TUGAS AKHIR

ANALISIS PERKUATAN LERENG TIMBUNAN DENGAN GEOTEKSTIL
(ANALYSIS OF EMBANKMENT SLOPE REINFORCEMENT USING GEOTEXTILES)

(Studi Kasus: Jalan Tawang – Ngalang segmen IV Sta.7+750)

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



Ahmad Arifin
19511267

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

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERKUATAN LERENG TIMBUNAN DENGAN GEOTEKSTIL
(ANALYSIS OF EMBANKMENT SLOPE REINFORCEMENT USING GEOTEXTILES)
(Studi Kasus: Jalan Tawang – Ngalang segmen IV)

Disusun oleh

Ahmad Arifin
19511267

Telah diterima sebagai salah satu pernyataan
untuk memenuhi derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 11 November 2025
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.	**Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.**	**Astriana Hardawati, S.T., M.E**
NIK: 215111305	**NIK: 045110407**	**NIK: 165111301**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

25/11/25

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (eng)., IPM
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat penyelesaianprogram sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas TeknikSipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tugas akhir saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah, Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya sendiri atau

adanya Plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Oktober 2025

Yang membuat Pernyataan,

Ahmad Arifin

(19511267)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat Menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Analisis Perkuatan Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil dan *ANALYSIS OF EMBANKMENT SLOPE REINFORCEMENT USING GEOTEXTILES.* Tugas Akhir ini Merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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

1. Anisa Nur Amalina, S.T., M.ENg. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang diberikan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir maupun selama masa perkuliahan.
2. Dosen penguji 1
3. Dosen penguji 2
4. Ir. Yunalia, S.T., M.T., Ph.D (eng)., IPM. Selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Kedua orang tua tercinta yang tidak berhentinya memberikan dukungan dan Doa disetip langkah saya dalam pengerjaan Tugas Akhir.
6. Sahabat maupun temen-teman penulis selama berkuliah, yang telah memberikan dukungan dan motivasi satu sama lain, dan
7. Semua pihak yang telah membantu sehingga tugas akhir ini dpat diselesaikan dengan baik.

Yogyakarta, Oktober 2025
Penulis,



Ahmad Arifin
(19511267)

DAFTAR ISI

Halaman Judul i

Halaman Persetujuan ii

Halaman Pengesahan **Error! Bookmark not defined.**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii

KATA PENGANTAR v

DAFTAR ISI vi

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR LAMPIRAN xiv

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xv

ABSTRAK xvii

ABSTRACT xviii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat Penelitian 3

1.5 Batasan Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Tinjauan Umum 5

2.2 Penelitian Terdahulu 5

2.2.1 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan Dan Prediksi Timbunan yang terjadi menggunakan Program PLAXIS. 5

2.2.2 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotesktil pada Lereng (Studi) Kasus Pada Jalan Tol Semarang Solo Sta. 2+200). 6

2.2.3 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Mini Pile Dengan Metode Elemen Hingga(Studi Kasus Proyek Jalan Tol

Ngawi – Kertosono Sta 132+750). 7
2.2.4 Analisis Stabilitas Lereng Badan Jalan Dengan Timbunan bertahap Dan menggunakan Perkuatan Geotesktil (Studi Kasus di Jalan tol Indramayu - Muara Enim). 8
2.2.5 Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Menggunakan perkuatan Geotesktil Dengan Program PLAXIS 8.2 (Studi Kasus berada pada jalan Tol Balikpapan - Samarinda). 9
2.2.6 Analisis Stabilitas Lereng dengan perkuatan Geotesktil dan variasi ketinggian muka air tanah (Studi Kasus berada di jalan wanayasa- Banjarnegara Jawa Tengah, Lereng Sta.70+500) 9
2.3 Matriks Perbandingan Pustaka 10
BAB III LANDASAN TEORI 15
3.1 Tanah 15
3.1.1 Penyelidikan Tanah 17
3.1.2 Klasifikasi Tanah 19
3.1.3 Parameter Tanah 24
3.2 Lereng 30
3.2.1 Tinjauan Umum 30
3.2.2 Penyebab Longsor 31
3.2.3 Stabilitas Lereng 31
3.2.4 Teori Analisis Stabilitas Lereng 33
3.2.5 Metode Perhitungan Stabilitas Lereng 36
3.2.6 Metode Elemen Hingga 37
3.3 Geotesktil 37
3.3.1 Sifat Fisik Geotesktil 38
3.3.2 Sifat Mekanik Geotesktil 40
3.3.3 Sifat Hidrolik Geotesktil 43
3.3.4 Mekanisme Kerja Geotesktil 44
3.4 Perkuatan Lereng dengan Geotesktil 45
3.5 Konsolidasi 47
3.5.1 Pendahuluan 47

3.5.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Konsolidasi 48
3.5.3 Koefisien Konsolidasi (CV) (*Coefficient of Consolidation*) 49
3.6 Penurunan 49
3.6.1 Penurunan Segera 49
3.6.2 Penurunan Konsolidasi 50
3.7 Program PLAXIS 50
3.7.1 Pendahuluan 50
3.7.2 Parameter Input Untuk Program PLAXIS v.24 52
3.7.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan PLAXIS v.24 54
BAB IV METODE PENELITIAN 56
4.1 Tinjauan Penelitian 56
4.2 Data Penelitian 57
4.3 Lokasi Penelitian 57
4.4 Tahapan Penelitian 57
4.4.1 Pengumpulan Data 57
4.4.2 Desain Badan Jalan 58
4.5 Analisis data 58
4.5.1 Data Melintang Jalan dan Struktur Galian Timbunan Lereng 58
4.5.2 Data beban 59
4.5.3 Data Geotekstil 59
4.6 Analisis data dengan Software Plaxis (V24) 60
4.7 Bagan Alir 60
BAB V PEMBAHASAN 62
5.1 Lereng Timbunan Badan Jalan 62
5.2 Soil parameter 62
5.2.1 Parameter Tanah 63
5.2.2 Parameter Beban 63
5.2.3 Data Geotekstil 64
5.3 Analisis Stabilitas Lereng Badan Jalan Tanpa Perkuatan 65
5.3.1 Akibat Beban Timbunan (Akitbat Beban Sendiri) 66
5.3.2 Akibat Beban Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban

Kendaraan 69
5.3.3 Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa 73
5.4 Angka Aman Lereng Asli dengan Metode Fellenius 76
5.5 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil 79
5.5.1 Stabilitas Eksternal 81
5.5.2 Stabilitas Internal 86
5.5.3 Akibat Beban Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil 91
5.5.4 Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil 95
5.6 Pembahasan 100
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 103
6.1 Kesimpulan 103
6.2 Saran 104
DAFTAR PUSTAKA 105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Skema Alat Pengujian Geser Langsung	18
Gambar 3.2	Diagram Fase Tanah	25
Gambar 3.3	Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan	32
Gambar 3.4	Geotesktil Non Woven dan Woven	38
Gambar 3.5	Geotesktil Mengalami Tegangan Tarik Ketika Beban Bekerja di Permukaan Lapis Fondasi	41
Gambar 3.6	Dasar Mekanisme Perkuatan Lereng dengan Tanah	45
Gambar 3.7	Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral	45
Gambar 3.8	Kurva Hubungan Antara Tekanan dan Agka Pori	48
Gambar 4.1	Kondisi Penimbunan Ruas Tawang-Ngalang	58
Gambar 4.2	Gambar Potongan Melintang Timbunan	59
Gambar 4.3	Bagan Alir	61
Gambar 5.1	Penampang Lereng Sta 7+750	62
Gambar 5.2	Peta Zonasi Gempa Indonesia	64
Gambar 5.3	*Meshing* Lereng	65
Gambar 5.4	*Deformed Mesh* pada timbunan (Akibat Beban Sendiri)	66
Gambar 5.5	*Total Displacement* pada timbunan (Akibat Beban Sendiri)	67
Gambar 5.6	Arah pergerakan tanah pada timbunan (Akibat Beban Sendiri)	67
Gambar 5.7	*Effective stress* pada timbunan (Akibat Beban Sendiri)	68
Gambar 5.8	Daerah Potensi Kelongsoran pada timbunan (Akibat Beban Sendiri)	69
Gambar 5.9	*Deformed Mesh* pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	69
Gambar 5.10	Total *Displacement* pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	70
Gambar 5.11	Arah Pergerakan tanah pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	71
Gambar 5.12	*Effective Stress* pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan	

Beban Kendaraan 72
Gambar 5.13 Potensi kelongsoran pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan 73
Gambar 5.14 *Deformed Mesh* pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa 73
Gambar 5.15 *Total Displacement* pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa 74
Gambar 5.16 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa 74
Gambar 5.1 *Effective Stress* pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa 75
Gambar 5.18 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa 76
Gambar 5.19 Pemodelan dan Analisis Lereng dengan Metode Fellenius 76
Gambar 5.20 Pembagian zona Timbunan untuk Perhitungan Geotekstil 80
Gambar 5.21 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Tanah Miring 82
Gambar 5.22 Lembaran Geotekstil 89
Gambar 5.23 Pemasangan Geotekstil pada Setiap Zona Lereng Timbunan 89
Gambar 5.24 Pemodelan Lereng dengan Perkuatan Geotesktil 91
Gambar 5.25 *Meshing* pada Lereng dengan Perkuatan Geotekstil 91
Gambar 5.26 *Deformed Mesh* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil 92
Gambar 5.27 *Total Displacement* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil 92
Gambar 5.28 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil 93
Gambar 5.29 *Effective Stress* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil 94
Gambar 5.30 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil 94
Gambar 5.31 *Deformed Mesh* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan

Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil 95
Gambar 5.32 Total Displacement pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil 96
Gambar 5.33 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil 96
Gambar 5.34 *Effective Stress* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil 97
Gambar 5.35 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil 97
Gambar 5.36 *Deformed Mesh* pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil 98
Gambar 5.37 *Total Displacement* pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil 98
Gambar 5.38 Arah Pergerakan Tanah dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil 99
Gambar 5.39 *Effective Stress* dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil 100
Gambar 5.40 Daerah Kelongsoran pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil 100
Gambar 5.41 Grafik SF & Total Displacement Pada lereng 101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Sekarang Dilakukan	12
Tabel 3.1	Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO	20
Tabel 3.2	Klasifikasi Tanah Sistem Unified	23
Tabel 3.3	Klasifikasi Tanah Sistem USCS	24
Tabel 3.4	Perkiraan Modulus Elastis	27
Tabel 3.5	Nilai Poisson Ratio	28
Tabel 3.6	Hubungan Antara Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah	29
Tabel 3.7	Nilai Faktor Keamanan pada Lereng	33
Tabel 3.8	Nilai Faktor Keamanan untuk Lereng Tanah	33
Tabel 3.9	Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng	35
Tabel 3.10	Hubungan Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng	36
Tabel 4.1	Beban Lalu Lintas	59
Tabel 4.2	Data Perkuatan Geotekstil Woven	60
Tabel 5.1	Data Parameter Tanah	63
Tabel 5.2	Data Beban Lalu Lintas	63
Tabel 5.3	Data Geotekstil Woven	64
Tabel 5.4	Data Geotekstil Woven	65
Tabel 5.5	Rekapitulasi Langkah-langkah Perhitungan Menggunakan Metode Fellenius	78
Tabel 5.6	Koefisien Daya Dukung Tanah Meyerhof Mekanisme Keruntuhan Geser Lokal	80
Tabel 5.7	Rekapitulasi Panjang Tumpang Tindih Geotekstil	86
Tabel 5.8	Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil	88
Tabel 5.9	Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil	88
Tabel 5.10	Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil	89
Tabel 5.11	Hasil Rekapitulasi Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program PLAXIS Versi 24	101

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Sta. 7+750 107
Lampiran 2 Data N - SPT Segmen IV Sta. 7+750 108
Lampiran 3 Data Parameter Tanah Segmen IV Sta. 7+750 109
Lampiran 4 Data Spesifikasi Geotekstil *Woven* 110

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

m = Meter
mm = Milimeter
cm = Centimeter
MC = Mohr-Coulomb
v = Rasio Poison
γd = Berat volume tanah kering (kN/m^3)
γ = Berat volume tanah (kN/m^3)
γ sat = Berat volume tanah jenuh (kN/m^3)
γ unsat = Berat volume tanah tak jenuh (kN/m^3)
γ’ = Berat volume tanah efektif (kN/m^3)
e = Angka pori
FK = Faktor Keamanan
SF = *Safety Factor*
kN = Kilo Newton
N = Newton
MPa = Mega Pascal
% = Persen
Ka = Koefisien tekanan tanah aktif lateral
Tu = Kuat tarik ultimit (kN/m)
Ta = Kuat tarik izin (kN/m)
σhci = Tegangan yang bekerja pada lapis geotekstil ke-i (kN/m^2)
Sv = Jarak geotekstil arah vertikal (m)
MD = Momen mendorong (kN m)
MR = Momen menahan (kN m)
L = Panjang geotekstil (m)
Zi = Kedalaman tiap lembar geotekstil dari permukaan tanah (m)
Lo = Panjang *overlapping* geotekstil (m)
Le = Panjang efektif geotekstil (m)

Lz = Panjang geotekstil pada zona aktif (m)

τ_f = Kuat geser tanah (kN/m^2)

τ_d = Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh (kN/m^2)

σ = Tegangan normal (kN/m^2)

ε = Regangan

m^2 = Meter persegi

m^3 = Meter kubik

$\sum$ = Total/Jumlah

c = Kohesi (kN/m^2)

w = Kadar air (persen)

e = eksentrisitas

N = Koefisien daya dukung tanah

ϕ = Sudut geser dalam (derajat)

v = *Poissons Ratio*

E = Modulus Young / Modulus Elastisitas (kN/m^2)

EA = Kekakuan normal (kN/m)

Sv = Ketebalan Lapisan Tulangan

ψ = Sudut dilatansi (derajat)

K = Koefisien permeabilitas

G = Modulus geser (kN/m^2)

SPT = *Standard Penetrationt Test*

qc = Tahanan konus (kg/cm^2)

BH = *Bore Hole*

N = Gaya normal efektif (kN)

W = Berat total irisan (kN/m)

A = Sudut geser singgung masing-masing irisan (derajat)

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

l = Panjang dasar (m)

L = Panjang busur (m)

ABSTRAK

Pembangunan Jalan dan Jembatan Tawang-Ngalang Segmen IV di Gunungkidul, Yogyakarta, dibangun untuk memperlancar akses antara pusat kota dan wilayah selatan. Karena kontur Gunungkidul yang berbukit, konstruksi memerlukan penggalian dan pembangunan tanggul guna menyamakan elevasi jalan. Fokus kajian ini adalah pada stabilitas dan keamanan tanggul.

Studi kasus yang dianalisis berfokus pada tanggul di STA 7+750 dengan ketinggian 8 meter. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Geomine Bara Studio, hasil uji laboratorium, serta gambar rekayasa detail dari PT terkait. Tujuan utama dari kajian ini adalah untuk mengevaluasi stabilitas struktur tanggul dan merumuskan alternatif sudut lereng guna mendukung konstruksi jalan yang lebih aman. Sebagai bagian dari solusi teknis, tanggul akan diperkuat menggunakan material geotekstil dengan variasi sudut dalam, dan dianalisis menggunakan metode Fellenius untuk pendekatan statis serta perangkat lunak PLAXIS 24 berbasis Metode Elemen Hingga (FEM).

Berdasarkan hasil analisis, nilai faktor keamanan untuk sudut internal 40° tanpa perkuatan menunjukkan kondisi tidak stabil atau mengalami kegagalan berdasarkan metode perhitungan statis. Namun, setelah dilakukan pemasangan geotekstil sebagai elemen perkuatan, faktor keamanannya meningkat menjadi 1,526 untuk sudut 40°. Adapun penurunan akibat konsolidasi pada lokasi dengan sudut 40° tercatat sebesar 0,5724 m tanpa perkuatan dan berkurang menjadi 0,4135 m setelah diperkuat pemasangan geotekstil.

Kata kunci: Tanggul, Geotekstil, Konsolidasi

ABSTRACT

The construction of the Tawang-Ngalang Road and Bridge Segment IV in Gunungkidul, Yogyakarta, is aimed at improving access between the city center and the southern region. Due to the hilly terrain of Gunungkidul, the construction requires excavation and embankment work to level the road elevation. This study focuses on the stability and safety of the embankment structure.

The analyzed case study centers on the embankment at STA 7+750 with a height of 8 meters. This research utilizes secondary data obtained from PT. Geomine Bara Studio, laboratory test results, and detailed engineering drawings from the relevant company. The main objective of this study is to assess the stability of the embankment structure and propose alternative slope angles to support safer road construction. As part of the technical solution, the embankment will be reinforced using geotextile material with variations in internal angles, and analyzed using the Fellenius method for static calculations and PLAXIS 24 software based on the Finite Element Method (FEM).

Based on the analysis results, the safety factor for a 40° internal angle without reinforcement indicates instability or failure according to static calculation methods. However, after installing geotextile as a reinforcement element, the safety factor increased to 1.526 for the 40° angle. The consolidation settlement at the location with a 40° angle was recorded at 0.5724 m without reinforcement and reduced to 0.4135 m after geotextile installation.

Keywords: Embankment, Geotextile, Consolidation

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daerah Istimewa Yogyakarta saat ini tengah fokus mengembangkan sektor transportasi sebagai bagian dari upaya peningkatan ekonomi wilayah. Transportasi berperan penting dalam mendukung produktivitas serta memperluas akses manusia, barang, dan jasa. Melalui pembangunan infrastruktur transportasi yang intensif, D.I. Yogyakarta menargetkan kemajuan ekonomi yang berkelanjutan.

Dalam pelaksanaan konstruksi jalan raya, sering dijumpai struktur bangunan yang didirikan di atas timbunan tanah tinggi dengan kondisi geoteknik yang kurang mendukung. Situasi ini berpotensi menimbulkan bahaya kelongsoran pada lereng. Secara umum, kelongsoran dipicu oleh rendahnya kekuatan geser tanah serta meningkatnya tegangan internal akibat naiknya tekanan air pori. Peningkatan kadar air pori pada lereng berdampak langsung terhadap penurunan kekuatan geser dan sudut geser dalam tanah, sehingga memperbesar risiko ketidakstabilan lereng. Faktor – faktor pengaruh dari kestabilan suatu lereng dapat menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah, dan suatu pergerakan yang akan terjadi kecuali tahanan geser tanah pada setiap permukaan runtuh yang mungkin terjadi lebih besar dari tegangan geser yang bekerja (Bowles, 1991).

Jalan Tawang–Ngalang Segmen IV berfungsi sebagai penghubung antara Kabupaten Sleman dan Kabupaten Gunungkidul, serta dirancang sebagai jalur alternatif menuju Jalan Jogja–Wonosari melalui rute Piyungan–Patuk. Lokasi proyek pada segmen ini memiliki kontur topografi yang tidak rata, sehingga diperlukan proses penggalian dan penimbunan untuk menciptakan trase jalan yang aman dan nyaman. Namun, beberapa titik timbunan di area tersebut berada di atas tanah dengan kondisi kritis, yang berpotensi menimbulkan bahaya longsor. Kejadian longsor dapat berdampak serius terhadap kerusakan infrastruktur, kerugian material, bahkan korban jiwa. Oleh karena itu, diperlukan solusi teknis

untuk memperbaiki dan memperkuat tanah pada lereng timbunan. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah pemberian perkuatan lereng guna meningkatkan daya dukung tanah. Material yang umum digunakan dalam perkuatan tersebut adalah lapisan sintetis dengan ketahanan tinggi terhadap pelapukan, yang dipasang di atas tanah dasar sebelum proses penimbunan dilakukan. Jenis material yang dimaksud adalah geotekstil, yang berfungsi sebagai elemen perkuatan dan perbaikan tanah, serta diharapkan mampu meningkatkan stabilitas dan daya dukung lereng timbunan Pembangunan Jaringan Jalan Lintas Selatan (JJLS) menghubungkan antara Gunungkidul dengan Sleman. Di dalam pembangunan tersebut terdapat perbukitan yang dibelah dan diratakan untuk membangun jalan yang merupakan bagian dari JJLS di daerah Tawang-Ngalang. Dengan dibangunnya Jaringan Jalan Lintas Selatan selebar 7.5 meter dan merupakan jaringan jalan yang menghubungkan Gunungkidul - Sleman, maka dapat mempermudah aksesibilitas di daerah tersebut. Pembangunan jalan lintas Selatan dilakukan untuk mengurangi waktu tempuh Jogja-Wonosari, mengembangkan jalur konektivitas antar Kawasan strategis pariwisata nasional (KSPN), dan membuka akses kabupaten Sleman dan Gunungkidul.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis stabilitas lereng timbunan jalan menggunakan metode Fellenius dengan bantuan program Plaxis V21. Tujuan dari analisis stabilitas adalah mengetahui nilai angka aman (SF), *Total Displacement*, dan penurunan konsolidasi pada lereng timbunan jalan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dinyatakan beberapa rumusan masalah sebagai berikut ini.

1. Berapa nilai Faktor aman (*Safety Factor)* lereng tanpa perkuatan tanah menggunakan metode fellenius secara perhitungan manual?
2. Berapa nilai faktor aman (*Safety factor)* lereng tanpa perkuatan menggunakan program PLAXIS?
3. Berapa nilai faktor aman (*Safety factor)* lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS?
4. Berapa nilai total *displacement* yang terjadi pada lereng timbunan badan jalan

tanpa perkuatan tanah menggunakan program plaxis?

5. Berapa nilai total *displacement* yang terjadi pada lereng timbunan badan jalan menggunakan perkuatan tanah memakai program PLAXIS?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah.

1. Untuk mendapatkan nilai (*safety factor)* lereng tanah tanpa perkuatan dengan memakai perhitungan metode fellenius secara manual.
2. Untuk memperoleh nilai *safety factor* tanah pada timbunan jalan tanpa perkuatan tanah menggunakan program PLAXIS.
3. Untuk memperoleh nilai (*Safety Factor)* tanah lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS.
4. Untuk memperoleh nilai total *displacement* yang terjadi pada lereng timbunan badan jalan tanpa perkuatan tanah menggunakan program PLAXIS.
5. Untuk memperoleh nilai total *displacement* yang terjadi pada lereng timbunan badan jalan memakai perkuatan tanah menggunakan program PLAXIS.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini termasuk pemahaman tentang penurunan yang terjadi pada timbunan badan jalan serta keamanan pada timbunan lereng di Proyek Jalan Tawang - Ngalang dengan menggunakan Geotesktil sebagai perkuatan. serta program PLAXIS V21 untuk menganalisis stabilitas lereng. Selain itu, penelitian ini juga memberikan kontribusi penting dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil, khususnya dalam studi geoteknik terkait stabilitas lereng.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian akan difokuskan pada batasan-batasan yang telah ditentukan, yaitu sebagai berikut**:**

1. Penelitian ini dilakukan di Jalan Tawang-ngalang Gunung kidul DIY.
2. Parameter tanah yang digunakan mewakili karakteristik tanah di wilayah daerah Tawang-Ngalang.
3. Penelitian yang dilakukan tidak melibatkan tahapan proses, metode

pelaksanaan konstruksi, dan estimasi biaya.

4. Program PLAXIS versi 21 digunakan untuk menghitung analisis stabilitas lereng.
5. Setiap versi pemodelan lereng dalam tugas akhir ini tidak ditunjukkan untuk kegiatan lapangan, tetapi untuk keperluan studi penelitian.
6. Analisis tidak dilakukan terhadap tegangan dan regangan yang terjadi pada Geotesktil.
7. Data tanah yang digunakan berasal dari pengujian laboratorium dan lapangan yang terdapat dalam laporan akhir penyelidikan tanah pemboran dan uji spt pembangunan ruas jalan Tawang Ngalang segmen IV..
8. Pekerjaan drainase tidak disertakan dalam analisis.
9. Pertimbangan beban gempa diperhitungkan di lereng kabupaten Gunung kidul DIY.
10. Lalu lintas harus dikenakan beban sesuai dengan regulasi yang ditetapkan oleh departemen Pekerjaan Umum tahun 2009 mengenai persyaratan teknis jalan dan kriteria Perencanaan Teknis Jalan, serta Panduan Geoteknik 2 No. Pt. T-10-2002-B(DPU,2022b).
11. Perhitungan manual digunakan untuk menentukan faktor keamanan dengan metode Fellenius

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Stabilisasi tanah adalah upaya yang dilakukan dapat memperbaiki sifat-sifat tanah. Metode stabilisasi menggunakan Geotesktil. Dalam metode Geotesktil, stabilisasi tanah mencakup woven (tenun) dan non woven (tanpa tenun). Tenun dihasilkan dari "*interlaying*" antara benang-benang melalui proses tenun, sedangkan non woven dihasilkan dari beberapa proses: heat bonded (dengan panas), *needle Punched* (dengan jarum), dan *Chemical Bonded* (menggunakan materi kimia).

2.2 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini, digunakan referensi dari penelitian sebelumnya yang memiliki topik serupa dengan topik yang dipilih oleh penulis. Referensi ini membantu peneliti untuk mengembangkan penelitian secara lebih komprehensif serta memperkuat argumen dan hipotesis yang diajukan. Selain itu, tinjauan pustaka ini bertujuan untuk menghindari plagiarisme terhadap penelitian serupa yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut adalah penelitian-penelitian terdahulu yang digunakan sebagai sumber referensi oleh penulis:

2.2.1 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan Dan Prediksi Timbunan yang terjadi menggunakan Program PLAXIS.

Pengendapan tanah akibat timbunan menyebabkan perubahan tegangan dalam tanah, mengakibatkan deformasi yang mengganggu kestabilan. Saat membangun jalan, timbunan tanah dibuat, sementara di area lain, tanah dikupas. Timbunan baru membentuk lereng baru yang perlu dianalisis kestabilannya.

Ada berbagai metode untuk menganalisis kestabilan lereng, salah satunya menggunakan perangkat lunak geoteknik seperti PLAXIS yang berbasis pada analisis elemen hingga. Penelitian ini memodelkan variasi tinggi timbunan dengan

perkuatan menggunakan PLAXIS 8.5 untuk mendapatkan safety factor yang memadai. Untuk menghitung safety factor lereng tanah asli, digunakan metode irisan.

Hasil analisis stabilitas lereng pada timbunan jalan dengan perkuatan Geotesktil menunjukkan safety factor yang aman, terutama pada timbunan 3 meter dengan beban gempa dan tanpa beban gempa. Timbunan 5 meter juga menunjukkan safety factor yang cukup baik. Timbunan 8 meter menunjukkan safety factor yang memadai, termasuk dalam kategori aman. Analisis penurunan menunjukkan bahwa semakin baik permodelan variasi, penurunan selama 200 hari semakin kecil, sementara tinggi timbunan berpengaruh pada penurunan yang lebih besar.

2.2.2 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotesktil pada Lereng (Studi) Kasus Pada Jalan Tol Semarang Solo Sta. 2+200).

Jalan tol Jalan tol Semarang–Solo terdiri atas dua segmen, yakni Semarang–Bawen dan Bawen–Solo, dengan total panjang mencapai 72,64 km. Secara geologis, jalur ini berada di wilayah bertanah labil dan memiliki kontur berbukit, sehingga konstruksi jalan dilakukan di daerah perbukitan yang menyebabkan dominasi pekerjaan galian dan timbunan. Keberagaman stratigrafi tanah pada lereng menunjukkan bahwa stabilitas lereng di lokasi tersebut rentan terhadap penurunan daya dukung. Oleh karena itu, aspek-aspek seperti kekuatan geser tanah, beban timbunan, karakteristik tanah dasar yang didominasi oleh jenis clayshale, serta aliran permukaan menjadi faktor penting dalam perencanaan sistem perkuatan lereng. Untuk mengantisipasi potensi kelongsoran, diperlukan pendekatan rekayasa geoteknik yang tepat.

Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan data sekunder dari PT. Global Profex Synergi dan disimulasikan dengan perangkat lunak PLAXIS versi 8.2. Pemodelan lereng dilakukan secara dua dimensi (2D) dengan asumsi muka air tanah berada di dasar lereng.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan lereng tanpa perkuatan adalah 1,345 untuk kondisi beban sendiri, 1,353 untuk kombinasi beban timbunan dan kendaraan, serta 1,231 untuk kombinasi beban timbunan, kendaraan, dan gempa. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa lereng belum berada dalam

kondisi aman. Setelah dilakukan perkuatan menggunakan geotekstil, nilai faktor keamanan meningkat menjadi 1,793 untuk beban timbunan, 1,79 untuk kombinasi beban timbunan dan kendaraan, serta 1,789 untuk kombinasi beban timbunan, kendaraan, dan gempa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa geometri lereng yang telah diperkuat dengan geotekstil memenuhi kriteria keamanan terhadap kelongsoran, karena nilai faktor keamanan telah melampaui ambang batas 1,5.

2.2.3 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Mini Pile Dengan Metode Elemen Hingga(Studi Kasus Proyek Jalan Tol Ngawi – Kertosono Sta 132+750).

Proyek Jalan Proyek Jalan Tol Seksi V Pekanbaru–Dumai pada Sta. 79+550 merupakan bagian dari jaringan Jalan Tol Trans Sumatra yang menghubungkan Kota Pekanbaru dengan Kota Dumai. Jalur ini melintasi kawasan lembah dan perbukitan, sehingga membutuhkan timbunan tinggi untuk mencapai elevasi yang telah dirancang. Salah satu permasalahan yang muncul adalah terjadinya penurunan dan kelongsoran pada setengah lebar badan jalan setelah timbunan mencapai ketinggian akhir (H = 8 m). Oleh karena itu, diperlukan kajian stabilitas timbunan di atas tanah rawa guna mengevaluasi tingkat keamanan terhadap potensi longsor dan penurunan tanah.

Studi stabilitas lereng dilakukan dengan pendekatan metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak PLAXIS versi 8.5. Penelitian ini berfokus pada timbunan setinggi 8 meter, dengan analisis dilakukan melalui perhitungan manual dan simulasi numerik. Hasil pemodelan lereng tanpa perkuatan menunjukkan nilai Safety Factor (SF) sebesar 0,4668 berdasarkan metode Fellenius, karena PLAXIS tidak menyediakan output nilai SF secara langsung. Selain itu, hasil perhitungan daya dukung mini pile sepanjang 12 m dan 15 m masing-masing menunjukkan kapasitas sebesar 177 kN, sehingga digunakan mini pile sepanjang 15 m untuk analisis stabilitas lereng dengan variasi perkuatan tanpa penggantian tanah dasar. Pada kondisi konstruksi timbunan, beban jalan, konsolidasi, dan gempa secara berurutan, diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,62; 1,218; 1,47; dan 1,179. Namun, nilai tersebut belum memenuhi ambang batas keamanan pada kondisi beban jalan yang disyaratkan sebesar 1,25.

Sebaliknya, hasil analisis dari model kedua yang menggunakan perkuatan mini pile dan penggantian tanah dasar setebal 1,25 m menunjukkan peningkatan nilai faktor keamanan masing-masing sebesar 1,64; 1,478; 1,473; dan 1,175 untuk kondisi konstruksi timbunan, beban jalan, konsolidasi, dan gempa. Dengan nilai faktor keamanan mencapai 1,25, dapat disimpulkan bahwa lereng tersebut telah memenuhi kriteria stabilitas terhadap potensi keruntuhan.

2.2.4 Analisis Stabilitas Lereng Badan Jalan Dengan Timbunan bertahap Dan menggunakan Perkuatan Geotesktil (Studi Kasus di Jalan tol Indramayu - Muara Enim).

Pembangunan Proyek pembangunan Jalan Tol Indralaya–Muara Enim di wilayah Sumatera Selatan bertujuan untuk memperlancar arus lalu lintas sekaligus mendorong pertumbuhan ekonomi regional. Konstruksi jalan ini melibatkan proses penimbunan tanah guna membentuk badan jalan, termasuk pembangunan lereng timbunan setinggi 12 meter dari permukaan tanah, yang memiliki potensi kelongsoran akibat ketinggiannya yang signifikan. Untuk meningkatkan kestabilan lereng, digunakan metode timbunan bertahap serta perkuatan dengan geotekstil.
Evaluasi stabilitas lereng timbunan setinggi 12 meter dilakukan melalui analisis keamanan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D V20, dengan mempertimbangkan pengaruh beban gempa. Penelitian ini membandingkan tiga kondisi lereng: lereng dengan tanah asli, lereng dengan timbunan bertahap dan konsolidasi, serta lereng yang diperkuat dengan geotekstil. Model lereng yang digunakan memiliki kemiringan 1:1,4.

Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng timbunan tanah asli memiliki nilai faktor keamanan sebesar 0,9135 pada tahap konstruksi dan 0,7368 setelah konstruksi. Sementara itu, timbunan bertahap dengan konsolidasi setinggi 3 meter menghasilkan nilai keamanan sebesar 1,073 saat konstruksi dan 1,065 pasca konstruksi. Lereng yang diperkuat dengan geotekstil menunjukkan performa paling baik, dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,331 selama konstruksi dan meningkat menjadi 1,520 setelah konstruksi. Dengan demikian, penggunaan geotekstil sebagai perkuatan lereng terbukti memberikan tingkat keamanan yang paling tinggi terhadap potensi kelongsoran.

an stabilitas.

2.2.5 Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Menggunakan perkuatan Geotesktil Dengan Program PLAXIS 8.2 (Studi Kasus berada pada jalan Tol Balikpapan - Samarinda).

Pada proyek Balikpapan-Samarinda di Provinsi Kalimantan Timur, kondisi tanahnya sangat bervariasi. Di STA 2+050, tanahnya adalah tanah rawa yang rentan terhadap penurunan dan longsor, sehingga perlu dilakukan analisis terhadap timbunan di atas tanah rawa untuk membangun jalan tol. Penelitian ini mencakup seluruh jalan tol Balikpapan-Samarinda, dengan analisis stabilitas timbunan pada STA 2+050 menggunakan perangkat lunak PLAXIS 8.2, dengan variasi tinggi timbunan 6m, 7m, dan 10m.

Tujuan analisis ini adalah untuk mendapatkan nilai keamanan dan penurunan tanah. Timbunan tanah dianggap aman jika memenuhi syarat nilai keamanan ≥ 1,5. Timbunan yang tidak memenuhi syarat tersebut akan diperkuat dengan Geotesktil. Hasil analisis menunjukkan bahwa timbunan 6m memiliki nilai faktor keamanan (SF) sebesar 1,6363 dan penurunan tanah sebesar 0,06384, memenuhi syarat keamanan yang ditetapkan. Timbunan 7m juga memenuhi syarat dengan SF sebesar 1,5019 dan penurunan tanah sebesar 0,0748. Namun, timbunan 10m mengalami kecolongan dalam faktor keamanan dan penurunan tanahnya mencapai 0,01229. Setelah perhitungan ulang, timbunan 10m yang mengalami kecolongan memiliki SF sebesar 1,7287 dan penurunan tanah sebesar 0,272 meter.

2.2.6 Analisis Stabilitas Lereng dengan perkuatan Geotesktil dan variasi ketinggian muka air tanah (Studi Kasus berada di jalan wanayasa-Banjarnegara Jawa Tengah, Lereng Sta.70+500)

Jalan Raya Banjarnegara–Wanayasa merupakan jalur strategis yang mendukung sektor pariwisata dan perekonomian wilayah Dieng, Kabupaten Banjarnegara, dari arah barat. Kawasan ini didominasi oleh topografi perbukitan dengan kondisi tanah yang sangat ekstrem. Faktor-faktor seperti kemiringan lereng yang curam, intensitas curah hujan yang tinggi, serta volume lalu lintas yang padat menyebabkan terjadinya longsor di sejumlah titik. Salah satu lokasi yang terdampak

adalah STA. 70+500, yang memiliki lereng dengan kemiringan mencapai 73º dan didominasi oleh tanah lanau berpasir. Oleh karena itu, diperlukan kajian desain perkuatan lereng untuk mengatasi potensi longsor di lokasi tersebut. Tujuan dari analisis dalam Tugas Akhir ini adalah untuk menilai tingkat stabilitas lereng sebelum dan sesudah diberi perkuatan menggunakan geotekstil.

