

## **TUGAS AKHIR**

**ANALISIS STABILITAS LERENG RAMP JALAN TOL  
DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL  
MENGUNAKAN *GEOSLOPE*  
(STUDI KASUS LERENG RAMP JALAN TOL  
CAKUNG, JAKARTA TIMUR)  
*ANALYSIS OF TOLL ROAD RAMP SLOPE STABILITY  
WITH GEOTEXTILE REINFORCEMENT USING  
GEOSLOPE (CASE STUDY OF THE RAMP SLOPE OF  
CAKUNG TOLL ROAD, EAST JAKARTA)***

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



**RAKHA DHANESWARA**

**17 511 075**

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

**2024**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS STABILITAS LERENG RAMP JALAN TOL  
DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL  
MENGUNAKAN GEOSLOPE  
(STUDI KASUS LERENG RAMP JALAN TOL  
CAKUNG, JAKARTA TIMUR)  
ANALYSIS OF TOLL ROAD RAMP SLOPE STABILITY  
WITH GEOTEXTILE REINFORCEMENT USING  
GEOSLOPE (CASE STUDY OF THE RAMP SLOPE OF  
CAKUNG TOLL ROAD, EAST JAKARTA)**

Disusun oleh

**Rakha Dhaneswara**  
**17511075**

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

Diuji pada tanggal \_\_\_\_

Oleh Dewan Penguji

**Penguji 1**

**Penguji 2**

**Pembimbing**

**M. Rifqi Abdurrozzak S.T., M.Eng**  
NIK: 135111101

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

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

Mengesahkan  
Ketua Program Studi Teknik Sipil  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN  
**Dr. Ir. Yonalisa Muratani, S.T., M.T., Ph.D. Eng.**  
NIK: 0951110101

## **PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI**

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

Yogyakarta, Juni 2024

Yang membuat pernyataan,



Rakha Dhaneswara

(17511075)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Analisis Stabilitas Lereng Ramp Jalan Tol Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope (Studi Kasus Lereng Ramp Jalan Tol Cakung, Jakarta Timur). Tugas Akhir ini merupakan syarat untuk mencapai jenjang strata satu pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Indonesia.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis menghadapi berbagai rintangan. Namun berkat dukungan, kritik, dan semangat yang diberikan oleh berbagai pihak, penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng. sebagai pembimbing Tugas Akhir, atas bimbingan dan arahan yang diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir.
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. yang bertugas sebagai dosen penguji 1 dan Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. sebagai dosen penguji 2.
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. Eng. selaku ketua Program Studi Teknik Sipil di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Para dosen di Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan pengetahuan yang berharga kepada penulis.
5. Seluruh staf Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan pelayanan dan bantuan selama proses studi dan penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Keluarga penulis yang selalu memberikan motivasi, dukungan dalam segala aspek kehidupan, dan doa yang tak henti-hentinya.
7. Semua pihak lain yang turut memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis, meskipun tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Namun demikian, penyelesaian Tugas Akhir ini diharapkan dapat menjadi bermanfaat bagi penulis dan para pembaca. Penulis berharap penelitian ini dapat memberikan sumbangan positif bagi bidang Teknik Sipil serta dapat digunakan sebagai landasan untuk pengembangan selanjutnya.

Yogyakarta, Juni 2024

Penulis,

Rakha Dhaneswara

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	6
2.3 Geosintetik Untuk Perkuatan Tanah	7
2.4 Pengaruh Gempa terhadap Stabilitas Lereng	8
2.5 Program Geoslope untuk Analisis Stabilitas Lereng	9
2.6 Pengaruh Kemiringan Lereng Terhadap Angka Keamanan	10
2.7 Pengaruh Panjang Geotekstil Terhadap Timbunan	11

2.8 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan	11
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	<b>16</b>
3.1 Tanah	16
3.1.1 Klasifikasi Tanah	16
3.2 Lereng	18
3.2.1 Pengaruh Kelongsoran	19
3.2.2 Jenis-jenis Longsor	20
3.2.3 Parameter Kuat Geser Tanah	22
3.3 Tinjauan Terhadap Geosintetik	27
3.2.1 Jenis Geosintetik	29
3.2.2 Karakteristik Geosintetik	30
3.2.3 Aplikasi Geosintetik di Lapangan	31
3.4 Analisis Stabilitas Lereng	32
3.4.1 Teori Analisis Stabilitas Lereng	33
3.4.2 Metode Analisis Stabilitas Lereng	35
3.4.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan Variasi Tinggi Timbunan	38
3.5 Analisis Stabilitas Konstruksi Perkuatan Tanah dengan Geotekstil	39
3.5.1 Stabilitas Internal	39
3.5.2 Stabilitas Eksternal	41
3.6 Geotekstil Untuk Perkuatan Lereng	44
3.7 Beban pada Timbunan Jalan	47
3.7.1 Beban Perkerasan Jalan	47
3.7.2 Beban Lalu Lintas	48
3.7.3 Beban Gempa	48
3.8 Program Geoslope	49
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>	<b>51</b>
4.1 Tinjauan Umum	51

4.2 Tahapan Perencanaan	51
4.3 Tahap Analisis Data	52
4.3.1 Parameter Tanah	52
4.3.2 Geotekstil	52
4.3.3 Beban Perkerasan dan Lalu Lintas	53
4.3.4 Beban Gempa	53
4.5. Diagram Alir Penelitian	61
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	<b>63</b>
5.1 Gambaran Umum	63
5.1.1 Analisis Data	66
5.2 Analisis Stabilitas Timbunan Tanpa Perkuatan Menggunakan Program Geoslope	66
5.2.1 Analisis Stabilitas Timbunan Tinggi 2m	66
5.2.2 Analisis Stabilitas Timbunan Tinggi 4m	69
5.2.3 Analisis Stabilitas Timbunan Tinggi 5m	71
5.3 Analisis Perhitungan Perkuatan Geotekstil	73
5.3.1 Perhitungan Desain Perkuatan Geotekstil	73
5.3.2 Perhitungan Manual Terhadap Gaya Geser, Gaya Guling, dan Daya Dukung Tanah	77
5.4 Analisis Stabilitas Timbunan Dengan Perkuatan Menggunakan Program Geoslope	82
5.4.1 Analisis Stabilitas Timbunan Tinggi 2m Dengan Perkuatan	82
5.4.2 Analisis Stabilitas Timbunan Tinggi 4m Dengan Perkuatan	84
5.4.3 Analisis Stabilitas Timbunan Tinggi 5m Dengan Perkuatan	86
5.5 Pembahasan	88
5.5.1 Lereng Timbunan 2 meter	89
5.5.2 Lereng Timbunan 4 meter	90
5.5.3 Lereng Timbunan 5 meter	92



5.5.4 Stabilitas Terhadap Gaya Geser, Gaya Guling, dan Daya Dukung Tanah	94
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Kesimpulan	95
6.2 Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	98
LAMPIRAN	101

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	12
Tabel 3.1	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS	17
Tabel 3.2	Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO	18
Tabel 3.3	Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor	34
Tabel 3.4	Faktor Kapasitas Dukung Tanah	44
Tabel 3.5	Data Parameter Beban Lalu Lintas	48
Tabel 4.1	Data Parameter Tanah	54
Tabel 4.2	Data Parameter Geotekstil <i>Woven</i>	55
Tabel 4.3	Data Parameter Beban Lalu Lintas	55
Tabel 5.1	Data Parameter Tanah	65
Tabel 5.2	Data Parameter Tanah Timbunan	67
Tabel 5.3	Data Parameter Beban Lalu Lintas	67
Tabel 5.4	Perhitungan Keseluruhan $T_{Req}$ Pada Timbunan	76
Tabel 5.5	Rekapitulasi Nilai SF Lereng Tanpa Perkuatan	83
Tabel 5.6	Rekapitulasi Nilai SF Lereng Timbunan 2m	90
Tabel 5.7	Rekapitulasi Nilai SF Lereng Timbunan 4m	91
Tabel 5.8	Rekapitulasi Nilai SF Lereng Timbunan 5m	92
Tabel 5.8	Rekapitulasi Keseluruhan Nilai SF Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan Pada Kondisi Tanpa Pembebanan, Dengan Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas,	

dan Dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Beban  
Gempa 93

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Perhitungan SF Geser, SF Guling, dan Daya  
Dukung Tanah Pada Tiap Tinggi Timbunan 94

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Ilustrasi Lereng Yang Terpengaruh Oleh Fenomena Rangkak ( <i>Creep</i> )	20
Gambar 3.2	Kelongsoran Lereng	21
Gambar 3.3	Longsoran Translasi	22
Gambar 3.4	Longsoran Rotasi	22
Gambar 3.5	Kriteria Kegagalan Mohr dan Couloumb	24
Gambar 3.6	Lingkaran Kegagalan Mohr	25
Gambar 3.7	Peletakan Geotekstil Untuk Memperkuat Lereng Timbunan	27
Gambar 3.8	Aplikasi Lereng Tanah Bertulang ( <i>Reiforced Soil Slope, Rss</i> )	27
Gambar 3.9	Gaya Yang Bekerja Pada Irisan	36
Gambar 3.10	Gaya-gaya Pada Timbunan Lereng	42
Gambar 3.11	Grafik untuk menentukan nilai $K_{req}$	45
Gambar 3.12	Grafik untuk menentukan nilai L/H	46
Gambar 3.13	Peta Zonasi Gempa Indonesia	49
Gambar 4.1	Tampilan Metode Analisis	56
Gambar 4.2	Tampilan Penentuan <i>Slip Surfaces</i>	57
Gambar 4.3	Tampilan Pengaturan Kertas	57
Gambar 4.4	Sketsa Timbunan	58
Gambar 4.5	Tampilan Pengaturan Material	59
Gambar 4.6	Tampilan Penggambaran Batas Lapisan Tanah	59

Gambar 4.7	Tampilan Penambahkan Material pada setiap Lapisan Tanah	60
Gambar 4.8	Tampilan Pengaturan Bidang Longsor	61
Gambar 4.9	Tampilan Pengaturan Beban Merata	61
Gambar 4.10	Tampilan Pengaturan Beban Gempa	62
Gambar 4.11	Tampilan Pengaturan Perkuatan	62
Gambar 4.12	Tampilan <i>Solve Manager</i>	63
Gambar 4.13	Diagram Alur Penelitian	64
Gambar 5.1	Denah Lokasi Penelitian	64
Gambar 5.2	Tampak Potongan Melintang A-A	64
Gambar 5.3	Hasil Analisis Lereng Timbunan 2m Tanpa Pembebanan	67
Gambar 5.4	Hasil Analisis Lereng Timbunan 2m Tanpa Perkuatan Geotekstil Terpengaruhi oleh Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas	67
Gambar 5.5	Hasil Analisis Lereng Timbunan 2m Tanpa Perkuatan Geotekstil Terpengaruhi oleh Beban Perkerasan, Beban Lalu Lintas, dan Beban Gempa	68
Gambar 5.6	Hasil Analisis Lereng Timbunan 4m Tanpa Perkuatan Geotekstil	69
Gambar 5.7	Hasil Analisis Lereng Timbunan 4m Tanpa Perkuatan Geotekstil Terpengaruhi oleh Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas	70
Gambar 5.8	Hasil Analisis Lereng Timbunan 4m Tanpa Perkuatan Geotekstil Terpengaruhi oleh Beban Perkerasan, Beban Lalu Lintas, dan Beban Gempa	70
Gambar 5.9	Hasil Analisis Lereng Timbunan 5m Tanpa Pembebanan	71

Gambar 5.10 Hasil Analisis Lereng Timbunan 5m Tanpa Perkuatan Geotekstil Terpengaruhi oleh Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas	72
Gambar 5.11 Hasil Analisis Lereng Timbunan 5m Tanpa Perkuatan Geotekstil Terpengaruhi oleh Beban Perkerasan, Beban Lalu Lintas, dan Beban Gempa	72
Gambar 5.12 Grafik Hasil Penentuan Nilai Kreq	74
Gambar 5.13 Hasil Penentuan nilai $L/H$	76
Gambar 5.14 Gaya-gaya Pada Timbunan Lereng	77
Gambar 5.15 Ilustrasi Lereng Dengan Ketinggian 5 Meter Yang Telah Didesain Sesuai Standar Dan Persyaratan	81
Gambar 5.16 Ilustrasi Lereng Dengan Ketinggian 4 Meter Yang Telah Didesain Sesuai Standar Dan Persyaratan	81
Gambar 5.17 Ilustrasi Lereng Dengan Ketinggian 2 Meter Yang Telah Didesain Sesuai Standar Dan Persyaratan	81
Gambar 5.18 Hasil Analisis Lereng Timbunan 2 meter dengan Perkuatan Geotekstil Tanpa Pembebanan	83
Gambar 5.19 Hasil Analisis Lereng Timbunan 2 meter dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas	83
Gambar 5.20 Hasil Analisis Lereng Timbunan 2 meter dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Gempa	84
Gambar 5.21 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4 meter dengan Perkuatan Geotekstil Tanpa Pembebanan	85
Gambar 5.22 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4 meter dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas	85

Gambar 5.23 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4 meter dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Gempa	86
Gambar 5.24 Hasil Analisis Lereng Timbunan 5 meter dengan Perkuatan Geotekstil Tanpa Pembebanan	87
Gambar 5.25 Hasil Analisis Lereng Timbunan 5 meter dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas	87
Gambar 5.26 Hasil Analisis Lereng Timbunan 5 meter dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Gempa	88
Gambar 5.27 Grafik Nilai SF Timbunan 2m Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan Pada Kondisi Tanpa Pembebanan, dengan Pembebanan Perkerasan dan Beban Lalu Lintas, Serta Beban Gempa	90
Gambar 5.28 Grafik Nilai SF Timbunan 4m Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan Pada Kondisi Tanpa Pembebanan, dengan Pembebanan Perkerasan dan Beban Lalu Lintas, Serta Beban Gempa	91
Gambar 5.29 Grafik Nilai SF Timbunan 5m Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan Pada Kondisi Tanpa Pembebanan, dengan Pembebanan Perkerasan dan Beban Lalu Lintas, Serta Beban Gempa	93
Gambar 5.30 Grafik Rekapitulasi Keseluruhan Nilai SF Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan Pada Kondisi	

Tanpa Pembebanan, Dengan Beban Perkerasan dan Beban  
Lalu Lintas, dan Dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu  
Lintas serta Beban Gempa 93

Gambar 5.31 Grafik Rekapitulasi SF Geser, SF Guling, dan Daya Dukung  
Tanah 94



## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Data SPT Tanah	102
Lampiran 2 Kondisi Lapisan Tanah	103
Lampiran 3 Muka Air Tanah	104
Lampiran 2 Data Geotekstil	104

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

cm	= Centimeter
m	= Meter
$\gamma$	= Berat Volume Tanah
FK	= Faktor Keamanan
SF	= <i>Safety Factor</i>
N	= Newton
kN	= KiloNewton
LR	= Panjang penjangkaran geotekstil
$\beta$	= Sudut kemiringan lereng
h	= Tinggi
$K_{Req}$	= Koefisien tekanan tanah lateral
$T_{Req}$	= Besar perkuatan geotekstil
$T_{ult}$	= Kuat tarik maksimal geotekstil
$T_{all}$	= Kuat tarik ijin geotekstil
$\tau$	= Kuat Geser Tanah
$\tau_d$	= Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh
$m^2$	= Meter persegi
$m^3$	= Meter kubik
c	= Kohesi tanah
$\phi$	= Sudut geser dalam tanah
Sv	= Spasi vertikal
$\sigma$	= Stres normal
$\sigma'f$	= Tegangan normal efektif saat terjadi kegagalan
$\tau'f$	= Tegangan geser efektif saat terjadi keruntuhan
R	= Jari-jari lingkaran bidang longsor

$n$	= Jumlah irisan
$W_i$	= Berat massa tanah pada irisan ke- $i$
$N_i$	= Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar baji
$\theta_i$	= Sudut tertentu
$a_i$	= Panjang lengkung lingkaran pada irisan
$\alpha$	= Sudut geser singgung tiap irisan
$N'$	= Gaya normal efektif
$\sigma_v$	= Tegangan normal pada bidang kontak
$K_a$	= Koefisien tanah aktif
$\Sigma hc$	= Rata-rata tekanan horizontal pada lipatan
$S_v$	= Jarak tulangan pada arah vertikal
$H$	= Ketinggian lapisan tanah
$q$	= Beban seragam
$LO$	= Panjang tumpang tindih
$Z_i$	= Kedalaman tulangan yang dibengkokkan ke dalam tanah

## ABSTRAK

Proyek pembangunan *ramp* pada Jalan Tol Cakung membutuhkan tanah timbunan pada lokasi tersebut. Analisis stabilitas diperlukan untuk menentukan tanah timbunan beserta jenis perkuatan yang akan digunakan pada lokasi yang mampu untuk menahan beban-beban yang terjadi. Geotekstil sering dipakai dalam memperkuat lereng timbunan dan infrastruktur seperti jalan raya. Kemudahan penerapannya serta kemampuannya untuk efektif meningkatkan stabilitas lereng merupakan keunggulan utama dari penggunaan geotekstil.

Analisa kestabilan lereng bisa dilakukan secara manual atau dengan memanfaatkan perangkat lunak komputer seperti Geoslope dengan variasi tinggi timbunan 2m, 4m, dan 5m. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor keamanan (SF) lereng pada 3 kondisi yaitu kondisi tanpa pembebanan, kondisi terpengaruh oleh beban perkerasan dan beban lalu lintas, dan kondisi terpengaruh oleh beban perkerasan & beban lalu lintas serta gempa. Lereng timbunan dapat dikatakan aman apabila sudah memenuhi syarat nilai angka aman ( $SF \geq 1,5$ ).

Pada lereng tanpa perkuatan, diperoleh nilai SF pada 3 kondisi yang telah disebutkan sebelumnya pada tinggi timbunan 2m berturut-turut yaitu 1,917; 1,404; dan 1,256. Pada lereng 4m sebesar 1,652; 1,377; dan 1,206. Pada lereng 5m sebesar 1,395; 1,247; dan 1,065. Pada lereng 2m dengan perkuatan pada 3 kondisi yang telah disebutkan sebelumnya didapatkan SF sebesar 4,291; 2,481; dan 2,089. Pada lereng 4m dengan perkuatan pada 3 kondisi yang telah disebutkan sebelumnya didapatkan SF sebesar 2,486; 1,953; dan 1,731. Pada lereng 5m dengan perkuatan pada 3 kondisi yang telah disebutkan sebelumnya didapatkan SF sebesar 2,337; 1,904; dan 1,590. Hasil-hasil tersebut menunjukkan peningkatan signifikan nilai SF setelah penggunaan perkuatan geotekstil. Hasil nilai SF terhadap gaya geser pada tinggi timbunan 2m, 4m, dan 5m berturut-turut adalah 1,602; 1,576; dan 1,538. Hasil angka keamanan nilai SF terhadap gaya guling pada tinggi timbunan 2m, 4m, dan 5m berturut-turut adalah 3,824; 3,408; dan 3,173. Hasil nilai SF terhadap daya dukung tanah pada tinggi timbunan 2m, 4m, dan 5m berturut-turut adalah 13,532; 10,216, dan 9,221.

**Kata kunci:** stabilitas lereng, geotekstil, *Geoslope*.

## **ABSTRACT**

*The ramp construction project on the Cakung Toll Road requires landfill at that location. Stability analysis is needed to determine the embankment soil and the type of reinforcement that will be used at the location which is able to withstand the loads that occur. Geotextiles are often used to strengthen embankment slopes and infrastructure such as roads. Ease of application and its ability to effectively increase slope stability are the main advantages of using geotextiles.*

*Slope stability analysis can be carried out manually or using a computer program such as Geoslope with variations in embankment heights of 2m, 4m and 5m. This research aims to determine the safety factor (SF) of slopes in 3 conditions, namely conditions without loading, conditions affected by pavement loads and traffic loads, and conditions affected by pavement loads & traffic loads and earthquakes. Embankment slopes can be said to be safe if they meet the safety value requirements ( $SF \geq 1.5$ ).*

*On unreinforced slopes, the SF values obtained in the 3 conditions previously mentioned at embankment height of 2 m were respectively 1,917; 1,404; and 1,256. On a 4m slope it is 1,652; 1,377; and 1.206. On a 5m slope it is 1.395; 1,247; and 1,065.*

*On a 2m slope with reinforcement in the 3 conditions previously mentioned, an SF of 4,291 was obtained; 2,481; and 2,089. On a 4m slope with reinforcement in the 3 conditions previously mentioned, an SF of 2.486 was obtained; 1,953; and 1,731. On a 5m slope with reinforcement in the 3 conditions previously mentioned, an SF of 2.337 was obtained; 1,904; and 1,590. These results show a significant increase in SF values after the use of geotextile reinforcement. The SF value results for the shear force at embankment heights of 2m, 4m and 5m respectively are 1.602; 1,576; and 1,538. The safety figures for the SF value against overturning forces at embankment heights of 2m, 4m and 5m respectively are 3.824; 3,408; and 3,173. The SF value results for the soil bearing capacity at embankment heights of 2m, 4m and 5m respectively are 13.532; 10.216, and 9.221.*

**Key words:** *slope stability, geotextile, Geoslope.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Menurut PP No. 15 tahun 2005 Pasal 2 ayat (2), penyelenggaraan jalan tol bertujuan meningkatkan efisiensi pelayanan jasa distribusi guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi terutama di wilayah yang sudah tinggi tingkat perkembangannya. Oleh karenanya, keberadaan jalan tol sangat memberi peran untuk mendukung bidang ekonomi, sosial, dan budaya suatu daerah. Jalan tol dapat meningkatkan aksesibilitas suatu wilayah dengan memperbaiki konektivitas antar kota dan daerah. Hal ini memungkinkan mobilitas orang dan barang menjadi lebih lancar, membuka peluang perdagangan, pariwisata, dan aktivitas ekonomi lainnya. Dengan menyediakan jalur khusus yang difungsikan untuk transportasi antarkota, jalan tol dapat mengurangi kemacetan di jalan raya konvensional. Hal ini dapat mempercepat perjalanan dan mengurangi waktu tempuh antarkota, sehingga mengurangi biaya operasional kendaraan dan emisi gas buang.

