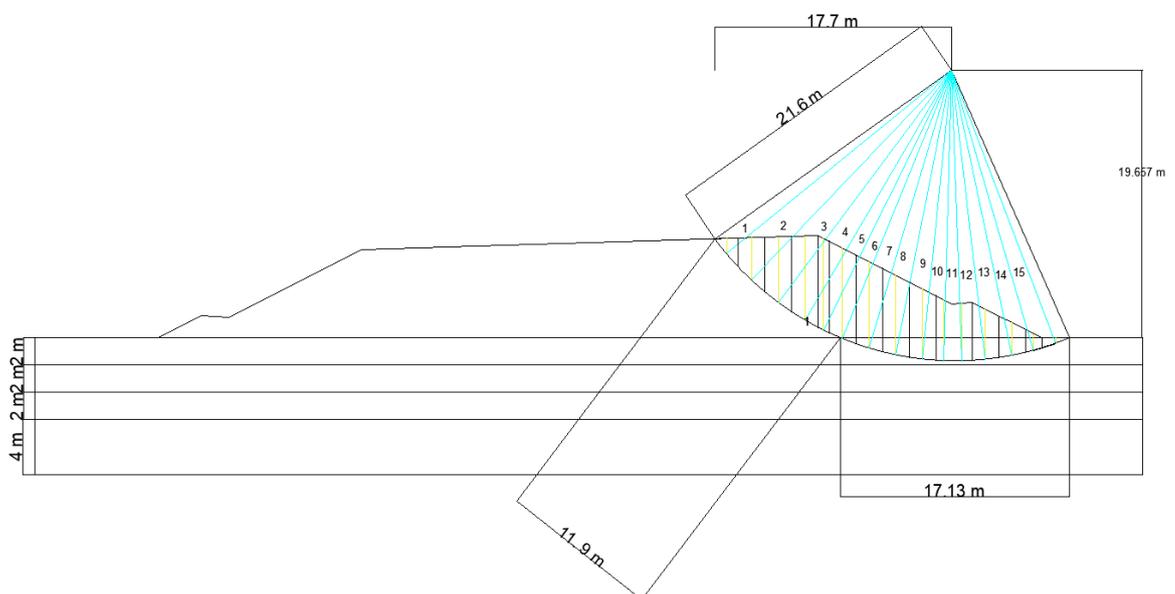
Tabel 5.3 menampilkan hasil analisis faktor keamanan (SF) pada lereng tanah asli menggunakan program Plaxis V22.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Pada Kondisi Tanah Asli

Variasi Timbunan	Angka Aman (SF)	
	Beban Struktur	Beban Struktur dan Beban Gempa
Timbunan 7,5 m	1,238	<i>collapse</i>

5.2.2 Perhitungan Manual Dengan Metode *Fellenius*

Karena program Plaxis V22 tidak menghasilkan nilai keamanan yang sesuai dengan persyaratan untuk lereng jalan pada analisis terhadap tanah asli dengan tinggi timbunan 7,5m, dilakukan perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius*. Tujuan perhitungan ini adalah untuk membandingkan dan memverifikasi nilai keamanan lereng tersebut. Hasil dari program Plaxis menunjukkan garis potensi kelongsoran, yang terlihat pada Gambar 5. Dari gambar tersebut, tampak bahwa garis potensi kelongsoran membentang hingga ke kaki lereng dengan jari-jari (R) sebesar 21,6 m. Perhitungan ini akan dibagi menjadi 15 irisan. Potongan dari masing-masing irisan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Analisis Stabilitas Sta. 6+475 dengan Metode *Fellenius*

Dari ilustrasi di atas, terlihat bahwa garis potensi kelongsoran membentang hingga ke kaki lereng dengan jari-jari (R) sebesar 21,6 m dan panjang total bidang kelongsoran pada arah horizontal adalah 17,7 m. Dalam perhitungan ini, bidang kelongsorannya akan dibagi menjadi 15 pias irisan, sehingga masing-masing pias

memiliki rata-rata panjang horizontal sekitar 2 m. Berikut adalah tahapan dalam melakukan perhitungan stabilitas menggunakan metode *Fellenius*.

1. Perhitungan Berat Irisan Tanah (W_i)

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Terdapat beban diatas irisan, berikut adalah perhitungan berat irisan menggunakan rumus dibawah ini.

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

Nilai q mewakili besarnya beban jalan (kN/m^2), sedangkan nilai L merupakan lebar irisan yang terkena beban (m). Di bawah ini adalah contoh perhitungan untuk menentukan berat irisan tanah pada irisan pertama untuk badan jalan tanpa perkuatan. Hasil perhitungan berat irisan untuk irisan pertama dapat dirujuk pada Tabel 5 di bawah.

$$W_1 = (\gamma \times A_1 \times 1) + (q \times L) = (15 \times 2 \times 1) + (27,10 \times 1,72) = 76,612\text{kN}$$

2. Mengukur besar sudut (α) dan radians pada setiap pias irisan bidang longsor. Informasi tentang sudut bidang longsor pada setiap irisan dapat ditemukan dalam rekapitulasi yang disajikan dalam Tabel 5.4.

$$\begin{aligned} \text{Rad}_1 &= \alpha \times \frac{\pi}{180} \\ &= 51 \times \frac{\pi}{180} \\ &= 0,890 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Pias 1} &= W \times \sin \alpha \\ &= 76,612 \times \sin (51) \\ &= 59,539 \text{ kN} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Pias 1} &= W \times \cos \alpha \\ &= 76,612 \times \cos (51) \\ &= 48,213 \text{ kN} \end{aligned}$$

5. Perhitungan panjang ΔL_n

Perhitungan ΔL_n dihitung dengan menggunakan aplikasi Autocad dengan mengukur lebar pias

Berdasarkan pengukuran geometri timbunan, setelah panjang garis lengkung pada lapisan tanah 1 dari titik A ke titik B adalah 11,876 m, dan dari titik B ke titik C adalah 17,130 m, proses selanjutnya dapat dilakukan, langkah berikutnya melibatkan perhitungan nilai ketahanan terhadap kelongsoran yang dihasilkan oleh komponen kohesi di bawah ini.

$$\sum c_i a_i = (5 \times 11,876) + (3 \times 17,130) = 110,77 \text{ kN}$$

Tabel 5.4 Rekapitulasi Perhitungan Menggunakan Metode *Fellenius*

Pias	Wn (kN)	α (°)	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	ΔL_n (m)	$w_n \cdot \sin.\alpha$ (kN)	$w_n \cdot \cos.\alpha$ (kN)
1	76,612	51,000	0,777	0,629	0,860	59,539	48,213
2	155,450	44,000	0,695	0,719	1,860	107,985	111,821
3	206,600	37,000	0,602	0,799	2,000	124,335	164,998
4	249,050	30,000	0,500	0,866	2,000	124,525	215,684
5	107,030	26,000	0,438	0,899	1,400	37,415	76,712
6	252,200	22,000	0,375	0,927	1,400	74,172	183,582
	67,640	22,000	0,375	0,927	1,400	5,035	12,461
7	222,200	16,000	0,276	0,961	2,000	46,307	161,492
	90,040	16,000	0,276	0,961	2,000	9,879	34,452
8	192,200	11,000	0,191	0,982	2,000	26,332	135,465
	105,560	11,000	0,191	0,982	2,000	9,800	50,416
9	162,200	5,000	0,087	0,996	2,000	9,413	107,589
	114,680	5,000	0,087	0,996	2,000	5,271	60,250
10	82,920	1,000	0,017	1,000	1,600	0,880	50,392
	70,600	1,000	0,017	1,000	1,600	0,665	38,074
11	98,250	-3,000	-0,052	0,999	1,350	-3,015	57,521
	87,850	-3,000	-0,052	0,999	1,350	-2,470	47,135
12	117,800	-7,000	-0,122	0,993	1,750	-7,751	63,126
	112,120	-7,000	-0,122	0,993	1,750	-7,059	57,488
13	87,800	-13,000	-0,225	0,974	2,000	-7,558	32,739
	100,760	-13,000	-0,225	0,974	2,000	-10,474	45,367
14	39,304	-17,000	-0,292	0,956	1,620	-1,667	5,451

Pias	Wn (kN)	α (°)	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	ΔL_n (m)	$w_n \cdot \sin.\alpha$ (kN)	$w_n \cdot \cos.\alpha$ (kN)
	54,084	-17,000	-0,292	0,956	1,620	-5,988	19,585
15	69,176	-22,000	-0,375	0,927	1,650	-5,001	12,378
Jumlah (Σ)					41,210	590,569	1792,392
SF					1,184		

6. Menghitung nilai *safety factor* (SF) pada Sta. 6+475

Nilai *safety factor* atau angka keamanan pada lereng timbunan asli dengan menggunakan metode *fellenius* sebagai berikut.

$$SF = \frac{(\sum C_{iai}) + (W \cos \theta \times \tan \phi)}{(W_i \sin \alpha) + (\text{beban} \times \text{luas})}$$

$$SF = \frac{(110,77) + (836,029)}{(590,56) + (27,10 \times 7,720)}$$

$$SF = 1,183$$

Faktor keamanan yang diperoleh dari badan jalan tanpa perkuatan, dengan menggunakan perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius*, tanpa memperhitungkan dampak beban gempa pada timbunan setinggi 7,5m setelah konstruksi, adalah 1,183. Dari hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai faktor keamanan memenuhi persyaratan yang ditetapkan, yaitu lebih dari 1,3. Setelah analisis perhitungan dilakukan secara manual dan dengan menggunakan program *Geoslope* dengan metode *Fellenius*, hasil rekapitulasi perhitungannya ditunjukkan dalam Tabel 5.5 berikut ini:

Tabel 5.5 Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Menggunakan Metode *Fellenius*

<i>Safety Factor</i>	Lereng Eksisting Plaxis V22 (tanpa beban gempa)	Lereng Eksisting Plaxis V22 (beban gempa)	Lereng Eksisting Manual (tanpa beban gempa)
		1,238	<i>collapse</i>

Berdasarkan hasil evaluasi faktor keamanan dari perhitungan sebelumnya, diperlukan langkah-langkah untuk memperkuat tanah dan memperbaiki dasar tanah guna meningkatkan faktor keamanan lereng. Dalam penelitian ini, metode perkuatan yang digunakan mencakup penggunaan perkuatan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil.

5.3 Perhitungan Kebutuhan Geotekstil

5.3.1 Data Perhitungan Geotekstil

1. Parameter Tanah Timbunan

Parameter tanah yang akan diperkuat dengan geotekstil terletak pada bagian tanah timbunan, karena area tersebut memiliki potensi longsor yang paling besar. Jenis tanah timbunan yang digunakan sebagai parameter dalam menghitung kebutuhan geotekstil adalah sebagai berikut.

- a. Berat volume tanah (γ_b) = 15 kN/m³
- b. Kohesi (c) = 5 kN/m²
- c. Sudut geser dalam (ϕ) = 26°

2. Data Geotekstil

Dalam analisis perhitungan ini, jenis geotekstil *woven* digunakan sebagai penguat pada timbunan tanah. Data geotekstil yang digunakan disediakan oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan jenis geotekstil *woven* HRX-250. Kuat tarik pada geotekstil yang digunakan adalah 40 kN/m², dengan nilai regangannya mencapai 35%. Data geotekstil yang dimasukkan ke dalam aplikasi Plaxis adalah nilai kekakuan *stiffness* (EA), yang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} EA &= \frac{Fg}{\frac{\Delta l}{l}} \\ &= \frac{40}{0,35} \\ &= 114,28 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Dalam perhitungan kebutuhan geotekstil, nilai yang digunakan adalah *Safety Factor* (SF) yang akan membagi nilai tarik izin dari geotekstil, dengan nilai sebesar 2. Angka ini dianggap aman karena melebihi atau setidaknya sama

dengan nilai 1,5. Perhitungan kuat tarik *allowable* geotekstil dapat diuraikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T_{\text{all}} &= \frac{T_{\text{ult}}}{SF_{\text{geo}}} \\
 &= \frac{40}{1,1 \times 1,5 \times 1,0 \times 1,0} \\
 &= 24,24 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Informasi mengenai parameter geotekstil yang digunakan dalam perhitungan dan dimasukkan ke dalam program PLAXIS terdapat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Data Geotekstil Woven HRX-250

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

3. Koefisien daya dukung tanah

Penelitian ini menggunakan informasi mengenai koefisien daya dukung tanah yang diperoleh dari Departemen Pekerjaan Umum (2009). Detail nilai-nilai koefisien daya dukung tanah tersebut tercantum dalam Tabel 5.7 di bawah ini.

Tabel 5.7 Koefisien Daya Dukung Tanah

φ	Nc	Nq	N_{γ}	φ	Nc	Nq	N_{γ}
7	7,16	1,88	0,71	26	22,25	11,85	12,54
8	7,53	2,06	0,86	27	23,94	13,20	14,47
9	7,92	2,23	1,03	28	25,80	14,72	16,72
10	8,85	2,47	1,22	29	27,86	16,44	19,34
11	8,80	2,71	1,44	30	30,14	18,40	22,40
12	9,28	2,97	1,69	31	32,67	30,63	25,90
13	9,81	3,26	1,97	32	35,49	23,18	30,22

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

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum (2009)

5.3.2 Stabilitas Eksternal

Perhitungan stabilitas eksternal digunakan untuk mengidentifikasi jarak minimum secara vertikal antara lapisan geotekstil (SV) dan panjang total geotekstil minimum (L).

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

Berikut adalah koefisien aktif tanah.