Metode analisis pada kondisi lereng eksisting dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 8.2 dan pendekatan Metode Fellenius untuk menentukan nilai faktor keamanan. Sementara itu, analisis pada lereng yang telah diperkuat dengan geotekstil dilakukan menggunakan PLAXIS 8.2 dengan mempertimbangkan variasi muka air tanah dalam desain. Data karakteristik tanah diperoleh dari Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Diponegoro.

Hasil simulasi pada lereng eksisting menunjukkan adanya potensi longsor akibat kemiringan lereng yang sangat curam dan kurangnya sistem perkuatan. Berdasarkan metode irisan, diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 0,995. Setelah dilakukan perkuatan dengan geotekstil, nilai faktor keamanan meningkat secara signifikan. Pada kondisi muka air tanah 4,3 meter dan beban sendiri, nilai keamanan mencapai 1,809; dengan tambahan beban kendaraan menjadi 1,592; dan dengan kombinasi beban kendaraan serta gempa sebesar 1,568. Untuk muka air tanah setinggi 5,3 meter, nilai keamanan berturut-turut adalah 1,809 (beban sendiri), 1,592 (dengan kendaraan), dan 1,575 (dengan kendaraan dan gempa). Pada ketinggian muka air tanah 3,4 meter, nilai faktor keamanan adalah 1,725; 1,579; dan 1,569 untuk masing-masing kondisi beban. Sedangkan pada muka air tanah 2,3 meter, nilai keamanan tercatat sebesar 1,645; 1,576; dan 1,565. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi standar keamanan minimum yang disyaratkan, yaitu lebih dari 1,5.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan geotekstil sebagai perkuatan lereng efektif dalam meningkatkan stabilitas hingga pada kondisi muka air tanah setinggi 2,3 meter dari permukaan lereng.

2.3 Matriks Perbandingan Pustaka

Perbandingan penelitian atau tugas akhir yang dikerjakan oleh penulis dan dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada matriks atau Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Sekarang Dilakukan

Penelitian Terdahulu							**Penelitian yang Dilakukan**
Peneliti	Brenda Mardwista Gati (2018)	Abdul Hafidz Bahalwan (2018)	Rahmita zerisa (2022)	Diaz Arsyah Susangunap (2021)	Febry Kumala Rasdi (2018)	Iqbal imam taufik (2017)	Ahmad Arifin (2024)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan `dan Prediksi Timbunan yang Terjadi Menggunakan Program PLAXIS (Studi Kasus Proyek Jalan Tol Cimanggis – Cibitung seksi II Ruas Transyogi – Narogong).	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotesktil pada Lereng (Studi Kasus Pada Jalan Tol Semarang Solo Sta. 2+200).	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Mini Pile Dengan Metode Elemen Hingga(Studi Kasus Proyek Jalan Tol Ngawi – kertosono Sta 132+750).	Analisis Stabilitas Lereng Badan Jalan Dengan Timbunan bertahap Dan menggunakan Perkuatan Geotesktil (Studi Kasus di Jalan tol Indramayu - Muara Enim).	Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Menggunakan perkuatan Geotesktil Degan Program PLAXIS 8.2 (Studi Kasus berada pada jalan Tol Balikpapan - Samarinda).	Analisis Stabilitas Lereng dengan perkuatan Geotesktil dan variasi ketinggian muka air tanah (Studi Kasus berada di jalan wanayasa-Banjarnegara Jawa Tengah, Lereng Sta.70+500)	Analisis Stabilitas Lereng Badan Jalan dengan Perkuatan Geotesktil dan Prediksi Penurunan yang terjadi menggunakan Program PLAXIS (Studi Kasus Pada Jalan Tawang - Ngalang segmen IV)
Tujuan Penelitian	Merancang peningkatan stabilitas tanah dengan menggunakan dinding penahan tanah model kantilever dan material Geotesktil, serta menilai kekuatan lereng sebelum dan setelah direncanakan ulang dengan peningkatan tersebut.	Memahami tingkat kestabilan lereng tanpa menggunakan Geotesktil, dan memahami tingkat kestabilan lereng dengan penerapan perkuatan Geotesktil.	Meneliti kestabilan lereng timbunan tanah asli menggunakan metode elemen hingga dan Fellinius untuk menentukan safety factor yang aman. Menyelidiki safety factor dalam desain lereng yang diperkuat dengan Geotesktil dengan mengganti tanah dasar menggunakan metode elemen.	Mengetahui nilai keamanan tanah timbunan setinggi 12 meter tanpa penguatan. Mengetahui nilai keamanan lereng timbunan tanah bertahap setinggi 3 meter dengan konsolidasi di Sta 117+925. Mengetahui nilai keamanan pada lereng timbunan setinggi 12 meter dengan penerapan perkuatan Geotesktil	Mengidentifikasi kestabilan timbunan tanah alami tanpa menggunakan Geotesktil. Mengukur tingkat keamanan setelah penguatan dengan Geotesktil pada berbagai variasi timbunan. Menentukan perbedaan penurunan tanah antara timbunan tanah alami dan yang diperkuat dengan Geotesktil.	Mengidentifikasi faktor keselamatan lereng alami dan dengan tambahan perkuatan Geotesktil.	Untuk mendapatkan nilai safety factor tanah pada timbunan jalan tanpa perkuatan tanah dan Untuk memperoleh nilai safety factor tanah pada timbunan jalan dengan perkuatan Geotesktil serta Untuk mengetahui Penurunan tanah pada timbunan pada jalan

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Brenda Mardwista Gati (2018)	Abdul Hafidz Bahalwan (2018)	Rahmita Zerisa (2022)	Diaz ArsyahSusangunap (2021)	Feby Kumala Rasdi (2018)	Iqbal Imam Taufik (2017)	Ahmad Arifin (2024)
Hasil Penelitian	Kestabilan lereng di bagian timbunan jalan asli mengalami keruntuhan. Lereng pada timbunan badan jalan yang mengalami penggantian tanah, baik dengan maupun tanpa beban gempa selama dan setelah konstruksi, mengalami keruntuhan. Lereng pada timbunan badan jalan yang diperkuat dengan 1-2 lapis Geotesktil, baik dengan maupun tanpa beban gempa, mengalami keruntuhan. Stabilitas tanah pada timbunan badan jalan yang diperkuat dengan Geotesktil menunjukkan faktor keamanan yang	Hasil evaluasi kestabilan lereng asli tanpa menggunakan penguatan Geotesktil dengan menggunakan aplikasi PLaxis versi 8.2 menunjukkan bahwa nilai keamanan terhadap beban sendiri adalah 1,383, terhadap beban kendaraan adalah 1,345, dan terhadap beban gempa adalah 1,231. Namun, nilai-nilai keamanan ini tidak mencapai standar minimum keamanan yang diinginkan, yaitu	Analisis terhadap lereng yang sudah ada menggunakan metode elemen hingga mengalami keruntuhan atau ke longsoran. Area ke longsoran terlihat hingga mencapai lapisan tanah asli sekitar 6 meter di bawah permukaan tanah. Karena PLAXIS tidak dapat menampilkan nilai Faktor Keamanan (SF) saat terjadi keruntuhan, dilakukan perhitungan manual dengan metode Fellenius yang menghasilkan SF sebesar 0,9826 untuk lereng yang sudah ada. Selanjutnya, hasil Faktor Keamanan	Nilai angka keselamatan lereng timbunan saat konstruksi dan setelahnya, dengan menggunakan analisis program PLAXIS V20, menunjukkan bahwa tanah asli timbunan dengan tinggi 12 meter mengalami kegagalan (runtuh). Perhitungan manual dengan metode Fellinius menghasilkan nilai angka keselamatan saat konstruksi sebesar 0,9135 dan setelah konstruksi sebesar 0,7368. Kedua nilai ini berada di bawah 1,0, menandakan tidak aman dan potensi kegagalan lereng. Hasil analisis menunjukkan bahwa tidak ada nilai angka keselamatan yang memenuhi faktor keselamatan yang direncanakan, yaitu 1,3,	Timbunan dengan ketinggian 6 meter memiliki faktor keamanan sebesar 1,6363 dan mengalami penurunan tanah sebesar 0,0638 mm. Timbunan dengan ketinggian 7 meter memiliki faktor keamanan sebesar 1,5019 dan mengalami penurunan tanah sebesar 0,0748 mm. Setelah dianalisis, timbunan dengan ketinggian 10 meter memiliki faktor keamanan < 1,00 (kolaps). Namun, setelah dihitung menggunakan metode Fellinius, faktor keamanannya adalah 1,7287.	Pada lereng eksisting yang tidak diperkuat dengan Geotesktil terjadi penurunan tanah yang menyebabkan keruntuhan tubuh tanah, sehingga tidak diketahui nilai faktor keamanan lereng. Untuk mendapatkan nilai faktor keamanan lereng, analisis dilakukan dengan metode Fellinius/iris. Dari analisis tersebut, nilai faktor keamanan lereng adalah 1,066 untuk lereng dengan beban sendiri dan 0,995 untuk lereng dengan beban sendiri dan beban gempa. Nilai faktor keamanan pada lereng eksisting tanpa perkuatan	Desain perkuatan lereng badan jalan menggunakan geotekstil Angka aman lereng asli dan lereng yang sudah diperkuat. Besar penurunan tanah, arah pergerakan tanah, dan potensi kelongsoran tanah yang terjadi pada lereng asli tanpa perkuatan dan menggunakan perkuatan geotekstil.

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Brenda Mardwista Gati (2018)	Abdul Hafidz Bahalwan (2018)	Rahmita Zerisa (2022)	Diaz ArsyahSusangunap (2021)	Feby Kumala Rasdi (2018)	Iqbal Imam Taufik (2017)	Ahmad Arifin (2024)
	cukup, namun mengalami keruntuhan saat dilakukan penggantian tanah dan dengan penggunaan lapisan Geotesktil penuh, ditambah dengan penambahan kontra beban berukuran 3x1. Semakin akurat variasi permodelan , maka penurunan tanah yang terjadi semakin kecil; namun, semakin tinggi timbunan, penurunannya semakin besar.	kurang dari 1,5. Dalam analisis kestabilan lereng asli yang menggunakan penguatan Geotesktil dengan PLAXIS versi 8.2, ditemukan bahwa nilai keamanan terhadap beban sendiri adalah 1,793, terhadap beban sendiri dan kendaraan adalah 1,79, dan terhadap beban sendiri, kendaraan, dan gempa adalah 1,789. Dalam kasus ini, nilai keamanan memenuhi syarat keamanan yang diinginkan, yaitu lebih dari 1,5.	(SF) dari penguatan Geotesktil dengan penggantian sebesar 1,25 meter tidak dapat diperoleh karena terjadi keruntuhan pada lereng dengan pola keruntuhan yang menunjukkan pergerakan tanah dasar yang cukup signifikan.	baik saat konstruksi maupun setelahnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada tahap konsolidasi dengan tinggi timbunan 3 meter, nilai keamanan lereng saat masa konstruksi adalah 1,073 karena beban struktur. Setelah konstruksi, dengan tambahan beban dari struktur dan lalu lintas, nilai keamanannya menjadi 1,065. Nilai- nilai ini masih di bawah ambang batas keamanan 1,3, menandakan bahwa kondisi tersebut belum sepenuhnya aman dan berpotensi mengalami kelongsoran.		masih di bawah standar yang ditetapkan (>1,5), sehingga perkuatan diperlukan. Setelah diberikan perkuatan dengan Geotesktil, nilai faktor keamanan lereng meningkat di atas standar yang ditetapkan.	

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Secara umum, tanah adalah gabungan dari berbagai mineral, materi organik, dan endapan yang terletak di atas lapisan batuan dasar di dalam bumi (Hardiyatmo, 1992). Tanah dan batuan merupakan dua kategori utama bahan yang membentuk kerak bumi, Di mana batuan adalah kumpulan mineral yang terikat secara permanen dan kuat oleh gaya kohesif(Terzaghi dkk., 1996).

Ikatan antara partikel yang relatif lemah dapat terjadi karena adanya karbonat, materi organik, atau oksida yang mengendap di antara partikel-partikel tersebut. Ruang di antara partikel-partikel tersebut dapat terisi oleh air, udara, atau keduanya. Pembentukan tanah dari batuan asalnya dapat melalui proses fisik maupun kimia. Proses fisik dalam pembentukan tanah, yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, dapat disebabkan oleh erosi, angin, air, es, aktivitas manusia, atau perubahan suhu dan cuaca yang menyebabkan hancurnya partikel-partikel tanah. Partikel-partikel tersebut dapat memiliki berbagai bentuk seperti bulat, bergerigi, atau bentuk lainnya. Pelapukan yang terjadi karena proses kimia biasanya dipengaruhi oleh oksigen, karbon dioksida, air (terutama yang bersifat asam atau alkali), dan proses kimia lainnya. Jika hasil pelapukan tetap berada di tempat asalnya, tanah tersebut disebut sebagai tanah residual, sedangkan jika tanah tersebut berpindah tempat, disebut sebagai tanah terangkat (Hardiyatmo, 2006).

Tanah memiliki peran penting dalam setiap proyek teknik sipil. Ini bisa menjadi fondasi bagi bangunan, bahan konstruksi seperti tanggul atau bendungan, atau bahkan menyebabkan gaya eksternal pada struktur seperti dinding penahan tanah. Oleh karena itu, dalam perencanaan konstruksi, kita harus mempertimbangkan struktur tanah, termasuk bentuk, ukuran, komposisi mineral butiran tanah, serta sifat dan komposisi air tanah. Struktur tanah merespons perubahan eksternal seperti beban, air, suhu, dan faktor-faktor lainnya. Secara

umum, struktur tanah dapat dibagi menjadi tanah kohesif (cohesive soil) dan tanah tak kohesif (cohesionless soil) (Das, 1995).

Butiran mineral yang membentuk struktur padat tanah merupakan hasil dari proses pelapukan batuan. Variasi ukuran butiran padat tersebut sangat memengaruhi sifat fisik tanah, yang bergantung pada ukuran, bentuk, dan komposisi kimia butiran tersebut (Das, 1995). Terminologi seperti pasir, lempung, lanau, atau lumpur umumnya digunakan untuk mengklasifikasikan ukuran partikel berdasarkan batas ukuran yang telah ditetapkan. Namun, istilah tersebut juga mencerminkan sifat khusus dari jenis tanah yang dijelaskan. Contohnya, lempung mengacu pada tanah yang kohesif dan plastis, sementara pasir menggambarkan tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis (Hardiyatmo, 2006).

Tanah merupakan kumpulan partikel mineral yang tidak memiliki ikatan kuat antar partikelnya, terbentuk melalui proses pelapukan batuan (Craig, 1987). Secara teknis, tanah adalah material yang terdiri dari butiran mineral padat yang tidak terikat secara kimia, disertai dengan bahan organik yang telah mengalami pelapukan menjadi partikel-padat, serta mengandung zat cair dan gas yang mengisi ruang antara partikel tersebut. Selain digunakan sebagai bahan konstruksi dalam berbagai proyek teknik sipil, tanah juga berperan sebagai fondasi untuk bangunan (Das B.M., 1995).

Menurut Bowles (1984), tanah dapat didefinisikan sebagai gabungan dari partikel-partikel yang terdiri dari satu atau lebih jenis dari yang berikut ini:

1. Berangkal (boulders) adalah fragmen batuan besar yang umumnya memiliki ukuran lebih dari 250 hingga 300 mm, sedangkan kerakal (cobbles/pebbles) merujuk pada fragmen batuan dengan ukuran antara 150 mm hingga 250 mm.
2. Kerikil (gravel) merupakan partikel batuan dengan ukuran berkisar 5 mm hingga 150 mm.
3. Pasir (sand) terdiri dari partikel batuan dengan ukuran 0,074 mm hingga 5 mm, yang varian ukurannya mulai dari kasar (3 mm - 5 mm) hingga halus (< 1 mm).
4. Lanau (silt) adalah partikel batuan dengan ukuran antara 0,002 mm hingga 0,0074 mm.
5. Lempung (Clay) merujuk pada partikel mineral dengan ukuran kurang dari

0,002 mm yang memiliki peran penting dalam kohesi tanah yang bersifat kohesif.

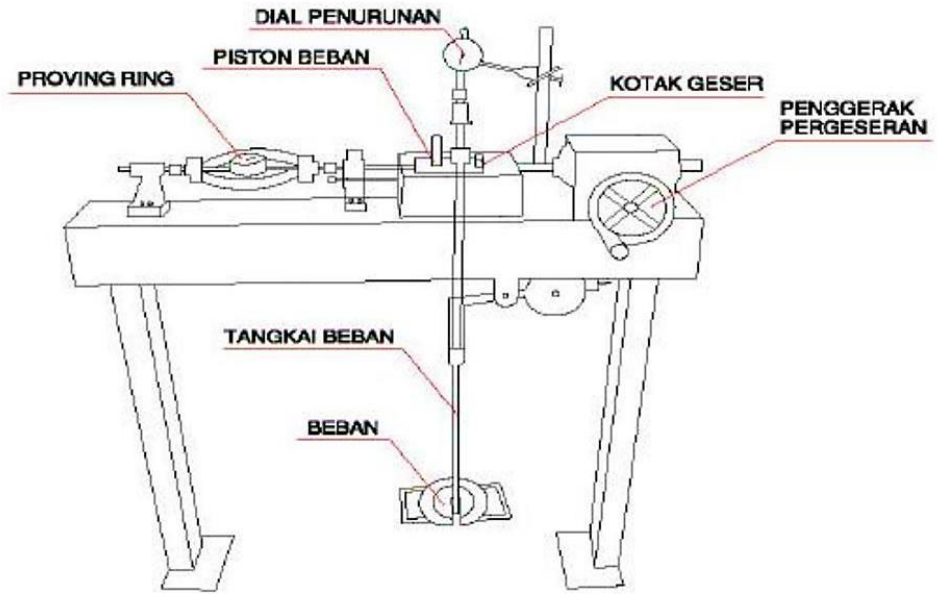
6. Koloid (colloids) adalah partikel mineral diam dengan ukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

3.1.1 Penyelidikan Tanah

Dalam tahap awal perencanaan konstruksi sipil, perlu dilakukan investigasi tanah, seperti yang diperlukan dalam perencanaan fondasi, pemadatan timbunan, pembangunan bendungan, dan evaluasi stabilitas lereng. Investigasi tanah bertujuan untuk mengumpulkan data teknis dan parameter tanah yang akan menjadi dasar dalam perancangan, karena data tersebut mencerminkan kondisi tanah di lokasi proyek. Tujuan utama dari investigasi tanah adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengidentifikasi kondisi alamiah dari strata tanah di area yang sedang dipelajari.
2. Untuk mengumpulkan sampel tanah yang belum terganggu (undisturbed) dan yang sudah terganggu (Disturbed).
3. Untuk menetapkan kedalaman dari lapisan tanah keras.
4. Untuk melakukan pengujian lapangan langsung (in-situ field test).
5. Untuk mengevaluasi potensi terjadinya masalah perilaku bangunan yang telah ada di sekitar lokasi yang sedang diteliti.

Hasil penyelidikan tanah akan digunakan untuk memilih opsi atau jenis konstruksi yang optimal, menentukan kedalaman fondasi, dan memilih konstruksi yang paling ekonomis dan aman. Gambar 3.1 di bawah ini adalah contoh dari penelitian tanah yang dilakukan di laboratorium.



Gambar 3.1 Skema Alat Pengujian Geser Langsung
(Sumber: SNI 3420-2016)

Menurut Hardiyatmo (2010), pemeriksaan yang cermat melalui pengeboran tanah yang kemudian diikuti dengan serangkaian pengujian di laboratorium atau lapangan selalu dilakukan untuk mengkaji tanah dalam proyek-proyek besar, seperti gedung bertingkat, jembatan, bendungan, bangunan industri, dan lainnya.

Sebelum merancang stabilisasi lereng, penting untuk melakukan pemeriksaan tanah dengan langkah-langkah yang meliputi

1. Pengecoran atau penggalian lubang uji,
2. Pengambilan contoh tanah (*sampling*),
3. Pengujian contoh tanah di laboratorium atau lapangan, dan
4. Analisis hasil-hasil uji tanah untuk stabilisasi lereng.

Bergantung pada tingkat keakuratan yang diinginkan, pengambilan sampel tanah dilakukan pada setiap kedalaman sekitar 0,75-3 meter dengan cara menekan tabung sampler tanah dengan hati-hati (terutama untuk sampel tanah yang tidak terganggu) yang dipasang pada ujung bawah batang bor. Saat pengeboran berlangsung, sampel tanah dapat diperiksa di dalam pipa bor yang ditarik ke luar. Jika terjadi perubahan jenis tanah pada tahap ini, maka sampel tambahan diambil. Untuk lapisan-lapisan yang dianggap penting dalam memahami karakteristik tanahnya, kadang-kadang pengambilan sampel secara kontinu diperlukan. Ketika

pengeboran dilakukan di lapisan batuan, sampel inti batuan diambil menggunakan alat bor putar.

Pengambilan sampel tanah tergantung pada tingkat keakuratan yang diinginkan, dilakukan pada setiap interval kedalaman sekitar 0,75 hingga 3 meter dengan menggunakan metode pengambilan sampel tabung tanah dengan hati-hati (terutama untuk sampel tanah yang belum terganggu) yang dipasang di ujung bawah batang bor. Saat proses pengeboran dilakukan, sampel tanah dapat diperiksa di dalam pipa bor yang ditarik keluar. Jika terjadi perubahan jenis tanah, diperlukan pengambilan sampel tambahan. Pengambilan sampel tanah secara berkesinambungan (continuous sampling) terkadang diperlukan ketika karakteristik lapisan-lapisan tanah dianggap penting untuk diketahui. Alat bor putar (rotary dril) digunakan ketika pengeboran dilakukan pada lapisan batuan seperti inti batu (rock over).

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi adalah suatu metode yang mengelompokkan jenis tanah yang berbeda-beda tetapi memiliki karakteristik yang serupa ke dalam kelompok dan sub kelompok berdasarkan penggunaannya. Sistem ini digunakan untuk memberikan gambaran ringkas tanpa detail yang mendalam tentang karakteristik umum tanah yang sangat bervariasi. Sistem klasifikasi yang ada telah diperluas dengan mempertimbangkan sifat-sifat dasar tanah yang mudah diidentifikasi (Das, 1995).

1. Sistem Klasifikasi AASHTO

   Pada tahun 1929, sebuah sistem klasifikasi diperkenalkan sebagai Sistem Klasifikasi Publik Roa Administration. Dalam sistem ini, tanah diklasifikasikan menjadi tujuh kelompok utama, yaitu A-1 hingga A-7. Tanah yang termasuk dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah dengan butiran dimana 35% atau kurang dari butiran tersebut lolos ayakan No. 200. Sedangkan tanah yang lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan sebagai A-4, A-5, A-6, dan A-7, yang sebagian besar terdiri dari tanah lanau dan lempung. Klasifikasi tanah menurut sistem AASHTO dapat dilihat pada tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi umum	Material granuler (< 35% lolos saringan no. 200)							Tanah-tanah lanau-lempung (< 35% lolos saringan no.200)			
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no. 40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no. 200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no.4											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 mins	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np.	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	2- maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

Catatan:
Kelompok A-7 dibagi atas A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL) Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5
Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6
Np. = Non plastis

Sumber: Hardiyatmo (2014)

2. Klasifikasi Tanah Sistem Unified

Tanah digolongkan sebagai tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% melewati saringan nomor 200 dalam sistem Unified. Jenis tanah ini kemudian dikelompokkan dan di sub kelompokkan sesuai dengan Tabel 3.1. Tabel klasifikasi tersebut menggunakan simbol-simbol tertentu, antara lain

G = kerikil (*gravel*),

S = pasir (*sand*),

C = lempung (*Clay*),

M = lanau (*silt*),

O = lanau atau lempung organik (*organik silt Or Clay*),

Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organik soil*),

W = gradasi baik (*well-graded*),

P = gradasi buruk (*poorly graded*),

H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*), dan

L = plastisitas rendah (*Low plasticity*).

Berikut adalah langkah-langkah dalam menetapkan klasifikasi tanah menggunakan Sistem Unified:

a. Menentukan apakah tanah memiliki butiran halus atau kasar dapat dilakukan secara visual atau dengan proses penyaringan menggunakan saringan nomor 200.
b. Jika tanah berupa butiran kasar:
    1) Menerapkan penyaringan pada tanah tersebut dan membuat grafik untuk menunjukkan distribusinya.
    2) Mencari nilai persentase partikel yang melewati saringan no.4. Jika jumlah partikel yang lolos kurang dari setengahnya, tentukan jenis tanahnya sebagai kerikil. Namun, jika jumlah partikel yang lolos lebih dari setengahnya, kategorikan sebagai pasir.
    3) Menentukan jumlah partikel yang melewati saringan nomor 200. Jika persentase partikel yang melewati saringan tersebut kurang dari 5%, pertimbangkan pembuatan grafik distribusi partikel dengan menghitung nilai Cu dan CC. Jika distribusi partikel termasuk dalam

kategori yang baik, maka klasifikasikan sebagai GW (jika berupa kerikil) atau SW (jika berupa pasir). Namun, jika distribusi partikel termasuk dalam kategori yang buruk, klasifikasikan sebagai GP (jika berupa kerikil) atau SW (jika berupa pasir). Apabila persentase partikel tanah yang melewati saringan nomor 200 berada di antara 5 hingga 12%, tanah akan ditandai dengan simbol ganda dan memiliki karakteristik keplastisan (misalnya GW – GM, SW – SM, dan sebagainya).

4) Apabila jumlah butiran yang melewati saringan nomor 200 meningkat lebih dari 12%, pengujian batas Atterberg diperlukan. Ini melibatkan pemisahan butiran tanah yang tersisa di saringan nomor 40, diikuti dengan penentuan klasifikasi menggunakan diagram plastisitas (seperti GM, GC, SM, SC, GM-GC, atau SM-SC).

c. Jika tanah berbutir halus:

1) Mengeluarkan partikel tanah yang tersisa dalam saringan nomor 40. Bila indeks plastisitas melebihi 50, dikategorikan sebagai H (plastisitas tinggi), dan jika kurang dari 50, dikategorikan sebagai L (plastisitas rendah).

2) Jika dalam diagram plastisitas, batas-batas Atterberg untuk H (plastisitas tinggi) terletak di bawah garis A, identifikasi jenis tanah sebagai organik (OH) atau anorganik (MH). Jika batas-batas tersebut berada di garis A, maka tanah tersebut diklasifikasikan sebagai CH.

3) Jika titik-titik batas Atterberg pada kurva plastisitas berada di bawah garis A dan terletak dalam area yang diarsir, tentukan jenis tanah (OL atau ML) berdasarkan karakteristik seperti warna, aroma, atau perubahan pada batas cair dan batas plastisnya setelah dikeringkan dalam oven.

4) Jika titik-titik batas Atterberg pada diagram plastisitas berada di dalam area yang diberi garis, dekat dengan kurva A atau nilai LL sekitar 50, gunakan tanda ganda.

Berikut adalah sistem klasifikasi Unified yang ditampilkan pada Tabel 3.2.

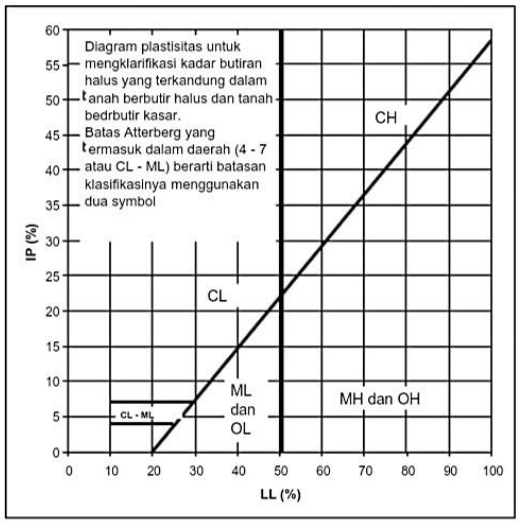
Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Sistem Unified

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

Sumber : Hardiyatmo (2014)

Berikut adalah klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS yang ditampilkan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Klasifikasi Tanah Sistem USCS

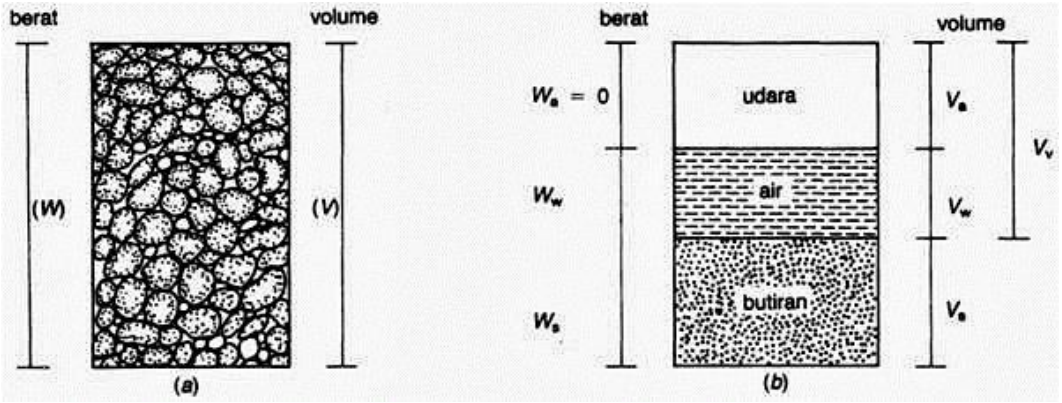
Klasifikasi Umum			Symbol klasifikasi	Nama Jenis	Kriteria klasifikasi		
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50 % tertahan pada ayakan 74 μ	50% atau lebih bagian kasar dari butiran kasar tertahan pada saringan 4.76 mm	Kerikil Bersih	GW	Krikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, campuran kerikil dan pasir sedikit atau tanpa butiran halus	Klasifikasi berdasarkan pada persentase butiran halus 50 % atau kurang: GW, GP, SW, SP Lebih dari 12%, GM, GC, SM, SC 5 % - 12 % Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol ganda	$Uc = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 4 $Uc' = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ bernilai antara 1 - 3	
			GP	Krikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, campuran kerikil dan pasir sedikit atau tanpa butiran halus		Tidak sesuai dengan kriteria GW	
		Kerikil Berikut butiran halusnya	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil, pasir dan lanau		Batas Atterberg terletak dibawah garis A atau Index plastisitas < dari 4	Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsirdari diagramdibawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil, pasir dan lempung		Batas Atterberg terletak diatas garis A dan Index Plastisitas > 7	
	50 % atau lebih pasir kasar dari butiran kasar lolos melalui ayakan 4.76 mm	Pasir bersih	SW	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, pasir dari pecahan krikil, tanpa atau sedikit butiran halus		$Uc = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 6 $Uc' = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ bernilai antara 1 - 3	
			SP	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, pasir dari pecahan krikil, tanpa atau sedikit butiran halus		Tidak sesuai dengan kriteria SW	
		Pasir berikut butiran halusnya	SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau		Batas Atterberg terletak dibawah garis A atau Index plastisitas < dari 4	Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsirdari diagramdibawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung		Batas Atterberg terletak diatas garis A dan Index Plastisitas > 7	
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50 % lolos pada ayakan 74 μ	Lanau dan lempung LL ≤ 50		ML	Lanau inorganik, pasir sangat halus, debu padas, pasir halus berlanau atau berlempung		
			CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah atau sedang, lempung dari kerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung dengan viskositas rendah			
	Lanau dan lempung LL > 50		OL	Lanau organik dengan plastisitas rendah dan lempung berlanau organik			
			MH	Lanau inorganik, pasir halus atau lanau dari mika atau ganggang (diatomae) lanau elastis			
			CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung dengan viskositas tinggi			
			OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi			
Tanah dengan kadar organik tinggi			PT	Gambut, lumpur hitam dan tanah berkadar organik tinggi lainnya	Dapat dibedakan dengan mata dan tangan, ASTM D 2488 - 66 T		

Klasifikasi Tanah USCS (ASTM D 2487 - 66T)

3.1.3 Parameter Tanah

Parameter tanah yang dimaksud mencakup berat volume basah, berat volume

jenuh air, Modulus Young, rasio Poisson, sudut geser dalam, dan kohesi. Menurut Hardiyatmo (2014), tanah dapat dibagi menjadi dua atau tiga bagian tergantung kondisinya. Tanah kering memiliki dua bagian, yaitu butiran tanah dan pori udara. Sementara itu, tanah jenuh terdiri dari dua bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam kondisi tidak jenuh, tanah memiliki tiga bagian, yaitu padat (butiran), pori udara, dan air pori. Elemen-elemen tanah seperti volume (V) dan berat total (W) dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Fase Tanah
(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

Dari memperhatikan gambar tersebut dapat dibentuk pada Persamaan (3.1) sampai (3.3), berikut ini.

$$W = Ws + Ww \quad (3.1)$$

dan

$$V = Vs + Vw + Va \quad (3.2)$$

$$Vv = Vw + Va \quad (3.3)$$

dengan:

Ws = Berat butiran padat, Ww = Berat air,
Vs = Volume butiran padat,
Vw = volume air, dan
Va = volume udara.

1. Berat Volume Lembap atau Basah (γb)

   Berat jenis tanah dalam keadaan lembap atau basah (γb) adalah rasio dari berat total butiran tanah yang mencakup air dan udara (W) terhadap volume total tanah (V) (lihat Persamaan 3.4)."

   $$\gamma b = \frac{W}{V} \quad (3.4)$$

   dengan:

   W = Ww + Ws + Wa (Wa = 0)

   bila ruang udara terisi oleh air seluruhnya (Va = 0), maka tanah menjadi jenuh.

2. Berat volume jenuh air (γsat)

   Berat volume jenuh air (γsat), (S = 100%) (lihat Persamaan 3.5).

   $$\gamma b = \frac{\gamma w(Gs+e)}{1+e} \quad (3.5)$$

3. Modulus Young

   Elastisitas tanah bisa ditentukan dari modulus Young, yang mengukur perbandingan antara tegangan dan regangan. Uji Triaksial digunakan untuk mengukur nilai ini, biasanya dilakukan dalam kondisi undrained untuk mendapatkan modulus elastisitas (E). Nilai E dapat diestimasi dari kemiringan kurva tegangan-regangan pada setengah dari beban ultimit aksial. Angka Poisson (ν) dihitung dengan mengukur regangan kompresi aksial dan lateral selama uji triaksial. Modulus Elastisitas (Es) dapat diperoleh dari data sondir tanah seperti yang tercantum dalam Tabel 3.4. Untuk tanah granuler seperti pasir, modulus elastisitas bisa ditentukan melalui uji triaksial, dengan nilai E proporsional dengan (σ_)^n, di mana σ_ adalah tekanan kekang hidrostatis dan n mendekati 0,5. Nilai-nilai modulus elastisitas (E) dan angka Poisson (ν) dapat diestimasi untuk berbagai jenis tanah.

Tabel 3.4 Perkiraan Modulus Elastis

Macam Tanah	E (Kn./m^2)
LEMPUNG	
Sangat lunak	300-3.000
Lunak	2.000-4.000
Sedang	4.500-5.000
Keras	7.000-20.000
Berpasir	30.000-42.500
PASIR	
Berlanau	5.000-20.000
Tidak padat	10.000-25.000
Padat	50.000-100.000
PASIR DAN KERIKIL	
Padat	80.000-200.000
Tidak Padat	50.000-140.000
LANAU	2.000-20.000
LOESS	15.000-60.000
CADAS	140.000-1.400.000

Sumber : Bowles (1977)

Nilai-nilai modulus elastisitas (E) yang digunakan dalam rumus (3.6), serta ada beberapa prediksi nilai (E) yang diajukan oleh peneliti lain. Percobaan kerucut statis yang dilakukan oleh De Beer (1965) menghasilkan korelasi antara tahanan kerucut (q_c) dan (E), yang dinyatakan dalam rumus (3.6) sebagai berikut.

$$E = 2\ qc \tag{3.6}$$

Dengan qc dalam kg/cm^2 . Bowles (1977) mengusulkan persamaan yang dihasilkan dari pengumpulan data uji kerucut statis (sondir) seperti dalam Persamaan (3.7) dan (3.8), sebagai berikut.

$$E = 3\ qc \text{ kg}/cm^2 \text{ (untuk pasir)} \tag{3.7}$$

$$E = 2\ qc \text{ kg}/cm^2 \text{ sampai } 8\ qc \text{ kg}/cm^2 \text{ (untuk lempung)} \tag{3.8}$$

Hasil pengujian Standard Penetration Test (SPT) juga dapat memberikan estimasi modulus elastis. Mitchell dan Gardner (1975) mengusulkan korelasi antara modulus elastis dan nilai SPT sebagaimana dijelaskan dalam Persamaan (3.9) dan (3.10), yang dapat diringkas sebagai berikut.

$$E = 6\ (N+5)\ \text{k}/ft^2 \text{ (untuk pasir berlempung)} \tag{3.9}$$

$$E = 10\ (N+15)\ \text{k}/ft^2 \text{ (untuk pasir)} \tag{3.10}$$

Berdasarkan hubungan yang ditemukan antara nilai N dari uji SPT dan tahanan konus (Meyerhof, 1956), kita dapat menghitung nilai qc menggunakan rumus

yang diberikan dalam Persamaan (3.11), seperti yang dijelaskan di bawah ini.

