

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN  
PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN  
METODE KESEIMBANGAN BATAS DAN METODE  
ELEMEN HINGGA**

***(ANALYSIS OF SLOPE STABILITY WITH  
GEOTEXTILE REINFORCEMENT USING LIMIT  
EQUILIBRIUM AND FINITE ELEMENT METHODS)***

**(Studi Kasus Jalan Lintas Selatan Ruas Planjan-Tepus Sta. 2+375)**

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



**Muzacky Rachman  
19511063**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2024**

**TUGAS AKHIR**

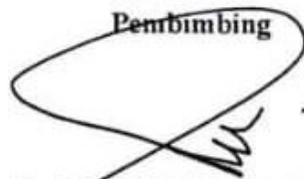
**ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN  
PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN  
METODE KESEIMBANGAN BATAS DAN METODE  
ELEMEN HINGGA**

***(ANALYSIS OF SLOPE STABILITY WITH  
GEOTEXTILE REINFORCEMENT USING LIMIT  
EQUILIBRIUM AND FINITE ELEMENT METHODS)***

**(Studi Kasus Jalan Lintas Selatan Ruas Planjan-Tepus Sta. 2+375)**

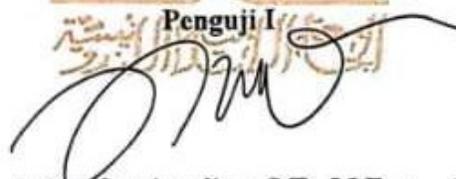


Pembimbing



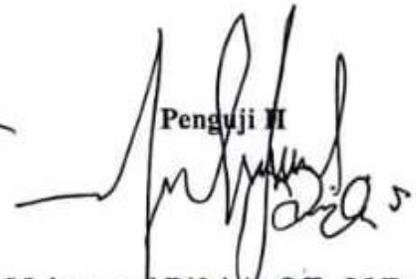
Dr. Hanindya Kusuma A., S.T., M.T  
NIK: 045110407

Penguji I



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

Penguji II



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



Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

  
Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM  
NIK: 0951110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya dengan sungguh-sungguh menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir yang saya buat sebagai persyaratan untuk menyelesaikan program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia adalah hasil karya saya sendiri. Segala kutipan yang saya ambil dari karya orang lain telah saya sertakan dengan jelas sesuai dengan aturan, kaidah dan etika penulisan ilmiah. Jika kelak di kemudian hari ditemukan bahwa seluruh atau sebagian dari Tugas Akhir ini bukan merupakan hasil karya saya sendiri atau terdapat plagiasi dalam beberapa bagian, saya siap untuk menerima konsekuensi yang berlaku, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya peroleh sesuai dengan ketentuan hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Februari 2024  
Yang membuat pernyataan,



Muzacky Rachman  
(19511063)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Keseimbangan Batas dan Metode Elemen Hingga. Tugas akhir ini diperlukan sebagai bagian dari persyaratan akademik untuk menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis menghadapi berbagai rintangan. Tetapi berkat dukungan, masukan, dan motivasi dari berbagai pihak, penyelesaian Tugas Akhir ini dapat tercapai. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada:

1. Ibu Dr. Hanindya Kusuma A, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing,
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji I,
3. Bapak Muhammad Rifqi A, S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji II,
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
5. Bapak dan Ibu penulis, Bapak Bangun Satriyo dan Ibu Nur Aimmah yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini,
6. sahabat maupun teman-teman penulis selama berkuliah, yang telah memberikan dukungan dan motivasi satu sama lain, dan
7. semua pihak yang telah membantu sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Yogyakarta, 28 Februari 2024

Penulis,



Muzacky Rachman  
(19511063)

## DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
1.6 Lokasi Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.1.1 Perkuatan Lereng dengan Geotekstil	7
2.1.2 Perkuatan Lereng dengan Non Geotekstil (Dinding Penahan Tanah)	8
2.1.3 Perkuatan pada Lereng Timbunan Badan Jalan	9
2.1.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Program Plaxis dan Metode Fellenius	11
2.2 Matriks Perbandingan Pustaka	11

BAB III LANDASAN TEORI	18
3.1 Tanah	18
3.1.1 Pengertian Umum	18
3.1.2 Penyelidikan Tanah	20
3.1.3 Klasifikasi Tanah	22
3.1.4 Parameter Tanah	30
3.2 Lereng	36
3.2.1 Penyebab Longsor	37
3.2.2 Stabilitas Lereng	38
3.2.3 Teori Analisis Stabilitas Lereng	39
3.2.4 Metode Perhitungan Stabilitas Lereng	42
3.2.5 Metode Elemen Hingga	44
3.3 Geotekstil	45
3.3.1 Sifat Fisik Geotekstil	46
3.3.2 Sifat Mekanik Geotekstil	48
3.3.3 Sifat Hidrolik Geotekstil	51
3.3.4 Mekanisme Kerja Geotekstil	53
3.4 Perkuatan Lereng dengan Geotekstil	53
3.5 Program PLAXIS	56
3.5.1 Pendahuluan	56
3.5.2 Parameter Input Untuk Program PLAXIS V.22	57
3.5.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan PLAXIS V.22	59
BAB IV METODE PENELITIAN	61
4.1 Tinjauan Penelitian	61
4.2 Data Penelitian	62
4.3 Lokasi Penelitian	62
4.4 Tahapan Penelitian	64
4.4.1 Pengumpulan Data	64
4.4.2 Desain Badan Jalan	65
4.5 Analisis data	65
4.5.1 Data Melintang Jalan dan Struktur Galian Timbunan Lereng	65

4.5.2 Data Parameter Tanah	66
4.5.3 Data beban	67
4.5.4 Data Geotekstil	69
4.6 Analisis Data dengan Software PLAXIS (Versi 22)	69
4.7 Bagan Alir	70
BAB V PEMBAHASAN	73
5.1 Lereng Timbunan Badan Jalan	73
5.1.1 Data Parameter Tanah, Beban, dan Perkuatan Tanah	74
5.1.2 Angka Aman Lereng Asli dengan Metode Fellenius	77
5.2 Analisis Stabilitas Lereng tanpa Perkuatan Geotekstil	79
5.2.1 Akibat Beban Timbunan (Akibat Beban Sendiri)	79
5.2.2 Akibat Beban Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan	83
5.2.3 Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa	86
5.3 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil	90
5.3.1 Stabilitas Eksternal	92
5.3.2 Stabilitas Internal	97
5.3.3 Akibat Beban Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil	102
5.3.4 Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil	106
5.3.5 Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil	109
5.4 Pembahasan	113
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	116
6.1 Kesimpulan	116
6.2 Saran	117
DAFTAR PUSTAKA	118
LAMPIRAN	120

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Sekarang Dilakukan	12
Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Sistem.AASHTO	23
Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Sistem Unified	27
Tabel 3.3 Klasifikasi Tanah Sistem USCS	29
Tabel 3.4 Perkiraan Modulus Elastis	32
Tabel 3.5 Nilai <i>Poisson Ratio</i>	33
Tabel 3.6 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah	35
Tabel 3.7 Nilai Faktor Keamanan pada Lereng	39
Tabel 3.8 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng	41
Tabel 3.9 Hubungan Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng	42
Tabel 4.1 Data Parameter Tanah untuk Perhitungan PLAXIS dan Fellenius	66
Tabel 4.2 Beban Lalu Lintas	67
Tabel 4.3 Data Perkuatan Geotekstil <i>Woven</i>	69
Tabel 5.1 Data Parameter Tanah	74
Tabel 5.2 Data Beban Lalu Lintas	75
Tabel 5.3 Data Geotekstil <i>Woven</i>	77
Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Metode Fellenius	78
Tabel 5.5 Koefisien Daya Dukung Tanah Meyerhof Mekanisme Keruntuhan Geser Lokal	91
Tabel 5.6 Rekapitulasi Panjang Geotekstil Overlapping	97
Tabel 5.7 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil	98
Tabel 5.8 Rekapitulasi Panjang Geotekstil Pada Zona Aktif	99
Tabel 5.9 Rekapitulasi Panjang Total Geotekstil	99
Tabel 5.10 Hasil Rekapitulasi Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program PLAXIS Versi 22	113

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Penyelidikan Geoteknik JJLS ruas Planjan -Tepus	6
Gambar 3.1 Skema Alat Uji Geser Langsung	21
Gambar 3.2 Diagram Fase Tanah	30
Gambar 3.3 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan	38
Gambar 3.4 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan	43
Gambar 3.5 Geotekstil Non Woven dan Woven	46
Gambar 3.6 Geotekstil Mengalami Tegangan Tarik Ketika Beban Bekerja di Permukaan Lapis Pondasi	49
Gambar 3.7 Dasar Mekanisme Perkuatan Lereng dengan Tanah	53
Gambar 3.8 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral	54
Gambar 4.1 Lokasi BH 01 Sta 0+475 Ruas Planjan-Tepus	62
Gambar 4.2 Lokasi Proyek JJLS Ruas Planjan-Baron-Tepus	63
Gambar 4.3 Review Desain Jalan Planjan-Baron-Tepus	63
Gambar 4.4 Tipikal Potongan Melintang Jalan Pada Daerah Timbunan	65
Gambar 4.5 Penampang Lereng Timbunan Badan Jalan Sta. 2+375	66
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Percepatan dan Waktu	68
Gambar 4.7 Peta Zonasi Gempa Indonesia	68
Gambar 4.8 Bagan Alir Penelitian	71
Gambar 4.9 Bagan Alir Program Plaxis	72
Gambar 5.1 Penampang Lereng Sta 2+375	74
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Antara Percepatan Gempa dan Waktu	76
Gambar 5.3 Peta Zonasi Gempa Indonesia	76
Gambar 5.4 Pemodelan dan Analisis Lereng dengan Metode Fellenius	77
Gambar 5.5 <i>Meshing</i> Lereng	79
Gambar 5.6 <i>Deformed Mesh</i> pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)	80
Gambar 5.7 <i>Total Displacement</i> pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)	80
Gambar 5.8 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)	81

Gambar 5.9 <i>Effective Stress</i> pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)	82
Gambar 5.10 Daerah Potensi Longsor pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)	82
Gambar 5.11 <i>Deformed Mesh</i> pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	83
Gambar 5.12 <i>Total Displacement</i> pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	84
Gambar 5.13 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	84
Gambar 5.14 <i>Effective Stress</i> pada Timbunan dengan Beban Timbunan, dan Beban Kendaraan	85
Gambar 5.15 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan dengan Beban Timbunan, dan Beban Kendaraan	86
Gambar 5.16 <i>Deformed Mesh</i> pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa	86
Gambar 5.17 <i>Total Displacement</i> pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa	87
Gambar 5.18 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa	88
Gambar 5.19 <i>Effective Stress</i> pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa	88
Gambar 5.20 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa	89
Gambar 5.21 Pembagian Zona untuk Perhitungan Geotekstil	90
Gambar 5.22 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Tanah Miring	93
Gambar 5.23 Lembaran Geotekstil	100
Gambar 5.24 Pemasangan Geotekstil pada Setiap Zona Lereng Timbunan	100
Gambar 5.25 Pemodelan Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	102
Gambar 5.26 <i>Meshing</i> pada Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	102
Gambar 5.27 <i>Deformed Mesh</i> pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil	103

Gambar 5.28 <i>Total Displacement</i> pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil	104
Gambar 5.29 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil	104
Gambar 5.30 <i>Effective Stresses</i> pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil	105
Gambar 5.31 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil	106
Gambar 5.32 <i>Deformed Mesh</i> pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil	106
Gambar 5.33 <i>Total Displacement</i> pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil	107
Gambar 5.34 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil	108
Gambar 5.35 <i>Effective Stresses</i> pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil	108
Gambar 5.36 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil	109
Gambar 5.37 <i>Deformed Mesh</i> dengan Beban Timbunan, Beban, Kendaraan dan, Beban Gempa dengan perkuatan Geotekstil	110
Gambar 5.38 <i>Total Displacement</i> dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil	110
Gambar 5.39 Arah Pergerakan Tanah dengan Beban Timbunan Beban Kendaraan dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil	111
Gambar 5.40 <i>Effective Stresses</i> dengan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil	112
Gambar 5.41 Daerah Kelongsoran dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil	112
Gambar 5.42 Grafik SF pada Lereng	114
Gambar 5.43 Grafik <i>Total Displacement</i> pada Lereng	114

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Desain Jalan Baron-Tepus Sta 2+375	121
Lampiran 2 Data Laboratorium Bor Mesin di Kegiatan Penyelidikan Tanah JJLS Planjan–Baron–Tepus	122
Lampiran 3 Hasil Bore Log JJLS Planjan Tepus BH-02	123
Lampiran 4 Spesifikasi Geotekstil PT. Teknindo Geosistem Unggul	124

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

cm	= Centimeter
m	= Meter
mm	= Milimeter
LHRT	= Lalu Lintas Harian Rata-rata (kendaraan/hari)
PGA	= <i>Peak Ground Acceleration</i> (g)
MC	= Mohr-Coulomb
$\gamma_d$	= Berat volume tanah kering ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
$\gamma$	= Berat volume tanah ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
$\gamma_{\text{sat}}$	= Berat volume tanah jenuh ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
$\gamma_{\text{unsat}}$	= Berat volume tanah tak jenuh ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
$\gamma'$	= Berat volume tanah efektif ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
e	= Angka pori
FK	= Faktor Keamanan
SF	= <i>Safety Factor</i>
kN	= Kilo Newton
N	= Newton
MPa	= Mega Pascal
%	= Persen
Ka	= Koefisien tekanan tanah aktif lateral
Tu	= Kuat tarik ultimit ( $\text{kN}/\text{m}$ )
Ta	= Kuat tarik izin ( $\text{kN}/\text{m}$ )
$\sigma_{hi}$	= Tegangan yang bekerja pada lapis geotekstil ke-i ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
Sv	= Jarak geotekstil arah vertikal (m)
MD	= Momen mendorong ( $\text{kN m}$ )
MR	= Momen menahan ( $\text{kN m}$ )
L	= Panjang geotekstil (m)
Zi	= Kedalaman tiap lembar geotekstil dari permukaan tanah (m)
Lo	= Panjang <i>overlapping</i> geotekstil (m)

$L_e$	= Panjang efektif geotekstil (m)
$L_z$	= Panjang geotekstil pada zona aktif (m)
$\tau_f$	= Kuat geser tanah ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$\tau_d$	= Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$\sigma$	= Tegangan normal ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$\varepsilon$	= Regangan
$\text{m}^2$	= Meter persegi
$\text{m}^3$	= Meter kubik
$\Sigma$	= Total/Jumlah
$c$	= Kohesi ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$w$	= Kadar air (persen)
$e$	= eksentrisitas
$N$	= Koefisien daya dukung tanah
$\phi$	= Sudut geser dalam (derajat)
$\nu$	= <i>Poissons Ratio</i>
$E$	= Modulus Young / Modulus Elastisitas ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$EA$	= Kekakuan normal ( $\text{kN}/\text{m}$ )
$\psi$	= Sudut dilatansi (derajat)
$K$	= Koefisien permeabilitas
$G$	= Modulus geser ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
SPT	= <i>Standard Penetration Test</i>
$q_c$	= Tahanan konus ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
BH	= <i>Bore Hole</i>
$N$	= Gaya normal efektif (kN)
$W$	= Berat total irisan ( $\text{kN}/\text{m}$ )
$A$	= Sudut geser singgung masing-masing irisan (derajat)
$u$	= Tekanan air pori pada pusat dasar ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$l$	= Panjang dasar (m)
$L$	= Panjang busur (m)

## ABSTRAK

Jaringan Jalan Lintas Selatan (JJLS) di kabupaten Gunungkidul menghubungkan antara Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Jawa Timur bagian selatan. Di dalam pembangunan tersebut terdapat gunung kapur yang dibelah dan diratakan untuk membangun jalan tersebut. Dalam pembangunannya untuk mendapatkan elevasi rencana dibutuhkan galian maupun timbunan tanah baru. Pada Sta. 2+375 untuk bisa mencapai elevasi rencana, maka dilakukan timbunan tanah baru diatas tanah dasar dan membentuk sebuah lereng pada sisi kanan dan kiri badan jalan. Sebuah lereng perlu mendapatkan perkuatan agar dapat mencapai faktor keamanan yang direncanakan.

Analisis stabilitas lereng menggunakan parameter data sekunder yang didapat dari laporan penyelidikan geotek trase Planjan-Baron-Tepus tahun 2020. Sedangkan gambar rencana didapatkan dari desain pembangunan ruas jalan Planjan-Baron-Tepus, 2019. Dalam proses analisis dan pemodelan 2D digunakan bantuan program PLAXIS versi 22. Selain itu dipakai juga metode keseimbangan batas Fellenius dan metode elemen hingga untuk menganalisis stabilitas lereng sekaligus mencari faktor keamanannya. Untuk melakukan perkuatan pada lereng timbunan dipakai geosintetik berjenis geotekstil *woven* dengan arah pemasangan secara horizontal.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng timbunan diperoleh hasil faktor keamanan pada lereng dengan menggunakan metode manual Fellenius sebesar 1,017. Sedangkan dengan menggunakan program PLAXIS versi 22 didapatkan hasil angka aman sebesar 1,045 untuk beban sendiri (timbunan), 0,993 untuk beban sendiri (timbunan) dan beban kendaraan, 0,978 untuk beban sendiri (timbunan), beban kendaraan, dan beban gempa. Sedangkan untuk hasil angka aman yang sudah diperkuat geotekstil adalah 1,353 untuk beban sendiri (timbunan), 1,284 untuk beban sendiri (timbunan) dan beban kendaraan, 1,265 untuk beban sendiri (timbunan) beban kendaraan, dan beban gempa. Hal tersebut menandakan bahwa sebelum diberi perkuatan geotekstil lereng masih dalam keadaan labil dan rawan terjadi longsor, dan setelah diperkuat faktor keamanan menjadi naik cukup signifikan sebesar  $1,353 > 1,25$ . Dengan demikian menandakan bahwa lereng menjadi relatif stabil dan potensi terjadinya longsor rendah (bowles, 1989).

**Kata Kunci:** Stabilitas Lereng, Geotekstil, Metode Fellenius, Metode Elemen Hingga

## ***ABSTRACT***

*The Southern Cross Road Network (JJLS) in Gunungkidul district connects the Yogyakarta Special Region with the southern part of East Java. Within the development there is a limestone mountain which was split and leveled to build the road. During its construction, to obtain the planned elevation, new excavations and piles of soil are required. At Sta. 2+375 to achieve the planned elevation, new soil is piled on top of the subgrade and forms a slope on the right and left sides of the road. A slope needs to be strengthened in order to achieve the planned safety factor.*

*The slope analysis uses secondary data parameters obtained from the 2020 Planjan-Baron-Tepus trace geotechnical investigation report. Meanwhile, the plan drawings are obtained from the construction design of the Planjan-Baron-Tepus road section, 2019. In the 2D analysis and modeling process, the PLAXIS 22 version program is used. Apart from that, the Fellenius limit balance method and the finite element method are also used to analyze slope stability as well as look for safety factors. To strengthen the embankment slopes, woven geotextile type geosynthetics are used with a horizontal installation direction.*

*Based on the results of the embankment slope stability analysis, the safety factor for the slope using the manual Fellenius method was 1,017. Meanwhile, by using the PLAXIS version 22 program, the safety factor were 1,045 for self-load (heap), 0,993 for self-load (heap), and vehicle load, 0,978 for self-load (heap), vehicle load, and earthquake load. Meanwhile, the safety factor for reinforced geotextiles are 1,353 for self-load (embankment), 1.284 for self-load (embankment) and vehicle load, 1,265 for self-load (embankment) vehicle load and earthquake load. This indicates that before the geotextile reinforcement was given, the slope was still in an unstable condition and prone to landslides, and after it was strengthened, the safety factor increased quite significantly by  $1.353 > 1.25$ . This indicates that the slope is relatively stable and the potential for landslides is low (Bowles, 1989).*

**Keywords:** *Slope Stability, Geotextile, Fellenius Method, Finite Element Method*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Lereng merupakan permukaan tanah, bukit, atau permukaan bumi lainnya yang membentuk kemiringan dengan besar sudut tertentu terhadap bidang horizontal. Lereng biasanya terbentuk karena proses geologis maupun karena campur tangan manusia. Lereng yang terbentuk secara geologis biasanya terjadi karena beberapa faktor diantaranya seperti erosi, pengendapan, serta aktivitas geologi lainnya seperti gempa bumi dan letusan gunung api. Sementara itu lereng yang terbentuk oleh campur tangan manusia biasanya terjadi karena aktivitas manusia seperti pertambangan, pembentukan terasering pada lahan pertanian, konstruksi bangunan dan jalan raya, sehingga mengakibatkan permukaan tanah terbentuk sedemikian rupa menjadi permukaan tanah yang miring. Karena kemiringannya tersebut maka perlu diperhatikan kestabilan lereng agar tidak terjadi keruntuhan pada lereng tersebut.

Apabila suatu tempat memiliki elevasi yang berbeda maka dapat menyebabkan adanya gaya potensial gravitasi yang cenderung mendorong tanah ke arah bawah. Sehingga permukaan tanah yang memiliki elevasi lebih tinggi akan cenderung bergerak ke bawah yang dapat menyebabkan terjadinya bencana tanah longsor pada lereng. Tanah longsor dapat menyebabkan kerusakan berbagai infrastruktur, merusak ekosistem lingkungan, serta mengancam keselamatan manusia terutama jika berada di daerah pemukiman. Oleh karena itu diperlukan adanya tindakan pencegahan agar tidak terjadi keruntuhan lereng.

Perencanaan lereng harus dilakukan secara matang agar tidak terjadi kegagalan pada lereng karena kurangnya daya dukung pada tanah. Lereng yang masih belum stabil merupakan indikasi lereng tersebut dapat mengalami keruntuhan. Maka diperlukan analisis untuk mengetahui angka aman atau *safety factor* pada lereng tersebut. Apabila sudah diketahui angka aman dari lereng tersebut dan ternyata tidak memenuhi batas aman dari yang ditetapkan maka

diperlukan sebuah upaya stabilitas lereng. Stabilitas lereng dapat dilakukan dengan berbagai metode diantaranya dengan menggunakan metode perkuatan geotekstil. Geotekstil dipasang dengan cara diletakkan diantara tanah yang akan diperkuat dan material konstruksi di atasnya. Geotekstil akan meningkatkan daya dukung tanah karena dapat memberikan daya tarik pada tanah sehingga tanah menjadi lebih kuat. Geotekstil merupakan salah satu jenis geosintetik yang terbuat dari polimer atau bahan sintesis lainnya yang mempunyai sifat tahan terhadap berbagai kondisi tanah yang ada.

Dewasa ini perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan semakin meningkat seiring kemajuan zaman, khususnya teknologi dalam bidang Geoteknik. Geoteknik adalah cabang ilmu yang khususnya memusatkan perhatiannya pada penerapan teknik sipil dalam konteks sifat mekanis dari tanah dan batuan (Suryolelono, 2000). Dalam perencanaan perkuatan lereng dengan Geotekstil bisa dilakukan analisis dengan menggunakan bantuan teknologi berupa *software* yang bernama PLAXIS. *Software* PLAXIS ini menggunakan metode elemen hingga untuk melakukan analisis kestabilan lereng. Nantinya akan dihasilkan angka *safety factor* pada lereng yang memperlihatkan kondisi kestabilan lereng. Selain itu dengan bantuan *software* PLAXIS dapat diketahui nilai *displacement* pada lereng, arah pergerakan tanah pada lereng, dan potensi kelongsoran lereng berdasarkan parameter tanah, parameter beban yang bekerja pada lereng, dan parameter lain yang sudah diinput pada program PLAXIS.

Pembangunan Jaringan Jalan Lintas Selatan (JJLS) di Kabupaten Gunungkidul menghubungkan antara Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Jawa Timur bagian selatan, serta menyambung dengan jaringan jalan yang dari arah Jawa Barat. Di dalam pembangunan tersebut terdapat gunung kapur yang dibelah dan diratakan untuk membangun jalan yang merupakan bagian dari JJLS dari barat hingga timur Pulau Jawa bagian selatan yang di beberapa titik bersisian dengan laut selatan. Dengan dibangunnya Jaringan Jalan Lintas Selatan berkelas jalan negara selebar 24 meter maka dapat mempermudah aksesibilitas di daerah tersebut. Pembangunan jalan lintas selatan ini tidak hanya untuk memudahkan transportasi dari arah Barat ke Timur dan sebaliknya, tetapi juga berfungsi untuk meningkatkan

kemakmuran 30 juta penduduk di kawasan jawa bagian selatan.

Di sepanjang lokasi JJLS tersebut memiliki banyak perbedaan elevasi yang nantinya akan dibutuhkan banyak galian dan timbunan untuk mencapai elevasi rencana badan jalan. Yang mana nantinya akan terbentuk banyak sekali lereng galian maupun timbunan. Sehingga sangat penting untuk melakukan perencanaan struktur lereng agar dapat mencapai faktor keamanan yang direncanakan. Selain itu perlu dilakukan analisis atau perhitungan terhadap *displacement*, arah pergerakan tanah, dan besar *effective stress* agar dapat diketahui daerah potensi longsor yang terjadi pada lereng akibat beban timbunan, beban kendaraan, maupun beban gempa yang terjadi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini ada beberapa masalah yang akan dibahas sesuai judul sebagai berikut ini.

1. Berapa faktor aman (*safety factor*) lereng tanpa perkuatan tanah secara perhitungan manual menggunakan metode Fellenius?
2. Berapa faktor aman (*safety factor*) lereng tanpa perkuatan tanah menggunakan analisis program PLAXIS?
3. Berapa faktor aman (*safety factor*) lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan analisis program PLAXIS?
4. Berapa nilai *total displacement* yang terjadi pada lereng tanpa perkuatan tanah menggunakan analisis program PLAXIS?
5. Berapa nilai *total displacement* yang terjadi pada lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan analisis program PLAXIS?
6. Bagaimana pengaruh perkuatan geotekstil yang diberikan pada lereng?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari pembahasan topik pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan faktor aman (*safety factor*) lereng tanpa perkuatan tanah secara perhitungan manual menggunakan metode Fellenius.

2. Mendapatkan faktor aman (*safety factor*) lereng tanpa perkuatan tanah menggunakan analisis program PLAXIS.
3. Mendapatkan faktor aman (*safety factor*) lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan analisis program PLAXIS.
4. Mendapatkan nilai *total displacement* yang terjadi pada lereng tanpa perkuatan tanah menggunakan analisis program PLAXIS.
5. Mendapatkan nilai *total displacement* yang terjadi pada lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan analisis program PLAXIS.
6. Mengetahui pengaruh perkuatan geotekstil yang diberikan pada lereng.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian yang diperoleh pada tugas akhir ini diharapkan ada beberapa manfaat yang bisa dihasilkan sebagai berikut ini.

1. Hasil penelitian dapat digunakan untuk meminimalisir terjadinya bencana longsor pada lereng atau tebing di ruas jalan Planjan-Baron-Tepus.
2. Hasil penelitian secara ilmiah dapat dijadikan dasar acuan pada penelitian-penelitian selanjutnya baik penelitian di daerah Planjan-Baron-Tepus maupun di daerah lain yang berkaitan dengan perkuatan lereng.
3. Sebagai upaya untuk merealisasikan ilmu Teknik Sipil yang sudah diperoleh selama kuliah khususnya dalam bidang geoteknik.
4. Sebagai kontribusi untuk pengembangan pengetahuan dalam bidang Teknik Sipil, terutama dalam fokus Geoteknik yang membahas tentang stabilitas lereng.
5. Menambah pengetahuan bagi pembaca tentang perencanaan stabilitas lereng menggunakan program PLAXIS versi 22.
6. Menambah pengetahuan bagi pembaca tentang upaya perkuatan lereng dengan menggunakan geotekstil.
7. Bisa digunakan sebagai panduan saat merencanakan stabilitas lereng di area dengan kemiringan lereng yang serupa.

### 1.5 Batasan Penelitian

Batasan-batasan penelitian yang ditetapkan untuk fokus penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Studi kasus penelitian dilakukan di Jaringan Jalan Lintas Selatan (JJLS) ruas Planjan-Baron-Tepus, Gunungkidul, DIY pada Sta 2+375.
2. Lereng yang dianalisis adalah lereng pada bagian sisi kanan badan jalan (lihat Gambar 5.1).
3. Parameter tanah yang dipakai mewakili parameter tanah di daerah Planjan-Baron-Tepus
4. Penelitian yang dilakukan tidak mencakup proses, metode pelaksanaan konstruksi dan biaya.
5. Dalam tugas akhir ini setiap versi pemodelan lereng tidak dimaksudkan untuk pekerjaan lapangan, melainkan untuk tujuan kajian penelitian.
6. Analisis stabilitas lereng menggunakan Metode Fellenius dan Metode Elemen Hingga.
7. Program PLAXIS yang digunakan merupakan Versi 22.
8. Geotekstil yang digunakan geotekstil *woven* produksi PT. Teknindo. Geosistem Unggul, dan untuk pemasangan geotekstil adalah mendatar.
9. Data tanah yang dipakai merupakan hasil uji laboratorium dan di lapangan dari Laporan Penyelidikan Geotek Trase Planjan-Baron-Tepus Tahun 2020.
10. Beban yang dianalisis merupakan beban timbunan, beban lalu lintas kendaraan dan beban gempa.
11. Untuk pekerjaan drainase tidak dianalisis.
12. Tekanan air pori dianggap nol, kondisi muka air tanah diabaikan.
13. Peraturan SNI *Safety Factor* yang digunakan adalah SNI 8460-2017.
14. Ruang lingkup pembahasan materi studi diantaranya adalah analisis *safety factor* dan *displacement* yang terjadi.
15. Dipakai koefisien gempa di daerah Yogyakarta dengan rentang 0,4-0,5 g, serta menggunakan metode time history pada gempa di Whittier Narrows, California yang memiliki PGA sebesar 0,457g. PGA tersebut dianggap merepresentasikan beban gempa yang terjadi di permukaan tanah.

## 1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan pada JJLS Ruas Planjan-Baron-Tepus, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pada lokasi penelitian tersebut diperoleh data penelitian dari hasil survei geoteknik yang nantinya akan mendukung penelitian ini. Data yang diperoleh berdasarkan hasil penyelidikan lapangan dan pengujian di laboratorium. Berikut lokasi penyelidikan Geoteknik di daerah pekerjaan JJLS Planjan-Baron-Tepus tertera pada gambar 1.1 dan 1.2.



**Gambar 1.1 Lokasi Penyelidikan Geoteknik JJLS ruas Planjan -Tepus.**  
(Sumber: Laporan Penyelidikan Geotek Trase Planjan-Baron-Tepus, 2020)

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Tinjauan pustaka merupakan proses untuk mencari, mengumpulkan, dan menyusun sebuah informasi dengan topik yang sudah ditentukan dalam sebuah penelitian. Tujuan dari tinjauan pustaka adalah agar lebih mengerti tentang topik penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya oleh peneliti lain, baik itu bersumber dari jurnal, buku, artikel, laporan maupun sumber-sumber lain yang relevan dengan topik penelitian yang dipilih. Didalam tinjauan pustaka peneliti dapat menelaah maupun menganalisis berbagai sumber tersebut untuk mendukung maupun memperkuat sebuah hipotesis maupun argumen yang dibuat dalam penelitian. Tentunya peneliti perlu menganalisis terlebih dahulu, kredibilitas, relevansi, dan kualitas informasi dalam sumber-sumber tersebut. Dengan melakukan tinjauan pustaka secara baik dan benar, peneliti akan dapat mengembangkan pemahaman mengenai topik yang dipilihnya, serta dapat meningkatkan kualitas penelitiannya.

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Pada penelitian ini digunakan pustaka-pustaka dari penelitian sebelumnya yang memiliki kesamaan topik dengan topik yang dipilih penulis. Dengan adanya pustaka ini peneliti dapat mengembangkan penelitian lebih komprehensif lagi, dan juga sebagai penguat argumentasi maupun hipotesis dari penelitian ini. Selain itu adanya tinjauan pustaka dimaksudkan untuk menghindari adanya plagiasi terhadap penelitian sebelumnya yang memiliki kemiripan topik.

##### **2.1.1 Perkuatan Lereng dengan Geotekstil**

Prabowo (2018) melakukan penelitian yang berjudul Analisis Stabilitas Lereng Pada Ruas Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus Pada Ruas Jalan Tol Ngawi – Caruban Sta. 128+850, Proyek Jalan Tol Ngawi Kertosono). Penelitian ini bertujuan melakukan sebuah analisis stabilitas lereng asli dengan memakai bantuan *software* PLAXIS 8.2 pada Sta. 128+850. Selain itu juga dilakukan analisis mengenai jenis tanah yang digunakan setelah dilakukan pemadatan, pada lereng

dengan kondisi yang lebih tegak. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap lereng yang diberi perkuatan geotekstil. Sehingga setelah dilakukan analisis tersebut diharapkan untuk didapatkan nilai angka aman dari kondisi lereng yang ada.