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

$$K_a = \tan \left(45 - \frac{26}{2} \right)^2$$

$$= 0,39$$

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

$$\sigma_{hc} = (q \times K_a) + (K_a \times H \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{K_a})$$

$$\sigma_{hc} = (27,10 \times 0,39) + (0,39 \times 4 \times 15) - (2 \times 5 \times \sqrt{0,39})$$

$$= 27,76$$

$$SV = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF}$$

$$SV = \frac{24,24}{27,76 \times 1,5}$$

$$= 0,58 \text{ m}$$

Minimal dipasang SV= 1m di lapangan

Banyak lapis geotekstil = 4/1 = 4 lembar

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

$$\sigma_{hc} = (K_a \times H \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{K_a})$$

$$\sigma_{hc} = (0,39 \times 7,5 \times 15) - (2 \times 5 \times \sqrt{0,39})$$

$$= 37,68 \text{ kN/m}^2$$

$$SV = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF}$$

$$SV = \frac{24,24}{37,68 \times 1,5}$$

$$= 0,43 \text{ m (dipakai 0,5)}$$

Banyak lapis geotekstil; = 3,5/0,5 = 7 lembar

2. Menentukan panjang geotekstil

a. Stabilitas terhadap geser

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

$$\sum MD =$$

$$\left(q \times K_a \times \frac{1}{2} \times H^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times K_a \times \gamma b \times H^2 \times \frac{1}{2} \times H \right) - \left(2 \times c \times \sqrt{K_a} \times \frac{1}{2} \times H^2 \right)$$

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

$$SF = \frac{(q \times \tan \varphi \times L) + (H \times \gamma b \times \tan \varphi \times L)}{(q \times K_a \times H) + \left(\frac{1}{2} \times k_a \times \gamma b \times H^2 \right) - (2 \times C \times \sqrt{K_a} \times H)}$$

$$L = \frac{SF (q \times K_a \times H) + \left(\frac{1}{2} \times k_a \times \gamma b \times H^2 \right) - (2 \times C \times \sqrt{K_a} \times H)}{(q + H + \gamma b) \tan \varphi}$$

$$L = \frac{1,5 (27,10 \times 0,39 \times 7,5) + \left(\frac{1}{2} \times 0,39 \times 15 \times 7,5^2 \right) - (2 \times 5 \times \sqrt{0,39} \times 7,5)}{(27,10 + 7,5 + 15) \tan 26}$$

$$L = 16,802 \text{ m} = 17 \text{ m}$$

Geotekstil perlu dipasang untuk menahan gaya geser pada timbunan tanah dengan panjang 17 meter

b. Stabilitas terhadap guling

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{\left(\frac{1}{2}x q x L^2\right) + \left(\frac{1}{2}x \gamma b x H x L^2\right)}{\left(q x K a x \frac{1}{2} x H^2\right) + \left(\frac{1}{2} x K a x \gamma b x H^2 x \frac{1}{2} x H\right) - \left(2 x c x \sqrt{K a} x \frac{1}{2} x H^2\right)} \\
 L^2 &= \frac{SF \left(\left(q x K a x \frac{1}{2} x H^2\right) + \left(\frac{1}{6} x K a x \gamma b x H^2 x H\right) - \left(2 x c x \sqrt{K a} x \frac{1}{2} x H^2\right)\right)}{\left(\frac{1}{2} x q\right) + \left(\frac{1}{2} x \gamma b x H x\right)} \\
 L^2 &= \frac{1,5 \left(\left(27,10 x 0,39 x \frac{1}{2} x 7,5^2\right) + \left(\frac{1}{6} x 0,39 x 15 x 7,5^2\right) - \left(2 x 5 x \sqrt{0,39} x \frac{1}{2} x 7,5^2\right)\right)}{\left(\frac{1}{2} x 27,10\right) + \left(\frac{1}{2} x 15 x 7,5\right)} \\
 L^2 &= 19,02 \text{ m} \\
 L &= 4,36 = 5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Panjang geotekstil untuk menahan guling pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 5m

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{6} x L &\geq \frac{\left(q x K a x \frac{1}{2} x H^2\right) + \left(\frac{1}{2} x K a x \gamma b x H^2 x \frac{1}{3} x H\right) - \left(2 x C x \sqrt{K a} x \frac{1}{2} x H^2\right)}{\left(H x \gamma b x L\right) + \left(q x L\right)} \\
 \frac{1}{6} x L &\geq \frac{\left(27,10 x 0,39 x \frac{1}{2} x 7,5^2\right) + \left(\frac{1}{2} x 0,39 x 15 x 7,5^2 x \frac{1}{3} x 7,5\right) - \left(2 x 5 x \sqrt{0,39} x \frac{1}{2} x 7,5^2\right)}{\left(7,5 x 15 x L\right) + \left(27,10 x L\right)}
 \end{aligned}$$

$$\frac{1}{6} x L \geq \frac{885,16}{139,60 L}$$

$$139,60 L^2 \geq 5310,99$$

$$L^2 = 38,04$$

$$L = 6,17 = 7 \text{ m}$$

Panjang geotekstil untuk menahan guling pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 7m

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

$$N_c = 22,25$$

$$N_\gamma = 12,54$$

$$\begin{aligned}
 q_{ult} &= (c x N_c) + \left(\frac{1}{2} L x \gamma b x N_\gamma\right) \\
 &= (5 x 22,25) + \left(\frac{1}{2} L x 15 x 12,54\right) \\
 &= 111,25 + 94,05 L
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ult} &= q_{ult} x SF \\
 &= (111,25 + 94,05 L) x 15 \\
 &= 166,87 + 141,07 L
 \end{aligned}$$

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

$$L \leq \frac{166,87 + 141,07L}{(7,5 \times 15) + 27,10}$$

$$139,60 L \leq 166,87 + 141,07 L$$

$$L \leq - 113,13 \text{ kN/m}^2$$

Dari analisis yang tertera diatas digunakan geotekstil sepanjang 17 m.

5.3.3 Stabilitas Internal

1. Panjang *overlapping* geotekstil

Contoh perhitungan ditinjau dari zona 1 pada geotekstil No.1

$$L_o = \frac{\sigma_{hci} \times S_{Vi} \times SF}{2 \times Z_i \times \gamma_b \times \tan \phi}$$

$$L_o = \frac{27,76 \times 1 \times 1,5}{2 \times 1 \times 15 \times \tan 26}$$

$$L_o = 1,177 \text{ m}$$

Syarat panjang *overlapping geotekstil* > 1 m, jadi panjang yang digunakan 1 m.

Berikut merupakan hasil rekapitulasi perhitungan *L_o* dapat dilihat Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil Rekapitulasi Perhitungan *L_o*

Timbunan	Geotekstil	<i>S_{vi}</i> (m)	<i>Z_i</i> (m)	<i>L_o</i> (m)	<i>L_o</i> pakai
Zona 1	1	1	1	1,177	1
	2	1	2	1,177	1
	3	1	3	1,177	1
	4	1	4	1,177	1
Zona 2	5	0,50	4,50	0,588	1
	6	0,50	5	0,588	1
	7	0,50	5,50	0,588	1
	8	0,50	6	0,588	1
	9	0,50	6,50	0,588	1
	10	0,50	7	0,588	1
	11	0,50	7,50	0,588	1
	12	0,50	7,50	0,588	1

2. Panjang efektif geotekstil

Contoh perhitungan ditinjau dari zona 1 pada geotekstil No.1

$$Le = \frac{SF \times SV_i \times Ka \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \tan \phi}$$

$$Le = \frac{SF \times SV_i \times Ka \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \tan \phi}$$

$$Le = \frac{1 \times 1,5 \times 0,39 \times 15 \times 4}{2 \times 15 \times 4 \times \tan 26}$$

$$Le = 0,248 \text{ m}$$

Panjang efektif yang digunakan yaitu sebesar 0,5 m

Berikut adalah hasil rekapitulasi panjang efektif geotekstil pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Perhitungan Panjang Efektif Geotekstil

Geotekstil	<i>Le</i> (m)	<i>Le</i> pakai
1	0,248	0,5
2	0,248	0,5
3	0,248	0,5
4	0,248	0,5
5	0,124	0,5
6	0,124	0,5
7	0,124	0,5
8	0,124	0,5
9	0,124	0,5
10	0,124	0,5
11	0,124	0,5
12	0,124	0,5

5.3.4 Cek Gaya Tarik Tanah – Geotekstil

Untuk memverifikasi kemampuan geotekstil dalam menanggung gaya tarik dengan nilai SV 0,5 m, dilakukan perhitungan tegangan geser yang berlaku. Geotekstil akan merespons dengan menahan dan mentransfer tegangan ke zona pasif ketika menerima beban dari atas (timbunan tanah), sehingga geotekstil dapat menanggung gaya tarik yang terjadi akibat beban tersebut. Diperlukan pengecekan

untuk menentukan jenis geotekstil yang mampu menahan gaya tarik sesuai dengan kebutuhan perencanaan.

Berikut adalah persamaan untuk mencari gaya tarik yang bekerja pada geotekstil.

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{\tan \varphi \times 2 \times \sigma_v \times L}{SF} \\
 &= \frac{\tan 26 \times 2 \times (0,5 \times 15) \times 17}{1,5} \\
 &= 106,873 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gaya tarik yang bekerja pada geotekstil adalah sebesar 106,873 kN/m, sedangkan kuat tarik geotekstil yang digunakan adalah 114,28 kN/m. Oleh karena itu, geotekstil memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan gaya tarik yang bekerja, karena 114,28 kN/m lebih besar daripada 106,873 kN (keadaan aman)

5.3.5 Analisis Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil menggunakan Program Plaxis v22

Stabilitas lereng timbunan yang diperkuat oleh geotekstil dianalisis dengan memodelkan sesuai dengan perhitungan kebutuhan geotekstil sebelumnya, dengan mempertahankan geometri yang identik dengan lereng timbunan dalam kondisi aslinya.

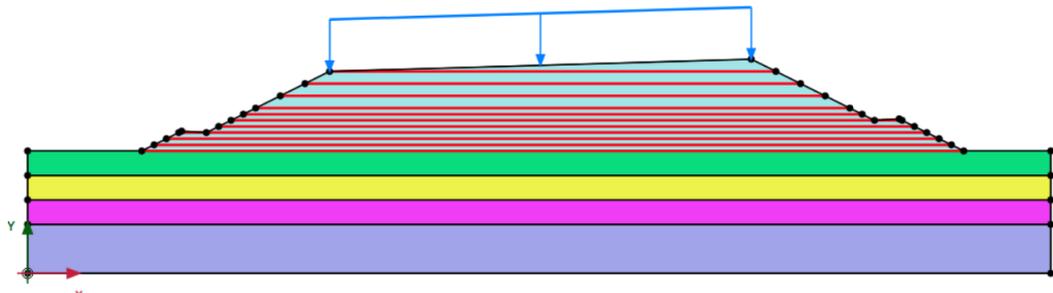
1. Analisis lereng dengan perkuatan geotekstil tanpa beban gempa

Berikut adalah tahapan dalam menganalisis lereng dengan perkuatan geotekstil tanpa beban gempa.

a. Pemodelan geometri

Pemodelan lereng timbunan yang diperkuat dengan geotekstil dilakukan dengan mempertahankan geometri, beban, dan material tanah yang sama seperti lereng tanpa perkuatan sebelumnya. Namun, untuk lereng timbunan yang diperkuat dengan geotekstil, parameter material geotekstil, yaitu Normal Stiffness (EA) sebesar 114,28 kN/m, ditambahkan sebagai input yang telah dihitung sebelumnya.

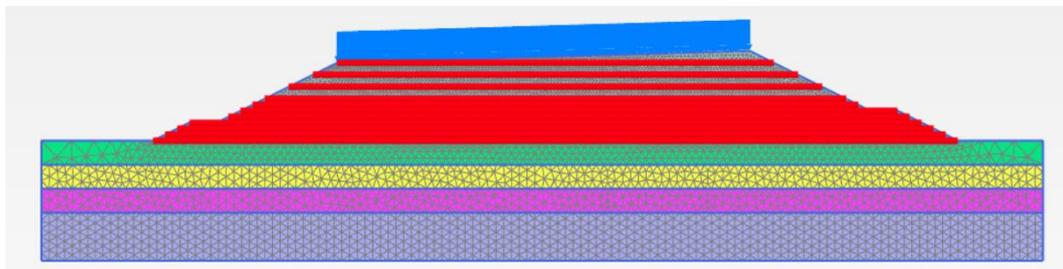
Gambar 5.15 menunjukkan pemodelan geometri lereng dengan perkuatan yang telah disiapkan.



Gambar 5.15 Pemodelan Geometri Lereng dengan Perkuatan Geotekstil

b. Mesh generation

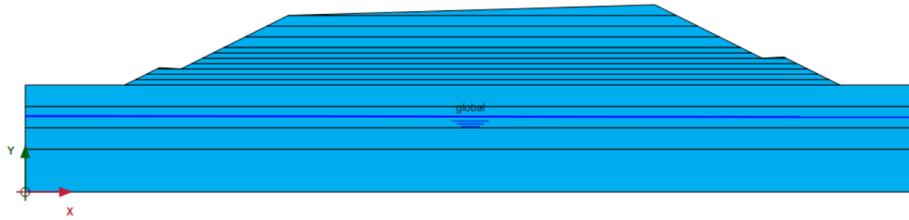
Tahap berikutnya melibatkan penyusunan jaringan elemen (meshing) pada lereng dengan tipe very fine. Tampilan jaringan elemen tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 meshing pada timbunan dengan perkuatan geotekstil

c. Kondisi pada aliran (flow condition)

Setelah proses meshing selesai, selanjutnya identifikasi posisi muka air tanah pada kedalaman 2,9 m dibawah permukaan tanah dasar. Informasi tentang kedalaman muka air tanah dapat ditemukan dalam Gambar 5.17.



Gambar 5.17 peletakkan Muka Air Tanah pada Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

d. Tahapan analisis timbunan lereng dengan perkuatan geotekstil

Analisis terbatas pada perhitungan faktor keamanan selama tahap konstruksi. Tahap konstruksi melibatkan proses pembangunan timbunan dan pemasangan geotekstil dari awal konstruksi hingga tahap perkerasan. Durasi konstruksi direncanakan selama 355 hari. Rincian analisis menggunakan Plaxis V22 dapat dilihat pada Tabel 5.10.

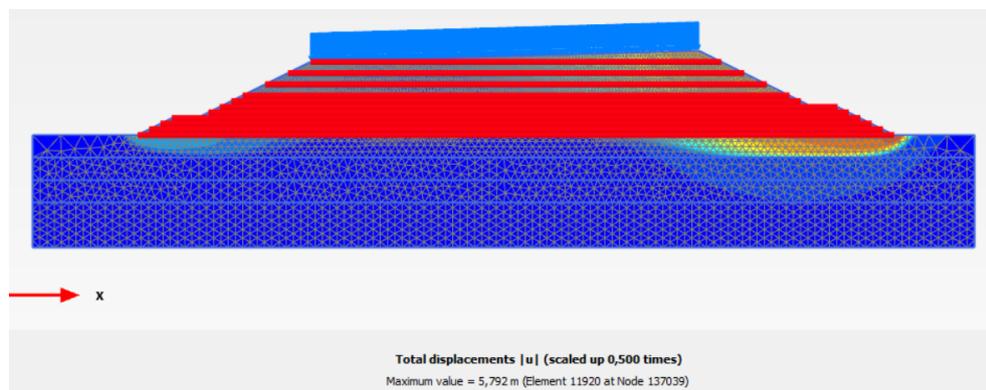
Tabel 5.10 Phase Analisis Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli Dengan Perkuatan Geotekstil

No	Fase	Hari	Total Hari	Tipe Perhitungan
1	Kondisi awal	0	0	-
2	Timbunan Lapis 1 + geotekstil	2	2	<i>Plastic Analysis</i>
3	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 1	20	22	<i>Consolidation Analysis</i>
4	Timbunan Lapis 2+ geotekstil	2	24	<i>Plastic Analysis</i>
5	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 2	20	44	<i>Consolidation Analysis</i>
6	Timbunan Lapis 3 + geotekstil	2	46	<i>Plastic Analysis</i>
7	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 3	20	66	<i>Consolidation Analysis</i>
8	Timbunan Lapis 4 + geotekstil	2	68	<i>Plastic Analysis</i>
9	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 4	20	88	<i>Consolidation Analysis</i>