$qc = 4N$ (3.11)

4. *Poisson Ratio*

   Rasio Poisson (v) adalah perbandingan antara perubahan deformasi lateral dengan perubahan deformasi longitudinal yang disebabkan oleh tekanan. Nilai rasio Poisson dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah., seperti yang tercantum dalam Tabel 3.5

Tabel 3.5 Nilai Poisson Ratio

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

Sumber: Bowles (1977)

5. Kohesi

   Kohesi adalah daya tarik di antara butiran tanah yang menentukan kekuatan tanah terhadap geseran serta kemampuannya untuk bertahan dari deformasi karena tekanan samping. Pengukuran kohesi bisa dilakukan menggunakan Triaxial Test dan Direct Shear Test.

6. Kuat Geser Tanah

   Menurut Hardiyatmo (2014), penting untuk mempertimbangkan parameter kekuatan geser tanah saat mengevaluasi kapasitas dukungan tanah, stabilitas lereng, dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Moch (1910) teorinya menyatakan bahwa kombinasi tegangan normal dan tegangan geser yang mencapai titik kritis dapat mengakibatkan keruntuhan material. Persamaan tersebut menjelaskan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuh dijelaskan oleh Persamaan (3.12).

□ = f (□) (3.12)

Tegangan geser τ terjadi saat keruntuhan atau kegagalan, sementara tegangan normal σ terjadi pada kondisi tersebut. Garis kegagalan yang ditentukan oleh Persamaan (3.13) digambarkan dalam Kurva di Gambar (3.14). Kuat geser tanah merujuk pada resistensi partikel-partikel tanah terhadap tekanan dan tarikan. Saat tanah dibebani, ia akan menahan tekanan dari:

a. Kohesi tanah bukan ditentukan oleh tegangan normal di bidang geser, tetapi bergantung pada jenis dan kepadatan tanahnya. Dan
b. Gesekan yang timbul antara butiran-butiran tanah, sebanyak tekanan normal yang ada pada bidang geserannya. Menurut penjelasan yang disampaikan oleh Coulomb (1776), τ dapat diartikan sebagai:

   $\tau = c + \sigma \text{ tg } \varphi$ (3.13)

   dengan:

   τ = Kuat geser tanah (kN/m^2),

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

   φ = Sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek internal (derajat), dan

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

Kekuatan geser dalam tanah, yang terdiri dari kohesi dan sudut geser dalam, adalah faktor penting dalam menentukan ketahanan tanah terhadap tekanan lateral. Metode pengukuran seperti uji Triaxial dan Direct Shear digunakan untuk menilai nilai-nilai ini dalam konteks rekayasa tanah. Tabel 3.6 menyediakan informasi tambahan mengenai hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah yang relevan terdapat dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil ke pasiran	35 - 40
Kerikil kerakal	35 - 40
Pasir padat	35 - 40
Pasir lepas	30
Lempung	25 – 30
Lempung	20 - 25

Sumber : Das (1994)

3.2 Lereng

3.2.1 Tinjauan Umum

Lereng adalah area tanah yang condong dan membentuk sudut tertentu dengan permukaan datar. Di area dengan perbedaan elevasi tanah, gaya gravitasi mendorong tanah yang lebih tinggi untuk bergerak ke bawah, berpotensi menyebabkan penurunan tanah. Lereng dapat dikelompokkan menjadi dua jenis berdasarkan penyebabnya: lereng buatan manusia dan lereng alam.

1. Lereng Alam

   Perubahan dalam kontur lahan, aliran air bawah tanah, aktivitas gempa, penurunan kekuatan geser, fluktuasi tegangan dan proses pelapukan, semuanya dapat mengakibatkan kemungkinan terjadinya penurunan tanah pada lereng alam yang sebelumnya stabil dalam jangka waktu tertentu. Peck (1967) yang dikutip dalam Hardiyatmo (2012) menyatakan bahwa jika area yang dianalisis merupakan zona penurunan tanah yang telah dipelajari sebelumnya dan kemungkinan telah mengalami perubahan oleh aktivitas manusia, seperti ekskavasi di kaki lereng, maka prediksi stabilitas lereng alam dapat dilakukan dengan cermat. Dengan mengetahui daerah yang berpotensi mengalami penurunan tanah pada lereng alam, maka perilaku lereng tersebut akan lebih mudah dipahami.

2. Lereng Buatan

   Lereng buatan manusia biasanya memiliki bentuk struktur berupa penggalian atau penimbunan yang sering dipakai dalam pembangunan seperti gedung, jalan raya, tanggul, sungai, lereng, bendungan, dan lain sebagainya.

   a. Galian

      Perencanaan lereng bertujuan untuk menentukan ketinggian dan sudut kemiringan yang optimal agar tetap stabil dan efisien secara ekonomi. Faktor- faktor seperti geologi, karakteristik material di lokasi, posisi air tanah, tekanan rembesan, dan variabel lainnya akan berpengaruh pada penentuan kedalaman dan kemiringan yang tepat dalam perencanaan lereng galian. (Hardiyatmo, 2012).

   b. Timbunan

      Biasanya, penggalian timbunan menggunakan tanah yang telah tuntas

dipadatkan. Jenis timbunan ini dapat mencakup timbunan untuk badan jalan raya, jalur rel, pengurungan lahan, bendungan, dan tanggul. Karakteristik material di lokasi pengambilan, seperti distribusi butiran, kepadatan, kekuatan geser, dan faktor lainnya, akan signifikan dalam menentukan sifat teknis dari material yang akan digunakan untuk pembuatan timbunan.Analisis stabilitas lereng alam dan galian menjadi lebih menantang dan rumit dibandingkan dengan analisis stabilitas timbunan karena material timbunan, yang terdiri dari tanah, memiliki karakteristik homogen dan sifat-sifat mekanis yang telah diuji sebelumnya di laboratorium (Hardiyatmo, 2012).

3.2.2 Penyebab Longsor

Menurut Hardiyatmo (2014), kemungkinan terjadinya ke longsoran pada lereng alam dapat disebabkan oleh faktor-faktor berikut: berikut ini:

1. Beberapa faktor menyebabkan tekanan tambahan pada lereng, seperti pembangunan bangunan baru, penambahan air yang meresap ke dalam tanah dan membentuk genangan, serta gaya dinamis dari angin yang memengaruhi tumbuhan dan sebagainya.
2. Penyayatan atau penggalian tanah di bagian bawah lereng.
3. Penggalian tanah yang dapat meningkatkan kemiringan lereng secara signifikan.
4. Perubahan posisi air dengan cepat di bendungan, sungai, area lainya (pengurasan cepat) yang terjadi secara tiba - tiba.
5. Tekanan lateral pada tanah meningkat karena air masuk ke dalam retakan, mendorong tanah secara horizontal.
6. Dampak dari gempa bumi.
7. Tahanan geser tanah pada lereng menurun karena peningkatan kadar air, tekanan air pori yang naik, genangan air dalam tanah yang meningkatkan tekanan rembesan, keberadaan lempung yang rentan terhadap perubahan volume di lereng, dan faktor-faktor lainnya.

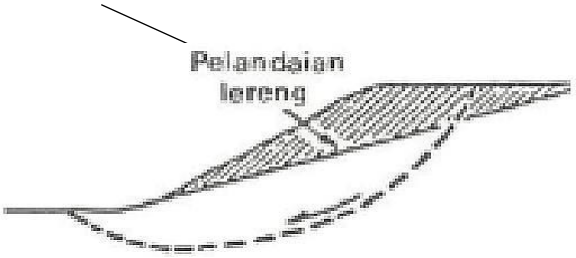
3.2.3 Stabilitas Lereng

Pekerjaan yang melibatkan penggalian dan penimbunan tanah, batuan, dan

bahan galian memerlukan evaluasi stabilitas lereng karena ini berkaitan dengan keamanan kerja, keberlangsungan peralatan, dan kelancaran operasi produksi. Jenis pekerjaan ini mencakup berbagai aktivitas seperti pembangunan jalan, penggalian konstruksi, pembuatan kanal, proyek pembangunan, dan lain sebagainya.

Masalah kestabilan lereng sering muncul dalam proses penambangan, seperti pada penggalian tambang terbuka, pembuatan bendungan untuk penyimpanan air, tempat pembuangan limbah (tailing disposal), dan penyimpanan bijih (stockyard). Gangguan kestabilan dapat menghambat proses konstruksi, terutama pada lereng hasil penambangan (pit slope) dan infrastruktur penunjang seperti bendungan dan jalan.

Lereng alami, lereng buatan, tanggul, dan bendungan tanah sering mengalami ketidakstabilan karena pengaruh gaya gravitasi dan rembesan air. Jenis keruntuhan lereng yang terjadi dalam analisis adalah gabungan dari berbagai faktor, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.3 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan
(Sumber: Santoso, 1998)

Di bawah ini adalah daftar nilai faktor keamanan yang harus dipenuhi sesuai dengan persyaratan Departemen Pekerjaan Umum seperti yang tercantum dalam Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Nilai Faktor Keamanan pada Lereng

Resiko terhadap nyawa manusia Resiko Ekonomis		Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan nyawa manusia		
		Tak diperhatikan	Rendah	Tinggi
Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan secara ekonomis	Diabaikan	1.1	1.2	1.5
	Rendah	1.2	1.2	1.5
	Tinggi	1.4	1.4	1.5

Catatan:
1. Meskipun faktor keamanan lerengnya 1,4, jika risiko terhadap keselamatan orang-orang di sekitarnya tinggi, harus disesuaikan menjadi 1,1 berdasarkan prediksi kondisi air tanah yang paling buruk.
2. Nilai-nilai yang tercatat dalam tabel tersebut merekomendasikan faktor keamanan. Faktor keamanan yang lebih tinggi atau lebih rendah bisa menjadi aman dalam situasi-situasi tertentu terkait dengan risiko kehilangan secara ekonomis.

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

Di bawah ini adalah daftar nilai faktor keamanan yang harus dipenuhi sesuai dengan persyaratan Pada lereng batuan, pengaruh air perlu diperhitungkan. Apabila muka air tanah tinggi dan diperlukan usaha penurunan muka air tanah di dalam massa batuan untuk meningkatkan faktor keamanan, maka dapat dilakukan penurunan muka air tanah dengan bor horizontal yang berfungsi sebagai drainase untuk mengalirkan air keluar dari massa batuan, seperti yang tercantum dalam Tabel 3.8

Tabel 3.8 Nilai Faktor Keamanan untuk Lereng Tanah

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah (α)	Tinggi (b)
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

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

3.2.4 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Menurut Hardiyatmo (2014), analisis kestabilan lereng bertujuan untuk menemukan faktor keamanan dari area longsor potensial di lereng. Saat melakukan analisis kestabilan lereng, beberapa asumsi diasumsikan yaitu:

1. Longsoran lereng terjadi di area tertentu pada permukaan yang bergeser,

dianggap sebagai masalah dua dimensi.

2. Tanah yang mengalami ke longsoran dianggap sebagai benda yang padat.
3. Kuat geser dianggap isotropis pada tanah, karena geseran tanah yang terjadi di setiap titik sepanjang bidang longsor tidak bergantung pada orientasi permukaan bidang longsor potensial.
4. Faktor keamanan dapat dijelaskan dengan mempertimbangkan tegangan geser rata-rata di sepanjang bidang potensial longsor, bersama dengan kekuatan rata-rata tanah di sepanjang permukaan longsoran.

Menurut Hardiyatmo (2014), faktor keselamatan (safety factor) adalah perbandingan antara gaya penahan dengan gaya yang menyebabkan pergerakan, dapat ditemukan dalam persamaan (3.14).

$$F = \frac{\tau}{\tau d}$$

dengan: (3.14)

τ = Tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah (kN/m^2),

τd = Tegangan geser yang terjadi yang disebabkan oleh gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m^2), dan

F = Faktor aman.

Menurut Hardiyatmo (2014), teori Mohr-Coulomb menggambarkan bahwa kemampuan tanah untuk menahan tegangan geser (τ) pada bidang longsor dapat disajikan dengan (3.15) berikut.

$$\tau = c + \sigma \, tg \, \phi \qquad (3.15)$$

dengan:

τ = Tegangan geser (kN/m^2),

C = Kohesi (kN/m^2),

ϕ = Sudut gesek dalam tanah (derajat), dan

σ = Tegangan normal (kN/m^2).

Dengan cara yang serupa, kita dapat melihat persamaan tegangan geser yang timbul (□d) karena beban tanah dan beban lainnya yang bekerja pada bidang

longsor, seperti yang tercantum dalam Persamaan (3.16) berikut.

$\tau d = cd + \sigma \text{ tg } \phi d$ (3.16)

dengan:

τd = Tegangan geser (kN/m^2),

Cd = Kohesi (kN/m^2),

ϕd = Sudut gesek dalam tanah (derajat), dan

σ = Tegangan normal (kN/m^2).

Dilakukan substitusi dari Persamaan (3.15) dan (3.16) ke Persamaan (3.17), maka dapat diperoleh faktor aman sebagai berikut.

$$F = \frac{c + \sigma \text{ tg } \phi}{cd + \sigma \text{ tg } \phi d}$$

$$Cd + \sigma \text{ tg } \phi d = \frac{C}{F} + \sigma \frac{\text{tg } \phi}{F} \quad (3.17)$$

Untuk tujuan menjamin kestabilan setiap komponen geser, faktor keamanan yang dimaksud dapat dijelaskan melalui Persamaan 3.18a dan 3.18b sebagai berikut ini.

$$Fc = \frac{C}{C\,d} \quad (3.18a)$$

$$F^{\phi} = \frac{\text{tg } \phi}{\text{tg } \phi d} \quad (3.18b)$$

Keterangan:

Fc = Faktor aman pada komponen kohesi, dan

$F\phi$ = Faktor aman pada komponen gesekan.

Faktor keselamatan suatu lereng dapat dipahami melalui Tabel 3.8 dan Tabel 3.9. Faktor ini disesuaikan dengan kondisi serta stabilitas lereng terhadap potensi longsor yang mungkin terjadi, seperti yang tercantum di bawah ini:

Tabel 3.9 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng

Faktor Keamanan (F)	Keadaan Lereng
F < 1,00	Lereng dalam kondisi tidak mantap (lereng labil)
1,00 < F < 1,20	Lereng dalam kondisi kemantapan diragukan
1,30 < F < 1,40	Lereng dalam kondisi memuaskan

1,50 < F < 1,70	Lereng dalam kondisi mantap (lereng stabil)

Sumber: Sosrodarsono (2003)

Tabel 3.10 Hubungan Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng

Nilai Faktor Keamanan	Kemungkinan Longsor
F < 1,07	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
1,07 < F < 1,25	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
F > 1,25	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Sumber: Bowles (1989)

Pada Tugas Akhir ini untuk merencakan lereng yang stabil penulis menggunakan faktor aman sebesar (F) = 1,5.

3.2.5 Metode Perhitungan Stabilitas Lereng

Jika kekuatan geser yang berbeda terjadi pada lapisan tanah yang berbatasan dan mempengaruhi bentuk permukaan runtuh, ini bisa mengakibatkan ke longsoran gabungan. Ke longsoran translasi terjadi ketika lapisan tanah berbatasan berada di dekat permukaan lereng dengan kedalaman dangkal, membentuk bidang hampir sejajar dengan lereng. Ke longsoran gabungan terjadi saat lapisan tanah berbatasan pada kedalaman yang lebih besar, dengan permukaan runtuh yang memiliki bagianlengkung dan bidang. Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng. Berikut ini.

1. Metode Fellenius

   Metode ini berdasarkan asumsi bahwa gaya-gaya irisan pada setiap irisan dianggap nol. Proses penyelesaiannya melibatkan perhitungan kembali gaya-gaya yang beroperasi pada setiap irisan tegak lurus terhadap dasar, yang dijelaskan dalam Persamaan 3.19 hingga Persamaan 3.20 sebagai berikut.

   $$N' = (W \times Cos\ \alpha) - (u \times l) \quad (3.19)$$

   $$SF = \frac{c' .La + \tan \varphi' \sum N'}{\sum W .\sin \alpha} \quad (3.20)$$

   Keterangan:

   N’ = Gaya normal efektif

   W = Berat total irisan,

   A = Sudut geser singgung masing-masing irisan,

   u = Tekanan air pori pada pusat dasar,

l = Panjang dasar,

La = Panjang busur,

φ = Sudut gesek dalam, dan

c’ = Kohesi tanah efektif.

3.2.6 Metode Elemen Hingga

Menurut Hardiyatmo (2014), penggunaan metode keseimbangan batas memungkinkan evaluasi lereng dilakukan dengan cepat. Namun, prosedur ini menggunakan perhitungan yang sama untuk lereng dan timbunan baru, lereng yang baru digali, atau lereng alami. Tegangan dalam lereng sangat dipengaruhi oleh Ko, yaitu rasio antara tegangan lateral dan tegangan vertikal efektif. Namun, perhitungan konvensional dengan metode keseimbangan batas mengabaikan faktor ini (Chowdhury, 1981). Sebenarnya, distribusi tegangan yang bekerja pada ketiga jenis lereng tersebut berbeda, yang dapat mempengaruhi stabilitasnya.

Metode elemen hingga diperkenalkan oleh Clough dan Woodward pada tahun 1967. Meskipun demikian, penggunaannya masih terbatas pada struktur tanah yang

kompleks. Dalam kasus tertentu, metode elemen hingga dapat menangani efek dari penimbunan atau penggalian secara bertahap. Hal ini memungkinkan untuk melacak pengaruh sejarah tegangan yang bekerja pada tanah terhadap deformasinya dengan baik. Namun, keefektifan metode perhitungan elemen hingga sangat bergantung pada kemampuan model konstitutif untuk secara realistis menggambarkan kekakuan non linier dari tanah yang membentuk lereng. Untuk model konstitutif pada lereng galian dan alami, pengembangannya hanya dapat dilakukan melalui uji lapangan berkualitas tinggi dengan dukungan pengamatan langsung di lapangan.

3.3 Geotesktil

Geotesktil adalah lembaran material yang terbuat dari polimer tekstil, memiliki sifat permeabilitas air, dan dapat dibuat dari bahan non-woven, woven, atau rajutan yang digunakan dalam kontak langsung dengan tanah, batu, atau material geoteknik lain dalam bidang teknik sipil. Umumnya, Geotesktil rentan terhadap sinar ultraviolet dan bisa mengalami degradasi. Karena ada beragam jenis

Geotesktil dengan metode pembuatan yang berbeda, pemilihan jenis yang tepat penting untuk aplikasi lapangan. Salah satu faktor penting terkait Geotesktil adalah kekuatan tariknya. Pemilihan jenis Geotesktil memengaruhi penggunaannya, seperti sebagai penguat atau pemisah, serta untuk fungsi filtrasi atau drainase (Fluet, 1998).

Jika dilihat dari manfaatnya, terdapat beberapa contoh penerapan Geotesktil yang telah digunakan hingga saat ini, diantara-Nya:

1. Geotesktil digunakan sebagai pemisah antara material yang berbeda dalam struktur per kerasan jalan dan bandara. Ini dapat ditempatkan antara tanah-dasar (subgrade) dan lapis fondasi agregat batuan, atau antara aspal lama dan baru (overlay). Pada timbunan, Geotesktil diletakkan di dasar timbunan yang berada di atas material lunak, bertujuan sebagai pemisah antara lapisan timbunan dan juga untuk memberikan perkuatan pada timbunan.
2. Geotesktil digunakan sebagai penyaring di mana dapat dipasang dengan cara mengelilingi agregat batuan atau pipa pengumpul dalam saluran drainase bawah tanah. Fungsinya adalah untuk mencegah butiran halus dari timbunan terbawa oleh aliran rembesan.
3. Geotesktil dapat digunakan sebagai penguat untuk bangunan yang dibangun di tanah lunak. Fungsinya meliputi penguatan lereng pada timbunan yang curam maupun datar dengan menempatkannya pada bagian lereng dengan jarak tertentu, sehingga kestabilan lereng dapat dipertahankan (Hardiyatmo, 2008).



Geotesktil Non Woven Geotesktil Woven

Gambar 3.4 Geotesktil Non Woven dan Woven
(Sumber: Geotextile Nusantara, 2016)

3.3.1 Sifat Fisik Geotesktil

Menurut Hardiyatmo (2008), karakteristik fisik dari Geotesktil mencakup

berat per satuan area, densitas, kekuatan, dan ketebalannya, yang diuraikan sebagai berikut

1. Massa Per Satuan Luas

   Massa per unit area (berat) dari suatu geosintetik dapat diukur dalam gram per meter persegi (g/m^2). Geosintetik dengan massa per unit area rendah biasanya digunakan sebagai pemisah, sementara yang memiliki massa per unit area yang lebih tinggi, biasanya dengan struktur anyaman, digunakan sebagai penguat atau tulangan. Geotesktil nir-anyaman dengan massa per unit area besar umumnya digunakan sebagai filter. Pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur yang tercantum dalam ASTM D5261.

2. Berat Jenis (*Spesifik Gravity*)

   Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume bahan padat dengan volume air setelah distilasi tanpa udara pada suhu 4º C. Sementara itu, berat jenis dari serat-serat bahan Geotesktil didefinisikan sebagai berat jenis dari polimer pengisi (ASTM D792). Terdapat beberapa nilai standar untuk berat jenis polimer yang sering digunakan dalam Geotesktil dan bahan lainnya sebagai perbandingan, seperti yang disebutkan dalam Hardiyatmo (2008) mengutip Koerner (2005).

   a. *Polyester* = 1,22 sampai 1,38
   b. *Polyethylene* = 0,96~0,90
   c. *Polypropylene* = 0,91
   d. *Polyvinyl chloride* = 1,69
   e. *Nylon* = 1,14~1,05
   f. Kapas (*cotton*) = 1,55
   g. *Polyvinyl chloride* = 1,69
   h. Baja = 7,87
   i. Tanah/batuan = 2,9~2,4
   j. Kaca = 1,55

   Kadar air atau kelembapan hanya memiliki sedikit dampak pada kekuatan Geotesktil, terutama pada polyolefins seperti polypropylene dan polyethylene yang memiliki berat jenis lebih rendah daripada air (berat jenis polypropylene

= 0,91 dan polyethylene = 0,96 – 0,90). Sebaliknya, polyester memiliki kemampuan penyerapan air yang rendah dan titik leleh yang tinggi, yaitu sekitar 163º ~ 288º C. Berat jenis polyester lebih besar dari 1 (> 1), yang berarti bahan tersebut tidak akan mengapung ketika berada di dalam air, karena bahan dengan berat jenis kurang dari 1 (< 1) akan mengapung.

3. Kekakuan (*Stiffness*)

   Geosintetik memiliki istilah yang dapat dibedakan antara kekakuan atau kelenturan, yang dikenal dalam istilah modulus. Modulus adalah kemiringan awal pada kurva tegangan-regangan, sementara kekakuan Geotesktil merupakan hasil dari interaksi antara berat Geotesktil dan kekakuan sendiri saat mengalami pelengkungan akibat beban. Kekakuan Geotesktil ini sangat penting karena menunjukkan kemampuannya menyesuaikan diri dengan permukaan tanah saat digunakan. Ketika ditempatkan di tanah lunak, Geotesktil dengan kekakuan yang lebih tinggi diinginkan. Prosedur uji kekakuan Geotesktil sudah diatur dalam standar ASTM D1388.

4. Tebal

   Tebal Geotesktil adalah jarak vertikal antara bagian bawah dan bagian atas Geotesktil, diukur di bawah tekanan tertentu, seperti yang dijelaskan dalam ASTM D5199. Saat mengukur tebal Geotesktil, penting untuk memperhatikan tekanan yang diberikan pada Geotesktil. Standar yang digunakan biasanya adalah 2 kPa untuk mengukur ketebalan Geotesktil dengan tingkat ketelitian 0,025 mm. Praktik umum mengenai ketebalan Geotesktil berkisar antara 0,25 mm hingga 3,5 mm, sesuai dengan (Koerner, 2005).

3.3.2 Sifat Mekanik Geotesktil

Menurut Hardiyatmo (2008), beberapa karakteristik mekanik dari Geotesktil meliputi kekuatan tarik, kekuatan terkekang, kekuatan serobot, kemampuan mampatkan, kekuatan pelipit, dan aspek lainnya.

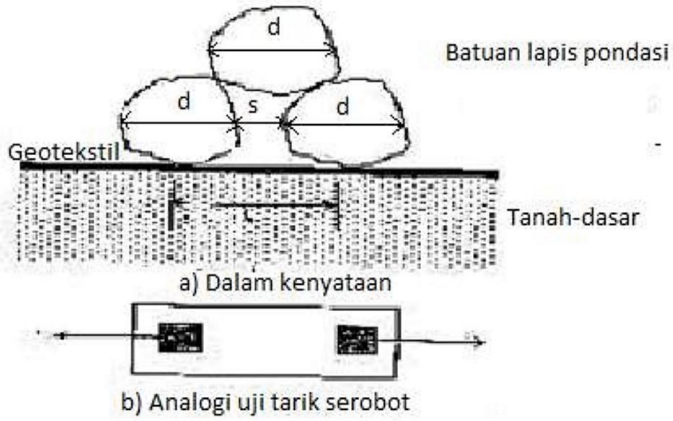
1. Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

   Dalam penggunaannya, Geotesktil perlu memiliki kemampuan untuk menahan beban dan/atau mengalami deformasi. Saat terkena beban, Geotesktil akan mengalami perubahan bentuk yang kemudian memobilisasi kuat tariknya. Kuat

tarik menjadi faktor penting dalam pemilihan Geotesktil, dengan berbagai jenis kuat tarik yang digunakan tergantung pada fungsinya, seperti perkuatan, drainase, filtrasi, atau pemisahan. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tarik, di mana Geotesktil yang searah dengan mesin pembuat umumnya memiliki kuat tarik lebih besar daripada yang arah melintang mesin pembuatnya. Prosedur uji kuat tarik melebar Geotesktil diatur dalam ASTM D4595.

2. Kuat Tarik Serobot (*Grab Tensile Strength*)

   Jika Geotesktil difungsikan sebagai pemisah, akan timbul gaya tarik yang bekerja sejajar dengan bidangnya. Dalam konteks konstruksi jalan raya, Geotesktil diletakkan di antara agregat batuan pada lapisan fondasi dan tanah dasar di bawahnya. Ketika agregat yang berada di atas langsung bersentuhan dengan Geotesktil dan digerakkan ke samping, akan terjadi tegangan tarik sejajar dengan bidang Geotesktil tersebut. Analogi ini serupa dengan gaya tarik yang terjadi pada uji tarik serobot yang dijelaskan oleh Koerner (2005), seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 3.7.



Gambar 3.5 Geotesktil Mengalami Tegangan Tarik Ketika Beban Bekerja di Permukaan Lapis Fondasi
(Sumber: Koerner, 2005)

3. Kuat Tarik Terkekang

   Geotesktil memiliki kekuatan tarik terkekang yang memungkinkannya untuk menahan gaya tarik ketika terjepit di dalam tanah. Mc Gown et al. (1982) dalam Hardiyatmo mengusulkan pengujian tarik yang melibatkan Geotesktil berukuran 200 mm x 100 mm yang dijepit kuat menggunakan dua penjepit.

4. Kemudah-mampatan

   Secara umum, Geotesktil nir-anyam bertipe needle punched memiliki tingkat kompresibilitas rendah. Saat tegangan normal meningkat pada permukaan Geotesktil, tebalnya akan berkurang, yang dinyatakan sebagai kemudah-mampatan atau kompresibilitas. Penting untuk memperhatikan kompresibilitas Geotesktil saat digunakan untuk mengalirkan air searah dengan bidangnya (transmisivitas), karena tekanan pada Geotesktil dapat mengurangi kemampuannya dalam mengalirkan air searah dengan bidang tersebut.

5. Kekuatan Pelipit/Jahitan

   Geotesktil umumnya tersedia dalam gulungan panjang tetapi memiliki batasan panjang tertentu. Karena itu, ketika digunakan di lapangan, Geotesktil perlu disambung. Proses penyambungan lembaran Geotesktil dilakukan dengan melipat atau tumpang tindih lembaran satu dengan yang lain. Metode tumpang tindih biasanya membutuhkan panjang tumpang tindih minimal sekitar 0,5 m, dan dapat lebih dari 1 m terutama jika pekerjaan dilakukan di lingkungan air.

   Semua jenis penyambungan harus memastikan kekuatan yang dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama, sehingga kekuatan Geotesktil yang digunakan harus sebanding dengan kekuatan Geotesktil utuh atau mendekati kekuatan tersebut. Efisiensi pelipatan atau jahitan diukur dengan Persamaan (3.29) sebagai berikut.

$$\text{E (\%)} = \frac{T\ (seam)}{T\ (\text{geotekstil})} \text{ x } 100 \qquad (3.29)$$

   dengan:

   E = Efisiensi pelipit jahitan (%),

   T (*seam*) = Kuat pelipit/jahitan (*seam*), dan

   T (Geotesktil) = Kuat tarik Geotesktil.

6. Kuat Lelah (*Fatigue Strength*)

   Kekuatan kelelahan adalah kapasitas Geotesktil untuk menahan beban siklik sebelum mengalami kegagalan. Saat diuji di laboratorium, Geotesktil dikenai beban siklik hingga mencapai titik kegagalan. Proses pengujian melibatkan

penarikan dan peregangan Geotesktil dengan kecepatan konstan dan panjang yang ditentukan, kemudian beban dilepas perlahan sampai mencapai nol. Hasil pengujian ini mengungkap modulus siklik, yang terlihat setelah beberapa siklus beban diterapkan. Data tersebut mencatat jumlah siklus beban yang menghasilkan kegagalan Geotesktil, beserta tegangan yang dihasilkan.

7. Kuat sobek (*Tear streng*)

   Gaya eksternal yang terjadi dalam satu arah atau dua arah dapat mengakibatkan kerusakan pada Geotesktil beranyam atau tidak beranyam. Kerusakan ini biasanya terjadi selama proses instalasi di lapangan. Ada tiga jenis uji kekuatan sobek yang umum digunakan, yaitu uji trapezoid (ASTM D2263), uji lidah (tongue) (ASTM D751), dan uji El-mendorf (ASTM D1424), untuk mengukur kekuatan sobeknya.

3.3.3 Sifat Hidrolik Geotesktil

Menurut Hardiyatmo (2008), karakteristik hidrolik Geotesktil mencakup porositas, luas area terbuka, dimensi bukaan yang terlihat, dan sebagainya.

1. Porositas

   Porositas Geotesktil merujuk pada perbandingan antara volume ruang terbuka dengan total volume Geotesktil. Kemampuan air untuk bergerak melalui Geotesktil diukur dengan porositas (n), yang dihitung menggunakan Persamaan (3.30).

$$n = 1 - \frac{m}{\rho t} \qquad (3.30)$$

   dengan:

   n = Porositas,

   m = Massa per satuan luas,

   ρ = Kerapatan Geotesktil secara keseluruhan, dan

   t = Tebal Geotesktil.

   Beberapa jenis Geotesktil memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan ketebalan mereka. Misalnya, ketebalan ini bisa berubah karena gaya normal yang bekerja pada mereka.

2. Persen Area Terbuka (*Percent Open Area*, *POA*)

Persentase Area Terbuka (POA) adalah karakteristik yang terkait dengan Geotesktil anyaman. POA mengukur rasio area terbuka total, yaitu ruang antara serat yang saling berdekatan, terhadap luas keseluruhan benda uji. Untuk menghitung POA, sinar lampu diproyeksikan melalui Geotesktil ke layar karton, dan area sinar yang berhasil menembus diukur dan dibandingkan dengan luas total Geotesktil pada layar. Metode pengujian ini tidak sesuai untuk Geotesktil non-anyaman karena bayangan dari serat-seratnya dapat menghambat sinar yang diproyeksikan. Geotesktil monofilamen memiliki POA yang berkisar antara 0 hingga 36% (Koerner, 2005).

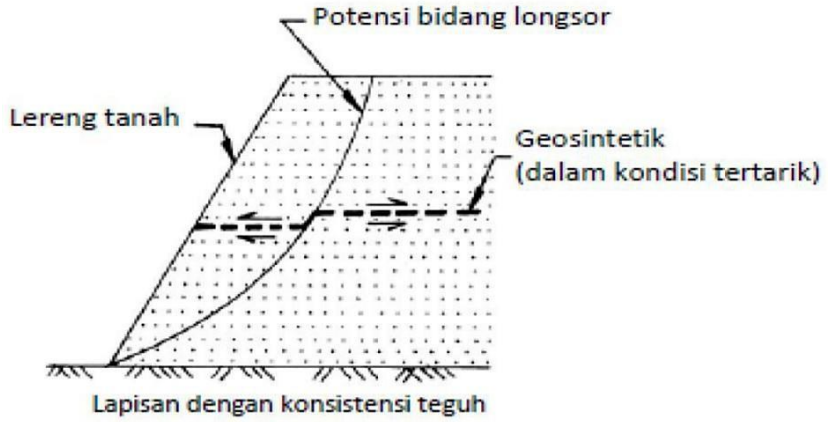
3. Ukuran Bukaan Tampak (*Apparent Opening Size, AOS*)

   Ukuran bukaan tidak langsung terlihat (Apparent Opening Size/AOS) maupun ukuran bukaan ekuivalen (Equivalent Opening Size/EOS) merupakan metode untuk menunjukkan seberapa banyak material yang tertahan oleh saringan standar Amerika dengan ukuran tertentu. Nilai ini dinyatakan dalam satuan milimeter sebagai ukuran bukaan yang sebanding. Pengujian untuk menentukan AOS telah dilakukan oleh Korps Zeni Angkatan Darat Amerika Serikat guna menilai kinerja geotekstil jenis anyaman. Terdapat berbagai pendekatan dalam menilai kemampuan geotekstil menahan butiran tanah akibat aliran, yang umumnya didasarkan pada perbandingan antara ukuran butiran tanah dan nilai O_{95} dari geotekstil, sebagaimana diukur melalui uji laboratorium AOS atau EOS. AOS dan EOS sendiri merujuk pada nomor saringan standar Amerika yang memiliki ukuran lubang paling mendekati dengan bukaan pada geotekstil. Metode pengujian ini diatur dalam standar ASTM D4751.

3.3.4 Mekanisme Kerja Geotesktil

Salah satu fungsi utama geotekstil dalam teknik sipil adalah untuk memperkuat dan menstabilkan tanah, terutama pada lereng curam dengan kemiringan kurang dari 70º. Penguatan lereng umumnya dilakukan dengan timbunan padat yang dilengkapi geotekstil secara horizontal sebagai elemen perkuatan. Kombinasi antara tanah dan geotekstil membentuk material komposit yang memiliki kekuatan tekan dan tarik tinggi, sehingga mampu menahan gaya

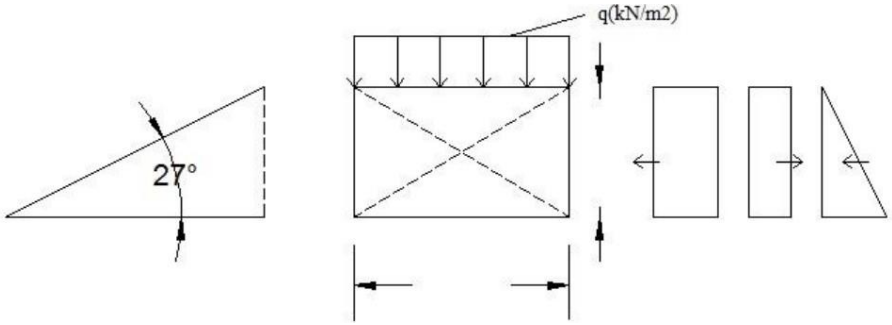
eksternal serta deformasi. Geotekstil berperan dalam memberikan tahanan terhadap gaya tarik, meningkatkan interlocking antar partikel, dan membatasi pergerakan tanah, sehingga mendukung kestabilan lereng secara keseluruhan.