Didapatkan hasil dari hasil analisis untuk pemodelan lereng asli yaitu angka aman senilai 1,388 tanpa adanya beban gempa dan senilai 1,331 dengan beban gempa. Nilai angka aman setelah dilakukan penggantian tanah dan tanah timbunan didapatkan sebesar 0,281 dengan kondisi lereng sudut  $76^\circ$  dengan beban gempa. Sedangkan setelah dilakukan perhitungan lereng dengan kemiringan  $76^\circ$  yang tidak diberi perkuatan geotekstil dan tidak diberi gempa pada program PLAXIS tidak dapat ditampilkan hasilnya karena perhitungan yang dilakukan sebelumnya mengalami kegagalan/keruntuhan lereng. Setelah itu dilakukan analisis terhadap angka aman lereng dengan kemiringan  $76^\circ$  dengan diberi perkuatan geotekstil tapi tidak menggunakan beban gempa didapatkan hasil sebesar 1,737 dan diberi beban gempa didapatkan angka aman senilai 1,350. Dari hasil analisis stabilitas lereng yang dilakukan pada Sta. 128+850 dapat dikategorikan bahwa lereng tersebut relatif aman terhadap kelongsoran, namun untuk lereng dengan sudut yang cenderung tegak diperlukan perkuatan geotekstil agar kestabilan lereng dapat terjaga.

### **2.1.2 Perkuatan Lereng dengan Non Geotekstil (Dinding Penahan Tanah)**

Setiawan (2019) melakukan penelitian dengan judul Perencanaan Ulang Perkuatan Tanah Tebing Kali Code Menggunakan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever dan Geotekstil (Studi Kasus Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis). Dalam penelitian tersebut menjelaskan bahwa kerusakan lereng dapat terjadi karena adanya sebuah aliran dari arus sungai yang mengikis secara perlahan-lahan dari lereng sungai tersebut, dan dapat semakin parah karena perilaku dari masyarakat Indonesia yang sering memanfaatkan badan sungai untuk digunakan sebagai perumahan, sehingga apabila volume air sungai meningkat maka bencana banjir akan menjadi sebuah ancaman. Dan tidak hanya itu apabila terjadi banjir maka akan meningkatkan potensi terjadinya bencana longsor karena lereng sungai kehilangan kestabilannya.

Perkuatan tanah merupakan sebuah solusi untuk mencegah bencana longsor yang dapat terjadi. Tipe perkuatan tanah yang digunakan adalah Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever dan Geotekstil. Dinding Penahan Tanah Kantilever dan Geotekstil sangat membantu untuk mencegah terjadinya kelongsoran dan sekaligus menjadi sarana untuk menanggulangi bencana.

Dari hasil analisis eksternal yang sudah dilakukan pada dinding kantilever dengan memperhitungkan adanya beban gempa yang dapat terjadi, maka didapatkan nilai faktor keamanan dinding kantilever terhadap penggulingan senilai 2,7, faktor keamanan dari pergeseran senilai 1,55 dan faktor keamanan dari keruntuhan daya dukung tanah senilai 16,9. Perhitungan analisis internal dinding kantilever dicari dengan 2 tahap yaitu perhitungan kebutuhan tulangan dinding vertikal serta plat kaki pondasi dinding kantilever. Untuk perhitungan dinding vertikal didapat hasil kebutuhan tulangan pokok D20-125 mm, sedangkan kebutuhan tulangan geser D10-550 mm dan tulangan susut 20-D10. Untuk pelat kaki pondasi didapat hasil kebutuhan tulangan pokok D20-125 mm, sedangkan kebutuhan tulangan geser D10-600 mm dan tulangan susut 17-D10.

Dengan menggunakan aplikasi *geoslope* ditambahkan beban gempa sehingga dihasilkan faktor keamanan sebesar 2,1. Kemudian dari hasil analisis Eksternal geotekstil dipertimbangkan beban gempa yang dapat terjadi sehingga didapat faktor keamanan geotekstil dari penggulingan senilai 2,12, faktor keamanan dari pergeseran senilai 2,1 dan faktor keamanan terhadap keruntuhan daya dukung tanah senilai 4,5. Sedangkan dari analisis internal yang dilakukan terhadap geotekstil didapat panjang geotekstil (L) sebesar 3m, panjang lipatan (Lo) sebesar 1m serta jarak antara geotekstil (Sv) 0,4 m. Dari hasil analisis dengan menggunakan aplikasi *geoslope* dengan penambahan beban gempa didapatkan faktor keamanan senilai 1,77.

### **2.1.3 Perkuatan pada Lereng Timbunan Badan Jalan**

Gati (2018) melakukan penelitian dengan judul 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). Penelitian ini membahas bahwasannya suatu tanah yang mengalami penimbunan didalamnya akan terjadi sebuah perubahan tegangan sehingga tanah dapat terdeformasi sehingga tanah menjadi kurang stabil. Pekerjaan timbunan dilakukan untuk membentuk sebuah jalan, selain itu juga bisa dilakukan sebuah pekerjaan pengupasan tanah. Sebuah pekerjaan timbunan akan membentuk sebuah lereng baru, untuk menjaga kestabilan lereng maka perlu dilakukan analisis terhadap lereng tersebut.

Berbagai metode dapat digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng diantaranya menggunakan bantuan *software* geoteknik bernama PLAXIS yang operasinya menggunakan metode elemen hingga. Penelitian yang dilakukan dengan memodelkan beberapa variasi tinggi timbunan dengan diberi perkuatan sehingga dapat diketahui *safety factor* yang sesuai syarat menggunakan *software* PLAXIS 8.5. Kemudian untuk dapat mengetahui *safety factor* lereng timbunan tanah asli maka dilakukan perhitungan dengan metode irisan.

Dari evaluasi kestabilan lereng yang telah dilakukan terhadap timbunan jalan yang diperkuat dengan geotekstil, diperoleh hasil bahwa faktor keamanan masih dalam kisaran yang dianggap aman. Namun, saat konstruksi tanpa beban gempa, timbunan tanah dengan ketebalan 3 meter menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 1,5573, sedangkan saat diberi beban gempa, nilainya menurun menjadi 1,5276. Setelah konstruksi selesai dan tanpa beban gempa, faktor keamanannya adalah 1,3251, dan saat diberi beban gempa, nilainya menjadi 1,3198. Tanah setebal 5 meter selama konstruksi, tanpa mempertimbangkan beban gempa, memiliki faktor keamanan sebesar 1,2631, yang meningkat menjadi 1,2681 saat diberi beban gempa. Sementara itu, timbunan tanah setinggi 8 meter memiliki faktor keamanan awal sebesar 1,2943, yang kemudian berkurang menjadi 1,2893 saat terkena beban gempa. Dengan demikian, keselamatan struktur ini dapat dianggap terjamin. Hasil analisis penurunan timbunan menunjukkan bahwa dengan peningkatan kualitas pemodelan, penurunan selama periode 200 hari akan menjadi lebih rendah. Selain itu, semakin tinggi timbunan yang dibangun, penurunannya akan semakin signifikan.

#### **2.1.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Program Plaxis dan Metode Fellenius**

Lembang (2021) sudah melakukan penelitian berjudul Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus di Jalan Tol Ngawi – Kertosono Sta. 132+750). Dalam studi ini dibahas bahwa Jalan tol Ngawi-Kertosono terletak di daerah yang memiliki topografi berbukit dan lereng yang curam, sehingga diperlukan pemotongan lereng untuk mencapai elevasi yang telah direncanakan. Secara geoteknik, daerah tersebut terdiri dari lapisan tanah berbutir halus di permukaan yang diikuti oleh lapisan tanah pasir di bagian bawah.

Perhitungan metode elemen hingga menggunakan program PLAXIS 8.6 dapat dilakukan untuk menganalisis kestabilan lereng. Penelitian yang dilakukan menggunakan variasi sudut lereng asli 46 serta digunakan juga variasi lereng geometri baru dengan sudut 61. Geotekstil *woven* UW-250 yang digunakan untuk memperkuat lereng diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul.

Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan pemodelan lereng asli tanpa diberi perkuatan didapatkan angka SF senilai 0,9675 dengan menggunakan perhitungan manual (Fellenius) dikarenakan apabila menggunakan PLAXIS hasil nilai SF tidak dapat ditampilkan. Pada desain geometri baru dengan variasi sudut kemiringan lereng sebesar 61° tanpa diberi perkuatan diperoleh hasil nilai SF sebesar 0,9541 menggunakan metode manual (Fellenius). Kemudian untuk lereng asli yang telah diganti dengan tanah timbunan dan diberi perkuatan dapat diperoleh nilai SF senilai 1,306 akibat adanya beban struktur dan 1,3679 akibat beban gempa, sementara untuk hasil penurunan yang terjadi selama 365 hari sebesar 0,0002626 meter. Pada lereng geometri baru dengan sudut 61° yang diberi perkuatan diperoleh nilai sebesar 1,2913 akibat faktor beban struktur dan akibat beban gempa sebesar 1,2902, serta hasil penurunan yang terjadi selama 365 hari adalah 0,0004088 meter.

## **2.2 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	Setiawan (2019)	Prabowo (2019)	Gati (2018)	Lembang (2021)	Bahalwan (2018)	Pratama (2021)	
<b>Judul Penelitian</b>	Perencanaan Ulang Perkuatan Tanah Tebing Kali Code Menggunakan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever dan Geotekstil (Studi Kasus Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis).	Analisis Stabilitas Lereng Pada Ruas Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus Pada Ruas Jalan Tol Ngawi – Caruban Sta. 128+850, Proyek Jalan Tol Ngawi-Kertosono).	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 Geotekstil menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus di Jalan Tol Ngawi – Kertosono Sta. 132+750).	Analisis.Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil pada Lereng (Studi Kasus Pada Jalan Tol Semarang – Solo Sta. 2+200).	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Berjenjang Tipe <i>Concrete Cantilever</i> menggunakan Program PLAXIS 8.6 (Studi Kasus di Pasaman, Padang, Sumatera Barat).	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil menggunakan Metode Keseimbangan Batas dan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus Pada Jalan Lintas Selatan Ruas Planjan-Baron-Tepus)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Sekarang Dilakukan

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Setiawan (2019)	Prabowo (2019)	Gati (2018)	Lembang (2021)	Bahalwan (2018)	Pratama (2021)	
<b>Tujuan Penelitian</b>	Melakukan desain perkuatan tanah menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever dan geotekstil, serta mendapatkan nilai kekuatan lereng sebelum dan sesudah di <i>redesign</i> dengan perkuatan tersebut.	Mencari <i>safety factor</i> untuk lereng asli dan lereng geometri yang baru, termasuk tanah asli dan tanah timbunan, baik dengan atau tanpa penggunaan perkuatan geotekstil, serta dengan atau tanpa beban gempa. Angka keamanan dihitung menggunakan perangkat lunak PLAXIS versi 8.2.	Untuk memperoleh faktor keamanan timbunan di badan jalan, diambil langkah penggantian tanah dan penguatan dengan geotekstil. Variasi timbunan digunakan 3 meter, 5 meter, dan 8 meter, selain itu juga dilakukan analisis penurunan (konsolidasi) pada tanah tersebut.	Mengetahui angka aman ( <i>safety factor</i> ) serta besar penurunan tanah lereng asli dan lereng dengan geometri baru dengan variasi sudut 46 dan 61, dengan atau tanpa perkuatan geotekstil. Pengkajian perhitungan yang dilakukan secara manual dan juga dengan menggunakan perangkat lunak PLAXIS.	Memahami nilai stabilitas lereng tanpa penguatan dan dengan penguatan menggunakan geotekstil melalui aplikasi PLAXIS versi 8.2 dengan pendekatan model 2D.	Mencari angka aman (SF) dan penurunan akibat konsolidasi pada lereng tanah sebelum dan setelah diperkuat dengan dinding penahan tanah berjenjang tipe kantilever. Serta merencanakan dimensi dinding penahan tanah tersebut.	Mendapatkan nilai angka aman dari lereng sebelum dan sesudah diberi perkuatan dengan geotekstil. Serta mengetahui besar penurunan tanah, pergerakan tanah, dan potensi kelongsoran tanah menggunakan program PLAXIS versi 22.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Sekarang Dilakukan

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Setiawan (2019)	Prabowo (2019)	Gati (2018)	Lembang (2021)	Bahalwan (2018)	Pratama (2021)	
<b>Metode Penelitian</b>	Studi literature, pengumpulan data, pemodelan lereng, analisis perhitungan secara manual dan dengan <i>software</i> geoslope.	Menganalisis stabilitas lereng tanpa penguatan dan dengan penguatan geotekstil menggunakan perangkat lunak PLAXIS 8.2, serta membandingkan faktor keamanan antara lereng asli tanpa penguatan dan yang diperkuat dengan geotekstil..	Pengumpulan data, pemodelan desain potongan.timbunan badan.jalan,.tahap pengolahan.data dan.analisis stabilitas timbunan menggunakan <i>software</i> PLAXIS v8.5, pembahasan dan penarikan kesimpulan.	Menelaah kestabilan lereng dengan atau tanpa tekanan gempa memanfaatkan aplikasi PLAXIS versi 8.6, sambil menghitung nilai keamanan untuk kondisi awal lereng serta setelah diperkuat dengan geotekstil.	Menganalisis kestabilan lereng dengan dan tanpa beban gempa menggunakan aplikasi PLAXIS versi 8.2.	Studi literatur perkuatan lereng, pengumpulan data, perancangan dimensi dinding penahan tanah, analisis DPT dan stabilitas tanah lereng secara manual dan menggunakan program PLAXIS, penarikan kesimpulan.	Menghimpun data penelitian, seperti data tanah di lapangan dan di laboratorium, kemudian dianalisis secara manual serta menggunakan PLAXIS. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan angka yang menunjukkan keamanan lereng.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Sekarang Dilakukan

Peneliti	Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
	Setiawan (2019)	Prabowo (2019)	Gati (2018)	Lembang (2021)	Bahalwan (2018)	Pratama (2021)	
<b>Hasil Penelitian</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Didapatkan desain DPT dengan tinggi vertikal 4 m dan lebar 0,8 m, tinggi plat kaki pondasi 1,3 m dan lebar plat kaki pondasi 3,5 m. Digunakan tulangan pokok pada dinding vertikal D20-125 mm, tulangan sengkang D10-550 mm, dan tulangan susut</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Angka keselamatan pada lereng alami tanpa beban gempa adalah 1,328, sedangkan dengan beban gempa menjadi 1,331.</li> <li>- Tanah asli dengan lereng pada sudut 76 derajat mengalami keruntuhan tanpa penggunaan geotekstil pada tanah timbunan.</li> <li>- Lereng dengan kemiringan 76</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanah asli di lereng timbunan jalan mengalami keruntuhan.</li> <li>- Lereng timbunan badan jalan dengan <i>replacement</i> tanpa dan dengan beban gempa pada saat dan pasca konstruksi mengalami <i>collapse</i>.</li> <li>- Lereng pada timbunan badan jalan dengan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lereng asli sudut 46 <i>collapse</i>.</li> <li>- Lereng asli sudut 46 dengan geotekstil menggunakan tanah timbunan 12,5 m nilai SF 1,3679 akibat beban struktur, dan 1,3608 akibat beban struktur dan beban gempa.</li> <li>- Pada uji penurunan 365 hari lereng asli sudut 46 lereng <i>collapse</i>. Lereng</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Didapatkan angka aman untuk lereng menggunakan program PLAXIS akibat beban sendiri, beban kendaraan, dan beban gempa tanpa kekuatan tidak memenuhi syarat &lt; 1,5.</li> <li>- Angka keamanan yang terpenuhi untuk lereng didapat dengan menggunakan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisis lereng eksisting dengan program PLAXIS didapat SF tidak memenuhi syarat &lt;1,5 pada keadaan diberi beban perkerasan dan tanpa beban perkerasan.</li> <li>- Faktor keamanan pada lereng kondisi normal dan ekstrem sebelum diperkuat &lt; 1,5, kondisi normal dan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desain kekuatan lereng menggunakan geotekstil</li> <li>- Angka aman lereng asli dan lereng yang sudah diperkuat</li> <li>- Besar penurunan tanah, arah pergerakan tanah, dan potensi kelongsoran tanah yang terjadi pada lereng asli tanpa kekuatan dan menggunakan</li> </ul>

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Setiawan (2019)	Prabowo (2019)	Gati (2018)	Lembang (2021)	Bahalwan (2018)	Pratama (2021)	
<b>Hasil Penelitian</b>	20-D10. Pada Pelat kaki pondasi digunakan tulangan pokok D20-125 mm, tulangan sengkang D10-600 mm dan tulangan susut 17-D10. Desain untuk geotekstil digunakan panjang (L) 3 m, panjang lipatan di atas geotekstil (Lo) 1 m, dan jarak vertikal	derajat yang diperkuat oleh geotekstil memiliki keamanan sebesar 1,737 tanpa beban gempa, sedangkan keamanannya adalah 1,350 dengan beban gempa. - Lereng geometri 76 derajat dengan geotekstil dapat diaplikasikan di lapangan.	perkuatan geotekstil 1-2 lapis dengan dan tanpa beban gempa mengalami <i>collapse</i> . - faktor aman telah terpenuhi pada stabilitas tanah timbunan badan jalan melalui penguatan menggunakan geotekstil tetapi dengan <i>replacement</i> dan geotekstil penuh,	perkuatan sudut 46 mengalami penurunan uji 1 tahun, mengalami peningkatan uji 2 tahun, dan relatif stabil uji 10 tahun. - Lereng geometri baru sudut 61 dengan tanah dasar asli dan tanah timbunan tanpa perkuatan terjadi <i>collapse</i> . - Lereng geometri baru sudut 61 dengan geotekstil menggunakan	perkuatan geotekstil dalam program PLAXIS karena beban sendiri, beban kendaraan, dan beban gempa, semuanya memenuhi persyaratan angka keamanan yang lebih besar dari 1,5.	ekstrem setelah diperkuat SF >1,5, serta pada kondisi normal dan ekstrem SF gempa < 1,5 setelah diperkuat. - Penurunan tanah akibat konsolidasi terjadi di kondisi normal/ekstrem sebelum diperkuat dan setelah diperkuat. - Stabilitas eksternal pada DPT tipe kantilever (cek SF terhadap stabilitas	perkuatan geotekstil.

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Setiawan (2019)	Prabowo (2019)	Gati (2018)	Lembang (2021)	Bahalwan (2018)	Pratama (2021)	
<b>Hasil Penelitian</b>	<p>antar geotekstil 0,4 m.</p> <p>- Didapatkan SF alami lereng 1,044. Setelah diberi perkatan DPT kantilever didapat SF 1,542 dan dengan kekuatan geotekstil didapatkan SF 1,504.</p>		<p>serta penambahan <i>counterweight</i> ukuran 3x1.</p> <p>- Semakin bervariasi pemodelan, penurunan tanah semakin berkurang, sementara semakin tinggi timbunan penurunan akan lebih besar.</p>	<p>tanah timbunan didapat SF 1,2913 akibat beban struktur dan 1,2902 akibat beban struktur dan beban gempa.</p> <p>- Lereng geometri baru dengan kekuatan sudut 46 terjadi penurunan t pada uji 1 tahun, 2 tahun, dan relatif stabil uji 10 tahun.</p>		<p>geser &gt; 2, stabilitas guling &gt; 2, dan kapasitas dukung &gt; 3) memenuhi syarat.</p> <p>- Didapat tulangan pokok, geser, horizontal/bagi, untuk dinding vertikal &amp; telapak melalui hitungan kebutuhan penulangan standar.</p>	

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tanah**

##### **3.1.1 Pengertian Umum**

Secara keseluruhan, konsep tanah dapat dipahami sebagai sebuah himpunan dari berbagai mineral, bahan organik, maupun endapan-endapan yang ikatan antar partikelnya relatif lepas (*loose*) yang terletak diatas suatu batuan dasar didalam bumi (*bedrock*) (Hardiyatmo, 1992). Tanah membagi bahan-bahan yang menyusun kerak bumi secara garis besar menjadi dua kategori: tanah (*soil*) dan batuan (*rock*), sedangkan batuan merupakan agregat mineral yang satu sama lainnya diikat oleh gaya -gaya kohesif yang permanen dan kuat (Terzaghi dkk, 1996).

Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Pembentukan tanah dari batuan asalnya dapat terjadi melalui berbagai proses fisika dan kimia. Proses fisika mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, disebabkan oleh faktor seperti erosi, angin, air, es, aktivitas manusia, atau fluktuasi suhu dan cuaca. Partikel-partikel ini dapat memiliki berbagai bentuk, mulai dari bulat hingga bergerigi. Sementara itu, pelapukan secara kimia terjadi karena pengaruh oksigen, karbondioksida, air yang mengandung asam atau alkali, dan proses kimia lainnya. Tanah yang hasil pelapukannya tetap berada di tempat asal disebut tanah residual, sedangkan yang terbawa oleh aliran atau transportasi disebut tanah terangkut (Hardiyatmo, 2006).

Tanah selalu berperan pada setiap pekerjaan teknik sipil. Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan, atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti tanggul atau bendung, atau terkadang sebagai sumber penyebab gaya luar pada bangunan seperti tembok atau dinding penahan tanah. Sehingga dalam perencanaan konstruksi kita harus memperhatikan struktur tanah, bentuk, ukuran dan komposisi mineral dari butiran tanah serta sifat dan komposisi dari air tanah.

Struktur tanah adalah suatu sifat yang menghasilkan respon terhadap perubahan eksternal didalam lingkungan seperti beban, air, temperatur dan faktor-faktor lainnya. Secara umum struktur tanah dapat dimasukkan dalam dua kelompok yaitu tanah tak kohesi (*cohesionless soil*) dan tanah kohesif (*cohesive soil*) (Das, 1995).

Partikel-partikel mineral yang membentuk bagian padat dari tanah merupakan hasil dari proses pelapukan batuan. Dimensi dari setiap partikel padat tersebut sangat beragam, dan sifat fisik tanah banyak ditentukan oleh faktor-faktor seperti dimensi, bentuk, dan komposisi kimia partikel tersebut (Das, 1995). Istilah seperti pasir, lempung, lanau, atau lumpur sering digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel tanah dengan batasan yang telah ditetapkan. Namun, istilah tersebut juga sering dipakai untuk merujuk pada sifat-sifat khusus dari tanah. Sebagai contoh, lempung mengacu pada tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedangkan pasir biasanya merujuk pada tanah yang tidak bersifat kohesif dan plastis (Hardiyatmo, 2006).

Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai/lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan (Craig, 1987). Tanah dalam pengertian teknik secara umum didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel pada tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, di samping itu tanah juga berfungsi sebagai pendukung dari bangunan (Das, 1995).

Menurut Bowles (1984), tanah didefinisikan sebagai kombinasi partikel yang mungkin terdiri dari satu atau lebih jenisnya sebagai berikut ini.

- a. Berangkal (*boulders*) merupakan fragmen batuan yang memiliki ukuran besar, sering kali melebihi 250 hingga 300 mm, sedangkan bagi fragmen dengan ukuran antara 150 mm hingga 250 mm, dikenal sebagai kerakal (*cobbles/pebbles*).
- b. Kerikil (*gravel*) merupakan fragmen batuan dengan ukuran antara 5 mm hingga 150 mm.

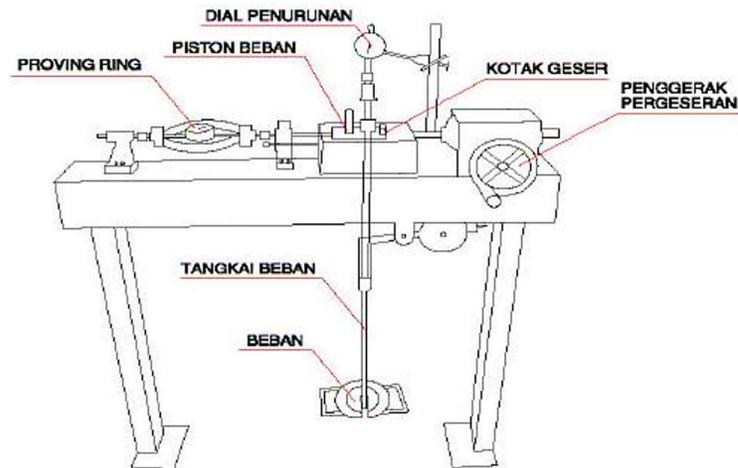
- c. Pasir (*sand*) adalah butiran-butiran batuan dengan diameter antara 0,074 mm hingga 5 mm, mulai dari yang berukuran kasar dengan ukuran 3 mm hingga 5 mm, hingga yang halus dengan ukuran kurang dari (<) 1 mm.
- d. Lanau (*silt*) merupakan butiran mineral dengan ukuran antara 0,002 hingga 0,0074 mm.
- e. Lempung (*clay*) yang merupakan partikel mineral dengan ukuran kurang dari 0,002 mm, merupakan faktor utama dalam menyebabkan tanah yang bersifat kohesif memiliki kohesi.
- f. Koloid (*colloids*) merupakan partikel mineral yang memiliki ukuran sangat kecil dan tidak aktif, dengan dimensi kurang dari 0,001 milimeter..

### 3.1.2 Penyelidikan Tanah

Dalam fase awal desain konstruksi awal sipil diperlukan penyelidikan tanah, misal seperti sebuah perencanaan pondasi, timbunan yang dipadatkan, bendungan maupun penyelidikan untuk stabilitas suatu lereng. Sebuah pekerjaan penyelidikan tanah mempunyai maksud untuk mendapatkan data teknis maupun parameter tanah yang akan digunakan sebagai tolak ukur desain karena mewakili kondisi tanah yang dijadikan *site plan*. Tujuan utama dari penyelidikan tanah adalah:

1. sebagai penentuan kondisi alamiah dari lapisan-lapisan tanah di lokasi yang ditinjau,
2. mendapatkan contoh tanah asli (*undisturbed*) dan tidak asli (*disturbed*),
3. menentukan kedalaman lapisan tanah keras,
4. melakukan uji lapangan (*in-situ field test*), dan
5. mempelajari kemungkinan timbulnya masalah perilaku bangunan yang sudah ada di sekitar lokasi yang ditinjau.

Penyelidikan tanah yang sudah dihasilkan akan dipilih alternatif atau jenis konstruksi yang digunakan, kedalaman pondasi serta konstruksi yang paling ekonomis dan aman. Gambar 3.1 dibawah ini merupakan salah satu penyelidikan tanah di laboratorium.



**Gambar 3.1 Skema Alat Uji Geser Langsung**  
(Sumber: SNI 3420, 2016)

Menurut Hardiyatmo (2010), penyelidikan tanah secara menyeluruh yang melibatkan pengambilan sampel tanah di lapangan dan pengujian di laboratorium selalu merupakan langkah penting dalam investigasi tanah untuk proyek-proyek besar seperti gedung bertingkat, jembatan, bendungan, bangunan industri, dan lain-lain.

Sebelum langkah-langkah perencanaan untuk menjaga kestabilan lereng dilakukan, maka perlu dilakukan penyelidikan tanah dengan tahapan meliputi:

1. pelaksanaan pengecoran atau penggalian lubang pemeriksaan,
2. pengumpulan sampel tanah (*sampling*),
3. pengujian sampel tanah baik dilakukan di dalam laboratorium maupun di lapangan, dan
4. analisis data uji tanah guna meningkatkan kestabilan lereng.

Untuk mendapatkan tingkat ketelitian yang diinginkan, pengambilan sampel tanah dilakukan pada interval kedalaman sekitar 0,75-3 meter dengan hati-hati menggunakan tabung sampel tanah (terutama untuk sampel tanah tidak terganggu) yang ditekan dan dipasang pada ujung batang bor. Saat proses pengeboran berlangsung, sampel tanah dapat diperiksa di dalam pipa bor yang ditarik ke permukaan. Jika terjadi perubahan jenis tanah, tambahan sampel tanah diambil. Kadang-kadang, untuk lapisan-lapisan yang penting dalam mengetahui

karakteristik tanah, pengambilan sampel kontinu (*continuous sampling*) diperlukan. Ketika pengeboran mencapai lapisan batuan, sampel inti batuan (*rockdover*) diambil menggunakan alat bor putar (*rotary drill*).

### 3.1.3 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi merupakan suatu sistem yang mengatur kelompok tanah yang berbeda-beda namun memiliki sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi digunakan untuk menjelaskan mengenai sifat-sifat umum tanah yang memiliki variasi sangat banyak. Sistem Klasifikasi yang sudah ada kemudian dikembangkan berdasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana (Das, 1995).

#### 1. Sistem Klasifikasi AASHTO

Pada tahun 1929 sistem klasifikasi dikembangkan sebagai publik *Road Administration Classification System*. Dalam sistem ini terdapat pengklasifikasian tanah menjadi 7 kelompok besar yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-1, dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Kemudian tanah yang lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 masuk dalam klasifikasi ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7 yang sebagian adalah tanah lanau dan lempung. Pengklasifikasian sistem AASHTO dapat dilihat pada tabel 3.1 di bawah.

**Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO**

Klasifikasi umum	Material granular ( $< 35\%$ lolos saringan no. 200)							Tanah-tanah lanau-lempung ( $< 35\%$ lolos saringan no.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	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	

**Lanjutan Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO**

Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik	Sedang sampai buruk
<p>Catatan:</p> <p>Kelompok A-7 dibagi atas A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)</p> <p>Untuk <math>PL &gt; 30</math>, klasifikasinya A-7-5</p> <p>Untuk <math>PL &lt; 30</math>, klasifikasinya A-7-6</p> <p>Np = Non plastis</p>		

Sumber: Hardiyatmo (2014)

## 2. Klasifikasi Tanah Sistem Unified

Tanah dikategorikan sebagai jenis tanah berbutir kasar (seperti kerikil dan pasir) jika lebih dari setengahnya tidak dapat melewati saringan nomor 200 pada sistem Unified. Setelah itu, berbagai jenis tanah tersebut dikelompokkan dan diurutkan dalam tabel klasifikasi, termasuk kelompok dan sub kelompok yang dapat ditemukan di Tabel 3.2 Simbol-simbol yang digunakan dalam klasifikasi tabel antara lain:

G = kerikil (*gravel*),

S = pasir (*sand*),

C = lempung (*clay*),

M = lanau (*silt*),

O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*),

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

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

P = gradasi buruk (*poorly graded*),

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

L = plastisitas rendah (*low plasticity*).

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah Sistem Unified adalah sebagai berikut.

- a. Menentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200.
- b. Apabila tanah berupa butiran kasar langkah-langkahnya sebagai berikut.
  - 1) Menyaring tanah tersebut dan buatlah grafik yang menunjukkan distribusinya.
  - 2) Mengidentifikasi jumlah partikel yang melewati saringan nomor. Jika persentase partikel yang lolos di bawah 50%, dianggap sebagai kerikil. Namun, jika persentase partikel yang lolos lebih dari 50%, dianggap sebagai pasir.
  - 3) Menentukan jumlah partikel yang melewati saringan nomor 200, perhatikan jika persentase partikel yang lulus kurang dari 5%. Untuk ini, pertimbangkan grafik distribusi partikel dengan menghitung  $C_u$  dan  $C_c$ .

Jika distribusi partikel menunjukkan gradasi yang baik, kategorikan sebagai GW (untuk kerikil) atau SW (untuk pasir). Namun, jika distribusinya buruk, kategorikan sebagai GP (untuk kerikil) atau SP (untuk pasir). Apabila persentase partikel tanah yang lulus saringan nomor 200 berada di antara 5 hingga 12%, tanah akan ditandai dengan simbol ganda dan akan menunjukkan sifat keplastisan (misalnya GW - GM, SW - SM, dsb.).

- 4) Apabila persentase partikel yang melewati saringan nomor 200 melebihi 12%, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian batas *Atterberg*. Langkah pertama adalah memisahkan partikel tanah yang tersisa dalam saringan nomor 40. Setelah itu, klasifikasi tanah dapat ditentukan menggunakan diagram plastisitas, yang mencakup klasifikasi seperti GM, GC, SM, SC, GM - GC, atau SM - SC.

c. Apabila tanah memiliki partikel yang halus memiliki prosedur berikut ini.