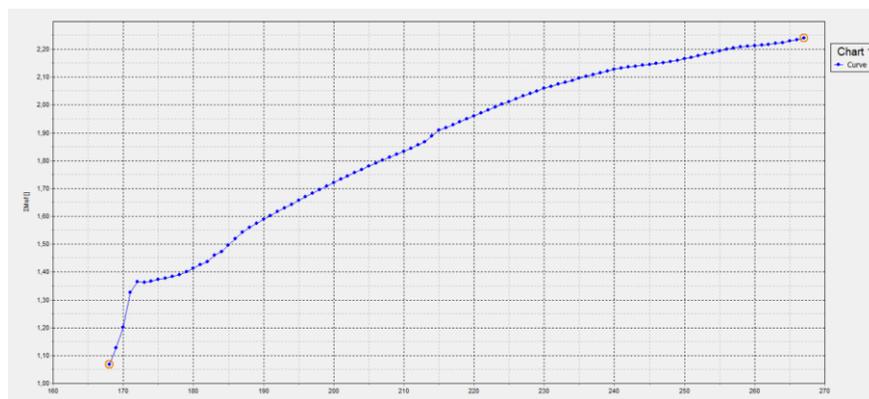
No	Fase	Hari	Total Hari	Tipe Perhitungan
10	Timbunan Lapis 5 + geotekstil	2	90	<i>Plastic Analysis</i>
11	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 5	20	110	<i>Consolidation Analisis</i>
12	Timbunan Lapis 6 + geotekstil	2	112	<i>Plastic Analysis</i>
13	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 6	20	132	<i>Consolidation Analisis</i>
14	Timbunan Lapis 7 + geotekstil	2	134	<i>Plastic Analysis</i>
15	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 7	20	154	<i>Consolidation Analisis</i>
16	Timbunan Lapis 8 + geotekstil	4	158	<i>Plastic Analysis</i>
17	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 8	30	188	<i>Consolidation Analisis</i>
18	Timbunan Lapis 9 + geotekstil	4	192	<i>Plastic Analysis</i>
19	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 9	30	222	<i>Consolidation Analisis</i>
20	Timbunan Lapis 10 + geotekstil	4	226	<i>Plastic Analysis</i>
21	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 10	30	256	<i>Consolidation Analisis</i>
22	Timbunan Lapis 11 + geotekstil	4	260	<i>Plastic Analysis</i>
23	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 11	30	290	<i>Consolidation Analisis</i>
24	Timbunan Lapis 12 + geotekstil	4	260	<i>Plastic Analysis</i>
25	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 12	30	290	<i>Consolidation Analisis</i>
26	Beban Lalu Lintas + Perkerasan	5	295	<i>Plastic Analysis</i>
27	Konsolidasi Beban Lalu Lintas + Perkerasan	60	355	<i>Consolidation Analisis</i>
28	SF Konstruksi	-	-	<i>Safety Analysis</i>

- e. Hasil analisis stabilitas lereng timbunan pada tanah asli dengan perkuatan geotekstil

Timbunan setinggi 7,5 m kondisi tanah asli dengan perkuatan geotekstil didapatkan angka aman sebesar 2,240. Untuk Gambar deformed mesh dengan pemodelan Plaxis V22 pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil dan grafik *safety factor* dapat dilihat pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Total Displacement Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

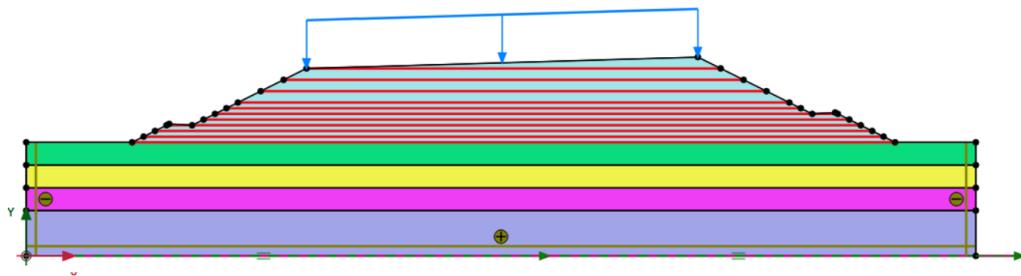


Gambar 5.19 Safety Factor Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

2. Analisis timbunan lereng dengan perkuatan geotekstil dengan beban gempa
 - a. Pemodelan geometri

Penggunaan geotekstil dalam memperkuat model lereng timbunan dilakukan dengan mempertahankan struktur geometrisnya, beban, dan material tanah yang

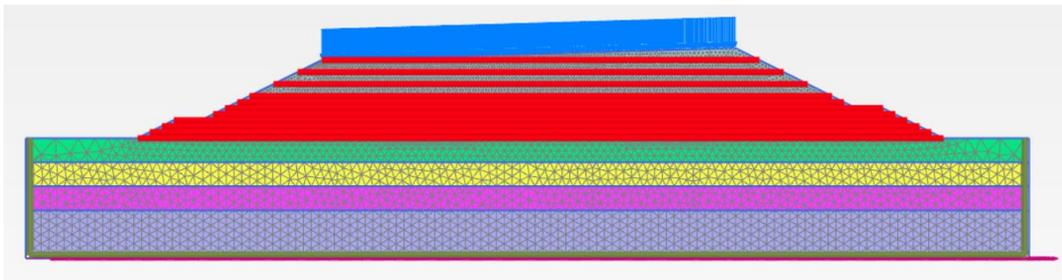
sama seperti lereng tanpa paerkuatan sebelumnya dengan menambahkan beban gempa sebesar 0,4g pada fase staged construction. untuk lereng timbunan yang diperkuat dengan geotekstil, parameter material geotekstil, yaitu Normal Stiffnes (EA) sebesar 114,28 kN/m sama seperti sebelumnya, ditambahkan sebagai input yang telah dihitung sebelumnya. Gambar 5.20 menggambarkan pemodelan struktur geometris lereng dengan perkuatan yang telah dipersiapkan.



Gambar 5.20 Pemodelan Geometri Lereng dengan Perkuatan Geotekstil

b. Mesh generation

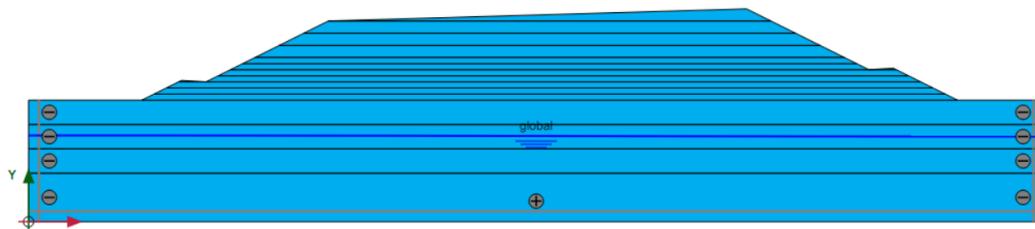
Tahap berikutnya melibatkan penyusunan jaringan elemen (meshing) pada lereng dengan tipe very fine. Tampilan jaringan elemen tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.21.



Gambar 5.21 Meshing Pada Timbunan dengan Beban Gempa dan Perkuatan Geotekstil

c. Kondisi aliran dengan penambahan beban gempa (flow condition)

Setelah proses meshing selesai, selanjutnya identifikasi posisi muka air tanah pada kedalaman 2,9 m dibawah permukaan tanah dasar. Informasi tentang kedalaman muka air tanah dapat ditemukan dalam Gambar 5.22.



Gambar 5.22 Peletakkan Muka Air Tanah Pada Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil dan Beban Gempa

- d. Tahapan analisis timbunan lereng dengan perkuatan geotekstil dengan beban gempa

Analisis terbatas pada perhitungan faktor keamanan selama tahap konstruksi. Tahap konstruksi melibatkan proses pembangunan timbunan dan pemasangan geotekstil dari awal konstruksi hingga tahap perkerasan. Durasi konstruksi direncanakan selama 355 hari. Rincian analisis menggunakan Plaxis V22 dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Phase Analisis Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan Geotekstil

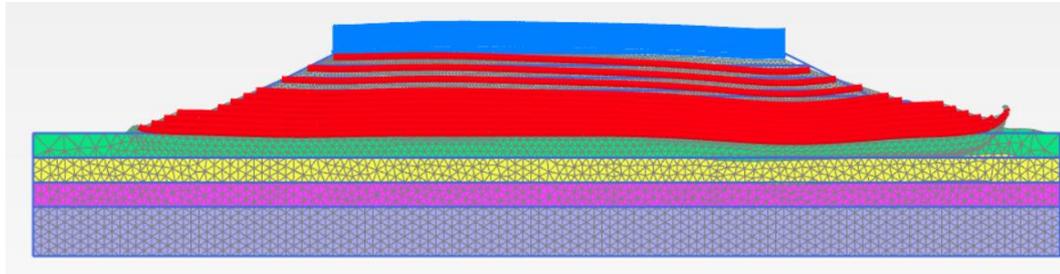
No	Fase	Hari	Total Hari	Type Perhitungan
1	Kondisi awal	0	0	-
2	Timbunan Lapis 1 + geotekstil	2	2	<i>Plastic Analysis</i>
3	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 1	20	22	<i>Consolidation Analysis</i>
4	Timbunan Lapis 2+ geotekstil	2	24	<i>Plastic Analysis</i>
5	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 2	20	44	<i>Consolidation Analysis</i>
6	Timbunan Lapis 3 + geotekstil	2	46	<i>Plastic Analysis</i>
7	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 3	20	66	<i>Consolidation Analysis</i>
8	Timbunan Lapis 4 + geotekstil	2	68	<i>Plastic Analysis</i>
9	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 4	20	88	<i>Consolidation Analysis</i>
10	Timbunan Lapis 5 + geotekstil	2	90	<i>Plastic Analysis</i>

No	Fase	Hari	Total Hari	Tipe Perhitungan
11	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 5	20	110	<i>Consolidation Analysis</i>
12	Timbunan Lapis 6 + geotekstil	2	112	<i>Plastic Analysis</i>
13	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 6	20	132	<i>Consolidation Analysis</i>
14	Timbunan Lapis 7 + geotekstil	2	134	<i>Plastic Analysis</i>
15	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 7	20	154	<i>Consolidation Analysis</i>
16	Timbunan Lapis 8 + geotekstil	4	158	<i>Plastic Analysis</i>
17	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 8	30	188	<i>Consolidation Analysis</i>
18	Timbunan Lapis 9 + geotekstil	4	192	<i>Plastic Analysis</i>
19	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 9	30	222	<i>Consolidation Analysis</i>
20	Timbunan Lapis 10 + geotekstil	4	226	<i>Plastic Analysis</i>
21	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 10	30	256	<i>Consolidation Analysis</i>
22	Timbunan Lapis 11 + geotekstil	4	260	<i>Plastic Analysis</i>
23	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 11	30	290	<i>Consolidation Analysis</i>
24	Timbunan Lapis 12 + geotekstil	4	260	<i>Plastic Analysis</i>
25	Konsolidasi geotekstil Timbunan Lapis 12	30	290	<i>Consolidation Analysis</i>
26	Beban Lalu Lintas + Perkerasan	5	295	<i>Plastic Analysis</i>
27	Konsolidasi Beban Lalu Lintas + Perkerasan	60	355	<i>Consolidation Analysis</i>
28	Beban Gempa	-	-	<i>Plastic Analysis</i>
29	SF Konstruksi	-	-	<i>Safety Analysis</i>

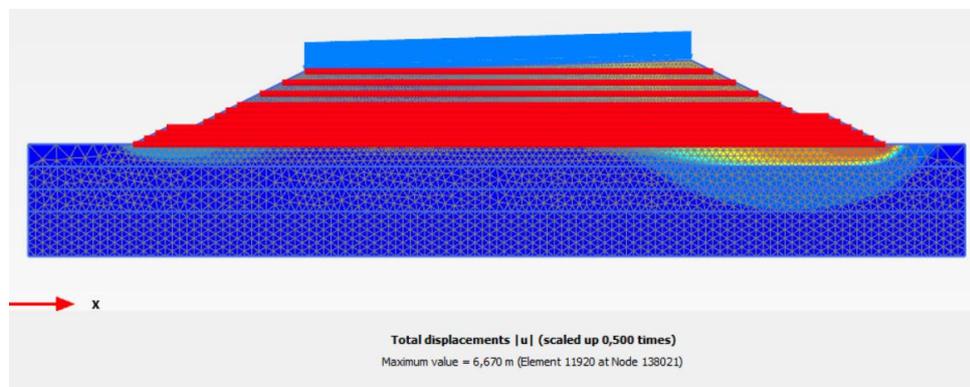
e. Hasil analisis stabilitas lereng timbunan dengan beban gempa

Timbunan setinggi 7,5 m kondisi tanah dengan perkuatan geotekstil dan penambahan beban gempa didapatkan angka aman sebesar 2,306. Untuk Gambar

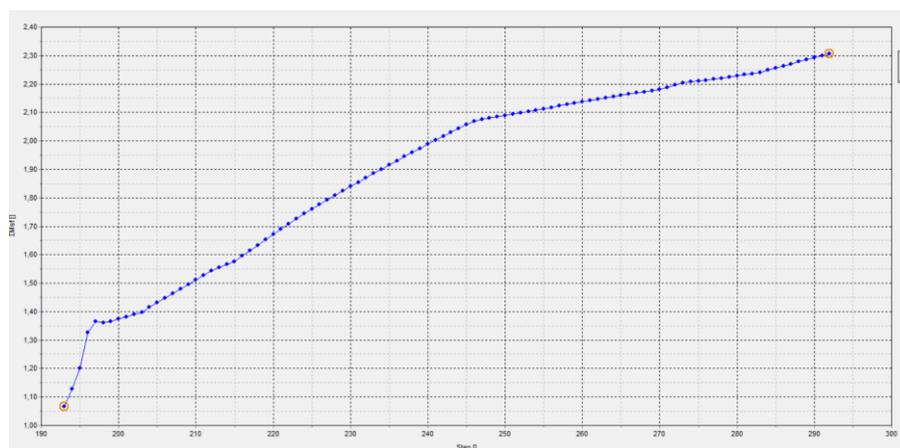
deformed mesh dengan pemodelan Plaxis V22 pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil dan grafik *safety factor* dapat dilihat pada Gambar 5.23.



Gambar 5. 23 Deformed Mesh Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil dan Beban Gempa



Gambar 5.24 Total Displacements Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil dan Beban Gempa



Gambar 5.25 Safety Factor Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil dan Beban Gempa

5.4 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Tanah

5.4.1 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer

Penelitian ini menganalisis menggunakan prinsip penurunan yang terkonsolidasi berlebih dengan mengasumsikan bahwa nilai $OCR > 1$ dan $P_o + \Delta P \leq P_c'$. Perhitungan bisa dilihat pada Persamaan 3.43.