Gambar 3.6 Dasar Mekanisme Perkuatan Lereng dengan Tanah
(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

3.4 Perkuatan Lereng dengan Geotesktil

Struktur perkuatan lereng berfungsi untuk mengatasi tekanan tanah, mencegah terjadinya erosi, serta mengurangi risiko longsor. Salah satu metode yang umum digunakan adalah pemanfaatan geotekstil, yang berkontribusi terhadap stabilitas lereng baik dari aspek eksternal maupun internal. Ilustrasi mengenai distribusi tekanan lateral tanah pada lereng dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.7 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral
(Sumber: Lembang, 2020)

Dapat menggunakan Persamaan 3.31 hingga Persamaan 3.33 untuk menghitung jarak vertikal antara lapisan Geotesktil (Sv) berikut ini.

Ka = $tan^2((45^o - (\frac{\varphi}{2}))$ (3.31)

σhc1 = q . Ka – 2. c. $\sqrt{Ka}$ + Ka. H1. γb (3.32)

Sv1 = $^{Ta}/_{\sigma hc1.SF}$ (3.33)

dengan:

Ka = Koefisien tanah aktif,

σhc1 = Tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m^2),

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

SF = Faktor aman,

Sv = Jarak tulangan arah vertikal (m),

γ = Berat volume tanah (kN/m^2),

c = Kohesi (kN/m^2), dan

Ta = Kuat tarik Geotesktil *allowable*.

1. Stabilitas Eksternal

   a. Stabilitas Terhadap Geser

      Persamaan 3.34 mencantumkan nilai keamanan terhadap gaya geser berikut ini.

      SF = $\frac{L.(q+\gamma_b).tan\varphi}{(q.Ka.H+Ka.H^2.\gamma_b-2.c.\sqrt{Ka}.H}$ (3.34)

   b. Stabilitas Terhadap Guling

      Persamaan 3.35 menyatakan nilai keamanan terhadap kemungkinan guling berikut ini.

      SF = $\frac{L.(\frac{1}{2}q+\frac{1}{2}q.\gamma_b.H)}{(\frac{1}{2}q.ka.H^2+\frac{1}{6}Ka.H^2.\gamma_b-c.\sqrt{Ka}.H^2}$ (3.35)

   c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

      Persamaan 3.36 menyertakan nilai L dalam analisis stabilitas eksentrisitas berikut ini.

      $\frac{1}{6}L \geq \frac{(\frac{1}{2}q.Ka.H^2+\frac{1}{6}Ka.H^2.\gamma_b-c\sqrt{Ka.H^2}}{(q.L+\gamma_b.H.L)}$ (3.36)

   d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Daya dukung Tanah

Persamaan 3.37 hingga Persamaan 3.39 menjelaskan faktor keamanan terhadap kapasitas daya dukung tanah berikut ini.

$$SF = \frac{\sigma ult}{qult} \quad (3.37)$$

$$qult = c.\ Nc + 0{,}5L.\ \gamma b.\ N\gamma \quad (3.38)$$

$$\sigma ult = c.\ Nc + q.\ Nq + 0{,}5L.\ \gamma b.\ N\gamma \quad (3.39)$$

2. Stabilitas Internal

   a. Panjang Geotesktil "*Overlapping*"

   Panjang Geotesktil *overlapping* terdapat pada Persamaan 3.40 sebagai berikut.

$$L0 = \frac{\sigma hc1.sv1.SF}{2.Zi.\gamma b.tan\varphi} \quad (3.40)$$

dengan:

L0 = Panjang Geotesktil *overlapping* (m),
σhc1 = Tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m^2),
q = Beban merata (kN/m^2),
SF = Faktor aman,
Sv = Jarak tulangan arah vertikal (m),
γ = Berat volume tanah (kN/m^2),
φ = Sudut gesek dalam tanah (°), dan
Zi = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah (m).

3.5 Konsolidasi

3.5.1 Pendahuluan

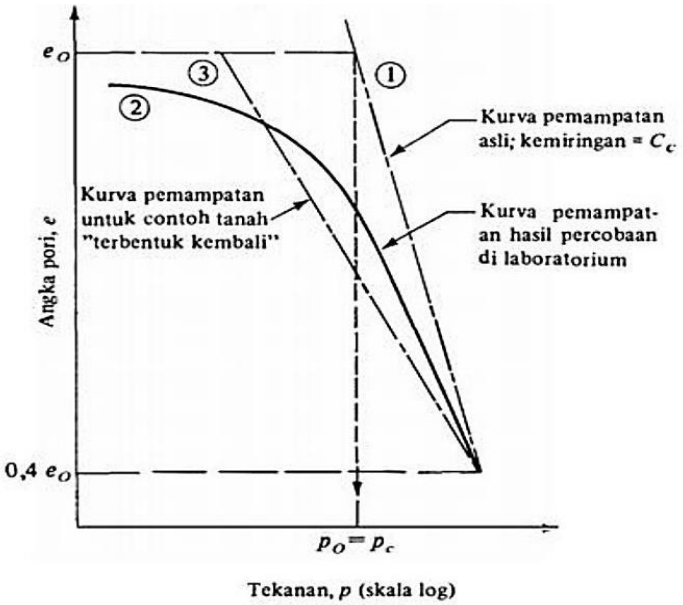
Ketika lapisan tanah yang jenuh dengan rendahnya permeabilitasnya dikenai beban, tekanan air pori di dalamnya segera meningkat. Perbedaan tekanan air pori antara lapisan tanah mengakibatkan aliran air menuju lapisan dengan tekanan air pori yang lebih rendah, yang kemudian menyebabkan penurunan tanah. Karena permeabilitas tanah yang rendah, proses ini membutuhkan waktu. Konsolidasi adalah proses pengurangan volume atau rongga pori dalam tanah yang jenuh dan

memiliki permeabilitas rendah karena beban yang dikenakan, di mana proses ini dipengaruhi oleh kecepatan keluarnya air pori dari rongga tanah. Besarnya penurunan dapat diukur dengan merujuk pada perubahan ketinggian pada lokasi tertentu (Hardiyatmo, 2010).

3.5.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Konsolidasi

Umumnya, penurunan tanah dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti yang dijelaskan oleh Whittaker dan Reddish pada tahun 1989).

1. Penurunan alami permukaan tanah (natural subsidence) dapat terjadi karena berbagai proses geologis, seperti aktivitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, keberadaan rongga di bawah permukaan tanah, dan faktor-faktor lainnya.
2. Penurunan permukaan tanah yang terjadi akibat ekstraksi zat cair dari dalam tanah, seperti air tanah atau minyak bumi.
3. Adanya beban berat di atasnya, seperti struktur bangunan, menyebabkan tanah mengalami penurunan yang mengakibatkan kompaksi atau konsolidasi pada lapisan-lapisan tanah di bawahnya.
4. Penurunan permukaan tanah yang terjadi karena kegiatan ekstraksi material padat dari tanah (seperti aktivitas penambangan).



Gambar 3.8 Kurva Hubungan Antara Tekanan dan Agka Pori
(Sumber: Hardiyatmo, 2009)

3.5.3 Koefisien Konsolidasi (CV) (*Coefficient of Consolidation*)

Laju penurunan konsolidasi dapat dihitung menggunakan koefisien konsolidasi (Cv), yang menjadi penting ketika penurunan pada struktur diperkirakan cukup besar. Jika penurunan tergolong kecil, pengaruh waktu terhadap laju penurunan mungkin tidak terlalu signifikan. Derajat konsolidasi pada waktu tertentu dapat diperoleh melalui grafik hubungan antara penurunan dan waktu, berdasarkan satu tingkat pembebanan pada alat konsolidasi. Proses ini melibatkan pengukuran total penurunan pada akhir konsolidasi primer, lalu menentukan derajat konsolidasi rata-rata (misalnya U = 50%) dari data tersebut. Walaupun tekanan air pori telah mencapai nol, sampel uji masih dapat mengalami penurunan tambahan akibat konsolidasi sekunder. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan pengukuran tekanan air pori selama pembebanan atau menginterpretasikan data penurunan terhadap waktu guna menentukan akhir konsolidasi. Selain itu, jika terdapat udara yang masuk ke dalam pori akibat penurunan tekanan dari kondisi lapangan, penurunan cepat yang terjadi mungkin bukan bagian dari konsolidasi. Maka dari itu, interpretasi terhadap tinggi awal atau kondisi awal sebelum penurunan perlu dilakukan secara cermat.

3.6 Penurunan

3.6.1 Penurunan Segera

Penurunan akibat beban mencakup total dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Di tanah dengan butiran kasar atau halus yang kering atau tidak jenuh, penurunan segera terjadi segera setelah beban diberikan. Penurunan ini disebut juga sebagai penurunan segera atau immediate settlement, yang merupakan jenis penurunan elastis. Memperkirakan seberapa besar penurunan segera sulit dilakukan dalam praktik, bukan hanya karena sifat alami tanah yang tidak homogen dan anisotropis dengan modulus elastis yang bervariasi dengan kedalaman, tetapi juga karena tantangan dalam mengukur tegangan-regangan di dalam lapisan tanah. Penurunan segera sangat penting dalam fondasi bangunan yang berada di atas tanah granuler atau butiran kasar. (Hardiyatmo, 2014).

3.6.2 Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi terjadi di tanah yang halus dan terletak di bawah permukaan air tanah. Proses penurunan membutuhkan waktu yang bervariasi tergantung pada kondisi lapisan tanahnya. Ketika tanah mengalami beban dan kemudian mengalami konsolidasi, penurunan terjadi dalam tiga tahap, seperti yang disebutkan oleh Leonard pada tahun 1962).

Dalam fase awal, penurunan terjadi segera setelah beban mulai bekerja. Penurunan ini disebabkan oleh udara yang ditekan keluar dari pori-pori tanah. Pada tanah lempung yang jenuh, penurunan ini kemungkinan kecil. Namun, pada tanah lempung yang tidak jenuh, penurunan ini memiliki pengaruh yang signifikan. Proporsi penurunan awal dapat diukur melalui perubahan angka pori, yang bisa ditentukan dari kurva waktu penurunan pada uji konsolidasi.

Fase awal konsolidasi merupakan proses penurunan tanah yang terjadi akibat keluarnya air dari pori-pori tanah sebagai respons terhadap peningkatan tekanan. Laju dan intensitas proses ini sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah, seperti permeabilitas, kemampuan untuk mengalami kompresi, porositas, serta konfigurasi geometris tanah, termasuk ketebalan dan perluasan horizontal zona kompaksi, serta batas lapisan yang dilalui oleh air yang keluar. Sementara itu, fase konsolidasi lanjutan adalah kelanjutan dari fase awal yang berlangsung secara perlahan. Pada tanah anorganik, efek dari konsolidasi lanjutan umumnya diabaikan karena kontribusinya yang kecil terhadap penurunan total, kecuali pada tanah anorganik yang sangat padat atau jenis lempung tertentu yang memiliki tingkat kemampatan tinggi (Hardiyatmo, 2014).

3.7 Program PLAXIS

3.7.1 Pendahuluan

PLAXIS, yang berasal dari analisis menggunakan metode elemen hingga, adalah perangkat lunak yang dikembangkan mulai tahun 1987 di Universitas Teknik Delft, atas inisiatif Departemen Tenaga Kerja dan Pengelolaan Sumber Daya Air Belanda. Dalam pengembangannya, PLAXIS menggunakan model Mohr-Coulomb, yang terdiri dari lima parameter untuk memodelkan elastisitas dan plastisitas tanah. Model ini direkomendasikan untuk analisis awal masalah tanah

karena sifatnya yang relatif sederhana, cepat, dan dapat digunakan ketika data tanah terbatas. Dengan titik-titik kritis yang mirip dengan tanah sebenarnya, model Mohr-Coulomb sangat efektif untuk menganalisis stabilitas lereng. Kelebihan metode elemen hingga dibandingkan dengan metode keseimbangan batas, seperti yang dijelaskan oleh D.V Griffiths dan P.A. Lane pada tahun 1990, adalah sebagai berikut.

1. Tidak perlu diasumsikan adanya bidang longsor. Longsoran terjadi alami melalui lapisan dalam tanah di mana kekuatan geser tanah tidak mampu menahan tegangan geser yang terjadi.
2. Metode elemen hingga tidak memerlukan konsep irisan (slice) sehingga tidak perlu membuat asumsi tentang gaya-gaya pada setiap irisan (slice side force). Metode ini mempertahankan keseimbangan global sampai terjadi ke longsoran.
3. Metode elemen hingga dapat memberikan informasi tentang deformasi yang terjadi jika data kompresibilitas tanah tersedia.
4. Metode elemen hingga mampu mengawasi kegagalan progresif termasuk kegagalan geser secara menyeluruh.

Model material dalam perangkat lunak PLAXIS merupakan formulasi matematis yang merepresentasikan interaksi antara tegangan dan regangan. Hubungan ini umumnya ditampilkan dalam bentuk grafik perubahan tegangan terhadap regangan. Proses pemodelan tersebut dapat dianalisis dalam kondisi deformasi bidang (plane strain) maupun simetri aksial (axisymmetry).

Analisis *plane strain* diterapkan untuk menilai struktur dengan penampang melintang yang mengalami distribusi beban dan tegangan seragam, di mana perpindahan dalam arah tegak lurus terhadap bidang penampang dianggap tidak terjadi (diasumsikan nol). Sebaliknya, pemodelan *axisymmetry* digunakan untuk menganalisis struktur lingkaran yang memiliki potongan radial dan beban seragam dari pusatnya, dengan deformasi dan tegangan radial yang dianggap seragam. Untuk mendapatkan hasil analisis yang tepat menggunakan metode elemen hingga, diperlukan pemodelan tanah yang mencerminkan kondisi lapangan yang sebenarnya (Hendroatmo, 2008).

3.7.2 Parameter Input Untuk Program PLAXIS v.24

Dalam penelitian ini, digunakan model tanah berdasarkan prinsip Mohr-Coulomb dengan parameter kohesi tanah (c) dan sudut geser dalam (φ). Seperti yang dijelaskan oleh peneliti sebelumnya (Hendroatmo, 2008), analisis data menggunakan program PLAXIS dilakukan dengan memasukkan parameter-parameter dasar meliputi:

1. Bentuk Kemiringan Lereng dan Kondisi Muka Air Tanah

   Data masukan ini menunjukkan karakteristik dari lereng yang akan dievaluasi. Karakteristik lereng akan diwakili dengan memasukkan koordinat-koordinatnya. Data tinggi air tanah dimasukkan untuk menentukan kemiringan lereng. Apabila tekanan air pori adalah nol, maka opsi untuk kondisi permukaan air tanah tidak diperhitungkan.

2. Data *Mesh Generation*

   Data mesh generation adalah informasi yang berisi koordinat titik nodus, jumlah nodus, dan tegangan titik untuk setiap elemen yang digunakan.

3. Data Tanah

   a. Berat Isi Tanah (γ)

      Berat tanah dalam kondisi basah dan kering diukur berdasarkan berat volume yang tersedia. Berat volume kering diterapkan pada bahan di atas level air tanah, sementara berat volume basah digunakan untuk bahan di bawahnya. Untuk bahan yang tidak berpori, lebih tepat menggunakan berat volume kering. Secara faktual, tidak ada tanah yang benar-benar kering karena efek kapiler dalam tanah membuatnya selalu sedikit lembap di atas level air tanah, dan semakin ke atas, kadar kelembaban tanah semakin berkurang.

   b. Konstanta Modulus Young (Eref)

      PLAXIS memakai modulus Young sebagai representasi kekakuan dalam model elastis pada model Mohr-Coulomb. Meskipun begitu, PLAXIS juga menawarkan dua opsi modulus lainnya, yaitu modulus geser G atau modulus odometer Eoed. Pengaturan nilai-nilai kekakuan ini perlu perhatian khusus karena banyak jenis tanah menunjukkan perilaku non linier saat terkena

beban. Dari hasil uji triaksial, nilai modulus Young (E) dapat ditentukan berdasarkan kemiringan awal grafik tegangan regangan.

c. Rasio Poisson

Pada awal pengujian triaksial dengan beban aksial, terjadi perubahan volume yang signifikan, sehingga nilai rasio Poisson yang diukur menjadi rendah. Nilai rasio Poisson ini merujuk pada elastisitas murni (V0). Dalam konteks geoteknik tertentu, nilai ini dapat dianggap realistis. Namun, saat menggunakan model Mohr-Coulomb untuk tanah, disarankan untuk menggunakan nilai rasio Poisson yang lebih besar.

d. Kohesi (c)

Kohesi merupakan parameter yang mencerminkan kekuatan ikatan antar partikel tanah dan memiliki hubungan langsung dengan besaran tegangan. Meskipun perangkat lunak PLAXIS mampu memodelkan tanah tanpa kohesi, seperti pasir dengan c=0c = 0, hasil simulasi cenderung kurang akurat. Oleh karena itu, dalam analisis non-linear, disarankan untuk menggunakan nilai kohesi kecil (c>0c > 0) guna meningkatkan efektivitas simulasi. Di kondisi lapangan, sering dijumpai jenis tanah yang tidak memiliki kohesi, sehingga penggunaan nilai kohesi rendah menjadi penting dalam proses kalibrasi terhadap hasil uji kuat geser triaksial pada berbagai tingkat tegangan. Untuk memperoleh nilai kohesi yang representatif, diperlukan pendekatan analisis balik.

e. Sudut gesek (φ)

f. Parameter sudut geser, diukur dalam derajat, adalah peningkatan dari kekuatan geser dengan tingkat tegangan. Sudut geser yang tinggi umumnya terlihat pada pasir padat, namun cenderung menurun saat tanah mengalami deformasi geser yang berkelanjutan. Pemodelan Mohr-Coulomb menggunakan sudut geser konstan, dan lebih tepat menggunakan nilai φcv (sudut geser kritis) daripada nilai yang lebih besar untuk menghindari regangan yang kecil. Parameter sudut geser dalam konteks ini diperoleh melalui analisis balik. Penggunaan sudut geser yang tinggi dapat meningkatkan beban komputasi, sehingga waktu eksekusi akan meningkat

secara signifikan.

g. Sudut dilatasi (ψ)

Tanah lempung umumnya memiliki sedikit perluasan (ψ ≈0). Di sisi lain, dilatasi pada pasir dipengaruhi oleh kerapatan dan sudut geser, serta oleh sifat material seperti lapisan yang over Consolidated. Lempung dan lanau biasanya memiliki sudut dilatasi yang kecil (ψ ≈0). Sudut dilatasi pada pasir berkaitan dengan kepadatan dan sudut gesernya. Misalnya, untuk pasir kuarsa, ψ = φ-30°. Nilai negatif yang kecil untuk ψ hanya terjadi pada pasir yang sangat lepas secara realistis.

3.7.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan PLAXIS v.24

Data yang telah terkumpul kemudian diproses dengan menyertakan informasi dari lereng untuk diproses lebih lanjut menggunakan perangkat lunak, sehingga dapat ditentukan apakah perkuatan diperlukan untuk lereng tersebut. Perangkat lunak ini juga memungkinkan pengendalian faktor keamanan (Safety Factor/SF) terhadap lereng yang diperkuat dengan Geotesktil. Untuk mengoperasikan PLAXIS versi 24, langkah-langkah berikut ini. sini

1. Buka dan Jalankan perangkat lunak PLAXIS 24, lalu input data dimensi serta judul proyek yang akan dibuat.
2. Gambar sketsa penampang lereng yang akan dianalisis, kemudian aktifkan opsi *Standard fixities*.
3. Tentukan properti material yang digunakan untuk lereng, lalu masukkan parameter seperti berat volume kering (γd), berat volume basah (γb), sudut geser dalam (φ), dan lainnya. Setelah itu, terapkan material tersebut pada masing-masing lapisan tanah.
4. Kemudian Sesuaikan pengaturan *mesh generation* sesuai kebutuhan, lalu lakukan proses *generate*.
5. Tambahkan lapisan muka air tanah pada penampang menggunakan fitur *initial conditions*.
6. Kemudian lakukan *calculating* dan isi setiap *phase* yang akan dilakukan analisis,
7. Kemudian buat *curve displacement*, dan baru dapat dilakukan *calculate*, dan

8. Setelah proses *calculate* selesai maka didapatkan *output* dari program.

Dari tahapan-tahapan yang telah dilakukan oleh program PLAXIS 24 Hasil analisis berupa kurva perpindahan dan nilai *Safety Factor* (SF) digunakan untuk menilai kestabilan lereng terhadap potensi longsor. Jika nilai SF menunjukkan bahwa lereng telah stabil, maka tidak diperlukan perkuatan tambahan. Namun, apabila lereng dinyatakan belum aman, maka dilakukan evaluasi ulang dengan menerapkan perkuatan menggunakan geotekstil, sehingga diperoleh nilai SF baru setelah perkuatan diterapkan.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Penelitian

Metode penelitian adalah suatu proses atau cara yang dipilih secara spesifik untuk menyelesaikan berbagai permasalahan yang diangkat dalam sebuah penelitian. Memahami metode penelitian adalah langkah penting bagi para peneliti untuk mencapai tujuan dan menemukan jawaban atas masalah yang diajukan. Dalam metode penelitian, terdapat beberapa prosedur penyelesaian yang digunakan untuk menganalisis dan mengolah data yang tersedia.

Penelitian yang dilakukan pada jalan di Tawang - Ngalang bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng dan tanpa beban gempa menggunakan program Plaxis versi 21, serta menentukan angka aman badan jalan yang diperkuat. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan solusi terhadap masalah yang terjadi pada jalan di daerah Tawang - Ngalang dan menjadi acuan dalam perencanaan di lapangan dengan kemiringan lereng badan jalan.

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa tahap penelitian untuk mendapatkan hasil analisis yang sesuai dengan tujuan penelitian, diantaranya:

1. Tahap Pengumpulan data penelitian, pada tahapan ini peneliti akan mengambil data tanah (data tanah uji lapangan dan uji laboratorium) yang didapat dari laporan penyelidikan geotek jalan Tawang - Ngalang.
2. Pada tahap analisis dan pengolahan data, data yang telah dikumpulkan akan dianalisis. Proses ini dimulai dengan galian tanah asli menggunakan program Plaxis dan metode Fellenius, kemudian dilanjutkan dengan pencarian angka aman (SF) menggunakan perkuatan geotekstil melalui program Plaxis."
3. Pada tahap analisis dan pengolahan data, data yang telah dikumpulkan akan dianalisis. Proses ini dimulai dengan galian tanah asli menggunakan program Plaxis dan metode Fellenius, kemudian dilanjutkan dengan pencarian angka aman (SF) menggunakan perkuatan geotekstil melalui program Plaxis.

4.2 Data Penelitian

Data penelitian yang akan dianalisis pada *Tugas Akhir* ini adalah data sekunder yang terdiri dari beberapa data meliputi

1. Data penyelidikan tanah,
2. Peta lokasi, dan
3. Gambar penampang.

4.3 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Jalan Tawang – Ngalang tepatnya di daerah Nglegi, Kapanewon Patuk, Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, Segmen IV.

4.4 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini proses penelitian dibagi menjadi beberapa tahap penyelesaian, yaitu sebagai berikut:

1. Tahap pengumpulan data mencakup proses akuisisi informasi tanah melalui pengujian lapangan dan laboratorium yang diperlukan untuk analisis teknis.
2. Tahap pemodelan melibatkan penyusunan desain potongan melintang badan jalan berdasarkan gambar rencana yang telah disiapkan.
3. Tahap pengolahan dan analisis data dilakukan dengan menginput data ke dalam perangkat lunak PLAXIS sesuai dengan dimensi pada gambar rencana. Pemodelan dilakukan dalam beberapa variasi, yaitu kondisi *drained* dan *undrained*, serta kondisi dengan penggunaan geotekstil pada masing-masing skenario, untuk kemudian menghitung besarnya penurunan yang terjadi.
4. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan, tahap ini akan dilakukan penulisan kedalam laporan yang kemudian akan dihasilkan solusi dari masalah-masalah yang timbul dan diambil kesimpulan berdasarkan teori yang ada.

4.4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah hasil mengumpulkan data yang diperoleh dari instansi terkait. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Data Tanah

Kondisi tanah pada lokasi konstruksi terdiri atas beberapa lapisan dengan karakteristik jenis tanah yang berbeda pada tiap lapisannya.

2. Data Beban Lalu Lintas

   Informasi mengenai beban lalu lintas diperoleh dari instansi berwenang, mencakup data lalu lintas harian rata-rata serta beban kendaraan yang disesuaikan dengan fungsi jalan dan sistem jaringan transportasi.

3. Data Geotekstil

   Jenis geotekstil yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai kuat tarik tertentu dan dipilih sesuai kebutuhan analisis perkuatan tanah.

4.4.2 Desain Badan Jalan

Desain potongan pada badan jalan sesuai dengan gambar rencana. Gambar melintang badan jalan terdiri dari gambar melintang badan jalan pada daerah timbunan dan pada daerah galian lereng.

4.5 Analisis data

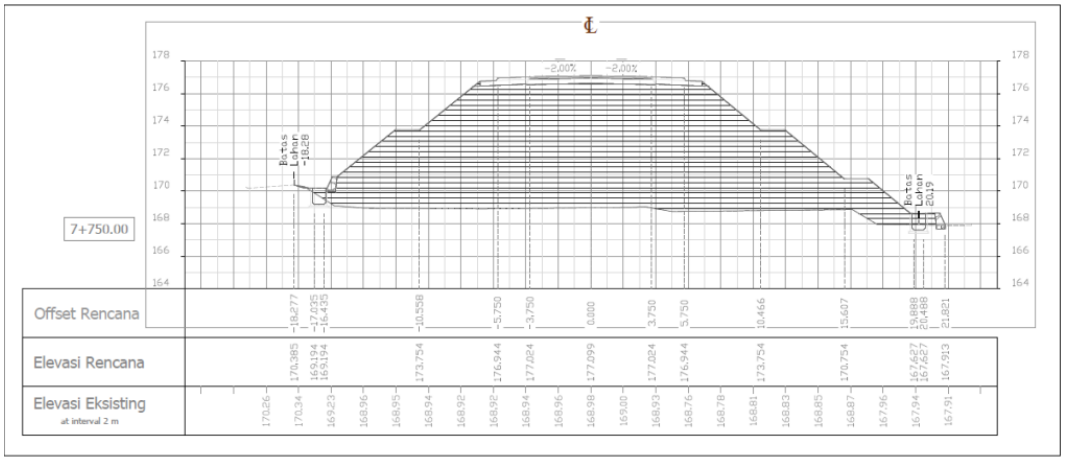
Metode Metode analisis data merupakan pendekatan yang digunakan untuk mempermudah proses pengolahan dan penelaahan data sesuai dengan tahapan pelaksanaan. Adapun data yang telah dikumpulkan disajikan sebagai berikut.

4.5.1 Data Melintang Jalan dan Struktur Galian Timbunan Lereng

Hasil penyelidikan tanah didapatkan hasil parameter tanah dan gambar struktur lereng yang dapat dilihat pada gambar 4.2 dan 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Kondisi Penimbunan Ruas Tawang-Ngalang



Gambar 5.10 Potongan Melintang Timbunan STA 7+750

Gambar 4.2 Gambar Potongan Melintang Timbunan

4.5.2 Data beban

Beban yang memengaruhi kestabilan lereng meliputi beban dari lapisan perkerasan, beban lalu lintas, serta beban akibat aktivitas seismik (gempa). Rincian data beban yang digunakan disajikan sebagai berikut.

1. Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

   Lokasi jaringan jalan lintas selatan mempunyai beban perkerasan sebesar 10 kN/m^2 dari data sekunder, sedangkan beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 sesuai fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.1 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
	Kolektor	>6.000	12
		<6000	10
	Lokal	>500	10
		<500	10

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

4.5.3 Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan geotekstil jenis *woven* atau geotekstil teranyam. Data parameter geotekstil dari PT. Teknindo Geosistem Unggul. Data

perkuatan geotekstil woven nantinya akan diinput ke dalam program plaxis versi 22. Adapun data geotekstil dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.2 Data Perkuatan Geotekstil Woven

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	Tu	26	kN/m
Kuat Tarik Ultimit	Ta	52	kN/m
Kekakuan Normal	EA	260	kN/m

Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

4.6 Analisis data dengan Software Plaxis (V24)

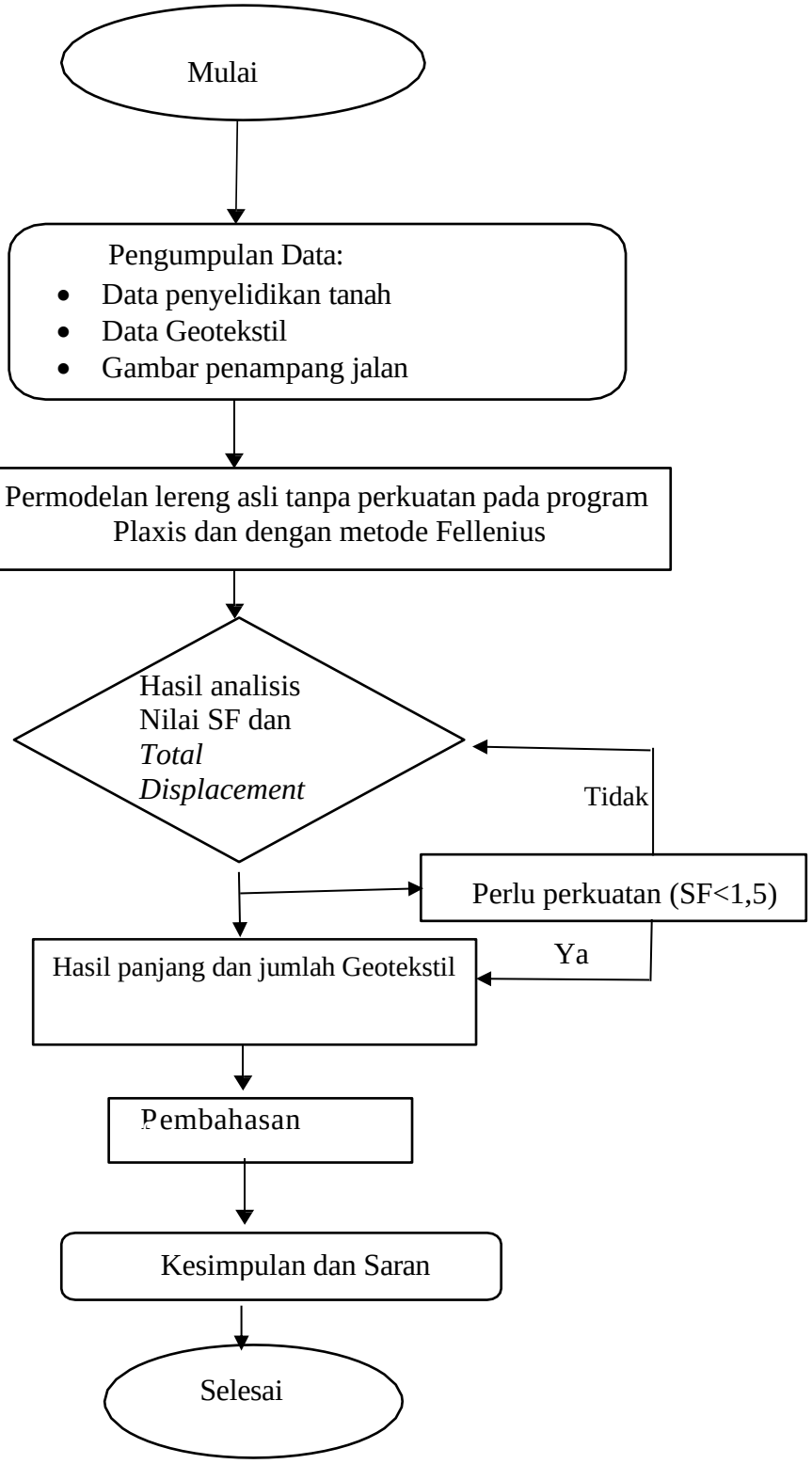
Metode analisis dilakukan secara bertahap menggunakan perangkat lunak PLAXIS, dengan mempertimbangkan kondisi tanah yang dikenai beban lalu lintas dan beban gempa. Variasi pemodelan mencakup kondisi tanah *drained* dan *undrained*, baik dengan maupun tanpa penggunaan geotekstil. Adapun tahapan analisis menggunakan PLAXIS dijelaskan sebagai berikut:

1. Input, meliputi
    a. memodelkan geometri tanah,
    b. memberikan kondisi batas (*boundary condition*),
    c. membentuk *mesh* lapisan tanah dan timbunan,
    d. menentukan kondisi tanah air tanah,
    e. menentukan konfigurasi awal dari *mesh*,
    f. menghitung tegangan-tegangan awal, dan
    g. menspesifikasi titik yang ditinjau.
2. Proses (*calculation* pada software plaxis)
3. Output, meliputi
    a. besar angka aman (*safety factor*) pada tanah asli,
    b. besar *displacement* lereng dengan dan tanpa perkuatan, dan
    c. besarnya penurunan (konsolidasi) .

4.7 Bagan Alir

Bagan alir (*flow chart*) menunjukkan langkah-langkah yang ditempuh dalam proses penelitian. Dengan adanya bagan alir akan membantu kita melakukan evaluasi prosedur yang ada apakah sudah optimal atau sebaliknya untuk dapat melakukan improvement atau perbaikan. Jalannya penelitian dalam Tugas Akhir ini

dapat dilihat pada bagan alir pada Gambar 4.4 dibawah ini.

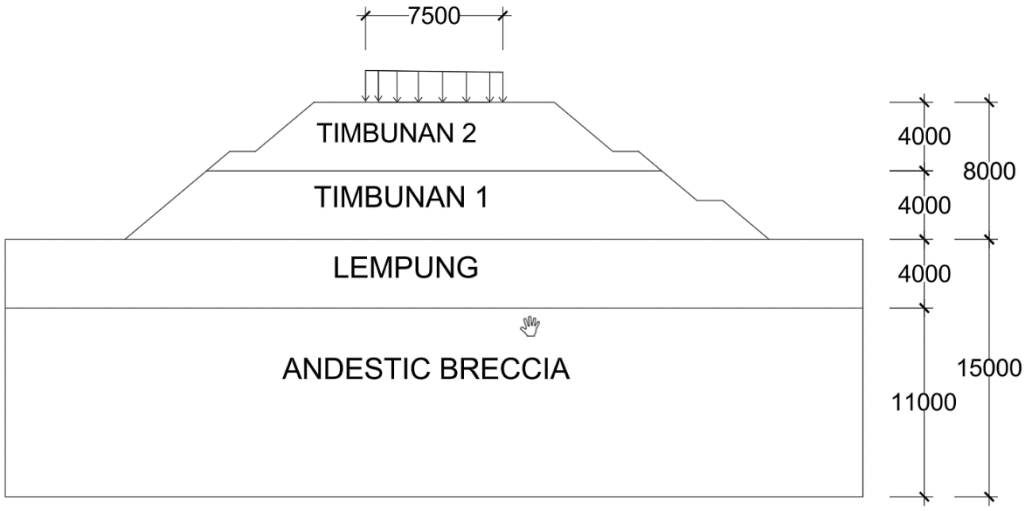


Gambar 4.3 Bagan Alir

BAB V
PEMBAHASAN

5.1 Lereng Timbunan Badan Jalan

Timbunan lereng badan jalan pada proyek jalan lintas selatan Tawang - Ngalang segmen IV pada sta 7+750 mencapai kedalaman ± 8 m, dengan panjang kurang lebih 20 meter, dengan Panjang badan jalan 12m. Stabilitas kemiringan ditentukan oleh faktor keselamatan. Nilai ini akan diperoleh dengan metode elemen statis dan hingga PLAXIS 2D V24. Analisis akan menggunakan kondisi kemiringan tanggul yang ada tanpa penguatan dan menggunakan perkuatan geotekstil Di wilayah ini, Kemiringan tanggul yang ada adalah 8 m dengan sudut internal 40°, Kemudian akan ditambahkan geotekstil sebagai perkuatan kemiringan untuk mencapai factor keamanan. Dapat dilihat pada gambar 5.1 sebagai berikut.