- 1) Mengeluarkan partikel tanah yang tersisa di dalam saringan nomor 40. Jika kadar air melebihi 50, akan digolongkan sebagai H (plastisitas tinggi), dan jika kurang dari 50, akan digolongkan sebagai L (plastisitas rendah).
- 2) Untuk nilai H (plastisitas tinggi), bila titik-titik batas *Atterberg* dalam diagram plastisitas berada di bawah kurva A, identifikasi apakah tanah tersebut termasuk kategori organik (OH) atau anorganik (MH). Jika titik-titik berada tepat pada kurva A, klasifikasikan sebagai CH.
- 3) Untuk nilai L yang rendah plastisitasnya, dalam grafik plastisitas jika titik-titik batas *Atterberg* terletak di bawah garis A dan area yang diarsir, penentuan apakah tanah tersebut organik (OL) atau anorganik (ML) dapat dilakukan dengan memperhatikan ciri-ciri seperti warna, aroma, atau perubahan pada batas cair dan batas plastisnya yang diamati melalui proses pengeringan di dalam oven.
- 4) Apabila titik-titik plot batas-batas *Atterberg* berada di dalam wilayah yang diarsir, berdekatan dengan garis A atau mendekati nilai LL sekitar 50 pada grafik plastisitas, gunakan simbol 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 50% Lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Pasir 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
		Pasir banyak kandungan butiran halus	SM Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC Pasir berlempung, campuran pasir-lempung

Lanjutan Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Sistem Unifield

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama Jenis
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 organik 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 organik 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.

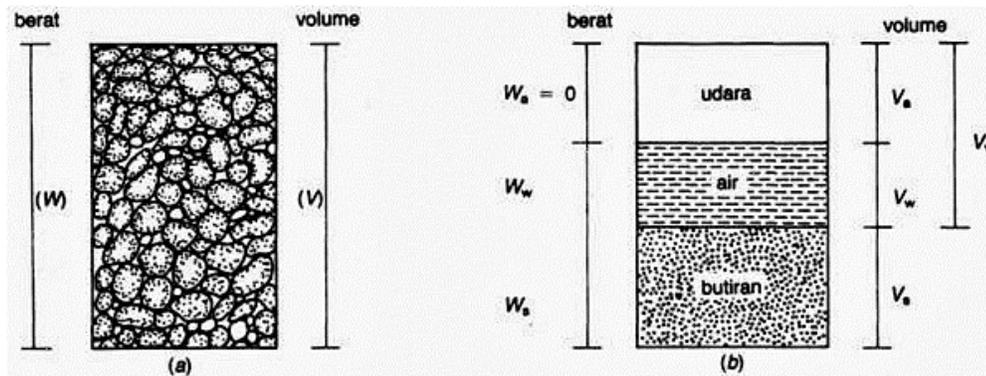
**Tabel 3.3 Klasifikasi Tanah Sistem USCS**

Klasifikasi Umum		Symbol klasifikasi	Nama Jenis	Kriteria klasifikasi			
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50 % tertahan pada ayakan 75 $\mu$	50% atau lebih bagian kasar dari butiran kasar tertahan pada saringan 4.76 mm	Kerikil Bersih	GW	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, campuran kerikil dan pasir sedikit atau tanpa butiran halus	$U_c = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 4 $U_c' = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ bernilai antara 1 - 3  Tidak sesuai dengan kriteria GW		
			GP	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, campuran kerikil dan pasir sedikit atau tanpa butiran halus			
		Kerikil Berbutir butiran halus	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 diarsirdani diagram dibawah 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 kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus	$U_c = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 6 $U_c' = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ bernilai antara 1 - 3  Tidak sesuai dengan kriteria SW		
			SP	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus			
		Pasir berbutir butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau		Batas Atterberg terletak dibawah garis A atau Index plastisitas < dari 4 Batas Atterberg terletak diatas garis A dan Index Plastisitas > 7	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung			
		Tanah berbutir kasar, lebih dari 50 % lolos pada ayakan 75 $\mu$	Lanau dan lempung LL $\leq$ 50	ML		Lanau inorganik, pasir sangat halus, debu padas, pasir halus berlanau atau berlempung	<p>Diagram plastisitas untuk mengklarifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah (4 - 7 atau CL - ML) berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol</p>
				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			

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

### 3.1.4 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), sebuah massa tanah biasanya terbagi menjadi dua atau tiga bagian. Suatu tanah yang kering didalamnya terdapat dua bagian, yaitu butiran tanah dan pori-pori udara. Kemudian pada tanah jenuh juga terdiri dari dua bagian padat atau butiran dan air pori. Pada saat keadaan yang tidak jenuh didalam tanah terdapat tiga bagian, yaitu padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Elemen tanah yang terdiri dari volume  $V$  dan berat total  $W$  merupakan bagian-bagian tanah yang bisa digambarkan dalam bentuk diagram fase seperti pada Gambar 3.2 berikut.



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

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

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

dan

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

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

dengan:

$W_s$  = Berat butiran padat

$W_w$  = Berat air

$V_s$  = Volume butiran padat

$V_w$  = volume air

$V_a$  = volume udara

### 1. Berat Volume Lembab atau Basah ( $\gamma_b$ )

Berat volume lembab atau basah ( $\gamma_b$ ) adalah rasio antara berat butiran tanah yang mencakup air dan udara ( $W$ ) dengan total volume tanah ( $V$ ) (lihat Persamaan 3.4).

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

dengan:

$W = W_w + W_s + W_a$  ( $W_a = 0$ ), bila ruangan udaranya sudah terisi air sepenuhnya ( $V_a = 0$ ), maka tanah menjadi jenuh.

### 2. Berat volume jenuh air ( $\gamma_{sat}$ )

Berat volume jenuh air ( $\gamma_{sat}$ ), ( $S = 100\%$ ) (lihat Persamaan 3.5).

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s + e)}{1 + e} \quad (3.5)$$

### 3. Modulus Young

Elastisitas tanah dapat diketahui dari modulus Young, yang mengukur hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi pada tanah. Secara umum, pengujian kondisi *undrained* triaksial dilakukan untuk mengukur modulus elastisitas ( $E$ ). Nilai  $E$  dapat dihitung melalui pendekatan kemiringan kurva tegangan-regangan yang diperoleh pada titik setengah dari beban aksial ultimit. Angka Poisson ( $\nu$ ) diperoleh melalui pengukuran deformasi kompresi aksial dan lateral selama pengujian triaksial. Nilai Modulus Elastisitas ( $E_s$ ) dapat diperoleh secara empiris dari data sondir tanah sesuai dengan yang tercantum dalam Tabel 3.4. Untuk memperoleh tanah berbutir halus seperti pasir, modulus elastisitas bisa dihitung melalui pengujian triaksial. Hubungan modulus elastisitas ( $E$ ) diketahui berkaitan dengan  $(\sigma_0)^n$  dimana  $\sigma_0$  adalah tekanan kekang hidrostatik,

dan nilai  $n$  mendekati 0,5. Informasi mengenai nilai-nilai modulus elastisitas ( $E$ ) dan angka Poisson ( $\nu$ ) yang diperkirakan untuk berbagai jenis tanah dapat ditemukan dalam tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Perkiraan Modulus Elastis**

Macam Tanah	$E$ ( $\text{kN/m}^2$ )
<b>LEMPUNG</b>	
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
<b>PASIR</b>	
Berlanau	5.000-20.000
Tidak padat	10.000-25.000
Padat	50.000-100.000
<b>PASIR DAN KERIKIL</b>	
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

Sumberi: Bowles (1977)

Variabel  $E$  yang digunakan dalam Persamaan (3.6) adalah salah satu dari beberapa nilai yang disarankan oleh peneliti lain. De Beer (1965) melakukan uji kerucut statis (sondir) dan menemukan korelasi antara tahanan kerucut  $q_c$  dan  $E$ , seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan (3.6).

$$E = 2 q_c \quad (3.6)$$

Dengan  $q_c$  dalam satuan  $\text{kg/cm}^2$ , Bowles (1977) menyarankan rumus

yang berasal dari pengumpulan data uji kerucut statis (sondir), sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan (3.7) dan (3.8), sebagai berikut.

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

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

Dari hasil uji SPT dapat pula diperoleh nilai perkiraan modulus elastis. Nilai modulus elastis yang dihubungkan dengan hasil SPT telah diajukan oleh Mitchell dan Gardner pada tahun 1975, sebagaimana tercantum dalam Persamaan (3.9) dan (3.10).

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

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

Berdasarkan pendekatan hubungan antara nilai N dari uji SPT dan tahanan konus yang diusulkan oleh Meyerhof pada tahun 1956, nilai  $q_c$  dapat dihitung menggunakan rumus seperti yang tercantum dalam Persamaan (3.11).

$$q_c = 4N \quad (3.11)$$

#### 4. *Poisson Ratio* ( $\nu$ )

Koefisien Poisson ( $\nu$ ) adalah hasil dari perbandingan antara perubahan volume kompresi terhadap perubahan regangan lateral. Nilai Poisson dapat diidentifikasi berdasarkan karakteristik tanah, seperti yang tercantum dalam Tabel 3.5.

**Tabel 3.5 Nilai *Poisson Ratio***

<b>Macam Tanah</b>	<b><math>\nu</math></b>
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

**Lanjutan Tabel 3.5 Nilai *Poisson Ratio***

Batu	0,10 – 0,40
Loesss	0,10 – 0,30
Beton	0,15

Sumber: Bowles (1977)

#### 5. Kohesi

Kohesi didefinisikan sebagai gaya tarik antar partikel tanah. Selain sudut geser dalam, kohesi juga merupakan parameter kuat geser tanah yang akan menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan tanah secara lateral. Keuda nilai ini dapat diketahui dengan melakukan pengujian *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*.

#### 6. Kuat Geser Tanah

Menurut Hardiyatmo (2014) dalam analisis sebuah kapasitas dukungan tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah dibutuhkan sebuah parameter kuat geser tanah. Menurut teori yang diajukan oleh Moch pada tahun 1910, ketika tegangan normal dan tegangan geser berada pada titik kritis yang berpadu, itu akan mengakibatkan kegagalan materi. Hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser pada saat material runtuh dinyatakan oleh Persamaan (3.12).

$$\tau_i = f . (\sigma) \quad (3.12)$$

Dengan  $\tau$  adalah tegangan geser pada saat kegagalan terjadi, dan  $\sigma$  untuk tegangan normal pada saat tersebut, kurva yang digambarkan dalam Gambar (3.14) mewakili garis kegagalan yang dijelaskan dalam Persamaan (3.13). Kuat geser tanah mengacu pada kekuatan yang ditunjukkan oleh butiran-butiran tanah dalam menahan tekanan atau tarikan. Dengan konsep ini, ketika tanah menerima beban, maka akan bertahan dengan hal berikut.

- a. Kohesi tanah yang tidak dipengaruhi oleh tegangan normal pada bidang gesernya, namun lebih bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, dan

- b. Gesekan yang timbul di antara partikel-partikel tanah, meningkat seiring dengan peningkatan tegangan normal di bidang gesernya. Columb (1776) mendefinisikan  $\tau$  sebagai berikut ini.

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

dengan:

$\tau$  = kuat geser tanah ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$c$  = kohesi tanah ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$\varphi$  = sudut geser dalam tanah atau sudut gesek internal (derajat)

$\sigma$  = tegangan normal pada bidang runtuh ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

Variabel kohesi dan sudut geser dalam memainkan peran penting dalam kekuatan geser tanah. Keduanya merupakan faktor kritis yang berkontribusi pada ketahanan tanah terhadap tegangan lateral, khususnya tekanan lateral tanah. Penilaian nilai ini dapat dilakukan melalui pengukuran *engineering properties* tanah, seperti *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Agar lebih terperinci mengenai korelasi antara sudut geser dalam dan jenis tanah, informasinya dapat ditemukan dalam Tabel 3.6.

**Tabel 3.6 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah**

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

Sumber: Das (1994)

### 3.2 Lereng

Lereng adalah area di mana permukaan tanah miring dan membentuk sudut tertentu dengan bidang datar. Di area di mana ada perbedaan ketinggian tanah, gaya alami akan mendorong tanah yang lebih tinggi ke arah yang lebih rendah. Hal itu merupakan gaya potensial gravitasi yang bisa menyebabkan kelongsoran. Lereng dibagi menjadi dua macam berdasarkan asal pembentukannya yaitu lereng yang terbentuk akibat ulah manusia lereng yang terbentuk oleh alam.

#### 1. Lereng Alam

Perubahan dalam bentuk lahan, arus air bawah tanah, aktivitas gempa bumi, penurunan kekuatan geser, fluktuasi tegangan, dan proses pelapukan dapat menyebabkan lereng alami yang telah mantap selama beberapa tahun menjadi longsor. Peck (1967), seperti yang dikutip oleh Hardiyatmo (2012), mengungkapkan bahwa jika wilayah yang sedang diinvestigasi merupakan zona longsor lama yang telah dianalisis sebelumnya dan mungkin telah mengalami perubahan akibat aktivitas manusia, seperti penggalian di lereng, maka perkiraan tentang stabilitas alam lereng dapat dilakukan dengan efektif. Dengan diketahuinya bidang longsor yang potensial pada lereng di alam, maka kelakuan dari lereng tersebut akan lebih mudah untuk dipahami.

#### 2. Lereng Buatan

Umumnya, lereng buatan manusia dibentuk dengan struktur galian atau timbunan yang kerap dimanfaatkan dalam pembangunan seperti gedung, jalan, tanggul, sungai, lereng, bendungan, dan lain sebagainya.

##### a. Galian

Perencanaan lereng bertujuan untuk menentukan ketinggian dan kecuraman lereng agar dapat mencapai kestabilan dan efisiensi yang optimal. Faktor-faktor seperti geologi, karakteristik material, tingkat air tanah, tekanan air rembesan, dan elemen lainnya akan berpengaruh pada penetapan kedalaman dan kecuraman lereng galian yang direncanakan. (Hardiyatmo, 2012).

##### b. Timbunan

Pada umumnya timbunan dibuat menggunakan tanah-tanah yang sudah dipadatkan. Timbunan yang dimaksud dapat mencakup berbagai jenis, seperti

timbunan untuk badan jalan raya, jalan rel, pengurugan tanah, bendungan, dan tanggul. Karakteristik material di lokasi tempat bahan diambil, seperti penyebaran butiran, kepadatan, kekuatan geser, dan lainnya, akan memiliki dampak signifikan pada sifat teknis bahan yang akan digunakan dalam pembuatan timbunan tersebut.

Menganalisis stabilitas lereng dan galian akan menjadi lebih rumit dan menantang dibandingkan dengan menganalisis stabilitas timbunan. Penyebabnya adalah karena material timbunan berupa tanah memiliki sifat homogen dengan karakteristik mekanis yang sebelumnya telah diidentifikasi melalui pengujian laboratorium (Hardiyatmo, 2012).

### **3.2.1 Penyebab Longsor**

Menurut Hardiyatmo (2014), kemungkinan terjadinya kelongsoran di lereng alam dapat disebabkan oleh faktor-faktor berikut ini.

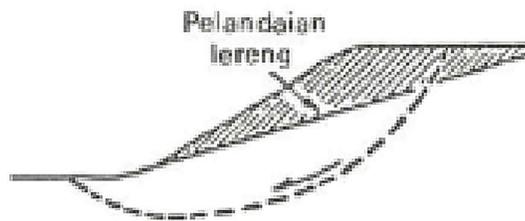
1. Terdapat beban ekstra yang berpengaruh pada lereng, seperti bangunan baru yang dibangun, penambahan beban air yang meresap ke dalam tanah termasuk genangan di permukaan, dan juga tekanan dinamis yang timbul dari tumbuhan yang terkena angin dan faktor-faktor lainnya.
2. Pematangan atau penggalian tanah yang dilakukan di lereng
3. Penggalian tanah yang berpotensi meningkatkan kemiringan lereng dengan lebih signifikan.
4. Perubahan yang cepat dalam level permukaan air, yang dikenal sebagai rapid drawdown, dapat terjadi di berbagai lokasi seperti bendungan, sungai, dan tempat lainnya.
5. Tekanan lateral pada tanah meningkat akibat adanya air yang menekannya dari samping (sebab tanah akan didorong secara lateral oleh air yang memenuhi celah-celahnya).
6. Adanya gempa bumi.
7. Lereng mengalami penurunan karena adanya peningkatan kadar air, tekanan air pori yang meningkat, genangan air di dalam tanah yang menyebabkan tekanan rembesan, dan keberadaan lempung yang mudah mengembang dan menyusut.

### 3.2.2 Stabilitas Lereng

Sebuah pekerjaan yang berhubungan dengan penggalian maupun penimbunan tanah, batuan dan bahan galian membutuhkan sebuah analisis stabilitas lereng karena hal tersebut akan menyangkut keselamatan kerja, keamanan peralatan hingga kelancaran proses produksi. Keadaan yang dimaksud berhubungan dengan berbagai macam pekerjaan diantaranya pembuatan jalan, penggalian untuk konstruksi, penggalian kanal, pembangunan, dan sebagainya.

Dalam sebuah pelaksanaan penambangan permasalahan pada kemantapan lereng akan ditemukan pada proses penggalian tambang terbuka, bendungan untuk mencadangkan air kerja, tempat untuk penimbunan limbah hasil buangan (*tailing disposal*) serta penimbunan bijih (*stockyard*). Apabila terjadi ketidakstabilan pada lereng-lereng yang terbentuk karena akibat adanya penambangan (*pit slope*) maupun pada sarana penunjang operasi penambangan (seperti bendungan, jalan, dan sebagainya), maka hal tersebut dapat mengganggu proses konstruksi.

Ketidakstabilan pada lereng dapat terjadi secara alami, terutama pada lereng yang terbentuk melalui proses penggalian, seperti pada lereng tanggul dan bendungan tanah. Penyebab umumnya melibatkan gaya gravitasi dan rembesan (*seepage*). Analisis mengidentifikasi bahwa jenis keruntuhan lereng yang terjadi adalah kombinasi dari beberapa faktor, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3.3 berikut.



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

Berikut merupakan tabel nilai faktor keamanan pada lereng yang disyaratkan dari SNI 8460-2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik yang tertera pada Tabel 3.7 dibawah ini.

**Tabel 3.7 Nilai Faktor Keamanan pada Lereng**

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah <sup>a</sup>	Tinggi <sup>b</sup>
Biaya perbaikan dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih
<p><sup>a</sup>Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.</p> <p><sup>b</sup>Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak diandalkan.</p>		

(Sumber: SNI Geoteknik, 2017)

### 3.2.3 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Menurut Hardiyatmo (2014), tujuan dari analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor keamanan dari suatu area lereng yang berpotensi longsor. Saat melakukan analisis stabilitas lereng, ada beberapa asumsi yang digunakan diantaranya:

1. kelongsoran di lereng terjadi sepanjang area tertentu pada permukaan bidang longsor dan dianggap sebagai masalah dua dimensi,
2. tanah yang mengalami kelongsoran dianggap sebagai objek yang memiliki massa yang besar
3. kekuatan geser dalam tanah dianggap isotropis karena gaya geser yang terjadi di setiap titik sepanjang bidang longsor tidak terpengaruh oleh orientasi permukaan bidang longsor potensial, dan

4. faktor keamanan bisa dijelaskan dengan mempertimbangkan tegangan geser rata-rata di sepanjang area potensial longsoran dan kekuatan rata-rata tanah di sepanjang permukaan longsoran.

Menurut Hardiyatmo (2014), faktor keselamatan (*safety factor*) adalah rasio antara gaya yang menahan dengan gaya yang mendorong atau menggerakkan suatu objek, yang dijelaskan dalam persamaan (3.14).

$$F = \frac{\tau}{\tau_i} \quad (3.14)$$

dengan:

$\tau$  = Tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$\tau_i$  = Tegangan geser yang terjadi yang disebabkan oleh gaya berat tanah yang akan longsor ( $\text{kN}/\text{m}^2$ ), dan

F = Faktor aman.

Menurut Hardiyatmo (2014), konsep tahanan tegangan geser ( $\tau$ ) yang muncul dari tanah pada permukaan longsoran dapat disajikan dengan Persamaan (3.15) sesuai dengan teori Mohr-Coulumb berikut.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.15)$$

dengan:

$\tau$  = Tegangan geser ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$c$  = Kohesi ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$\varphi$  = Sudut geser dalam tanah (derajat)

$\sigma$  = Tegangan normal ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

Dengan menggunakan cara yang serupa, persamaan untuk tegangan geser yang timbul ( $\tau_d$ ) akibat beban tanah dan beban lain yang bekerja pada bidang longsornya, dapat dipahami dengan melihat Persamaan (3.16) di bawah ini.

$$\tau_d = c_d + \sigma \operatorname{tg} \varphi_d \quad (3.16)$$

dengan:

$\tau_d$  = Tegangan geser ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$c_d$  = Kohesi ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$\varphi_d$  = Sudut geser dalam tanah (derajat)

$\sigma$  = Tegangan normal ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

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

$$F = \frac{c + \sigma \operatorname{tg} \varphi}{c_d + \sigma \operatorname{tg} \varphi_d}$$

$$c_d + \sigma \operatorname{tg} \varphi_d = \frac{c}{F} + \sigma \frac{\operatorname{tg} \varphi}{F} \quad (3.17)$$

Dengan tujuan memberikan keamanan terhadap setiap komponen kuat geser, faktor keamanan yang dimaksud dapat dijelaskan dalam Persamaan 3.18a dan 3.18b berikut.

$$F_c = \frac{c}{c_d} \quad (3.18a)$$

$$F_\varphi = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi_d} \quad (3.18b)$$

keterangan:

$F_c$  = Faktor aman pada komponen kohesi, dan

$F_\varphi$  = Faktor aman pada komponen gesekan.

Keamanan suatu lereng dapat dinilai dengan merujuk pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9, di mana faktor keamanan ini disesuaikan dengan kondisi dan stabilitas lereng terhadap potensi longsor, seperti yang dijelaskan berikut:

**Tabel 3.8 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 3.9 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)

### 3.2.4 Metode Perhitungan Stabilitas Lereng

Apabila bentuk dari permukaan runtuh yang terjadi dipengaruhi oleh sebuah kekuatan geser yang besarnya berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan, maka dapat menyebabkan kelongsoran gabungan (*compound slip*). Sebuah kelongsoran translasi dapat terjadi apabila sebuah lapisan tanah yang saling berbatasan terletak di bawah permukaan lereng pada kedalaman yang relatif dangkal, yang mana permukaan runtuhnya akan membentuk bidang dan dengan posisi hampir sejajar dengan lereng. Kelongsoran gabungan dapat terjadi apabila lapisan tanah yang terletak secara berbatasan pada suatu kedalaman yang lebih besar, serta permukaan runtuh yang terjadi memiliki bagian lengkung dan bidang. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan analisis stabilitas lereng sebagai berikut ini.

#### 1. Metode Fellenius

Metode ini berdasarkan pada asumsi bahwa setiap interaksi gaya antar irisan dianggap nol. Penyelesaiannya melibatkan pencarian kembali solusi untuk gaya-gaya yang beroperasi pada setiap irisan yang tegak lurus terhadap dasar, yang dinyatakan dalam Persamaan 3.19 hingga Persamaan 3.20.

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

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

keterangan:

$N'$  = gaya normal efektif

$W$  = berat total irisan

$A$  = sudut geser singgung masing-masing irisan

$u$  = tekanan air pori pada pusat dasar

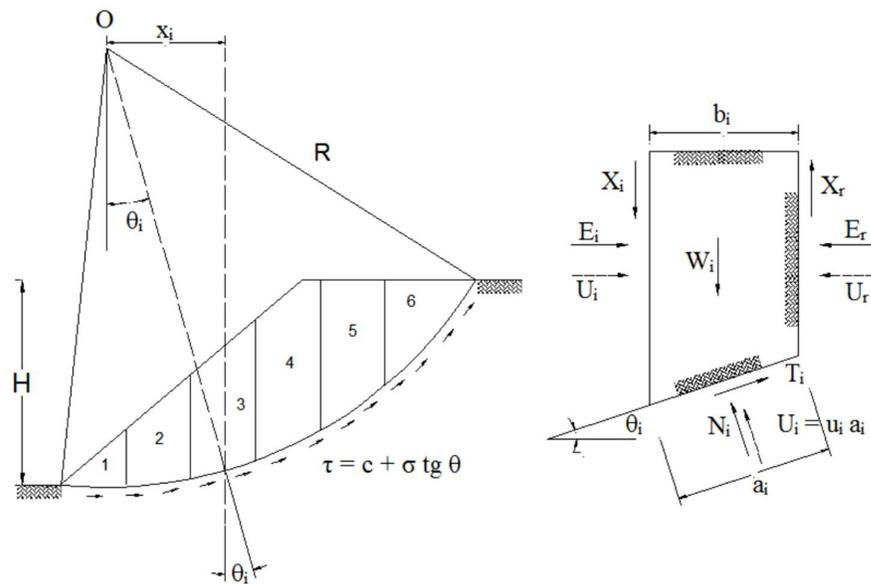
$l$  = panjang dasar

$La$  = panjang busur

$\varphi$  = sudut geser dalam

$c'$  = kohesi tanah efektif

## 2. Metode Irisan



**Gambar 3.4 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan**  
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Faktor keamanan merujuk pada perbandingan antara kekuatan geser yang sebenarnya ( $\tau$ ) dengan kekuatan geser yang diperlukan ( $\tau_m$ ) untuk memenuhi persyaratan batas keseimbangan. Konsep ini dinyatakan dalam Persamaan 3.21.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_m} \quad (3.21)$$

Jumlah momen yang timbul dari gaya-gaya geser di busur keruntuhan AC harus seimbang dengan momen yang dihasilkan oleh massa tanah ABCD, hal itu dapat

diketahui dengan meninjau momen terhadap titik O. Dalam setiap bagian, gaya momen W diwakili oleh  $r \sin \alpha$ , sehingga dapat diungkapkan sebagai persamaan 3.25 hingga 3.27.

$$\sum Tr = \sum W \cdot r \sin \alpha \quad (3.22)$$

$$T = \frac{\tau}{SF} \cdot l \quad (3.23)$$

$$SF = \frac{\sum \tau \cdot l}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (3.24)$$

Persamaan 3.28 menggambarkan bagaimana faktor keamanan bisa dihitung ketika menganalisis dengan menggunakan tegangan efektif sebagai berikut.

$$SF = \frac{c' \cdot La - \tan \phi' \sum N'}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (3.25)$$

### 3.2.5 Metode Elemen Hingga

Menurut Hardiyatmo (2014), penerapan metode keseimbangan batas memungkinkan evaluasi lereng dilakukan dengan cepat. Namun, prosedur tersebut akan mengaplikasikan perhitungan yang serupa baik untuk lereng dan timbunan baru, maupun untuk lereng yang baru digali atau lereng alami. Tingkat tegangan dalam lereng sangat bergantung pada nilai  $K_0$ , yang merupakan perbandingan antara tegangan lateral dan tegangan vertikal efektif. Namun, pendekatan konvensional dalam perhitungan menggunakan metode keseimbangan batas mengabaikan faktor ini (Chowdhury, 1981). Pada kenyataannya, nilai distribusi tegangan yang bekerja dalam ketiga lereng tersebut akan bernilai beda, maka oleh karena itu dapat mempengaruhi stabilitasnya.

Clough dan Woodward (1967) memperkenalkan metode elemen hingga (*Finite Element Method*), penggunaannya pada awalnya terbatas pada struktur tanah yang kompleks. Namun, dalam kasus yang spesifik, metode ini dapat menangani efek dari penimbunan atau penggalian secara bertahap, memungkinkan penelusuran yang lebih baik terhadap pengaruh sejarah tegangan pada deformasi tanah. Namun, kualitas dalam menghitung elemen hingga akan tergantung langsung pada keefektifan model konstitutif, yang menggambarkan dengan realistis

kekakuan non-linier tanah yang membentuk lereng. Kelebihan dari metode elemen hingga yaitu kemampuannya untuk menggambarkan struktur dengan geometri yang tidak teratur, serta menangani aspek non linieritas baik dari segi geometri maupun material. Dalam konteks lereng galian-timbunan dan lereng alami, pengembangan model konstitutif hanya dapat dilakukan melalui uji lapangan yang berkualitas tinggi serta dukungan dari observasi langsung di lapangan.

### 3.3 Geotekstil

Geotekstil merupakan bahan lembaran polimerik yang memiliki kemampuan untuk menyalurkan air dan tersedia dalam berbagai bentuk, seperti *non-woven*, anyaman, atau rajutan. Bahan ini digunakan dalam berbagai proyek rekayasa sipil untuk kontak langsung dengan tanah, batu, atau material geoteknik lainnya. Namun, geotekstil umumnya rentan terhadap sinar ultraviolet matahari yang dapat menyebabkan degradasi. Karena ada berbagai jenis geotekstil dan prosesnya yang beragam, pemilihan jenis geotekstil yang sesuai sangat penting agar dapat diterapkan dengan efektif di lapangan. Salah satu aspek yang krusial dalam mempertimbangkan geotekstil adalah kekuatan tariknya. Pemilihan jenis geotekstil akan mempengaruhi kemampuannya dalam berbagai fungsi, seperti penguat struktur atau pemisah, serta dalam hal filtrasi atau drainase (Fluet, 1998).

Jika dilihat dari segi fungsinya, terdapat beberapa contoh aplikasi geotekstil yang telah digunakan sampai saat ini seperti berikut ini.

1. Sebagai pemisah antara bahan yang berbeda, geotekstil ditempatkan di dalam struktur perkerasan jalan dan bandara, baik di antara tanah dasar (*subgrade*) dan lapis pondasi agregat batuan, maupun di antara lapisan aspal lama dan baru (*overlay*). Dalam konstruksi timbunan, geotekstil diletakkan di dasar timbunan yang berada di atas tanah lunak, dengan tujuan tidak hanya memisahkan lapisan-lapisan timbunan, tetapi juga memperkuat struktur timbunan tersebut.
2. Berfungsi sebagai penyaring, geotekstil digunakan dalam aplikasi filter dengan cara memasangnya di sekitar agregat batuan atau pipa pengumpul dalam saluran drainase bawah tanah. Saat terpasang di dalam timbunan, geotekstil berperan sebagai penyaring untuk mencegah butiran halus dari timbunan terbawa oleh

aliran rembesan.

3. Sebagai peningkatan kekuatan struktur yang didirikan di atas tanah yang lunak, geotekstil dapat ditempatkan pada bagian lereng dengan mempertimbangkan jarak tertentu. Ini sesuai dengan tujuannya untuk memperkuat lereng pada timbunan yang curam atau landai, sehingga kestabilan lereng dapat dipertahankan (Hardiyatmo, 2008).



Geotekstil *Non Woven*



Geotekstil *Woven*

**Gambar 3.5 Geotekstil *Non Woven* dan *Woven***  
(Sumber: Geotextile Nusantara, 2016)

### 3.3.1 Sifat Fisik Geotekstil

Menurut Hardiyatmo (2008), geotekstil memiliki karakteristik fisik yang mencakup massa per unit area, densitas, kekakuan, dan ketebalan, yang diuraikan sebagai berikut.

#### 1. Massa Per Satuan Luas

Massa per satuan luas material geosintetik diukur dalam satuan gram per meter persegi ( $g/m^2$ ). Geosintetik dengan massa per satuan luas rendah dipilih sebagai pemisah, sementara yang memiliki massa per satuan luas yang lebih tinggi, dengan struktur anyaman digunakan untuk perkuatan. Geotekstil nir-anyaman dengan massa per satuan luas yang besar umumnya dimanfaatkan sebagai filter. Pengujian material mengacu pada prosedur dalam ASTM D5261.

#### 2. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis adalah perbandingan antara berat suatu bahan non-porus dengan volume air yang telah didestilasi tanpa udara pada suhu  $4^{\circ}C$ . Dalam konteks

bahan geotekstil, berat jenis serat-serat bahan tersebut didefinisikan sebagai berat jenis dari polimer pengisinya, seperti yang diatur oleh ASTM D792. Koerner (2005) yang dikutip dalam Hardiyatmo (2008) menyebutkan beberapa nilai berat jenis tipikal untuk polimer yang sering digunakan dalam geotekstil dan sebagai pembanding dengan bahan lain, yaitu:

- 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 memiliki dampak yang tidak signifikan pada kekuatan geotekstil, terutama pada *polyolefins* (*polypropylene* dan *polyethylene*) yang memiliki densitas lebih rendah dari air (densitas *polypropylene* = 0,91 dan *polyethylene* = 0,96 – 0,90). Sementara itu, polyester memiliki kemampuan menyerap air yang terbatas dan memiliki titik leleh yang tinggi, yakni sekitar 163° ~ 288° C. Densitas *polyester* lebih besar dari 1 (> 1), sehingga jika densitas bahan kurang dari 1 (< 1), maka akan mengapung di air.