Lapisan 1

$$C_c = 0,007 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$C_s = 0,115$$

$$e_o = 1,568$$

Untuk mendapatkan nilai Tegangan *Overburden* Efektif (P_o'), perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan 3.45.

$$P_o' = 1,8 \times 200$$

$$= 360 \text{ gr/cm}^2$$

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

$$q_o = (\gamma \times H) + \text{Beban Struktur}$$

$$= (1,5 \times 750) + 1210$$

$$= 2485 \text{ gr/cm}^2$$

Menghitung nilai ΔP dapat dihitung seperti berikut ini.

$$\Delta P = 2 \times q_o \times I$$

$$= 2 \times 2485 \times 0,5$$

$$= 2560 \text{ gr/cm}^2$$

Dengan demikian, deformasi tanah yang terjadi pada lapisan tanah 1 pada kedalaman 0 m hingga 2 m adalah berikut:

$$S = \frac{0,007 \times 200}{1+1568} \text{Log} \frac{342+2560}{360}$$

$$= 0,506 \text{ cm}$$

$$= 0,00506 \text{ m}$$

Tabel 5.12 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Lapisan	H (cm)	Po (gr/cm ²)	Δp (gr/cm ²)	Cc (cm ² /s)	eo	S (cm)
Lapisan 1	200	342	2560	7,00E-03	1,568	0,506
Lapisan 2	200	361	3632,5	7,00E-03	1,568	0,569
Lapisan 3	200	380	3760	7,00E-03	1,568	0,565
Lapisan 4	400	702	3505	7,00E-03	1,043	1,066
Total Penurunan						2,707

5.4.2 Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanpa menggunakan PVD

Perhitungan waktu yang diperlukan untuk mencapai konsolidasi sebesar 90% tanpa menggunakan PVD dilakukan menggunakan metode Terzaghi konsolidasi 1-D. Sebelum menghitung derajat konsolidasi, terlebih dahulu dihitung nilai koefisien konsolidasi vertikal gabungan (C_v gab) menggunakan Persamaan 3.49

$$\begin{aligned}
 C_{v\text{gab}} &= \frac{200+200+200+400}{\left(\frac{200}{0,000153} + \frac{200}{0,000153} + \frac{200}{0,000153} + \frac{400}{0,000548}\right)} \\
 &= 0,000951045096591 \text{ cm}^2/\text{s} \\
 &= 0,09510451 \text{ m}^2/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Menghitung faktor waktu (T_v) pada hari pertama dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.53.

$$\begin{aligned}
 T_v &= \frac{0,09510451 \times 1}{\left(\frac{10}{2}\right)^2} \\
 &= 0,0038
 \end{aligned}$$

Menghitung derajat konsolidasi dalam arah vertikal (U_v) pada hari pertama dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.57.

$$\begin{aligned}
 U_v &= \frac{\sqrt{\frac{4 \times 0,0038}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \times 0,0038}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,79}} \\
 &= 0,069 \\
 S &= 0,069 \times 0,03
 \end{aligned}$$

$$= 0,0019 \text{ m}$$

Hasil derajat konsolidasi dalam arah vertikal (U_v) tanpa menggunakan PVD dapat ditemukan dalam Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (C_v) Tanpa PVD

t (hari)	C_v gab (m^2/day)	T_v	U_v	S (m)
1	0,0951	0,0038	0,0696	0,0019
10	0,0951	0,0380	0,2201	0,0060
100	0,0951	0,3804	0,6808	0,0184
207	0,0951	0,7875	0,8839	0,0239
1000	0,0951	3,8042	0,9960	0,0270
5000	0,0951	19,0209	0,9962	0,0270
10000	0,0951	38,0418	0,9954	0,0269

5.4.3 Perhitungan Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD

Perhitungan tingkat konsolidasi dengan penerapan PVD dilakukan dengan menggunakan pola segitiga. PVD dipasang dengan jarak interval 0,9 meter. Berikut adalah hasil perhitungan tingkat konsolidasinya.

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

$$\begin{aligned} C_{v_{gab}} &= 0,0009510 \text{ cm}^2/\text{s} \\ &= 0,09510 \text{ m}^2/\text{hari} \end{aligned}$$

$$T_v = 0,003$$

$$U_v = 0,069$$

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

$$\begin{aligned} C_H &= 1,5 \times C_v \\ &= 1,5 \times 0,09510 \\ &= 0,142 \text{ m}^2/\text{hari} \end{aligned}$$

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

$$D_e = 1,05 \times 0,9$$

$$= 0,945 \text{ m}$$

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

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

$$= 0,00955$$

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

$$F(n) = 1n \left(\frac{0,945}{0,00955} \right) - \frac{3}{4}$$

$$= 3,844717432$$

Perhitungan untuk mencari faktor waktu horizontal (T_h) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.45

$$T_h = \frac{0,142656764 \times 1}{0,0945^2}$$

$$= 0,159745544$$

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

$$U_H = 1 - \exp \left(\frac{-8 \times 0,159745544}{3,844717432} \right)$$

$$= 0,28280$$

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

$$U = 1 - ((1 - 0,086995249) \times (1 - 0,282795936))$$

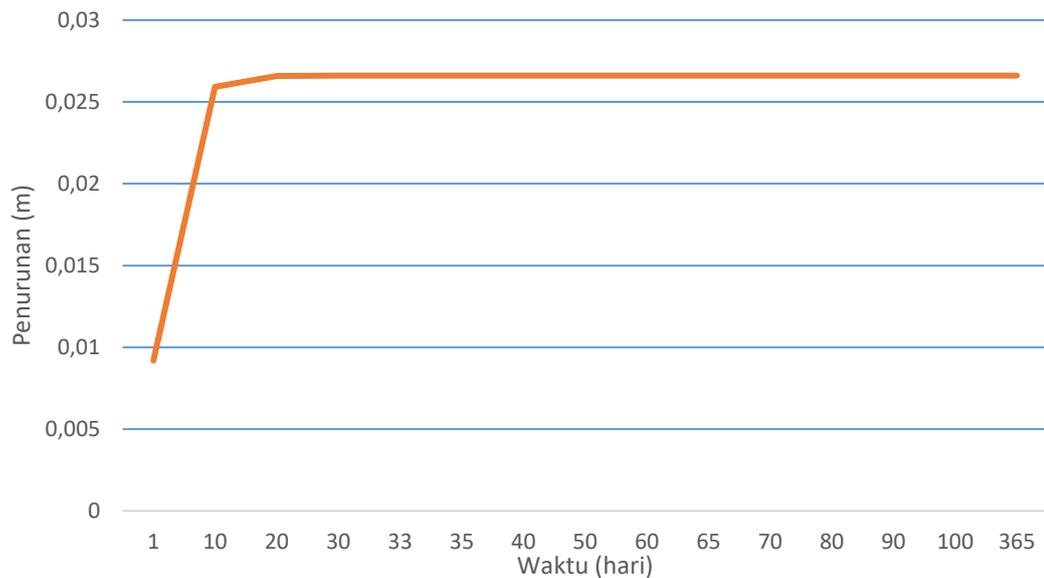
$$= 0,345$$

Berikut terlihat hasil evaluasi tingkat konsolidasi dengan penerapan PVD menggunakan pola segitiga dan pemasangan dengan interval 0,9 meter dalam Tabel 5.14 dan Gambar 5.26.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Analisis Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD dengan Pola Segitiga dan Jarak 0,9 m

T (hari)	T_v	C_v (m ² /hari)	U_v	T_h	C_h (m ² /hari)	U_h	U	S (m)
1	0,00594	0,09510	0,08700	0,15975	0,14266	0,28280	0,34519	0,00919
10	0,05944	0,09510	0,27507	1,59746	0,14266	0,96399	0,97389	0,02592

T (hari)	T _v	C _v (m ² /hari)	U _v	T _h	C _h (m ² /hari)	U _h	U	S (m)
20	0,11888	0,09510	0,38870	3,19491	0,14266	0,99870	0,99921	0,02659
30	0,17832	0,09510	0,47516	4,79237	0,14266	0,99995	0,99998	0,02661
33	0,19615	0,09510	0,49793	5,27160	0,14266	0,99998	0,99999	0,02661
35	0,20804	0,09510	0,51247	5,59109	0,14266	0,99999	1,00000	0,02661
40	0,23776	0,09510	0,54681	6,38982	0,14266	1,00000	1,00000	0,02661
50	0,29720	0,09510	0,60817	7,98728	0,14266	1,00000	1,00000	0,02661
60	0,35664	0,09510	0,66143	9,58473	0,14266	1,00000	1,00000	0,02661
65	0,38636	0,09510	0,68542	10,38346	0,14266	1,00000	1,00000	0,02661
70	0,41608	0,09510	0,70781	11,18219	0,14266	1,00000	1,00000	0,02661
80	0,47552	0,09510	0,74814	12,77964	0,14266	1,00000	1,00000	0,02661
90	0,53496	0,09510	0,78306	14,37710	0,14266	1,00000	1,00000	0,02661
100	0,59440	0,09510	0,81314	15,97455	0,14266	1,00000	1,00000	0,02661
365	2,16957	0,09510	0,98873	58,30712	0,14266	1,00000	1,00000	0,02661

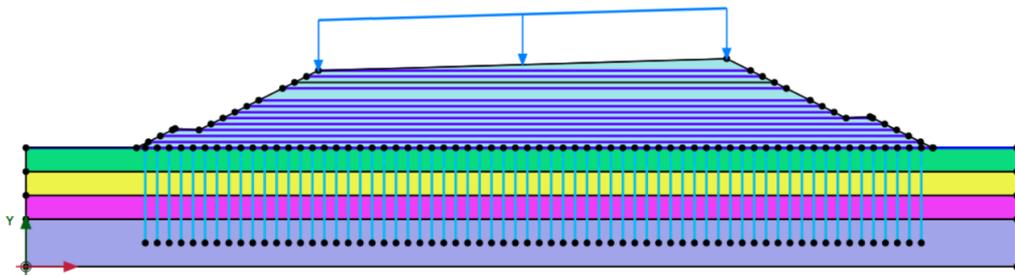


Gambar 5.26 Grafik Hubungan Antara Waktu dan Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD dengan Pola Segitiga dan Jarak 0,9 m

5.5 Lereng Timbunan Tanah Asli Dengan *Prefabricated vertical drain*

1. Pemodelan pada program PLAXIS V22

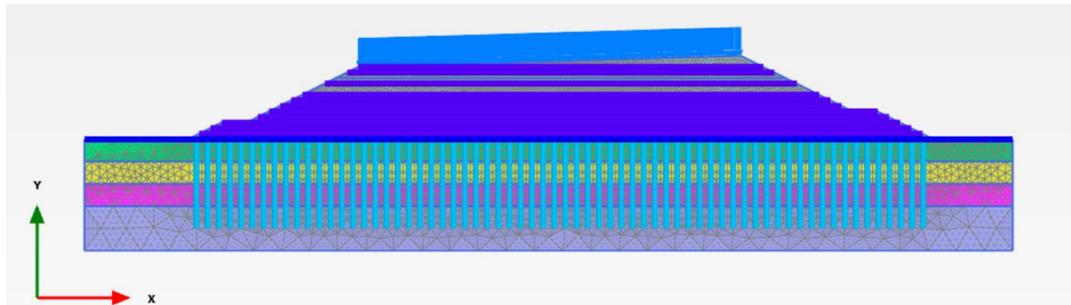
Pemodelan awal penimbunan lereng tanah asli setinggi 7,5 m dengan memanfaatkan *prefabricated vertical drain* pada umumnya serupa dengan permodelan lereng tanah asli setinggi 7,5 m, namun dengan tambahan pemasangan *prefabricated vertical drain* pada lapisan tanah dasar dan pada tingkat platform penimbunan setinggi 1 m. Pemasangan *Prefabricated vertical drain* dilakukan dengan jarak antar saluran sebesar 0,9 m dan kedalaman mencapai 8 m. Pemodelan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.27.



Gambar 5.27 Pemasangan *Prefabricated vertical drain*

2. Pembuatan Jaring Elemen (*Meshing*)

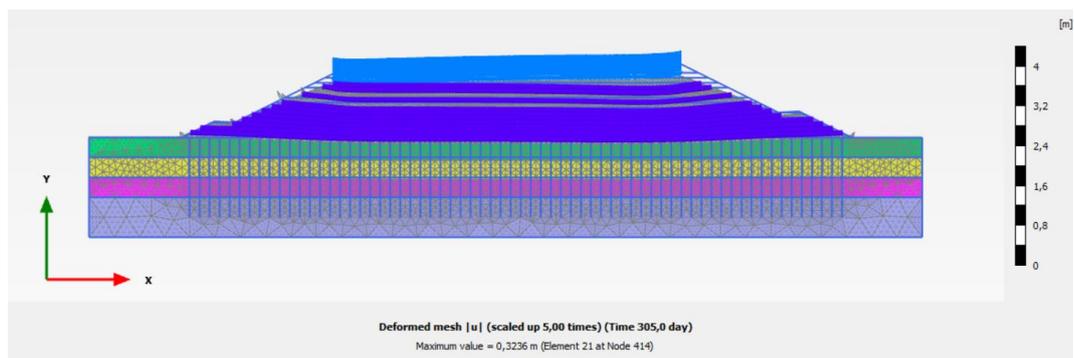
Setelah menyelesaikan proses pemodelan dan memasukkan data, langkah selanjutnya adalah membuat jaringan elemen (*meshing*) pada lereng dengan memilih tipe *meshing* yang disebut sebagai medium. Susunan elemen jaringan pada timbunan lereng tanah asli setinggi 7,5 m dengan pemanfaatan *prefabricated vertical drain* dapat dilihat pada Gambar 5.28.



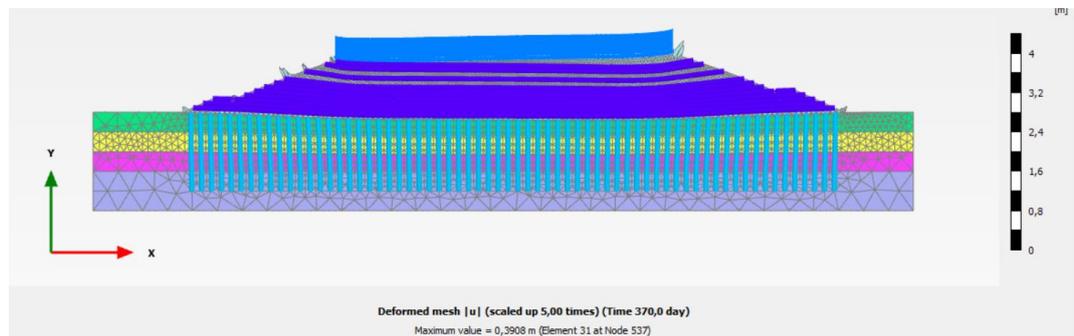
Gambar 5.28 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 7,5 Meter Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated vertical drain*

3. Kondisi Masa Konstruksi

Pada fase konstruksi timbunan lereng tanah asli setinggi m dengan penggunaan *Prefabricated vertical drain*, prosesnya serupa dengan tahap konstruksi pada tanah asli setinggi 7,5m, hanya dengan penambahan perbaikan pada tanah dasar melalui pemasangan *prefabricated vertical drain* hingga kedalaman 8m sebelum melaksanakan penimbunan lereng tanah. Hasil *mesh* yang mengalami deformasi pada timbunan lereng 7,5 m pada kondisi tanah asli dengan *prefabricated vertical drain* selama masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.29 dan Gambar 5.30.