Gambar 5.1 Penampang Lereng Sta 7+750

5.2 Soil parameter

Analisis stabilitas tanggul dalam penelitian ini membutuhkan data parameter seperti data investigasi tanah, berbagai jenis beban, dan parameter geotekstil. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari hasil boring, data laboratorium, dan gambar detail engineering dari PT. Geomine Bara

Studio.

5.2.1 Parameter Tanah

Data Parameter tanah dari lapangan diperlukan untuk analisis stabilitas tanggul jalan. Parameter tanah dalam Penelitian ini adalah data lapangan dan laboratorium dari PT. Data Parameter tanah dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Data Parameter Tanah

Parameter	Satuan	Timbunan	Lapisan 1	Lapisan 2
jenis		Undrained A	Undrained A	Undrained A
H	m	8	4	4
γsat	kN/m^3	13,88	25,59	21,80
γunsat	kN/m^3	12,21	16,28	20,87
γw	kN/m^3	9.81	9,81	9,81
c	kN/m²	10	51,98	36,92
φ	°	22	24,53	25,00
v		0,28	0,28	0,27
Kx	m/day	0,000048	0,00005	0,000048
Ky	m/day	0,000048	0,00005	0,000048
Eref	kN/m²	3723	3778	320,000
E		1,0770	0,896	0,678
Cc		0,2298	0,1093	0,0743

5.2.2 Parameter Beban

Beban kerja pada lereng badan jalan adalah beban trotoar, beban lalu lintas, dan beban gempa.

1. Data Beban Lalu Lintas Kendaraan.

   Pada Penelitian ini terdapat beban merata yang akan diinput, beban tersebut adalah beban struktur perkerasan dengan asumsi sebesar 10 kN/m², sedangkan untuk beban lalu lintas sebesar 15 kN/m². Seperti Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Data 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
	Kolektor	>6.000	10
		<6000	10
	Lokal	>500	10
		<500	10

Sumber: Panduan Geoteknik No.4 Pt T-10-2002-B (2002)

2. Data Geotekstil

Perkuatan geotekstil yang digunakan pada penelitian ini adalah geotekstil jenis UW-250 Produksi dari PT. Teknindo Geosistem. Data dari geotekstil Woven UW-250 dapat dilihat pada tabel 5.3 berikut ini.

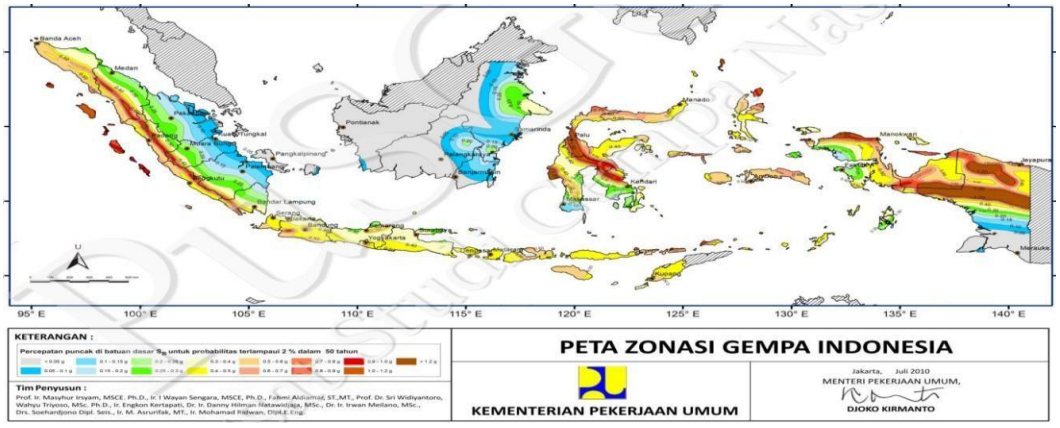
Tabel 5.3 Data Geotekstil Woven

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	Tu	26	kN/m
Kuat Tarik ultimit	Ta	52	KN/m
Kekakuan Normal	EA	260	kN/m

Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

3. Data Beban Gempa

Waktu interval gempa yang digunakan diasumsikan telah melewati percepatan puncak. Sedangkan untuk beban gempa, Yogyakarta memasuki wilayah gempa ke- 8 dengan percepatan puncak gempa (PGA) sekitar 0,4-0,5g. Ini sebanding dengan data gempa yang terjadi di Gempa Whittier Narrows, California pada tahun 1987, yang memiliki PGA sekitar 0,457g.. Dari respon spektrum yang diambil dari hasil analisis, grafik respon spektrum peta zonasi gempa Indonesia dapat dilihat seperti pada Gambar 5.2 dan 5.3.



Gambar 5.2 Peta Zonasi Gempa Indonesia
(Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017)

5.2.3 Data Geotekstil

Perkuatan Geotekstil yang digunakan pada penelitian ini adalah geotekstil jenis wovwen UW-250. Perusahaan ini diproduksi oleh PT. Tekindo Geosistem dengan kekuatan Tarik dan regangan yang diperbolehkan sebesar 52 kN/m² dan diperoleh 20% dari brosur produksi, Data dari geotekstil woven UW-250 dapat dilihat pada tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Data Geotekstil Woven

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	Tu	26	kN/m
Kuat Tarik ultimit	Ta	52	KN/m
Kekakuan Normal	EA	260	kN/m

Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

Untuk perhitungan perkuatan geotekstil, geotekstil tenun akan digunakan sebagai tulangan tambahan untuk tanggul tanah, menggunakan data pada tabel 5.2. kemudian nilai tersebut akan dihitung terlebih dahulu menjadi nilai kekakuan normal (EA) yang akan dihitung dibawah ini.

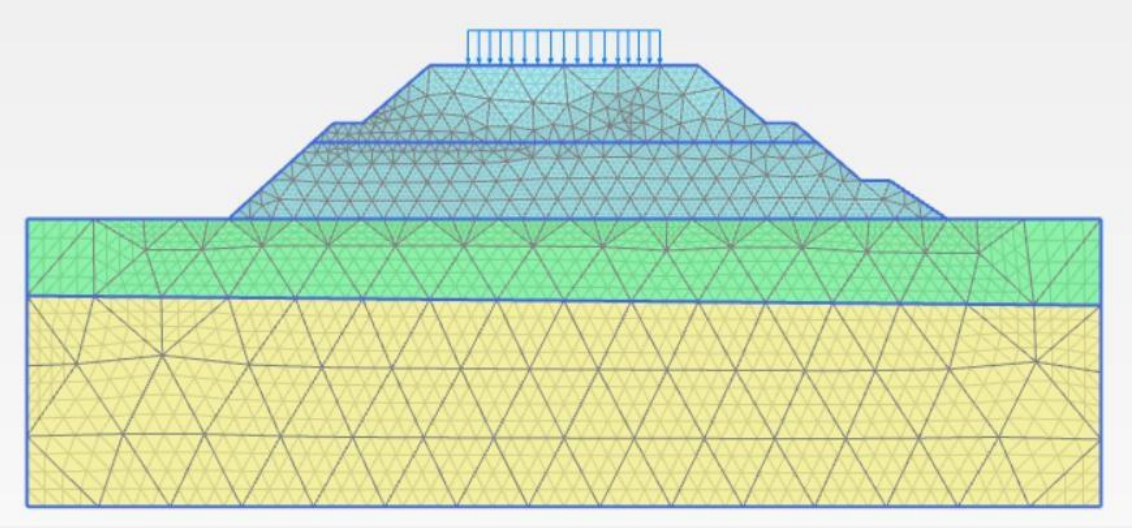
$$EA = \frac{Fg}{\Delta l / l}$$

$$= \frac{52}{0.2}$$

$$= 260 \text{ KN/m}$$

5.3 Analisis Stabilitas Lereng Badan Jalan Tanpa Perkuatan

Untuk Menentukan Analisis kemiringan Lereng menggunakan PLAXIS V24. Pemodelan untuk tahap pembangunan Lereng menggunakan tanah berdasarkan lapangan. Lereng yang akan digunakan adalah STA 7+750 Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Tingginya 8 meter dengan tanggul sudut 40°. Dalam tugas akhir ini, analisis kestabilan lereng pada Sta. 7+750 tanpa menggunakan perkuatan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak PLAXIS V24. Hasil pemodelan elemen jaringan (*meshing*) untuk lereng tersebut ditampilkan pada Gambar 5.4.

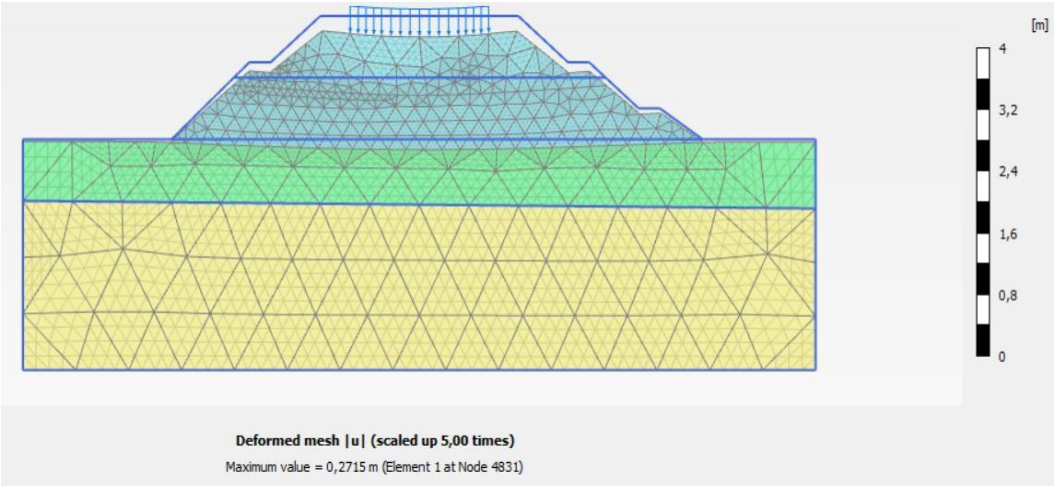


Gambar 5.3 *Meshing Lereng*

5.3.1 Akibat Beban Timbunan (Akitbat Beban Sendiri)

1. *Deformed Mesh*

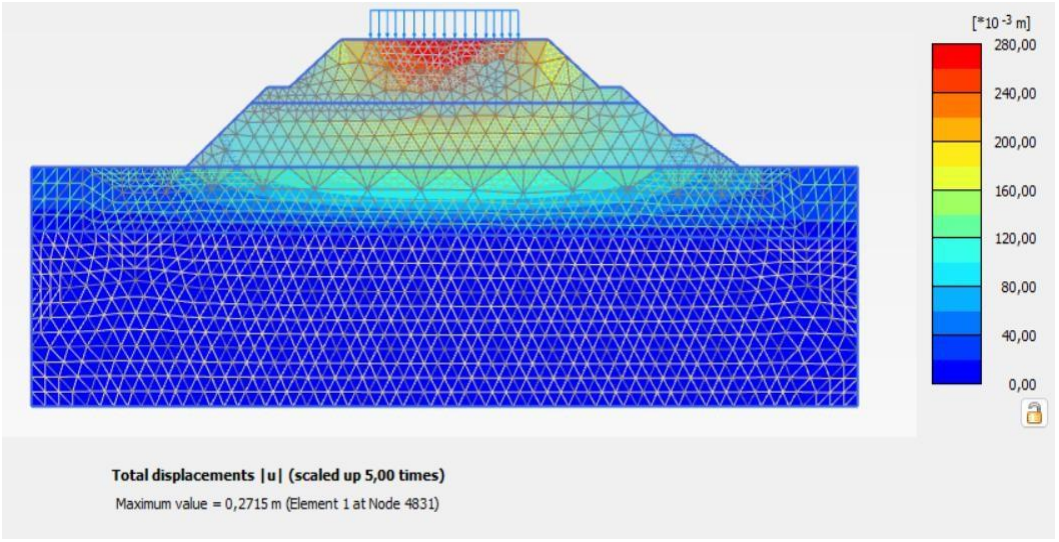
   Deformed Mesh diisyaratkan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah tidak beraturan dan mengalami penurunan yang diakibatkan oleh beban yang bekerja. Deformed mesh pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan (beban sendiri) tertera pada Gambar 5.5.



Gambar 5.4 *Deformed Mesh* pada timbunan (Akibat Beban Sendiri)

2. *Total Displacement*

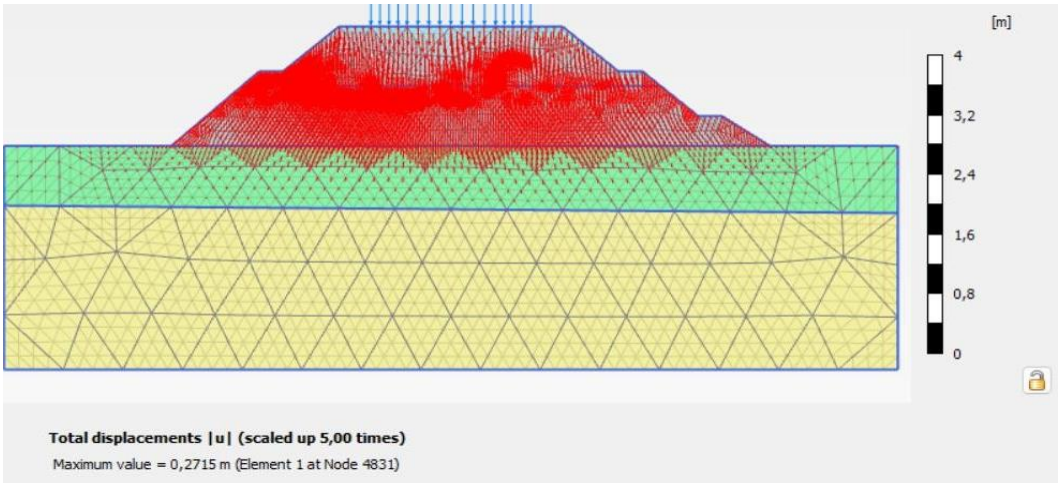
   Pada Pada lereng tanpa perkuatan, terjadi perpindahan vertikal akibat beban timbunan yang bekerja sebagai beban sendiri. Nilai perpindahan maksimum teridentifikasi di bagian tengah atas lereng, ditandai dengan warna oranye tua. Di bawah zona tersebut, gradasi warna yang berubah menjadi biru tua menunjukkan penurunan nilai perpindahan. Besarnya displacement maksimum yang terjadi pada lereng timbunan tanpa perkuatan tercatat sebesar 0,2715 meter, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.5 *Total Displacement* pada timbunan (Akibat Beban Sendiri)

3. Arah Pergerakan Tanah

   Hasil analisis terhadap pergerakan tanah pada lereng tanpa perkuatan akibat beban timbunan menunjukkan bahwa arah dominan pergerakan massa tanah cenderung menuju sisi kanan. Visualisasi arah gerakan tanah tersebut ditampilkan pada Gambar 5.7 sebagai berikut.

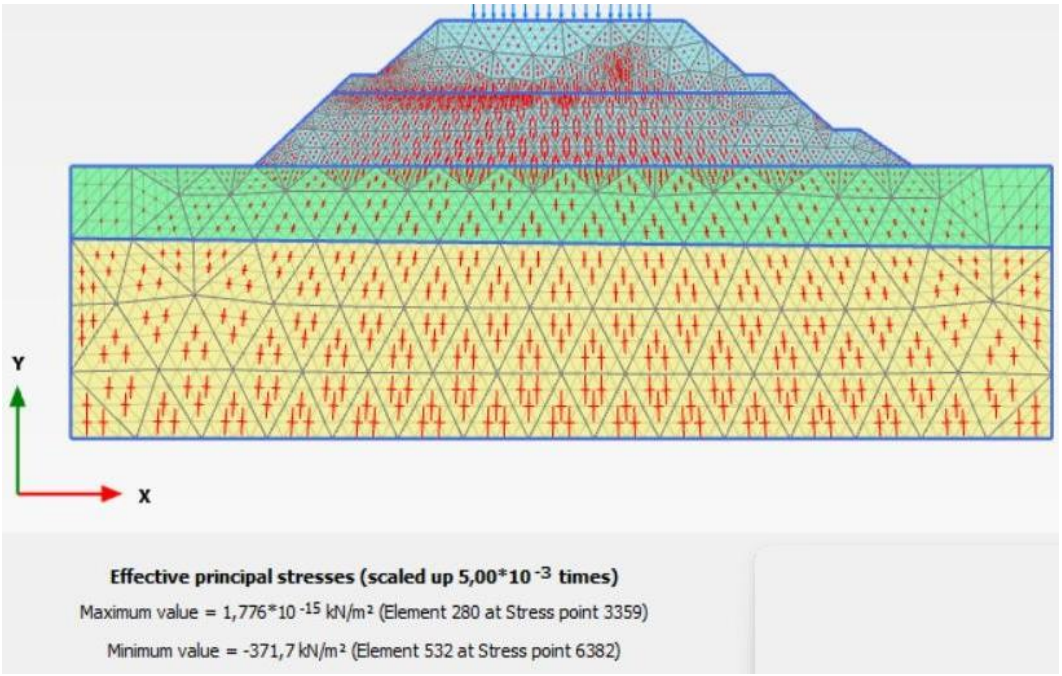


Gambar 5.6 Arah pergerakan tanah pada timbunan (Akibat Beban Sendiri)

4. *Effective Stress*

   Tegangan efektif (*Effective Stress*) merupakan sebuah tegangan yang mempengaruhi kuat.geser dan perubahan volume atau penurunan daripada tanah. Dari hasil analisis *Effective Stress*, disimpulkan bahwa garis-garis yang

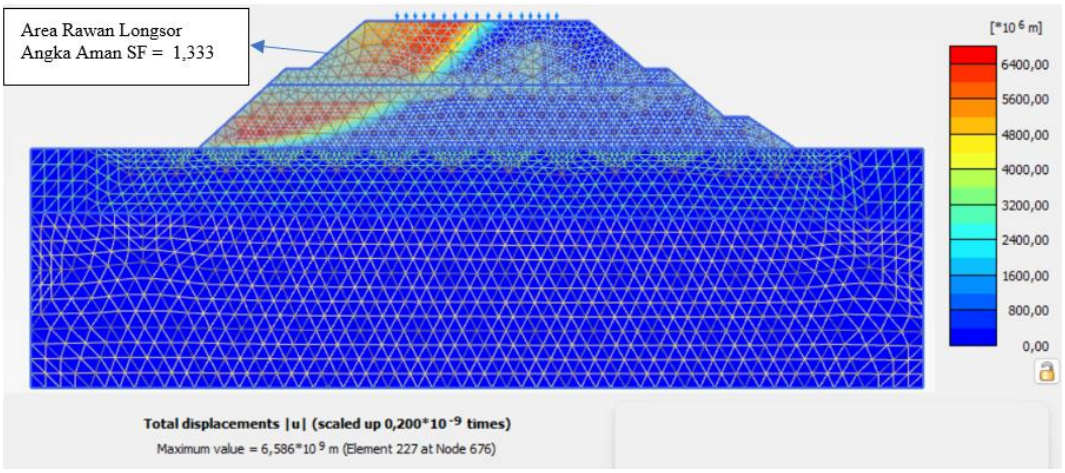
menunjukkan arah dan intensitas tegangan efektif cenderung meningkat saat menuju ke bagian bawah, terutama di tengah-tengah timbunan hingga mencapai lapisan dasar tanah. Besar nilai maksimum *effective stresses* pada lereng timbunan tanpa perkuatan tanah akibat beban sendiri adalah 1,776 x 10^{-15} kN/m^2. Hasil analisis *Effective Stresses* menggunakan program PLAXIS 24 dapat diamati pada Gambar 5.7 dibawah ini.



Gambar 5.7 *Effective stress* pada timbunan (Akibat Beban Sendiri)

5. Daerah Potensi Kelongsoran

   Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS, tipe kelongsoran yang teridentifikasi adalah *rotational slide*. Dari hasil tersebut, terlihat pembagian zona pasif dan zona aktif pada lereng. Zona pasif direpresentasikan dengan warna biru, sedangkan zona aktif ditunjukkan dengan warna oranye. Potensi terjadinya kelongsoran pada lereng tanpa perkuatan akibat beban sendiri dapat dilihat pada Gambar 5.9.

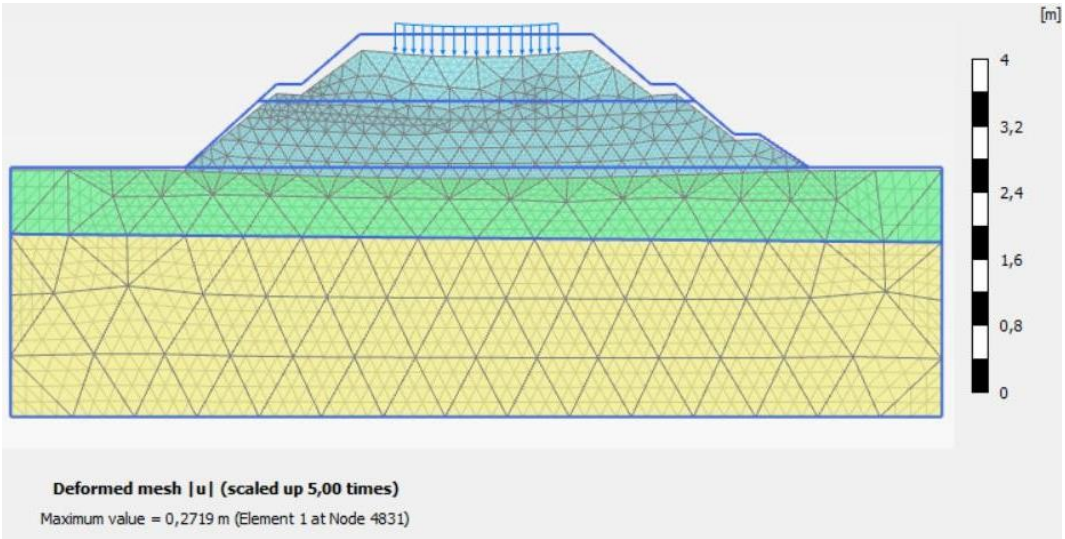


Gambar 5.8 Daerah Potensi Kelongsoran pada timbunan (Akibat Beban Sendiri)

5.3.2 Akibat Beban Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan

1. *Deformed mesh*

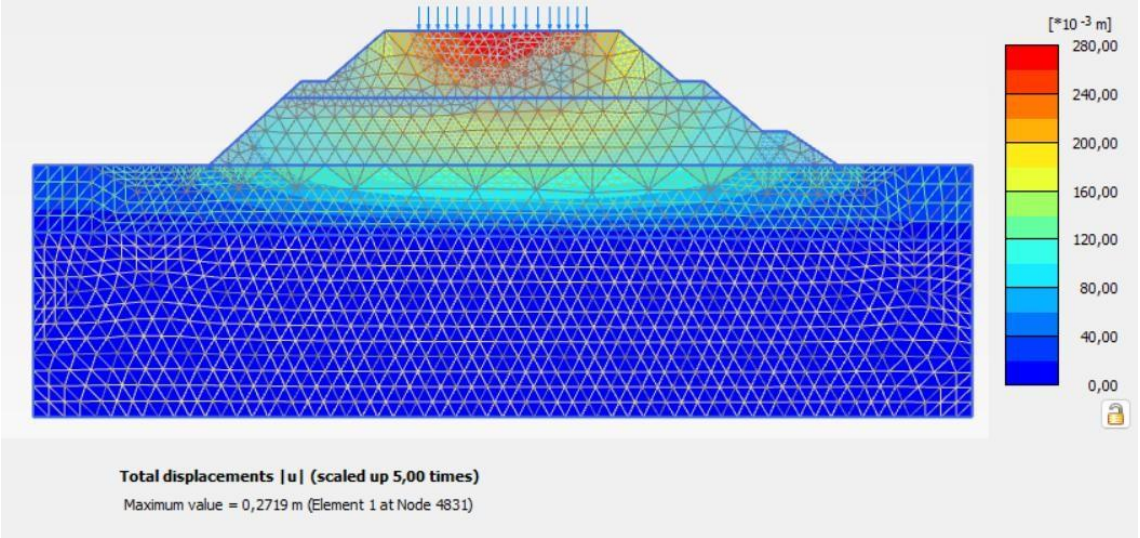
Deformed mesh ditunjukkan oleh perubahan bentuk segitiga elemen jaringan yang menjadi tidak beraturan, serta adanya penurunan pada permukaan lereng sebagai akibat dari beban yang bekerja, seperti beban sendiri, beban lalu lintas, dan beban gempa. Visualisasi deformed mesh pada lereng tanpa perkuatan akibat beban timbunan dan beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.9 Deformed Mesh pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan

2. *Total Displacement*

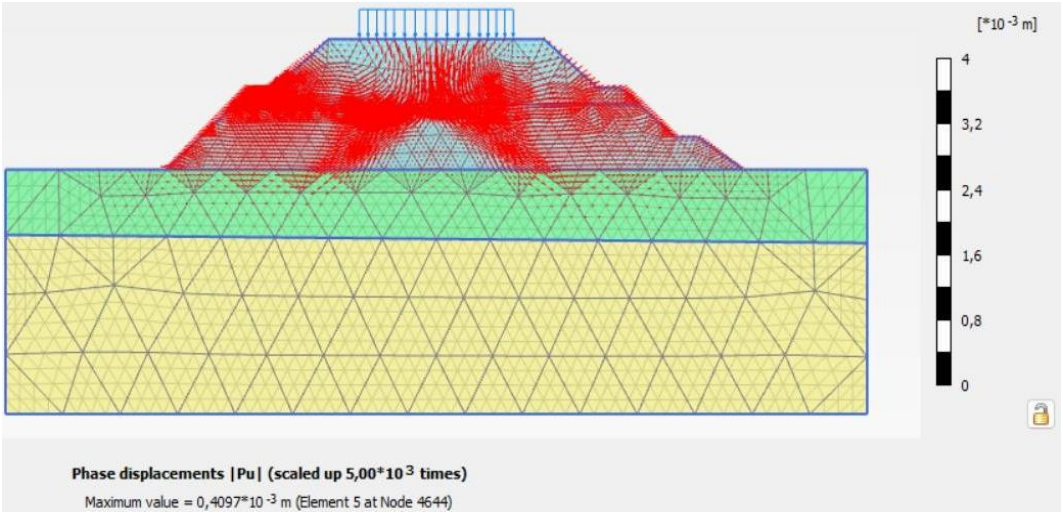
Pada Pada lereng tanpa perkuatan, terjadi perpindahan vertikal akibat beban timbunan yang bekerja sebagai beban sendiri. Nilai perpindahan maksimum teridentifikasi di bagian tengah atas lereng, ditandai dengan warna oranye tua. Di bawah zona tersebut, gradasi warna yang berubah menjadi biru tua menunjukkan penurunan nilai perpindahan. Besarnya displacement maksimum yang terjadi pada lereng timbunan tanpa perkuatan tercatat sebesar 0,2719 meter, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.10 *Total Displacement* pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan

3. Arah Pergerakan Tanah

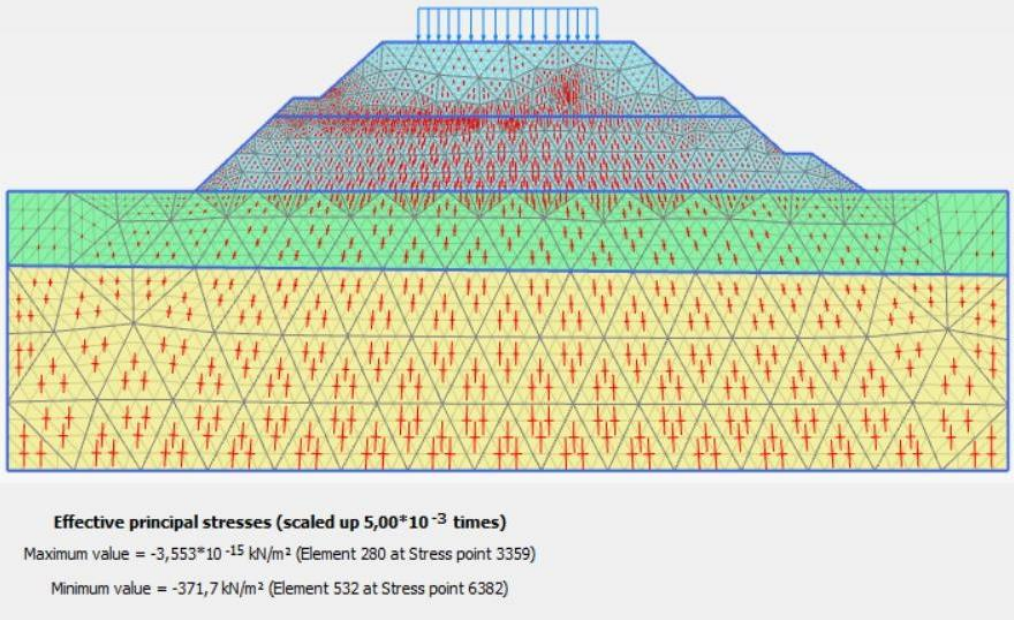
   Hasil analisis terhadap pergerakan tanah pada lereng tanpa perkuatan akibat beban timbunan menunjukkan bahwa arah dominan pergerakan massa tanah cenderung menuju sisi kanan. Visualisasi arah gerakan tanah tersebut ditampilkan pada Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5.11 Arah Pergerakan tanah pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan

4. *Effective Stress*

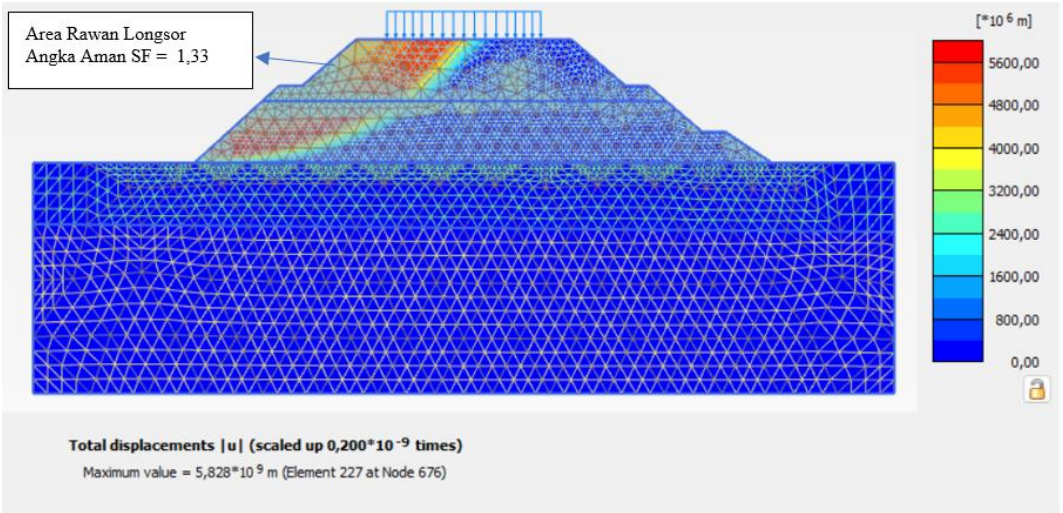
Tegangan efektif (*Effective Stress*) merupakan tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan daripada tanah. Dari hasil analisis *Effective Stress*, disimpulkan bahwa garis-garis yang menunjukkan arah dan intensitas tegangan efektif cenderung meningkat saat menuju ke bagian bawah, terutama di tengah-tengah timbunan hingga mencapai lapisan dasar tanah. Besar nilai maksimum *effective stress* pada lereng timbunan tanpa perkuatan tanah akibat beban sendiri dan beban kendaraan adalah 3,553 x 10^{-15} kN/m² . Hasil analisis *Effective Stress* dapat diamati pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.12 Effective Stress pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan

5. Daerah Potensi Kelongsoran

Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS, tipe kelongsoran yang teridentifikasi adalah *rotational slide*. Dari hasil tersebut, terlihat pembagian zona pasif dan zona aktif pada lereng. Zona pasif direpresentasikan dengan warna biru, sedangkan zona aktif ditunjukkan dengan warna oranye. Potensi terjadinya kelongsoran pada lereng tanpa perkuatan akibat beban sendiri dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.

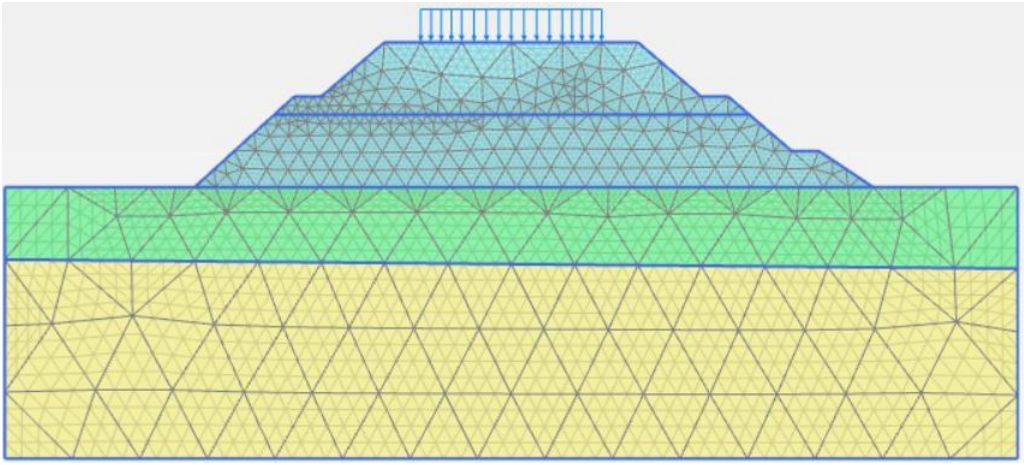


Gambar 5.13 Potensi kelongsoran pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan

5.3.3 Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa

1. *Deformed Mesh*

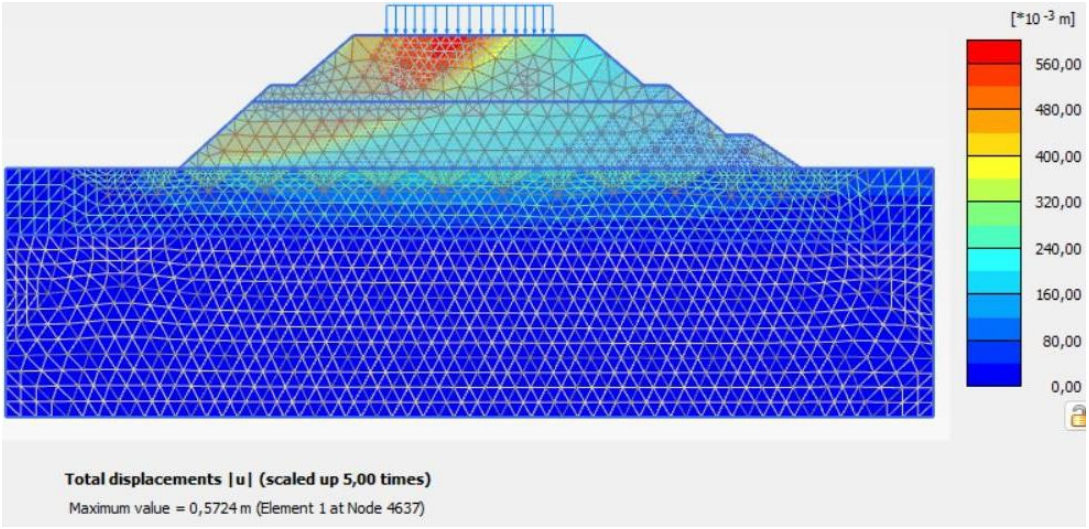
   Deformed mesh ditunjukkan oleh perubahan bentuk segitiga elemen jaringan yang menjadi tidak beraturan, serta adanya penurunan pada permukaan lereng sebagai akibat dari beban yang bekerja, seperti beban sendiri, beban lalu lintas, dan beban gempa. Visualisasi deformed mesh pada lereng tanpa perkuatan akibat beban timbunan dan beban kendaraan dapat dilihat pada 5.15.