### 3. Kekakuan (*Stiffness*)

Dalam bidang geosintetik, terdapat istilah yang mengacu pada sifat-sifat seperti kekakuan (*stiffness*) atau kelenturan (*flexibility*) yang dapat dijelaskan menggunakan konsep modulus. Modulus sendiri dapat diinterpretasikan sebagai kemiringan pada awal kurva tegangan-regangan., sementara itu kekakuan geotekstil merupakan perpaduan antara interaksi antara berat geotekstil dengan kekakuannya, yaitu pada saat geotekstil mengalami pelengkungan karena beban sendiri yang bekerja. Kekakuan geotekstil ini bersifat penting, karena dapat menunjukkan kemampuannya untuk menyesuaikan diri terhadap permukaan

tanah saat digelar. Apabila geotekstil ditempatkan diatas tanah yang lunak, maka diperlukan sebuah geotekstil yang kekakuannya lebih tinggi. Dalam standar ASTM D1388 sudah tercantum dengan lengkap prosedur untuk uji kekakuan geotekstil.

#### 4. Tebal

Ketebalan geotekstil merujuk pada jarak antara bagian bawah dan bagian atasnya, diukur di bawah tekanan khusus. Untuk melakukan pengukuran tebal geotekstil dapat dilihat prosedur pengujiannya yang tercantum dalam ASTM D5199. Besarnya tekanan yang diterima geotekstil perlu diperhatikan ketika melakukan pengukuran pada tebalnya. Sesuai standarnya besarnya tekanan yang digunakan untuk mengukur ketebalan geotekstil sebesar 2 kPa. Ketelitian yang diperlukan untuk pengukuran tebal geotekstil adalah 0,025 mm. Di dalam prakteknya ada kisaran tebal geotekstil yang dipakai, yaitu secara tipikal sebesar 0,25 mm ~ 3,5 mm (Koerner, 2005).

### 3.3.2 Sifat Mekanik Geotekstil

Hardiyatmo (2008) menyatakan bahwa geotekstil memiliki beberapa karakteristik mekanik, seperti kekuatan tarik (*Tensile Strength*), kekuatan tarik terkekang, kekuatan tarik serobot (*Grab Tensile Strength*), kemampuan kompresi, kekuatan lipatan, dan aspek lainnya..

#### 1. Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

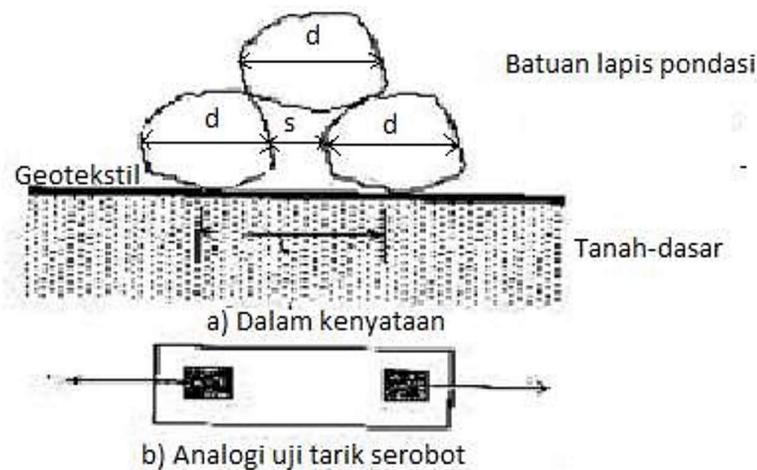
Pada penerapannya, geotekstil diharuskan memiliki kemampuan untuk menahan beban dan/atau mengalami perubahan bentuk (deformasi). Sebuah beban yang bekerja pada geotekstil akan menyebabkan geotekstil tersebut mengalami perubahan bentuk (deformasi). Deformasi yang terjadi tersebut akan memobilisasi kuat tarik geotekstil. Kuat tarik menjadi salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam pemilihan geotekstil.

Ada banyak variasi kekuatan tarik geotekstil yang umumnya dipilih berdasarkan tujuan utama penggunaannya, seperti penguatan, drainase, atau filtrasi, dan juga sebagai pemisah. Untuk menentukan kekuatan tarik, uji tarik dapat dilakukan hingga geotekstil mengalami kegagalan. Biasanya, geotekstil yang sejajar

dengan arah mesin pembuatnya (*machine direction atau warp*) selama proses pembuatan cenderung memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi daripada yang berlawanan arah (*cross machine direction atau weft*). Prosedur untuk uji tarik melebar (*wide-width test*) geotekstil terdapat dalam ASTM D4595.

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

Jika geotekstil digunakan sebagai pemisah, maka akan terjadi gaya tarik yang bekerja sejajar dengan permukaannya. Dalam pembangunan jalan raya, geotekstil ditempatkan di antara lapisan pondasi agregat batuan dan tanah dasar di bawahnya. Jika bagian atas agregat yang berhubungan langsung dengan geotekstil didorong ke samping, maka akan terjadi gaya tarik sepanjang bidang tersebut. Kondisi ini memiliki pola yang sama atau analog dengan gaya tarik akibat serobot (*grab*). Ilustrasi analogi gaya tarik pada geotekstil yang terjadi selama uji tarik serobot (*grab tensile test*) seperti yang dijelaskan oleh Koerner (2005) dapat dilihat dalam Gambar 3.6.



**Gambar 3.6 Geotekstil Mengalami Tegangan Tarik Ketika Beban Bekerja di Permukaan Lapis Pondasi**

(Sumber: Koerner, 2005)

## 3. Kuat Tarik Terkekang

Kekuatan menahan tarikan terkekang adalah kemampuan geotekstil untuk menanggulangi gaya tarik saat kedua permukaannya terkekang di dalam tanah. Mc Gown et al. (1982) dalam Hardiyatmo mengusulkan sebuah uji tarik yang

melibatkan penggunaan geotekstil berukuran 200 mm x 100 mm yang dijepit secara kokoh dengan dua penjepit.

#### 4. Kemudah-mampatan

Umumnya, geotekstil memiliki tingkat kompresibilitas yang rendah, terutama pada jenis *needle punched* yang tidak anyam. Jika tegangan normal yang bekerja pada permukaan geotekstil semakin tinggi, maka akan menyebabkan penurunan tebalnya. Perubahan tebal yang disebabkan adanya tegangan normal yang bekerja pada permukaan geotekstil dinyatakan dalam kemudah-mampatan (*compressibility*) atau kompresibilitas. Perlu dilakukan perhatian khusus terhadap kompresibilitas geotekstil apabila geotekstil difungsikan untuk mengalirkan air searah dengan bidangnya (*transmissivitas*). Hal tersebut dikarenakan semakin tertekan geotekstil maka kemampuan untuk mengalirkan air yang searah dengan bidang (*transmissivitas*) semakin kecil.

#### 5. Kekuatan Pelipit/Jahitan

Umumnya, geotekstil disimpan dalam gulungan yang panjang tetapi memiliki batasan panjang. Karena itu, ketika digunakan di lapangan, geotekstil perlu dihubungkan untuk mencapai area yang diinginkan. Saat berada di lapangan, lembaran geotekstil disatukan dengan melipat atau menumpuk lembaran satu di atas yang lain (*overlap*). Dengan metode penyambungan *overlap* pada umumnya membutuhkan panjang *overlap* minimum sebesar 0,5 m, dan akan lebih besar lagi yaitu 1 m (khususnya apabila pekerjaan dilakukan di dalam air).

Semua jenis penyambungan yang digunakan harus bisa menjamin kekuatan dalam waktu panjangnya, artinya kekuatan geotekstil yang dimiliki harus sama atau mendekati dengan kekuatan geotekstil utuh.

Efisiensi pelipit/jahitan dinyatakan oleh Persamaan (3.26) sebagai berikut.

$$E (\%) = \frac{T (seam)}{T (geotekstil)} \times 100 \quad (3.26)$$

dengan:

E = Efisiensi pelipit jahitan (%),

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

$T$  (geotekstil) = Kuat tarik geotekstil.

#### 6. Kuat Lelah (*Fatigue Strength*)

Daya tahan terhadap kelelahan adalah kemampuan geotekstil untuk menahan beban berulang sebelum mengalami kegagalan. Saat diuji di laboratorium, geotekstil diuji dengan beban siklik sampai mencapai titik kegagalan. Penarikan dan peregangan sepanjang benda uji dilakukan dengan kecepatan yang tetap dan panjang yang telah ditentukan. Kemudian, beban dilepaskan secara perlahan hingga mencapai nilai nol. Melalui pengujian ini, kita dapat mengidentifikasi modulus sikliknya yang akan terungkap setelah beberapa siklus pembebanan dilakukan. Hasil pengujian memberikan informasi tentang jumlah siklus beban yang menyebabkan kegagalan geotekstil, serta tegangan yang terjadi.

#### 7. Kuat sobek (*Tear strength*)

Gaya luar yang terjadi secara satu arah maupun dua arah akan menyebabkan terjadinya robekan pada tipe geotekstil anyam maupun nir-anyam. Hal tersebut dapat terjadi ketika proses pelaksanaan atau pemasangan di lapangan. Dalam tiga macam uji kuat sobek yang umum digunakan terdapat tiga jenis pengujian, yaitu uji trapezoidal (ASTM D2263), lidah (*tongue*) (ASTM D751), dan Elmendorf (ASTM D1424).

### 3.3.3 Sifat Hidrolik Geotekstil

Menurut Hardiyatmo (2008), karakteristik hidrolik geotekstil mencakup porositas, persentase area terbuka, dimensi bukaan nampak, dan sebagainya..

#### 1. Porositas

Porositas geotekstil adalah proporsi volume rongga dibandingkan dengan total volume yang didefinisikan. Porositas ( $n$ ) mengindikasikan kapabilitas air dalam melewati material geotekstil, dan dinyatakan oleh Persamaan (3.27).

$$n = 1 - \frac{m}{p.t} \quad (3.27)$$

dengan:

$n$  = Porositas

$m$  = Massa per satuan luas

$\rho$  = Kerapatan geotekstil secara keseluruhan

$t$  = Tebal geotekstil

Perubahan tebal dari beberapa jenis geotekstil bisa sangat dipengaruhi oleh porositasnya. Misalnya, ketika terjadi perubahan tebal, hal itu bisa disebabkan oleh pengaruh gaya normal yang bekerja pada material tersebut.

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

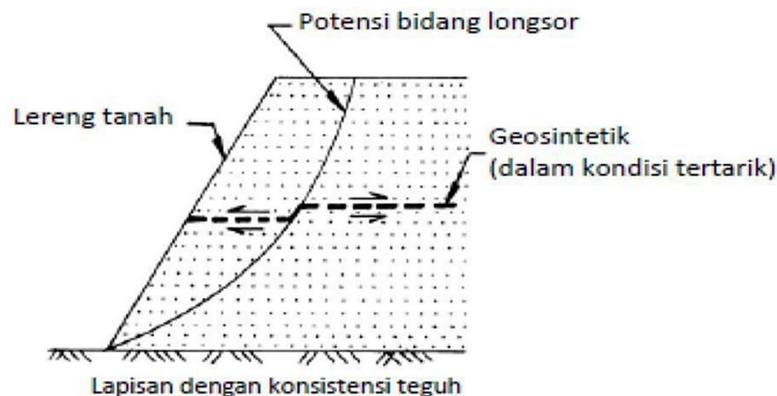
Persentase Area Terbuka (*Percent Open Area, POA*) merupakan karakteristik yang terkait dengan geotekstil anyaman (*woven geotextile*). POA adalah rasio antara total area terbuka (ruang kosong di antara serat yang berdekatan) dengan luas keseluruhan benda uji. Untuk mengukur nilai POA, metodenya melibatkan proyeksi sinar lampu melalui geotekstil ke dalam layar karton. Luas sinar yang tembus diukur dan dibandingkan dengan total luas geotekstil pada layar. Pengujian ini tidak sesuai untuk digunakan pada geotekstil yang tidak anyaman karena bayangan benang-benang serat yang saling menutupi mencegah sinar yang diproyeksikan mencapai layar. Geotekstil *monofilament* memiliki Persentase Area Terbuka (POA) antara 0 hingga 36% (Koerner, 2005)..

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

Ukuran bukaan tampak (*Apparent Opening Size, AOS*) atau ukuran bukaan setara (*Equivalent Opening Size, EOS*) mencerminkan jumlah material yang tertahan pada saringan standar Amerika dengan ukuran tertentu. Angka ini diungkapkan sebagai dimensi bukaan saringan setara dalam milimeter. Penilaian AOS ini telah dilakukan oleh *U.S Army Corp of Engineer* untuk mengevaluasi geotekstil anyam (*woven geotextile*). Ada banyak pendekatan yang berkaitan dengan penahan butiran tanah oleh aliran, dan hampir semuanya menggunakan karakteristik ukuran butiran dan membandingkannya dengan ukuran  $0_{95}$  dari geotekstil yang diperoleh dari uji AOS (*Apparent Opening Size*) atau EOS (*Equivalent Opening Size*) di laboratorium. AOS dan EOS didefinisikan sebagai nomor saringan standar Amerika yang memiliki lubang (pori-pori) yang paling mendekati dengan lubang yang dimiliki oleh geotekstil. Prosedur pengujian ini dijelaskan dalam ASTM D4751.

### 3.3.4 Mekanisme Kerja Geotekstil

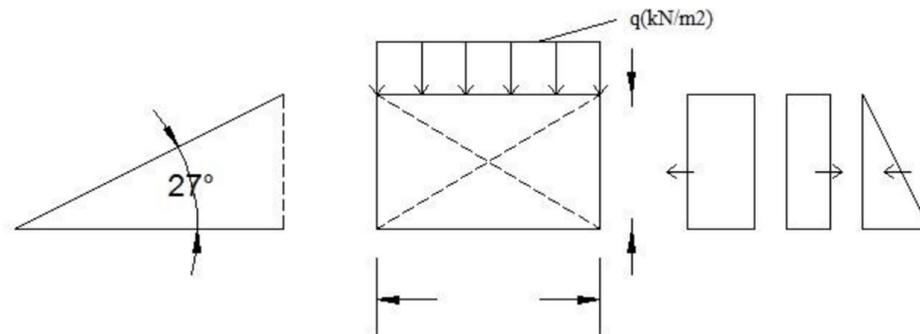
Salah satu kegunaan geotekstil dalam rekayasa teknik sipil adalah sebagai fungsi stabilisasi tanah untuk meningkatkan sifat mekanis massa tanah, meningkatkan faktor keamanan lereng dan menstabilkan lereng dengan kemiringan curam ( $< 70^\circ$ ). Lereng tanah yang diperkuat umumnya terdiri dari timbunan padat yang digabungkan dengan perkuatan geotekstil yang disusun ke arah horizontal. Ketika tanah dan geotekstil digabungkan, material komposit (tanah yang diperkuat) tersebut menghasilkan kekuatan tekan dan tarik tinggi sehingga dapat menahan gaya yang bekerja dan deformasi. Pada tahapan tersebut, geotekstil berlaku sebagai bagian tahanan tarik gesekan (adhesi), saling mengikat (*interlocking*) atau pengurungan (*confinement*) yang digabungkan ke tanah/timbunan dan menjaga stabilitas massa tanah seperti yang digambarkan pada gambar 3.7 di bawah ini.



**Gambar 3.7 Dasar Mekanisme Perkuatan Lereng dengan Tanah**  
(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

### 3.4 Perkuatan Lereng dengan Geotekstil

Perkuatan lereng merupakan sebuah struktur yang ditempatkan di lereng untuk menahan gaya tanah yang terjadi untuk melindungi terhadap erosi dan kelongsoran. Salah satu metode untuk perkuatan lereng yaitu dengan menggunakan geotekstil yang dibagi dalam stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Adapun diagram distribusi tekanan tanah lateral pada lereng tertera pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral**  
(Sumber: Lembang, 2020)

Prosedur untuk mengukur jarak vertikal antara lapisan geotekstil ( $S_v$ ) dapat dilakukan dengan merujuk pada Persamaan 3.28 hingga Persamaan 3.30 yang tercantum di bawah ini.

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{\phi}{2}\right)\right) \quad (3.28)$$

$$\sigma_{hci} = q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} + K_a \cdot H_1 \cdot \gamma_b \quad (3.29)$$

$$S_{Vi} = \frac{T_a}{\sigma_{hci} \cdot SF} \quad (3.30)$$

dengan:

$K_a$  = Koefisien tanah aktif

$\sigma_{hci}$  = Tekanan horizontal rata-rata pada lipatan ke-i ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$q$  = Beban merata ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$SF$  = Faktor aman

$S_v$  = Jarak tulangan arah vertikal (m)

$\gamma$  = Berat volume tanah ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )

$c$  = Kohesi ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$T_a$  = Kuat tarik geotekstil *allowable*

## 1. Stabilitas Eksternal

### a. Stabilitas Terhadap Geser

Rumus faktor keamanan dari kuat geser terdapat pada Persamaan 3.31.

$$SF = \frac{L.(q+\gamma_b).tan\phi}{(q.Ka.H+Ka.H^2.\gamma_b-2.c.\sqrt{Ka}.H)} \quad (3.31)$$

b. Stabilitas Terhadap Gulingan

Persamaan 3.32 menyajikan faktor keamanan terhadap guling sebagai berikut.

$$SF = \frac{L.(\frac{1}{2}q+\frac{1}{2}q.\gamma_b.H)}{(\frac{1}{2}q.k.a.H^2+\frac{1}{6}Ka.H^2.\gamma_b-c.\sqrt{Ka}.H^2)} \quad (3.32)$$

c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Nilai L pada stabilitas eksentrisitas terdapat pada Persamaan 3.33 sebagai berikut.

$$\frac{1}{6}L \geq \frac{(\frac{1}{2}q.Ka.H^2+\frac{1}{6}Ka.H^2.\gamma_b-c.\sqrt{Ka}.H^2)}{(q.L+\gamma_b.H.L)} \quad (3.33)$$

d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Daya Dukung Tanah

Persamaan 3.34 hingga Persamaan 3.36 menggambarkan faktor keselamatan terhadap kapasitas daya dukung tanah sebagai berikut.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{q_{ult}} \quad (3.34)$$

$$q_{ult} = c. Nc + 0,5L. \gamma_b. N\gamma \quad (3.35)$$

$$\sigma_{ult} = c. Nc + q. Nq + 0,5L. \gamma_b. N\gamma \quad (3.36)$$

2. Stabilitas Internal

a. Panjang Geotekstil “*Overlapping*”

Panjang geotekstil *overlapping* terdapat pada Persamaan 3.37 sebagai berikut.

$$L_0 = \frac{\sigma_{hci}.Sv1.SF}{2.Zi.\gamma_b.tan\phi} \quad (3.37)$$

dengan:

$$L_0 = \text{Panjang geotekstil } \textit{overlapping} \text{ (m)}$$

$$\sigma_{hci} = \text{Tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m}^2\text{)}$$

- $q$  = Beban merata ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )  
 $SF$  = Faktor aman  
 $S_v$  = Jarak tulangan arah vertikal (m)  
 $\gamma$  = Berat volume tanah ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )  
 $\varphi$  = Sudut geser dalam tanah ( $^\circ$ )  
 $Z_i$  = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah (m)

### 3.5 Program PLAXIS

#### 3.5.1 Pendahuluan

PLAXIS adalah sebuah perangkat lunak yang didasarkan pada analisis menggunakan metode elemen hingga. Pengembangan PLAXIS dimulai pada tahun 1987 di Universitas Teknik Delft atas inisiatif Departemen Tenaga Kerja dan Pengelolaan Sumber Daya Air Belanda. Model yang diterapkan adalah Mohr-Coulomb, sebuah model elastis-plastis yang terdiri dari lima parameter, termasuk  $E$  dan  $\nu$  untuk mewakili sifat elastis tanah, serta  $\varphi$  dan  $c$  untuk menggambarkan plastisitas tanah sebagai sudut dilatasi (Brinkgreve, 2007).

Model Mohr-Coulomb direkomendasikan untuk digunakan pada tahap awal analisis masalah karena kemudahannya, kecepatannya, terutama ketika data tanah yang memadai tidak tersedia. Titik-titik kritis dari model Mohr-Coulomb cenderung memiliki nilai yang serupa dengan titik-titik kritis tanah sebenarnya di sepanjang bidang kelongsoran. Maka, pemodelan Mohr-Coulomb menjadi pilihan yang tepat untuk mengevaluasi kestabilan lereng. Keunggulan pendekatan elemen hingga dibandingkan dengan metode keseimbangan batas (D.V. Griffiths, P.A. Lane, 199) adalah sebagai berikut.

1. Asumsi tentang bidang longsor tidak perlu. Longsoran terjadi secara alami melalui zona di dalam tanah di mana kekuatan geser tidak mampu menahan tegangan geser yang ada.
2. Pendekatan elemen hingga tidak memperhitungkan konsep irisan, sehingga tidak diperlukan asumsi tentang gaya-gaya di setiap irisan. Metode ini mempertahankan keseimbangan keseluruhan sampai terjadi kelongsoran.
3. Apabila data mengenai kompresibilitas tanah tersedia, metode elemen hingga

dapat memberikan pengetahuan tentang perubahan bentuk yang terjadi.

4. Metode elemen hingga dapat memonitor kegagalan progresif, termasuk kegagalan geser secara menyeluruh.

Model material yang dijelaskan dalam program PLAXIS merupakan representasi matematis yang menggambarkan korelasi antara tegangan dan regangan. Umumnya, model material ini diungkapkan melalui perubahan tegangan dan regangan. Analisis PLAXIS dapat dilakukan dalam situasi *plane strain* atau *axisymmetry*.

*Plane strain* dan *axisymmetry* dipakai untuk menganalisis struktur yang memiliki geometri dan kondisi beban tertentu. *Plane strain* fokus pada struktur dengan potongan melintang, di mana beban dan tegangan dianggap seragam dengan perpindahan nol dalam arah tersebut. Sementara itu, *axisymmetry* digunakan untuk struktur lingkaran dengan beban seragam terhadap pusatnya, di mana deformasi dan tegangan dianggap seragam dalam arah radial. Untuk hasil analisis yang akurat menggunakan metode elemen hingga, model tanah yang sesuai dengan kondisi lapangan diperlukan (Hendroatmo, 2008).

### 3.5.2 Parameter Input Untuk Program PLAXIS v.22

Dalam penelitian ini, digunakan model Mohr-Coulomb untuk menganalisis tanah, dengan parameter seperti kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Seperti yang dikutip oleh peneliti sebelumnya (Hendroatmo, 2008), analisis data menggunakan program PLAXIS dengan memasukkan parameter dasar tanah sebagai berikut.

1. Keadaan Muka Air Tanah dan Bentuk Kemiringan Lereng

Data masukan ini memberikan gambaran tentang lereng yang akan dievaluasi. Representasi visual dari lereng akan dibuat dengan menggunakan koordinat-koordinat yang terkait. Informasi mengenai tinggi muka air tanah diperlukan untuk mengevaluasi kemiringan lereng. Jika tekanan air pori dianggap nol, maka tidak perlu mempertimbangkan kondisi permukaan air tanah.

2. Data *Mesh Generation*

*Data mesh generation* adalah kumpulan informasi yang mencakup koordinat titik-titik nodal, jumlah nodal, dan tegangan pada setiap elemen yang digunakan.

### 3. Data Tanah

#### a. Berat Isi Tanah ( $\gamma$ )

Perhitungan berat tanah dalam kondisi basah dan kering terkait dengan berat isi tanah pada kondisi tertentu. Berat isi kering diterapkan pada materi yang berada di atas garis *phreatic*, sementara berat isi basah digunakan untuk materi yang berada di bawahnya. Penggunaan berat isi kering lebih sesuai untuk material yang tidak berpori. Meskipun sebenarnya tidak ada tanah yang sepenuhnya kering karena efek kapilernya. Tanah dibawah garis *phreatic* dianggap jenuh, sementara yang di atasnya bisa sebagian jenuh.

#### b. Konstanta Modulus Young ( $E_{ref}$ )

PLAXIS menggunakan modulus Young sebagai faktor kekakuan dalam model elastis dalam rangkaian model Mohr-Coulomb. Namun, PLAXIS juga menyediakan dua alternatif modulus lainnya, yakni modulus geser  $G$  atau modulus oedometer  $E_{oed}$ . Perhatian khusus diperlukan dalam menetapkan nilai-nilai parameter kekakuan karena banyaknya bahan tanah yang menunjukkan perilaku nonlinier saat pembebanan. Melalui uji triaksial, nilai modulus Young ( $E$ ) dapat ditentukan dengan mengamati kemiringan awal dari kurva tegangan-regangan.

#### c. Rasio *Poisson* ( $\nu$ )

Ketika pembebanan aksial dimulai dalam uji triaksial, terjadi peningkatan volume yang signifikan, sehingga menghasilkan nilai rasio *poisson* yang rendah. Nilai rasio *poisson* ini disebut sebagai nilai elastis murni ( $\nu_0$ ). Dalam beberapa kasus geoteknik, nilai ini cukup sesuai untuk digunakan. Namun, ketika menggunakan model tanah Mohr-Coulomb, disarankan untuk menggunakan nilai rasio *Poisson* yang lebih tinggi.

#### d. Kohesi ( $c$ )

Dimensi kohesi setara dengan dimensi tegangan. Meskipun PLAXIS dapat mengoperasikan bahan tanpa kohesi, seperti pasir ( $c=0$ ), tetapi hasilnya mungkin tidak optimal. Disarankan untuk menggunakan nilai kohesi yang rendah dalam prosedur nonlinear untuk efektivitas yang lebih baik (gunakan  $c>0$ ). Dalam situasi lapangan, seringkali kita menemui material tanpa kohesi

atau memiliki kohesi yang sangat rendah. Adanya kohesi yang minim menjadi penting untuk menghasilkan pengukuran kekuatan geser yang akurat dalam uji triaksial pada tingkat tegangan yang beragam. Dalam konteks ini, parameter kohesi diperoleh melalui analisis balik.

e. Sudut geser ( $\varphi$ )

Sudut geser diukur dalam derajat dan merupakan hasil penambahan dari kekuatan geser dengan tingkat tegangan. Pasir padat seringkali memiliki sudut geser yang tinggi, dan cenderung berkurang ketika tanah mengalami deformasi geser secara berkelanjutan. Dalam pemodelan Mohr-Coulomb, lebih tepat untuk menggunakan nilai  $\varphi_{cv}$  (sudut geser kritis) daripada memilih nilai yang lebih besar, karena hal ini akan menghasilkan regangan yang lebih kecil. Dalam situasi ini, parameter sudut geser diperoleh melalui analisis balik. Penerapan sudut geser yang signifikan dapat menyebabkan peningkatan beban komputasi, yang berakibat pada peningkatan waktu eksekusi secara eksponensial.

f. Sudut dilatasi ( $\psi$ )

Umumnya, tanah lempung menunjukkan tingkat dilatasi yang kecil ( $\psi \approx 0$ ). Sementara dilatasi pada pasir bergantung pada kerapatan dan sudut geser, selain dari itu, bahan seperti lapisan yang *overly consolidated*, lempung, dan lanau cenderung memiliki sudut dilatasi yang rendah ( $\psi \approx 0$ ). Sudut dilatasi pada pasir juga dipengaruhi oleh kepadatan dan sudut gesernya. Misalnya, untuk pasir kuarsa,  $\psi = \varphi - 30^\circ$ . Nilai  $\psi$  yang kecil dan negatif hanya dianggap realistis untuk pasir yang sangat lepas.

### 3.5.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan PLAXIS V.22

Data yang tersedia akan diproses dengan memasukkan informasi dari lereng ke dalam program untuk dilakukan analisis, sehingga dapat ditentukan apakah perkuatan pada lereng diperlukan atau tidak. Program ini juga memungkinkan untuk mengontrol faktor keamanan (SF) terhadap lereng yang diperkuat menggunakan geotekstil. Adapun langkah-langkah yang diperlukan dalam penggunaan program PLAXIS versi 22 diantaranya:

1. buka program PLAXIS 22 kemudian masukkan data dimensi dan *title* program yang akan dibuat,
2. gambar penampang lereng yang akan dianalisis, kemudian klik *standard fixities*,
3. buat jenis *properties* material yang akan dipakai pada lereng, dan isi data-data lereng seperti  $\gamma_d, \gamma_b, \varphi$ , dan lain sebagainya. Kemudian aplikasikan material yang telah dibuat ke setiap lapisan tanah,
4. kemudian ubah *mesh generating setup* sesuai dengan *mesh* dan lalu *generate*,
5. buatlah representasi lapisan muka air tanah dalam suatu potongan dengan mengaplikasikan kondisi awal (*initial condition*) jika diperlukan,
6. selanjutnya lakukan perhitungan dan masukkan informasi ke setiap fase yang akan digunakan dalam analisis,
7. pilih *point for curve displacement*, kemudian klik *calculate untuk* melakukan perhitungan, dan
8. setelah perhitungan dan analisis selesai dilakukan, program akan menghasilkan output.

Hasil dari langkah-langkah yang telah dilakukan oleh program PLAXIS versi 22 berupa *curve displacement* dan nilai SF. Informasi tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi apakah lereng aman dari potensi longsor atau sudah cukup stabil sehingga tidak memerlukan perkuatan tanah tambahan. Jika lereng belum aman terhadap potensi longsor, maka akan dilakukan analisis tambahan dengan mempertimbangkan perkuatan geotekstil, dan akan diperoleh nilai *Safety Factor* yang baru setelah perkuatan geotekstil pada lereng diterapkan.

## **BAB IV METODE PENELITIAN**

### **4.1 Tinjauan Penelitian**

Metode penelitian merupakan metode atau proses yang dapat dipilih secara khusus untuk memecahkan berbagai masalah yang dapat diangkat dalam suatu penelitian. Memahami metode penelitian merupakan sebuah tahap yang penting, dimana para peneliti dapat mencapai tujuan dan dapat menemukan jawaban sebagai masalah yang akan diajukan. Dalam metode penelitian terdapat beberapa prosedur penyelesaian yang digunakan untuk menganalisis dan mengolah data yang tersedia.

Studi yang dilakukan di wilayah lereng JJLS Planjan-Baron-Tepus bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas lereng dengan dan tanpa pengaruh gempa menggunakan program PLAXIS versi 22, serta mencari perbandingan keamanan antara lereng asli dan yang telah diperkuat. Hasil analisis tersebut diharapkan dapat menyelesaikan masalah yang muncul pada lereng di wilayah JJLS Planjan-Baron-Tepus. Serta dapat menjadi pedoman dalam perencanaan di area yang memiliki karakteristik kemiringan lereng serupa dengan JJLS Planjan-Baron-Tepus.

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa tahap penelitian untuk mendapatkan hasil analisis yang sesuai dengan tujuan penelitian sebagai berikut.

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 trase Planjan-Baron-Tepus tahun 2020.
2. Tahap analisis dan pengolahan data, pada tahap ini data yang sudah didapat akan dianalisis mulai dari timbunan tanah asli menggunakan program PLAXIS dan cara manual metode fellenius, kemudian mencari angka aman (SF) dengan perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS.
3. Tahapan pembahasan dan kesimpulan, tahap ini meliputi penulisan hasil penelitian berdasarkan aturan yang berlaku dan hasil pengolahan data. Kemudian dibuat kesimpulan berdasarkan teori yang ada untuk menjawab masalah yang ada.

#### 4.2 Data Penelitian

Data yang akan diselidiki dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang melibatkan berbagai informasi diantaranya:

1. data yang berisi hasil penyelidikan tanah,
2. peta yang menggambarkan lokasi proyek, dan
3. gambar penampang lereng.

#### 4.3 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di daerah JJLS Planjan-Baron-Tepus. Untuk Peta lokasi lereng dan review desain badan jalan dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.3 sebagai berikut.



**Gambar 4.1 Lokasi BH 01 Sta 0+475 Ruas Planjan-Tepus**  
(Sumber: Laporan Penyelidikan Geotek Trase Planjan-Baron-Tepus, 2020)



#### 4.4 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini langkah-langkah penelitian dipisahkan ke dalam beberapa tahap penyelesaian sebagai berikut.

1. Tahap mengumpulkan data melibatkan pengambilan data tanah dan data lereng (data uji lapangan dan laboratorium) yang diperlukan dalam rangka analisis..
2. Proses analisis potongan badan jalan dilakukan sesuai dengan gambar rencana yang tergambar pada potongan melintang jalan.
3. Pada tahap pengolahan data dan analisis program PLAXIS , informasi yang sudah terkumpul akan diproses dan dimasukkan ke dalam perangkat lunak PLAXIS sesuai dengan skala yang ada dalam rencana gambar. Variasi pemodelan dilakukan dalam kondisi *drained* atau *undrained*, kondisi *drained* dengan geotekstil, kondisi *undrained* dengan geotekstil dan menghitung besar penurunan yang terjadi.
4. Tahapan analisis dan penarikan kesimpulan melibatkan proses penyusunan laporan dengan disertai solusi yang didasarkan pada teori yang relevan, untuk menyelesaikan masalah yang muncul.