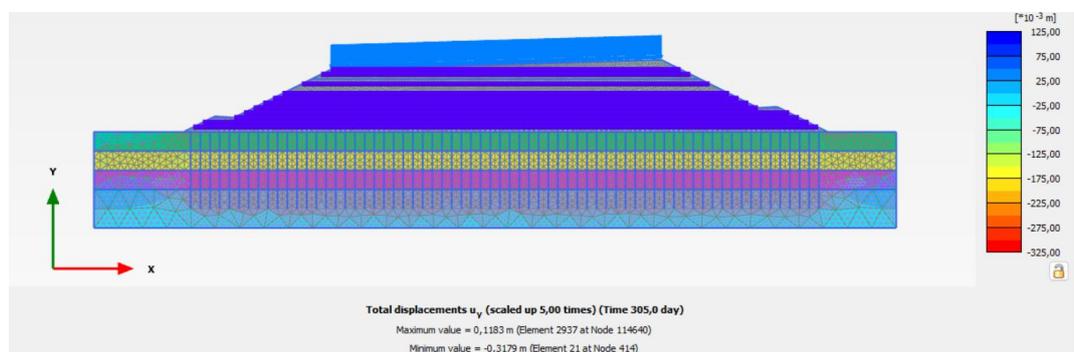


Gambar 5.29 Deformed Mesh Timbunan 7,5 m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated vertical drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

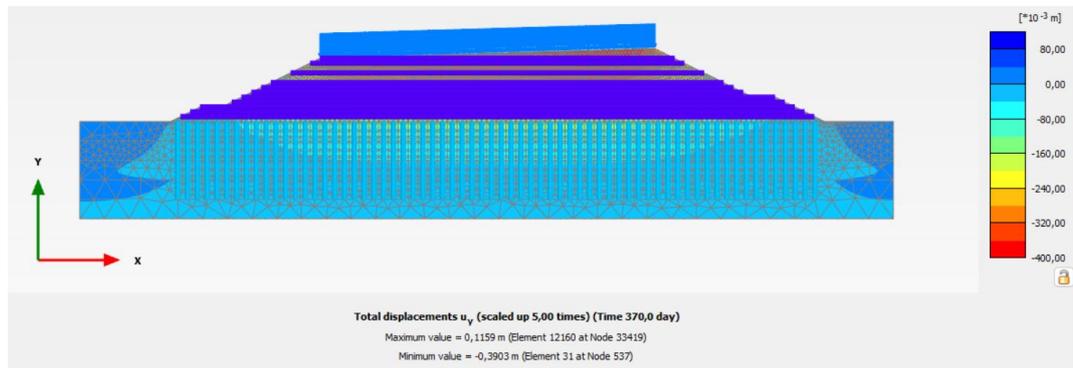


Gambar 5.30 Deformed Mesh Timbunan 7,5 m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated vertical drain Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Selanjutnya, pergeseran jumlah yang terjadi pada timbunan tanah setinggi 7,5m dengan penggunaan *prefabricated vertical drain* akibat beban struktural adalah sebesar 0,1609 m. Hasil dari pergeseran total dapat ditemukan pada Gambar 5.31 dan 5.32.

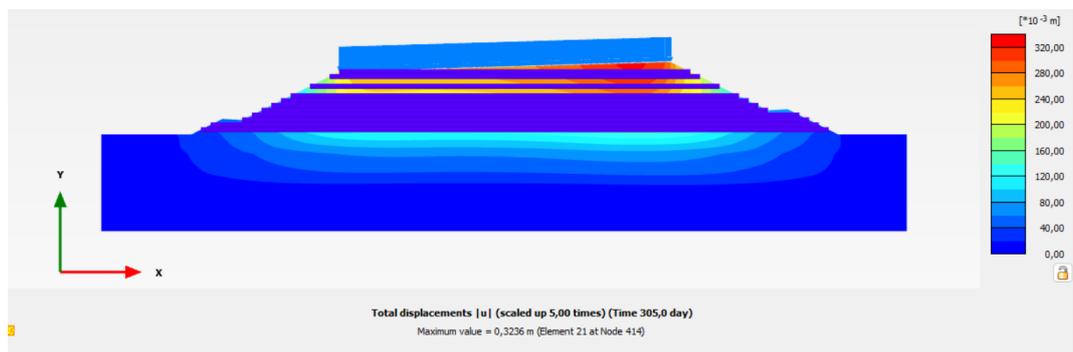


Gambar 5.31 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 7,5 m Kondisi Tanah Asli dengan Prefabricated vertical drain Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

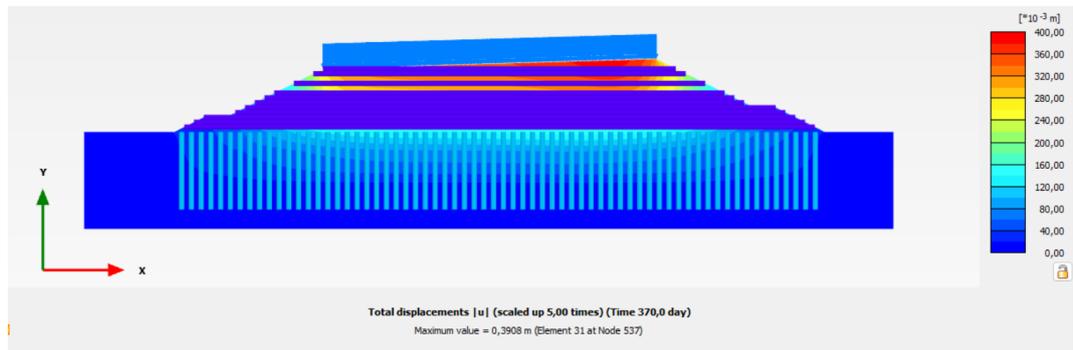


Gambar 5.32 Arah Pergerakan Tanah Timbunan 7,5 m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated vertical drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Selanjutnya, arah pergerakan tanah pada timbunan lereng tanah asli setinggi 7,5 m dengan penggunaan *prefabricated vertical drain* selama masa konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.33 dan 5.34.

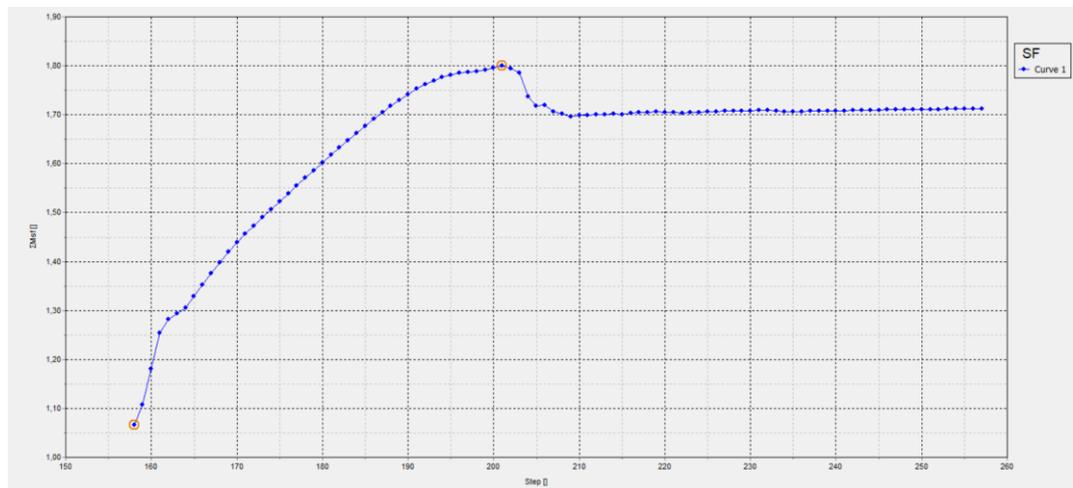


Gambar 5.33 Arah Pergerakan Total Tanah Timbunan 7,5m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated vertical drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur

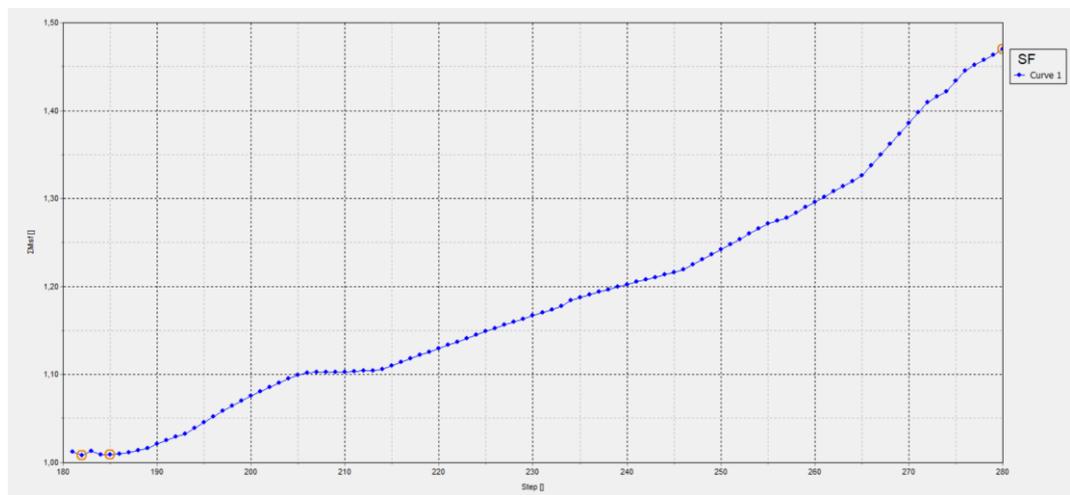


Gambar 5.34 Arah Pergerakan Tanah Total Timbunan 7,5m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated vertical drain* Masa Konstruksi Akibat Beban Struktur dan Gempa

Angka keamanan pada timbunan setinggi 7,5 m dalam kondisi tanah asli dengan pemanfaatan *prefabricated vertical drain* selama masa konstruksi adalah sebesar 1,731 dan untuk kondisi tanah asli dengan beban gempa adalah 1,469. Detail nilai angka keamanan dapat ditemukan dalam kurva pada Gambar 5.35 dan Gambar 5.36.



Gambar 5.35 Kurva SF Timbunan 7,5m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated vertical drain* Masa Konstruksi



Gambar 5.36 Kurva SF Timbunan 7,5m Kondisi Tanah Asli dengan *Prefabricated vertical drain* Masa Konstruksi dengan Beban Gempa

5.6 Pembahasan

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis stabilitas lereng timbunan jalan di proyek Tol Cibitung – Cilincing untuk menentukan nilai keamanan lereng. Proses analisis melibatkan penggunaan PLAXIS V22 dengan tinggi timbunan yaitu 7,5 m pada kondisi tanah asli. Selain itu, tanah asli diperkuat dengan *prefabricated vertical drain* dan juga geotekstil. Analisis stabilitas lereng ini mempertimbangkan kondisi selama masa konstruksi, serta kondisi setelah timbunan siap digunakan atau dalam kondisi paska konstruksi. Parameter yang dipertimbangkan melibatkan beban merata dari struktur jalan tol, beban lalu lintas kendaraan, dan beban gempa sesuai dengan zonasi gempa di daerah Bekasi.

5.5.1 Angka keamanan

Ketika menjalankan program Plaxis V22, fase perhitungan beban gempa mengalami *collapse*. Hasil dari angka keamanan dengan program Plaxis V22 dengan ketinggian timbunan setinggi 7,5 m berhasil dihitung karena angka keamanan mencapai 1,469. Berikut Tabel 5.15 dan Tabel 5.16 yang merupakan hasil angka keamanan pada lereng timbunan 7,5 tanpa beban gempa dan lereng timbunan 7,5 dengan beban gempa.

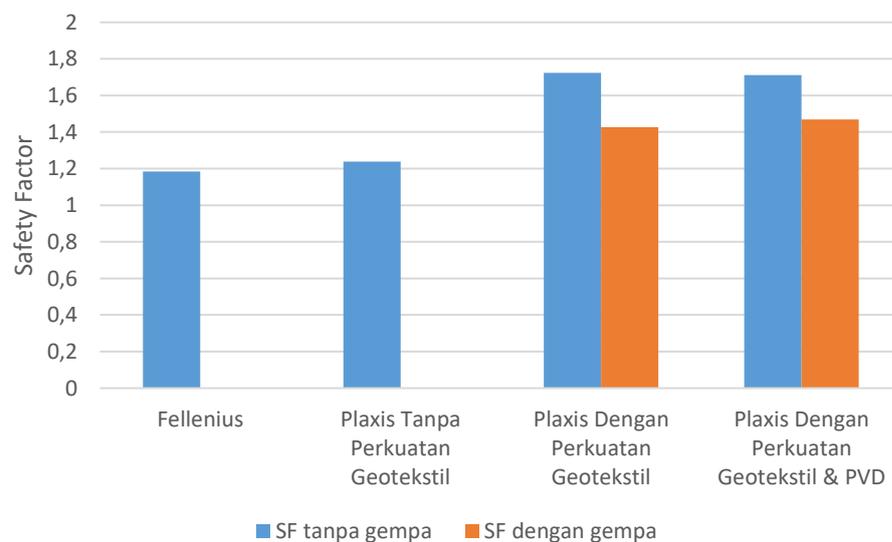
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil SF Tanpa Beban Gempa

Timbunan (m)	Metode	Angka Keamanan
7,5	Fellenius	1,184
	Plaxis Tanpa Perkuatan Geotekstil	1,238
	Plaxis Dengan Perkuatan Geotekstil	1,723
	Plaxis Dengan Perkuatan Geotekstil & PVD	1,712

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil SF Dengan Beban Gempa

Timbunan (m)	Metode	Angka Keamanan
		Paska Konstruksi
7,5	Plaxis Tanpa Perkuatan Geotekstil	<i>collapse</i>
	Plaxis Dengan Perkuatan Geotekstil	1,427
	Plaxis Dengan Perkuatan Geotekstil & PVD	1,469

Berikut merupakan grafik analisis perhitungan Angka Keamanan (SF) dengan menggunakan program PLAXIS V22 pada tinggi timbunan 7,5 m yang dapat dilihat pada Gambar 5.3.

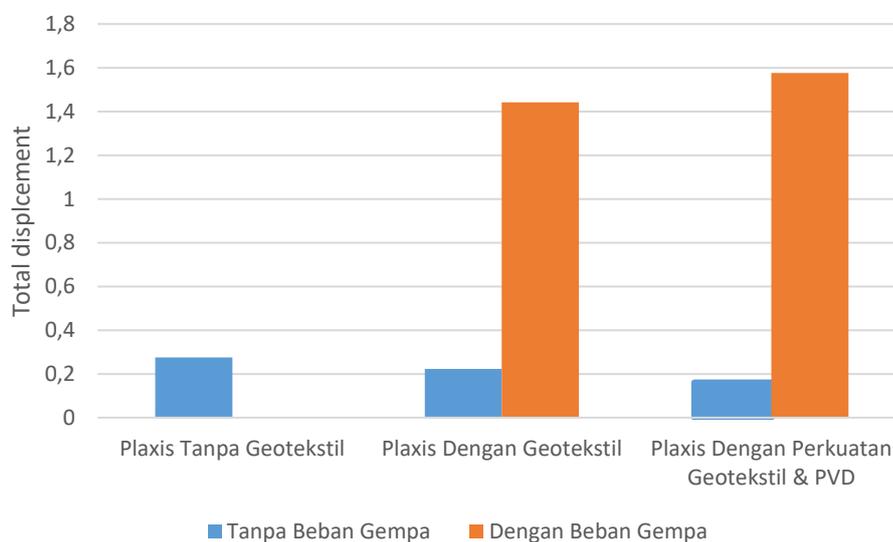
**Gambar 5.37 Grafik Rekapitulasi Angka Keamanan PLAXIS V22**

Berdasarkan hasil analisis yang didapatkan dengan program PLAXIS V22 pada masing-masing metode didapatkan hasil angka keamanan tanpa beban gempa yang berbeda-beda, maka didapatkan hasil total *displacement* dan angka keamanan pada tinggi timbunan 7,5 m yang dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Total *Displacement* Dengan PLAXIS V22

Tinggi Timbunan	Pemodelan	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa
7,5 m	Plaxis Tanpa Geotekstil	0,276 m	<i>collapse</i>
	Plaxis Dengan Geotekstil	0,207 m	1,442 m
	Plaxis Dengan Perkuatan Geotekstil & PVD	0,1609 m	1,577 m

Berikut merupakan grafik analisis perhitungan total *displacement* dengan menggunakan program PLAXIS V22 pada tinggi timbunan 7,5 m yang dapat dilihat pada Gambar 5.38.