Gambar 5.14 Deformed Mesh pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa

2. *Total Displacement*

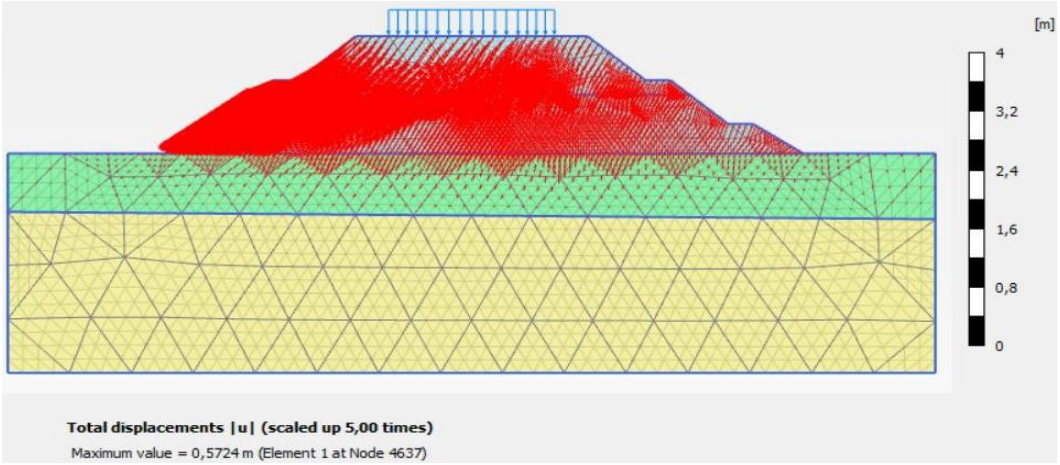
   Pada lereng tanpa perkuatan tanah terjadi *displacement* searah vertikal akibat beban timbunan dan beban kendaraan. *Displacement* dengan nilai paling besar terjadi di bagian tengah atas yang ditandai dengan warna oranye tua. Ketika di bawah lapisan warna oranye tua memudar menjadi biru tua menandakan nilai *displacement* mengalami penurunan. Nilai *displacement* paling besar pada lereng timbunan tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa adalah 0,5724 m yang tertera pada Gambar 5.16 sebagai berikut.



Gambar 5.15 Total Displacement pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa

3. Arah Pergerakan Tanah

   Hasil analisis terhadap pergerakan tanah pada lereng tanpa perkuatan akibat beban timbunan menunjukkan bahwa arah dominan pergerakan massa tanah cenderung menuju sisi kanan. Visualisasi arah gerakan tanah tersebut ditampilkan pada Gambar 5.7 sebagai berikut.

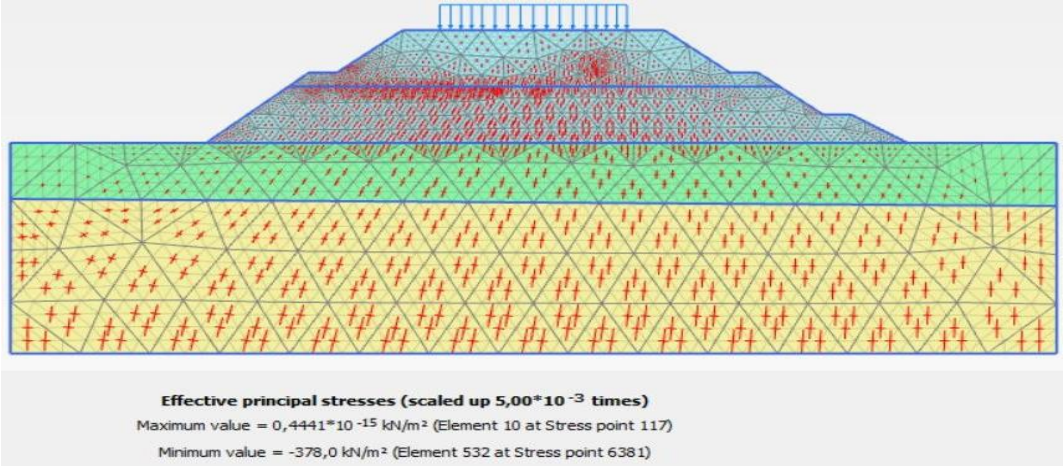


Gambar 5.16 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa

4. *Effective Stress*

   Tegangan efektif (*Effective Stress*) merupakan tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan daripada tanah. Dari hasil

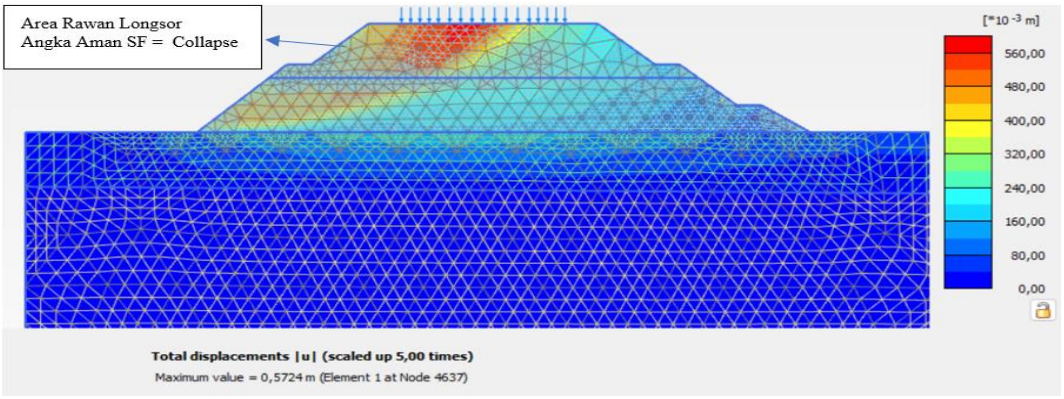
analisis *Effective Stress*, disimpulkan bahwa garis-garis yang menunjukkan arah dan intensitas tegangan efektif cenderung meningkat saat menuju ke bagian bawah, terutama di tengah-tengah timbunan hingga mencapai lapisan dasar tanah. Besar nilai maksimum *effective stress* pada lereng timbunan tanpa perkuatan tanah akibat beban sendiri dan beban kendaraan adalah 0,4411 x 10 x 10^{-15} kN/m² . Hasil analisis *Effective Stress* dapat diamati pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.17 *Effective Stress* pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa

5. Daerah Potensi Kelongsoran

Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS, tipe kelongsoran yang teridentifikasi adalah *rotational slide*. Dari hasil tersebut, terlihat pembagian zona pasif dan zona aktif pada lereng. Zona pasif direpresentasikan dengan warna biru, sedangkan zona aktif ditunjukkan dengan warna oranye. Potensi terjadinya kelongsoran pada lereng tanpa perkuatan akibat beban sendiri dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.

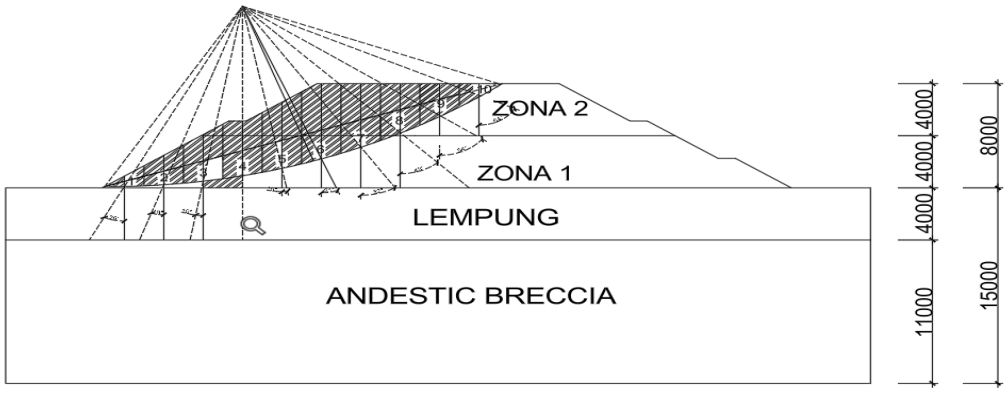


Gambar 5.18 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa

Besarnya faktor aman dari analisis program PLAXIS yang terdapat pada lereng Sta. 7+750 tanpa perkuatan dengan beban timbunan, beban gempa dan beban kendaraan ternyata Collaps. Hal ini menunjukkan lereng tidak aman sehingga diperlukan perkuatan untuk mencegah terjadinya kelongsoran pada lereng. Perkuatan yang akan dipakai adalah geotekstil dengan perhitungan kebutuhannya yang akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

5.4 Angka Aman Lereng Asli dengan Metode Fellenius

Untuk menentukan angka aman pada lereng tanpa perkuatan tanah digunakan perhitungan manual sebagai perbandingan dengan hasil angka aman (*safety factor*) yang didapat dari program PLAXIS. Adapun gambar gaya-gaya yang bekerja pada irisan lereng asli terdapat pada gambar 5.3 serta contoh perhitungannya berikut ini



Gambar 5.19 Pemodelan dan Analisis Lereng dengan Metode Fellenius

Bidang Longsor terbagi menjadi 10 segmen, dengan total panjang bidang longsor dalam arah horizontal sepanjang 24,31 m. Langkah-langkah perhitungan stabilitas lereng badan jalan tanpa perkuatan menggunakan metode Fellenius secara perhitungan manual adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan berat irisan tanah

   $W_i = \gamma \times A_i$

   Di bawah ini merupakan perhitungan berat irisan untuk galian lereng asli tanpa perkuatan.

   Contoh pada irisan 1:

   W = (γ x A) + (q x L)

   Beban (q) untuk perhitungan ini menggunakan perkerasan dan beban lalu lintas 25 kN/m². Sedangkan panjang (L) menggunakan irisan dengan beban atas. Contoh perhitungan setiap berat irisan dapat dilihat di bawah ini.

   γ1 = 13,88 kN/m^3 L1 = 2.4315 m A1 = 1.968 m²

   A5 = 12,853 m^2

   W1 = γ1 x A1 +(q x L1)

   = (13,88 x 1,968) + (25 x 2,4315)

   = 88,103 kN W5= γ4 x A5

   = 13,88 x 12,853

   = 178,400 kN

   Rekapitulasi setiap berat irisan dapat dilihat pada Tabel 5.4.

2. Perhitungan Wi sin α dari setiap irisan

   Contoh perhitungan Wi sin α dari setiap irisan dapat dilihat di bawah ini.

   A1 = 64º

   A5 = 21º

   Irisan 1 = W1 x dosa α

   = 88,103 x dosa 64°

   = 79,187 kN/m

   Iris 5 = W5 x dosa α

   = 178,400 x dosa 21°

= 63,933 kN/m

3. Perhitungan α Wi cos dari setiap irisan

Irisan 1 = W1 x cos α

= 88,103 x cos 64°

= 38,622 kN/m

Iris 5 = W5 x cos α

=178,400 x cos 21°

= 166,550 kN/m

Rekapitulasi langkah-langkah perhitungan menggunakan metode Fellenius untuk seluruh irisan dapat dilihat pada Tabel 5.4

Tabel 5.4 Rekapitulasi Langkah-langkah Perhitungan Menggunakan Metode Fellenius

Iris	Lapisan tanah	A	Wi	α	Wi cos α	Wi sin α
		(m²)	Kn	(o)		
1	1	1,968	88,103	64	38,622	79,187
2	1	5,523	137,447	54	80,789	111,197
3	1	8,526	118,341	43	86,549	80,708
4	1	11,046	153,318	32	130,021	81,246
5	1	12,853	178,400	21	166,550	63,933
6	1	11,580	160,730	10	158,289	27,911
7	1	9,849	136,704	0	136,704	0,000
8	1	8,169	113,386	-10	111,663	-19,689
9	1	5,145	71,413	-18	67,917	-22,068
10	1	1,781	24,720	-26	22,218	-10,837
Total Seluruh					999,324	391,588

4. Kapasitas kegagalan diberikan oleh komponen kohesi

Berdasarkan Gambar 5.26, panjang garis kurva pada lapisan 1 (AB) adalah 23,77 m. Oleh karena itu, perhitungannya adalah:

A - B= 17,148 m

c1 = 10 kN/m²

c1a1 = (10 x 17,148)

= 171,480 kN/m

5. Perhitungan faktor keamanan

$$SF = \frac{(\Sigma ci\alpha i)+(\text{Tan } \varphi \times \Sigma W \times \cos \alpha)\,)\,(\Sigma W \sin\alpha)+(q \times L)\,)}{}$$

$$= \frac{(171{,}480)+(\text{Tan } 10 \times 999{,}324)\,)\quad (391{,}588+(25 \times 7))}{}$$

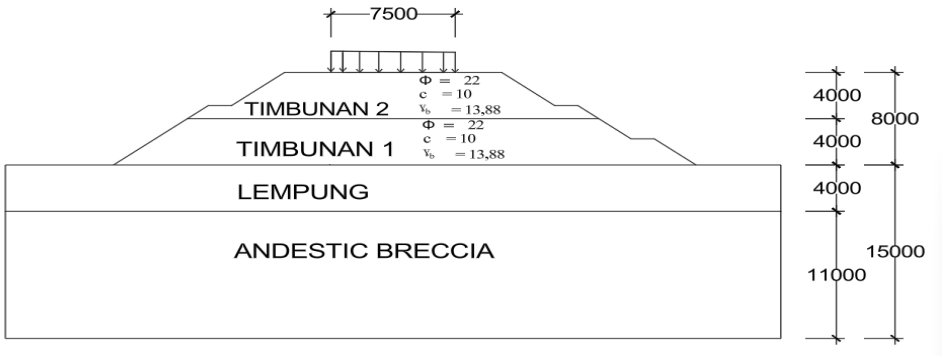
=1,11

Berdasarkan hasil perhitungan faktor keamanan pada tanggul yang ada dengan sudut kemiringan 40º menggunakan metode Fellenius adalah 1,11. Hasil yang diperoleh menggunakan metode Fellenius digunakan sebagai perbandingan dan untuk memverifikasi hasil analisis PLAXIS V24. Analisis dan perhitungan dilakukan untuk tahap pasca-konstruksi tanpa beban seismik. Hasil perhitungan manual tidak jauh berbeda dengan hasil analisis PLAXIS yaitu terjadi Collapse.

5.5 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

Menurut Hardiyatmo (2008) geotekstil merupakan bahan lembaran yang terbuat dari polimer tekstil memiliki sifat permeabel terhadap air dan digunakan dalam berbagai aplikasi teknik sipil, seperti kontak dengan tanah atau batu serta material geoteknik lainnya. Biasanya, Geotekstil merupakan salah satu jenis material geoteknik yang umumnya terbuat dari polipropilena, meskipun ada pula yang menggunakan bahan dasar poliester atau polietilena. Bahan-bahan tersebut diolah menjadi serat atau benang, kemudian dibentuk menjadi kain dengan metode anyaman (*woven*) maupun non-anyaman (*non-woven*). Ketika kain ini diaplikasikan ke dalam tanah, maka disebut sebagai geotekstil. Dalam penelitian ini, jenis geotekstil yang digunakan adalah tipe *woven* UW-250 yang diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul.

Metode analisis yang diterapkan dalam tugas akhir ini adalah pendekatan *zone per zone*, di mana lereng timbunan dibagi menjadi dua bagian, yaitu zona 1 dan zona 2. Berdasarkan SNI Geoteknik 8460:2017, nilai *Safety Factor* (SF) lebih dari 1,5 dianggap sebagai batas aman yang umum digunakan sebagai acuan konservatif untuk menjamin kestabilan lereng dalam jangka panjang. Karena bidang kelongsoran berada pada lapisan tanah timbunan, maka pemasangan geotekstil difokuskan pada area tersebut. Untuk merancang sistem perkuatan lereng yang mampu menahan gaya-gaya yang bekerja, diperlukan analisis terhadap stabilitas eksternal maupun stabilitas internal.



Gambar 5.20 Pembagian zona Timbunan untuk Perhitungan Geotekstil

Berikut data-data yang diperlukan untuk analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal.

1. Tanah Timbunan
   a. Berat Volume Tanah (γ_b) = 13,88 kN/m^3
   b. Kohesi (c) = 10 kN/m^3
   c. Sudut Gesek Dalam (φ) = 22°
   d. Kemiringan Lereng = 40°
2. Geotekstil
   a. Jenis Geotekstil = Geotekstil woven UW-250
   b. Kuat Tarik Ultimit (T_u) = 52 kN/m
   c. Kuat Tarik izin (T_a) = 26 kN/m
3. Beban Merata (kendaraan) = 15 kN/m^2
4. Koefisien Daya Dukung Tanah

   Untuk koefisien perhitungan daya dukung tanah bisa dilihat pada Tabel 5.5

Tabel 5.5 Koefisien Daya Dukung Tanah Meyerhof Mekanisme Keruntuhan Geser Lokal

φ	N_c	N_q	N_γ	φ	N_c	N_q	N_γ
15	11,63	4,34	3,06	24	19,32	9,60	9,44
16	11,63	4,34	3,06	25	20,72	10,66	10,88
17	12,34	4,77	3,53	26	22,25	11,85	12,54
18	13,10	5,26	4,07	27	23,94	13,20	14,47
19	13,93	5,80	4,68	28	25,80	14,72	16,72
20	14,83	6,40	5,39	29	27,86	16,44	19,34
21	15,82	7,07	6,20	30	30,14	18,40	22,40
22	16,88	7,82	7,13	31	32,67	20,63	25,90
23	18,05	8,66	8,20	32	35,49	23,18	30,22

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

5.5.1 Stabilitas Eksternal

1. Menentukan Jarak Arah Vertikal antar Lapisan Geotesktil (SV)

   Beban merata kendaraan = 25 kN/m^2 digunakan *safety factor* (SF) = 1,5 dan kohesi (c) = 10 kN/m^2.

   Ka = $tan^2((45° - (^{\varphi}))2$

   = $\overline{tan^2((45° - (^{22}))2}$

   = 0,455

   a. Zona 1

   $\sigma hc\ 1$ = (q x ka) + (ka x H_1x γ_b) – (2 x c x $\sqrt{ka}$)

   = (25 x 0,455) + (0,455 x 4 x 13,88) – (2 x 10 x $\sqrt{0,455}$)

   = 23,143 kN/m^2

   SF = diambil 1,5

   $Sv1$ = $\frac{Ta\ \sigma_{hc1}\ x\ SF}{2623,143\ x\ 1,5}$

   = 0,749 m

   Dilapangan dipasang $Sv1$ = 0,5 m

   Banyaknya lapis geotekstil = (4)/(0,5) = 8

   Banyak lembar yang diambil = 8 lembar

   b. Zona 2

   $\sigma hc\ 2$ = (ka x H2 x γb) – (2 x c x $\sqrt{ka}$)

   = (0,455 x 8 x 13,88) – (2 x 10 x $\sqrt{0,455}$)

   = 24,399 kN/m^2

   SF = diambil 1,5

   $Sv2$ = $\frac{Ta}{\sigma hc\ 2\ x\ SF}$ = $\frac{Ta}{2624,399\ x\ 1,5}$

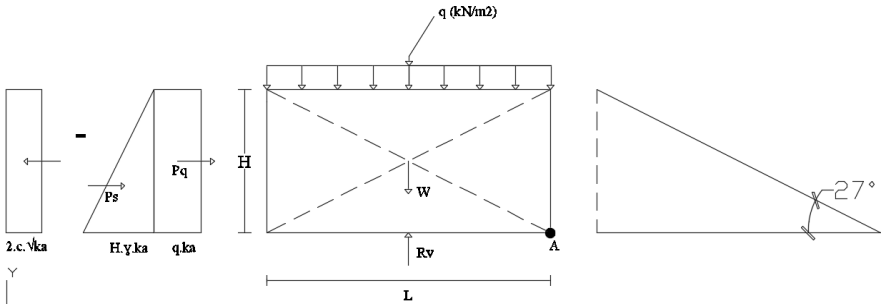
   = 0,710 m

   Dilapangan dipasang $Sv2$ = 0,5 m

   Banyaknya lapis geotekstil = (8)/(0,5) = 16

   Ditentukan Banyak lembar Geotekstil yang diambil = 16 lembar

   Menentukan Panjang Geotekstil Berdasarkan Gaya-Gaya yang Bekerja



Gambar 5.21 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Tanah Miring

Zona 1:

a. Eksentrisitas

$$e = \frac{\Sigma MD}{Rv} = \frac{\left(P_q \, x \, \frac{1}{2} H \right) + \left(P_s \, x \, \frac{1}{3} H \right) - (P_k \, x \, \frac{1}{2} H)}{(H \, x \, \gamma b \, x \, L) + (q \, x \, L)}$$

Asumsi bahwa resultan gaya bekerja pada Tera (sentris)

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{\left(q \, x \, ka \, x \, \frac{1}{2} x \; H^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \, x \, ka \, x \, \gamma_b \, x \, H^2 \, x \, \frac{1}{3} x \, H \right) - (2 \, x \, c \, x \, \sqrt{ka} \, x \, \frac{1}{2} x \; H^2 \;)}{(H \, x \, \gamma_b \, x \, L) + (q \, x \, L)}$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{\left(25 \, x \, 0{,}455 \, x \, \frac{1}{2} x \; 4^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \, x \, 0{,}455 \, x \, 13{,}88 \, x \, 4^2 \, x \, \frac{1}{3} x \, 4 \right) - (2 \, x \, 10 \, x \, \sqrt{0{,}455} \, x \, \frac{1}{2} x \; 4^2 \;)}{(4 \, x \, 13{,}88 \, x \, L) + (25 \, x \, L)}$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{50{,}4383}{80{,}52 L}$$

$$80{,}52 \; L^2 \geq 302{,}6298$$

$$L^2 = \frac{302{,}6298}{80{,}52}$$

$$L^2 = 3{,}7584$$

$$L = \sqrt{3{,}7584}$$

$$L = 1{,}939 \text{ m}$$

Ditentukan panjang geotekstil = 2 m

b. Stabilitas Terhadap Guling

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} = \frac{Momen \; menahan}{Momen \; mendorong} \geq 1{,}5$$

$$\Sigma MD = (q \text{ x } ka \text{ x } \frac{1}{2} \text{ x } H^2) + (\frac{1}{2} \text{ x } ka \text{ x } \gamma_b \text{ x } H^2 \text{ x } \frac{1}{3} \text{ x } H) - (2 \text{ x } c \text{ x } \sqrt{ka} \text{ x } \frac{1}{2} \text{x } H^2)$$

$$\Sigma MR = 0{,}5 \text{ x } \gamma_b \text{ x } H \text{ x } L^2$$

$$SF = \frac{0{,}5 \text{ x } 13{,}88 \text{ x } 4 \text{ x } L^2}{(25 \text{ x } 0{,}455 \text{ x } \frac{1}{2} \text{x } 4^2) + (\frac{1}{2} \text{x } 0{,}455 \text{ x } 13{,}88 \text{ x } 4^2 \text{ x } \frac{1}{3} \text{x } 4) - (2 \text{ x } 10 \text{ x } \sqrt{0{,}455} \text{ x } \frac{1}{2} \text{x } 4^2)}$$

$SF = \frac{27{,}76\ L^2}{50{,}4383}$

$L^2 = \frac{(\ 50{,}4383\ x\ 1{,}5\ )}{27{,}76}$

$L = \sqrt{2{,}725}$

L = 1,37 m

Ditentukan panjang geotekstil = 2 m

c. Stabilitas Terhadap Geser

$SF = \frac{(L\ x\ H\ x\ \gamma_b\ \text{x tg}\ \delta_b) + (\text{q x tg}\ \delta_b\ \text{x L})}{(0{,}5\ x\ H^2\ x\ ka\ x\ \gamma_b)+(q\ x\ ka\ x\ H)-(2\ x\ c\ x\ \sqrt{ka}\ x\ H)}$

Tahanan geser pada dasar perkuatan (δb = 2/3 x 29° = 19,333°)

$SF = \frac{(15\ x\ tg\ 19{,}333\ x\ L)+(L\ x\ 4x\ 13{,}88\ \text{x tg}\ 19{,}333)}{(0{,}5\ x\ 4^2\ x\ 0{,}455\ x\ 13{,}88\ )+(\ 25\ x\ 0{,}455\ x\ 4\ )-(2\ x\ 10\ x\ \sqrt{0{,}455\ x\ 4}\ )}$

$SF = \frac{24{,}7380\ L}{42{,}0602}$

$L = \frac{42{,}0602\ x\ 1{,}5}{24{,}7380}$

= 2,993 m

Ditentukan panjang geotekstil = 3 m

d. Tinjauan Terhadap Kapasitas Dukung pada Tanah Digunakan

Digunakan SF = 1,5

Nc = 16,88

Nγ = 7,13

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

q_{ult} = c x N_c + 0,5 x L x γ_b x N_γ

= 25 x 16,88 + 0,5 x L x 13,88 x 7,13

= 422 + 49,4822 L

Maka,

σ_{ult} = q_{ult} x SF

= (422 + 49,4822 L) x 1,5

= 633 + 74,2233 L

$$L \leq \frac{633 + 74{,}2233\ L}{(4\ x\ 13{,}88) + 25}$$

$$91{,}5L \leq 633 + 74{,}2233\ L$$

$$L = \frac{633}{(91{,}5 - 74{,}2233)} = 40{,}212\ \text{m}$$

Ditentukan Panjang Geotekstil = 41 m

Dari empat jenis parameter di atas, diambil panjang geotekstil (L) yang maksimum untuk zona 1 yaitu L = 41 m.

Zona 2:

a. Eksentrisitas

$$e = \frac{\Sigma MD}{Rv} = \frac{\left(P_s\ x\ \frac{1}{3}H\right) - (\ P_k\ x\ \frac{1}{2}H\ )}{(\ H\ x\ \gamma_b\ \text{x L}) + (q\ x\ L\ )}$$

Asumsi bahwa resultan gaya bekerja pada Tera (sentris)

$$\frac{1}{6}\text{L} \geq \frac{\left(\frac{1}{2}\ x\ ka\ x\ \gamma_b\ \text{x}\ H^2\ \text{x}\ \frac{1}{3}\ \text{x H}\right) - (\ 2\ x\ c\ x\ \sqrt{ka}\ x\ \frac{1}{2}\ x\ H^2\ )}{(\ H\ x\ \gamma_b\ \text{x L})}$$

$$\frac{1}{6}\text{L} \geq \frac{\left(\frac{1}{2}\ x\ 0{,}455\ x\ 13{,}88\ \text{x}\ 8\ \text{x}\ \frac{1}{3}\ \text{x}\ 8\right) - (\ 2\ x\ 10\ x\ \sqrt{0{,}455}\ x\ \frac{1}{2}\ x\ 8^2\ )}{(\ 8\ x\ 13{,}88\ \text{x L}\ )}$$

$$\frac{1}{6}\text{L} \geq \frac{107{,}210}{111{,}04L}$$

$$111{,}04\ L^2 \geq 107{,}210$$

$$L^2 = \frac{107{,}210}{111{,}04}$$

$$L^2 = 0{,}965$$

$$L = \sqrt{0{,}965}$$

$$L = 0{,}98$$

Diambil panjang geotekstil = 1 m

b. Stabilitas Terhadap Geser

$$SF = \frac{(L\ x\ H\ x\ \gamma_b\ \text{x tg}\ \delta_b)}{(0{,}5\ x\ H^2\ x\ ka\ x\ \gamma_b) - (2\ x\ c\ x\ \sqrt{ka}\ x\ H)}$$

Tahanan geser pada dasar perkuatan

(δ_b = 2/3 x 29° = 19,333°)

$$SF = \frac{(L\ x\ 10\ \ x\ 13{,}88\ \ \text{x tg}\ 19{,}333)}{(0{,}5\ x\ 10^2\ x\ 0{,}455\ x\ 13{,}88\ ) - (2\ x\ 10\ x\ \sqrt{0{,}455}\ x\ 10\ )}$$

$$SF = \frac{48{,}696\ L}{180{,}862}$$

$$L = \frac{180{,}862 \; x \; 1{,}5}{48{,}692}$$

$$= 5{,}344$$

Diambil panjang geotekstil = 6 m

c. Stabilitas Terhadap Guling

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} = \frac{Momen\ menahan}{Momen\ mendorong} \geq 1{,}5$$

$$\Sigma MD = (q \text{ x } ka \text{ x } \frac{1}{2} \text{ x } H^2) + (\frac{1}{2} \text{ x } ka \text{ x } \gamma_b \text{ x } H^2 \text{ x } \frac{1}{3} \text{ x } H) - (2 \text{ x } c \text{ x } \sqrt{ka} \text{ x } \frac{1}{2} \text{x } H^2)$$

$$\Sigma MR = 0{,}5 \text{ x } \gamma_b \text{ x } H \text{ x } L^2$$

$$SF = \frac{0{,}5 \text{ x } 13{,}88 \text{ x } 4 \text{ x } L^2}{(25 \text{ x } 0{,}455 \text{ x } \frac{1}{2} \text{ x } 4^2) + (\frac{1}{2} \text{ x } 0{,}455 \text{ x } 13{,}88 \text{ x } 4^2 \text{ x } \frac{1}{3} \text{ x } 4) - (2 \text{ x } 10 \text{ x } \sqrt{0{,}455} \text{ x } \frac{1}{2} \text{ x } 4^2)}$$

$$SF = \frac{27{,}76 \; L^2}{51{,}0330}$$

$$L^2 = \frac{(51{,}0330 \; x \; 1{,}5)}{27{,}76}$$

$$L = \sqrt{2{,}757}$$

$$L = 2{,}29 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil = 3 m

d. Tinjauan Terhadap Kapasitas Daya Dukung Tanah Digunakan

SF = 1,5

Nc = 16,88

Nγ = 7,13 q_{ult}

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \; x \; \gamma_b}$$

q_{ult} = c x N_c + 0,5 x L x γ_b x N_γ

= 10 x 16,88 + 0,5 x L x 13,88 x 7,13

= 169,3+ 98,9644 L

Maka, σ_{ult} = q_{ult} x SF = (169,3 + 98,9644 L) x 1,5

= 253,95 + 148,4466 L

$$L \leq \frac{253{,}95 + 148{,}4466 \text{ L}}{(10 \; x \; 13{,}88)}$$

$$138{,}8L \leq 253{,}95 + 148{,}4466 \text{ L}$$

$$L = \frac{253,95}{(138,8 - 148,4466)}$$

$$= 7,435\text{m}$$

Dari empat jenis parameter di atas, diambil panjang geotekstil (L) yang maksimum untuk zona 2 yaitu L = 8 m.

5.5.2 Stabilitas Internal

1. Panjang Geotekstil *Overlapping*

$$Lo = \frac{\sigma_{hci} \; x \; Sv_i \; x \; SF}{2 \; x \; \gamma_b \; x \; Z_i \; x \; tg \; \varphi}$$

Geotekstil no. 1 pada zona 1

σ_{hc1} = 23,143 kN/m^2

SF = 1,5

Sv_1 = 0,5 m

Z_i = 0,5 m

$$L_o = \frac{23,143 \; x \; 0,5 \; x \; 1,5}{2 \; x \; 13,88 \; x \; 0,5 \; x \; tg \; 29}$$

$$= 2,256 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan panjang yang tumpang tindih, panjang yang digunakan adalah 2,5 m. Rekapitulasi panjang tumpang tindih geotekstil akan ditunjukkan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil

zona	Geotekstil	Svi	Zi (m)	Lo (m)	Lo digunakan (m)
1	Geotekstil 1	0.5	0.5	2,256	2,5
	Geotekstil 2	0.5	1	1,925	2
	Geotekstil 3	0.5	1.5	1,283	1,5
	Geotekstil 4	0.5	2	0,963	1
	Geotekstil 5	0.5	2.5	0,770	1
	Geotekstil 6	0.5	3	0,808	1
	Geotekstil 7	0.5	3.5	0,692	1
	Geotekstil 8	0.5	4	0,606	1
2	Geotekstil 9	0.5	4.5	0,538	1
	Geotekstil 10	0.5	5	0,484	1
	Geotekstil 11	0.5	5.5	0,440	1
	Geotekstil 12	0.5	6	0,404	1

2. Panjang efektif geotekstil (Le)

$$Le = \frac{SF \; x \; Svi \; x \; Ka \; x \; \gamma b \; x \; Zi}$$

$$2 \times \gamma b \times Zi \times \varphi \text{ cokelat}$$

Untuk perhitungan panjang efektif geotekstil nomor 1 pada zona 1

$$Le = \frac{1.5 \times 0,5 \times 0.455 \times 13,88 \times 0,5}{2 \times 13,88 \times 0,5 \times tg\ 29}$$

$$= 0,309 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan panjang efektif, panjang yang digunakan adalah 1 m. Rekapitulasi panjang efektif geotekstil akan ditunjukkan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil

zona	Geotekstil	Svi	Zi (m)	Le (m)	Le pakai (m)
1	Geotekstil 1	0.5	0.5	0,870	1
	Geotekstil 2	0.5	1	0,870	1
	Geotekstil 3	0.5	1.5	0,870	1
	Geotekstil 4	0.5	2	0,870	1
	Geotekstil 5	0.5	2.5	0,870	1
	Geotekstil 6	0.5	3	0,870	1
	Geotekstil 7	0.5	3.5	0,870	1
	Geotekstil 8	0.5	4	0,870	1
2	Geotekstil 9	0.5	4.5	0,870	1
	Geotekstil 10	0.5	5	0,870	1
	Geotekstil 11	0.5	5.5	0,870	1
	Geotekstil 12	0.5	6	0,870	1

3. Panjang Geotekstil Pada Zona Aktif Lz = (H – Zi) . tg (45^o – φ/2) Geotekstil no. 1 pada zona 1: Lz_1

   Lz_1 = (4 – 0,5) . tg (45^o – 22/2) = 2,36 m

   Diambil panjang geotekstil pada zona aktif = 3 m

   Rekapitulasi dari perhitungan Lz tertera dalam Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil

zona	Geotekstil	Svi	Zi (m)	Lz (m)	Lz pakai (m)
1	Geotekstil 1	0.5	0.5	2,7100	3
	Geotekstil 2	0.5	1	2,3228	2,5
	Geotekstil 3	0.5	1.5	1,9357	2
	Geotekstil 4	0.5	2	1,5486	2
	Geotekstil 5	0.5	2.5	1,1614	1,5
	Geotekstil 6	0.5	3	3,8714	4
	Geotekstil 7	0.5	3.5	3,4843	4
	Geotekstil 8	0.5	4	3,0971	3,5
2	Geotekstil 9	0.5	4.5	2,7100	3
	Geotekstil 10	0.5	5	2,3228	2,5
	Geotekstil 11	0.5	5,5	1,935	2
	Geotekstil 12	0.5	6	1,548	2

1. Panjang total geotekstil

   Ltotal = Lo + Sv + Le + Lz

   Untuk perhitungan panjang total geotekstil nomor 1 pada zona 1

   Ltotal =2,5 + 0,5 + 1 + 3

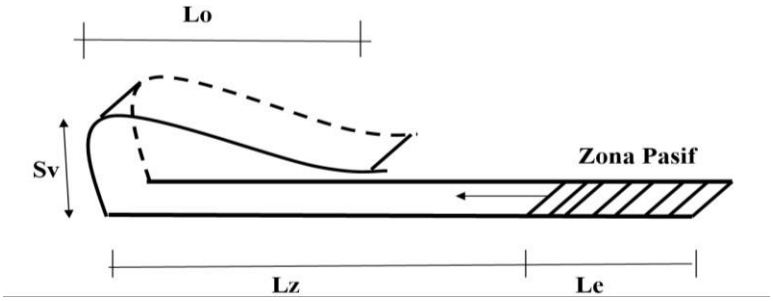
   = 7 m

   Berdasarkan perhitungan panjang total geotekstil, panjang yang digunakan adalah 7 m. Rekapitulasi panjang total geotekstil akan ditunjukkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil

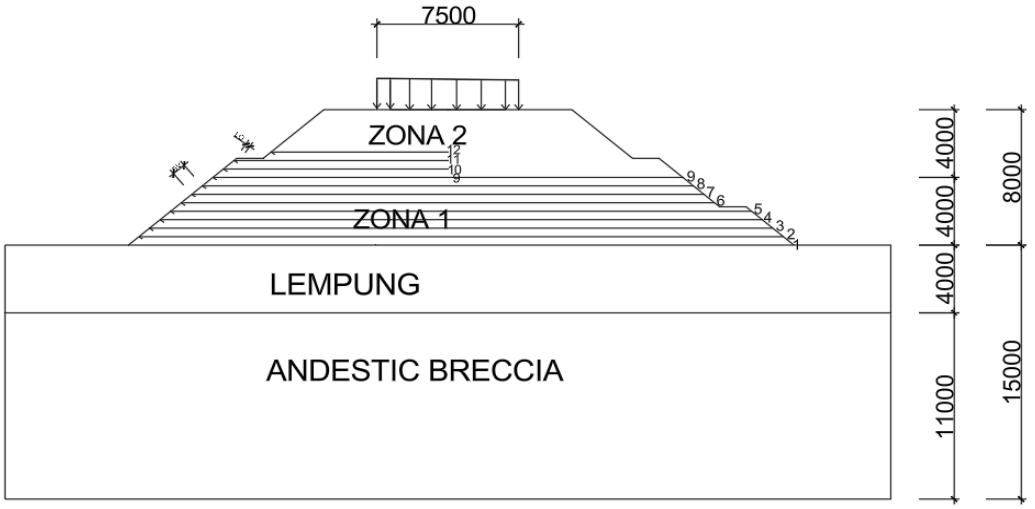
zona	Geotekstil	Svi	Zi (m)	Lz (m)	Lz pakai (m)
1	Geotekstil 1	0.5	0.5	3	7
	Geotekstil 2	0.5	1	3	6
	Geotekstil 3	0.5	1.5	2	5
	Geotekstil 4	0.5	2	2	4,5
	Geotekstil 5	0.5	2.5	2	4
	Geotekstil 6	0.5	3	4	6,5
	Geotekstil 7	0.5	3.5	4	6,5
	Geotekstil 8	0.5	4	4	6
2	Geotekstil 9	0.5	4.5	3	5,5
	Geotekstil 10	0.5	5	3	5
	Geotekstil 11	0.5	5.5	2	4,5
	Geotekstil 12	0.5	6	2	4,5

Panjang geotekstil *overlapping*, jarak antar nap geotekstil, panjang geotekstil pada zona aktif dan zona pasif adalah seperti gambar 5.22 berikut.