##### 4.4.1 Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data melibatkan penghimpunan informasi yang diperoleh dari lembaga-lembaga terkait, dengan hasil yang mencakup data-data sebagai berikut.

##### 1. Data Tanah

Di dalam tanah terdapat beberapa lapisan tanah yang masing-masing memiliki jenis yang berbeda.

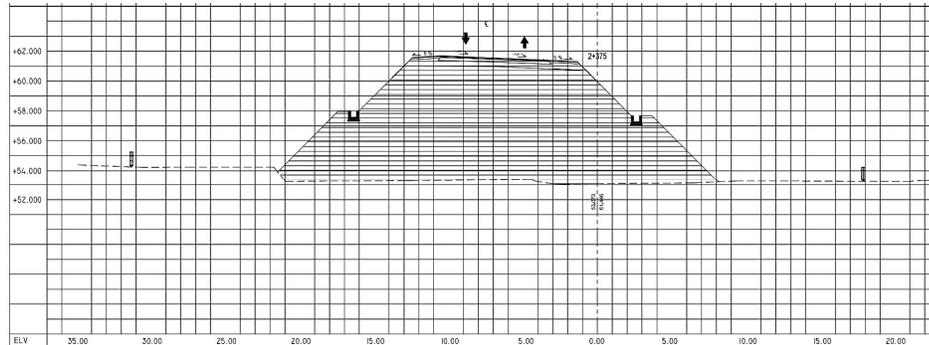
##### 2. Data Beban Lalu Lintas

Data beban lalu lintas didapatkan dari instansi terkait meliputi lalu lintas harian rata-rata dan beban lalu lintas sesuai fungsi jalan dan sistem jaringan.

##### 3. Data Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi (baik itu gempa tektonik atau vulkanik) yang mempengaruhi struktur tersebut.





**Gambar 4.5 Penampang Lereng Timbunan Badan Jalan Sta. 2+375**  
(Sumber: Desain Pembangunan Ruas Jalan Planjan-Baron-Tepus, 2019)

#### 4.5.2 Data Parameter Tanah

Dibawah ini merupakan data parameter tanah dari hasil korelasi data penyelidikan tanah pada JJLS Planjan-Baron-Tepus. Data tersebut digunakan untuk input pada program PLAXIS dan sebagai data untuk perhitungan SF menggunakan metode Fellenius yang dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4.1 Data Parameter Tanah untuk Perhitungan PLAXIS dan Fellenius**

Parameter	Notasi	Tanah Dasar	Timbunan	Satuan
Model Material	Model	MC	MC	-
Jenis Perilaku Material	Jenis	drained	drained	-
Berat Volume Tanah Tak Jenuh	$\gamma_{unsat}$	19	16	$\text{kN}/\text{m}^3$
Berat Volume Tanah Jenuh	$\gamma_{sat}$	22	18	$\text{kN}/\text{m}^3$
Modulus Elastis	E	200000	12000	$\text{kN}/\text{m}^2$
Angka Poisson	$\nu$	0,4	0,3	-
Kohesi	c	20	9	$\text{kN}/\text{m}^2$
Sudut Geser Dalam	$\phi$	40	29	$^{\circ}$
Sudut dilatansi	$\psi$	10 ( $\Phi$ -30)	0	$^{\circ}$
Permeabilitas Horizontal	$K_x$	0,864	0,0864	m/day
Permeabilitas vertikal	$K_y$	0,864	0,0864	m/day

### 4.5.3 Data beban

Beban-beban yang mempengaruhi lereng termasuk beban dari lalu lintas dan beban akibat gempa. Data-data yang tertera pada data beban sebagai berikut.

#### 1. Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Lokasi jaringan jalan lintas selatan mempunyai beban lalu lintas sebesar 15  $\text{kN/m}^2$  sesuai sistem dan fungsi jaringan jalan pada tabel 4.3 dibawah.

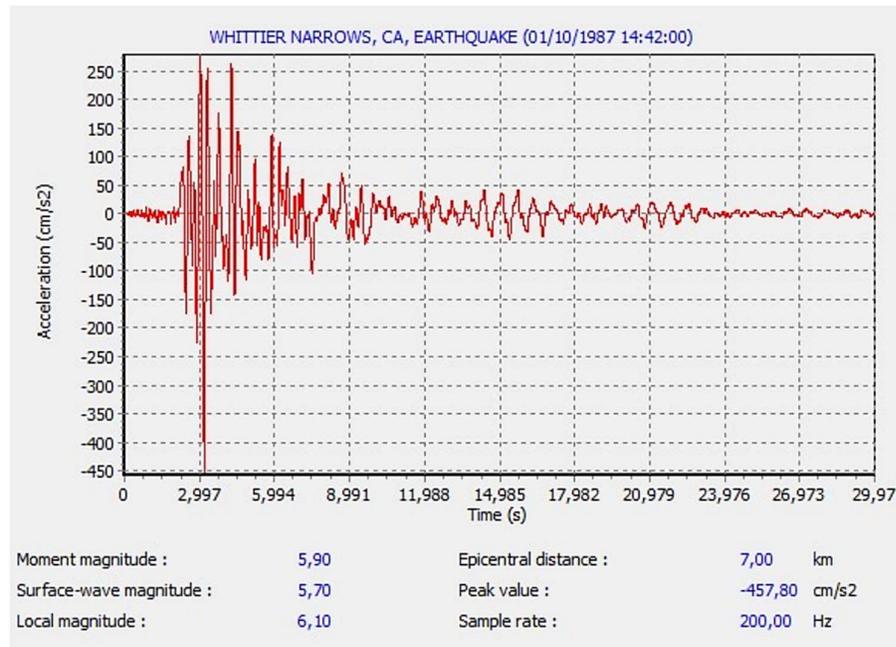
**Tabel 4.2 Beban Lalu Lintas**

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)	Beban Lalu Lintas ( $\text{kN/m}^2$ )
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

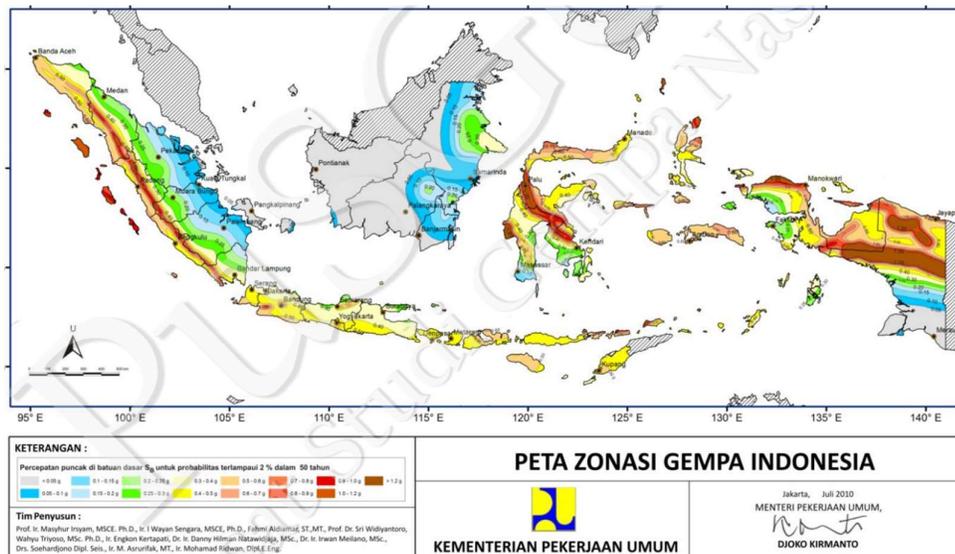
Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

#### 2. Data Gempa

Wilayah Planjan-Baron-Tepus terletak di Kabupaten Gunungkidul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki percepatan puncak gempa (PGA) sebesar 0,4-0,5g seperti yang tertera pada Gambar 4.5. Data gempa yang mencerminkan nilai tersebut adalah informasi seismik dari area Gempa Whittier Narrows, California, pada tahun 1987, di mana percepatan puncak gempa tercatat sebesar 0,457g. Rentang waktu yang digunakan dalam simulasi PLAXIS diasumsikan bahwa telah melewati puncak percepatan. Grafik respon spektrum dan peta zonasi gempa dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 sebagai berikut.



**Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Percepatan dan Waktu**  
(Sumber: Data Gempa pada Lokasi Whittier Narrows California, 1987)



**Gambar 4.7 Peta Zonasi Gempa Indonesia**  
(Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017)

#### 4.5.4 Data Geotekstil

Geotekstil yang dipakai adalah jenis *woven* atau teranyam. Informasi parameter geotekstil diperoleh dari PT. Teknindo Geosistem Unggul. Data kekuatan geotekstil *woven* akan dimasukkan ke dalam program PLAXIS versi 22. Rincian data geotekstil tercantum dalam Tabel 4.4 di bawah ini.

**Tabel 4.3 Data Perkuatan Geotekstil *Woven***

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	$T_a$	26	kN/m
Kuat Tarik Ultimit	$T_u$	52	kN/m
Kekakuan Normal	EA	260	kN/m

Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul

#### 4.6 Analisis Data dengan Software PLAXIS (Versi 22)

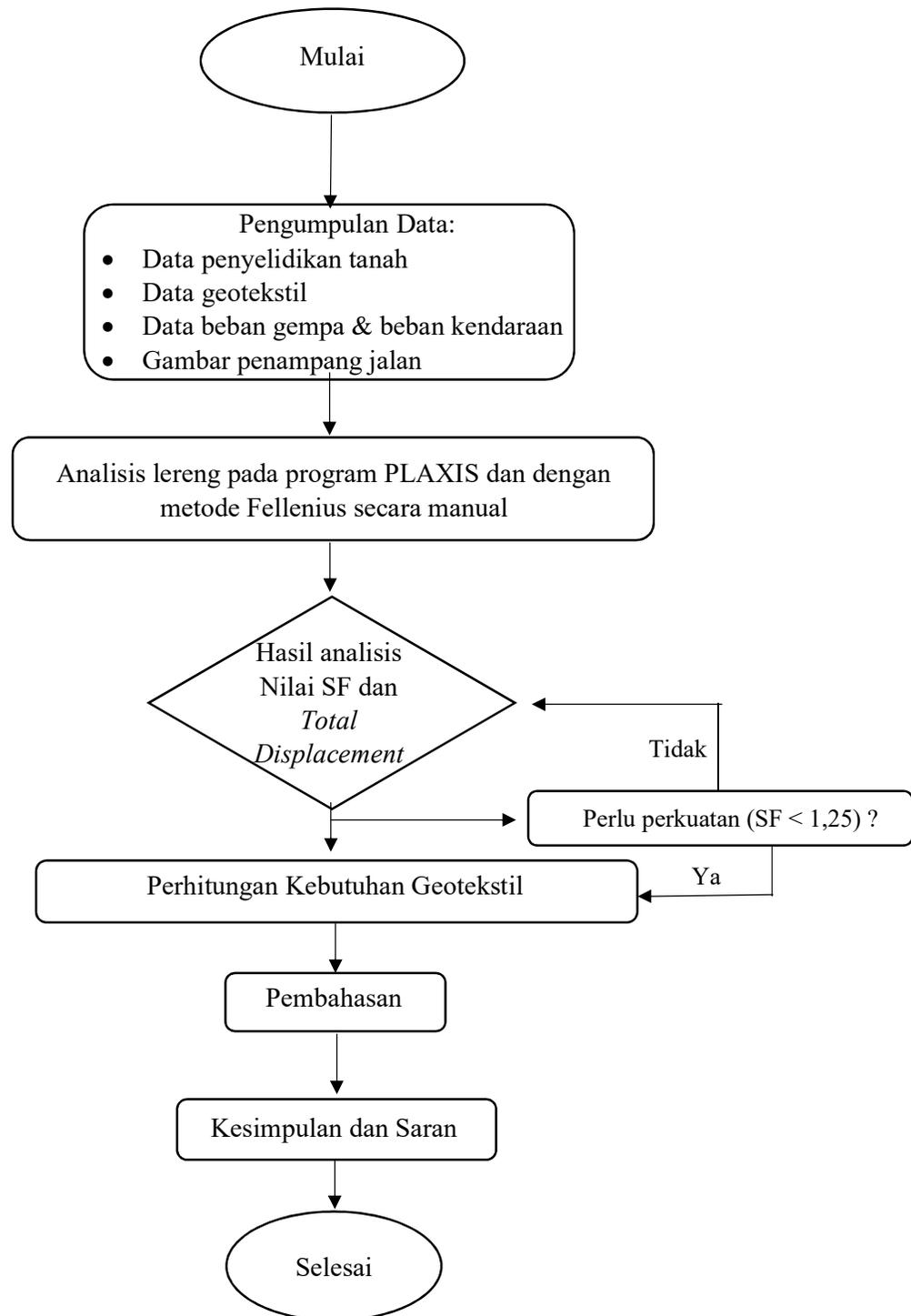
Langkah-langkah analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS dengan metode tahapan melibatkan penerapan beban lalu lintas dan beban gempa pada tanah dengan variasi kondisi *drained*, baik dengan maupun tanpa penggunaan geotekstil sebagai berikut.

1. Input, meliputi:
  - a. pemodelan geometri tanah,
  - b. pemberian beban atau perkuatan pada lereng
  - c. *meshing* lapisan tanah,
  - d. penentuan muka air tanah
  - e. membuat fase-fase perhitungan, dan
  - f. memilih titik tinjauan yang dianggap kritis.
2. Proses (*calculation* hingga berhasil).
3. *Output calculation*, meliputi:
  - a. besar faktor aman lereng dengan dan tanpa perkuatan geotekstil,
  - b. besar *total displacement* lereng dengan dan tanpa perkuatan geotekstil,
  - c. arah pergerakan tanah yang terjadi pada lereng dengan dan tanpa perkuatan geotekstil,

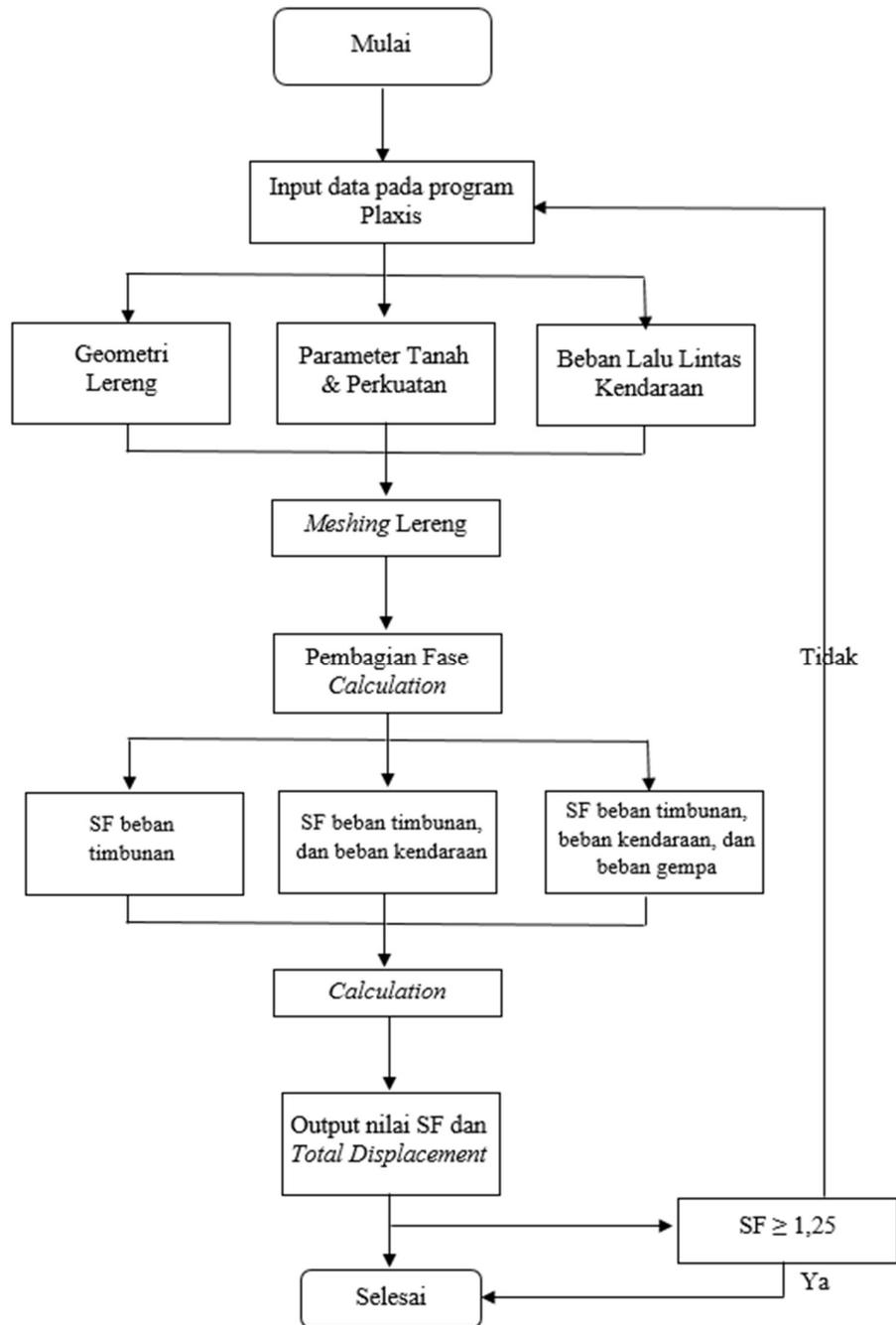
- d. nilai *effective stress* yang terjadi pada lereng timbunan dengan dan tanpa perkuatan geotekstil, dan
- e. daerah potensi kelongsoran yang terjadi pada lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil.

#### **4.7 Bagan Alir**

Bagan alir (*flow chart*) menunjukkan urutan langkah-langkah yang dilakukan dalam proses penelitian. Dengan menggunakan diagram alir, kita dapat mengevaluasi apakah prosedur yang digunakan sudah optimal atau perlu adanya perbaikan. Rangkaian langkah-langkah penelitian untuk Tugas Akhir ini tergambar dalam diagram alir pada Gambar 4.9 di bawah ini.



**Gambar 4.8 Bagan Alir Penelitian**



Gambar 4.9 Bagan Alir Program Plaxis

## **BAB V**

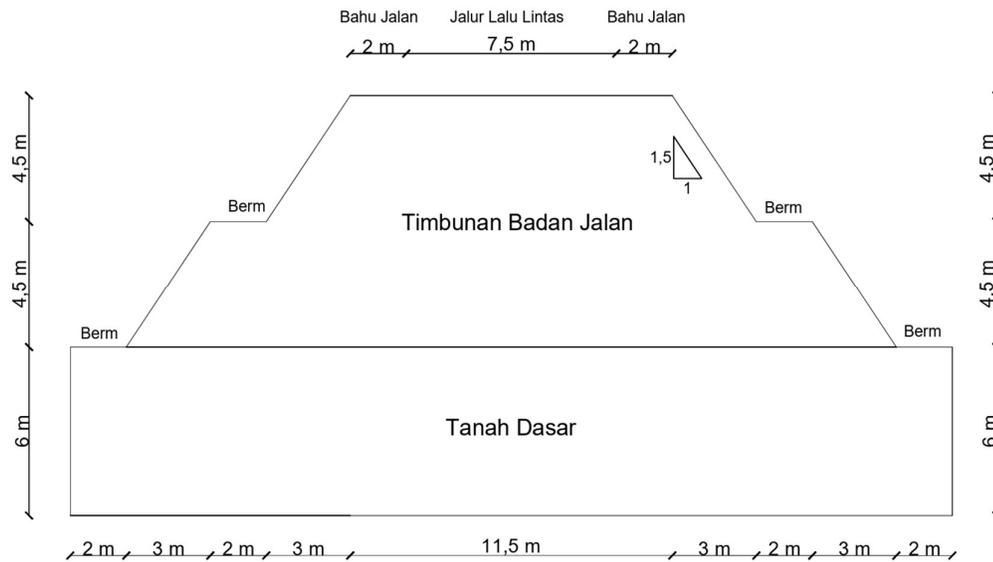
### **PEMBAHASAN**

#### **5.1 Lereng Timbunan Badan Jalan**

Timbunan lereng pada proyek jalan lintas selatan planjan-baron-tepus, pada sta 2+375 mencapai kedalaman  $\pm 9$  m . Pada kedua lereng mempunyai kedalaman kurang lebih 9 meter dan panjang kurang lebih 20 meter, dengan panjang badan jalan adalah 11,5 m. Di wilayah ini, tanah terbagi menjadi dua lapisan. Bagian atas lereng tersusun dari tanah tufa, yang cenderung cepat menyerap air namun memiliki ketahanan yang rendah sehingga rentan tererosi. Sementara di bagian bawahnya terdapat tanah *clayshale* yang cenderung rapuh dan memiliki tingkat daya tahan yang rendah. Ini menimbulkan sejumlah masalah geoteknik seperti pemilihan material untuk timbunan, kemampuan dukung fondasi, stabilitas lereng, dan penurunan permukaan tanah.

Menurut Deen (1981) dan Heryono (2010), *clayshale* sering ditemukan di zona air tanah tidak jenuh, di mana efek kapilaritas dominan dan bergantung pada kedalaman air tanah serta karakteristik *clayshale* sebagai material transisi antara tanah dan batuan. Penurunan kekuatan dan stabilitas *clayshale* dapat terjadi karena degradasi, yang mengakibatkan material tersebut menjadi rentan terhadap fenomena yang disebut *slaking*. *Slaking* adalah proses di mana *clayshale* mengalami disintegrasi setelah mengalami kontak dengan udara dan air saat berada dalam kondisi terbuka.

Demi memudahkan pelaksanaan di lapangan dan mencegah terjadinya kelongsoran, desain ini mengadopsi pendekatan dengan merancang lereng dalam beberapa tingkatan. Dalam penelitian ini dibuat 2 tingkatan di mana setiap jenjang tingkat memiliki tinggi sekitar 4,5 meter. Kemiringan lereng diatur pada skala 1,5V:1H, dengan lebar *berm* sekitar 2 meter. Sementara untuk keperluan analisis diambil lereng sebelah kanan dari badan jalan. Untuk detail lebih lanjut mengenai desain timbunan lereng pada Lokasi Sta 2+375, tertera pada Gambar 5.1.



**Gambar 5.1 Penampang Lereng Sta 2+375**

### 5.1.1 Data Parameter Tanah, Beban, dan Perkuatan Tanah

Beban-beban yang bekerja pada lereng tersebut adalah beban kendaraan dan beban gempa. Informasi mengenai parameter tanah, beban-beban yang bekerja, dan perkuatan lereng yang digunakan tersedia dalam Tabel 5.1, Tabel 5.2, Gambar 5.3, dan Tabel 5.4.

#### 1. Data Parameter Tanah

**Tabel 5.1 Data Parameter Tanah**

Parameter	Notasi	Tanah Dasar	Timbunan	Satuan
Model Material	Model	MC	MC	-
Jenis Perilaku Material	Jenis	drained	drained	-
Berat Volume Tanah Tak Jenuh	$\gamma_{unsat}$	19	16	$\text{kN}/\text{m}^3$
Berat Volume Tanah Jenuh	$\gamma_{sat}$	22	18	$\text{kN}/\text{m}^3$
Modulus Elastis	E	200000	12000	$\text{kN}/\text{m}^2$
Angka Poisson	$\nu$	0,4	0,3	-
Kohesi	c	20	9	$\text{kN}/\text{m}^2$
Sudut Geser Dalam	$\phi$	40	29	$^{\circ}$

**Lanjutan Tabel 5.1 Data Parameter Tanah**

Sudut dilatansi	$\psi$	10 ( $\Phi$ -30)	0	°
Permeabilitas Horizontal	$K_x$	0,864	0,0864	m/day
Permeabilitas vertikal	$K_y$	0,864	0,0864	m/day

Sumber: Laporan Penyelidikan Geotek Trase Planjan-Baron-Tepus (2020)

## 2. Data Beban Lalu Lintas Kendaraan

Pada kasus analisis stabilitas lereng timbunan dalam penelitian ini terdapat jalan arteri selebar 11,5 m di bagian atasnya. Fungsi dan sistem jaringan jalan lintas selatan ruas Planjan-Baron-Tepus diasumsikan sebagai jalan arteri primer. Maka beban lalu lintas yang digunakan pada jalan lintas selatan ruas Planjan-Baron-Tepus adalah sebesar  $15 \text{ kN/m}^2$ ), seperti Tabel 5.2 berikut.

**Tabel 5.2 Data Beban Lalu Lintas**

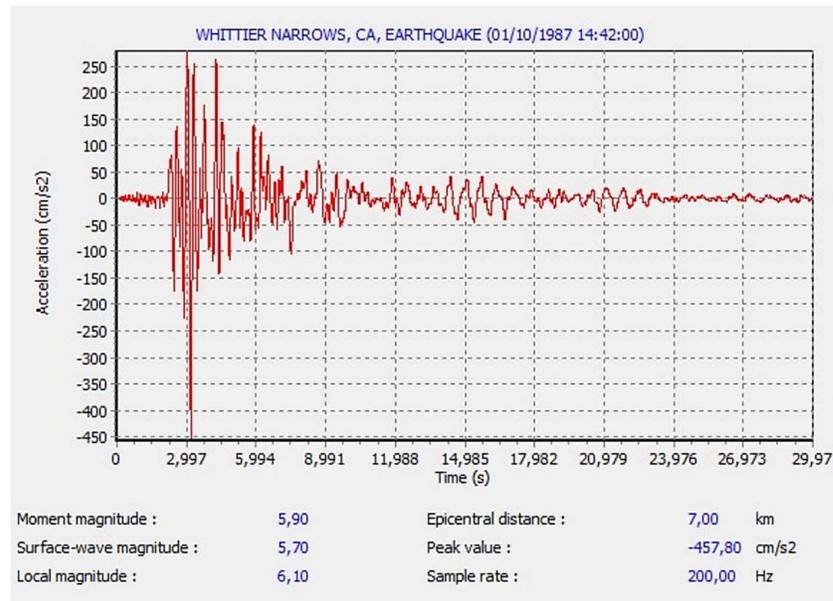
Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)	Beban Lalu Lintas ( $\text{kN/m}^2$ )
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	>10.000	15
		<10.000	12
Sekunder	Arteri	>20.000	15
		<20.000	12
	Kolektor	>6.000	10
		<6000	10
	Lokal	>500	10
		<500	10

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

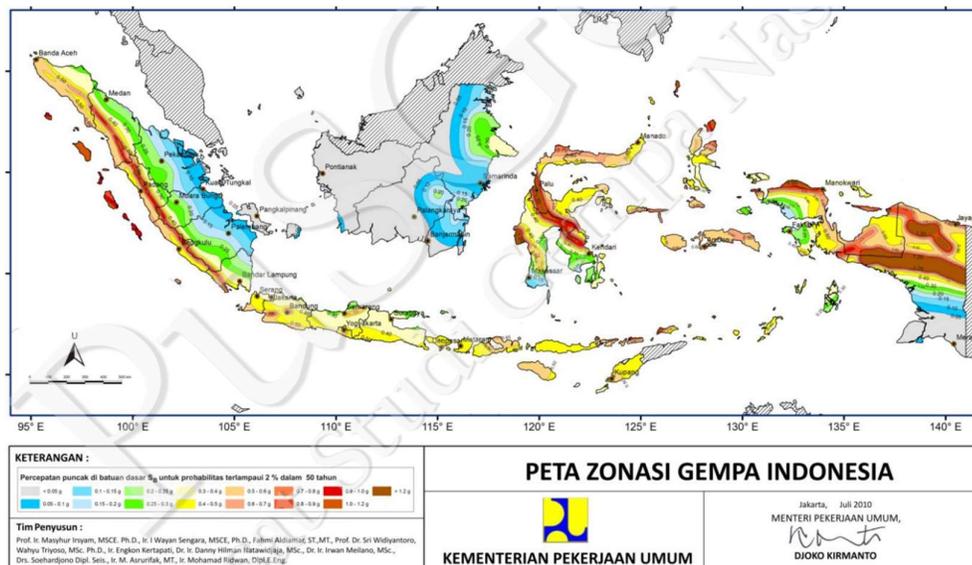
## 3. Data Beban Gempa

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 Grafik Hubungan Antara Percepatan Gempa dan Waktu**  
(Sumber: Data Gempa Whittier Narrows California, 1987)



**Gambar 5.3 Peta Zonasi Gempa Indonesia**  
(Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017)

#### 4. Data Geotekstil

Geotekstil yang dipergunakan adalah *Woven UW – 250* dari PT Teknindo Geosistem Unggul, dengan kekuatan tarik dan regangan mencapai 52 kN/m dan 0,2 secara berturut-turut. Informasi mengenai data perkuatan geotekstil *woven* yang dimasukkan dan dianalisis di dalam program PLAXIS 22 tertera pada tabel 5.3 di bawah ini.

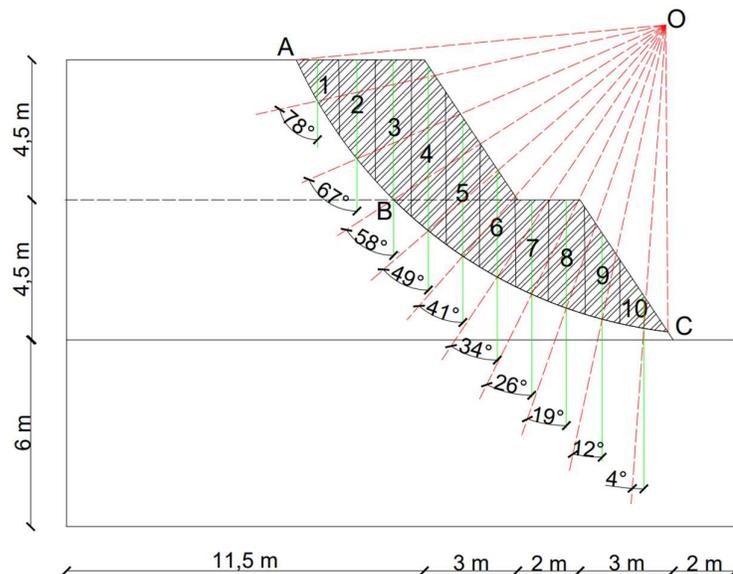
**Tabel 5.3 Data Geotekstil *Woven***

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

#### 5.1.2 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 5.4 serta contoh perhitungannya berikut ini.



**Gambar 5.4 Pemodelan dan Analisis Lereng dengan Metode Fellenius**

Bidang Longsor terbagi menjadi 10 segmen, dengan total panjang bidang longsor dalam arah horizontal sepanjang 13,75 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:

$$W_1 = \gamma \times A_i = 17 \text{ kN/m}^3 \times 1,784 \text{ m}^2 = 30,3221 \text{ kN/m}$$

2. Perhitungan  $W_i \times \sin \alpha_i$

Contoh pada irisan 1:

$$W_1 \times \sin \alpha_1 = 30,3221 \text{ kN/m} \times \sin (78^\circ) = 61,5742 \text{ kN/m}$$

3. Perhitungan  $W_i \times \cos \alpha_i$

Contoh pada irisan 1:

$$W_1 \times \cos \alpha_1 = 68,5076 \text{ kN/m} \times \cos (78^\circ) = 30,0318 \text{ kN/m}$$

Rekapitulasi perhitungan selanjutnya tertera pada Tabel 5.4 berikut.

**Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Metode Fellenius**

No Pias	A	$\alpha$	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$W_i$ ( $\gamma \times A_i$ )	$W_i \cdot \cos \alpha$	$W_i \cdot \sin \alpha$	$w \cos \alpha \cdot \tan \phi$
	$m^2$	$^\circ$			kN/m			
1	1.784	78	0.9781	0.2079	30.3221	6.3043	29.6595	3.4945
2	3.691	67	0.9205	0.3907	62.7446	24.5163	57.7567	13.5896
3	5.189	58	0.8387	0.5446	88.2195	48.0478	73.9871	26.6333
4	5.751	49	0.7547	0.6561	97.7701	64.1430	73.7880	35.5550
5	4.838	41	0.6561	0.7547	82.2466	62.0723	53.9586	34.4072
6	3.951	34	0.5592	0.8290	67.1751	55.6907	37.5638	30.8698
7	3.221	26	0.4384	0.8988	54.7591	49.2171	24.0048	27.2815
8	4.045	19	0.3256	0.9455	68.7697	65.0230	22.3892	36.0428
9	3.097	12	0.2079	0.9781	52.6427	51.4923	10.9450	28.5427
10	1.605	4	0.0698	0.9976	27.2883	27.2218	1.9035	15.0893
<b>Total</b>	<b>37.173</b>						<b>385.9564</b>	<b>251.5059</b>

Dengan mempertimbangkan panjang jari-jari dan sudut diapit, maka panjang garis AB = 7,814 meter dan BC = 11,958 meter.