Gambar 5.38 Grafik Rekapitulasi Total *Displacement* PLAXIS V22

Hasil analisis dengan Plaxis menunjukkan bahwa penggunaan geotekstil dan *prefabricated vertical drain* meningkatkan angka keamanan pada timbunan dengan

tinggi 7,5 meter dibandingkan tanpa perkuatan. Namun, untuk timbunan yang tidak memakai perkuatan belum mencapai syarat minimal $\geq 1,35$. Pada timbunan yang tidak memakai perkuatan dengan penambahan beban gempa masih terjadi *soil body collapse*. Penggunaan geotekstil dan *prefabricated vertical drain* meningkatkan angka keamanan dengan mencapai lebih dari batas minimal $\geq 1,35$.

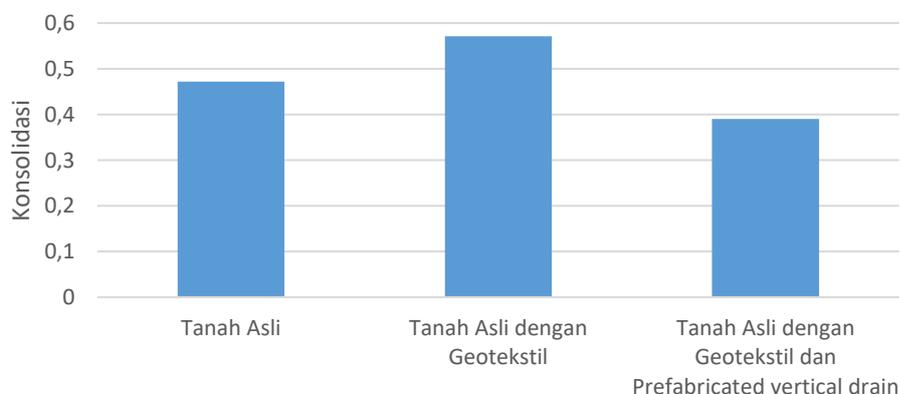
5.6.1 Konsolidasi

Analisis konsolidasi menggunakan program Plaxis V22 dilakukan dengan menghitung konsolidasi menggunakan opsi minimum tekanan pori berlebih. Hasil penurunan konsolidasi pada fase minimum tekanan pori berlebih yang dianalisis dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Penurunan Konsolidasi Fase Minimum Tekanan Pori Berlebih

Tinggi Timbunan	Pemodelan	Penurunan (m)
7,5	Tanah Asli	0,472
	Tanah Asli dengan Geotekstil	0,571
	Tanah Asli dengan Geotekstil dan <i>Prefabricated vertical drain</i>	0,390

Grafik rekapitulasi hasil Konsolidasi dengan menghitung tekanan air pori berlebih dapat dilihat pada Gambar 5.39.



Gambar 5.39 Grafik Rekapitulasi Hasil Konsolidasi

Dari analisis konsolidasi menggunakan perhitungan tekanan air pori berlebih dapat dilihat bahwa penggunaan geotekstil menambah tingkat konsolidasi menjadi lebih besar. Sedangkan tidak memakai geotekstil justru lebih rendah. Selain itu, dapat dilihat dengan menggunakan geotekstil dan *prefabricated vertical drain* dapat mengurangi tingkat konsolidasi.

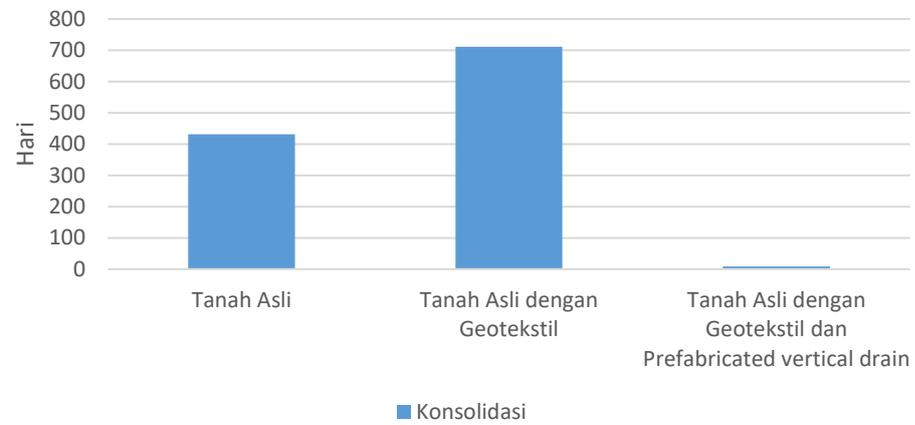
5.6.2 Derajat Konsolidasi

Analisis tingkat konsolidasi menggunakan Plaxis V22 dilakukan dengan menghitung konsolidasi menggunakan perhitungan *degree of consolidation* pada fase konsolidasi *stage contuction*. Tujuan dari perhitungan ini adalah untuk menentukan waktu yang diperlukan agar tanah mencapai tingkat konsolidasi 90%. Informasi mengenai waktu yang diperlukan untuk mencapai tingkat konsolidasi 90% dapat ditemukan dalam Tabel 5.19 di bawah ini.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil untuk mencapai tingkat konsolidasi 90%

Tinggi Timbunan (m)	Pemodelan	Waktu Derajat Konsolidasi 90% (Hari)
7,5	Tanah Asli	431
	Tanah Asli dengan Geotekstil	711
	Tanah Asli dengan Geotekstil dan <i>Prefabricated vertical drain</i>	9

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dengan menggunakan program Plaxis V22, dapat dilihat bahwa penggunaan geotekstil tidak dapat mempercepat konsolidasi pada tanah asli untuk mencapai derajat konsolidasi 90%. Sedangkan, penggunaan geotekstil dengan penambahan *prefabricated vertical drain* dapat mempercepat waktu derajat konsolidasi 90%. Grafik rekapitulasi waktu derajat konsolidasi 90% dapat dilihat pada Gambar 5.40 berikut.



Gambar 5.40 Grafik rekapitulasi waktu derajat konsolidasi 90%

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

5.7 Kesimpulan

Dari analisis perhitungan dan diskusi pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya dalam bab ini, dapat disimpulkan hal-hal berikut.

1. Hasil analisis stabilitas timbunan tanpa perkuatan dengan tinggi timbunan setinggi 7,5 meter menggunakan program Plaxis V22 menunjukkan bahwa angka keamanan untuk lereng timbunan sebesar 1,238, lebih besar dari menggunakan metode *fellenius* dengan besar angka keamanan yaitu 1,184. Selanjutnya untuk analisis stabilitas timbunan lereng setinggi 7,5 meter tanpa perkuatan dengan penambahan beban gempa terjadi *soil body collapse*. kemudian hasil dari analisis konsolidasi menggunakan program Plaxis V22 tanpa adanya perkuatan dengan menggunakan perhitungan *excess pore water pressure* pada tahap *stage construction* mendapat nilai konsolidasi sebesar 0,472 m.
2. Hasil analisis stabilitas timbunan dengan perkuatan geotekstil dengan tinggi timbunan setinggi 7,5 meter menggunakan program Plaxis V22 menunjukkan bahwa angka keamanan untuk lereng timbunan sebesar 1,723. Selanjutnya untuk analisis stabilitas timbunan lereng setinggi 7,5 meter dengan perkuatan geotekstil dengan penambahan beban gempa mendapat angka keamanan untuk lereng timbunan sebesar 1,427. Kemudian hasil dari analisis konsolidasi menggunakan program Plaxis V22 dengan adanya perkuatan geotekstil dengan menggunakan perhitungan *excess pore water pressure* pada tahap *stage construction* mendapat nilai konsolidasi sebesar 0,571 m.
3. Hasil analisis stabilitas timbunan dengan perkuatan geotekstil dan *prefabricated vertical drain* dengan tinggi timbunan setinggi 7,5 meter menggunakan program Plaxis V22 menunjukkan bahwa angka keamanan untuk lereng timbunan sebesar 1,712. Selanjutnya untuk analisis stabilitas

timbunan lereng setinggi 7,5 meter dengan perkuatan geotekstil dan *prefabricated vertical drain* dengan penambahan beban gempa mendapat angka keamanan untuk lereng timbunan sebesar 1,469. Kemudian hasil dari analisis konsolidasi menggunakan program Plaxis V22 dengan adanya perkuatan geotekstil dengan menggunakan perhitungan *excess pore water pressure* pada tahap *stage construction* mendapat nilai konsolidasi sebesar 0,390 m.

4. Penggunaan geotekstil tidak mempengaruhi nilai penurunan dikarenakan nilai penurunan dengan menggunakan perkuatan geotekstil lebih besar dari tanah asli tanpa perkuatan. Sedangkan menggunakan perkuatan geotekstil dan *prefabricated vertical drain* dapat mengurangi penurunan.
5. Penggunaan perkuatan geotekstil dan *prefabricated vertical drain* yang dianalisis penulis dapat mempercepat waktu konsolidasi untuk mencapai 90%. Sedangkan menggunakan perkuatan geotekstil tanpa adanya *prefabricated vertical drain* lebih lama untuk mencapai derajat konsolidasi 90%.

5.8 Saran

Berikut adalah saran dari penulis dari hasil yang didapat dalam penelitian sebagai berikut.

1. Penelitian dapat dilakukan dengan menggunakan software lain seperti Geostudio.
2. Selain menggunakan perkuatan geotekstil, penelitian dapat menggunakan perkuatan lainnya seperti matras bambu atau menggunakan metode *soil nailing*.
3. Menggunakan perhitungan manual seperti *bishop* atau lainnya dengan tujuan angka aman lebih mendekati syarat angka keamanan yang disyaratkan.
4. Mengembangkan analisis ini dengan penambahan *sheet pile*.

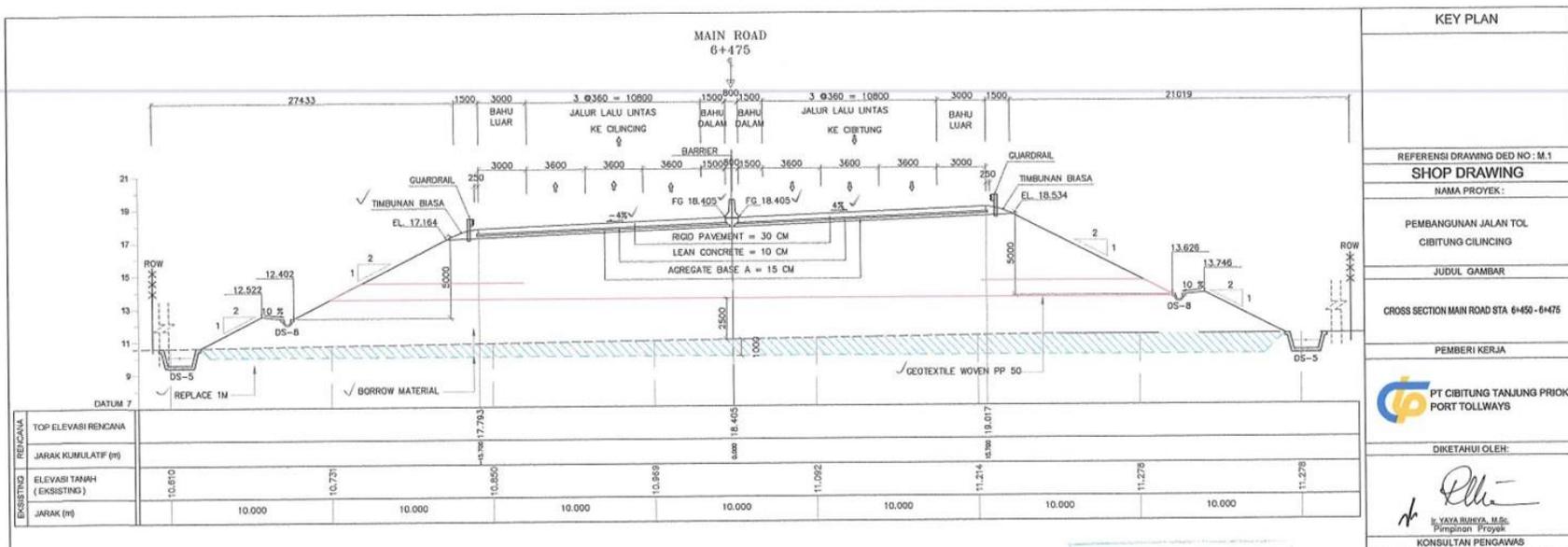
DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Thantowi Hamdani. (2019). *Stability Analysis of Road Embankment on the Soft Soil Using Sheet Pile and Geotextile*. 110.
- Akbar. (2014). *Analisis stabilitas timbunan badan jalan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program plaxis*.
- Arsy, A. A. (2018). Analisis Stabilitas Timbunan pada Konstruksi Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius (Studi Kasus: Proyek Jalan Tol Solo-Kertosono Sta 4 +175). *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 6(2), 104–112.
- Bowles, J. . (1989). *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Erlangga.
- Chandra, A. A. (2021). Analisis Kestabilan Lereng pada Ruas Jalan Nimbontong-Taja-Lereh Di KM 123+700. *Syntax Idea*, 3(8), 1789–1801. <https://doi.org/10.46799/syntax-idea.v3i8.1406>
- Das, B. M. (1993). *Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid II*. Erlangga.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik*. Penerbit Erlangga, 1–300.
- Dhianty, E. (2018). *Perumusan Indeks Pemampatan Sekunder dan Metode Menghilangkan Pemampatan Sekudener pada Tanah Lempung*.
- Hardiyatmo, H. . (1994). *Mekanika Tanah 2. Edisi Pertama*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. (1992). *Mekanika Tanah I. Gadjah Mada University Press*, 1.
- Hardiyatmo, H. C. (2003). *Mekanika Tanah II. Edisi Ke III*. Gadjah Mada University Press.
- Hayumi, L. (2021). *Analisis Stabilitas Timbunan Pada Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS (Studi Kasus: Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi I)*. 1–120.
- Head (1982) *kuat geser tanah.pdf*. (n.d.).
- Marga, B. (2009). *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan*