Gambar 5.22 Lembaran Geotekstil
(Sumber: Materi Kuliah Perkuatan Tanah oleh Dr. Edy Purwanto, 2023)

Metode pemasangan geotekstil di setiap zona dapat dilihat dalam Gambar.5.24 sebagai berikut.



Gambar 5.23 Pemasangan Geotekstil pada Setiap Zona Lereng Timbunan

Untuk menilai kapasitas geotekstil dalam menahan gaya tarik, digunakan nilai maksimum dari Svi yang terdapat pada Zona 1 dan geotekstil nomor no 1.

1. Tegangan geser yang bekerja pada bidang kontak permukaan dinyatakan sebagai berikut:

   a. $\tau_1 = C_1 + \sigma_1 \text{ x tg } \varphi_1$

   $= 10 + (1/2 \text{ x } 0{,}5 \text{ x } 13{,}88 \text{ x tg } 22)$

   $= 13{,}303 \text{ kN/m}$

   b. $\tau_2 = C_2 + \sigma_2 \text{ x tg } \varphi_2$

   $= 10 + (\frac{1}{2} \text{ x } 0.5 \text{ x } 13{,}88 \text{ x tg } 22)$

   $= 11{,}401 \text{ kN/m}$

   Gaya Tarik yang Bekerja Pada Geotekstil

   $T = (\tau_1 + \tau_2)$

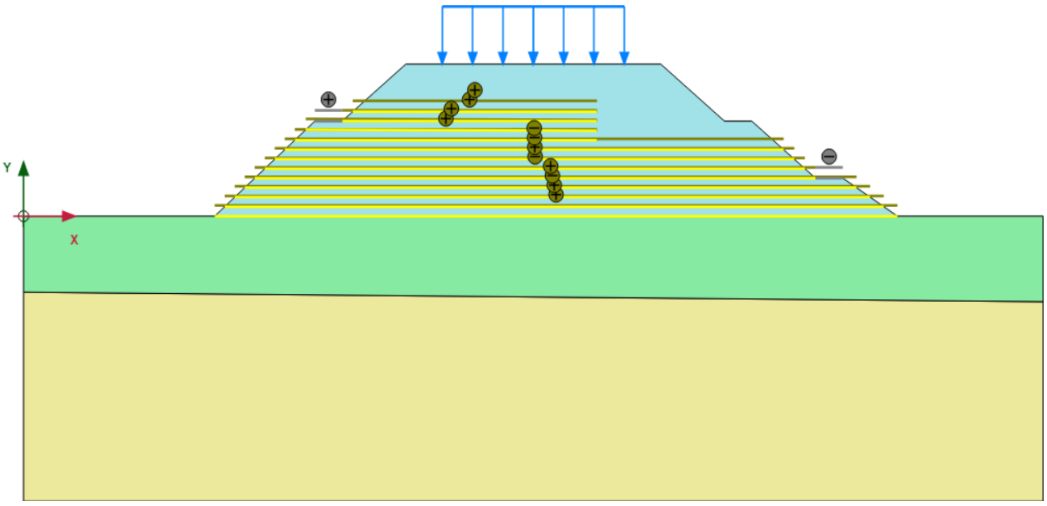
   $= (13{,}303 + 11{,}401)$

   $= 24{,}704 \text{ kN/m} < 52 \text{ kN/m}$

Berdasarkan perhitungan kekuatan tarik kerja pada geotekstil diperoleh 24,704 kN/m, sedangkan kekuatan tarik yang diizinkan pada geotekstil yang digunakan adalah 52 kN/m. Dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik yang diizinkan melebihi kekuatan tarik kerja. Oleh karena itu, geotekstil mampu menahan kekuatan tarik kerja.

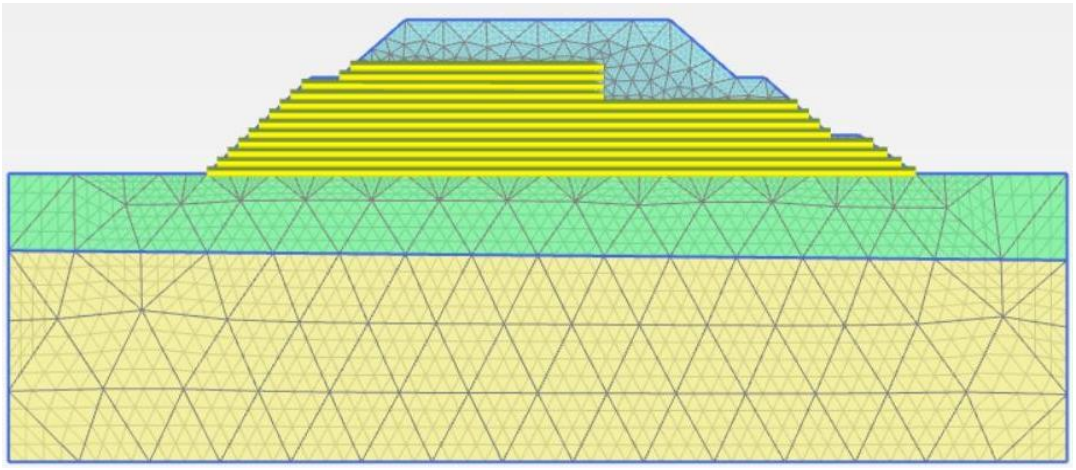
Dalam tugas akhir ini, analisis kestabilan lereng timbunan pada Sta. 7+750 yang diperkuat dengan geotekstil dilakukan dengan mempertimbangkan beban timbunan, beban lalu lintas, dan beban gempa, menggunakan perangkat lunak PLAXIS 24. Karena dalam pemodelan PLAXIS geotekstil harus melintasi area yang berpotensi mengalami kelongsoran, maka panjang geotekstil diasumsikan mengikuti zona potensi kelongsoran tersebut. Pemodelan lereng dengan perkuatan geotekstil mencakup analisis yang serupa dengan pemodelan lereng tanpa perkuatan, yang meliputi aspek-aspek berikut: *deformed mesh*, *total displacement*, arah pergerakan tanah, *effective stress*, dan daerah potensi kelongsoran. Hasil dari pemodelan dan analisis tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.24 hingga Gambar 5.41

dibawah ini.



Gambar 5.24 Pemodelan Lereng dengan Perkuatan Geotesktil

Dan untuk hasil jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan tanah asli dengan perkuatan geotekstil dilihat.pada Gambar.5.25



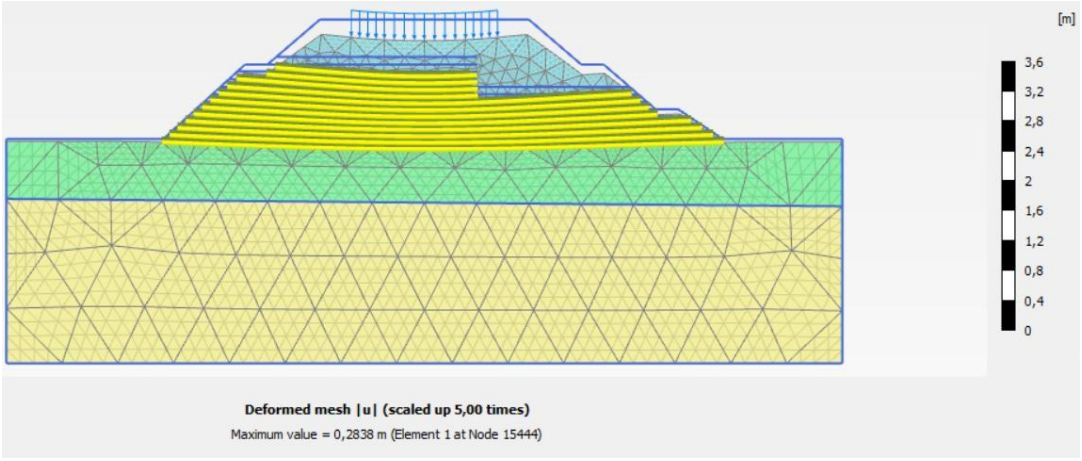
Gambar 5.25 *Meshing* pada Lereng dengan Perkuatan Geotekstil

5.5.3 Akibat Beban Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

1. *Deformed Mesh*

   Deformed Mesh diisyaratkan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah dengan tidak beraturan dan mengalami penurunan pada bagian yang kritis akibat pembebanan yang terjadi pada permukaannya. Beban-beban yang bekerja tersebut terdiri dari beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa. Analisis *deformed mesh* dilakukan dengan menggunakan program

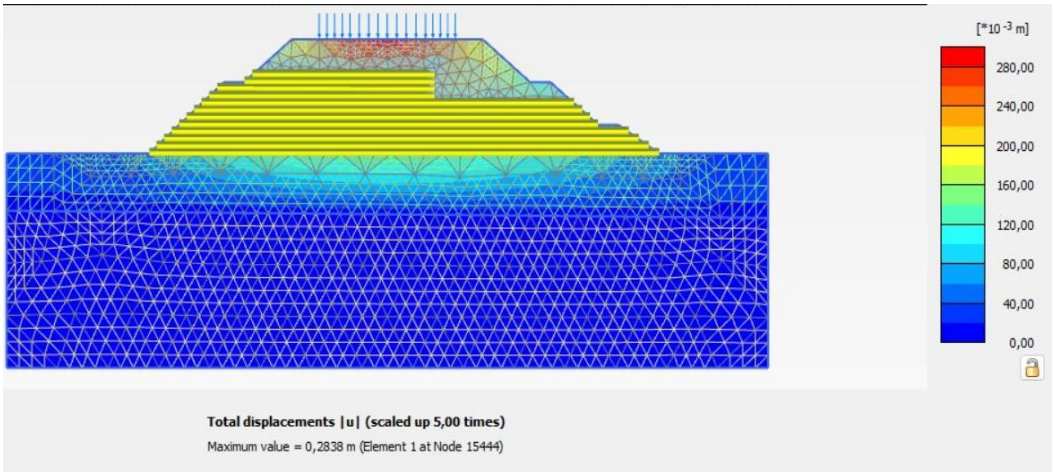
PLAXIS dan dihasilkan model yang menunjukkan perubahan bentuk pada permukaannya. *Deformed Mesh* pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan (beban sendiri) dapat dilihat pada Gambar 5.26.



Gambar 5.26 *Deformed Mesh* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil

2. *Total Displacement*

Pada lereng yang diperkuat dengan geotekstil, terjadi perpindahan vertikal sebagai akibat dari beban timbunan yang bekerja. Nilai perpindahan maksimum terletak di bagian tengah atas lereng, yang ditunjukkan dengan warna oranye tua. Di bawah zona tersebut, perubahan warna menjadi biru tua mengindikasikan penurunan nilai perpindahan. Besarnya displacement maksimum pada lereng timbunan tanpa perkuatan tercatat sebesar 0,2838 meter, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.27ini.

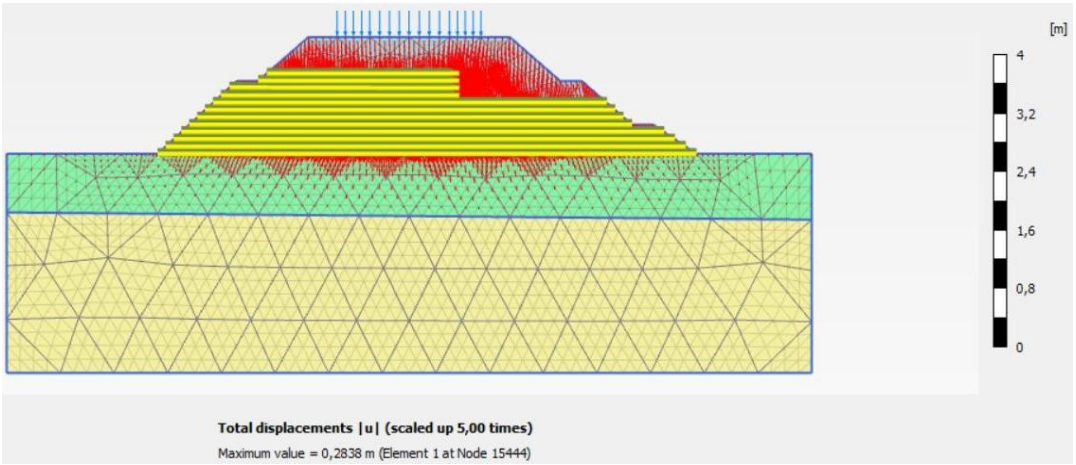


Gambar 5.27 Total *Displacement* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)

dengan Perkuatan Geotekstil

3. Arah Pergerakan Tanah

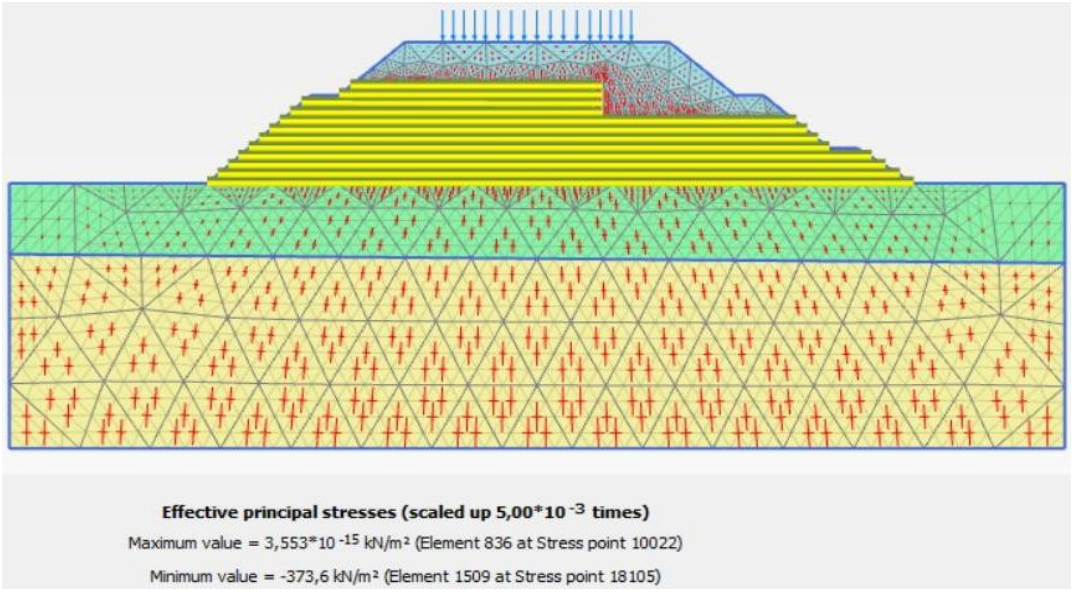
Hasil analisis terhadap pergerakan tanah pada lereng yang diperkuat dengan geotekstil akibat beban timbunan menunjukkan bahwa arah dominan pergerakan massa tanah cenderung ke bawah, meskipun terdapat pula pergerakan ke arah kanan dari area timbunan. Visualisasi arah gerakan tanah tersebut ditampilkan pada Gambar 5.28 di bawah ini.



Gambar 5.28 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil

4. *Effective Stress*

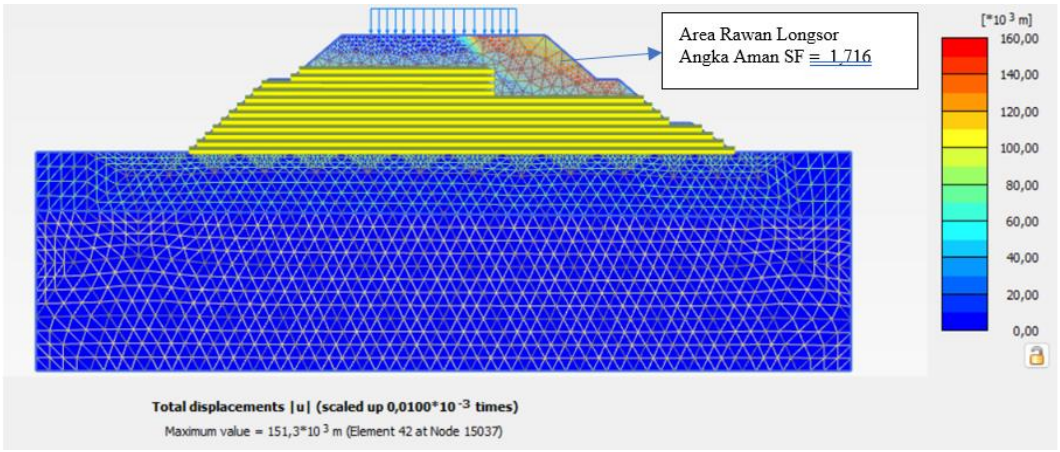
Tegangan efektif (*Effective Stress*) merupakan komponen tegangan yang berperan dalam menentukan kekuatan geser serta perubahan volume atau penurunan pada tanah. Berdasarkan hasil analisis, garis-garis yang merepresentasikan arah dan intensitas tegangan efektif menunjukkan kecenderungan peningkatan menuju bagian bawah lereng, khususnya di area tengah timbunan hingga mencapai lapisan dasar tanah. Nilai maksimum tegangan efektif pada lereng timbunan tanpa perkuatan akibat beban sendiri tercatat sebesar 8,882×10−158{,}882 \times 10^{-15} kN/m². Visualisasi hasil analisis tegangan efektif menggunakan perangkat lunak PLAXIS 24 dapat dilihat pada Gambar 5.29 di bawah ini.



Gambar 5.29 *Effective Stress* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil

5. Daerah Potensi Kelongsoran

   Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS yang ditampilkan pada Gambar 5.30, jenis kelongsoran yang teridentifikasi adalah kelongsoran tipe nendatan (*rotational slide*). Zona aktif, yang menunjukkan potensi kelongsoran tinggi, ditandai dengan warna oranye, sedangkan zona pasif dengan potensi kelongsoran rendah direpresentasikan oleh warna biru tua. Potensi kelongsoran pada lereng yang diperkuat dengan geotekstil akibat beban sendiri (beban timbunan) dapat diamati pada Gambar 5.30.Gambar.

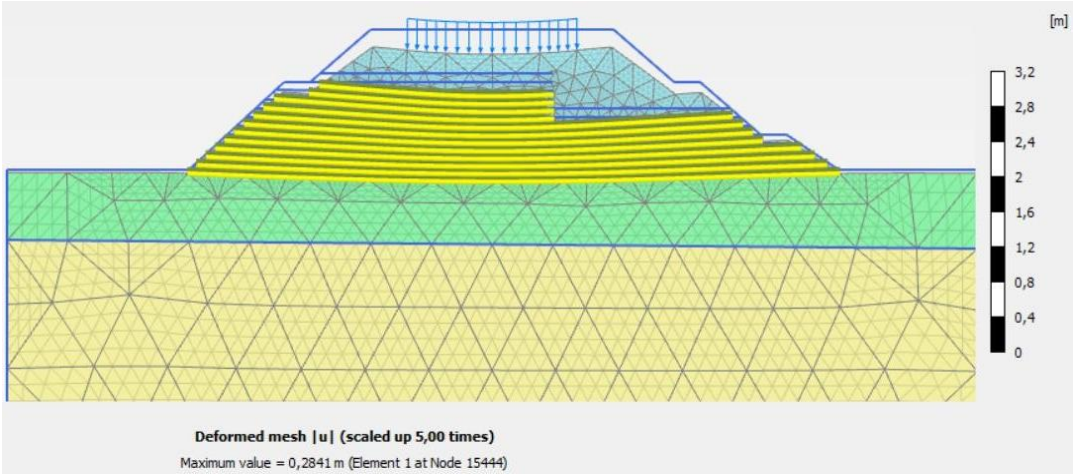


Gambar 5.30 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil

5.5.4 Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil

1. *Deformed Mesh*

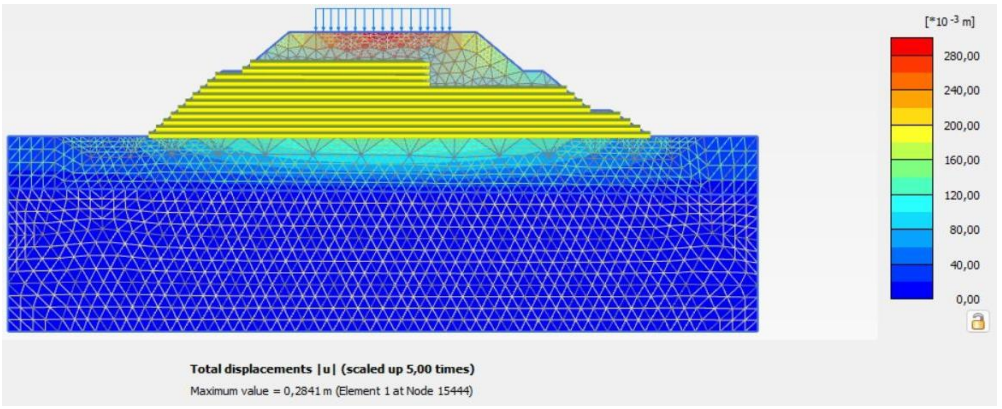
   Deformed Mesh Deformed mesh ditunjukkan oleh perubahan bentuk segitiga elemen jaringan yang menjadi tidak beraturan akibat pengaruh beban yang bekerja. Visualisasi deformed mesh pada lereng yang diperkuat dengan geotekstil, sebagai akibat dari beban timbunan (beban sendiri) dan beban kendaraan, dapat dilihat pada Gambar 5.27.



Gambar 5.31 *Deformed Mesh* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil

2. *Total Displacement*

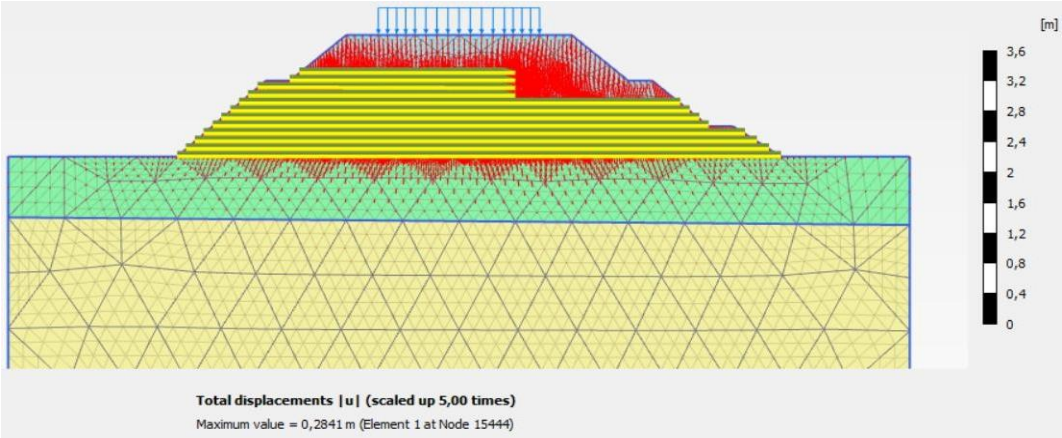
   Pada lereng yang diperkuat dengan geotekstil, terjadi perpindahan vertikal sebagai dampak dari beban timbunan dan beban kendaraan. Nilai perpindahan maksimum terletak di bagian tengah atas lereng, yang ditunjukkan dengan warna oranye tua. Di bawah area tersebut, perubahan warna menjadi biru tua mengindikasikan penurunan nilai perpindahan. Besarnya displacement maksimum pada lereng timbunan tanpa perkuatan akibat kombinasi beban timbunan dan kendaraan tercatat sebesar 0,2841 meter, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.28.sebagai berikut.



Gambar 5.32 Total Displacement pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil

3. Arah Pergerakan Tanah

Hasil analisis Analisis pergerakan tanah pada lereng yang diperkuat dengan geotekstil akibat beban timbunan dan beban kendaraan menunjukkan bahwa arah dominan pergerakan massa tanah cenderung ke bawah, meskipun terdapat pula pergerakan ke arah kanan dari tanah timbunan. Evaluasi arah gerakan tanah ini dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS, dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut.

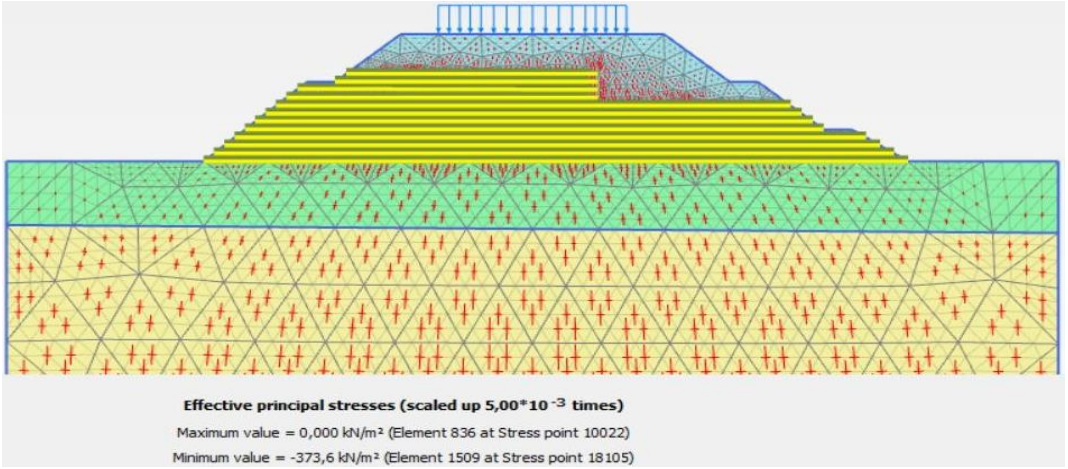


Gambar 5.33 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil

4. *Effective Stress*

Dari hasil analisis disimpulkan bahwa garis-garis yang menunjukkan arah dan intensitas tegangan efektif cenderung meningkat saat menuju ke bagian bawah hingga mencapai lapisan dasar tanah. Nilai maksimum *effective stress* pada

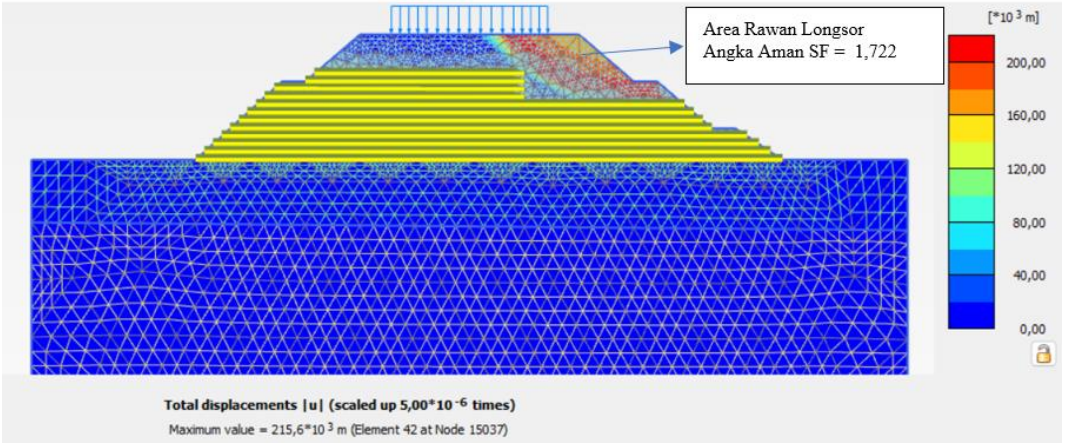
lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban sendiri, beban kendaraan adalah 0,01066 x 10^{-12} kN/m^2. *Effective Stress* tertera pada Gambar.5.34.



Gambar 5. 34 *Effective Stress* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil

5. Daerah Potensi Kelongsoran

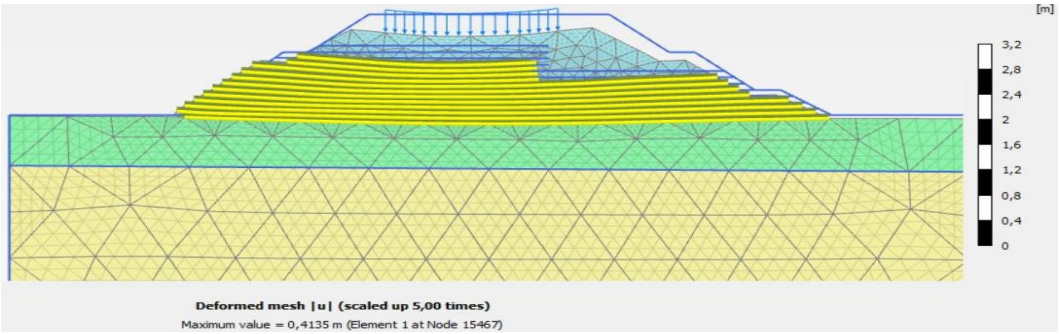
Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS yang ditampilkan pada Gambar 5.34, jenis kelongsoran yang diprediksi terjadi pada lereng tanpa perkuatan akibat beban sendiri dan beban kendaraan adalah kelongsoran tipe nendatan (*rotational slide*). Zona aktif, yang menunjukkan potensi kelongsoran tinggi, direpresentasikan dengan warna oranye, sedangkan zona pasif dengan potensi kelongsoran rendah ditandai dengan warna biru tua. Visualisasi potensi kelongsoran tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.35.



Gambar 5.35 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil

1. *Deformed Mesh*

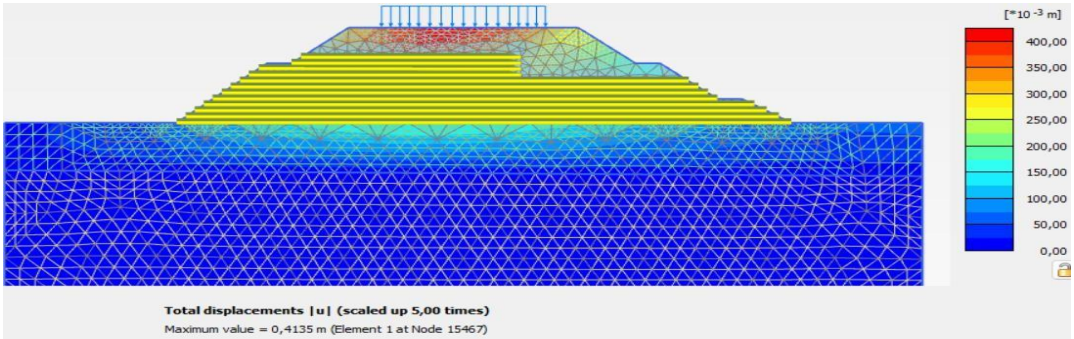
   Deformed mesh diisyaratkan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah dengan tidak beraturan dan penurunan pada bagian bentuk permukaannya yang disebabkan oleh beban yang bekerja seperti beban sendiri, beban kendaraan, dan beban gempa. *Deformed mesh* pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa tertera pada gambar 5.36.



Gambar 5.36 *Deformed Mesh* pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil

2. *Total Displacement*

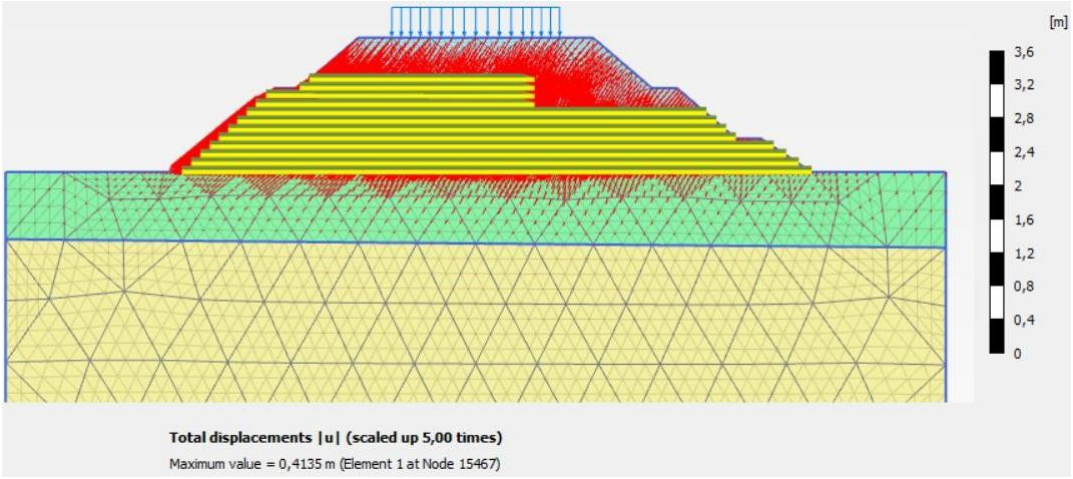
Pada lereng Pada lereng yang diperkuat dengan geotekstil, terjadi perpindahan vertikal sebagai akibat dari pengaruh beban timbunan dan beban kendaraan. Nilai perpindahan maksimum terletak di bagian tengah atas lereng, yang ditunjukkan oleh warna oranye tua. Di bawah area tersebut, perubahan warna menjadi biru tua mengindikasikan penurunan nilai perpindahan. Besarnya displacement maksimum pada lereng tersebut tercatat sebesar 0,4135 meter, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.37.