*Ramp* jalan tol memungkinkan kendaraan untuk masuk ataupun keluar dari/ke jalan tol dari jalan non-tol atau jalan akses. Hal tersebut memungkinkan kendaraan untuk bergabung dengan lalu lintas jalan tol dengan aman dan efisien. Ramp juga berperan dalam memastikan keselamatan lalu lintas dengan menyediakan jalur khusus untuk kendaraan masuk dan keluar jalan tol. Hal ini membantu dalam mengurangi kemungkinan kecelakaan dan mengoptimalkan aliran lalu lintas di sekitar area akses jalan tol. *Ramp* pada tol adalah suatu segmen jalan yang berperan sebagai penghubung antara ruas jalan. Kondisi keterbatasan lahan di kota besar, mengakibatkan konstruksi *ramp* harus dibuat dengan kemiringan lereng yang mendekati tegak, sehingga diperlukan material perkuatan agar konstruksi dapat dibangun.

Penelitian ini bertujuan menganalisis lereng tanah sebagai bagian dari *ramp* jalan tol pada lokasi Jalan Tol Cakung. Lokasi ini dipilih karena menjadi bagian krusial dari infrastruktur jalan tol yang memerlukan pembangunan lereng tanah

yang aman dan stabil sebagai bagian dari *ramp*. Untuk menghindari kelongsoran tanah timbunan pada lereng *ramp*, digunakan desain perkuatan tanah yaitu geotekstil dengan pertimbangan material tersebut memiliki harga yang relatif tidak mahal sebagai elemen perkuatan tanah, dan metode pelaksanaannya lebih menghemat waktu dibanding dengan menggunakan konstruksi lainnya.

Namun, dalam pembuatannya, beberapa kendala permasalahan mungkin muncul yang dapat memengaruhi stabilitas. Salah satunya adalah erosi yang disebabkan oleh aliran air di sekitar lereng. Aliran air ini dapat mengikis tanah, melemahkan lereng, dan meningkatkan risiko kelongsoran. Kelembaban tanah yang tinggi juga bisa menjadi masalah, karena tanah yang jenuh air memiliki kekuatan yang lebih rendah dan cenderung menjadi tidak stabil.

Selain faktor lingkungan, faktor geoteknik juga dapat memengaruhi stabilitas lereng tanah. Misalnya, karakteristik tanah seperti kepadatan, dan konsistensi dapat memainkan peran penting dalam menentukan kekuatan lereng. Tanah dengan kandungan lempung yang tinggi cenderung memiliki kekuatan yang lebih rendah dan lebih rentan terhadap kelongsoran. Demikian pula, faktor topografi juga dapat mempengaruhi stabilitas lereng. Lereng yang terlalu curam dapat meningkatkan risiko kelongsoran, terutama jika terkena beban tambahan seperti lalu lintas jalan tol yang sering dilalui.

Kemungkinan kelongsoran pada lereng tanah juga dapat dipengaruhi oleh aktivitas manusia di sekitar lereng. Perubahan tata guna lahan dan penggalian tanah yang tidak terkontrol dapat mengganggu stabilitas lereng dan meningkatkan risiko kelongsoran. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor tersebut dan mengambil langkah-langkah pencegahan yang sesuai untuk memastikan stabilitas dan keamanan lereng.

Dalam penelitian ini, data lapangan untuk menentukan sifat-sifat geoteknik tanah akan dikumpulkan untuk mengamati karakteristik tanah. Selain itu, analisis menggunakan program *geoslope* akan dilakukan untuk mengetahui angka keamanan lereng pada tinggi dan kondisi tertentu.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah yang telah diuraikan di atas, dan studi kasus terdapat di daerah perkotaan sehingga lereng perlu dibuat tegak, maka diperlukan perkuatan untuk menahan kelongsoran tanah tersebut. Perkuatan tanah diharapkan untuk dapat menghindari potensi longsor tersebut. Terdapat berbagai macam metode perkuatan tanah menggunakan geosintetik, jenis geosintetik yang digunakan untuk penelitian ini adalah geotekstil teranyam. Rumusan masalah yang diambil adalah sebagai berikut ini

1. Berapa angka aman (SF) stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan variasi tinggi timbunan berdasarkan analisa menggunakan program *Geoslope*?
2. Berapa angka aman (SF) stabilitas lereng dengan perkuatan *geotextile* dengan variasi tinggi timbunan berdasarkan analisa menggunakan program *Geoslope*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut ini.

1. Mengetahui angka aman (SF) stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan variasi tinggi timbunan berdasarkan analisa menggunakan program *Geoslope*.
2. Mengetahui angka aman (SF) stabilitas lereng dengan perkuatan *geotextile* dengan variasi tinggi timbunan berdasarkan analisa menggunakan program *Geoslope*.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa hasil yang diharapkan dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan mengenai desain perhitungan timbunan sebagai perkuatan lereng pada proyek *ramp* jalan Tol Cakung.
2. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk perencana untuk membangun konstruksi perkuatan lereng dengan bahan *geotextile*.



### 1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah dari penulisan Tugas Akhir ini bertujuan agar masalah yang dibahas dapat terfokus. Hal-hal penting yang perlu dibatasi adalah sebagai berikut ini.

1. Bahan perkuatan geosintetik yang dipakai adalah jenis geotekstil teranyam (*woven geotextile*) dengan kuat tarik ultimit 60 kN/m.
2. Data tanah asli yang digunakan dari Laporan Pekerjaan Penyelidikan Tanah Proyek 6 Ruas Jalan Tol Dalam Kota Jakarta Kelapa Gading-Pulo Gebang *off Cakung on Cakung*.
3. Penelitian ini dievaluasi dengan memperhitungkan data koefisien gempa wilayah Jakarta yang tercatat dalam peta zonasi gempa. Faktor gempa tidak dipertimbangkan dalam perhitungan manual.
4. Beban merata yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 25 kN/m<sup>2</sup>, yang terdiri dari beban perkerasan 10 kN/m<sup>2</sup> dan beban lalu lintas 15 kN/m<sup>2</sup>.
5. Tinggi lereng bervariasi yaitu dalam rentang 2m, 4m, dan 5m.
6. Penelitian yang dilakukan tidak mencakup proses, metode pelaksanaan konstruksi dan perhitungan RAB.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Material yang membentuk lereng biasanya cenderung untuk mengalami gelinciran di bawah beban sendiri dan gaya luar yang ditahan oleh kuat geser tanah dari material tersebut. Gangguan terhadap kestabilan terjadi ketika tahanan geser tanah tidak mampu menyeimbangkan gaya yang menyebabkan gelincir pada bidang longsor. Penyebab gerakan tanah dan longsor bisa berasal dari kejadian alamiah maupun aktivitas manusia. Dalam banyak kasus, penyebab tersebut seringkali tak dapat dihindari. Penyebab yang paling sering melibatkan faktor-faktor geologi, topografi, dan iklim. Jarang sekali gerakan ini disebabkan oleh satu faktor saja, biasanya merupakan hasil dari kombinasi beberapa faktor. Untuk mencegah atau mengatasi gerakan tanah dan longsor, penting untuk memahami terlebih dahulu penyebabnya (Andria, 2016).

Geotextile adalah bahan geosintetik dengan bentuk yang mirip dengan bahan tekstil biasa, tetapi terbuat dari serat sintesis, yang membuatnya lentur dan tidak menyusut. Menurut ASTM (*American Society for Testing and Materials*), geotekstil adalah bahan yang tidak kedap air yang berfungsi sebagai lapisan pemisah (*separation*), lapisan penyaring (*filtration*), penyalur air (*drainage*), perkuatan tanah (*reinforcement*), dan lapisan pelindung ketika terselimuti oleh bitumen.

Geotekstil teranyam adalah jenis geotekstil yang diproduksi menggunakan mesin penenun khusus untuk geotekstil. Karena memiliki kekuatan tarik yang tinggi, tipe geotekstil teranyam umumnya digunakan secara luas untuk tujuan perkuatan dan sebagai lapisan pemisah. Sebagai bahan penguat, geotekstil berfungsi untuk memperkuat struktur tanah, sementara dalam peran sebagai lapisan pemisah, geotekstil berperan dalam memisahkan lapisan tanah lunak dan keras secara efektif.

## 2.2 Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil

Arum (2010) melakukan penelitian redesain dinding penahan tanah tipe pasangan batu dengan geotekstil teranyam studi kasus lereng sungai gedung D3 Ekonomi UII. Tujuan penelitian tersebut adalah mengetahui desain dan stabilitas lereng tanah menggunakan perkuatan geotekstil. Dari hasil perhitungan, analisis stabilitas lereng menggunakan pasangan batu terhadap gaya geser, gaya guling, dan daya dukung tanah berturut-turut yaitu 1,52; 1,36; dan Geotekstil yang digunakan mempunyai kuat tarik 38 kN/m dan kuat tarik izin 13 kN/m. Stabilitas berturut-turut terhadap gaya geser, gaya guling, dan daya dukung tanah menggunakan perkuatan tanah jenis geotekstil yaitu 2,4289; 4,0876; 5,1047.

Qayyim (2021) melakukan studi terhadap stabilitas lereng jalan menggunakan perkuatan geotekstil dengan software Plaxis 8.6 pada proyek tol Cibitung - Cilincing. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan faktor keamanan (SF) pada lereng yang diperkuat dan tidak diperkuat dengan geotekstil. Hasil penelitian tersebut melaporkan nilai faktor keamanan (SF) untuk lereng tanah asli dengan ketinggian berturut-turut 8m, 10m, dan 12,5m akibat beban struktur masing-masing sebesar 1,2751; 1,1928; dan 1,116. Sedangkan nilai faktor keamanan pada analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil pada ketinggian timbunan yang sama berturut-turut sebesar 2,044; 1,780; dan 1,459. Dari hasil analisis, dapat dinyatakan bahwa penggunaan geotekstil dapat meningkatkan stabilitas lereng timbunan.

Pradana (2018) juga mengadakan studi mengenai Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil dengan judul "Studi Kasus: Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis, Daerah Istimewa Yogyakarta". Dalam penelitiannya, ia menganalisis stabilitas lereng dengan dan tanpa perkuatan geotekstil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor keamanan (SF) lereng sebelum longsor dengan variasi beban vertikal 1 dan 2 adalah 1,055 dan 1,040. Setelah perencanaan dengan perkuatan geotekstil pada lereng, dengan sedikit perubahan geometri dari lereng asli setelah longsor, diperoleh faktor keamanan dengan variasi beban vertikal 1 dan 2 masing-masing adalah 1,683 dan 1,695. Data menunjukkan bahwa penggunaan geotekstil dapat meningkatkan faktor keamanan lereng.

### 2.3 Geosintetik Untuk Perkuatan Tanah

Pemanfaatan geosintetik dalam bidang geoteknik mempunyai berbagai keunggulan, antaranya sebagai berikut.

1. Geosintetik merupakan perkuatan tanah yang relative murah dibandingkan dengan material lainnya.
2. Geosintetik yang diterapkan pada dinding penahan tanah dapat diletakkan dekat permukaan tanah, mengurangi biaya galian dan tinggi keseluruhan konstruksi.
3. Penggunaan geosintetik dengan tanah lokal (lokasi pengerjaan) dapat menghemat pengeluaran biaya dibandingkan dengan menggunakan pasangan batu, selain keuntungan tambahan berupa penghematan sumber material batuan misalnya.

Dalam konsep perkuatan tanah, bahan geosintetik digunakan untuk melawan gaya-gaya yang bekerja, dengan memanfaatkan kuat tarik dari bahan. Ada dua jenis bahan geotekstil yang dapat digunakan, yaitu anyaman (*woven*) dan nir-anyam (*non woven*). Bahan tersebut dapat dilalui oleh air dan berfungsi sebagai filter untuk menyaring butir-butir tanah dan serat geotekstil sehingga dapat terjadi ikatan antara keduanya. (Suryolelono, 2000).

Menurut Dwitagana (2019), longsor terjadi saat geseran tanah yang meningkat melebihi daya tahan tanah. Salah satu pendekatan untuk mengatasi longsor adalah dengan menambahkan bahan ke dalam tanah untuk menanggung gaya tarik yang diterapkan pada lereng. Kemajuan zaman telah membawa konsep material konstruksi seperti geotekstil yang berperan dalam separasi dan perkuatan. Kombinasi antara material tanah (kuat dalam menanggung gaya tekan namun lemah dalam gaya tarik) dengan material geotekstil (kuat dalam menanggung gaya tarik namun lemah dalam gaya tekan) telah terbukti efektif.

Chasanah (2012) mengungkapkan bahwa lereng dengan beban besar dan kemiringan curam dapat menyebabkan longsor, sehingga diperlukan perkuatan lereng seperti penggunaan geotekstil. Geotekstil sering dipilih karena kemudahannya dalam penerapan, biaya yang relatif murah, serta kemampuannya untuk efektif meningkatkan stabilitas lereng. Faktor internal geotekstil meliputi

kekuatan tarik, sifat perpanjangan (*creep*), struktur, dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan, sedangkan faktor eksternal melibatkan interaksi dengan jenis bahan timbunan.

#### **2.4 Pengaruh Gempa terhadap Stabilitas Lereng**

Menurut penelitian Rekzyanti, dkk (2016), gempa bumi dapat menyebabkan pergerakan tanah yang menghasilkan momen inersia yang besar pada lereng. Dampak gempa terhadap lereng menyebabkan penurunan kekuatan tanah akibat tekanan berulang. Hingga pertengahan tahun 1960, sebagian besar analisis lereng menggunakan metode pseudostatik.

Menurut Pradana (2018), Gempa menyebabkan penurunan kekuatan geser tanah dan pergeseran partikel tanah ke daerah yang lebih rendah, menyebabkan ketidakstabilan lereng dan dapat memicu longsor. Hal ini adalah akibat dari berbagai faktor, termasuk gempa. Penggunaan material geosintetik semakin meningkat sebagai pilihan perkuatan karena lebih efisien dari segi biaya dan waktu jika dibandingkan dengan metode konvensional lainnya.

Menurut Tjhan (2019), Lereng yang tadinya stabil dapat mengalami perubahan posisi atau kejatuhan tanah di area tersebut ketika gaya eksternal bertindak dengan tiba-tiba, seperti contohnya gempa yang dapat membuat lereng menjadi tidak stabil dan menyebabkan keruntuhan tanah. Untuk mencegah keruntuhan tanah, pembangunan konstruksi penahan tanah bisa dilakukan sebagai langkah pencegahan.

Pradana (2018) melakukan penelitian analisis stabilitas lereng pada kondisi lereng sebelum longsor, setelah longsor, dan menggunakan perkuatan geotekstil. Hasil penelitian gempa didapatkan SF berturut-turut yaitu 0,861; 0,956; dan 1,252.

Qayyim (2021) melakukan penelitian analisis stabilitas lereng timbunan menggunakan program *Plaxis 8.6*. Penelitian dianalisa dengan variasi tinggi timbunan 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, dan 12,5m. Hasil penelitian pada masa konstruksi kondisi tanah eksisting tanpa perkuatan didapat angka aman (SF) akibat beban gempa berturut-turut sebesar 2,134; 1,555; 1,324; 1,275; 1,1925; dan 1,113. Sedangkan pada pasca konstruksi 1,514; 1,272; 1,178; 1,193; 1,154; dan 1,1131.

## 2.5 Program *Geoslope* untuk Analisis Stabilitas Lereng

Saat ini, stabilitas lereng bisa dianalisa menggunakan bantuan *software* tertentu, seperti *Geoslope* yang dikembangkan oleh *GEO-SLOPE International*, Kanada, berdasarkan Metode Limit Equilibrium. *Software* ini didesain khusus untuk mengkaji deformasi dan stabilitas struktur geoteknik. Salah satu fungsionalitas *software* ini adalah model stabilitas (SLOPE/W), yang merupakan bagian dari paket produk geoteknikal bernama *GeoStudio*. SLOPE/W diciptakan sebagai alat perangkat lunak umum untuk menganalisis kestabilan struktur lereng (Pamungkas, 2020).

Perangkat lunak *Geoslope* adalah suatu paket perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan pemodelan geoteknik, termasuk SLOPE/W, SEEP/W, SIGMA/W, QUAKE/W, TEMP/W, dan CTRAN/W. Integrasi antara produk-produk ini memungkinkan pengguna menggunakan hasil dari satu produk ke produk lainnya. Keunggulan dan fitur canggihnya memperluas rentang masalah yang dapat dianalisis dan memberikan fleksibilitas untuk memenuhi kebutuhan proyek yang berbeda. Misalnya, SLOPE/W digunakan untuk menghitung faktor keamanan dan kemiringan lereng batuan menggunakan delapan metode kesetimbangan batas yang berbeda, memperhitungkan permukaan miring, kondisi tekanan pori air, sifat tanah, dan beban terkonsentrasi. Selain itu, paket perangkat lunak ini mendukung analisis probabilistik dan memungkinkan pengguna untuk melakukan model visual lereng melalui aplikasi *Computer Aided Design (CAD)* menggunakan SLOPE/W Define, lalu menganalisis data yang telah dimodelkan dengan SLOPE/W Solve sesuai dengan data masukan dan peraturan analisis yang telah ditentukan. Fitur lainnya, SLOPE/W Contour, digunakan untuk menampilkan grafis bidang longsor, nilai faktor aman dalam bentuk kontur faktor aman, serta diagram dan polygon pada setiap pias yang spesifik (Pradana, 2018).

Dalam studi yang dilakukan oleh Chasanah (2012), dilakukan evaluasi terhadap pengaruh kemiringan lereng, panjang geotekstil, dan jarak antar geotekstil ( $S_v$ ) terhadap faktor keamanan lereng. Penelitian ini membandingkan dua metode perhitungan, yaitu perhitungan manual dan penggunaan program *Geoslope*.

Analisis manual mencakup stabilitas internal dan eksternal (untuk lereng dengan perkuatan), serta stabilitas terhadap kelongsoran (untuk lereng dengan dan tanpa perkuatan). Sementara itu, analisis menggunakan program Geoslope digunakan untuk mengevaluasi stabilitas terhadap kelongsoran lereng.

## **2.6 Pengaruh Kemiringan Lereng Terhadap Angka Keamanan**

Chasanah (2012) melaksanakan penelitian yang mengevaluasi dampak variasi sudut kemiringan terhadap faktor keamanan. Penelitian ini merencanakan lereng dengan dua kemungkinan kemiringan, yaitu  $70^\circ$  dan  $90^\circ$ . Hasil studi menunjukkan bahwa lereng pertama dengan kemiringan  $70^\circ$  memiliki faktor keamanan (SF) sebesar 0,794, yang kemudian menurun menjadi 0,333 setelah kemiringan diperbesar menjadi  $90^\circ$ . Dengan demikian, kecenderungan menurut penelitian adalah semakin besar sudut kemiringan lereng, faktor keamanan cenderung mengecil.

Adriyati dan rekan (2017) mengadakan penelitian analisis stabilitas lereng dengan mempertimbangkan variasi sudut kemiringan lereng, yaitu  $36,69^\circ$ ,  $36,87^\circ$ , dan  $42,51^\circ$ . Hasil penelitian menyatakan bahwa dalam analisis stabilitas lereng menggunakan Geostudio 2007, kemiringan lereng  $>36,69^\circ$  memiliki faktor keamanan 1,07. Lereng dengan kemiringan  $22,62^\circ$  menunjukkan faktor keamanan 1,86. Kemiringan lereng  $<30,25^\circ$  dipandang sebagai lereng yang relatif stabil, jarang terjadi kelongsoran berdasarkan klasifikasi penelitian tersebut.

Irfan, dkk. (2023). Melakukan penelitian Studi pengaruh kemiringan sudut terhadap angka keamanan lereng dengan perkuatan geotekstil. Dianalisis menggunakan program *geoslope* dengan salah satunya metode *bishop*. Lereng dianalisis dengan 3 variasi kemiringan, yaitu  $60^\circ$ ,  $65^\circ$ , dan  $75^\circ$ . Hasil dari angka aman tersebut berturut-turut yaitu 1,036; 0,791; dan 0,663. Hasil tersebut menunjukkan semakin curam lereng maka angka keamanan semakin kecil sehingga lebih berisiko untuk terjadinya longsor.

Muzaidi, dkk. (2023) melakukan penelitian tentang Pengaruh Kemiringan Lereng Dan Jumlah Lapis Geotekstil Terhadap Stabilitas Lereng Tanah Lunak. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengevaluasi dampak kemiringan lereng dan

jumlah lapisan geotekstil terhadap faktor keamanan lereng (SF) dengan menggunakan perangkat lunak geoslope. Hasil analisis dari program Geoslope menunjukkan bahwa pada kemiringan lereng  $45^\circ$  tanpa perkuatan, faktor keamanan memiliki nilai sebesar 0,784, sedangkan pada kemiringan lereng  $65^\circ$  tanpa perkuatan, faktor keamanan memiliki nilai 0,714. Hal ini menunjukkan bahwa semakin curam lereng, faktor keamanan cenderung menurun.