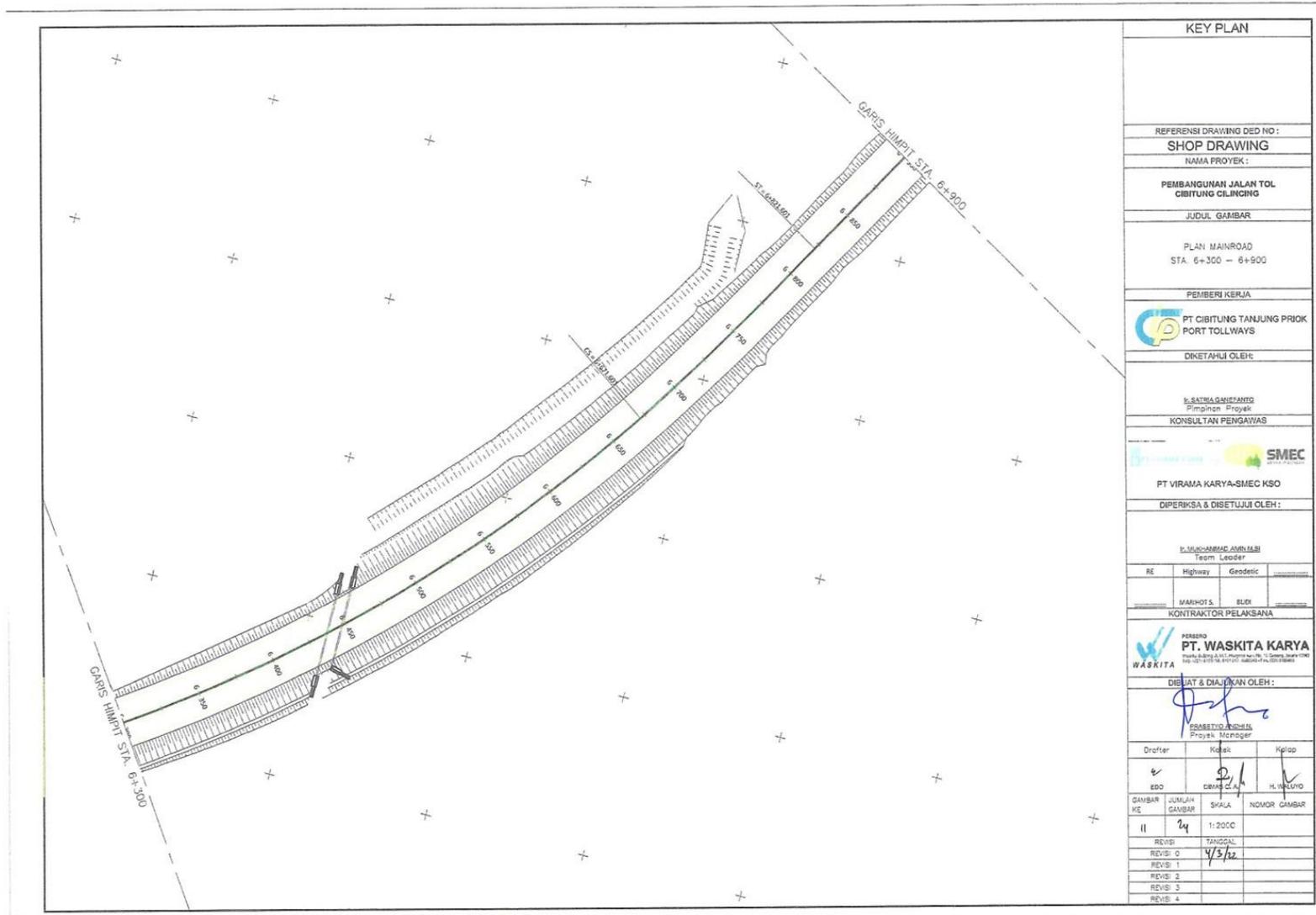
Geosintetik.

- Mathematics, A. (2016). *Analisis Stabilitas Timbunan Jalan Di Atas Tanah Lunak Dengan Perkuatan Sheet Pile Dan Geotekstil*. 1–23.
- Prasetyo Utomo, B. (2019). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Dengan Menggunakan Program GEOSLOPE (Studi Kasus. *Universitas Islam Indonesia*.
- Purwanto, E. (2012). *Hand Out Mata Kuliah Perkuatan Tanah*. Universitas Islam Indonesia.
- Rachmansyah, A. (2019). *Pada Pemodelan Fisik*.
- Rakyat, K. P. U. dan P. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Rekzyanti, R., Balamba, S., & Manaroinsong, L. (2016). Analisa Kestabilan Lereng Akibat Gempa. *Tekno*, 14(66), 23–33.
- Suryadinullah, A., & Purwanto, E. (2018). *Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Pada Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Pada Tol Terbanggi Besar-Pematang Panggang Sta 3+650, Lampung*.
- Terzaghi, Karl, Ralph B. Peck, and G. M. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*.
- Umum, D. P. (2009). *Modul Pelatihan Geosintetik Volume 3: Perencanaan Geosintetik Untuk Perkuatan Lereng*.

LAMPIRAN

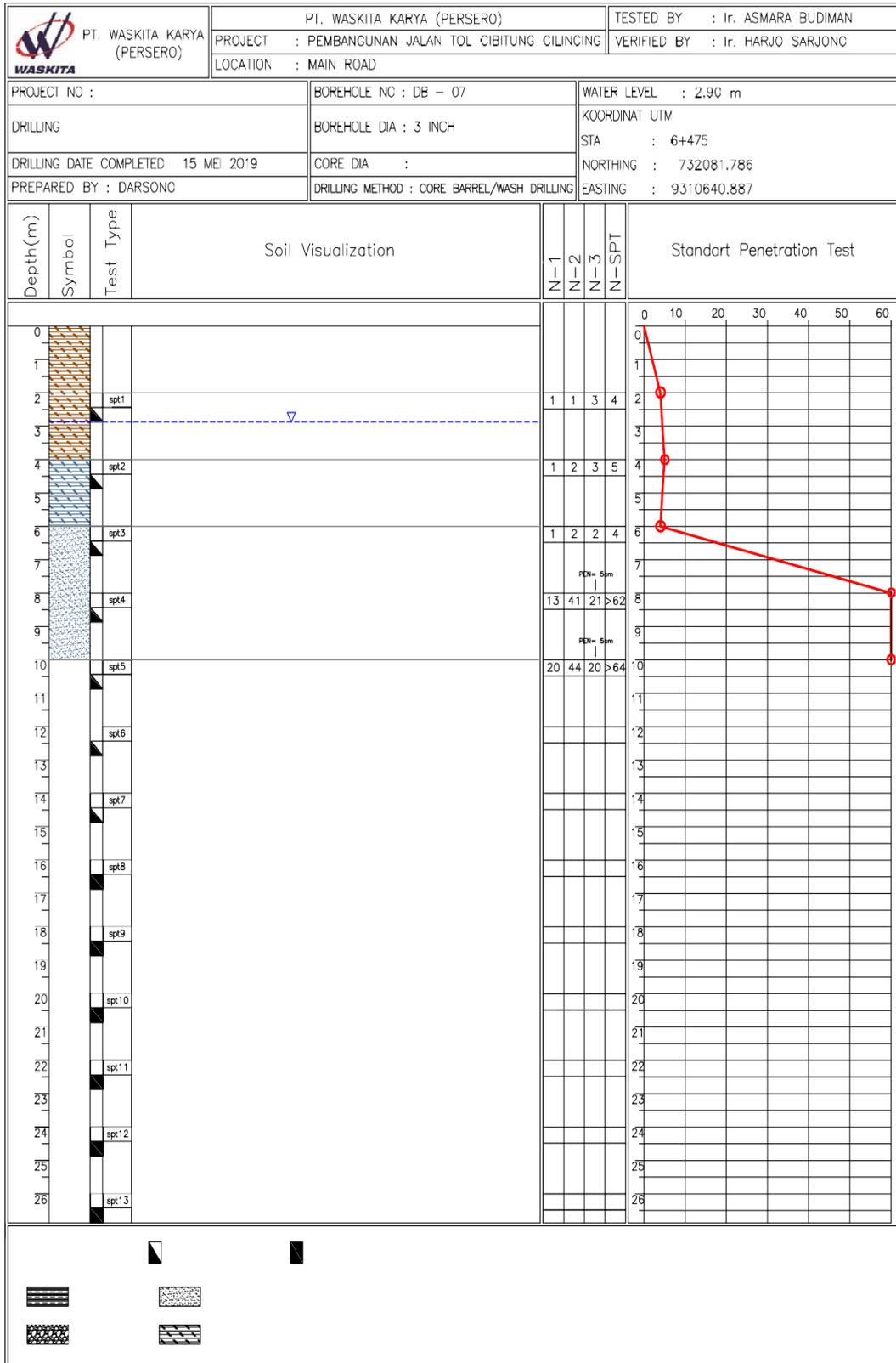


KEY PLAN	
REFERENSI DRAWING DED NO: M.1	
SHOP DRAWING	
NAMA PROYEK:	PEMBANGUNAN JALAN TOL CIBITUNG CILINCING
JUDUL GAMBAR	CROSS SECTION MAIN ROAD STA 6+450 - 6+475
PEMBERI KERJA	
	PT CIBITUNG TANJUNG PRIOK PORT TOLLWAYS
DIKETAHUI OLEH:	
	<i>[Signature]</i> KARYA BUREAU, B.S.S. Pimpinan Proyek KONSULTAN PENGAWAS



KEY PLAN			
REFERENSI DRAWING DED NO :			
SHOP DRAWING			
NAMA PROYEK :			
PEMBANGUNAN JALAN TOL CIBITUNG CLINCIING			
JUDUL GAMBAR			
PLAN MAINROAD STA. 6+300 - 6+900			
PEMBERI KERJA			
 PT CIBITUNG TANJUNG PROK PORT TOLLWAYS			
DIKETAHUI OLEH:			
Ir. SATJAGANESANTO Pimpinan Proyek KONSULTAN PENGAWAS			
 PT VIRAMA KARYA-SMEC KSO			
DIPEKERJA & DISETUJUI OLEH:			
Ir. MUGOHARMO GUNTHALI Team Leader			
RE	Highway	Geodesic	
	WARHOT S.	SUDH	
KONTRAKTOR PELAKSANA			
 PT. WASKITA KARYA Persero PT. WASKITA KARYA (PERSERO) Tbk. Tbk. (Persero) Tbk. Tbk.			
DIBAT & DITANDAI OLEH:			
 PRASETYO KUSUMA Project Manager			
Drafter	Korrek	Halap	
EDO	ED	H. WELIYO	
GAMBAR KE	JUMLAH GAMBAR	SKALA	NOMOR GAMBAR
II	24	1:2000	
REVISI	TANGGAL		
REVISI 0	4/3/22		
REVISI 1			
REVISI 2			
REVISI 3			
REVISI 4			

© Waskita Karya (Persero) Tbk. - Temporal\PROJECT_3\PROJEK_CIBITUNG CLINCIING TOLLWAYS_3\SHOPDRAWING\1_HIGHWAY\14_PLAN_PROFIL_MAINROAD\PLAN MAINROAD 6+300 - 7+200.dwg





BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK
 Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 Jawa Barat - INDONESIA
 Telp. 022 - 2504088, 2510682, 250828, 2507626 Fax. 022 - 25022077
 Website : www.BBBI.go.id Email : bbbi@bbbi.go.id

Laporan No : 10-22-19-00053
 Komoditi : Geotekstil Woven HRX 250

Tanggal : 11/18/2019

HASIL PENGUJIAN

No	Jenis Pengujian	Metoda Uji	Satuan	Hasil Uji
1	Thickness (<i>Ketebalan</i>)	ASTM D5199	mm	2.06
2	Mass (<i>Grammatur</i>)	ASTM D5261	g/m ²	251.4
3	Grab Strength (<i>Kuat Grab</i>)	ASTM D4632		
	- Arah panjang		N	1,245.6
	- Arah lebar		N	1,145.4
4	Grab elongation at break (<i>Elongasi Grab</i>)	ASTM D4632		
	- Arah panjang		%	32.4
	- Arah lebar		%	34.9
5	Sewn Seam Strength (<i>Kuat Sambung Keliman</i>)	ASTM D4632		
	- Arah panjang		N	996.8
	- Arah lebar		N	991.2
6	Tear Strength (<i>Kuat Sobek</i>)	ASTM D4533		
	- Arah panjang		N	410.6
	- Arah lebar		N	403.2
7	Puncture Strength (<i>Kuat Tusuk</i>)	ASTM D6241	N	2,266.4
8	Tensile Resistance	ASTM D4595		
	- Arah panjang		N	41,500.5
	- Arah lebar		N	40,600.6
9	Permittivity (<i>Permitivitas</i>)	ASTM D4491	detik ⁻¹	0.45
11	Ultraviolet stability (<i>Kekuatan Sisa</i>)	ASTM D4355	%	67



Soil Mechanics Laboratory			
Civil Engineering Department, Faculty of Engineering University of Indonesia Jalan Ir. Roeseno, Kampus UI - Depok, Indonesia 16424 Telp. +62 21 788 49102, Fax. +62 21 788 49102			
REPORT OF SPECIFIC GRAVITY TEST			
PROJECT JL TOL CIBITUNG - CILINCING		DATE OF TESTING 1/11/2017	
LOCATION JL TOL CIBITUNG - CILINCING		TESTED BY SUNARTO	
PROJECT NUMBER 201710004 PT WASKITA KARYA			
STANDARD OF REFERENCE : SNI 1965:2008			
Soil Samples			
		A	B
Sample No.		EX CIPENDEY	EX CIPENDEY
Depth of Sample (m)		-	-
Evap. Dish No.		6	2
Temperature (°C)		29	29
Wt. flask + water = W_{bu}	(gram)	659.56	665.31
Wt. evap. Dish + dry soil	(gram)	415.17	364.23
Wt. of evap. Dish	(gram)	315.07	264.14
Wt. of dry soil = W_s	(gram)	6	2
Wt. flask + water + soil = W_{bus}	(gram)	723	728.72
$W_u = W_s + W_{bu} - W_{bus}$	(gram)	36.66	36.68
α		0.996	0.996
$G_s = \alpha W_s / W_u$		2.720	2.718
Average Specific Gravity of Soil Solids		(Gs)	2.719
 Lab. Mekanika Tanah FTUI Erly Bahsan, S.T., M.Kom.			



Geo-Reinfox*

Geotekstil PP - Woven

Geo-Reinfox is local woven geotextile product. Made of polypropylene slit film with a certain strength characteristic to suffice the reinforcement purposes, while stabilizing agent added to its raw materials blend make it resistance to the UV ray under normal construction period of time.