Gambar 5.37 Total Displacement pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil

3. Arah Pergerakan Tanah

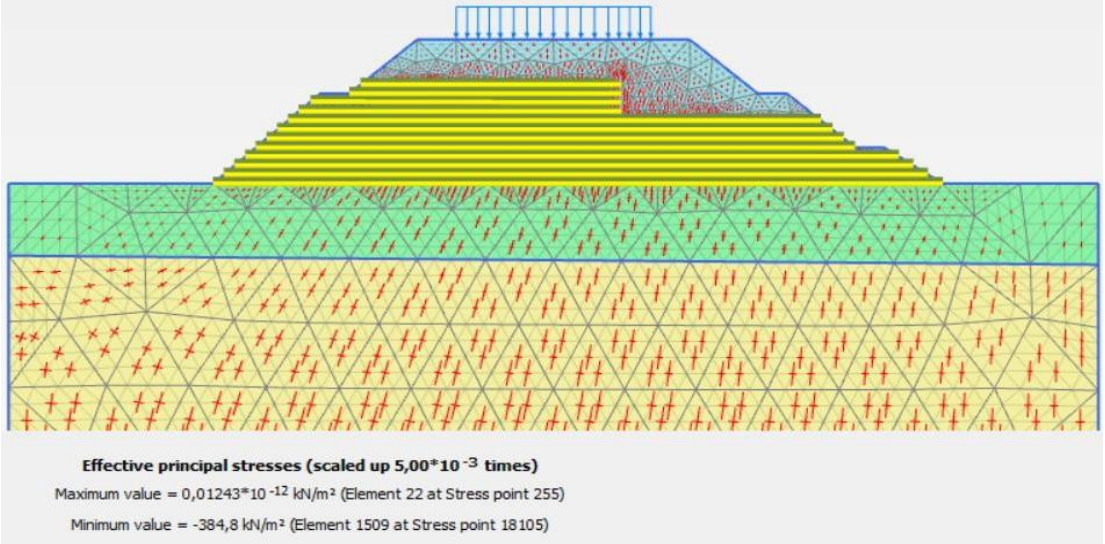
Analisis pergerakan tanah pada lereng yang diperkuat dengan geotekstil akibat kombinasi beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa menunjukkan bahwa arah dominan pergerakan tanah cenderung ke bawah, meskipun terdapat pula pergerakan ke arah kanan. Hasil ini diperoleh melalui pemodelan dan analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS. Visualisasi arah pergerakan tanah tersebut ditampilkan pada Gambar 5.38 berikut.



Gambar 5.38 Arah Pergerakan Tanah dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil

4. *Effective Stress*

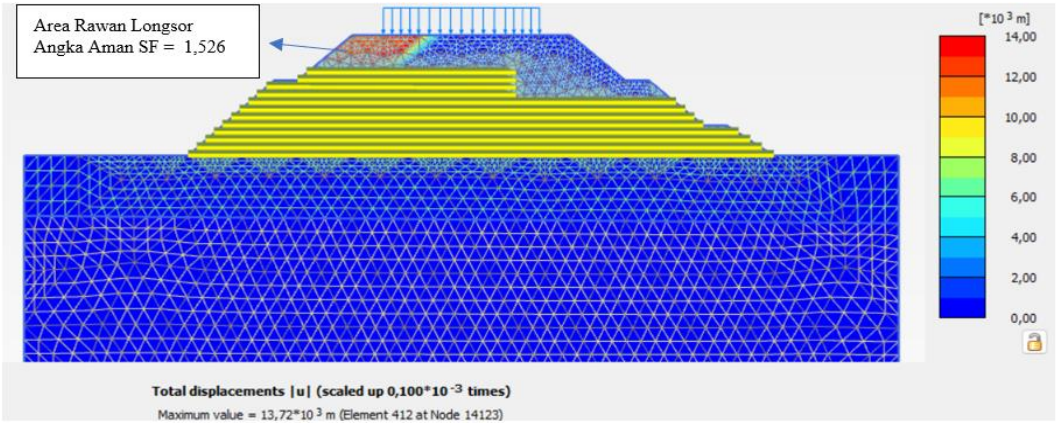
Dari Hasil analisis tegangan efektif (*Effective Stress*) menunjukkan bahwa nilai tegangan cenderung meningkat seiring dengan kedalaman, terutama di bagian tengah timbunan hingga mencapai lapisan tanah dasar. Besarnya tegangan efektif maksimum pada lereng timbunan yang diperkuat dengan geotekstil akibat kombinasi beban timbunan (beban sendiri), beban kendaraan, dan beban gempa adalah sebesar 0,01243×10−120{,}01243 \times 10^{-12} kN/m². Visualisasi hasil analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.39 berikut.



Gambar 5.39 *Effective Stress* dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil

5. Daerah Potensi Kelongsoran

Dari Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS, jenis kelongsoran yang diprediksi terjadi adalah kelongsoran tipe nendatan (*rotational slide*). Zona aktif, yang menunjukkan tingkat potensi kelongsoran tinggi, ditandai dengan warna oranye, sedangkan zona pasif dengan potensi rendah direpresentasikan oleh warna biru tua. Visualisasi potensi kelongsoran pada lereng yang diperkuat dengan geotekstil akibat kombinasi beban kendaraan, beban sendiri, dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.40.



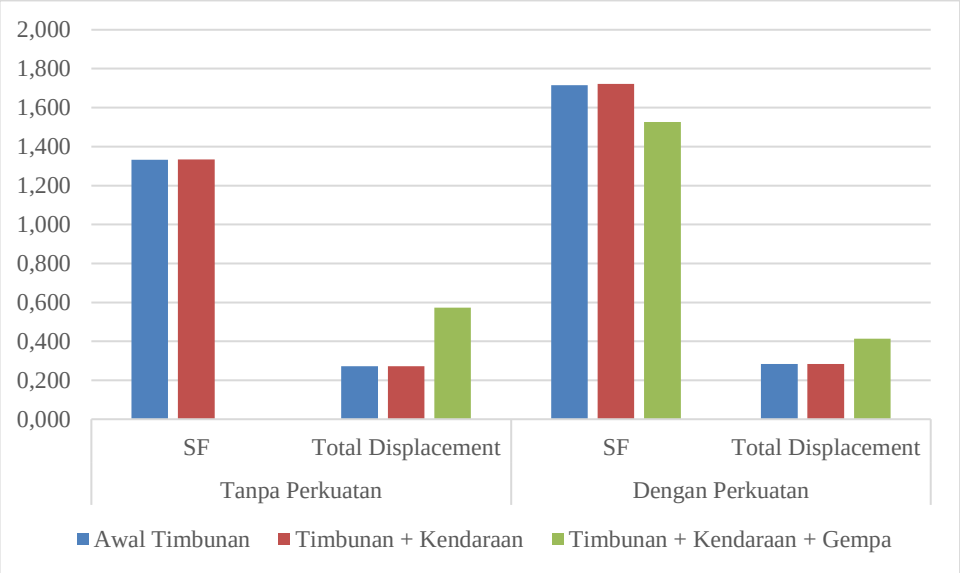
Gambar 5.40 Daerah Kelongsoran pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil

5.6 Pembahasan

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis lereng tanpa perkuatan serta lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan perangkat lunak PLAXIS, dengan kombinasi input berupa beban timbunan (beban sendiri), beban kendaraan, dan beban gempa, diperoleh rekapitulasi nilai Safety Factor dan Total Displacement sebagaimana tercantum dalam Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.10 Hasil Rekapitulasi Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program PLAXIS Versi 24

Analisis		*Total Displacement* (m)	*Safety Factor*
Lereng Tanpa Perkuatan Tanah	Akibat Beban Timbunan (Beban Sendiri)	0,2715	1,333
	Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	0,2719	1,334
	Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa	0,5724	Collapse
Lereng Dengan Perkuatan Tanah Geotekstil	Akibat Beban Timbunan (Beban Sendiri)	0,2838	1,716
	Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	0,2841	1,722
	Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa	0,4135	1,526



Gambar 5.41 Grafik SF & Total *Displacement* Pada lereng

Berdasarkan grafik 5.37 diatas didapat hasil SF pada lereng tanpa perkuatan geotekstil akibat beban timbunan (beban sendiri) sebesar 1,333, akibat beban timbunan dan beban kendaraan sebesar 0,334 dan akibat beban timbunan, beban

kendaraan dan beban gempa terjadi Collapse. Dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan (beban sendiri) sebesar 1,716, akibat beban timbunan dan beban kendaraan sebesar 1,722, dan akibat beban timbunan, beban kendaraan dan beban gempa sebesar 1,526. Hal ini menunjukkan bahwa lereng tanpa perkuatan tidak aman karena lebih kecil dari angka aman yang ditentukan, yaitu 1,5. Dan untuk lereng dengan perkuatan geotekstil didapatkan nilai SF yang lebih besar dari 1,5. Hal tersebut menandakan lereng menjadi relatif stabil dan potensi terjadinya longsor sangat rendah .

Hasil *total displacement* dari grafik 5.37 diatas didapat dari analisis program PLAXIS versi 24 pada lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil. Pada Lereng tanpa perkuatan akibat beban timbunan (beban sendiri) *total displacement* sebesar 0,2715 m. Akibat beban timbunan dan beban kendaraan *total displacement* sebesar 0,2719 m dan akibat beban timbunan, beban kendaraan dan beban gempa *total displacement* sebesar 0,5724 m. Sedangkan lereng dengan perkuatan akibat beban timbunan (beban sendiri) *total displacement* sebesar 0,2838 m. Akibat beban timbunan dan beban kendaraan *total displacement* sebesar 0,2841 m dan akibat beban timbunan, beban kendaraan dan beban gempa *total displacement* sebesar 0,4135 m.

Displacement merupakan perpindahan tanah karena adanya beban yang bekerja dengan arah perpindahan searah dengan sumbu x (ke kanan atau ke kiri) dan searah sumbu y (keatas atau kebawah). *Total displacement* didapatkan berdasarkan perhitungan pada program PLAXIS, dengan input parameter tanah dan beban yang bekerja. Dengan diberikannya perkuatan geotekstil pada lereng maka besar *total displacement* mengalami penurunan yang signifikan

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Didapatkan SF Perhitungan manual metode Fellenius lereng tanpa perkuatan tanah sebesar 1,11.
2. Didapatkan SF PLAXIS lereng tanpa perkuatan tanah sebesar 1,333 akibat beban sendiri (beban timbunan). SF tanpa perkuatan tanah 1,334 akibat beban sendiri (beban timbunan), dan beban kendaraan. SF tanpa perkuatan tanah menjadi Collapse akibat beban sendiri (beban timbunan), beban kendaraan, dan beban gempa.
3. Didapatkan SF PLAXIS lereng dengan perkuatan geotekstil sebesar 1,716 akibat beban sendiri (beban timbunan). SF dengan perkuatan geotekstil sebesar 1,722 akibat beban sendiri (beban timbunan), dan beban kendaraan. SF dengan perkuatan geotekstil sebesar 1,526 akibat beban sendiri (beban timbunan), beban kendaraan, dan beban gempa.
4. Diperoleh *total displacement* pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban sendiri (beban timbunan) sebesar 0,2715 m. *Total displacement* akibat beban sendiri (beban timbunan), dan beban kendaraan sebesar 0,2719. *Total displacement* akibat beban sendiri (beban timbunan), beban kendaraan, dan beban gempa sebesar 0,5724 m.
5. Diperoleh *total displacement* pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban sendiri (beban timbunan) sebesar 0,2838 m. *Total displacement* akibat beban sendiri (beban timbunan), dan beban kendaraan sebesar 0,2841 m. *Total displacement* akibat beban sendiri (beban timbunan), beban kendaraan, dan beban gempa sebesar 0,4135 m.

6.2 Saran

Rekomendasi yang dapat disampaikan berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam merencanakan sebuah analisis lereng sebaiknya dilakukan dengan perhitungan yang lengkap, mulai dari perhitungan secara manual dan analisis dengan menggunakan bantuan program seperti PLAXIS. PLAXIS dapat melakukan analisa dengan tingkat kompleksitas yang tinggi dan mampu melakukan iterasi dalam jumlah yang banyak sehingga hasil yang didapatkan bisa lebih akurat.
2. Penelitian ini masih memiliki peluang untuk dikembangkan lebih lanjut, antara lain dengan melakukan variasi pada jenis material perkuatan tanah, penyesuaian parameter tanah, serta eksplorasi metode analisis alternatif.yang lain.
3. Penelitian bisa menggunakan bantuan *software* yang lain seperti geoslope, slope/w, dan lain lain. Hal tersebut bertujuan agar mahasiswa dapat memahami lebih banyak lagi pengoperasian program untuk kebutuhan analisis di bidang geoteknik, khususnya dalam bidang stabilitas lereng.
4. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk perkuatan lereng dapat ditambahkan agar estimasi kebutuhan biaya proyek dapat diketahui secara lebih efisien dan terukur.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI 3420-2016. *Metode Uji kuat Geser Langsung Tanah Tidak Terkonsolidasi dan Tidak Terdrainase*.

Bahalwan, A. H. 2018. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil pada Lereng (Studi Kasus pada Jalan Tol Semarang Solo Sta. 2+200). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

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

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

Bowles, J.E. 1993. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Jilid 2* Penerbit Erlangga. Jakarta

Brinkgreve, R.B.J et al. 2007. *PLAXIS 2D-Versi 8*. Delft University of Technology and PLAXIS. Belanda.

Craig, R. 1997. *Mekanika Tanah Edisi Keempat*. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Penerbit Erlangga. Jakarta

Das, B.M. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Dinas Pekerjaan Umum (2009). Pedoman Konstruksi Bangunan. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geotekstil*.

Gati, B. M. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Timbunann Badan Jalan dan Prediksi Timbunan yang Terjadi menggunakan Program Plaxis (Studi Kasus Proyek Jalan Tol Cimanggis – Cobitung seksi II Ruas Tranyogi - Narogong). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 1*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 2*. Gadjah Mada University Press.

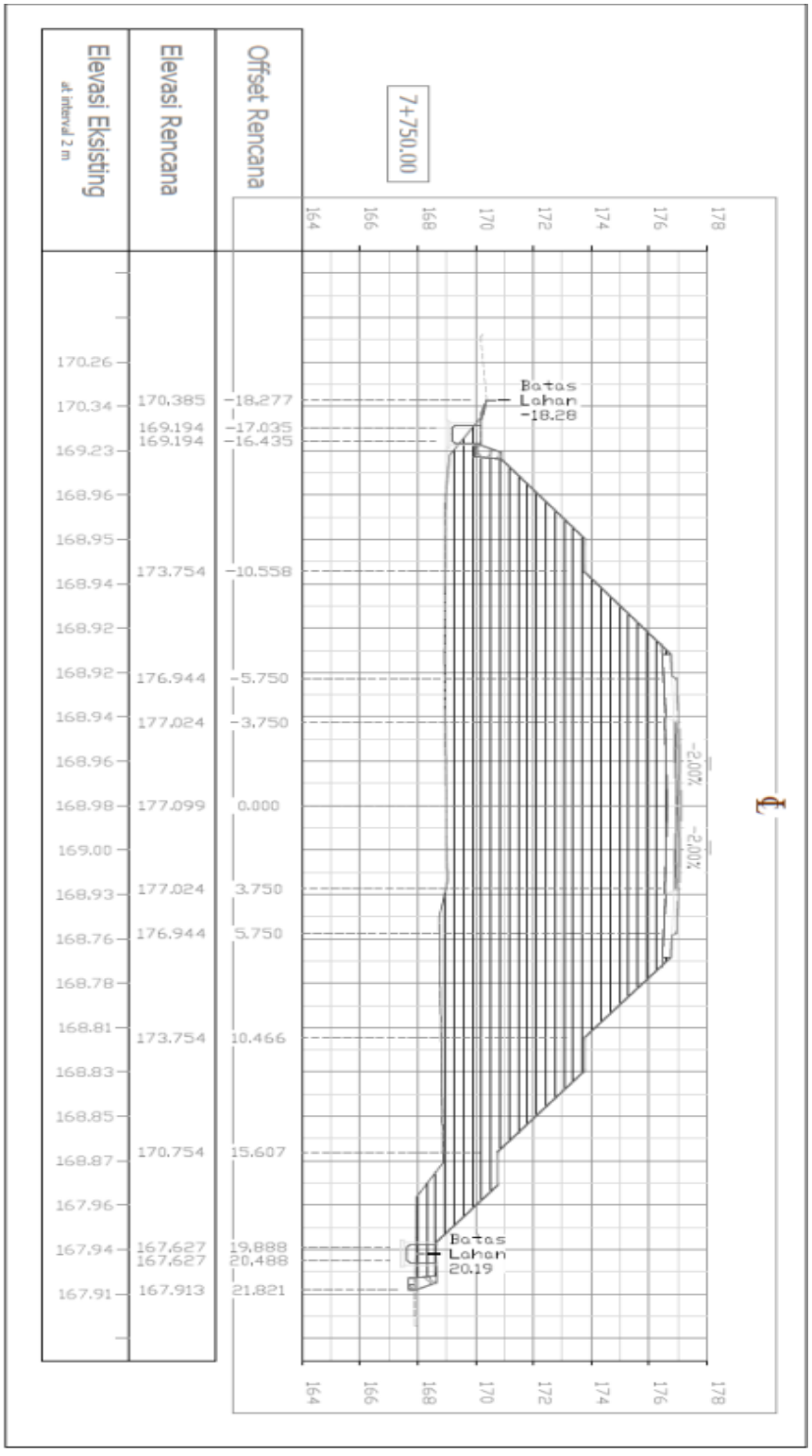
Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. 2006. *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

PT Geomine Bara Studio. 2022. Laporan Akhir Penyelidikan Tanah Pembangunan Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV. PT Geomine Bara Studio. Yogyakarta.

LAMPIRAN

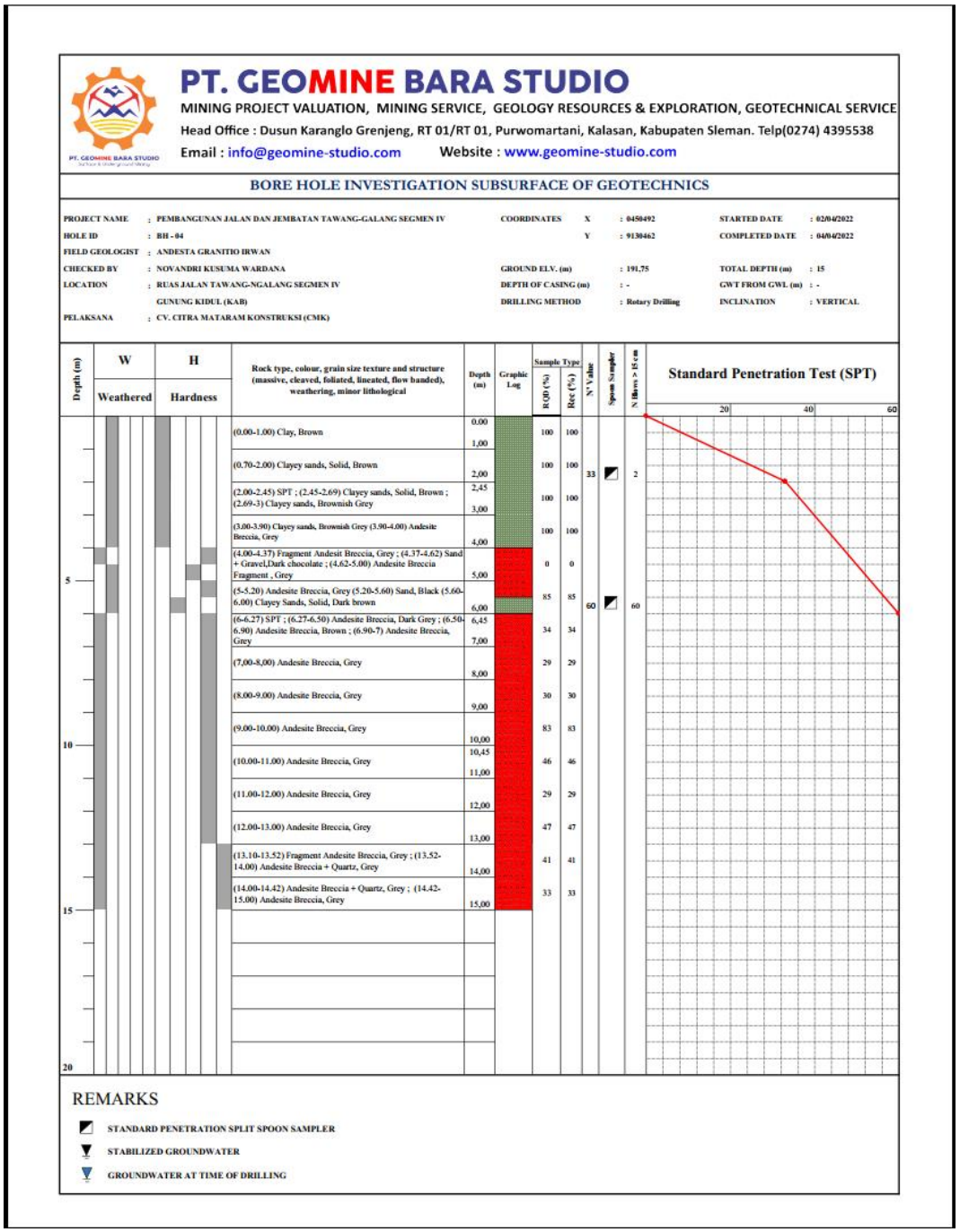
Lampiran 1 Data Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen IV Sta. 7+750



Gambar 5.10 Potongan Melintang Timbunan STA 7+750

Gambar L-1. 1 Potongan Melintang Sta. 7+750

Lampiran 2 Data N - SPT Segmen IV Sta. 7+750



PT. GEOMINE BARA STUDIO

MINING PROJECT VALUATION, MINING SERVICE, GEOLOGY RESOURCES & EXPLORATION, GEOTECHNICAL SERVICE

Head Office : Dusun Karanglo Grenjeng, RT 01/RT 01, Purwomartani, Kalasan, Kabupaten Sleman. Telp(0274) 4395538

Email : info@geomine-studio.com Website : www.geomine-studio.com

BORE HOLE INVESTIGATION SUBSURFACE OF GEOTECHNICS

PROJECT NAME	: PEMBANGUNAN JALAN DAN JEMBATAN TAWANG-GALANG SEGMEN IV	COORDINATES	X : 0450492	STARTED DATE	: 02/04/2022
HOLE ID	: BH - 04		Y : 9130462	COMPLETED DATE	: 04/04/2022
FIELD GEOLOGIST	: ANDESTA GRANITIO IRWAN				
CHECKED BY	: NOVANDRI KUSUMA WARDANA	GROUND ELV. (m)	: 191,75	TOTAL DEPTH (m)	: 15
LOCATION	: RUAS JALAN TAWANG-NGALANG SEGMEN IV GUNUNG KIDUL (KAB)	DEPTH OF CASING (m)	: -	GWT FROM GWL (m)	: -
		DRILLING METHOD	: Rotary Drilling	INCLINATION	: VERTICAL
PELAKSANA	: CV. CITRA MATARAM KONSTRUKSI (CMK)				

Depth (m)	W Weathered	H Hardness	Rock type, colour, grain size texture and structure (massive, cleaved, foliated, lineated, flow banded), weathering, minor lithological	Depth (m)	Graphic Log	Sample Type RQD (%)	Sample Type Rec (%)	N Value	Spoon Sampler	N Blows > 15 cm
			(0.00-1.00) Clay, Brown	0,00 1,00		100	100			
			(0.70-2.00) Clayey sands, Solid, Brown	2,00		100	100	33		2
			(2.00-2.45) SPT ; (2.45-2.69) Clayey sands, Solid, Brown ; (2.69-3) Clayey sands, Brownish Grey	2,45 3,00		100	100			
			(3.00-3.90) Clayey sands, Brownish Grey (3.90-4.00) Andesite Breccia, Grey	4,00		100	100			
			(4.00-4.37) Fragment Andesit Breccia, Grey ; (4.37-4.62) Sand + Gravel,Dark chocolate ; (4.62-5.00) Andesite Breccia Fragment , Grey	5,00		0	0			
5			(5-5.20) Andesite Breccia, Grey (5.20-5.60) Sand, Black (5.60-6.00) Clayey Sands, Solid, Dark brown	6,00		85	85	60		60
			(6-6.27) SPT ; (6.27-6.50) Andesite Breccia, Dark Grey ; (6.50-6.90) Andesite Breccia, Brown ; (6.90-7) Andesite Breccia, Grey	6,45 7,00		34	34			
			(7,00-8,00) Andesite Breccia, Grey	8,00		29	29			
			(8.00-9.00) Andesite Breccia, Grey	9,00		30	30			
			(9.00-10.00) Andesite Breccia, Grey	10,00		83	83			
10			(10.00-11.00) Andesite Breccia, Grey	10,45 11,00		46	46			
			(11.00-12.00) Andesite Breccia, Grey	12,00		29	29			
			(12.00-13.00) Andesite Breccia, Grey	13,00		47	47			
			(13.10-13.52) Fragment Andesite Breccia, Grey ; (13.52-14.00) Andesite Breccia + Quartz, Grey	14,00		41	41			
15			(14.00-14.42) Andesite Breccia + Quartz, Grey ; (14.42-15.00) Andesite Breccia, Grey	15,00		33	33			
20										

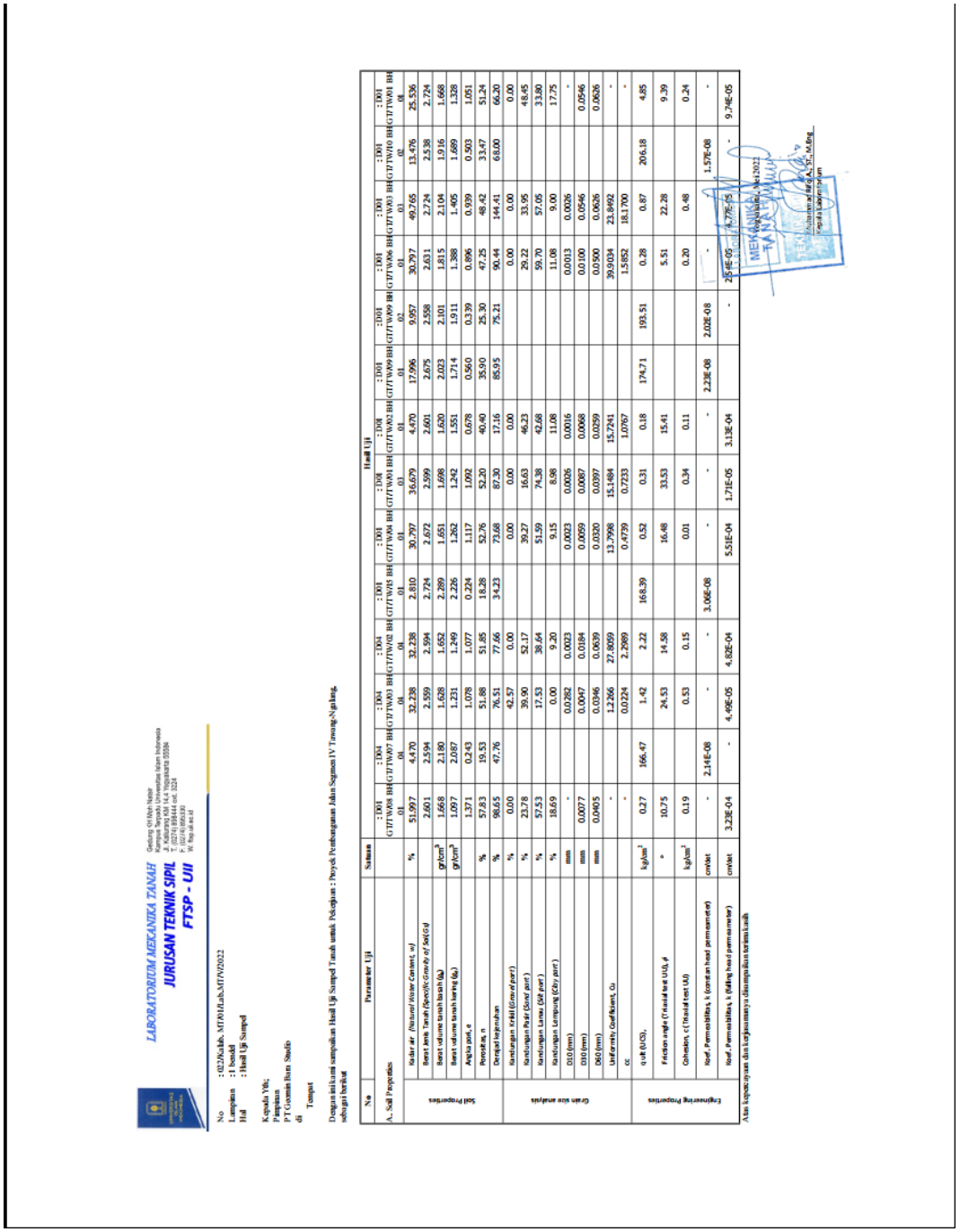
Standard Penetration Test (SPT) — 20 40 60

REMARKS

- STANDARD PENETRATION SPLIT SPOON SAMPLER
- STABILIZED GROUNDWATER
- GROUNDWATER AT TIME OF DRILLING

Gambar L-1. 2 Data N - SPT pada Sta. 7+750

Lampiran 3 Data Parameter Tanah Segmen IV Sta. 7+750



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - UII

Gedung Ki Hajar Dewantara
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta 55584
T. (0274) 895444 ext. 3224
F. (0274) 895330
W. ftsp.uii.ac.id

No : 027/Kalab. MTAM/Lab.MTAM/2022
Lampiran : 1 bendel
Hal : Hasil Uji Sampel

Kepada Yth;
Pimpinan
PT Gunung Batu Studio
di
Tempat

Dengan ini kami sampaikan Hasil Uji Sampel Tanah untuk Pekerjaan : Proyek Pembangunan Jalan Segmen IV Tawang-Ngalang, sebagai berikut

No	Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji																			
A. Soil Properties			: 1001 GT/TW08 BH 01	: 1004 GT/TW07 BH 01	: 1004 GT/TW03 BH 01	: 1004 GT/TW01 BH 01	: 1001 GT/TW05 BH 01	: 1001 GT/TW04 BH 01	: 1001 GT/TW01 BH 01	: 1001 GT/TW02 BH 01	: 1001 GT/TW03 BH 01	: 1001 GT/TW09 BH 01	: 1001 GT/TW09 BH 02	: 1001 GT/TW06 BH 01	: 1001 GT/TW03 BH 01	: 1001 GT/TW10 BH 02	: 1001 GT/TW01 BH 01
Soil Properties	Kadar air /Natural Water Content, wc	%	51.5997	4.470	32.238	32.238	2.810	30.797	36.679	4.470	17.996	9.957	30.797	49.765	13.476	25.536
	Berat Jenis Tanah /Specific Gravity of Soil, Gs		2.601	2.594	2.599	2.594	2.724	2.672	2.599	2.601	2.675	2.558	2.631	2.724	2.538	2.724
	Berat volume tanah basah (γ_b)	gr/cm^3	1.668	2.180	1.628	1.652	2.289	1.651	1.698	1.620	2.023	2.101	1.815	2.104	1.916	1.668
	Berat volume tanah kering (γ_k)	gr/cm^3	1.097	2.087	1.231	1.249	2.226	1.262	1.242	1.551	1.714	1.911	1.388	1.405	1.689	1.328
	Angka pori, e		1.371	0.243	1.078	1.077	0.224	1.117	1.092	0.678	0.560	0.339	0.896	0.939	0.503	1.051
	Porositas, n	%	57.83	19.53	51.88	51.85	18.28	52.76	52.20	40.40	35.90	25.30	47.25	48.42	33.47	51.24
	Derajat kejenuhan	%	98.65	47.76	76.51	77.66	34.23	73.68	87.30	17.16	85.95	75.21	90.44	144.41	68.00	66.20
Grain size analysis	Kandungan kerikil (Gravel part)	%	0.00		42.57	0.00		0.00	0.00	0.00			0.00	0.00		0.00
	Kandungan Pasir (Sand part)	%	23.78		39.90	52.17		39.27	16.63	46.23			29.22	33.95		48.45
	Kandungan Lanau (Silt part)	%	57.53		17.53	38.64		51.59	74.38	42.68			59.70	57.05		33.80
	Kandungan Lempung (Clay part)	%	18.69		0.00	9.20		9.15	8.98	11.08			11.08	9.00		17.75
	D10 (mm)	mm	-		0.0282	0.0023		0.0023	0.0026	0.0016			0.0013	0.0026		-
	D30 (mm)	mm	0.0077		0.0047	0.0184		0.0059	0.0087	0.0068			0.0100	0.0546		0.0546
	D60 (mm)	mm	0.0405		0.0346	0.0639		0.0320	0.0397	0.0259			0.0500	0.0626		0.0626
	Uniformity Coefficient, Cu		-		1.2266	27.8095		13.7998	15.1484	15.7241			39.9034	23.8492		-
	cc		-		0.0224	2.2989		0.4739	0.7233	1.0767			1.5852	18.1700		-
Engineering Properties	qult (UCS),	kg/cm^2	0.27	166.47	1.42	2.22	168.39	0.52	0.31	0.18	174.71	193.51	0.28	0.87	206.18	4.85
	Friction angle (Triaxial test UU), ϕ	°	10.75		24.53	14.58		16.48	33.53	15.41			5.51	22.28		9.39
	Cohesion, c (Triaxial test UU)	kg/cm^2	0.19		0.53	0.15		0.01	0.34	0.11			0.20	0.48		0.24
	Konf. Permeabilitas, k (constan head permeameter)	cm/det	-	2.14E-08	-	-	3.06E-08	-	-	-	2.23E-08	2.02E-08	-	-	1.57E-08	-
	Konf. Permeabilitas, k (falling head permeameter)	cm/det	3.23E-04	-	4.49E-05	4.82E-04		5.51E-04	1.71E-05	3.13E-04		-	2.51E-05	4.77E-05	-	9.74E-05

Atas kerjasamanya dan kepercayaan yang diberikan kami ucapkan terima kasih

MENGANALISA
YANTI WIJAYA
Yogyakarta, 04 Januari 2022
Kepala Laboratorium
Ir. Hj. Yanti Wijaya, M.Eng

Gambar L-1. 3 Data Parameter Tanah pada Sta. 7+750

Lampiran 4 Data Spesifikasi Geotekstil *Woven*

UnggulTex

POLYPROPYLENE WOVEN GEOTEXTILES

TECHNICAL SPESIFICATIONS

PROPERTIES	UNIT	TEST METHOD	UW - 150	UW - 200	UW - 250
Physical Properties					
Mass	g/m^2	ASTM D 5261-92	150	200	250
Thickness	mm	ASTM D 5199-91	0.5	0.6	0.7
Colour	-	-	Black	Black	Black
Mechanical Properties					
Strip Tensile Strength (Wrab/Weft)	kN/m	ASTM D 4595-94	37/35	42/39	52/52
Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)	%	ASTM D 4595-94	19/18	20/20	20/20
Grap Tensile Strength (Wrab/Weft)	N	ASTM D 4632-91	1210/1200	1600/1600	1750/1750
Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)	%	ASTM D 4632-91	14/13	22/22	22/22
Trapezoidal Tear Strength (Wrab/Weft)	N	ASTM D 4533-91	615/615	700/700	800/800
Hydraulic Properties					
Pore Size O_{95}	µm	ASTM D 4751-95	320	275	250
Water Permeability	$l/m^2/sec$	100 mm water head	28	16	7.5
Environmental Properties					
Effect of soil Alkalinity	-	-	nil	nil	nil
Effect of soil Acidity	-	-	nil	nil	nil
Effect of Bacteria	-	-	nil	nil	nil
Effect of U.V. Light	-	-	Stabilized	Stabilized	Stabilized
Packaging					
Roll Length	m	-	150 - 200	150 - 200	150 - 200
Roll Width	m	-	3 - 4	3 - 4	3 - 4
Roll Area	m^2	-	640 - 760	640 - 760	640 - 760
Roll Diameter (Approx)	m	-	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5
Roll Weight (Approx)	kg	-	96 - 114	128 - 152	160 - 190

All information, illustration and specification are based on the latest product information available at the time of printing. The right is reserved to make changes at any time without notice.

Distributed by :

PT. TEKNINDO GEOSISTEM UNGGUL
Yasma SIER Building, 1st Floor, Jl. Rungkut Industri Raya 10, Surabaya 60293
Tel. 031-8475062 Fax. 031-8475063
Email : info@geosistem.co.id
Website : www.geosistem.co.id

GEOSISTEM

Gambar L-1. 4 Data Geotesktil *Woven*