## **2.7 Pengaruh Panjang Geotekstil Terhadap Timbunan**

Harryanto, dkk. (2020) mengadakan penelitian mengenai Studi Pengaruh Kemiringan, Jarak, Dan Panjang *Soil Nailing* Terhadap Stabilitas Lereng. Penelitian ini menganalisis dampak panjang penyangga geotekstil terhadap stabilitas timbunan, serta panjang penjangkaran geotekstil di belakang garis bidang longsor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang geotekstil pada tinggi timbunan 3m, 4m, dan 5m berturut-turut adalah 13,7m, 15,3m, dan 16m. Temuan tersebut menunjukkan bahwa tinggi timbunan memiliki pengaruh terhadap panjang penyangga geotekstil yang diperlukan, yang meningkat seiring dengan peningkatan tinggi timbunan karena beban yang diterima oleh geotekstil juga semakin besar.

## **2.8 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan**

Perbandingan penelitian ini dengan beberapa penelitian sebelumnya telah disajikan dalam bentuk tabel yang terdapat pada Tabel 2.1 di bawah ini.



Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Peneliti	Pradana (2018)	Dwityagana (2019)	Pamungkas, dkk. (2020)	Rekzyanti, dkk (2016)	Muzaidi, dkk. (2023)	Irfan, dkk. (2023).	Dhaneswara (2024)
<b>Judul Penelitian</b>	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program <i>Geoslope</i> Di Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis, Daerah Istimewa Yogyakarta.	Desain Penahan Tanah Dengan Perkuatan Geotekstil. Studi Kasus Jalan Raya Bedugul-Singaraja, Desa Pancasari, Kecamatan Sukasada, Kabupaten Buleleng	Analisis Stabilitas Lereng Memakai Perkuatan Geotekstil Dengan Bantuan Perangkat Lunak (Studi Kasus Pada Sungai Parit Raya)	Analisa Kestabilan Lereng Akibat Gempa	Analisa Perkuatan Lereng Pada Tanah Lunak Yang Dipengaruhi Oleh Kemiringan Lereng Dan Jumlah Lapis Geotekstil.	Studi pengaruh kemiringan sudut terhadap angka keamanan lereng dengan perkuatan geotekstil	Analisis Stabilitas Lereng Ramp Jalan Tol Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan <i>Geoslope</i>

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan**

<p><b>Tujuan Penelitian</b></p>	<p>Menjalankan perhitungan komputasi menggunakan Program Geoslope untuk menentukan nilai faktor keamanan sebelum dan setelah penerapan perkuatan geotekstil dengan variasi muka air tanah, beban merata, dan beban gempa</p>	<p>Menggambarkan dengan detil proses desain struktur penahan tanah yang memanfaatkan perkuatan geotekstil.</p>	<p>Mengidentifikasi akar penyebab longsor lereng sebelum penerapan perkuatan geotekstil, serta merinci kerusakan pada struktur penahan tanah yang sudah ada.</p>	<p>Melakukan perhitungan faktor keamanan (SF) menggunakan metode finite element atau metode elemen hingga dengan memanfaatkan program Plaxis v.8.2</p>	<p>Mengetahui pengaruh kemiringan lereng dan jumlah lapis geotekstil terhadap angka keamanan lereng (SF) dengan menggunakan program <i>geoslope</i></p>	<p>Mengetahui pengaruh kemiringan sudut terhadap angka keamanan dengan menggunakan perkuatan geotekstil melalui aplikasi geostudio</p>	<p>Mengetahui nilai angka aman (SF) stabilitas lereng tanpa dan dengan perkuatan berdasarkan analisis menggunakan program Geoslope dan mengetahui angka aman (SF) stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil berdasarkan analisis menggunakan perhitungan manual.</p>
---------------------------------	--	--	--	--	---	--	--

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan**

<p><b>Metode Penelitian</b></p>	<p>Melakukan perhitungan nilai faktor keamanan melalui komputasi dengan menggunakan Program Geoslope</p>	<p>Melakukan analisis desain secara manual dengan menerapkan metode Rankine</p>	<p>Melakukan analisis stabilitas lereng timbunan dengan dan tanpa perkuatan geotekstil menggunakan program Geoslope</p>	<p>Menghitung faktor keamanan (SF) secara manual dan melalui program Plaxis v.8.2. Perhitungan dengan Program Plaxis v.8.2 memvariasikan nilai frekuensi, sedangkan perhitungan manual melibatkan variasi</p>	<p>Melakukan analisis menggunakan software GeoStudio, dengan parameter variasi yang mencakup kemiringan lereng dan jumlah lapisan geotekstil</p>	<p>Melakukan analisis pada Program GeoStudio dengan metode yang dipertimbangkan, seperti Ordinary Method, Bishop Method, Janbu Method, Morgenstern-Price Method, dan Spencer Method</p>	<p>Analisis dengan program <i>Geoslope</i> untuk perhitungan stabilitas lereng timbunan dengan dan tanpa perkuatan geotekstil dan perhitungan manual untuk mengetahui SF Geser, Guling, dan Daya Dukung Tanah</p>
---------------------------------	--	---	---	---	--	---	---

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan**

<p><b>Hasil Penelitian</b></p>	<p>Dari perencanaan perkuatan lereng dengan geotekstil, faktor keamanan (SF) <math>\geq 1,25</math> menunjukkan bahwa lereng stabil dan kejadian longsor jarang terjadi</p>	<p>Terdapat 9 lapis geotekstil yang dipasang dengan jarak variasi 0,3 m, 0,4 m, dan 0,5 m. Stabilitas terhadap gaya geser, gaya guling, dan daya dukung tanah berturut-turut adalah 1,658; 3,58; dan 6,65.</p>	<p>Sebelum dilakukan perkuatan dengan geotekstil, analisis menggunakan SLOPE/W menghasilkan nilai faktor keamanan 0,660, sedangkan setelah pemasangan perkuatan geotekstil tipe woven, faktor keamanan meningkat menjadi 1,893.</p>	<p>Nilai faktor keamanan (SF) yang diperoleh dari perhitungan manual dan program adalah sama, yaitu 1,003.</p>	<p>Pada kemiringan lereng 45° tanpa perkuatan, nilai SF adalah 0,784, sedangkan pada kemiringan lereng 65° tanpa perkuatan, nilai SF adalah 0,714.</p>	<p>Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan geotekstil dari tiga variasi sudut kemiringan lereng (60°, 65°, dan 75°) menunjukkan nilai SF &lt; 1,25. Setelah menggunakan geotekstil, hasil analisis dari lima metode menunjukkan nilai SF &gt; 1,25.</p>	
--------------------------------	---	--	---	--	--	--	--

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tanah**

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 2002). Dalam konteks geoteknik, tanah merujuk pada material alam yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan, termasuk partikel-partikel padat, udara, dan air yang mengisi ruang di antara partikel tersebut. Tanah memainkan peran krusial dalam rekayasa sipil, karena merupakan material dasar untuk konstruksi struktur seperti pondasi, jalan, dan bendungan.

Tanah mempunyai sifat-sifat fisik dan mekanik dalam menanggung beban struktural, menahan tekanan air, dan merespons terhadap perubahan lingkungan. Sifat-sifat tanah tersebut meliputi kekuatan geser, kepadatan, kestabilan, permeabilitas, permeabilitas air tanah, dan perilaku tanah terhadap pembebanan. Informasi mengenai sifat-sifat tanah ini sangat penting dalam proses desain dan konstruksi infrastruktur, karena pengaruhnya terhadap kestabilan struktur serta kinerja jangka panjang dari proyek rekayasa sipil.

Tanah merupakan materi yang terdiri dari agregat mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan bahan organik yang telah terurai menjadi partikel padat, yang diisi oleh zat cair dan gas di antara ruang kosong di antara partikel tersebut (Das, 1995).

##### **3.1.1 Klasifikasi Tanah**

Saat merencanakan struktur bangunan gedung, jalan raya, atau proyek infrastruktur lainnya, langkah awal yang penting adalah melakukan pemeriksaan kondisi tanah. Hal ini bertujuan untuk menentukan apakah tanah tersebut sesuai dengan klasifikasi yang telah ditetapkan. Klasifikasi tanah merupakan pengelompokan

sistematis berdasarkan sifat-sifat yang serupa dalam kelompok dan subkelompok yang sesuai dengan penggunaannya.

Sistem klasifikasi tanah membantu dalam perencanaan dengan mengarahkan panduan berdasarkan pengalaman sebelumnya. Dengan mempertimbangkan sifat-sifat tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan tingkat plastisitasnya, sistem klasifikasi tanah memungkinkan pengembangan adaptasi teknik. Dua sistem umum klasifikasi tanah adalah USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*).

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

Tanah dikelompokkan berdasarkan ukuran partikel dan rasio antara partikel kasar dan halus. USCS memungkinkan identifikasi tanah dalam berbagai jenis, seperti tanah pasir, tanah lumpur, atau tanah lempung. Tanah dikategorikan sebagai butir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai butir halus (lanau dan lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Klasifikasi tanah dalam sistem USCS dijelaskan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS**

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

Sumber: Hardiyatmo (2010)

## 2. Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO (*American Association of State Highway and Transportation Official*)

AASHTO melakukan klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butiran dan plastisitas. Pengujian analisis saringan diperlukan untuk melaksanakan proses ini. Sistem tersebut mengelompokkan tanah menjadi 8 kategori dari A-1 hingga A-8. Awalnya, tanah organik yang tidak stabil diklasifikasikan sebagai A-8, tetapi telah dikecualikan dalam revisi terbaru sistem AASHTO. Detail klasifikasi tanah dalam sistem AASHTO dapat ditemukan di Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO**

Klasifikasi umum	Material granuler ( < 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				
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- 35 maks	- 35 maks	- 35 maks	- 35 maks	- 36 min	- 36 min	- 36 min	- 36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40 Batas cair (LL) Indeks plastis (PI)	- 6 maks	-	- Np	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Sedang sampai buruk				

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

Sumber: Hardiyatmo (2010)

## 3.2 Lereng

Lereng merujuk pada daerah tanah yang cenderung curam dan membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami melalui proses geologi atau oleh manusia untuk tujuan tertentu. Pada daerah dengan perbedaan elevasi, gaya alamiah mendorong tanah yang lebih tinggi ke arah bawah, yang dikenal sebagai gaya gravitasi, yang dapat mengakibatkan terjadinya longsor.

### 3.2.1 Pengaruh Kelongsoran

Menurut Hardiyatmo (2010), terdapat sejumlah faktor yang mempengaruhi terjadinya longsor, antara lain sebagai berikut.

#### 1. Pengaruh Iklim

Menurut Hardiyatmo (2010), kuat geser tanah di dekat permukaan tanah dapat berubah tergantung pada iklim. Terdapat jenis tanah yang mengalami pengembangan saat musim hujan dan penyusutan saat musim kemarau. Karena hal ini, kuat geser tanah cenderung lebih rendah pada musim hujan dibandingkan pada musim kemarau. Sehingga, analisis kestabilan lereng perlu mempertimbangkan kekuatan geser tanah yang paling rendah, yang biasanya terjadi selama musim hujan atau saat tanah mencapai kondisi jenuh air.

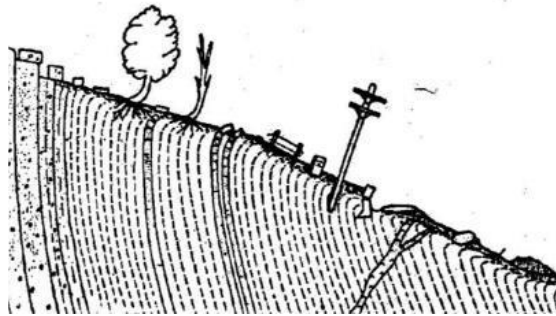
#### 2. Pengaruh Air

Hardiyatmo (2010) juga menyatakan bahwa aliran air atau rembesan air menjadi faktor penting dalam stabilitas lereng. Rembesan air di dalam tanah dapat mempengaruhi stabilitas lereng. Erosi pada permukaan lereng dapat mengurangi tinggi lereng, yang pada gilirannya akan menambah stabilitas lereng. Namun, erosi yang memotong kaki lereng dapat mengurangi stabilitas lereng. Penurunan muka air mendadak, contohnya akibat penurunan muka air pada saluran atau sungai, dapat meningkatkan beban lereng sehingga menaikkan tegangan geser tanah.

#### 3. Pengaruh *Creep*

Hardiyatmo (2010) juga menyebutkan bahwa di dekat permukaan tanah yang miring, tanah akan mengalami siklus kembang-susut akibat perubahan temperatur dan musim. Gerakan perlahan akibat rangkakan (*creep*) dapat menyebabkan berbagai hal seperti pergerakan blok batuan, pohon melengkung, bagian bawah lereng melengkung, retakan pada bangunan, jalan raya, dan lainnya. Tampak lereng akibat rangkakan dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.





**Gambar 3.1 Ilustrasi Lereng Yang Terpengaruh Oleh Fenomena Rangkak  
(Creep)**

(Sumber: Taylor, 1962)

Seperti yang terlihat pada gambar di atas, Efek dari rangkak (creep) meliputi:

- a. pergeseran blok batuan,
- b. pertumbuhan pohon yang menjadi condong ke atas,
- c. pergeseran serta penarikan batuan di bagian bawah lereng, serta
- d. kemiringan bangunan seperti menara, monumen, dan struktur lainnya.

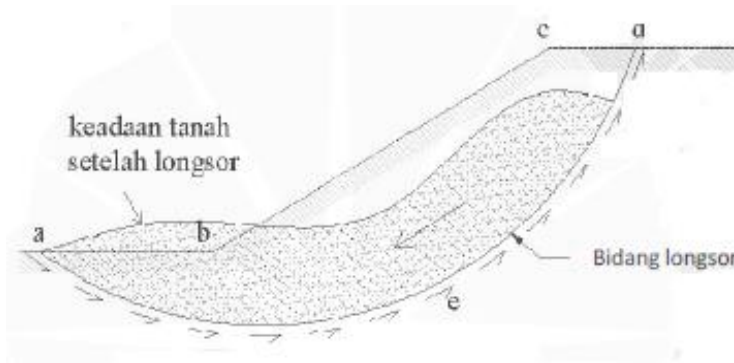
### **3.2.3 Jenis-jenis Longsor**

Longsor terjadi ketika bahan-bahan yang membentuk lereng bergeser sepanjang satu atau lebih bidang longsor. Material tanah yang bergeser dapat tetap utuh atau terpisah menjadi butiran. Besarnya perpindahan material sebelum terjadinya longsor bergantung pada tingkat regangan yang diperlukan untuk mencapai kekuatan geser maksimal di puncaknya dan ketebalan zona longsor (Hardiyatmo, 2010).

Gerakan tanah dalam bentuk longsor adalah sebuah kejadian alam yang sering terjadi dan dapat membahayakan keselamatan, terutama pada musim hujan. Penyebab umum terjadinya longsor meliputi pergeseran tanah pada lereng curam, ketidakmerataan komposisi tanah, dan kelemahan pada ikatan antar lapisan tanah. Selain itu, faktor lain yang dapat memicu longsor mencakup rembesan air, aktivitas geologi seperti pergerakan lempeng bumi, retakan, dan sesar. Kondisi lokal seperti kemiringan dan bentuk lereng, kekuatan material tanah, tingkat air tanah, serta kualitas

drainase di daerah tersebut juga memainkan peran penting dalam memicu terjadinya longsor.

Upaya pencegahan longsor dapat dilakukan dengan memastikan bahwa gaya dorong (penyebab longsor) tidak melebihi gaya resistensi yang berasal dari tahanan geser tanah di sepanjang bidang longsor, seperti yang terlihat dalam Gambar 3.2 di bawah ini.

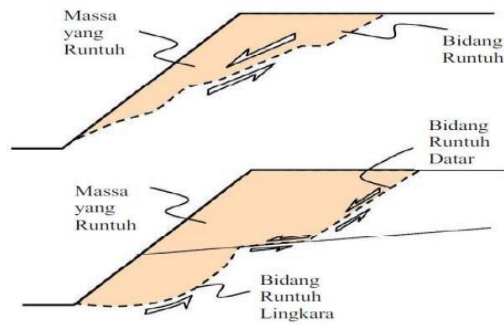


**Gambar 3.2 Kelongsoran Lereng**  
(Sumber: Hardiyatmo 2010)

Menurut Hardiyatmo (2010), longsor yang umumnya terjadi telah diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori, yakni:

1. Longsor Translasi

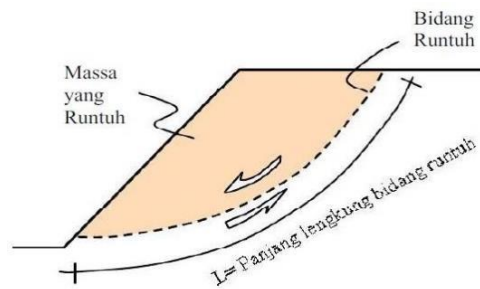
Penyebab longsor ini adalah pergerakan massa tanah dan batuan melalui bidang gelincir yang datar atau berombak landai. Longsor translasi terjadi ketika ada pergerakan sepanjang bidang diskontinuitas atau area lemah di lereng, sesuai dengan yang digambarkan dalam ilustrasi Gambar 3.3. Di tanah lempung, translasi terjadi sepanjang lapisan tipis pasir atau lanau, terutama jika bidang lemah tersebut sejajar dengan lereng. Pada tanah lempung yang memiliki lapisan pasir atau lanau, longsor translasi dapat disebabkan oleh tekanan air pori yang tinggi di dalam lapisan pasir atau lanau tersebut, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.3.



**Gambar 3.3 Longsoran Translasi**  
(Sumber: Hakam, 2010)

## 2. Longsoran Rotasi

Longsor dapat terjadi ketika massa tanah dan batuan bergerak melalui bidang gelincir dengan bentuk cekung, sesuai dengan yang digambarkan dalam Gambar 3.4 Longsor rotasi mengacu pada keberadaan bidang longsor yang melengkung ke atas dan seringkali terjadi pada massa tanah yang bergerak sebagai satu kesatuan. Longsor rotasi murni, yang juga dikenal sebagai "*shump*", terjadi pada bahan yang relatif homogen seperti struktur buatan manusia seperti tanggul. Longsoran rotasi dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



**Gambar 3.4 Longsoran Rotasi**  
(Sumber : Hakam, 2010)

### 3.2.4 Parameter Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser tanah mengacu pada kemampuan tanah untuk menahan tegangan geser saat terkena beban. Keruntuhan geser tanah terjadi bukan karena butir tanah hancur, melainkan karena adanya pergeseran relatif antara butir tanah.

Kekuatan geser tanah merupakan respon butiran tanah terhadap tekanan atau tegangan. Ketika tanah terkena pembebanan, gesekan antara butiran tanah sejajar dan tegangan normal pada bidang geser menentukan kuat geser tanah serta kohesi tanah, yang bergantung pada jenis dan kepadatannya, dan bukan dari tegangan normal pada bidang penampang.

Menurut teori Mohr (1910), keruntuhan bahan/material terjadi karena kombinasi tegangan normal dan tegangan geser yang mencapai kondisi kritis. Parameter kekuatan geser tanah penting untuk menganalisis kapasitas dukungan tanah, stabilitas lereng, dan gaya dorong pada dinding penahan tanah (Hardiyatmo, 2010). Hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya dapat dijabarkan dalam Persamaan 3.1 yang menyatakan fungsi dari kedua tegangan tersebut.

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.1)$$

Keterangan:

$\tau$  = Tegangan geser (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tegangan normal (kN/m<sup>2</sup>).

Menentukan kekuatan geser tanah diperlukan untuk menghitung tekanan tanah pada dinding penahan atau untuk mengevaluasi kemampuan dukungan tanah. Ketika tegangan normal bertindak pada tanah, gaya geser juga bekerja pada permukaannya, sehingga nilai  $\tau$  akan meningkat karena deformasi hingga mencapai batasnya. Kekuatan geser tanah dapat disederhanakan menjadi dua nilai tergantung pada gesekan antar butir tanah dan kohesi butir tanah. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, tanah dapat tergolong sebagai tanah kohesif atau tanah non-kohesif. Sebagai contoh, tanah pasir dengan nilai kohesi ( $c$ ) = 0 merupakan contoh dari tanah non-kohesif, sementara tanah lempung adalah contoh tanah kohesif. Bahkan tanah non-kohesif terkadang dapat menunjukkan sifat kohesi yang berasal dari tegangan permukaan air dalam pori-porinya saat berada dalam keadaan tidak jenuh. Oleh karena itu, kekuatan geser tanah dapat bervariasi sesuai dengan jenis dan kondisi tanah.

Coulomb (1776) mendefinisikan dengan Persamaan 3.2 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.2)$$

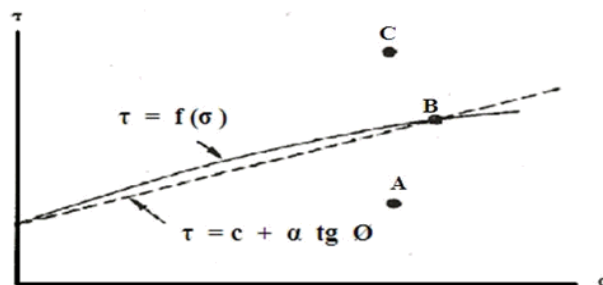
Keterangan:

$\tau$  = Kuat geser tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$c$  = Kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m<sup>2</sup>)

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



**Gambar 3.5 Kriteria Kegagalan Mohr dan Coulomb**

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Garis lurus digunakan untuk menggambarkan kriteria keruntuhan atau kegagalan Mohr dan Coulomb. Ketika posisi tegangan mencapai P, tidak akan terjadi keruntuhan. Keruntuhan terjadi pada titik Q karena titik tersebut berada tepat pada garis kegagalan. Titik R tidak tercapai karena keruntuhan telah terjadi sebelum mencapainya.