Properties	Test Method	Units	HRX 250
PHYSICAL			
Raw Material	-	-	Polypropylene
Color	-	-	Black
MECHANICAL			
Tensile Strength	ASTM D 4595	kN/m	40/35
Elongation	ASTM D 4595	%	<35
Puncture Strength	ASTM D 6241	N	5000
Tear Strength	ASTM D 4533	N	580
HYDRAULIC			
Opening Size	ASTM D 4751	mm	0.2 - 0.4
Permittivity	ASTM D 4491	s ²	0.4 - 0.6
DIMENSION			
Roll Width	-	m	4.00
Roll Length	-	m	150

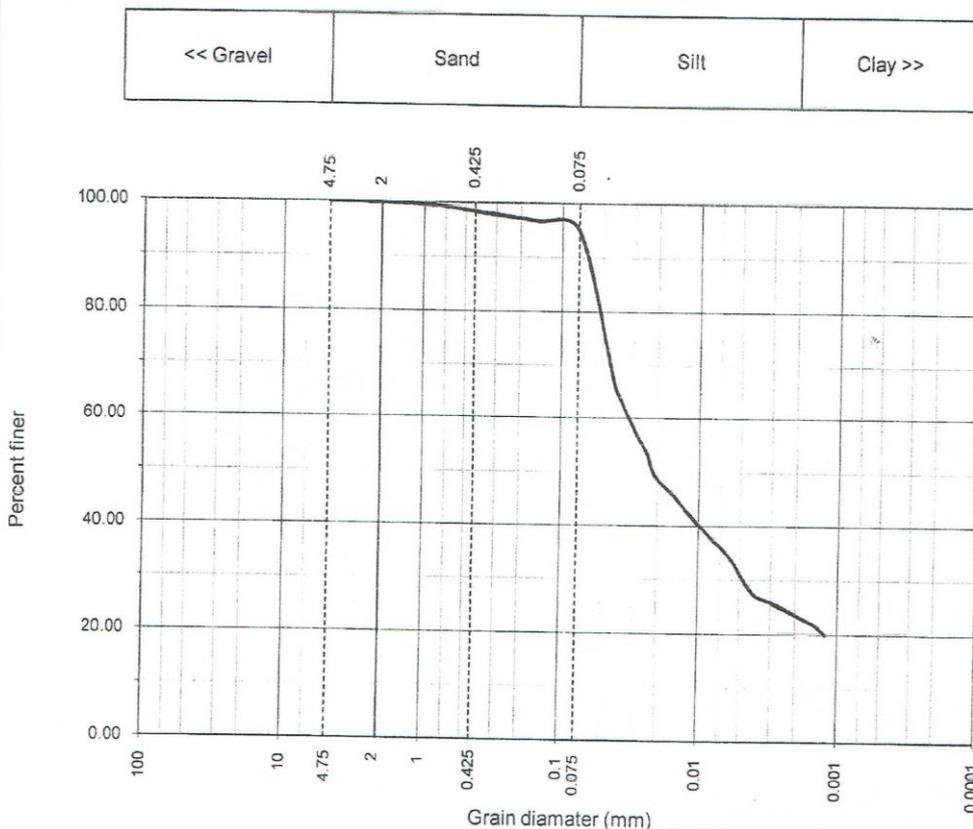
The values given are indicative and correspond to average values obtained in accredited testing laboratories and institutes. Reliance of mechanical properties: Tensile, grab, puncture, and tear: ±10%



PT TETRASA
GEOSININDO
GEOSYNTHETIC INDONESIA
Roxy Mas Business Center Blok C4 No. 18-20
Jl. K.H. Hasyim Ashari, Jakarta 10150 - INDONESIA
Phone : +62 21 633 0150
Fax : +62 21 633 0540
Email : office@geosinindo.co.id

Geo-Reinfox*
Geotekstil PP - Woven

www.geosinindo.co.id

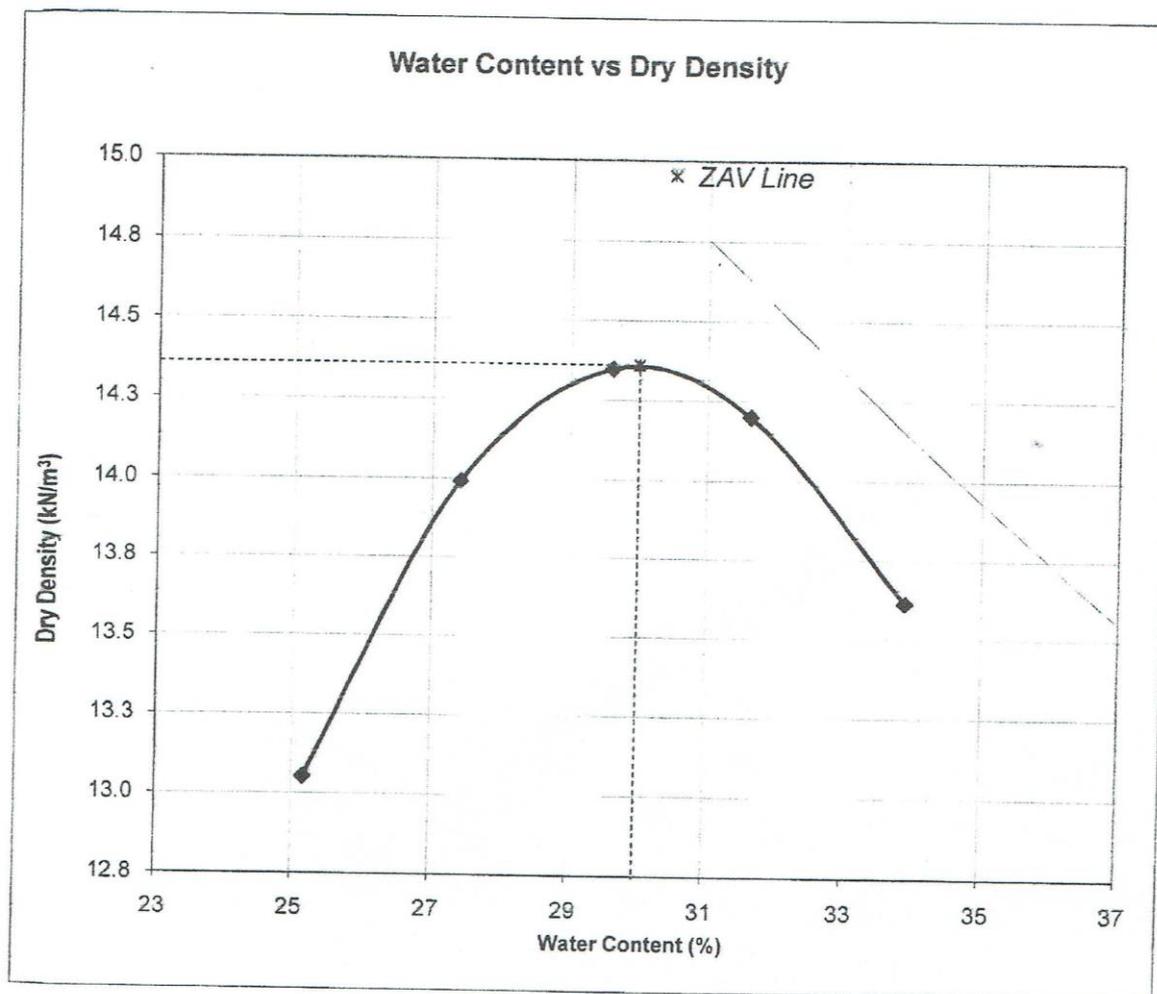
Soil Mechanics Laboratory Civil Engineering Department, Faculty of Engineering University of Indonesia Depok 16424 Telp. +62 21 788 49102, Fax. +62 21 788 49102										
GRAIN SIZE DISTRIBUTION										
PROJECT JL TOL CIBITUNG - CILINCING		DEPTH OF SAMPLE m								
LOCATION JL TOL CIBITUNG - CILINCING		DATE OF TESTING 02/11/17								
BOREHOLE NO. EX CIPENDEY SUBANG	SAMPLE NO. 1	TESTED BY SUNARTO								
PROJECT NUMBER: 201710004 PT WASKITA KARYA										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;"><< Gravel</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Sand</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Silt</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Clay >></td> </tr> </table>			<< Gravel	Sand	Silt	Clay >>				
<< Gravel	Sand	Silt	Clay >>							
										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">Composition</th> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Sand</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">5 %</td> </tr> <tr> <td>Silt</td> <td style="text-align: center;">71 %</td> </tr> <tr> <td>Clay</td> <td style="text-align: center;">24 %</td> </tr> </table>			Composition		Sand	5 %	Silt	71 %	Clay	24 %
Composition										
Sand	5 %									
Silt	71 %									
Clay	24 %									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Visual Soil Description</td> <td>CLAYEY SILT</td> </tr> <tr> <td>Soil Classification</td> <td>UNIFIED SOIL CLASSIFICATION</td> </tr> </table>			Visual Soil Description	CLAYEY SILT	Soil Classification	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION				
Visual Soil Description	CLAYEY SILT									
Soil Classification	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION									
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div> <p>Lab. Mekanika Tanah FTUI</p> <p><i>Eryl</i></p> <p>Eryl Bahsan, S.T., M.Kom.</p> </div> </div>										

Soil Mechanics Laboratory
 Civil Engineering Department, Faculty of Engineering University of Indonesia
 Depok 16424 Telp. +62 21 788 49102, Fax. +62 21 788 49102



MODIFIED COMPACTION TEST

PROJECT JL TOL CIBITUNG - CILINCING		DATE OF TESTING 29/10/2017
LOCATION JL TOL CIBITUNG - CILINCING	SAMPLE EX CIPENDEY SUBANG	TESTED BY SUNARTO
PROJECT NUMBER: 201710004 PT WASKITA KARYA		



MAXIMUM DRY DENSITY ($\gamma_{dry,max}$)	14.36 kN/m ³
OPTIMUM WATER CONTENT (w_{opt})	30 %
SPECIFIC GRAVITY (G_s)	2.719

Lab. Mekanika Tanah FTUI

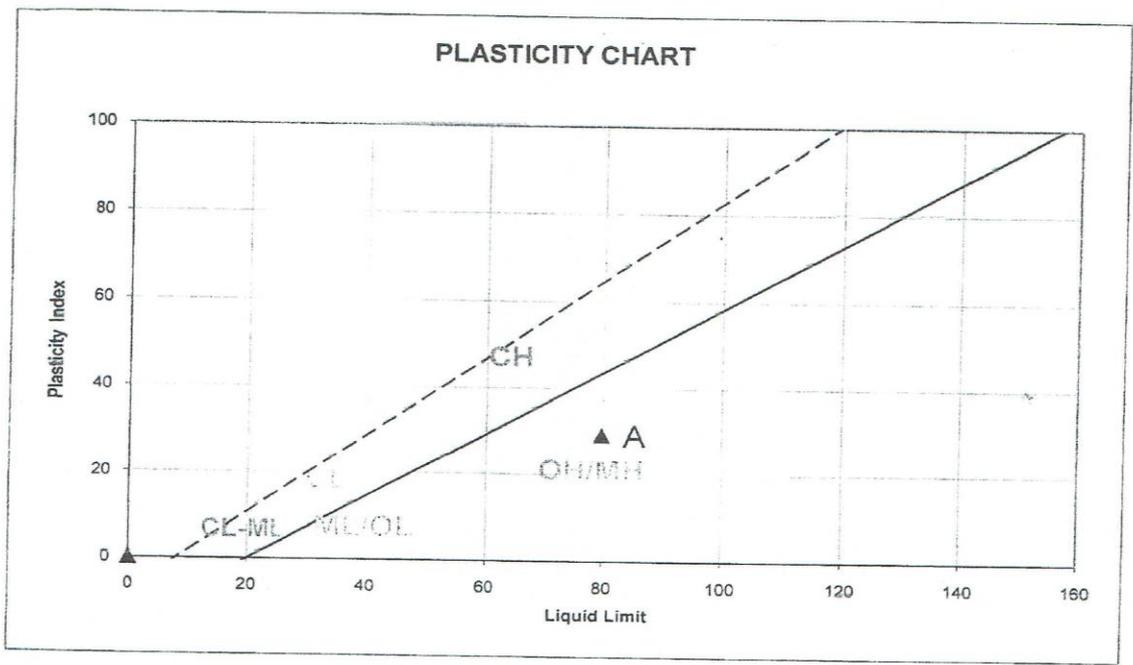
Erlly
 Erlly Bahsan, S.T., M.Kom.

Soil Mechanics Laboratory
 Civil Engineering Department, Faculty of Engineering University of Indonesia
 Depok 16424 Telp. +62 21 788 49102, Fax. +62 21 788 49102



ATTERBERG LIMIT

PROJECT JL TOL CIBITUNG - CILINCING		DATE OF TESTING 30/10/2017 - 31/10/2017
LOCATION JL TOL CIBITUNG - CILINCING		TESTED BY SUNARTO
PROJECT NUMBER: 201710004 PT WASKITA KARYA		



Borehole No.	Depth (m)	Symbol	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Unified Classification
CIPENDEY, SUBANG	0.00 - 0.00	A	79.70	50.34	29.36	MH

Lab. Mekanika Tanah FTUI

 Erly Bahsan, S.T., M.Kom.

Soil Mechanics Laboratory
 Civil Engineering Department, Faculty of Engineering University of Indonesia
 Depok 16424 Telp. +62 21 788 49102, Fax. +62 21 788 49102



LABORATORY CBR

PROJECT: JL TOL CIBITUNG - CILINCING DATE OF TESTING: 02/11/17
 LOCATION: JL TOL CIBITUNG - CILINCING SAMPLE: EX CIPENDEY SUBANG TESTED BY: SUNARTO
 PROJECT NUMBER: 201710004 PT WASKITA KARYA

Penetration (inch)	Dial Reading		Stress (psi)	
	unsoaked	soaked	unsoaked	soaked
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	15.0	6.0	116.1	46.4
0.050	28.0	11.0	216.7	85.1
0.075	36.0	14.8	278.6	114.6
0.100	42.0	17.0	325.1	131.6
0.125	46.0	18.8	356.0	145.5
0.150	48.0	20.0	371.5	154.8
0.175	50.0	21.0	387.0	162.5
0.200	51.5	22.0	398.6	170.3
0.225	52.3	22.6	404.8	174.9
0.250	52.7	23.0	407.9	178.0

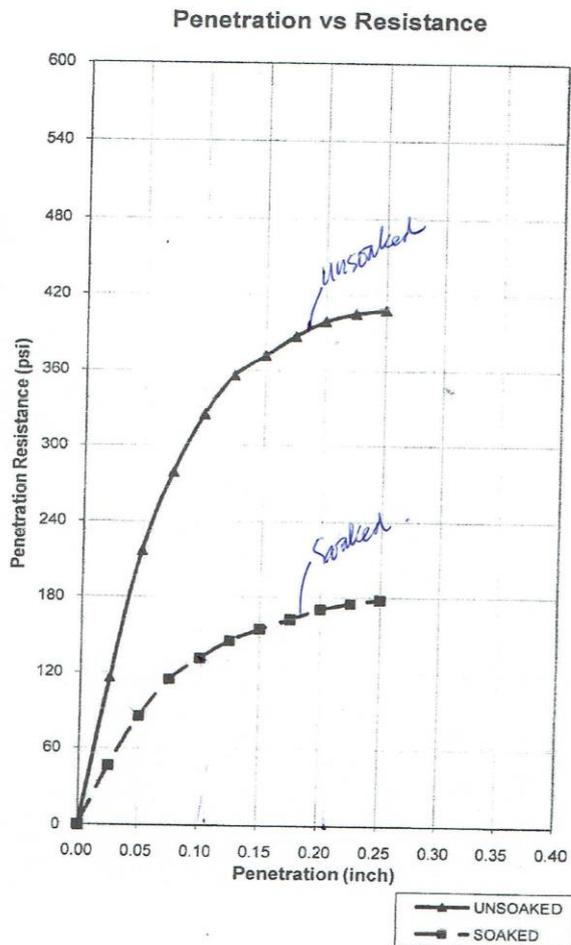
Penetration (inch)	CBR (%)	
	unsoaked	soaked
0.1	32.51	13.16 ✓
0.2	26.57	11.35 ✓

Dry Density (gr/cm ³)	
Unsoaked	1.44
Soaked	1.436

Water content (%)	
Unsoaked	30.04
Soaked	34.87

Swelling (%)	1.85
--------------	------

Remarks
 Proving Ring : no. 4824
 Brand : Leonard F. -England
 LRC : 23.22 lbf/div



Lab. Mekanika Tanah FTUI

 Ery Bahsan, S.T., M.Kom.