Gaya perlawanan terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen kohesi :

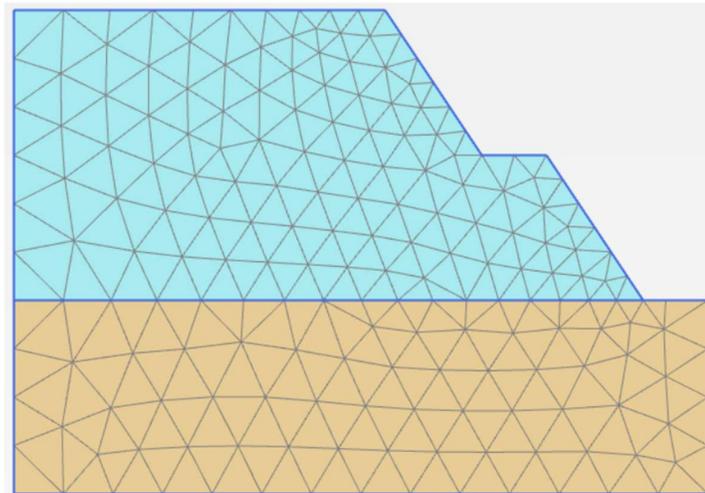
$$\Sigma c.La = (9 \times 7,814) + (10 \times 11,958) = 177,9481 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Faktor aman} = \frac{\Sigma c.La + w \cos \alpha \cdot \tan \varphi}{w i \cdot \sin \alpha + \Sigma A} = \frac{177,9481 + 251,5059}{385,9564 + 37,173} = 1,011 < 1,25$$

Angka faktor keamanan yang didapatkan melalui analisis manual menggunakan metode Fellenius didapatkan sebesar 1,011 pada lereng asli dengan kondisi normal sebelum direncanakan perkuatan. Hal ini menandakan lereng tersebut dalam keadaan kritis dan rawan untuk terjadi longsor.

## 5.2 Analisis Stabilitas Lereng tanpa Perkuatan Geotekstil

Pada tugas akhir ini analisis stabilitas lereng bagian kanan Sta. 2+375 tanpa perkuatan tanah dihitung dengan menggunakan program PLAXIS 22. Hasil pemodelan elemen jaringan (*meshing*) pada lereng tertera Gambar 5.5 berikut.

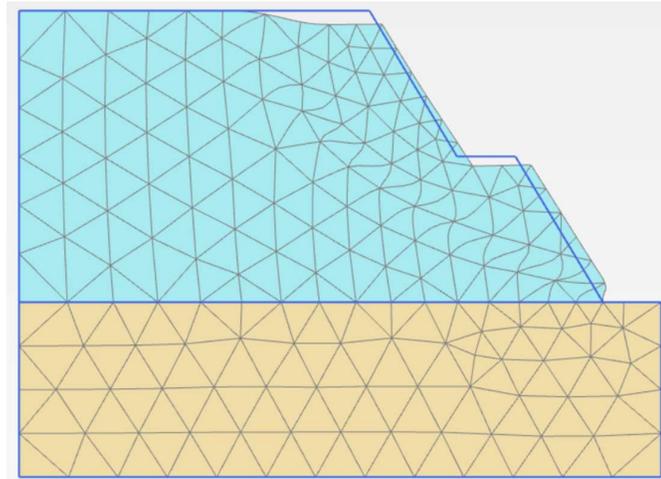


**Gambar 5.5 Meshing Lereng**

### 5.2.1 Akibat Beban Timbunan (Akibat Beban Sendiri)

#### 1. *Deformed Mesh*

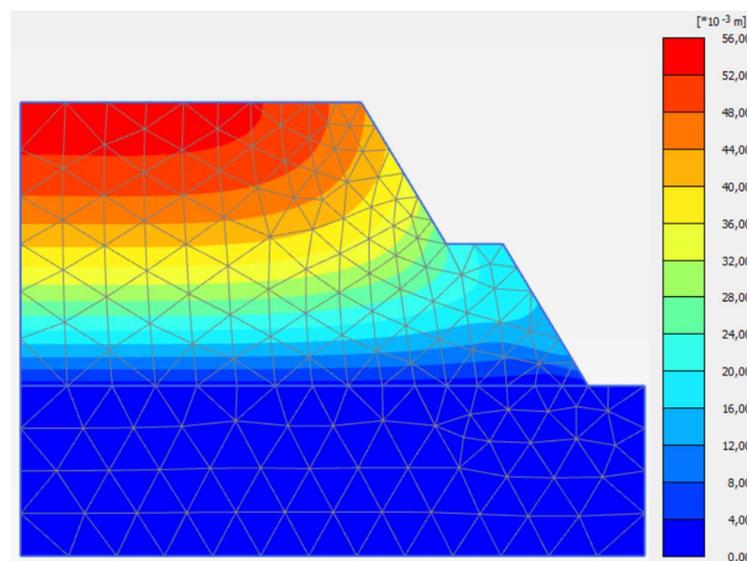
*Deformed Mesh* diisyaratkan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah tidak beraturan dan mengalami penurunan yang diakibatkan oleh beban yang bekerja. *Deformed Mesh* pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan (beban sendiri) tertera pada Gambar 5.6.



**Gambar.5.6 Deformed Mesh pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)**

## 2. Total Displacement

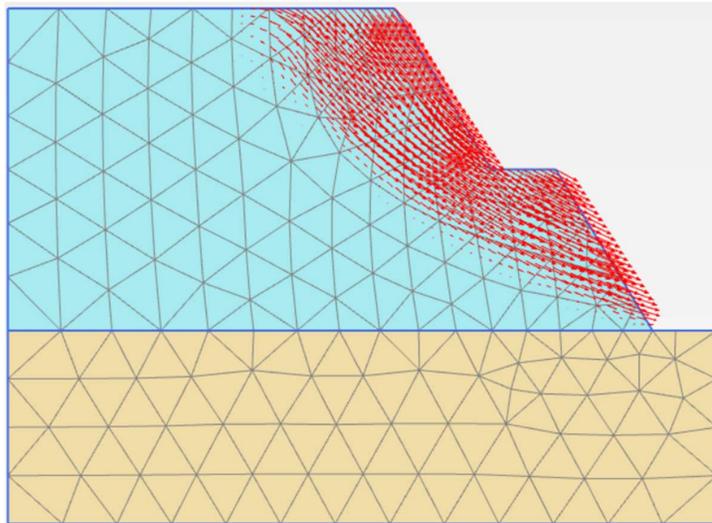
Pada lereng tanpa perkuatan tanah terjadi *displacement* searah vertikal akibat beban sendiri (beban timbunan). *Displacement* paling besar terjadi di bagian tengah atas yang dikenali dengan warna oranye tua. Ketika di bawah lapisan warna oranye tua memudar menjadi biru tua menandakan nilai *displacement* mengalami penurunan. Nilai *displacement* paling besar pada lereng timbunan tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan adalah 0,0540 m tertera pada Gambar 5.7.



**Gambar 5.7 Total Displacement pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)**

### 3. Arah Pergerakan Tanah

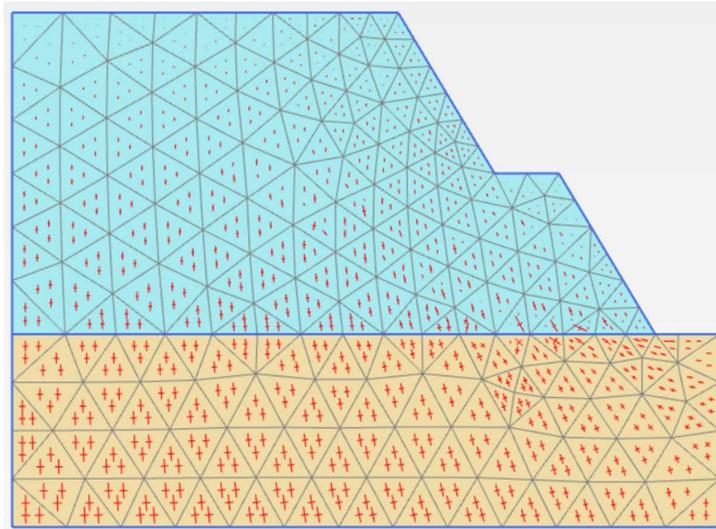
Hasil analisis pergerakan tanah pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan menunjukkan bahwa terjadi pergerakan tanah yang dominan bergerak ke arah sebelah kanan. Arah dari pergerakan tanah tertera pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



**Gambar 5.8 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)**

### 4. *Effective Stress*

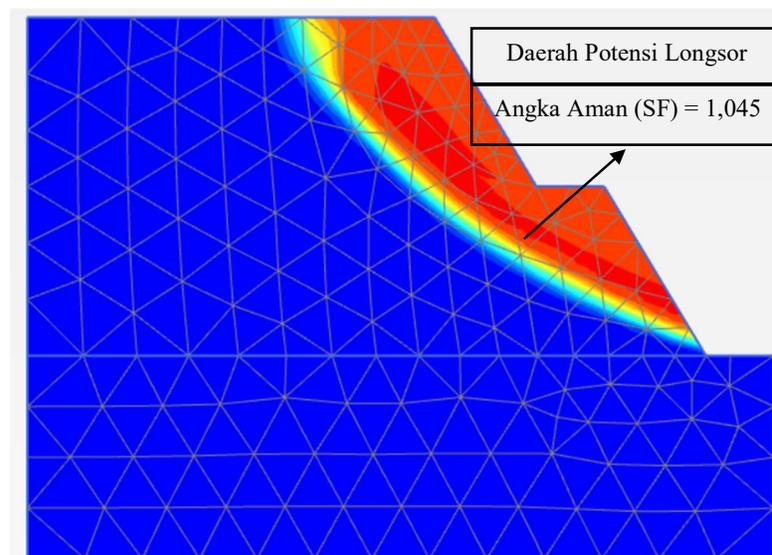
Tegangan efektif (*Effective Stress*) merupakan sebuah tegangan yang mempengaruhi kuat.geser dan perubahan volume atau penurunan daripada tanah. Dari hasil analisis *Effective Stress*, disimpulkan bahwa garis-garis yang menunjukkan arah dan intensitas tegangan efektif cenderung meningkat saat menuju 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  $0,9439 \times 10^{-9} \text{ kN/m}^2$ . Hasil analisis *Effective Stresses* menggunakan program PLAXIS 22 dapat diamati pada Gambar 5.9 dibawah ini.



**Gambar 5.9 Effective Stress pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)**

5. Daerah Potensi Kelongsoran

Hasil analisis program PLAXIS menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah *rotational slides*. Dari hasil ini dapat juga dilihat zona pasif dan zona aktif yang terbentuk. Zona pasif digambarkan secara grafis dengan warna biru sedangkan zona aktif dengan warna oranye. Potensi kelongsoran pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban sendiri tertera dalam Gambar.5.10.

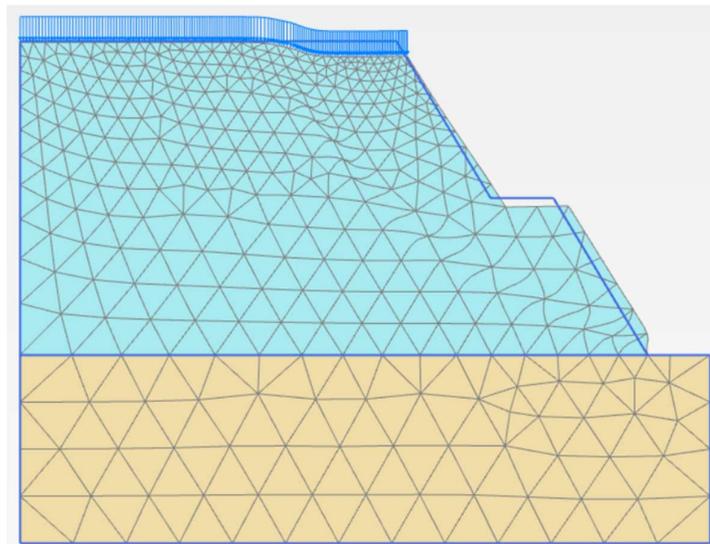


**Gambar 5.10 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri)**

## 5.2.2 Akibat Beban Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan

### 1. *Deformed Mesh*

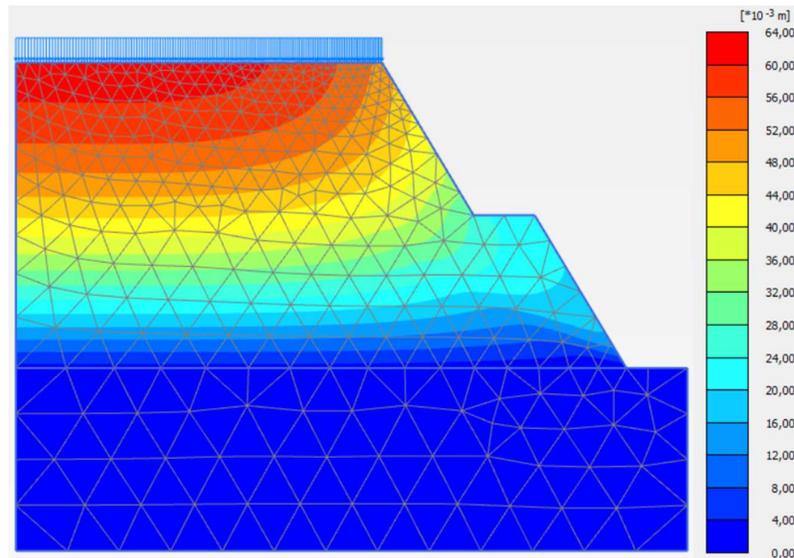
*Deformed mesh* diisyaratkan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah dengan tidak beraturan dan penurunan pada bagian bentuk permukaannya yang disebabkan oleh beban yang bekerja seperti beban sendiri, beban kendaraan, dan beban gempa. *Deformed mesh* pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan dan beban kendaraan tertera pada Gambar 5.11.



**Gambar.5.11 *Deformed Mesh* pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan**

### 2. *Total Displacement*

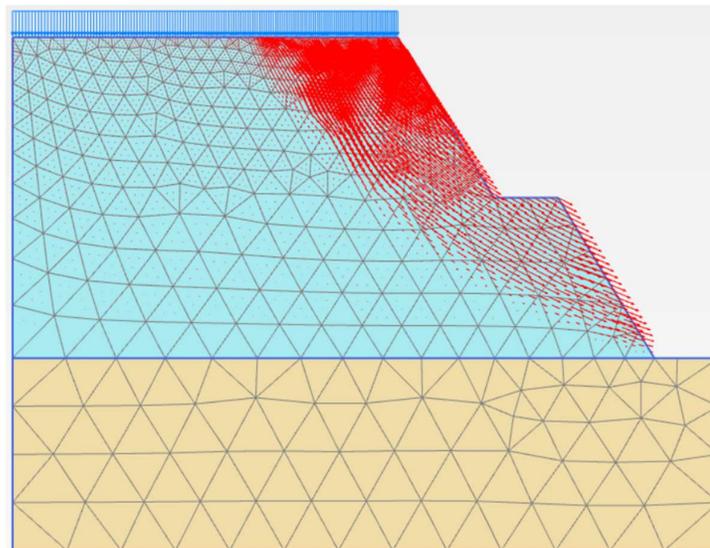
Pada lereng tanpa perkuatan tanah terjadi *displacement* searah vertikal akibat beban timbunan dan beban kendaraan. *Displacement* paling besar terjadi di bagian tengah atas yang ditunjukkan dengan warna oranye tua. Ketika di bawah lapisan warna oranye tua memudar menjadi biru tua menandakan nilai *displacement* mengalami penurunan. Nilai *displacement* paling besar pada lereng timbunan tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan dan beban kendaraan adalah 0,0606 m yang tertera pada Gambar 5.12 sebagai berikut.



**Gambar 5.12 Total Displacement pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan**

### 3. Arah Pergerakan Tanah

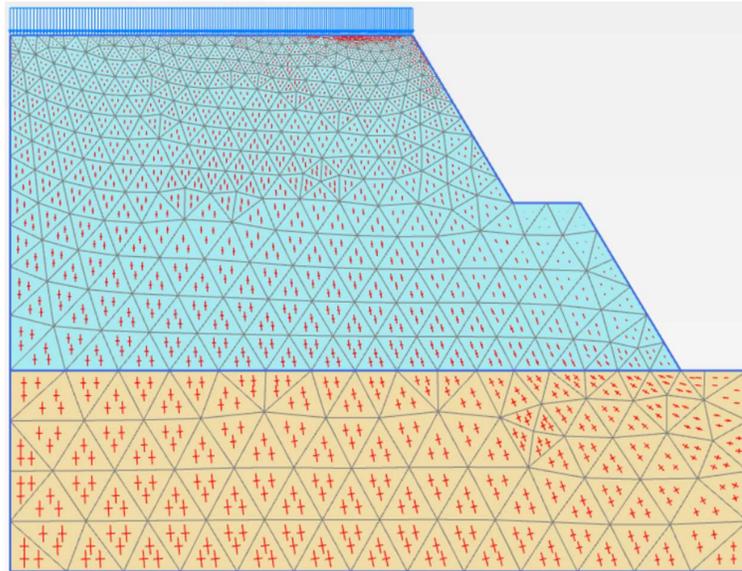
Hasil analisis pergerakan tanah pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan dan beban kendaraan menunjukkan bahwa terjadi pergerakan tanah yang dominan bergerak ke arah sebelah kanan. Arah pergerakan tanah tertera pada Gambar 5.13 sebagai berikut.



**Gambar 5.13 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan**

#### 4. *Effective Stress*

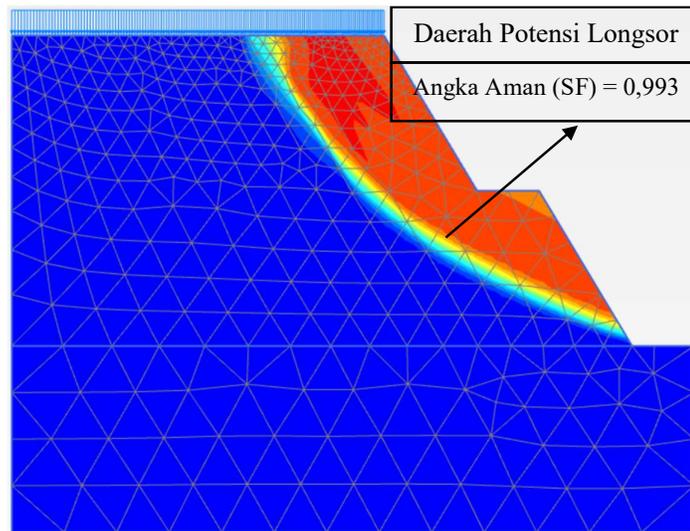
Tegangan efektif (*Effective Stress*) merupakan tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan daripada tanah. Dari hasil analisis *Effective Stress*, disimpulkan bahwa garis-garis yang menunjukkan arah dan intensitas tegangan efektif cenderung meningkat saat menuju ke bagian 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  $0,2434 \times 10^{-12}$  kN/m<sup>2</sup>. Hasil analisis *Effective Stress* dapat diamati pada Gambar 5.9 berikut.



**Gambar 5.14 *Effective Stress* pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan**

#### 5. Daerah Potensi Kelongsoran

Hasil analisis program PLAXIS menunjukkan bahwa bentuk kelongsoran yang terjadi adalah *rotational slides*. Dari hasil ini dapat juga dilihat zona pasif dan zona aktif yang terbentuk. Zona pasif digambarkan secara grafis dengan warna biru sedangkan zona aktif dengan warna oranye. Potensi kelongsoran dan arah pergerakan tanah pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan dan beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.

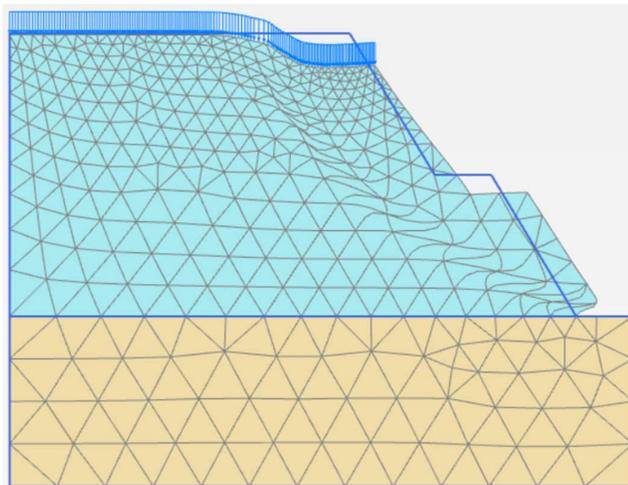


**Gambar 5.15 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan dengan Beban Timbunan dan Beban Kendaraan**

### 5.2.3 Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa

#### 1. *Deformed Mesh*

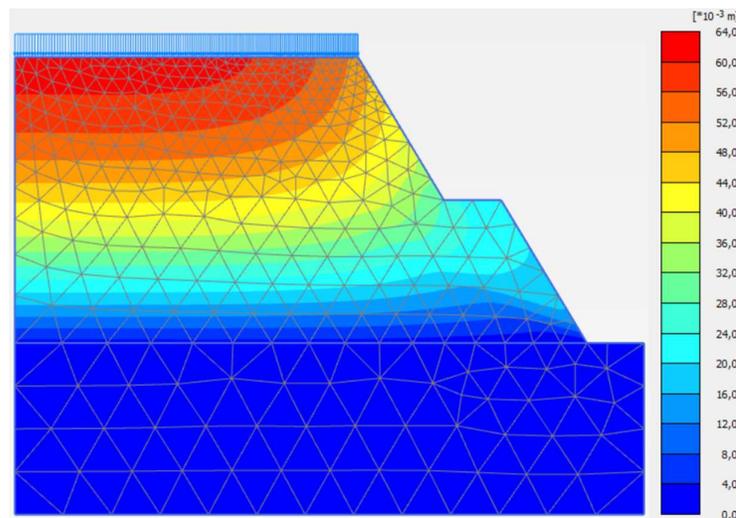
*Deformed mesh* diisyaratkan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah dengan tidak beraturan dan penurunan pada bagian bentuk permukaannya yang disebabkan oleh beban yang bekerja seperti beban sendiri, beban kendaraan, dan beban gempa. *Deformed mesh* pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa tertera pada Gambar 5.16.



**Gambar 5.16 *Deformed Mesh* pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa**

## 2. *Total Displacement*

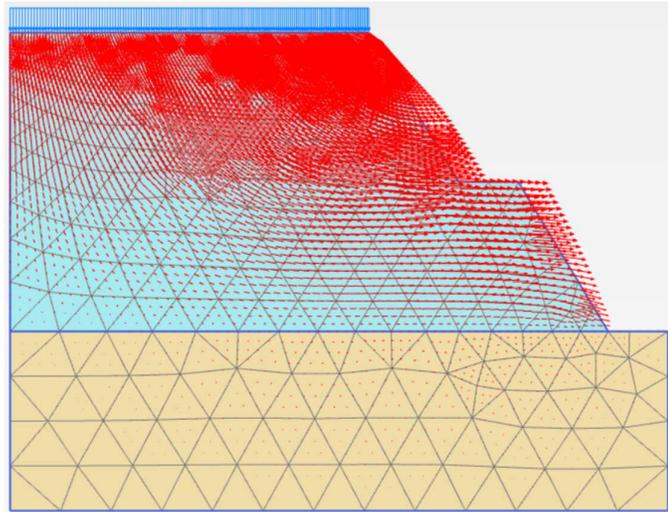
Pada lereng tanpa perkuatan tanah terjadi *displacement* searah vertikal akibat beban timbunan dan beban kendaraan. *Displacement* dengan nilai paling besar terjadi di bagian tengah atas yang ditandai dengan warna oranye tua. Ketika di bawah lapisan warna oranye tua memudar menjadi biru tua menandakan nilai *displacement* mengalami penurunan. Nilai *displacement* paling besar pada lereng timbunan tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa adalah 0,0621 m yang tertera pada Gambar 5.17 sebagai berikut.



**Gambar 5.17 *Total Displacement* pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa**

## 3. Arah Pergerakan Tanah

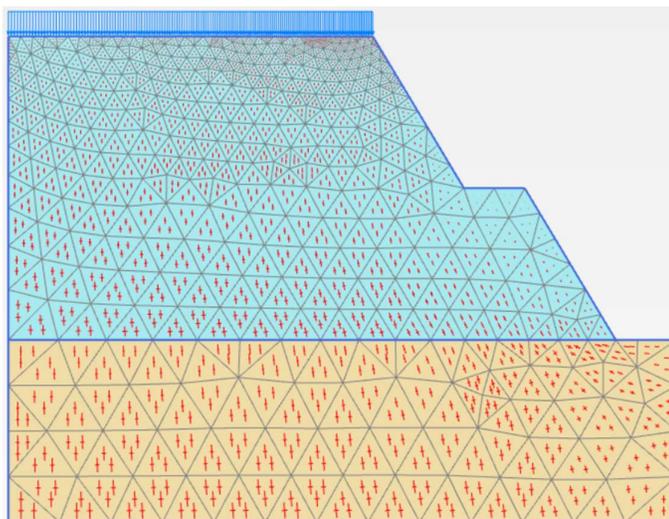
Hasil analisis pergerakan tanah pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa menunjukkan bahwa terjadi pergerakan tanah yang dominan bergerak ke arah sebelah kanan meskipun ada juga yang bergerak ke arah bawah timbunan. Hasil pergerakan tanah didapat dari pemodelan dan analisis pada program PLAXIS. Arah pergerakan tanah tertera pada Gambar 5.18 sebagai berikut.



**Gambar 5.18 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa**

#### 4. *Effective Stress*

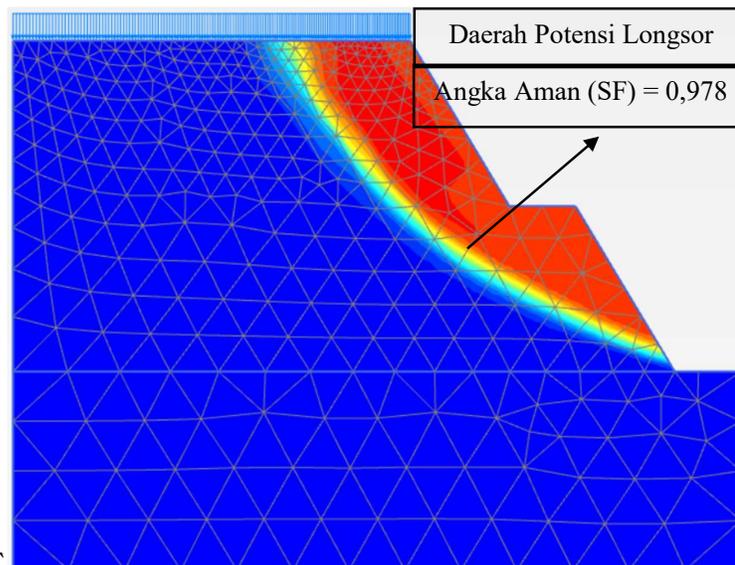
Dari hasil analisis disimpulkan bahwa garis-garis yang menunjukkan arah dan intensitas tegangan efektif cenderung meningkat saat menuju ke bagian bawah hingga mencapai lapisan dasar tanah. Nilai maksimum *effective stress* pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban sendiri, beban kendaraan, dan beban gempa adalah  $0,07816 \times 10^{-12} \text{ kN/m}^2$ . *Effective Stress* tertera Gambar 5.19.



**Gambar 5.19 *Effective Stress* pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa**

### 5. Daerah Potensi Kelongsoran

Dari analisis program PLAXIS ditunjukkan pada Gambar 5.20 bahwa pada lereng tanpa perkuatan tanah dengan beban sendiri, beban kendaraan, dan beban gempa kelongsoran yang akan terjadi adalah nendatan (*rotational slide*). Longsoran rotasi adalah gerakan massa tanah dan batuan yang terjadi di bidang gelincir cekung, sementara pergerakan blok adalah pergeseran batuan di bidang gelincir datar. Longsoran ini juga dikenal sebagai longsoran translasi blok batu. Dari hasil ini dapat dilihat zona aktif ditandai dengan warna oranye kemerahan sedangkan zona pasif yang ditandai dengan warna biru tua.



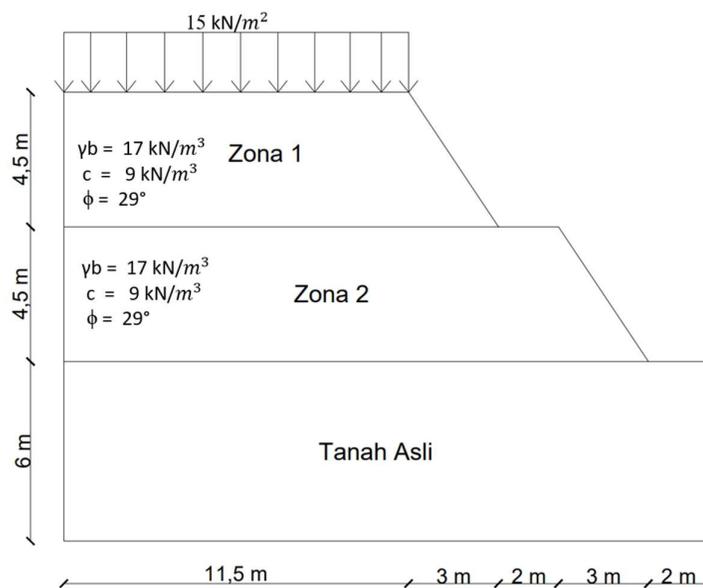
**Gambar 5.20 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa**

Besarnya faktor aman dari analisis program PLAXIS yang terdapat pada lereng Sta. 2+375 tanpa perkuatan dengan beban timbunan, beban gempa dan beban kendaraan sebesar  $0,978 < 1,25$ . 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.

### 5.3 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 dibuat dari *polipropilena* (meskipun beberapa menggunakan *poliester* atau *polietilena*), yang diproses menjadi serat atau benang, lalu dijadikan kain anyaman (*woven*) atau non-anyaman (*non woven*). Saat kain tekstil ini ditempatkan di tanah, maka disebut sebagai geotekstil. Geotekstil yang digunakan adalah tipe geotekstil *woven* UW-250 yang diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul.

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah zone per zone, dimana lereng tanah timbunan dibagi menjadi dua bagian yaitu zona 1, dan zona 2. Nilai faktor keamanan (SF)  $> 1,25$  menurut Bowles (1989) ditafsirkan sebagai lereng dengan longsor jarang terjadi atau relatif stabil. Untuk menyebutkan lereng stabil perlu dibuat nilai batas aman selain dari  $F=1,25$ . Karena bidang longsor terdapat pada tanah timbunan maka geotekstil ditempatkan pada tanah timbunan. Untuk merencanakan perkuatan lereng dengan geotekstil stabil terhadap gaya-gaya yang bekerja maka diperlukan analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal.