Terzaghi (1925) memodifikasi persamaan Coulomb menjadi bentuk efektif karena pengaruh tekanan air pori pada tanah, yang terlihat dalam Persamaan 3.3 dan 3.4 berikut ini.

$$\tau = c' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi' \quad (3.3)$$

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

$$\tau = c' + \sigma' \operatorname{tg} \varphi' \quad (3.4)$$

Keterangan:

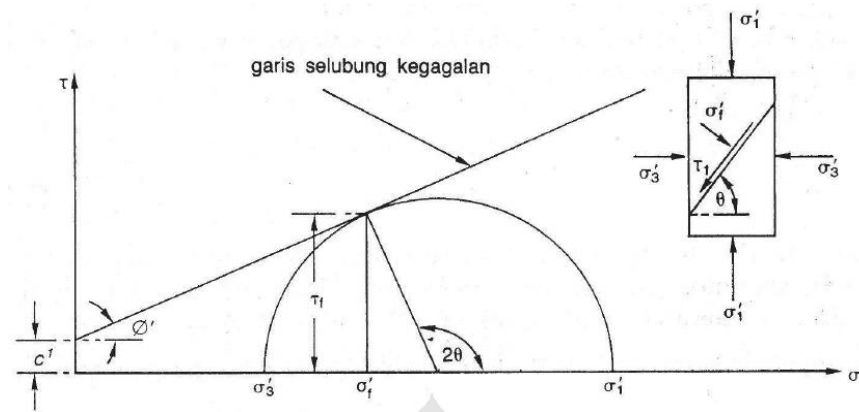
$\sigma'$  = Tegangan normal efektif (kN/m<sup>2</sup>)

$c'$  = Kohesi tanah efektif (kN/m<sup>2</sup>)

$\varphi'$  = Sudut gesek efektif dalam tanah (°)

$u$  = Tekanan air pori (kN/m<sup>2</sup>)

Kekuatan geser tanah dapat dijelaskan dengan menggunakan tegangan efektif  $\sigma'_1$  dan  $\sigma'_3$  saat terjadi keruntuhan. Lingkaran Mohr terbentuk sebagai setengah lingkaran dengan koordinat ( $\tau$ ) dan ( $\sigma'$ ) yang dapat dilihat dalam Gambar 3.6 di bawah ini.



**Gambar 3.6 Lingkaran Kegagalan Mohr**

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Dari grafik lingkaran Mohr pada Gambar 3.6, terlihat bahwa:

$c'$  = Kohesi (kN/m<sup>2</sup>)

$\varphi$  = Sudut gesek dalam efektif (°)

$\sigma'_1$  = Tegangan utama mayor efektif (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma'_3$  = Tegangan utama minor efektif (kN/m<sup>2</sup>)

$\theta$  = Sudut keruntuhan (°)

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

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

Dari lingkaran Mohr, hubungan antara parameter-parameter tersebut dapat diterapkan dalam Persamaan 3.5, 3.6, dan 3.7 yang terdapat di bawah ini.

$$\tau f' = (\sigma_1' - \sigma_3') \sin 2\theta \quad (3.5)$$

$$\sigma f' = (\sigma_1' - \sigma_3) + (\sigma_1' - \sigma_3') \sin 2\theta \quad (3.6)$$

$$\text{Sin } \varphi = \frac{(\sigma_1' - \sigma_3')/2}{(\sigma_1' + \sigma_3')/2} \quad (3.7)$$

Untuk mempelajari kuat geser tanah, adapun istilah-istilah berikut ini yang sering digunakan, yaitu sebagai berikut.

1. Kelebihan tekanan pori merupakan peningkatan tekanan air pori yang disebabkan oleh penambahan tekanan secara tiba-tiba.
2. Tekanan *overburden* efektif merujuk pada tekanan yang timbul akibat beban tanah dan air di atasnya, setelah dikurangi tekanan air pori.
3. Tekanan *overburden* adalah tekanan di dalam tanah pada suatu titik akibat berat bahan tanah dan air yang berada di atas titik tersebut.
4. Tekanan *preconsolidated* adalah tekanan paling besar yang pernah diterima oleh tanah tersebut.
5. Tanah yang mengalami konsolidasi normal pada kondisi dimana tegangan efektif saat ini merupakan nilai paling tinggi yang pernah dialami oleh tanah tersebut. .
6. Tanah *overconsolidated* adalah tanah di mana tegangan efektif yang pernah dialami pada masa lalu lebih tinggi dari tegangan efektif yang bekerja pada saat ini.

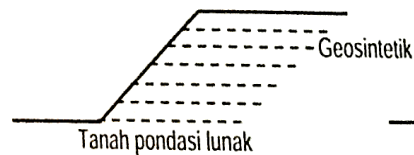
Parameter kekuatan geser tanah dikarakterisasikan melalui pengujian laboratorium pada sampel tanah asli yang tidak mengalami gangguan (*undisturbed*), diambil dengan hati-hati untuk memastikan kondisinya tetap sama (baik kadar air maupun struktur butirannya), karena perubahan dapat berdampak fatal pada sampel. Terdapat beberapa metode untuk menentukan kekuatan geser tanah, antara lain sebagai berikut.

1. Pengujian geser langsung (*direct shear test*)
2. Pengujian kompresi bebas (*unconfined compression test*)

3. Uji triaksial (*triaxial test*)
4. Pengujian geser kipas (*vane shear test*)

### 3.3 Tinjauan Terhadap Geosintetik

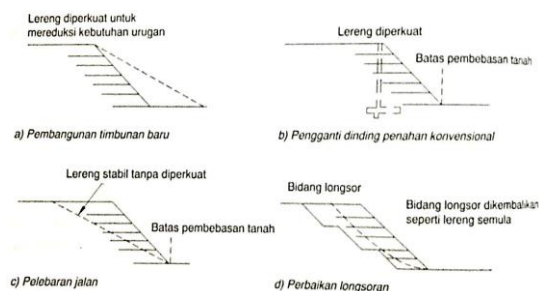
Pemasangan geotekstil di tepi timbunan bertujuan untuk meningkatkan ketahanan lateral selama proses pemadatan dan untuk memperkuat stabilitas permukaan. Hal ini memungkinkan tanah urug untuk dipadatkan dengan kepadatan yang lebih tinggi daripada jika tidak menggunakan geotekstil. Penguatan lereng juga memastikan alat pemadat dapat bekerja dengan aman di bagian tepi timbunan. Selain itu, penggunaan geotekstil juga dapat mengurangi erosi lereng dan dampak pelunakan oleh air hujan. Contoh cara pemasangan geotekstil untuk menguatkan lereng timbunan yang memiliki kemiringan yang rendah ditunjukkan pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7 Peletakan Geotekstil Untuk Memperkuat Lereng Timbunan**

(Sumber: Hardiyatmo, 2013)

Di bawah ini terdapat demonstrasi dari penerapan fitur lereng tanah bertulang yang terlihat pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8 Aplikasi Lereng Tanah Bertulang (Reinforced Soil Slope, Rss)**

(Sumber: Elias et al., 2001 dalam Hardiyatmo., 2013)



Perkuatan dengan menggunakan bahan geosintetik bisa mencegah keruntuhan lokal pada tanah yang memiliki daya dukung rendah serta berperan sebagai peningkatan kestabilan lereng. Geotekstil memiliki kekuatan tarik yang cukup untuk menahan beban yang ditempatkan di atasnya. Penggunaan geotekstil relatif mudah dan harganya lebih terjangkau dibandingkan dengan metode penguatan lainnya. Secara umum, geosintetik memiliki fungsi-fungsi berikut.

1. Penyaring

Bahan geosintetik memiliki daya tembus air yang tinggi sehingga memungkinkannya menyaring dan menahan partikel tanah halus agar tidak terbawa oleh aliran air tanah.

2. Pemisah

Geosintetik dikenal sebagai bahan yang efektif untuk menghindari pencampuran tanah lunak dengan lapisan perkerasan di atasnya, seperti yang sering terjadi pada proyek konstruksi jalan di area tanah lunak yang cenderung naik. Maka dari ini ini, geotekstil memainkan peran penting dalam mencegah tanah lunak naik dan bercampur dengan tanah perkerasan.

3. Perkuatan

Geosintetik, seperti geogrid, geotekstil, atau geomembran, dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan geser tanah. Ini membantu dalam mencegah pergeseran tanah dan meningkatkan daya dukung, yang penting dalam konstruksi pondasi, jalan, atau struktur penahan tanah.

4. Sebagai drainase

Beberapa jenis geosintetik, seperti geotekstil, dapat digunakan untuk meningkatkan drainase tanah dengan memungkinkan air untuk mengalir melalui material tanah, mencegah penimbunan air yang berlebihan yang dapat merusak kestabilan tanah.

### 3.2.1. Jenis Geosintetik

Sering dengan kemajuan teknologi dan perkembangan dalam pembuatan material geosintetik, ada beragam hasil modifikasi geosintetik yang bisa dikelompokkan menjadi beberapa bentuk dasar, termasuk sebagai berikut.

#### 1. *Geotextile*

##### a. *woven geotextile*

Geotekstil ini diproduksi melalui proses anyaman. Jenis geotekstil yang teranyam memiliki ketahanan tarik yang sangat tinggi sehingga sering digunakan sebagai lapisan penguat dan pemisah pada berbagai aplikasinya. Sebagai lapisan penguat, geotekstil berperan sebagai peningkat kekuatan pada tanah, sementara sebagai pemisah, digunakan untuk memisahkan tanah yang padat dengan yang lunak. Bahan ini dibuat khusus untuk kuat tarik sangat besar.

##### b. *non woven geotextile*

Non-woven geotekstil terbuat dari serat sintetis yang diatur secara acak dan kemudian diikat bersama secara mekanis, kimia, atau termal. Struktur non-woven memberikan kegunaan yang lebih luas dalam urusan filtrasi, drainase, dan pemisahan material tanah. Non-woven geotekstil cenderung lebih mudah untuk mengalirkan air dan membiarkan partikel tanah tetap terpisah.

#### 2. *Geomembrane*

Geomembran adalah suatu material geosintetik yang memiliki tingkat permeabilitas rendah yang terbuat dari bahan sintetis. Karena sifatnya yang seperti itu, geomembran sering diaplikasikan sebagai separator atau lapisan pemisah. Geomembran terbuat dari lembaran jenis plastik polietilena bermutu tinggi dengan campuran karbon hitam dan *anti UV*.

#### 3. *Geogrid*

Geogrid adalah material geosintetik berupa jaringan atau grid yang terbuat dari bahan polimer yang kuat. Geogrid digunakan untuk memperkuat tanah dengan cara meningkatkan kekuatan tarik dan kestabilan tanah, terutama pada aplikasi

perbaikan lereng, konstruksi dinding penahan tanah, dan penguatan fondasi. geogrid membantu mencegah pergeseran tanah, pemadatan tanah, serta meningkatkan daya dukung struktur tanah.

4. Geokomposit

Geokomposit adalah material geosintetik yang terdiri dari gabungan dua atau lebih komponen geosintetik yang berbeda secara fisik, seperti geogrid, geotekstil, atau geomembran, yang digunakan bersama-sama untuk mencapai performa teknis tertentu dalam aplikasi geoteknik.

5. *Geocell*

*Geocell* adalah struktur tiga dimensi yang terbuat dari material polimer yang diperkuat dan dirancang untuk memadatkan, mencegah erosi, dan meningkatkan daya dukung tanah. Dapat digunakan dalam aplikasi seperti perkuatan tanah lunak, perbaikan lereng, struktur penahan tanah, dan stabilisasi permukaan jalan. *Geocell* umumnya terdiri dari sel-sel bersekat yang mampu mengunci material di dalamnya, memberikan kekuatan tambahan pada tanah.

### 3.2.2. Karakteristik Geosintetik

Banyaknya berbagai jenis geosintetik perlu untuk diketahui bagaimana memilih material yang tepat sesuai dengan karakteristiknya. Adapun karakteristik geosintetik yaitu sebagai berikut.

1. Karakter fisik

- a. berat,
- b. ketebalan,
- c. kekakuan

2. Karakter Mekanik

- a. kuat tarik,
- b. kuat robek,
- c. deformasi,
- d. *compressibility*

3. Karakter hidrolik
  - a. porositas,
  - b. permeabilitas air

4. Karakteristik kimiawi

- a. zat aditif
  - *anti UV*

Pada pengaplikasian di lapangan, sinar matahari dapat mempengaruhi keawetan geosintetik yang dapat menurunkan fungsi dari geosintetik tersebut.

- b. faktor lingkungan
  - tanah
  - polusi polusi air
  - unsur mineral logam

### 3.2.3. Aplikasi Geosintetik di Lapangan

Geosintetik telah banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan konstruksi. Contoh aplikasi gesotintetik antara lain sebagai berikut.

1. Geotekstil
  - a. geotekstil teranyam
    - konstruksi jalan,
    - perkuatan tanah dasar,
    - perkuatan lereng
  - b. geotekstil nir-anyaman
    - konstruksi jalan,
    - konstruksi rel kereta api,
    - bangunan air,
    - lapisan pelindung geomembran,
    - lapisan *curing* beton,
    - filter pada bronjong
2. Geomembran

Geomembran memiliki sifat yang kedap air sehingga umumnya diaplikasikan pada lapisan penampungan kolam limbah, *waterway*, tempat pembuangan akhir, dan lainnya.

### 3. Geogrid

- timbunan jalan,
- pondasi tiang,
- perkuatan tanah dasar,
- konstruksi jalan,
- trek kereta api

### 4. Geokomposit

- jalan aspal dan jalan tak beraspal,
- dinding penopang dan tanggul,
- landasan terbang pelabuhan udara,
- perkuatan lereng,
- penahan longsoran

## 3.4 Analisis Stabilitas Lereng

Komponen gravitasi cenderung menggerakkan tanah ke bawah pada permukaan tanah yang tidak horizontal atau miring. Jika gaya gravitasi sangat besar sehingga melebihi kemampuan tanah untuk menahan gaya geser di permukaan lerengnya, maka lereng tersebut dapat mengalami kelongsoran. Analisis yang dilakukan untuk mempertimbangkan stabilitas dalam kondisi seperti ini dikenal sebagai analisis stabilitas lereng.

Dalam Hardiyatmo (2014), Terzaghi (1950) membagi penyebab lereng runtuh menjadi dua kategori: pengaruh internal dan pengaruh eksternal. Pengaruh eksternal adalah pengaruh yang menyebabkan gaya geser meningkat tanpa perubahan geser tanah yang signifikan, contohnya termasuk aktivitas manusia seperti pemiringan lereng bukit atau penggalian tanah, serta erosi sungai. Pengaruh internal merujuk pada faktor-

faktor yang menyebabkan tanah longsor tanpa keterlibatan kondisi eksternal atau gempa bumi.

Faktor keamanan perkuatan tanah merupakan ukuran seberapa stabil suatu struktur tanah yang diperkuat terhadap potensi keruntuhan. Hal ini dihitung dengan membagi resistensi (faktor yang menahan) yang ada dengan gaya penggerak sepanjang permukaan keruntuhan yang mungkin terjadi. Faktor keamanan yang lebih besar dari satu berarti struktur tersebut stabil, sedangkan faktor keamanan yang lebih kecil dari satu berarti struktur tersebut tidak stabil dan kemungkinan besar akan runtuh. Faktor keamanan nol berarti struktur berada di kondisi hampir longsor, dan faktor keamanan negatif berarti struktur telah gagal dan sedang mengalami keruntuhan.

#### **3.4.1. Teori Analisis Stabilitas Lereng**

Teori analisis stabilitas lereng adalah suatu metode untuk mengevaluasi kondisi keseimbangan antara gaya-gaya penahan dan gaya-gaya yang penggerak suatu massa tanah atau batuan yang membentuk lereng. Analisis ini bertujuan untuk menentukan faktor aman (SF) dari bidang longsor potensial, yaitu rasio antara kekuatan geser (tahanan geser) yang dapat dikerahkan oleh material lereng dengan tegangan geser (gaya geser) yang terjadi akibat beban berat material lereng dan beban lainnya.

Ada beberapa metode analisis stabilitas lereng, antara lain sebagai berikut.

1. Metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*).

Metode yang mengasumsikan bahwa bidang longsor potensial sudah diketahui dan berupa bidang datar, melingkar, atau lainnya. Metode ini umumnya menggunakan kriteria kegagalan Mohr-Coulomb atau kriteria lainnya untuk menghitung kekuatan geser dan tegangan geser pada bidang longsor. Contoh metode yang umum digunakan adalah metode Fellenius, metode Bishop, metode Janbu, dan metode Spencer.

2. Metode elemen hingga (*finite element method*)

Metode yang membagi lereng menjadi elemen-elemen kecil yang saling terhubung. Metode ini dapat memodelkan geometri, material, dan kondisi batas yang kompleks, tetapi memerlukan banyak data input dan waktu komputasi.

Analisis stabilitas lereng bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan suatu lereng dalam menahan gaya-gaya eksternal seperti berat sendiri tanah, beban tambahan, air tanah, dan beban lateral dari struktur. Tujuan utamanya adalah untuk menentukan apakah lereng tersebut stabil atau rentan terhadap potensi kelongsoran.

Proses analisis stabilitas lereng melibatkan penentuan faktor keamanan yang menggambarkan perbandingan antara beban yang diterapkan terhadap lereng dengan kapasitas tahanan lereng tersebut. Analisis ini mempertimbangkan sifat-sifat fisik, mekanik serta dengan kondisi lingkungan sekitarnya.

Beberapa aspek yang harus dipertimbangkan dalam analisis stabilitas lereng meliputi bentuk lereng, sifat-sifat tanah, tinggi lereng, kemiringan lereng, dan pengaruh dari air tanah atau curah hujan. Analisis ini sering kali melibatkan pendekatan numerik atau analitis untuk memperkirakan faktor keamanan dan mengevaluasi potensi risiko kelongsoran.

Hasil dari analisis ini memberikan panduan dalam perencanaan dan desain struktur penahan tanah, perhitungan faktor keamanan, dan penentuan langkah-langkah mitigasi untuk mencegah potensi kelongsoran atau kegagalan lereng. Pada Tabel 3.3 di bawah ini menunjukkan faktor keamanan untuk suatu lereng, yang disusun berdasarkan tingkat stabilitas lereng tersebut.

**Tabel 3.3 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor**

<b>Angka Faktor Keamanan</b>	<b>Keterangan</b>
$F < 1,07$	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)
$1,5 < F < 1,7$	Lereng kondisi mantap (lereng stabil)

Sumber : Bowles (1989)

Mengacu pada SNI 8460 (2017), Setiap dinding penahan tanah harus diperiksa stabilitasnya terhadap guling, geser lateral, dan daya dukung. Faktor keamanan yang disyaratkan adalah sebagai berikut ini.

1. Faktor keamanan terhadap guling minimum 2.
2. Faktor keamanan terhadap geser lateral minimum 1,5.
3. Faktor keamanan terhadap daya dukung minimum 3.

Stabilitas lereng tergantung pada kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek ( $\phi$ ) tanah. Tanah yang semakin kering cenderung memiliki faktor keamanan yang lebih tinggi, sedangkan tanah yang semakin jenuh memiliki faktor keamanan yang lebih rendah. Kenaikan muka air tanah dapat menyebabkan ketidakstabilan lereng karena meningkatkan kejenuhan dan tekanan air pori, yang pada gilirannya mengurangi tegangan efektif dan kekuatan geser tanah.

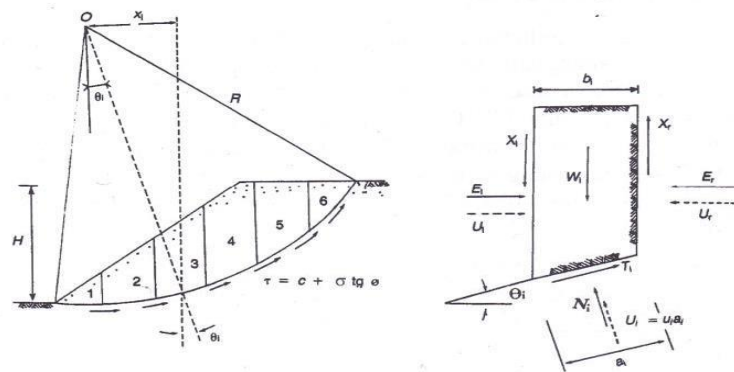
#### **3.4.2. Metode Analisis Stabilitas Lereng**

Untuk mengevaluasi stabilitas lereng, tersedia beberapa pendekatan yang umum digunakan, di antaranya termasuk seperti yang diuraikan di bawah ini.

1. Metode Irisan (*Method of Slice*)

Metode analisis irisan lebih sesuai untuk digunakan saat mengkaji stabilitas lereng pada kondisi tanah yang tidak homogen dan memiliki aliran air yang tidak pasti. Ketegangan normal di titik tertentu dalam lingkaran bidang kemungkinan dipengaruhi oleh beban dari lapisan tanah di atasnya. Dalam metode ini, tanah yang mungkin mengalami pergeseran dibagi menjadi beberapa irisan vertikal, dan keseimbangan pada setiap irisan diperhatikan. Gambar gaya yang bekerja pada irisan dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut.





**Gambar 3.9 Gaya Yang Bekerja Pada Irisan**

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Keterangan:

$X_i, X_r$  = Gaya geser efektif di sepanjang irisan

$E_i, E_r$  = Gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

$T_i$  = Resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

$N_i$  = Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

$U_i, U_r$  = Tekanan air pori yang bekerja di kedua sisi irisan

$U_i$  = Tekanan air pori di dasar irisan

Faktor keamanan adalah perbandingan antara tegangan geser aktual ( $\tau$ ) dan tegangan geser yang diperlukan ( $\tau_m$ ) untuk memenuhi persyaratan keseimbangan batas. Untuk menghitung faktor keamanan, Persamaan 3.8 dapat dipergunakan.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_m} \quad (3.8)$$

Dengan mempertimbangkan momen terhadap titik O, total momen akibat gaya-gaya geser pada busur keruntuhan AC harus setara dengan momen yang dihasilkan oleh massa tanah ABCD. Untuk masing-masing sektor, panjang lengan momen  $W = r \cdot \sin \alpha$ , menghasilkan formulasi Persamaan 3.9, Persamaan 3.10, dan Persamaan 3.11 yang terlampir berikut.

$$\Sigma Tr = \Sigma W . r . \sin \alpha \quad (3.9)$$

$$T = \frac{\tau}{SF} . l \quad (3.10)$$

$$SF = \frac{\Sigma \tau . l}{\Sigma W . \sin \alpha} \quad (3.11)$$

Untuk keperluan analisis yang memanfaatkan tegangan efektif, dapat merujuk pada Persamaan 3.12 berikut ini.

$$SF = \frac{c' . La - \tan \varphi \Sigma N'}{\Sigma W . \sin \alpha} \quad (3.12)$$

## 2. Metode Bishop

Bishop menyimpulkan bahwa total gaya pada permukaan geser adalah horisontal, yaitu  $X_1 - X_2 = 0$ . Dengan menyelesaikan kembali komponen gaya ke arah vertikal, diperoleh persamaan 3.18 seperti di bawah ini.

$$W = N' . \cos \alpha + u . \cos \alpha - \frac{c'}{SF} . \sin \alpha - \frac{N'}{SF} . \tan \varphi' . \sin \alpha \quad (3.18)$$

Dengan mengganti nilai 1 dengan  $b . \sec \alpha$ , Persamaan 3.19 untuk Faktor Keamanan diperoleh seperti berikut.

$$SF = \frac{1}{\Sigma W . \sin \alpha} \Sigma \left[ (c' . b + (W - u . b) . \tan \varphi') . \frac{\sec \alpha}{1 - \frac{\tan \alpha . \tan \varphi'}{SF}} \right] \quad (3.19)$$

Keterangan:

$N'$  = Gaya normal efektif

$W$  = Berat keseluruhan irisan

$\alpha$  = Sudut geser singgung masing-masing irisan

$u$  = Tekanan air pori pada pusat dasar

$l$  = Panjang dasar

$\varphi$  = Sudut gesek

$c'$  = Kohesi tanah efektif

### 3.4.3. Analisis Stabilitas Lereng dengan Variasi Tinggi Timbunan

Analisis stabilitas lereng dengan berbagai variasi tinggi timbunan bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan suatu lereng dalam menahan gaya-gaya eksternal dengan mempertimbangkan tinggi timbunan yang berbeda. Tujuan utamanya adalah untuk menentukan faktor keamanan dari lereng pada setiap variasi tinggi timbunan, serta untuk memahami bagaimana tinggi timbunan dapat memengaruhi stabilitas lereng.

Manfaat dari analisis ini adalah memungkinkan untuk memahami tingkat stabilitas lereng di berbagai situasi, sehingga dapat merancang struktur penahan tanah dengan lebih efektif. Analisis variasi tinggi timbunan juga membantu dalam mengidentifikasi potensi risiko kelongsoran pada berbagai tinggi timbunan serta mengoptimalkan desain untuk memastikan stabilitas optimal.

Hal yang perlu diperhatikan dalam analisis stabilitas lereng dengan variasi tinggi timbunan meliputi berikut ini.

1. Sifat-sifat tanah

Perilaku stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat fisik dan mekanik dari tanah yang digunakan untuk timbunan. Ini termasuk kekuatan geser, kepadatan, dan konsistensi tanah.

2. Tinggi timbunan

Variasi tinggi timbunan memiliki dampak terhadap distribusi tekanan di dalam lereng. Analisis harus mempertimbangkan bagaimana tinggi timbunan yang berbeda memengaruhi gaya gaya stabil dan kestabilan lereng.

3. Bahan perkuatan tanah

Pemilihan jenis dan konfigurasi struktur penahan tanah juga mempengaruhi stabilitas lereng. Analisis harus mempertimbangkan pengaruh dari bahan penahan tanah yang digunakan.

### 3.5 Analisis Stabilitas Konstruksi Perkuatan Tanah dengan Geotekstil

Analisis stabilitas konstruksi perkuatan tanah dengan geotekstil adalah suatu proses untuk mengevaluasi keseimbangan antara gaya-gaya yang menahan dan gaya-gaya yang menggerakkan suatu massa tanah yang diperkuat dengan geotekstil pada konstruksi timbunan, jalan, atau struktur lainnya. Geotekstil adalah bahan sintesis yang berbentuk lembaran tipis dan fleksibel yang dapat digunakan untuk berbagai fungsi geoteknik, seperti pemisah, filter, perkuatan, dan drainase.

Stabilitas perkuatan tanah menggunakan geotekstil ditinjau dari stabilitas internal dan stabilitas eksternal. Stabilitas internal yaitu kemampuan tarik suatu material bahan perkuatan yang digunakan akibat terjepitnya material yang terjadi diantara butiran tanah. Sedangkan stabilitas eksternal yaitu stabilitas terhadap guling, geser, dan daya dukung tanah.

Ada dua elemen yang bisa mempengaruhi stabilitas lereng, yaitu faktor luar yang meningkatkan gaya geser tanpa mempengaruhi kekuatan geser tanah, dan faktor dalam seperti tanah longsor tanpa perubahan dalam kondisi luar seperti gempa bumi. (Hardiyatmo, 2010).

#### 3.5.1. Stabilitas Internal

Stabilitas internal merupakan stabilitas masa tanah dengan material perkuatan tanah terhadap gaya-gaya yang bekerja. Analisis stabilitas perlu ditinjau untuk mengetahui dimensi-dimensi perkuatan dan agar dapat terpenuhinya syarat stabilitas yang berpengaruh terhadap keamanan struktur. Dalam analisis stabilitas internal terdapat beberapa hal yang perlu diketahui sebagai berikut.

##### 1. Analisis panjang efektif geotekstil

Panjang tulangan di belakang bidang longsor ( $L_{ef}$ ) pada ujung geotekstil dapat dihitung pada Persamaan 3.20 berikut ini.

$$L_{ef} = \frac{SF \times S_v \times K_a \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \tan \varphi} \geq 0,5m \quad (3.20)$$

Keterangan:

Lef	= Panjang efektif geotekstil (m).
Ka	= Koefisien tanah aktif.
Sv	= Jarak tulangan pada arah vertikal (m).
Zi	= Kedalaman dimana tulangan ditekuk masuk ke dalam tanah (m).
$\gamma_b$	= Berat volume tanah (kN/m <sup>3</sup> ).
SF	= Angka faktor keamanan.
$\varphi$	= Sudut gesek antara tanah dan geotekstil (°).

## 2. Analisis panjang *overlapping* (L<sub>o</sub>)

Panjang geotekstil *overlapping* dapat dinyatakan pada Persamaan 3.21 berikut ini.

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times S_v \times SF}{2 \times Z_i \times \gamma_b \times \tan \varphi} \quad (3.21)$$

Keterangan:

L <sub>o</sub>	= Panjang <i>overlapping</i> (m).
$\sigma_{hc}$	= Tegangan ultimit (kN/m <sup>2</sup> ).
S <sub>v</sub>	= Jarak tulangan pada arah vertikal (m).
Z <sub>i</sub>	= Kedalaman dimana tulangan ditekuk masuk ke dalam tanah (m).
$\gamma_b$	= Berat volume tanah (kN/m <sup>3</sup> ).
SF	= Angka faktor keamanan.
$\varphi$	= Sudut gesek antara tanah dan material geotekstil (°).

Analisis ditinjau berdasarkan tiap-tiap lapisan geosintetik (lapis perkuatan ke-i) tegangan yang ditimbulkan akibat gaya luar pada tiap lapisan dilawan oleh gaya perlawanan gesek antara geosintetik dan butiran-butiran tanah di sekitarnya. Gaya-gaya yang bekerja pada lereng tanah perlu untuk ditinjau sebagai berikut. Gaya aktif dan pasif mengacu pada jenis beban yang bekerja pada tanah atau struktur tanah.

Gaya aktif adalah beban yang diterapkan pada tanah atau struktur oleh pengaruh eksternal, seperti gravitasi, angin, atau air. Beban ini menyebabkan tanah atau struktur

berubah bentuk atau bergerak. Kekuatan aktif selanjutnya dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori berikut.

1. Gaya aktif vertikal

Gaya yang bekerja sejajar dengan permukaan tanah, seperti berat suatu struktur atau tekanan air.

2. Gaya aktif horizontal

Gaya yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan tanah, seperti gaya angin atau air.

Sedangkan gaya pasif adalah gaya yang dihasilkan oleh tanah atau struktur tanah itu sendiri, sebagai respons terhadap beban eksternal. Kekuatan pasif dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain sebagai berikut.

1. Kompresibilitas tanah

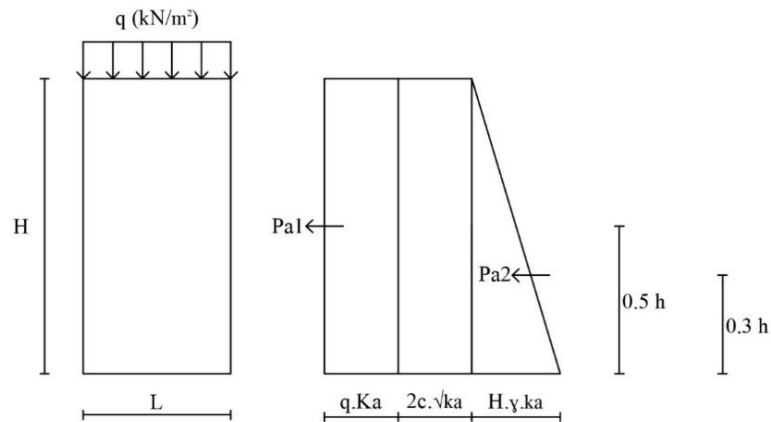
Tanah dapat memampatkan dan mengembang sebagai respons terhadap perubahan tekanan, sehingga menghasilkan gaya pasif.

2. Kekuatan geser tanah

Tanah dapat mengalami keruntuhan dan menimbulkan gaya geser ketika mengalami tegangan yang berlebihan, sehingga menghasilkan gaya pasif.

### **3.5.2. Stabilitas Eksternal**

Fungsi utama geotekstil adalah memotong bidang kelongsoran tanah. Tanah yang diperkuat tersebut berfungsi sebagai *gravity wall* atau *counterweight* terhadap gaya-gaya yang bekerja pada lereng. Struktur perkuatan tanah menggunakan geotekstil sama halnya dengan *gravity wall* yang perlu dianalisis yaitu stabilitas guling, stabilitas geser, dan daya dukung tanah. Diagram tekanan tanah lateral digambarkan pada Gambar 3.10 berikut ini.



**Gambar 3.10 Gaya-gaya Pada Timbunan Lereng**

(Sumber: Purwanto, 2012)

1. Stabilitas Terhadap Gaya Guling

SF terhadap gaya guling pada dasarnya adalah perbandingan antara gaya guling yang menahan dengan gaya guling yang sebenarnya yang dialami struktur tersebut (pengguling).

Faktor aman terhadap guling dapat dinyatakan pada Persamaan 3.22 berikut ini.

$$SF = \frac{M_{\text{penahan}}}{M_{\text{pengguling}}}$$

$$SF = \frac{0,5 \gamma h L^2}{\left(\frac{1}{3}h \cdot P1\right) + (0,5 \cdot h \cdot P2) - (0,5 \cdot h \cdot P3)} \quad (3.22)$$

$$P1 = 0,5 \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot ka \quad (3.23)$$

$$P2 = q ka h \quad (3.24)$$

$$P3 = 2 c \sqrt{ka} h \quad (3.25)$$

Keterangan:

$SF$  = Faktor aman.

$h$  = Tinggi lapisan tanah (m).

$\gamma$  = Berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>).

$c$  = Kohesi (kN/m<sup>2</sup>).

$q$  = Beban merata (kN/m<sup>2</sup>).

$K_a$  = Koefisien tekanan tanah aktif

## 2. Stabilitas Terhadap Gaya Geser

Stabilitas geser memperhitungkan tekanan aktif yang akan menggeser konstruksi perkuatan lereng dan beban-beban yang menahan pergeseran tersebut. Tekanan tanah aktif total yang ditimbulkan oleh tanah dinyatakan dengan Persamaan 3.26 sampai 3.27 berikut ini.

Gaya yang menggeser ( $P_a$ )

$$K_a = \tan^2 (45 - \varphi/2) \quad (3.26)$$

$$\Sigma P_a = P_1 + P_2 - P_3 \quad (3.27)$$

$$= (0,5 H^2 \gamma K_a) + (q H K_a) - 2C \sqrt{K_a} H$$

Gaya yang menahan ( $P_p$ )

$$P_p = \Sigma W \cdot \tan \delta + c \cdot L \quad (3.28)$$

$$= (\gamma h L \tan \delta) + (c L)$$

$$\delta = \frac{2}{3} \cdot c \quad (3.29)$$

Faktor aman terhadap geser dihitung menggunakan Persamaan 3.30 berikut.

$$SF = \frac{P_p}{P_a} \quad (3.30)$$

## 3. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah atau kapasitas dukung tanah pada dasarnya merupakan perbandingan antara daya dukung tanah yang sebenarnya dengan daya dukung tanah yang diijinkan, menunjukkan seberapa aman suatu struktur didukung oleh tanah. Faktor keamanan terhadap kapasitas dukung tanah dinyatakan pada Persamaan 3.31 sampai dengan Persamaan 3.33 berikut ini.

$$SF = \frac{q_{ult}}{q_{tot}} \quad (3.31)$$

$$q_{ult} = c \cdot N_c + 0,5 \cdot L \cdot \gamma_b \cdot N_\gamma \quad (3.32)$$

$$q_{tot} = h \cdot \gamma \quad (3.33)$$



Keterangan:

$q_{ult}$  = Kuat tarik ultimit ( $\text{kN/m}^2$ )

$h$  = Tinggi lereng (m)

$N_c, N_\gamma$  = Koefisien kuat dukung tanah

Faktor kapasitas dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.4 Faktor Kapasitas Dukung Tanah**

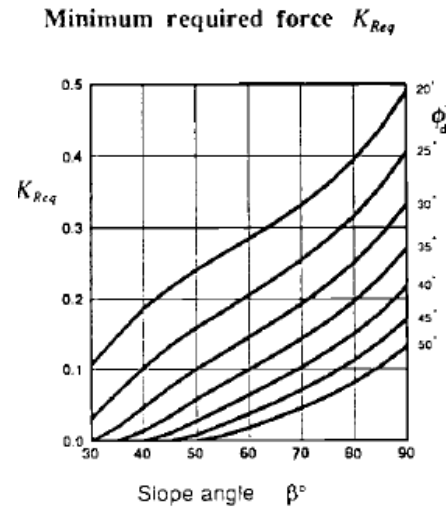
$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
10	8,85	2,47	1,22	26	22,25	11,85	12,54
11	8,80	2,71	1,44	27	23,94	13,20	14,47
12	9,28	2,97	1,69	28	25,80	14,72	16,72
13	9,81	3,26	1,97	29	27,86	16,44	19,34
14	10,37	3,59	2,29	30	30,14	18,40	22,40
15	10,98	3,94	2,65	31	32,67	20,63	25,90
16	11,63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

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

### 3.6 Geotekstil Untuk Perkuatan Lereng

Perhitungan menggunakan *trial and error* memakan waktu. Untuk menganalisis kestabilan suatu perkuatan lereng, perlu dilakukan estimasi kekuatan tarik, panjang, dan jarak perkuatan geosintetik. Grafik yang biasanya digunakan dalam perhitungan seperti ini terdapat beberapa grafik, seperti yang dikemukakan oleh Jewell (1996), Schemertmann, dkk. (1987), dan para ahli lain di bidangnya.

Berikut adalah metode pendekatan untuk menentukan kebutuhan tulangan geotekstil menggunakan grafik Jewell (1996). Gambar 3.11 digunakan untuk menentukan koefisien tekanan tanah lateral ( $K_{req}$ ) yang akan digunakan dalam perhitungan gaya tarik total pada tulangan. Grafik nilai  $K_{req}$  terdapat pada Gambar 3.11 dan dapat dijadikan acuan.



**Gambar 3.11 Grafik untuk menentukan nilai  $K_{req}$**   
(Sumber: Jewell, 1996)

Nilai  $K_{req}$  dicari dengan menghubungkan garis yang bersinggungan antara sudut kemiringan lereng dan sudut geser tanah yang digunakan.

Tipe geotekstil yang digunakan berdasarkan besarnya perkuatan yang dibutuhkan, yang dapat dihitung dari Persamaan 3.34 berikut ini.

$$T_{req} = K_{req} \cdot \gamma \cdot \left(z + \frac{q}{\gamma}\right) \cdot S_v \quad (3.34)$$

Keterangan:

$T_{req}$  = Besar perkuatan yang dibutuhkan (kN/m)

$K_{req}$  = Koefisien tekanan tanah lateral (kN/m)

$\gamma$  = Berat jenis tanah (kN/m<sup>3</sup>)

$z$  = Tinggi perkuatan dari puncak ke bawah (m)

$q$  = Beban lalu lintas (kN/m<sup>2</sup>)

$S_v$  = Jarak atau spasi vertikal antar perkuatan (m)

Dalam pemilihan tipe geotekstil, kuat tarik geotekstil tersebut harus memenuhi persyaratan sesuai dengan Persamaan 3.35 berikut ini.

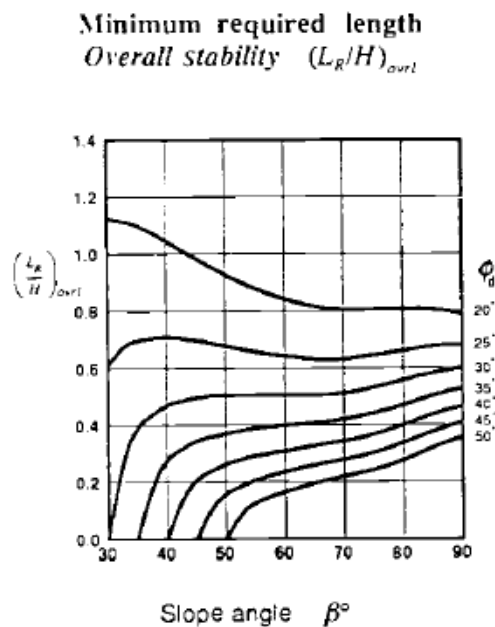
$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{1.5} \quad (3.35)$$

$$T_{all} \geq T_{req}$$

Keterangan:

$T_{all}$  = Kuat tarik izin geotekstil ( $\text{kN/m}^2$ )

Setelah memenuhi persyaratan, selanjutnya menghitung panjang tulangan geotekstil, digunakan cara grafik L/H yang dikemukakan oleh Jewell (1996). Berikut adalah grafik L/H dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut.



**Gambar 3.12 Grafik untuk menentukan nilai L/H**

(Sumber: Jewell, 1996)

Nilai L/H dicari dengan menghubungkan garis yang bersinggungan antara sudut kemiringan lereng dan sudut geser tanah yang digunakan. Nilai L/H digunakan dalam menghitung panjang penjangkaran. Rumus panjang penjangkaran dapat dilihat pada Persamaan 3.36 berikut.

$$Lr = \frac{L}{H} \cdot \left( H + \frac{q}{\gamma} \right) \quad (3.36)$$

Keterangan:

$Lr$  = Panjang penjangkaran geotekstil (m)

$H$  = Tinggi timbunan (m)

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

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

### 3.7 Beban pada Timbunan Jalan

Dalam desain timbunan jalan, perlu memperhitungkan dua jenis beban utama yang akan bekerja pada struktur tersebut, yaitu beban perkerasan jalan dan beban lalu lintas. Kedua jenis beban ini memegang peranan penting dalam perancangan dan konstruksi timbunan jalan untuk memastikan kekuatan dan stabilitasnya dalam menghadapi beban-beban tersebut.

#### 3.7.1 Beban Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan struktur jalan yang terletak di antara tanah dasar dan roda kendaraan, yang terdiri dari agregat dan bahan pengikat seperti aspal atau semen. Salah satu tujuan utama perkerasan jalan adalah untuk menyebarkan beban roda ke area tanah dasar yang lebih luas daripada area kontakannya dengan perkerasan, dengan demikian mengurangi tekanan maksimum yang dikenakan pada tanah dasar. Konstruksi jalan biasanya dibagi menjadi perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Saat melakukan analisis, beberapa beban perkerasan yang diperhitungkan sebagai berikut.

1. Ketebalan struktur *rigid pavement*.
2. Dimensi lapisan *lean concrete*.
3. Ukuran lapisan agregat.
4. Beban sendiri dari perkerasan.