**Gambar 5.21** Pembagian Zona untuk Perhitungan Geotekstil

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

1. Tanah Timbunan

- a. Berat Volume Tanah ( $\gamma_b$ ) = 17 kN/m<sup>3</sup>
- b. Kohesi (c) = 9 kN/m<sup>3</sup>
- c. Sudut Gesek Dalam ( $\phi$ ) = 29°
- d. Kemiringan Lereng = 56,31°

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<sup>2</sup>

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**

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
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)

### 5.3.1 Stabilitas Eksternal

#### 1. Menentukan Jarak Arah Vertikal antar Lapisan Geotekstil (SV)

Beban merata kendaraan = 12 kN/m<sup>2</sup> digunakan *safety factor* (SF) = 1,5 dan koehsi (c) = 9 kN/m<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{\phi}{2}\right)\right) \\ &= \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{29}{2}\right)\right) \\ &= 0,347 \end{aligned}$$

##### a. Zona 1

$$\begin{aligned} \sigma_{hc1} &= (q \times k_a) + (k_a \times H_1 \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{k_a}) \\ &= (15 \times 0,347) + (0,347 \times 4,5 \times 17) - (2 \times 9 \times \sqrt{0,347}) \\ &= 21,1473 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$Sv1 = \frac{T_a}{\sigma_{hc1} \times SF} = \frac{26}{21,1473 \times 1,5} = 0,8196 \text{ m}$$

Dilapangan dipasang  $Sv1 = 1 \text{ m}$

Banyaknya lapis geotekstil = (4,5)/(1) = 4,5

Banyak lembar yang diambil = 5 lembar

##### b. Zona 2

$$\begin{aligned} \sigma_{hc2} &= (k_a \times H_2 \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{k_a}) \\ &= (0,347 \times 9 \times 17) - (2 \times 9 \times \sqrt{0,347}) \\ &= 42,4878 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

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

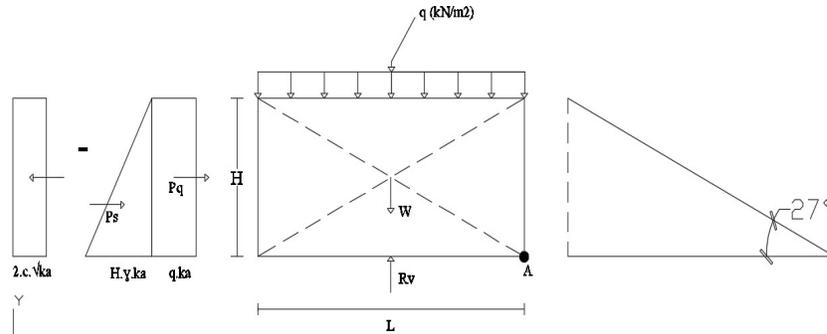
$$Sv2 = \frac{T_a}{\sigma_{hc2} \times SF} = \frac{26}{42,4878 \times 1,5} = 0,408 \text{ m}$$

Dilapangan dipasang  $Sv2 = 0,5 \text{ m}$

Banyaknya lapis geotekstil = (4,5)/(0,5) = 9

Banyak lembar yang diambil = 9 lembar

## 2. Menentukan Panjang Geotekstil Berdasarkan Gaya-Gaya yang Bekerja



**Gambar 5.22 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Tanah Miring**

Zona 1:

a. Eksentrisitas

$$e = \frac{\Sigma MD}{Rv} = \frac{(P_q \times \frac{1}{2} \times H) + (P_s \times \frac{1}{3} \times H) - (P_k \times \frac{1}{2} \times H)}{(H \times \gamma_b \times L) + (q \times L)}$$

Asumsi bahwa resultan gaya bekerja pada Tera (sentris)

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{(q \times ka \times \frac{1}{2} \times H^2) + (\frac{1}{2} \times ka \times \gamma_b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H) - (2 \times c \times \sqrt{ka} \times \frac{1}{2} \times H^2)}{(H \times \gamma_b \times L) + (q \times L)}$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{(15 \times 0,347 \times \frac{1}{2} \times 4,5^2) + (\frac{1}{2} \times 0,347 \times 17 \times 4,5^2 \times \frac{1}{3} \times 4,5) - (2 \times 9 \times \sqrt{0,347} \times \frac{1}{2} \times 4,5^2)}{(4,5 \times 17 \times L) + (15 \times L)}$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{34,9342}{91,5L}$$

$$91,5 L^2 \geq 209,6052$$

$$L^2 = \frac{209,6052}{91,5}$$

$$L^2 = 2,2908$$

$$L = \sqrt{2,2908}$$

$$L = 1,5135 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil = 1,5 m

b. Stabilitas Terhadap Guling

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

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

$$\Sigma MR = 0,5 \times \gamma_b \times H \times L^2$$

$$SF = \frac{0,5 \times 17 \times 4,5 \times L^2}{(15 \times 0,347 \times \frac{1}{2} \times 4,5^2) + (\frac{1}{2} \times 0,347 \times 17 \times 4,5^2 \times \frac{1}{3} \times 4,5) - (2 \times 9 \times \sqrt{0,347} \times \frac{1}{2} \times 4,5^2)}$$

$$SF = \frac{38,25 L^2}{34,9342}$$

$$L^2 = \frac{(34,9342 \times 1,5)}{38,25}$$

$$L = \sqrt{1,37}$$

$$L = 1,1705 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil = 1 m

c. Stabilitas Terhadap Geser

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

Tahanan geser pada dasar perkuatan ( $\delta_b = 2/3 \times 29^\circ = 19,333^\circ$ )

$$SF = \frac{(15 \times \text{tg } 19,333 \times L) + (L \times 4,5 \times 17 \times \text{tg } 19,333)}{(0,5 \times 4,5^2 \times 0,347 \times 17) + (15 \times 0,347 \times 4,5) - (2 \times 9 \times \sqrt{0,347} \times 4,5)}$$

$$SF = \frac{32,1012 L}{35,4355}$$

$$L = \frac{35,4355 \times 1,5}{32,1012} = 1,6558 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil = 2 m

d. Tinjauan Terhadap Kapasitas Dukung pada Tanah

Digunakan SF = 1,5

$$N_c = 27,86$$

$$N_\gamma = 19,34$$

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

$$\begin{aligned} q_{ult} &= c \times N_c + 0,5 \times L \times \gamma_b \times N_\gamma \\ &= 9 \times 27,86 + 0,5 \times L \times 17 \times 19,34 \\ &= 250,74 + 164,39 L \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \sigma_{ult} &= q_{ult} \times SF \\ &= (250,74 + 164,39 L) \times 1,5 \\ &= 376,11 + 246,585 L \end{aligned}$$

$$L \leq \frac{376,11 + 246,585 L}{(4,5 \times 17) + 15}$$

$$91,5L \leq 376,11 + 246,585 L$$

$$L = \frac{376,11}{(91,5 - 246,585)} = -2,425 \text{ m}$$

Dari empat jenis parameter di atas, diambil panjang geotekstil (L) yang maksimum untuk zona 1 yaitu  $L = 2 \text{ m}$ .

Zona 2:

a. Eksentrisitas

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

Asumsi bahwa resultan gaya bekerja pada Tera (sentris)

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{(\frac{1}{2} \times k_a \times \gamma_b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H) - (2 \times c \times \sqrt{k_a} \times \frac{1}{2} \times H^2)}{(H \times \gamma_b \times L)}$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{(\frac{1}{2} \times 0,347 \times 17 \times 9^2 \times \frac{1}{3} \times 9) - (2 \times 9 \times \sqrt{0,347} \times \frac{1}{2} \times 9^2)}{(9 \times 17 \times L)}$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{287,2986}{153L}$$

$$153 L^2 \geq 1723,7916$$

$$L^2 = \frac{1723,7916}{153}$$

$$L^2 = 11,2666$$

$$L = \sqrt{11,2666}$$

$$L = 3,3566$$

Diambil panjang geotekstil = 3,5 m

b. Stabilitas Terhadap Guling

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

$$\Sigma MD = (\frac{1}{2} \times k_a \times \gamma_b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H) - (2 \times c \times \sqrt{k_a} \times \frac{1}{2} \times H^2)$$

$$\Sigma MR = 0,5 \times \gamma_b \times H \times L^2$$

$$SF = \frac{0,5 \times 17 \times 9 \times L^2}{(\frac{1}{2} \times 0,347 \times 17 \times 9^2 \times \frac{1}{3} \times 9) - (2 \times 9 \times \sqrt{0,347} \times \frac{1}{2} \times 9^2)}$$

$$SF = \frac{76,5 L^2}{287,2986}$$

$$L^2 = \frac{(287,2986 \times 1,5)}{76,25}$$

$$L = \sqrt{5,6518}$$

$$L = 2,3773$$

Diambil panjang geotekstil = 2,5 m

c. Stabilitas Terhadap Geser

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

Tahanan geser pada dasar perkuatan ( $\delta_b = 2/3 \times 29^\circ = 19,333^\circ$ )

$$SF = \frac{(L \times 9 \times 17 \times \text{tg } 19,333)}{(0,5 \times 9^2 \times 0,347 \times 17) - (2 \times 9 \times \sqrt{0,347} \times 9)}$$

$$SF = \frac{53,6788 L}{143,4806}$$

$$L = \frac{143,4806 \times 1,5}{53,6788} = 4,0094$$

Diambil panjang geotekstil = 4 m

d. Tinjauan Terhadap Kapasitas Daya Dukung Tanah

Digunakan SF = 1,5

$$N_c = 27,86$$

$$N_\gamma = 19,34 q_{ult}$$

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \times \gamma_b}$$

$$\begin{aligned} q_{ult} &= c \times N_c + 0,5 \times L \times \gamma_b \times N_\gamma \\ &= 9 \times 27,86 + 0,5 \times L \times 17 \times 19,34 \\ &= 250,74 + 164,39 L \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \sigma_{ult} &= q_{ult} \times SF \\ &= (250,74 + 164,39 L) \times 1,5 \\ &= 376,11 + 246,585 L \end{aligned}$$

$$L \leq \frac{376,11 + 246,585 L}{(9 \times 17)}$$

$$153L \leq 376,11 + 246,585 L$$

$$L = \frac{376,11}{(153 - 246,585)} = -4,0189 \text{ m}$$

Dari empat jenis parameter di atas, diambil panjang geotekstil (L) yang maksimum untuk zona 2 yaitu  $L = 4 \text{ m}$ .

### 5.3.2 Stabilitas Internal

#### 1. Panjang Geotekstil *Overlapping*

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times Sv_i \times SF}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \text{tg } \varphi}$$

Geotekstil no. 1 pada zona 1

$$\sigma_{hc1} = 20,1063 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = 1,5$$

$$Sv_1 = 1 \text{ m}$$

$$Z_i = 1 \text{ m}$$

$$L_o = \frac{20,1063 \times 1 \times 1,5}{2 \times 17 \times 1 \times \text{tg } 29} = 1,6003 \text{ m}$$

Diambil panjang overlapping 2 m. Rekapitulasi hasil perhitungan  $L_o$  tertera pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

**Tabel 5.6 Rekapitulasi Panjang Geotekstil *Overlapping***

Zona	Geotekstil	$Sv_i$ (m)	$Z_i$ (m)	$L_o$ (m)	$L_o$ pakai (m)
Zona 1	Geotekstil no 1	1	1	1.6003	2
	Geotekstil no 2	1	2	0.8001	1
	Geotekstil no 3	1	3	0.5334	1
	Geotekstil no 4	1	4	0.4001	1
	Geotekstil no 5	1	4.5	0.3556	1
Zona 2	Geotekstil no 6	0.5	5	0.3382	1
	Geotekstil no 7	0.5	5.5	0.3074	1
	Geotekstil no 8	0.5	6	0.2818	1
	Geotekstil no 9	0.5	6.5	0.2601	1
	Geotekstil no 10	0.5	7	0.2415	1
	Geotekstil no 11	0.5	7.5	0.2254	1

**Lanjutan Tabel 5.6 Rekapitulasi Panjang Geotekstil *Overlapping***

Zona	Geotekstil	$Sv_i$ (m)	$Z_i$ (m)	$L_o$ (m)	$L_o$ pakai (m)
Zona 2	Geotekstil no 12	0.5	8	0.2114	1
	Geotekstil no 13	0.5	8.5	0.1989	1
	Geotekstil no 14	0.5	9	0.1879	1

2. Panjang Efektif Geotekstil ( $L_e$ )

$$L_e = \frac{SF \times Sv_i \times ka \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \text{tg } \varphi}$$

Geotekstil no. 1 pada zona 1:

$$L_{e_1} = \frac{1,5 \times 1 \times 0,347 \times 17 \times 1}{2 \times 17 \times 1 \times \text{tg } 29} = 0,4695 \text{ m}$$

Karena  $L_e$  memiliki panjang minimum 1 meter, maka diambil panjang  $L_{e_1}$  meter. Rekapitulasi dari perhitungan  $L_e$  tertera dalam Tabel 5.7.

**Tabel 5.7 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil**

Zona	Geotekstil	$Sv_i$ (m)	$Z_i$ (m)	$L_e$ (m)	$L_e$ pakai (m)
Zona 1	Geotekstil no 1	1	1	0.4695	1
	Geotekstil no 2	1	2	0.4695	1
	Geotekstil no 3	1	3	0.4695	1
	Geotekstil no 4	1	4	0.4695	1
	Geotekstil no 5	1	4.5	0.4695	1
Zona 2	Geotekstil no 6	0.5	5	0.2348	1
	Geotekstil no 7	0.5	5.5	0.2348	1
	Geotekstil no 8	0.5	6	0.2348	1
	Geotekstil no 9	0.5	6.5	0.2348	1
	Geotekstil no 10	0.5	7	0.2348	1
	Geotekstil no 11	0.5	7.5	0.2348	1
	Geotekstil no 12	0.5	8	0.2348	1
	Geotekstil no 13	0.5	8.5	0.2348	1
	Geotekstil no 14	0.5	9	0.2348	1

## 3. Panjang Geotekstil Pada Zona Aktif

$$L_z = (H - Z_i) \cdot \text{tg} (45^\circ - \varphi/2)$$

Geotekstil no. 1 pada zona 1:  $L_{z_1}$

$$L_{z_1} = (4,5 - 1) \cdot \text{tg} (45^\circ - 29/2) = 2,0617 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil pada zona aktif = 2 m

Rekapitulasi dari perhitungan  $L_z$  tertera dalam Tabel 5.9 berikut.

**Tabel 5.8 Rekapitulasi Panjang Geotekstil Pada Zona Aktif**

Zona	Geotekstil	$Sv_i$ (m)	$Z_i$ (m)	$L_z$ (m)	$L_z$ pakai (m)
Zona 1	Geotekstil no 1	1	1	2.0617	2
	Geotekstil no 2	1	2	1.4726	1.5
	Geotekstil no 3	1	3	0.8836	1
	Geotekstil no 4	1	4	0.2945	1
	Geotekstil no 5	1	4.5	0.0000	1
Zona 2	Geotekstil no 6	0.5	5	2.3562	2.5
	Geotekstil no 7	0.5	5.5	2.0617	2
	Geotekstil no 8	0.5	6	1.7671	2
	Geotekstil no 9	0.5	6.5	1.4726	1.5
	Geotekstil no 10	0.5	7	1.1781	1.5
	Geotekstil no 11	0.5	7.5	0.8836	1
	Geotekstil no 12	0.5	8	0.5890	1
	Geotekstil no 13	0.5	8.5	0.2945	1
	Geotekstil no 14	0.5	9	0.0000	1

#### 4. Panjang Total Geotekstil

$$L \text{ total} = L_o + Sv + Le + Lz$$

Geotekstil no. 1 pada zona 1:  $L_1$

$$L_1 \text{ total} = 2 + 1 + 1 + 2 = 6 \text{ m}$$

Rekapitulasi dari perhitungan  $L$  tertera dalam Tabel 5.10 berikut.

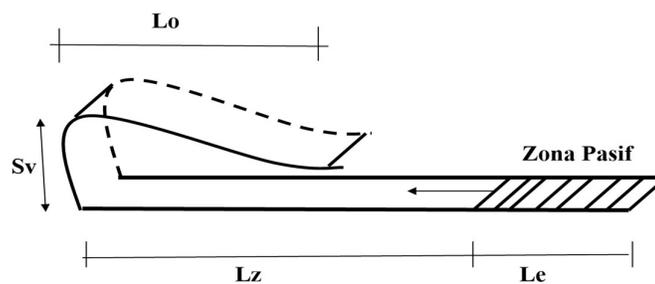
**Tabel 5.9 Rekapitulasi Panjang Total Geotekstil**

Zona	Geotekstil	$L_o$ (m)	$Sv$ (m)	$Le$ (m)	$Lz$ (m)	$L$ total (m)
Zona 1	Geotekstil no 1	2	1	1	2	6
	Geotekstil no 2	1	1	1	2	4.5
	Geotekstil.no 3	1	1	1	1	4
	Geotekstilino 4	1	1	1	1	4
	Geotekstil no 5	1	1	1	1	4
Zona 2	Geotekstil no 6	1	0.5	1	3	5
	Geotekstil no 7	1	0.5	1	2	4.5
	Geotekstil no 8	1	0.5	1	2	4.5
	Geotekstil no 9	1	0.5	1	2	4

Lanjutan Tabel 5.9 Rekapitulasi Panjang Total Geotekstil

Zona	Geotekstil	Lo (m)	Sv (m)	Le (m)	Lz (m)	L total (m)
Zona 2	Geotekstil no 10	1	0.5	1	2	4
	Geotekstil no 11	1	0.5	1	1	3.5
	Geotekstil no 12	1	0.5	1	1	3.5
	Geotekstil no 13	1	0.5	1	1	3.5
	Geotekstil no 14	1	0.5	1	1	3.5

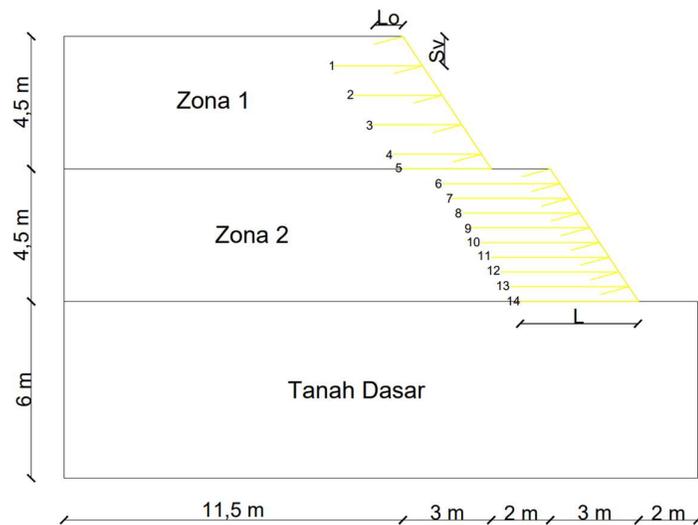
Panjang geotekstil *overlapping*, jarak antar nap geotekstil, panjang geotekstil pada zona aktif dan zona pasif adalah seperti gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.23 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 5.24 Pemasangan Geotekstil pada Setiap Zona Lereng Timbunan

Untuk mengecek kemampuan geotekstil dalam menahan gaya tarik, maka diambil nilai dari  $S_{vi}$  yang paling besar yaitu pada Zona 1 dan geotekstil no 1.

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

$$\begin{aligned} \text{a. } \tau_1 &= C_1 + \sigma_1 \times \text{tg } \varphi_1 \\ &= 9 + (1/2 \times 1 \times 17 \times \text{tg } 29) \\ &= 13,7116 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

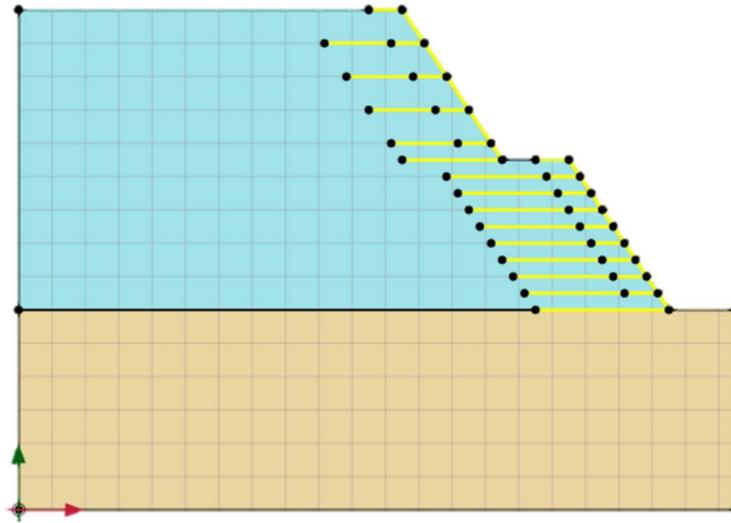
$$\begin{aligned} \text{b. } \tau_2 &= C_2 + \sigma_2 \times \text{tg } \varphi_2 \\ &= 9 + (1/2 \times 0.5 \times 17 \times \text{tg } 29) \\ &= 11,3558 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Gaya Tarik yang Bekerja Pada Geotekstil

$$\begin{aligned} T &= (\tau_1 + \tau_2) \\ &= (13,7116 + 11,3558) \\ &= 25,0674 \text{ kN/m} > 52 \text{ kN/m (Aman)} \end{aligned}$$

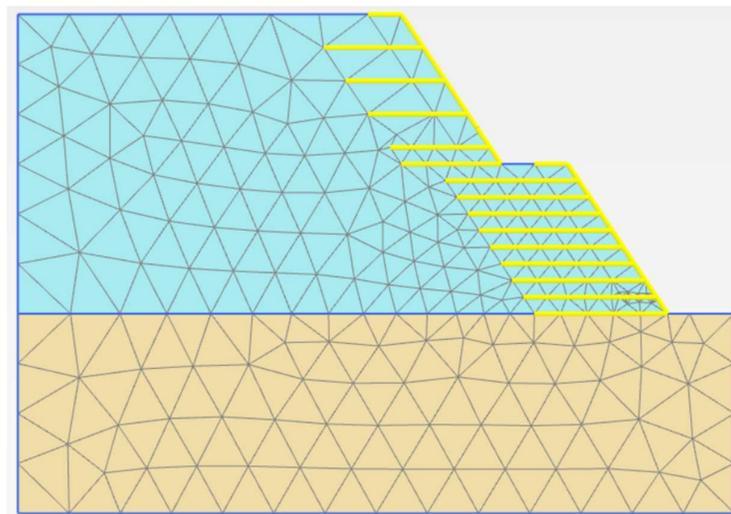
Dari perhitungan sebelumnya, didapat bahwa gaya tarik yang berpengaruh pada geotekstil adalah sebesar 25,0674 kN/m. Di sisi lain geotekstil yang dipilih memiliki kekuatan tarik sebesar 52 kN/m, melebihi gaya tarik yang bekerja tersebut sehingga dapat dikatakan aman..

Pada tugas akhir ini, stabilitas lereng timbunan pada Sta. 2+375 dengan perkuatan tanah geotekstil dengan beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa dihitung dengan menggunakan program PLAXIS 22. Karena pemodelan geotekstil pada PLAXIS harus melewati daerah potensi kelongsoran, maka panjang geotekstil diasumsikan sesuai dengan daerah potensi kelongsoran. Pemodelan lereng dengan perkuatan geotekstil menganalisis hal yang sama seperti dengan pemodelan lereng tanpa perkuatan geotekstil. Hal yang dianalisis tersebut meliputi *deformed mesh*, *total displacement*, arah pergerakan tanah, *effective stress*, dan daerah potensi kelongsoran. Hasil dari pemodelan dan analisis tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.25 hingga Gambar 5.41 dibawah ini.



**Gambar 5.25** Pemodelan Lereng dengan Perkuatan Geotekstil

Dan untuk hasil jaringan elemen hingga ( *meshing* ) pada lereng timbunan tanah asli dengan perkuatan geotekstil dilihat.pada Gambar.5.26.



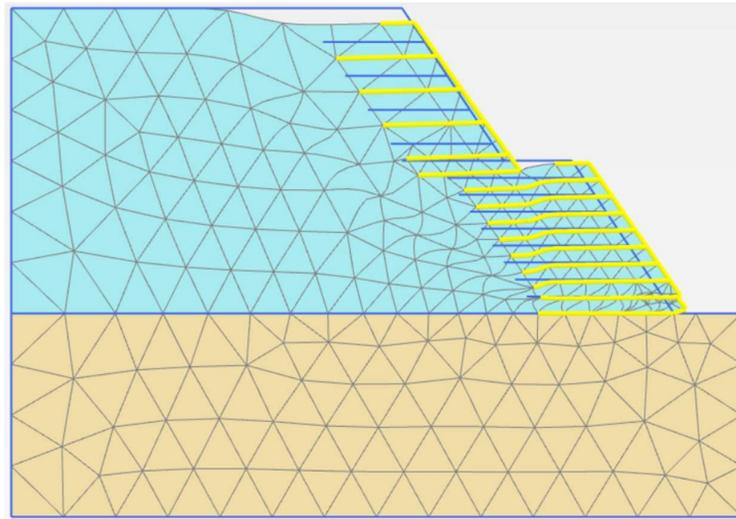
**Gambar 5.26** *Meshing* pada Lereng dengan Perkuatan Geotekstil

### 5.3.3 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

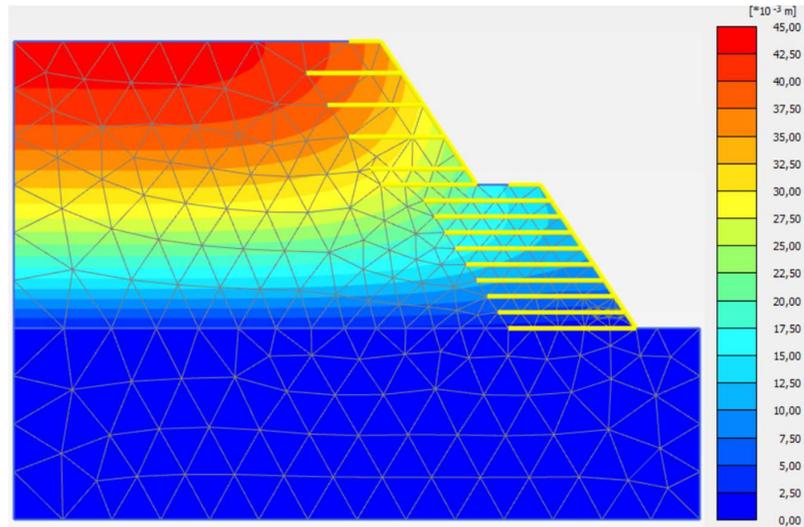
pembebanan yang terjadi pada permukaannya. Beban-bekan yang bekerja tersebut terdiri dari beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa. Analisis *deformed mesh* dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS dan dihasilkan model yang menunjukkan perubahan bentuk pada permukaannya. *Deformed Mesh* pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan (beban sendiri) dapat dilihat pada Gambar 5.27.



**Gambar 5.27 Deformed Mesh pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil**

## 2. *Total Displacement*

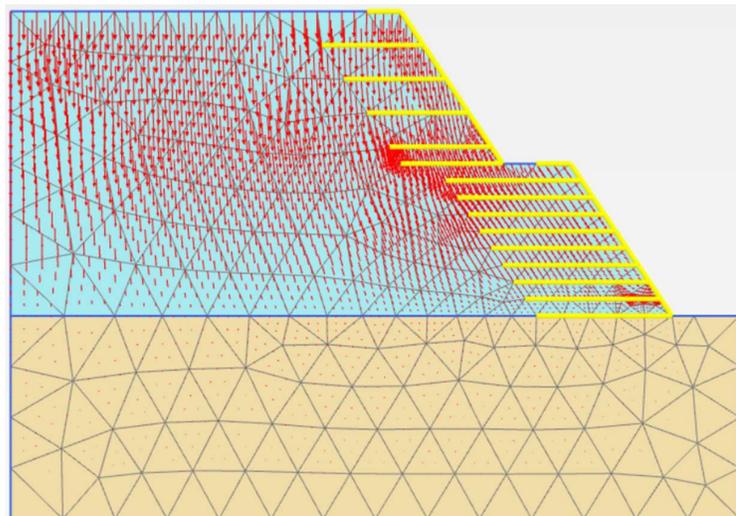
Pada lereng dengan perkuatan geotekstil terjadi *displacement* searah vertikal akibat beban sendiri (beban timbunan). *Displacement* paling besar terjadi di bagian tengah atas yang ditandai dengan warna oranye tua. Ketika di bawah lapisan warna oranye tua memudar menjadi biru tua menandakan nilai *displacement* mengalami penurunan. Nilai *displacement* paling besar pada lereng timbunan tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan adalah 0,0438 m yang tertera pada Gambar 5.28 dibawah ini.



**Gambar 5.28 Total Displacement pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil**

### 3. Arah Pergerakan Tanah

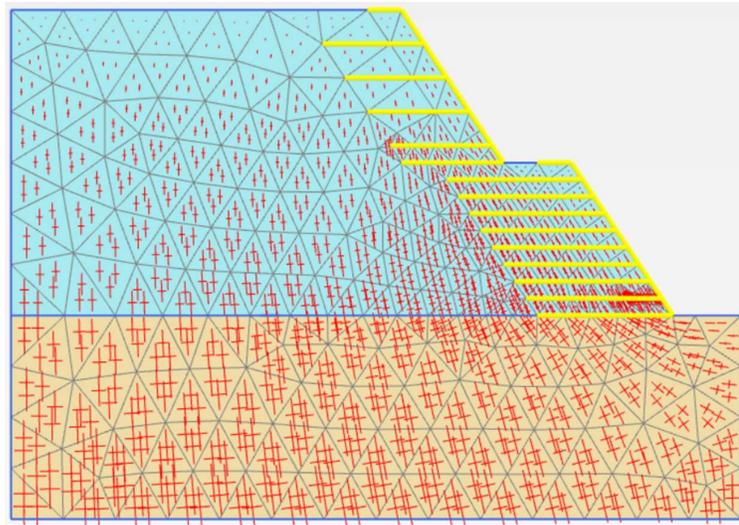
Hasil analisis pergerakan tanah pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan menunjukkan bahwa terjadi pergerakan tanah yang dominan bergerak ke arah sebelah bawah tetapi ada juga pergerakan tanah ke sebelah kanan dari tanah timbunan. Arah pergerakan tanah yang dimaksud tertera pada Gambar 5.29 dibawah ini.



**Gambar 5.29 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil**

#### 4. *Effective Stress*

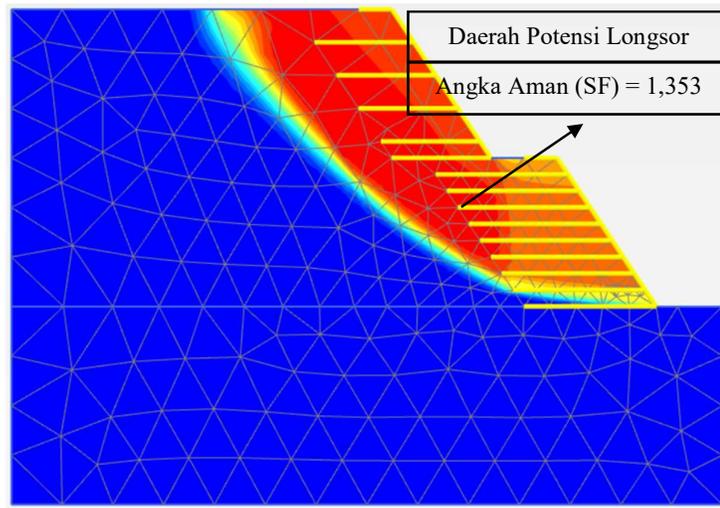
Tegangan efektif (*Effective Stress*) merupakan tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan pada tanah. Dari hasil analisis *Effective Stress*, disimpulkan bahwa garis-garis yang menunjukkan arah dan intensitas tegangan efektif cenderung meningkat saat menuju ke bagian bawah, terutama di tengah-tengah timbunan hingga mencapai lapisan dasar tanah. Besar nilai maksimum *effective stress* pada lereng timbunan tanpa perkuatan tanah akibat beban sendiri adalah  $8,882 \times 10^{-15} \text{ kN/m}^2$ . Hasil analisis *Effective Stress* menggunakan program PLAXIS 22 dapat diamati pada Gambar 5.30 dibawah ini.



**Gambar 5.30 *Effective Stress* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil**

#### 5. Daerah Potensi Kelongsoran

Dari analisis program PLAXIS ditunjukkan pada Gambar 5.26 bahwa kelongsoran yang akan terjadi adalah nendatan ( *rotational slide* ). Dari hasil ini dapat dilihat zona aktif ditandai dengan warna oranye yang artinya potensi kelongsoran tinggi, sedangkan zona pasif yang ditandai dengan warna biru tua menandakan potensi kelongsoran yang bisa terjadi adalah rendah. Potensi kelongsoran pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban sendiri (beban timbunan) dapat dilihat pada Gambar 5.31.