### 3.7.2 Beban Lalu Lintas

Menurut Sukirman (2003), beban lalu lintas mengacu pada beban kendaraan yang dipindahkan ke perkerasan jalan melalui interaksi antara roda kendaraan dan permukaan jalan. Beban ini bersifat dinamis, terjadi secara berulang selama masa pelayanan jalan. Trafik juga merupakan muatan merata yang harus diakui dalam setiap bagian permukaan timbunan saat mengevaluasi stabilitasnya. Dalam perhitungan beban lalu lintas acuan yang digunakan mengacu pada Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi, dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini.

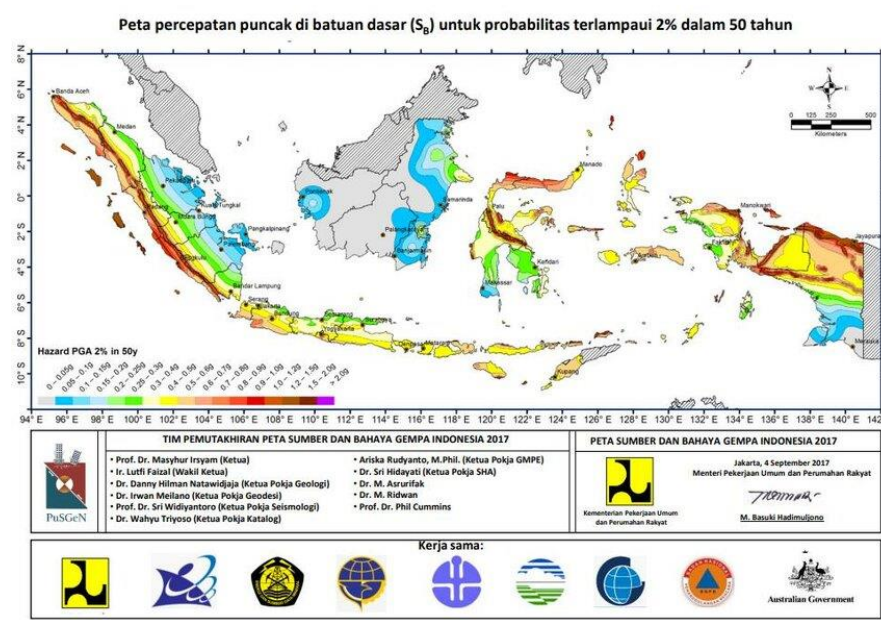
**Tabel 3.5 Data Parameter Beban Lalu Lintas**

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

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

### 3.7.3 Beban Gempa

Pengaruh gempa dihitung jika lereng yang sedang direncanakan berada di dekat area pemukiman atau sedang dibangun dengan kriteria penting strategis, dimana penting untuk memastikan ketahanannya terhadap gempa untuk mencegah keruntuhan atau terputusnya jalur transportasi setelah gempa. Pada wilayah Cakung, Jakarta Timur memiliki percepatan puncak gempa (GPA) antara 0,3-0,4g. Peta zonasi gempa Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.13 berikut.



**Gambar 3.13 Peta Zonasi Gempa Indonesia**

(Sumber: KemenPUPR, 2019)

### 3.8 Program GeoStudio

Geostudio adalah perangkat lunak geoteknik yang berfokus pada analisis stabilitas lereng, infiltrasi air tanah, dan pemodelan geoteknik. Program ini terdiri dari beberapa modul, termasuk Slope/W, Seep/W, Sigma/W, Quake/W, Temp/W, dan Ctran/W, yang dapat digunakan secara terintegrasi untuk mengatasi berbagai masalah geoteknik yang kompleks. Setiap modul memiliki tujuan spesifik sebagai berikut.

1. Slope/W: Digunakan untuk mengevaluasi faktor keamanan ketahanan lereng tanah dan batuan, SLOPE/W dapat analisis untuk situasi yang sederhana maupun rumit dengan menggunakan berbagai teknik keseimbangan batas untuk beragam geometri lereng, kondisi air tanah, karakteristik tanah, dan pembebanan terpusat. Dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas tanah yang diberi perkuatan geosintetik, *soil nailing*, *anchor*, dll.
2. Seep/W: Digunakan untuk menganalisis rembesan air tanah dan masalah disipasi tekanan air pori berlebih. Program ini memungkinkan

analisis dari masalah jenuh konstan hingga tidak jenuh, tergantung pada kondisi yang spesifik.

3. Sigma/W: Digunakan untuk analisis tegangan dan regangan geoteknik. Pengguna dapat mempertimbangkan analisis mulai dari masalah deformasi sederhana hingga masalah tekanan efektif yang semakin kompleks.
4. Temp/W: Digunakan untuk analisis transfer panas dalam tanah dan pemodelan dampak perubahan suhu terhadap perilaku geoteknik.
5. Ctran/W: Digunakan untuk menganalisis transportasi massa dan panas dalam tanah, serta pemodelan reaksi kimia dan biologis termasuk degradasi bahan.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1. Tinjauan Umum**

Metode penelitian merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk menemukan solusi dari permasalahan yang diajukan. Pendekatan ini melibatkan pengumpulan informasi dan data serta analisis terhadap data yang terkumpul. Penelitian yang direncanakan akan memfokuskan pada analisis stabilitas lereng dengan penerapan perkuatan geotekstil dalam proyek *ramp* Jalan Tol Cakung. Penelitian ini akan menggunakan perangkat lunak GeoSlope untuk memperoleh nilai faktor keamanan dengan memvariasikan ketinggian menjadi 2 meter, 4 meter, dan 5 meter. Perhitungan berikutnya yaitu menghitung angka aman menggunakan perhitungan manual. Harapannya, analisis ini akan memberikan nilai faktor keamanan yang optimal, menjadi pedoman dalam perencanaan perkuatan stabilitas lereng untuk kondisi tanah dan beban tertentu.

#### **4.2. Tahap Perencanaan**

Dalam penelitian ini, proses penelitian terbagi ke dalam beberapa langkah, termasuk hal-hal berikut.

1. Tahap pengumpulan data, termasuk pengambilan informasi data mengenai sifat tanah yang diperlukan untuk analisis dalam Laporan Analisis Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cakung. Informasi data mengenai sifat tanah uji laboratorium mencakup:
  - a. berat volume tanah ( $\gamma$ ),
  - b. kohesi ( $c$ ), dan
  - c. sudut geser dalam ( $\phi$ ).
2. Tahap analisis dan pengolahan data, pada tahap ini informasi yang telah terkumpul (baik dari pengujian lapangan maupun laboratorium) akan diolah



(analisis dengan program *Geoslope*), selanjutnya dapat ditentukan tindak lanjut dari hasil program *Geoslope*. Selanjutnya melakukan perhitungan manual untuk perhitungan stabilitas lereng.

3. Tahap pembahasan dan kesimpulan. Tahap ini akan dilakukan dalam bentuk laporan yang berisi hasil yang diperoleh pada tahap analisis, kemudian akan ditemukan solusi untuk permasalahan yang muncul dan akan ditarik kesimpulan.

### 4.3. Analisis Data

Metode analisis data adalah teknik yang digunakan untuk menyederhanakan dan memperjelas pemahaman atas data yang telah dikumpulkan. Data yang telah diperoleh kemudian diproses melalui langkah-langkah analisisnya. Berikut merupakan data yang telah diperoleh.

#### 4.3.1 Parameter Tanah

Dalam analisa stabilitas lereng, aspek-aspek terkait sifat tanah merupakan faktor krusial. Informasi data mengenai sifat tanah diperoleh dari Laporan Pekerjaan Penyelidikan Tanah Proyek 6 Ruas Jalan Tol Dalam Kota Jakarta Kelapa Gading-Pulo Gebang *off* Cakung *on* Cakung. Adapun input parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4.1 Data Parameter Tanah**

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	SPT	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
0.3-11	Lanau	4-8	16,37	28,44	12,25
11-16	Lempung	14-24	16,67	44,13	9,7

#### 4.3.2 Geotekstil

Bahan geotekstil yang digunakan diproduksi oleh Daejung Co., Ltd. Jenis geotekstil yang digunakan adalah yang teranyam. Informasi lebih lanjut mengenai geotekstil dapat ditemukan dalam Tabel 4.2 di bawah ini.

**Tabel 4.2 Data Parameter Geotekstil Woven**

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	Ta	60	kN/m
Regangan	E	30	%

#### 4.3.3 Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Beban yang diterapkan pada perkerasan adalah 10 kN/m<sup>2</sup>, sementara beban lalu lintas yang berkerja adalah sebesar 15 kN/m<sup>2</sup>. Rincian beban lalu lintas tersedia dalam Tabel 4.3, sesuai dengan fungsi jalan dan struktur jaringan jalan. .

**Tabel 4.3 Data Parameter Beban Lalu Lintas**

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

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

#### 4.3.4 Beban Gempa

Percepatan puncak gempa (PGA) di Wilayah Cakung, Jakarta Timur berkisar antara 0,3 hingga 0,4g. Nilai yang digunakan dalam perhitungan ini adalah setengah dari PGA, yaitu 0,15g hingga 0,2g, diambil nilai yang terbesar yaitu 0,2g. Nilai tersebut dimasukkan ke dalam program Geoslope menggunakan fungsi *Seismic Load* hanya pada horizontal. Detail peta zonasi gempa dapat ditemukan dalam Gambar 3.13.

#### 4.4. Tahapan Analisis

Analisis dilakukan dengan menggunakan program geoslope. Permodelan dilakukan pada kondisi timbunan eksisting yaitu lereng timbunan dengan ketinggian 2 meter, 4 meter, dan 5 meter yang kemudian dilakukan beberapa permodelan, antara lain sebagai berikut.

1. Kondisi tanpa perkuatan dan tanpa beban lalu lintas.
2. Kondisi terpengaruhi beban lalu lintas.
3. Kondisi terpengaruhi beban gempa.
4. Kondisi dengan perkuatan.

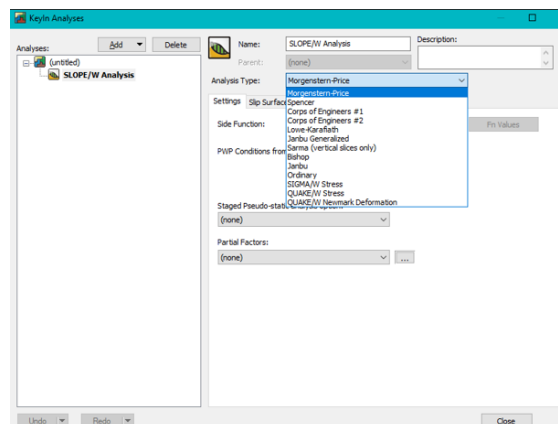
Adapun tahapan analisis yang digunakan pada penelitian ini menggunakan program *Geoslope* sebagai berikut ini.

1. Pengaturan awal

Hal pertama yang perlu diatur yaitu *Define Analysis* yang digunakan untuk menentukan pengaturan dalam menganalisis stabilitas kelongsoran lereng dengan cara sebagai berikut.

- a. Menentukan Metode Analisis

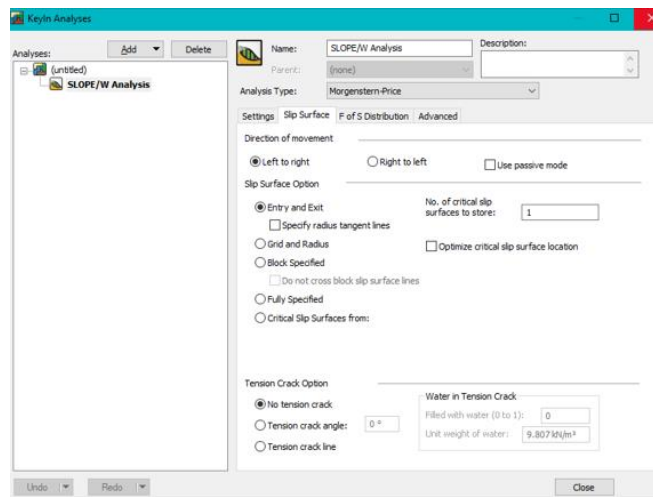
Ada beberapa metode analisis lereng yang ada pada program *SLOPE/W*, seperti *Bishop*, *Spencer*, *Janbu*, *Janbu Generalized*, *Morgenstern-Price*, *Sarma*, dan *Ordinary*. Tampilan Metode Analisis dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



**Gambar 4.1 Tampilan Metode Analisis**

b. Menentukan bidang longsor

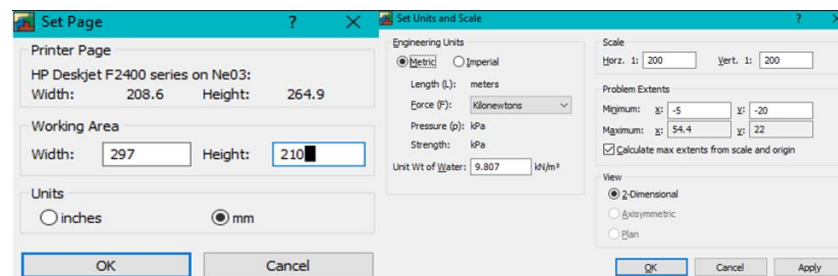
Pengaturan ini bertujuan untuk mengatur arah kelongsoran. Arah kelongsoran dapat ditentukan sesuai keinginan, dari arah kiri maupun arah kanan. Untuk menentukan bidang longsor dapat ditentukan dengan memilih *Entry and Exit*. Tampilan penentuan slip surfaces dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut.



**Gambar 4.2 Tampilan Penentuan *Slip Surfaces***

c. Pengaturan Kertas Kerja

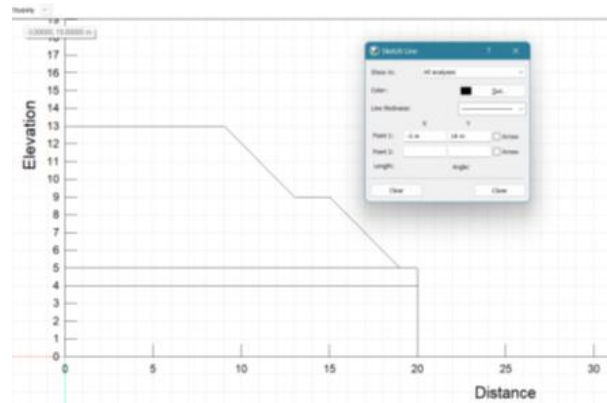
Kertas kerja dapat diatur dengan cara klik “*Set*” pada *toolbar*, kemudian klik “*Page*” dan “*Unit and scale*” untuk mengatur ukuran kertas dan juga mencetak hasil analisis. Tampilan pengaturan kertas dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



**Gambar 4.3 Tampilan Pengaturan Kertas**

2. Membuat sketsa gambar.

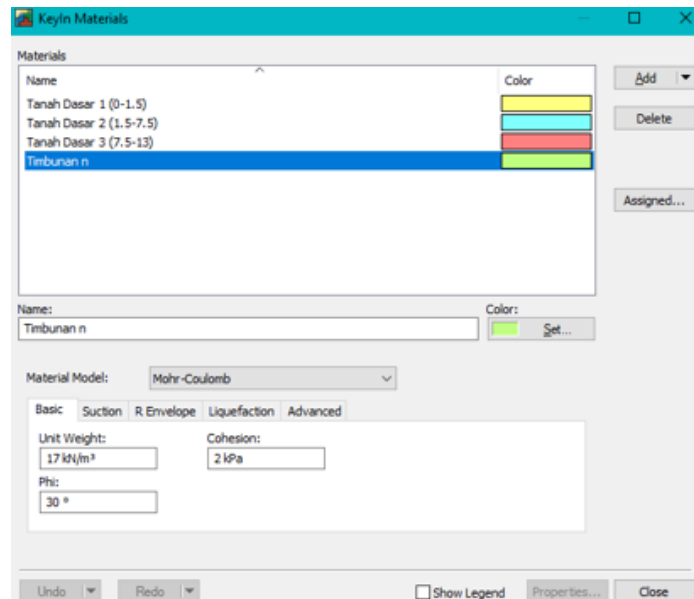
Pada langkah ini harus dilakukan dengan benar agar sketsa gambar timbunan sesuai dengan perencanaan. Dilakukan dengan cara klik “*Sketch Lines*” pada *toolbar*, kemudian masukkan angka koordinat dengan format (X, Y). Contoh sketsa timbunan dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut.



**Gambar 4.4 Sketsa Timbunan**

3. Mendefinisikan parameter tanah.

Berat isi tanah ( $\gamma$ ), sudut geser ( $\phi$ ), dan kohesi ( $c$ ) adalah data parameter tanah yang dimasukkan. Pastikan satuan harus sama terlebih dahulu sebelum dimasukkan. Dilakukan dengan cara klik “Define” pada *toolbar*, kemudian klik “*Materials*”, muncul jendela *Define Materials* dan klik “*add*”. berikan nama material, lalu gunakan “Mohr-Couloumb” pada “*Material model*”. Tampilan pengaturan material dapat dilihat pada Gambar 4.5 sebagai berikut.



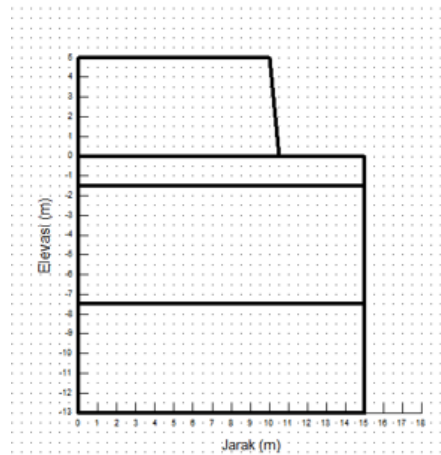
**Gambar 4.5 Tampilan Pengaturan Material**

4. Menentukan parameter tanah tiap lapisan

Ada dua tahapan untuk menentukan parameter tanah ke masing-masing lapisan tanah, yaitu sebagai berikut.

a. Menggambar batas lapisan tanah

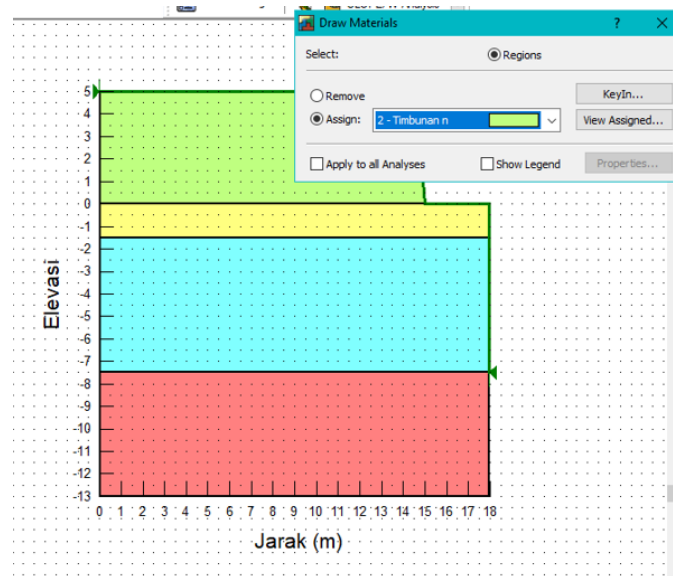
Gambaran pembagian lapisan-lapisan tanah dapat dilihat pada Gambar 4.6 sebagai berikut.



**Gambar 4.6 Tampilan Penggambaran Batas Lapisan Tanah**

b. Memilih parameter tanah

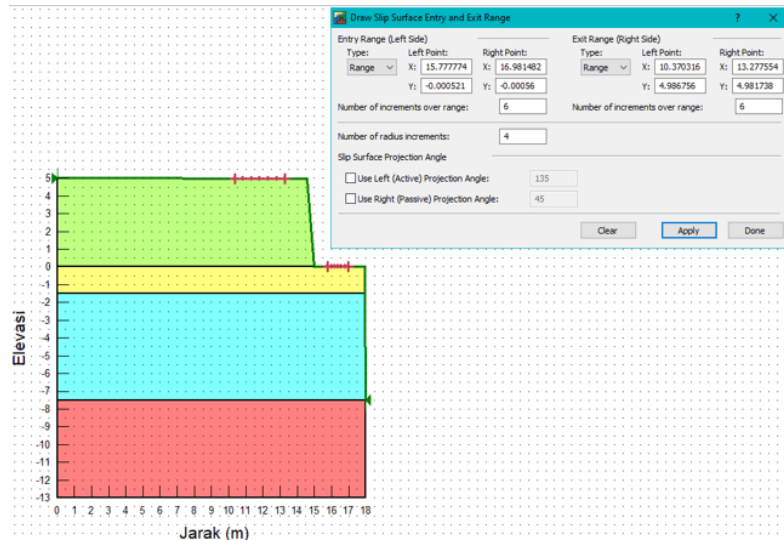
Parameter tanah dipilih sesuai dengan lapisan tanah. Dengan cara klik “*Draw Materials*” kemudian pilih jenis materialnya dan klik pada lapisan tanah yang akan dipilih. Tampilan penentuan material tanah dapat dilihat pada Gambar 4.7 sebagai berikut.



**Gambar 4.7 Tampilan Penambahan Material pada setiap Lapisan Tanah**

5. Menggambar *Entry and Exit* bidang longsor

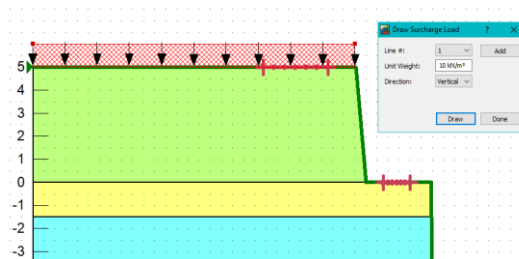
Langkah ini untuk memberikan gambaran di bagian mana longsor akan terjadi. Dengan cara klik “*Define*” pada *toolbar*, lalu klik “*slip surface*”, kemudian klik “*Entry and Exit*” dan input koordinatnya. Tampilan bidang longsor (*slip surface*) dapat dilihat pada Gambar 4.8 sebagai berikut.



**Gambar 4.8 Tampilan Pengaturan Bidang Longsor**

6. Menggambar beban merata

Input beban yang bekerja diatas tanah timbunan terlebih dahulu lalu gambar sesuai dengan yang sudah direncanakan dengan cara klik “Define” pada *toolbar*, lalu klik “Surcharge Loads”, klik “add” lalu masukan letak koordinat beban merata dan nilai beban meratanya. Tampilan pengaturan beban merata (*surcharge load*) dapat dilihat pada Gambar 4.9 sebagai berikut.

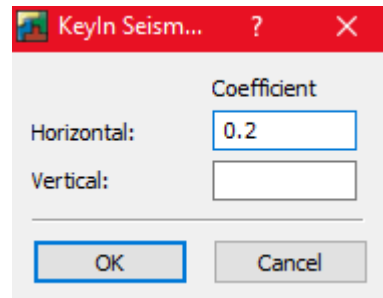


**Gambar 4.9 Tampilan Pengaturan Beban Merata**

7. Memasukan beban gempa

Koefisien gempa vertikal dan horizontal diinputkan sebagai nilai beban gempa. Langkahnya adalah dengan mengklik “Define” pada *toolbar*, lalu pilih “seismic loads”, dan masukkan nilai koefisien gempa. Tampilan pengaturan beban gempa dapat ditemukan dalam Gambar 4.10 seperti berikut.

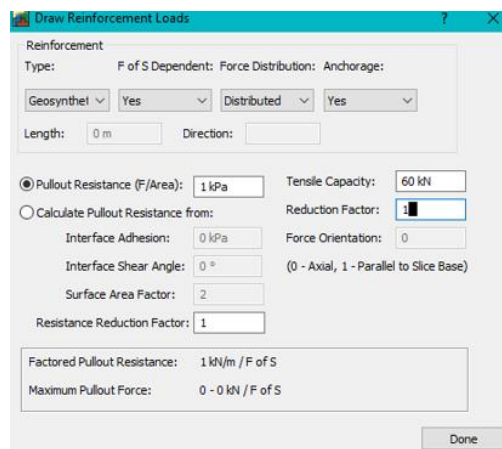




**Gambar 4.10 Tampilan Pengaturan Beban Gempa**

8. Menggambar perkuatan geotekstil

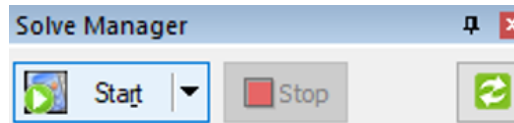
Pada penggambaran perkuatan geotekstil diperlukan data kuat tarik geotekstil dari produsen geotekstil tersebut, kemudian input koordinat perletakkan geotekstil dan juga panjang geotekstil. Tampilan pengaturan perkuatan (*reinforcement loads*) dapat dilihat pada Gambar 4.11 sebagai berikut.



**Gambar 4.11 Tampilan Pengaturan Perkuatan**

9. Menghitung angka aman

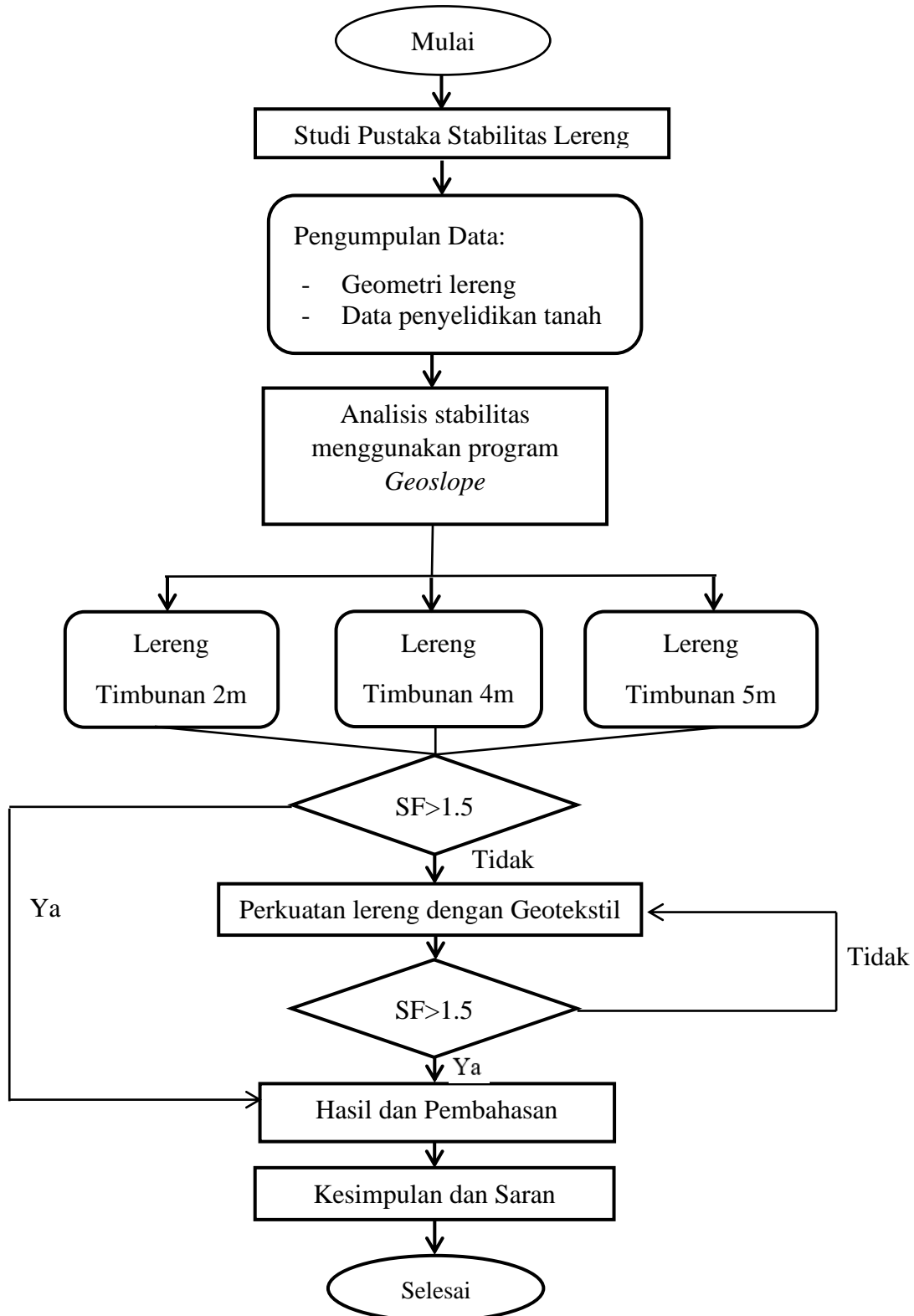
Perhitungan angka aman dilakukan di program *SLOPE/W* yang dilakukan dengan cara pada “*menu bar*” klik “*start*” pada bagian kiri halaman klik “*Solve Manager*” maka kemudian muncul angka aman pada lereng yang sudah ditinjau sebelumnya. Tampilan *solve manager* dapat dilihat pada Gambar 4.12 sebagai berikut.



**Gambar 4.12** Tampilan *Solve Manager*

#### **4.5. Diagram Alir Penelitian**

Adapun tahapan penelitian penelitian tugas akhir keseluruhan dapat dilihat pada bagan alir Gambar 4.13 berikut ini.



**Gambar 4.13 Diagram Alur Penelitian**

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

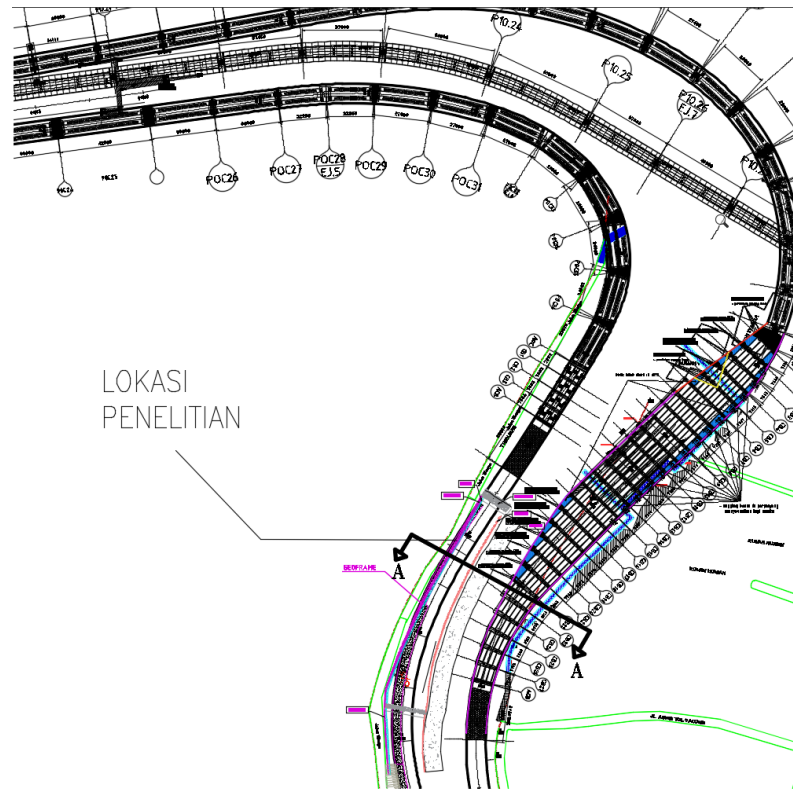
#### **5.1 Gambaran Umum**

Studi kasus yang akan dilakukan penelitian ini mengambil tempat di lereng timbunan proyek Jalan Tol Dalam Kota Jakarta Kelapa Gading - Pulo Gebang off Cakung on Cakung. Lokasi ini didominasi oleh lapisan tanah lempung dan lanau, dengan penggunaan lapisan tanah hingga kedalaman 14 meter. Tanah yang digunakan untuk timbunan adalah tanah lempung berpasir yang dipadatkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi kelongsoran pada lereng timbunan pada ketinggian yang telah ditentukan. Kemungkinan terjadinya keruntuhan dapat disebabkan oleh ketidakmampuan tanah timbunan untuk menahan gaya-gaya yang ditimbulkan akibat beban selama penggunaan maupun pembuatan timbunan.

Analisis dilakukan dengan menggunakan variasi tinggi timbunan mulai dari 2m, 4m, dan 5m untuk mengetahui lapisan timbunan yang aman terhadap pembebanan-pembebanan yang terjadi. Kondisi timbunan dianalisis dalam tiga kondisi, yaitu sebagai berikut.

1. Kondisi tanpa pembebanan.
2. Kondisi dengan beban perkerasan & beban lalu lintas.
3. Kondisi dengan beban perkerasan & lalu lintas, serta gempa.

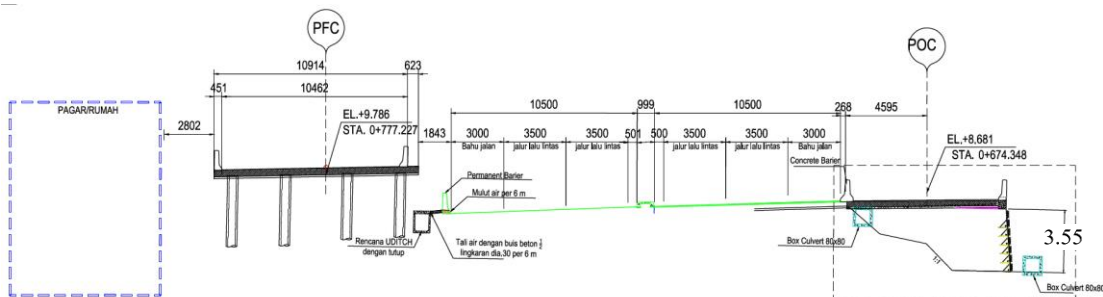
Adapun letak lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



5.1.1 Analisis Data

1. Geometri lereng

Data geometri potongan melintang jalan yang diperoleh dari PT. Geoforce Indonesia dalam proyek *Ramp on* Jalan Tol Cakung. Gambar potongan melintang dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



2. Data parameter tanah

Dalam analisis stabilitas lereng, parameter tanah merupakan input yang sangat penting, parameter tanah didapatkan berdasarkan data dari Laporan Pekerjaan Penyelidikan Tanah Proyek 6 Ruas Jalan Tol Dalam Kota Jakarta Kelapa Gading-Pulo Gebang *off* Cakung *on* Cakung. Adapun input parameter tanah dapat dasar dilihat pada Tabel 4.1. Muka air tanah berada pada kedalaman 4,7 m, dapat dilihat pada Lampiran 3. Tanah timbunan yang digunakan dengan properti yang didapat, dapat dilihat pada Tabel 5.1 Berikut.

**Tabel 5.1 Data Parameter Tanah Timbunan**

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
17	2	30

3. Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Beban perkerasan yang digunakan diasumsikan sebesar 10 kN/m<sup>2</sup>, sedangkan untuk beban lalu lintas yang bekerja sebesar 15 kN/m<sup>2</sup>. Beban lalu lintas dapat dilihat berdasarkan fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 5.2 berikut ini.

**Tabel 5.2 Data Parameter Beban Lalu Lintas**

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m <sup>2</sup> )
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Sekunder	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

4. Beban Gempa

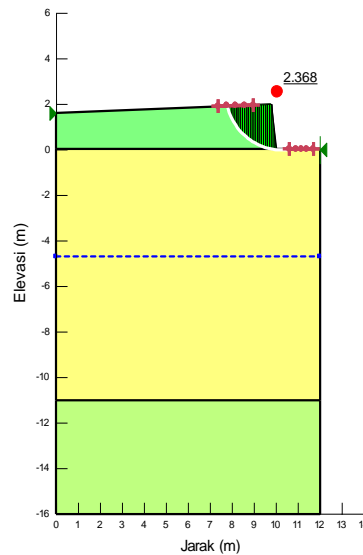
Berdasarkan peta zonasi gempa, daerah Cakung di Jakarta memiliki percepatan puncak gempa (PGA) sekitar 0,3-0,4g. Dalam analisis gempa, koefisien gempa horizontal yang digunakan memiliki nilai setengah dari nilai PGA yang sebesar 0,4g, maka dari itu koefisien gempa yang digunakan sebesar 0,2g. Penggunaan nilai ini diaplikasikan dalam program Geoslope dengan menggunakan *Seismic Load* hanya pada horizontal. Referensi peta zonasi gempa dapat ditemukan dalam Gambar 3.13.

## **5.2 Analisis Stabilitas Timbunan Tanpa Perkuatan Menggunakan Program Geoslope**

Analisis yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Geoslope. Langkah-langkahnya dimulai dengan membuat pemodelan lereng sesuai dengan data geometri potongan detail melintang *ramp on* Jalan Tol Cakung STA 0+674, kemudian memasukkan data-data yang telah diperoleh, lalu menganalisisnya hingga diperoleh faktor keamanan. Analisis pada tahap ini bertujuan untuk menemukan nilai SF dari lereng timbunan tanpa perkuatan. Berikut adalah hasil analisis yang dilakukan pada lereng timbunan dengan ketinggian 2m, 4m, dan 5m.

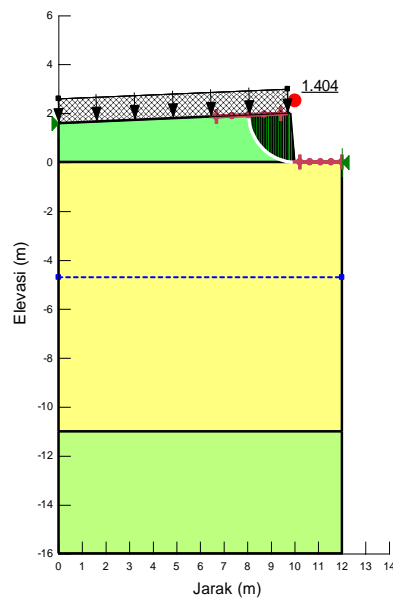
### **5.2.1 Analisis Stabilitas Timbunan Tinggi 2m**

Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Geoslope tanpa memasukkan pembebanan. Angka keamanan terhadap potensi kelongsoran lereng yang diperoleh adalah 2,368. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak Geoslope untuk lereng timbunan 2-meter dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



**Gambar 5.3 Hasil Analisis Lereng Timbunan 2m Tanpa Pembebanan**

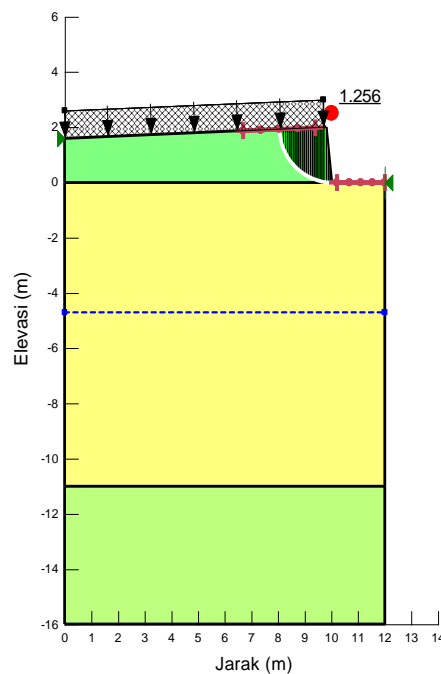
Kemudian, dilakukan analisis pada lereng timbunan dengan penerapan beban perkerasan dan beban lalu lintas, namun tanpa memasukkan beban gempa. Angka keamanan terhadap potensi kelongsoran lereng yang diperoleh adalah 1,587. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak Geoslope untuk lereng timbunan 2 meter ditampilkan pada Gambar 5.4 berikut.



**Gambar 5.4 Hasil Analisis Lereng Timbunan 2m Tanpa Perkuatan Geotekstil Terpengaruhi oleh Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas**



Setelah melakukan analisis pada lereng timbunan tanpa memperhitungkan beban gempa, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dengan memperhitungkan beban gempa. Hasilnya menunjukkan angka keamanan terhadap potensi kelongsoran lereng sebesar 1,407. Hasil analisis menggunakan program Geoslope untuk lereng timbunan 2 meter dapat ditemukan pada Gambar 5.5 berikut.

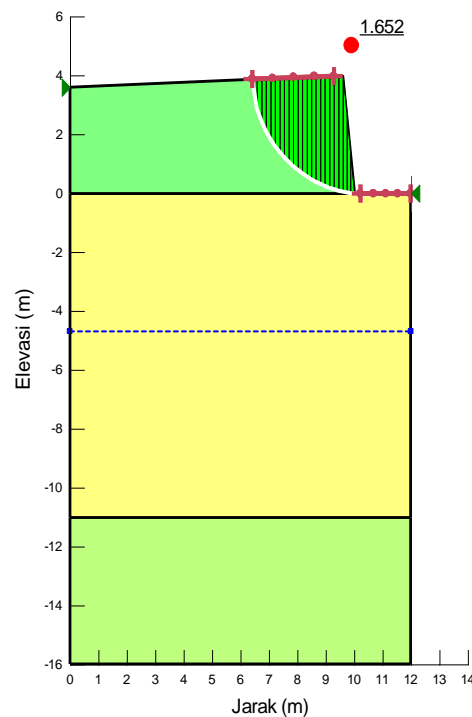


**Gambar 5.5 Hasil Analisis Lereng Timbunan 2m Tanpa Perkuatan Geotekstil Terpengaruhi oleh Beban Perkerasan, Beban Lalu Lintas, dan Beban Gempa**

Dari hasil analisis lereng timbunan dengan ketinggian 2 meter tanpa penggunaan perkuatan, dalam kondisi tanpa pembebanan, dengan beban perkerasan & lalu lintas, serta beban gempa, dihasilkan nilai angka keamanan masing-masing 2,368; 1,587; dan 1,407. Nilai keamanan dalam kondisi tanpa pengaruh pembebanan, maupun dengan beban perkerasan & lalu lintas telah memenuhi syarat  $SF > 1,5$ . Namun dalam kondisi terpengaruh beban perkerasan & beban lalu lintas serta beban gempa, tidak memiliki nilai keamanan (SF) yang disyaratkan yaitu  $SF > 1,5$ .