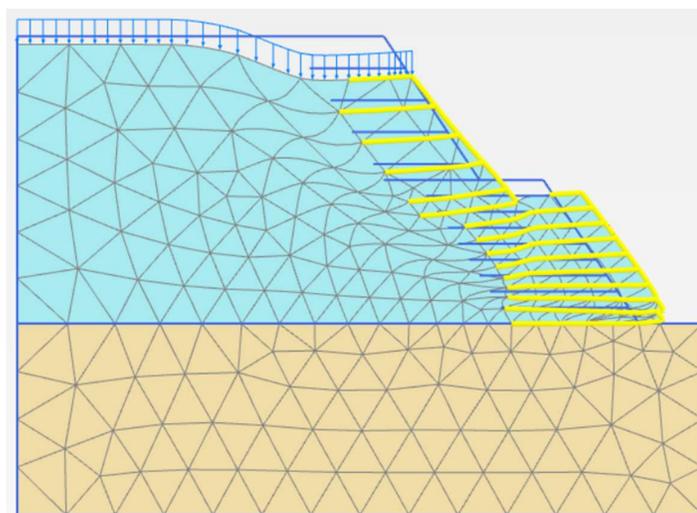


**Gambar 5.31 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dengan Perkuatan Geotekstil**

#### **5.3.4 Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil**

##### 1. *Deformed Mesh*

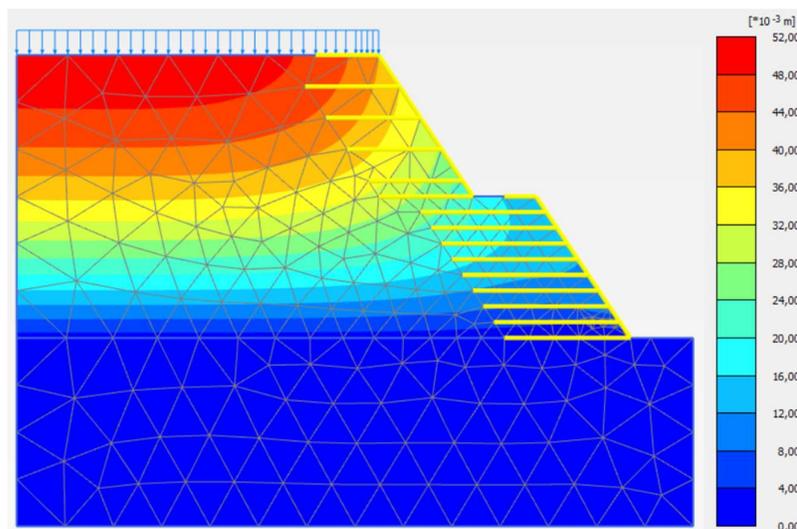
*Deformed Mesh* diisyaratkan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah tidak beraturan yang diakibatkan oleh beban yang bekerja. *Deformed Mesh* pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan (beban sendiri) dan beban kendaraan dengan perkuatan geotekstil tertera pada Gambar 5.32.



**Gambar 5.32 *Deformed Mesh* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil**

## 2. Total Displacement

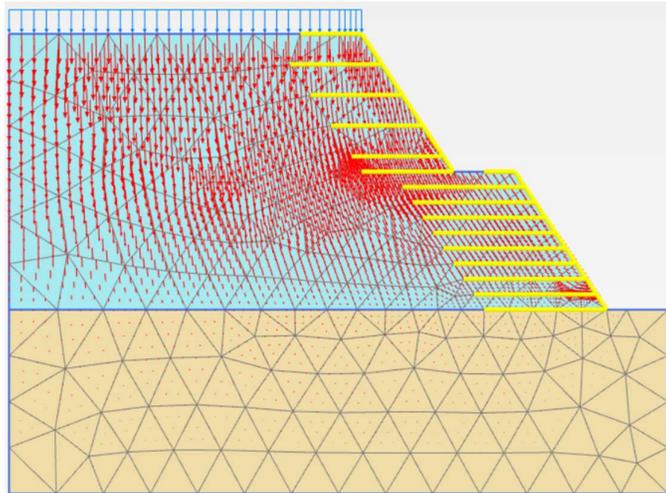
Pada lereng dengan perkuatan geotekstil terjadi *displacement* searah vertikal akibat beban timbunan dan beban kendaraan. *Displacement* paling besar terjadi di bagian tengah atas yang ditandai dengan warna oranye tua. Ketika di bawah lapisan warna oranye tua memudar menjadi biru tua menandakan nilai *displacement* mengalami penurunan. Nilai *displacement* paling besar pada lereng timbunan tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan dan beban kendaraan adalah 0,0491 m yang tertera pada Gambar 5.33 sebagai berikut.



**Gambar 5.33 Total Displacement pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil**

## 3. Arah Pergerakan Tanah

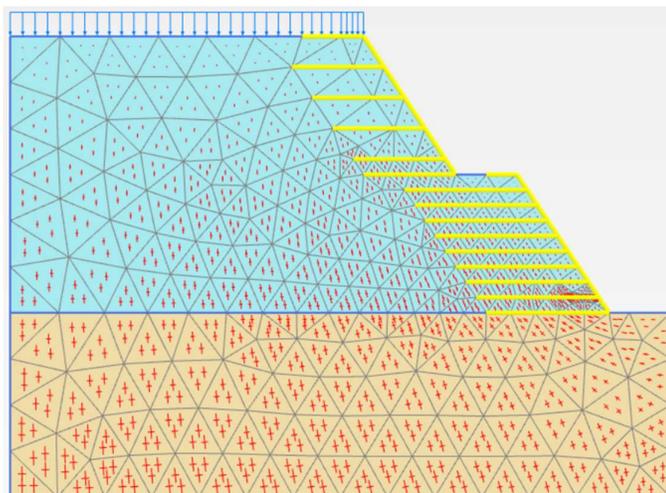
Hasil analisis pergerakan tanah pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan dan beban kendaraan menunjukkan bahwa terjadi pergerakan tanah yang dominan bergerak ke arah bawah tetapi ada juga pergerakan tanah timbunan ke sebelah kanan. Hasil analisis pergerakan tanah dilakukan menggunakan program PLAXIS. Arah pergerakan tanah yang dimaksud tertera pada Gambar 5.34 sebagai berikut.



**Gambar 5.34 Arah Pergerakan Tanah pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil**

#### 4. *Effective Stress*

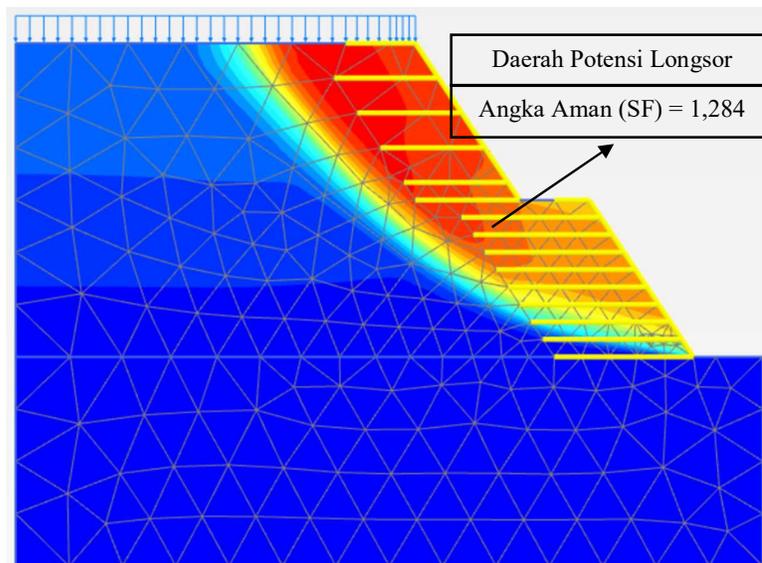
Dari hasil analisis disimpulkan bahwa garis-garis yang menunjukkan arah dan intensitas tegangan efektif cenderung meningkat saat menuju ke bagian bawah hingga mencapai lapisan dasar tanah. Nilai maksimum *effective stress* pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban sendiri, beban kendaraan adalah  $0,01066 \times 10^{-12} \text{ kN/m}^2$ . *Effective Stress* tertera pada Gambar.5.35.



**Gambar 5.35 *Effective Stress* pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil**

### 5. Daerah Potensi Kelongsoran

Dari analisis program PLAXIS ditunjukkan pada Gambar 5.36 bahwa pada lereng tanpa perkuatan tanah dengan beban sendiri dan beban kendaraan kelongsoran yang akan terjadi adalah nendatan ( *rotational slide* ). Dari hasil ini dapat dilihat zona aktif ditandai dengan warna oranye sedangkan zona pasif yang ditandai dengan warna biru tua. Potensi kelongsoran tertera pada Gambar 5.36.

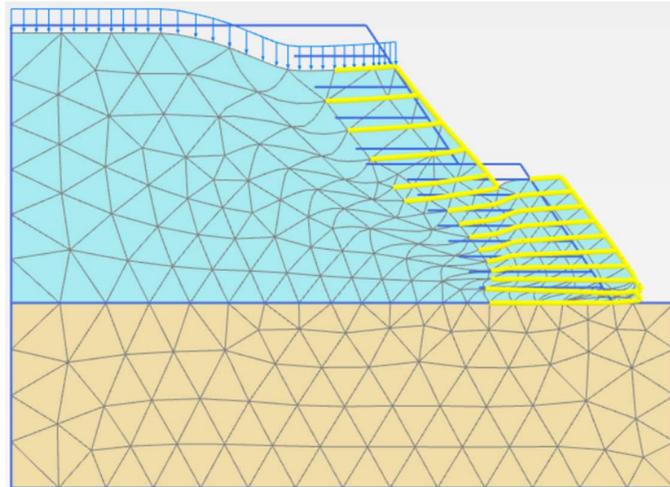


**Gambar 5.36 Daerah Potensi Kelongsoran pada Timbunan (Akibat Beban Sendiri) dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil**

### 5.3.5 Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil

#### 1. *Deformed Mesh*

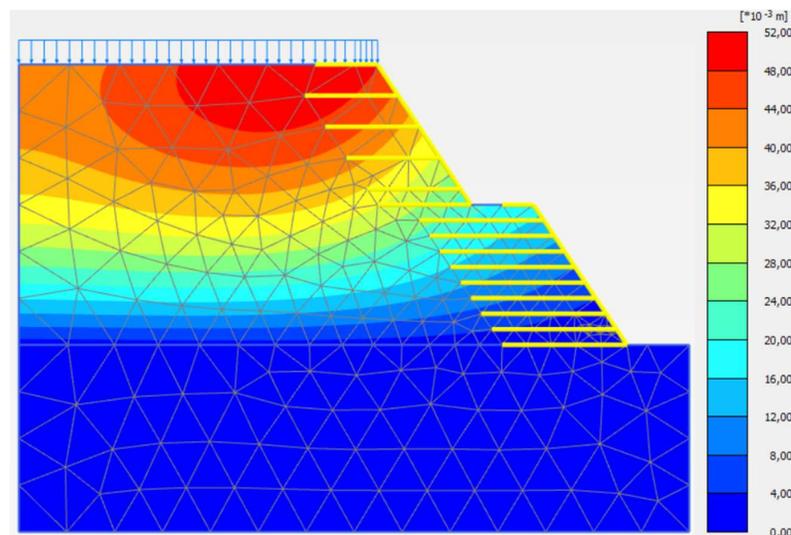
*Deformed mesh* diisyaratkan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah dengan tidak beraturan dan penurunan pada bagian bentuk permukaannya yang disebabkan oleh beban yang bekerja seperti beban sendiri, beban kendaraan, dan beban gempa. *Deformed mesh* pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa tertera pada gambar 5.37.



**Gambar 5.37 Deformed Mesh pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil**

## 2. Total Displacement

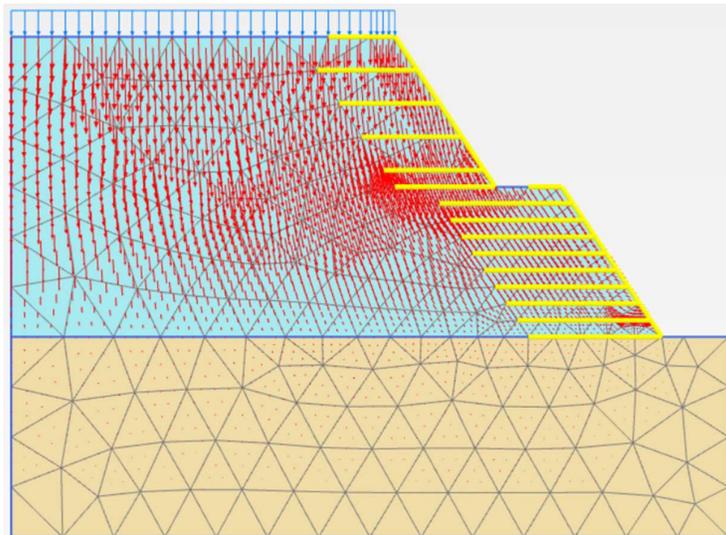
Pada lereng dengan perkuatan geotekstil terjadi *displacement* searah vertikal akibat beban timbunan dan beban kendaraan. *Displacement* paling besar terjadi di bagian tengah atas yang ditandai dengan warna oranye tua. Ketika di bawah lapisan warna oranye tua memudar menjadi biru tua menandakan nilai *displacement* mengalami penurunan. Nilai *displacement* paling besar pada lereng tersebut adalah 0,0518 m seperti yang tertera pada Gambar 5.38 berikut.



**Gambar 5.38 Total Displacement pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil**

### 3. Arah Pergerakan Tanah

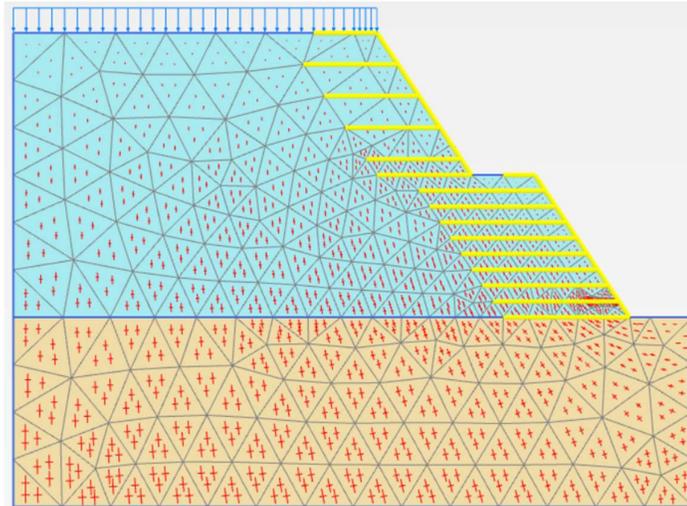
Hasil analisis pergerakan tanah pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa menunjukkan bahwa terjadi pergerakan tanah yang dominan bergerak ke arah bawah meskipun ada juga yang bergerak ke arah sebelah kanan. Hasil pergerakan tanah didapat dari pemodelan dan analisis pada program PLAXIS. Arah pergerakan tanah yang dimaksud tertera pada Gambar 5.39 sebagai berikut.



**Gambar 5.39 Arah Pergerakan Tanah dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil**

### 4. *Effective Stress*

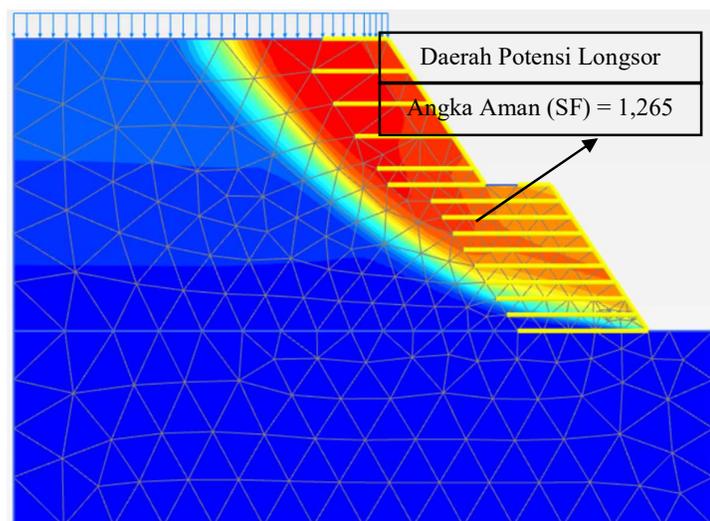
Dari analisis *Effective Stress* menunjukkan hasil bahwa tegangan efektif semakin ke bawah semakin banyak khususnya di bagian tengah timbunan hingga ke bagian bawah tanah dasar. Besar nilai *effective stress* pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan (beban sendiri), beban kendaraan dan beban gempa adalah  $7,105 \times 10^{-15}$  kN/m<sup>2</sup>. Hasil analisis *Effective Stress* dengan menggunakan program PLAXIS tersebut tertera pada Gambar 5.39 sebagai berikut.



**Gambar 5.40** *Effective Stress* dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil

#### 5. Daerah Potensi Kelongsoran

Dari analisis program PLAXIS ditunjukkan bahwa kelongsoran yang akan terjadi adalah nendatan (*rotational slide*). Dari hasil ini dapat dilihat zona aktif ditandai dengan warna oranye sedangkan zona pasif yang ditandai dengan warna biru tua. Potensi kelongsoran pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban kendaraan, beban sendiri, dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.36.



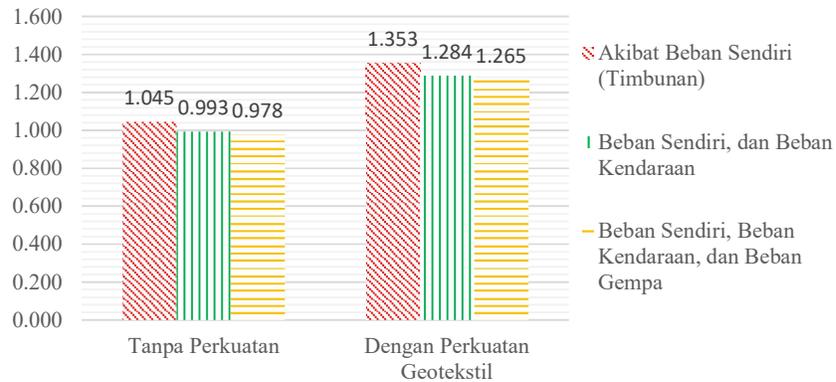
**Gambar 5.41** Daerah Kelongsoran pada Timbunan dengan Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil

#### 5.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil pada program PLAXIS, dengan input kombinasi beban timbunan (sendiri), beban kendaraan, dan beban gempa didapat hasil rekapitulasi *Safety Factor* dan *Total Displacement* seperti tercantum dalam tabel 5.12 berikut.

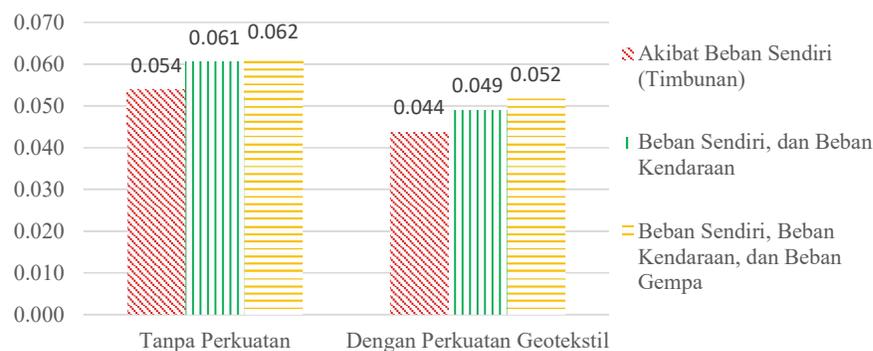
**Tabel 5.10 Hasil Rekapitulasi Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program PLAXIS Versi 22**

<b>Analisis</b>		<b><i>Total Displacement (m)</i></b>	<b><i>Safety Factor</i></b>
<b>Lereng Tanpa Perkuatan Tanah</b>	Akibat Beban Timbunan (Beban Sendiri)	0,0540	1,045
	Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	0,0606	0,993
	Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa	0,0621	0,978
<b>Lereng Dengan Perkuatan Tanah Geotekstil</b>	Akibat Beban Timbunan (Beban Sendiri)	0,0438	1,353
	Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	0,0491	1,284
	Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan dan Beban Gempa	0,0518	1,265



**Gambar 5.42 Grafik SF pada Lereng**

Berdasarkan grafik 5.42 diatas didapat hasil SF pada lereng tanpa perkuatan geotekstil akibat beban timbunan (beban sendiri) sebesar 1,045, akibat beban timbunan dan beban kendaraan sebesar 0,993 dan akibat beban timbunan, beban kendaraan dan beban gempap sebesar 0,978. Dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan (beban sendiri) sebesar 1,353, akibat beban timbunan dan beban kendaraan sebesar 1,284, dan akibat beban timbunan, beban kendaraan dan beban gempap sebesar 1,265. Hal ini menunjukkan bahwa lereng tanpa perkuatan tidak aman karena lebih kecil dari angka aman yang ditentukan, yaitu 1,25. Dan untuk lereng dengan perkuatan geotekstil didapatkan nilai SF yang lebih besar dari 1,25. Hal tersebut menandakan lereng menjadi relatif stabil dan potensi terjadinya longsor sangat rendah (Bowles, 1989).



**Gambar 5.43 Grafik Total Displacement pada Lereng**

Dari grafik 5.43 diatas, hasil *total displacement* didapat dari analisis program PLAXIS versi 22 pada lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil. Pada Lereng tanpa perkuatan akibat beban timbunan (beban sendiri) *total displacement* sebesar 0,05401 m. Akibat beban timbunan dan beban kendaraan *total displacement* sebesar 0,06207 m dan akibat beban timbunan, beban kendaraan dan beban gempa *total displacement* sebesar 0,07109 m. Sedangkan lereng dengan perkuatan akibat beban timbunan (beban sendiri) *total displacement* sebesar 0,04376 m. Akibat beban timbunan dan beban kendaraan *total displacement* sebesar 0,0510 m dan akibat beban timbunan, beban kendaraan dan beban gempa *total displacement* sebesar 0,06102 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 metode Fellenius lereng tanpa perkuatan tanah sebesar 1,017.
2. Didapatkan SF PLAXIS lereng tanpa perkuatan tanah sebesar 1,045 akibat beban sendiri (beban timbunan). SF tanpa perkuatan tanah 0,993 akibat beban sendiri (beban timbunan), dan beban kendaraan. SF tanpa perkuatan tanah 0,978 akibat beban sendiri (beban timbunan), beban kendaraan, dan beban gempa.
3. Didapatkan SF PLAXIS lereng dengan perkuatan geotekstil sebesar 1,353 akibat beban sendiri (beban timbunan). SF dengan perkuatan geotekstil sebesar 1,284 akibat beban sendiri (beban timbunan), dan beban kendaraan. SF dengan perkuatan geotekstil sebesar 1,265 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 0,0540 m. *Total displacement* akibat beban sendiri (beban timbunan), dan beban kendaraan sebesar 0,0606. *Total displacement* akibat beban sendiri (beban timbunan), beban kendaraan, dan beban gempa sebesar 0,0621 m.
5. Diperoleh *total displacement* pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban sendiri (beban timbunan) sebesar 0,0438 m. *Total displacement* akibat beban sendiri (beban timbunan), dan beban kendaraan sebesar 0,0491 m. *Total displacement* akibat beban sendiri (beban timbunan), beban kendaraan, dan beban gempa sebesar 0,0518 m.
6. Pengaruh perkuatan geotekstil yang diberikan pada lereng cukup signifikan, sehingga menaikkan nilai faktor keamanan dan menurunkan nilai displacement. Nilai faktor keamanan yang didapatkan lebih dari ( $>$ ) 1,25 artinya lereng dalam keadaan yang relatif stabil dan potensi terjadinya longsor rendah (Bowles, 1989).

## 6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng yang sudah dilakukan pada 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 sejenis ini masih memiliki potensi untuk dikembangkan dengan melakukan modifikasi pada jenis perkuatan tanah yang dipakai, memodifikasi parameter tanah, dan mencoba berbagai variasi metode analisis 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. Dapat ditambahkan perhitungan rencana anggaran biaya (RAB) dari perkuatan lereng, agar dapat diketahui kebutuhan biaya yang efisien yang diperlukan untuk pelaksanaan proyek.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. 2018. *Standard Terminology for Geosynthetics*. ASTM International. West Conshohocken. Pennsylvania.
- Badan Standardisasi 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 Timbunan Badan Jalan dan Prediksi Timbunan yang Terjadi menggunakan Program PLAXIS (Studi Kasus Proyek Jalan Tol Cimanggung – Cibitung seksi II Ruas Transyogi - 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.

- Lembang, L. D. 2021. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus di Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta 132+750). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Prabowo, A. 2019. Analisis Stabilitas Lereng pada Ruas Jalan dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus pada Ruas Jalan Tol Ngawi – Kertosono). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Pratama, R. R. 2019. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Berjenjang Tipe Concrete Cantilever Menggunakan Program PLAXIS 8.6 (Studi Kasus di Pasaman, Padang, Sumatera Barat). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- PT. Teknindo Geosistem Unggul (Tanpa Tahun). Technical Specification Geotextile Woven. Surabaya.
- Purwanto, Edy. 2012. *Perkuatan Tanah*. Handout Mata Kuliah. Universitas Islam Indonesia.
- Setiawan, W. H. 2019. Perencanaan Ulang Perkuatan Tanah Kali Code menggunakan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever dan Geotekstil (Studi Kasus Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Suryolelono, K. B. (2000). Geosintetik Geoteknik. Nafiri. Yogyakarta.
- Terzaghi, K. dan Peck, R. B. 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Whittaker, B.N. and Reddish, D.J. 1989. Subsidence Occurrence, Prediction and Control (Development in Geotechnical Engineering, 56). Department of Mining Engineering. The University of Nottingham. Nottingham City.

# LAMPIRAN



**Lampiran 2 Data Laboratorium Bor Mesin di Kegiatan Penyelidikan Tanah JJLS Planjan-Baron-Tepus**

SUMMARY OF ROCK MECHANICAL TESTING MATERIAL																		
PENYELIDIKAN GEOTEK - P2JN Yogyakarta																		
No.	SAMPLE				INDEX PROPERTIES										UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH			
	ID	DEPTH (m)		Location	Natural Density (d)	Natural Water Content	Saturat Density (s)	Absorpt / St. Water	Dry Density (d)	Deg. Of Saturated (S)	Porosity (n)	Ap. Spec. Gravity	True Sepc. Gravity	Void Ratio (e)	Natural			
		From	To		gr/cm <sup>3</sup>	%	gr/cm <sup>3</sup>	%	gr/cm <sup>3</sup>	%	%	-	-	-	σ <sub>C</sub>	E (Axial)	E (Diametral)	Poisson Ratio
																kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	BH-01/ DS-01	06.30	06.43	JJLS PLANJAN-TEPUS / STA 0+475	2.317	1.53	2.393	4.85	2.282	31.61	11.07	2.2821	2.5663	0.124	147.212	7.34E+03	1.69E+04	0.435
2	BH-01/ DS-02	14.58	14.70	JJLS PLANJAN-TEPUS / STA 0+475	1.431	5.90	1.722	27.40	1.351	21.53	37.03	1.3514	2.1461	0.588	31.058	8.00E+03	1.89E+04	0.423
3	BH-01/ DS-03	15.19	15.32	JJLS PLANJAN-TEPUS / STA 0+475	2.197	10.14	2.221	11.33	1.995	89.43	22.61	1.9949	2.5777	0.292	82.675	1.09E+04	2.67E+04	0.407
4	BH-03/ DS-01	03.76	04.00	JJLS PLANJAN-TEPUS STA 6+350	2.296	5.46	2.355	8.15	2.177	67.05	17.74	2.1774	2.6471	0.216	175.162	3.20E+04	7.95E+04	0.402
5	BH-03/ DS-02	07.74	08.00	JJLS PLANJAN-TEPUS STA 6+350	2.638	6.66	2.548	3.03	2.473	219.44	7.50	2.4729	2.6734	0.081	372.509	5.43E+04	1.49E+05	0.365
6	BH-03/ DS-03	15.82	16.00	JJLS PLANJAN-TEPUS STA 6+350	2.596	5.06	2.547	3.08	2.471	164.10	7.62	2.4707	2.6744	0.082	196.300	2.14E+04	5.57E+04	0.385
7	BH-03/ DS-04	20.72	20.89	JJLS PLANJAN-TEPUS STA 6+350	2.545	3.59	2.538	3.31	2.457	108.51	8.13	2.4567	2.6742	0.089	200.567	2.78E+04	7.80E+04	0.356
8	BH-04/ DS-01	11.87	12.00	JJLS PLANJAN-TEPUS / STA 7+825	2.410	6.71	2.401	6.31	2.258	106.25	14.26	2.2585	2.6341	0.166	188.754	1.85E+04	4.28E+04	0.433
9	BH-04/ DS-02	17.35	17.48	JJLS PLANJAN-TEPUS / STA 7+825	2.121	4.85	2.245	11.01	2.023	44.07	22.26	2.0226	2.6019	0.286	30.671	6.68E+03	1.55E+04	0.430
10	BH-04/ DS-03	20.82	21.00	JJLS PLANJAN-TEPUS / STA 7+825	2.260	7.90	2.288	9.23	2.095	85.61	19.33	2.0946	2.5966	0.240	133.221	2.71E+04	6.10E+04	0.444

## Lampiran 3 Hasil Bore Log JJLS Planjan Tepus BH-02

Water		Depth (m)	CORE RECOVERY	ROD (%)	Core	Description	Elev. (m)	Shear Strength		Remark	SPT Test							
								C (Kpa)	$\phi$ (°)		N - Blows			N	10	20	30	40
		0				Soil, Dark Brown, Moist, Soft (00.00 - 00.24)	79,00											
		0.50	100	-		Limestone Clay, Brownish White												
		1,00	100	-		Hard Rock, Dry Very Dense, Moderately Weathered	78,00											
		1,50		-		Medium Compact, There is some Fossils 00.24 - 02.00 M												
		2,00	100	-		SPT 01 (02.00 - 02.45)	77,00					25/0	-	-	>60			
		2,40	80	50		Coring Mulai 02.00 M												
		3,00	100	-		Limestone, White Hard Rock, Dry, Very Dense, Slightly Weathered, Compact, There is some Fossils	76,00											
		3,10				02.00 - 03.60 M												
		3,59	81.66	20.40														
		4,00	82	-		SPT 02 (04.00 - 04.45)	75,00					13/15	16/15	18/15	34/30			
		4,45	spt	spt		Coring Mulai 04.45 M												
		5,00	91.66	-		Limestone Clay, Brownish White Hard Rock, Dry Very Dense, Moderately Weathered	74,00											
		5,40	100	-		Medium Compact, There is some Fossils 03.60 - 09.00 M												
		6,00	85.71	18.33		SPT 03 (06.00 - 06.45)	73,00					16/15	21/15	28/15	49/30			
		6,45	spt	spt		Coring Mulai 06.45 M												
		6,76	77.5	48.38		Limestone Clay, Brownish White Hard Rock, Dry Very Dense, Moderately Weathered	72,00											
		7,00	100	-		Medium Compact, There is some Fossils 03.60 - 09.00 M												
		7,26																
		7,69	77.5	77.4		SPT 04 (08.00 - 08.45)	71,00					18/15	25/15	30/2	>60			
		8,00				Coring Mulai 08.32 M												
		8,32	spt	spt														
		8,89	95	71.92		Limestone, Brownish White, Very Hard Rock, Dry, Very Dense, Moderately Weathered, Medium Compact, There is some Fossils	70,00											
		9,00	70	-		Sample 1 : 09.80 - 10.00 (20 cm)												
		9,17				09.00 - 12.30 M												
		9,52	87.5	-														
		10,00	96	64.5			69,00											

BORE LOG

HOLE: BH-02

Project : Penyelidikan Geotek JJLS Planjan Tepus  
 Location : Ladang Porangan  
 Client : P2JN Yogyakarta  
 Coord. X : 452178.8  
 Coord. Y : 9101979,000  
 Elevasi : 79 m  
 Jenis Penginti : Single Core Barrel

Depth : 17.00 M  
 Start Date : 19-04-2020  
 End Date : 21-04-2020  
 Cor Dia. : Nx, 73 mm  
 Jenis bor : Putar Kering  
 Driller : Didik Prasetyo  
 Logged by : Rezky Muhamad Wildan

0 to 10 % Trace  
 10 to 20 % Some  
 20 to 35 % Adjective  
 35 to 50 % And

UDS - Shelby Tube  
 UDS - Piston  
 UDS - Pitcher

SPT Sample  
 PMT Test  
 Disturbed Sample

P. 01  
 OF 02

## Lampiran 4 Spesifikasi Geotekstil PT. Teknindo Geosistem Unggul

# UnggulTex

POLYPROPYLENE WOVEN GEOTEXTILES

### TECHNICAL SPECIFICATIONS

PROPERTIES	UNIT	TEST METHOD	UW - 150	UW - 200	UW - 250
<b>Physical Properties</b>					
Mass	g/m <sup>2</sup>	ASTM D 5261-92	150	200	250
Thickness	mm	ASTM D 5199-91	0.5	0.6	0.7
Colour	-	-	Black	Black	Black
<b>Mechanical Properties</b>					
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
<b>Hydraulic Properties</b>					
Pore Size O <sub>95</sub>	µm	ASTM D 4751-95	320	275	250
Water Permeability	l/m <sup>2</sup> /sec	100 mm water head	28	16	7.5
<b>Environmental Properties</b>					
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
<b>Packaging</b>					
Roll Length	m	-	150 - 200	150 - 200	150 - 200
Roll Width	m	-	3 - 4	3 - 4	3 - 4
Roll Area	m <sup>2</sup>	-	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

Wisma SIER Bldg, 1<sup>st</sup> Floor, Jl. Rungkut Industri Raya 10, Surabaya 60293  
Tel. 031-8475062 Fax. 031-8475063  
Email : info@geosistem.co.id  
Website : www.geosistem.co.id