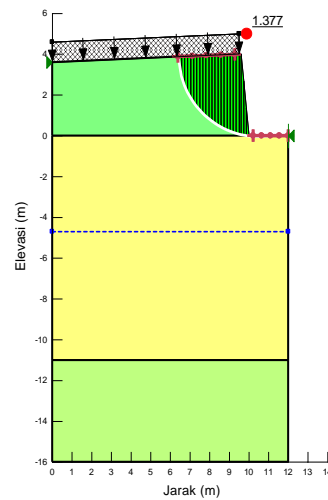
### 5.2.2 Analisis Stabilitas Timbunan Tinggi 4m

Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Geoslope tanpa memasukkan beban lalu lintas dan beban gempa di tahap awal. Angka keamanan terhadap potensi kelongsoran lereng yang diperoleh adalah 1,652. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak Geoslope untuk lereng timbunan 4-meter dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



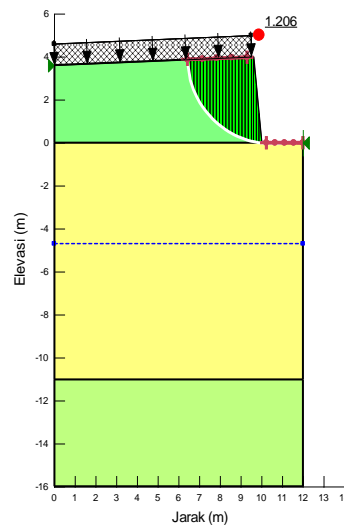
**Gambar 5.6 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4m Tanpa Perkuatan Geotekstil**

Kemudian, dilakukan analisis pada lereng timbunan dengan penerapan beban perkerasan dan beban lalu lintas, namun tanpa memasukkan beban gempa. Angka keamanan terhadap potensi kelongsoran lereng yang diperoleh adalah 1,377. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak Geoslope untuk lereng timbunan 4-meter ditampilkan pada Gambar 5.7 berikut.



**Gambar 5.7 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4m Tanpa Perkuatan Geotekstil Terpengaruhi oleh Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas**

Setelah melakukan analisis pada lereng timbunan tanpa memperhitungkan beban gempa, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dengan memperhitungkan beban gempa. Hasilnya menunjukkan angka keamanan terhadap potensi kelongsoran lereng sebesar 1,206. Hasil analisis menggunakan program Geoslope untuk lereng timbunan 4-meter dapat ditemukan pada Gambar 5.8 berikut.

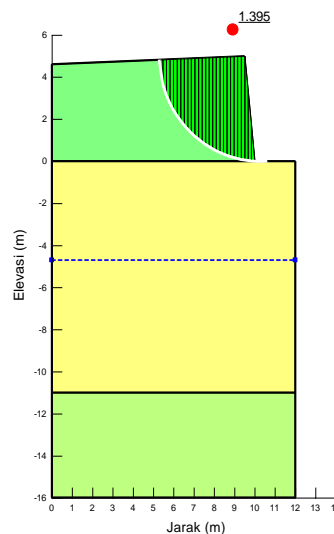


**Gambar 5.8 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4m Tanpa Perkuatan Geotekstil Terpengaruhi oleh Beban Perkerasan, Beban Lalu Lintas, dan Beban Gempa**

Dari hasil analisis lereng timbunan dengan ketinggian 4-meter tanpa penggunaan perkuatan, dalam kondisi tanpa pembebanan, dengan beban perkerasan & lalu lintas, dan dengan beban perkerasan & lalu lintas serta beban gempa, dihasilkan nilai angka keamanan masing-masing 1,652 1,377, dan 1,206. Nilai angka keamanan tersebut tidak memenuhi nilai angka aman (SF) yang dipersyaratkan yaitu  $SF > 1.5$ . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perkuatan menggunakan geotekstil diperlukan pada lereng timbunan dengan ketinggian 4-meter karena nilai keamanan belum memenuhi persyaratan SF yang diperlukan.

### 5.2.3 Analisis Stabilitas Timbunan Tinggi 5m

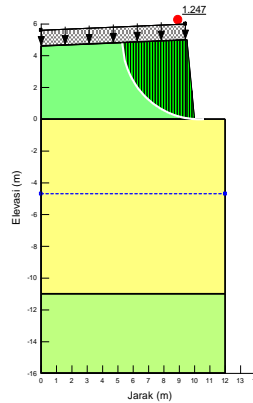
Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Geoslope tanpa memasukkan pembebanan. Angka keamanan terhadap potensi kelongsoran lereng yang diperoleh adalah 1,395. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak Geoslope untuk lereng timbunan 5-meter pada Gambar 5.9 berikut.



**Gambar 5.9 Hasil Analisis Lereng Timbunan 5m Tanpa Pembebanan**

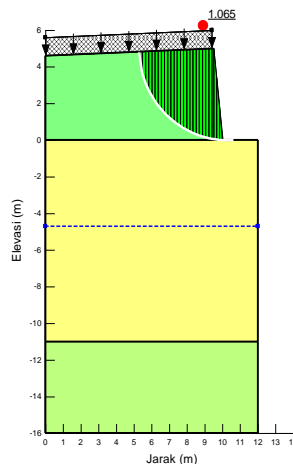
Kemudian, dilakukan analisis pada lereng timbunan dengan penerapan beban perkerasan dan beban lalu lintas, namun tanpa memasukkan beban gempa. Angka keamanan terhadap potensi kelongsoran lereng yang diperoleh adalah 1,247. Hasil

analisis menggunakan perangkat lunak Geoslope untuk lereng timbunan 5 meter ditampilkan pada Gambar 5.10 berikut.



**Gambar 5.10 Hasil Analisis Lereng Timbunan 5m Tanpa Perkuatan Geotekstil Terpengaruhi oleh Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas**

Setelah melakukan analisis pada lereng timbunan tanpa memperhitungkan beban gempa, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dengan memperhitungkan beban gempa. Hasilnya menunjukkan angka keamanan terhadap potensi kelongsoran lereng sebesar 1,065. Hasil analisis menggunakan program Geoslope untuk lereng timbunan 5 meter dapat ditemukan pada Gambar 5.11 berikut.



**Gambar 5.11 Hasil Analisis Lereng Timbunan 5m Tanpa Perkuatan Geotekstil Terpengaruhi oleh Beban Perkerasan, Beban Lalu Lintas, dan Beban Gempa**

Dari hasil analisis lereng timbunan dengan ketinggian 5-meter tanpa penggunaan perkuatan, dalam kondisi tanpa pembebanan, dengan beban perkerasan & lalu lintas, dan dengan beban perkerasan & lalu lintas serta beban gempa, dihasilkan nilai angka keamanan masing-masing 1,395; 1,247, dan 1,065. Nilai angka keamanan tersebut tidak memenuhi nilai angka aman (SF) yang dipersyaratkan yaitu  $SF > 1.5$ . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perkuatan menggunakan geotekstil diperlukan pada lereng timbunan dengan ketinggian 5-meter karena nilai keamanan belum memenuhi persyaratan SF yang diperlukan.

### 5.3 Analisis Perhitungan Perkuatan Geotekstil

Perhitungan desain perkuatan dilakukan untuk menentukan panjang perkuatan yang dibutuhkan. Hasil perhitungan berupa panjang geotekstil kemudian dimasukkan ke dalam program geoslope untuk dijadikan panjang perkuatan geotekstil.

#### 5.3.1 Perhitungan Desain Perkuatan Geotekstil

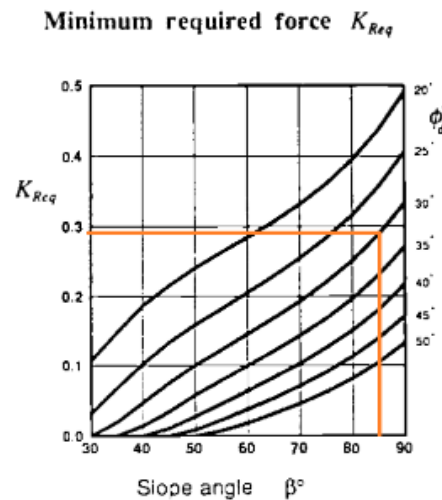
Dalam melakukan perhitungan kekuatan tarik, tegangan horizontal, panjang penjangkaran, dan parameter lainnya untuk geotekstil, perhitungan yang digunakan adalah dengan melakukan perhitungan secara manual. Selain itu, jarak antar geotekstil diasumsikan. Adapun data-data yang diperlukan untuk perhitungan desain perkuatan menggunakan geotekstil yang telah disajikan sebelumnya, dirangkum menjadi sebagai berikut ini.

Berat Volume tanah ( $\gamma$ )	= 17 kN/m <sup>3</sup>
Sudut geser ( $\phi$ )	= 30°
Kohesi (c)	= 2 kN/m <sup>2</sup>
Sudut lereng ( $\beta$ )	= 85°
Jarak antar geotekstil ( $S_v$ )	= 0,5 m
<i>Surcharge Load</i> (q)	= 25 kN/m <sup>2</sup>
Tinggi lereng (h)	= 2 m, 4 m, dan 5 m

$$T_{\text{all}} = \frac{T_{\text{ult}}}{1,5} = \frac{60}{1,5} = 40 \text{ kN/m}^2$$

1. Menentukan nilai koefisien tekanan tanah lateral ( $K_{\text{Req}}$ )

Untuk menentukan nilai koefisien tekanan tanah lateral digunakan grafik yang terdapat pada Gambar 3.11. Berikut adalah Gambar 5.12 hasil penentuan nilai  $K_{\text{Req}}$ .



**Gambar 5.12 Grafik Hasil Penentuan Nilai  $K_{\text{req}}$**

Dari grafik di atas didapatkan nilai koefisien tekanan tanah lateral ( $K_{\text{req}}$ ) sebesar 0,29. Selanjutnya dari hasil tersebut, menghitung besar kuat tarik perkuatan yang dibutuhkan.

2. Menghitung besar kuat tarik perkuatan yang dibutuhkan ( $T_{\text{Req}}$ ) pada tiap tinggi timbunan.

$$\begin{aligned} T_{\text{Req } 2\text{m}} &= K_{\text{Req}} \cdot \gamma_{\text{timbunan}} \cdot q \cdot Z \cdot Sv \\ &= 0,29 \cdot 17 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 0,5 \\ &= 8,555 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{Req } 4\text{m}} &= K_{\text{Req}} \cdot \gamma_{\text{timbunan}} \cdot q \cdot Z \cdot Sv \\ &= 0,29 \cdot 17 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 0,5 \\ &= 13,485 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{Req\ 5m} &= K_{Req} \cdot \gamma_{timbunan} \cdot q \cdot Z \cdot Sv \\
 &= 0,29 \cdot 17 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 0,5 \\
 &= 15,95 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah tabel perhitungan keseluruhan  $T_{Req}$  pada tiap tinggi timbunan 2m, 4m, dan 5m yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 di bawah ini.

**Tabel 5.3 Perhitungan Keseluruhan  $T_{Req}$  Pada Timbunan**

z (m)	$K_{Req}$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	q (kN/m <sup>2</sup> )	Sv (m)	$T_{Req}$ (kN/m)
5	0.29	17	25	0.5	15.950
4.5	0.29	17	25	0.5	14.718
4	0.29	17	25	0.5	13.485
3.5	0.29	17	25	0.5	12.253
3	0.29	17	25	0.5	11.020
2.5	0.29	17	25	0.5	9.788
2	0.29	17	25	0.5	8.555
1.5	0.29	17	25	0.5	7.323
1	0.29	17	25	0.5	6.090
0.5	0.29	17	25	0.5	4.858

Berdasarkan Tabel 5.4 dapat diketahui nilai  $T_{Req}$  dari masing-masing tinggi timbunan. Nilai  $T_{Req} = 8,555 \text{ kN/m}^2$  pada timbunan 2m,  $T_{Req} = 13,485 \text{ kN/m}^2$  pada timbunan 4m, dan  $T_{Req} = 15,950 \text{ kN/m}^2$  pada timbunan 5m. Pada persamaan  $T_{all} \geq T_{Req}$ , maka  $40 \text{ kN/m} \geq 8,555; 13,485; \text{ dan } 15,950 \text{ kN/m}^2$ . Maka, Nilai  $T_{all}$  geotekstil telah memenuhi persyaratan sebagai perkuatan.

### 3. Perhitungan Panjang Perkuatan

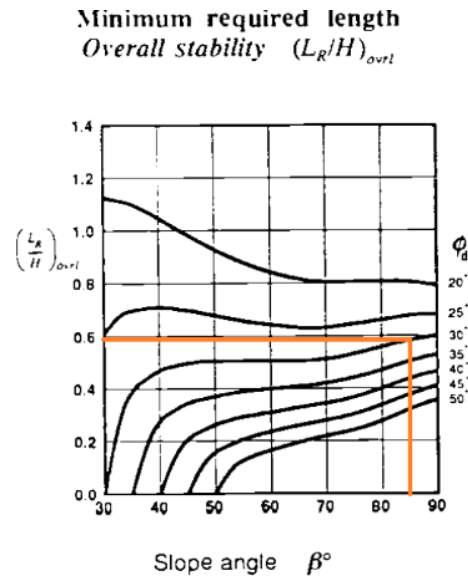
#### a. Mencari nilai $\frac{L}{H}$

Untuk mengetahui nilai  $\frac{L}{H}$  memerlukan data tanah yang pada penelitian ini digunakan grafik yang terdapat pada Gambar 3.12. Berikut adalah hasil penentuan nilai  $\frac{L}{H}$ .



$$\beta = 85^\circ$$

$$\varphi = 30^\circ$$



**Gambar 5.13 Hasil Penentuan nilai  $\frac{L}{H}$**

Dari grafik di atas didapatkan nilai  $\frac{L}{H} = 0.6$

- b. Menghitung panjang penjangkaran LR pada variasi timbunan

Untuk perhitungan panjang penjangkaran geotekstil, dihitung berdasarkan kombinasi beban perkerasan dan beban lalu lintas yaitu  $q=25 \text{ kN/m}^2$ .

Perhitungan panjang penjangkaran dapat dilihat pada berikut ini.

$$\begin{aligned} L_{R2m} &= \left(\frac{L}{H}\right) \cdot \left(H + \frac{q}{\gamma}\right) \\ &= (0,6) \cdot \left(2 + \frac{25}{17}\right) \\ &= 2,013 \text{ m} \\ &= 2,1 \text{ m} \end{aligned}$$

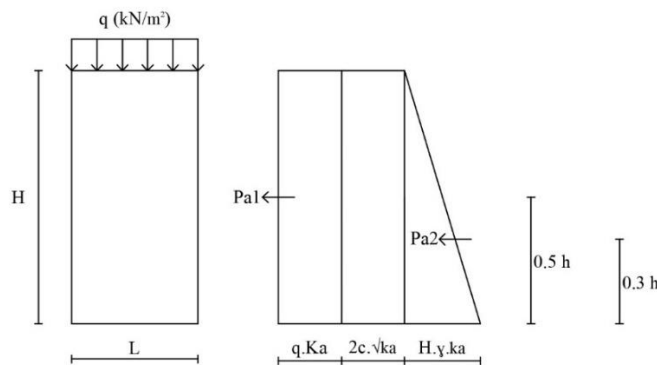
$$\begin{aligned}
 L_{R\ 4m} &= \left(\frac{L}{H}\right) \cdot \left(H + \frac{q}{\gamma}\right) \\
 &= (0,6) \cdot \left(4 + \frac{25}{17}\right) \\
 &= 3,227\text{ m} \\
 &= 3,3\text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{R\ 5m} &= \left(\frac{L}{H}\right) \cdot \left(H + \frac{q}{\gamma}\right) \\
 &= (0,6) \cdot \left(5 + \frac{25}{17}\right) \\
 &= 3,753\text{ m} \\
 &= 3,8\text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka, dari hasil perhitungan di atas, panjang penjangkaran untuk lereng timbunan 2 meter, 4 meter, dan 5 meter berturut-turut yaitu sebesar 2,1 meter, 3,3 meter, dan 3,8 meter.

### 5.3.2 Perhitungan Manual Terhadap Gaya Geser, Gaya Guling, dan Daya Dukung Tanah

Setelah menghitung panjang perkuatan, mengecek angka keamanan terhadap gaya geser, gaya guling, dan daya dukung tanah. Pada perhitungan ini, faktor terhadap gempa diabaikan. Gaya-gaya pada timbunan lereng dapat dilihat pada gambar 5.14 berikut.



**Gambar 5.14 Gaya-gaya Pada Timbunan Lereng**  
(Sumber: Purwanto, 2012)

Pada perhitungan yang dijabarkan pada kali ini yaitu pada tinggi timbunan ( $h$ ) = 5m, dengan data-data yang diperlukan sebagai berikut.

Berat Volume tanah ( $\gamma$ )	= 17 kN/m <sup>3</sup>
Sudut geser ( $\phi$ )	= 30°
Kohesi ( $c$ )	= 2 kN/m <sup>2</sup>
Jarak antar geotekstil ( $S_v$ )	= 0,5 m
<i>Surcharge Load</i> ( $q$ )	= 25 kN/m <sup>2</sup>
Tinggi lereng ( $h$ )	= 5m
$N_c, N_q, N_\gamma$	= 30,14; 18,40; dan 22,40

#### 1. SF Geser

Stabilitas geser memperhitungkan tekanan aktif yang akan menggeser konstruksi perkuatan lereng dan beban-beban yang menahan pergeseran tersebut. Perhitungan SF geser dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 (45 - \phi/2) \\ &= \tan^2 (45 - 30/2) \\ &= 0,333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= 0,5 \gamma h^2 k_a \\ &= 0,5 \times 17 \times 5^2 \times 0,3333 \\ &= 70,833 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= q k_a h \\ &= 25 \times 0,333 \times 5 \\ &= 41,667 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 &= 2 c \sqrt{k_a h} \\ &= 2 \times 2 \times \sqrt{0,333 \times 5} \end{aligned}$$

$$= 11.547 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} P_a &= P_1 + P_2 - P_3 \\ &= 70.833 + 41,667 - 11,547 \\ &= 100,953 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= 2/3 \cdot \Phi \\ &= 2/3 \cdot 30 \\ &= 20^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_p &= (\gamma h L \tan \delta) + (c L) \\ &= (17 \times 5 \times 3,8 \times \tan 20) + (0 \times 3,8) \\ &= 154,257 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SF_{\text{Geser}} &= P_p / P_a \\ &= 154,257 / 100.953 \\ &= 1,528 \end{aligned}$$

Maka, didapat SF terhadap geser sebesar 1,528. Yang mana nilai tersebut telah memenuhi persyaratan yaitu  $SF > 1,5$ .

## 2. SF Gaya Guling

SF terhadap gaya guling pada dasarnya adalah perbandingan antara gaya guling yang menahan dengan gaya guling yang sebenarnya yang dialami struktur tersebut (pengguling). Perhitungan SF gaya guling dapat dilihat sebagai berikut.

$$SF_{\text{guling}} = M_{\text{penahan}} / M_{\text{pengguling}}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{penahan}} &= 0.5 \times \gamma \times h \times L^2 \\ &= 0.5 \times 17 \times 5 \times 3.8^2 \\ &= 613,7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{guling}} &= (1/3 h P1) + (0.5 h P2) - (0.5 h P3) \\
 &= (1/3 \times 5 \times 70,833) + (0,5 \times 5 \times 41,667) - (0.5 \times 5 \times 11.547) \\
 &= 193,354 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SF_{\text{guling}} &= M_{\text{penahan}} / M_{\text{pengguling}} \\
 &= 613,7 / 193,354 \\
 &= 3,173
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan SF terhadap guling sebesar 3,173. Yang mana nilai tersebut telah memenuhi persyaratan yaitu  $SF > 2$ .

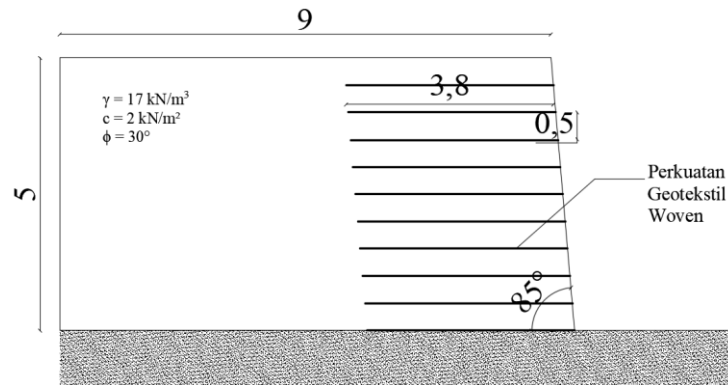
### 3. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah atau kapasitas dukung tanah pada dasarnya merupakan perbandingan antara daya dukung tanah yang sebenarnya dengan daya dukung tanah yang diijinkan, menunjukkan seberapa aman suatu struktur didukung oleh tanah. Perhitungan angka aman terhadap daya dukung tanah dapat dilihat pada perhitungan berikut.

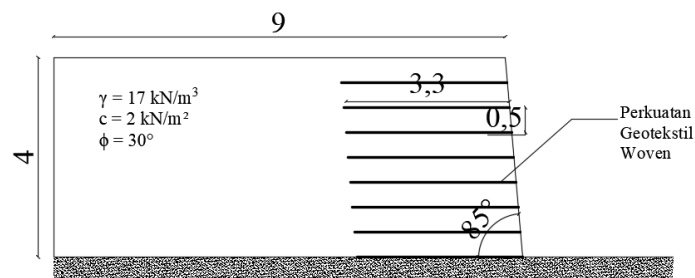
$$\begin{aligned}
 SF &= q_{\text{ult}} / q_{\text{total}} \\
 q_{\text{ult}} &= cN_c + 0.5 L \cdot \gamma \cdot N_{\gamma} \\
 &= (2 \times 30,14) + (0,5 \times 3,8 \times 17 \times 22,4) \\
 &= 783,8 \text{ kN/m}^2 \\
 q_{\text{total}} &= h \cdot \gamma \\
 &= 5 \cdot 17 \\
 &= 85 \text{ kN/m}^2 \\
 SF &= q_{\text{ult}} / q_{\text{total}} \\
 &= 783,8 / 85 \\
 &= 9,221
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan SF terhadap guling sebesar 9,221. Yang mana nilai tersebut telah memenuhi persyaratan yaitu  $SF > 3$ . Adapun gambar

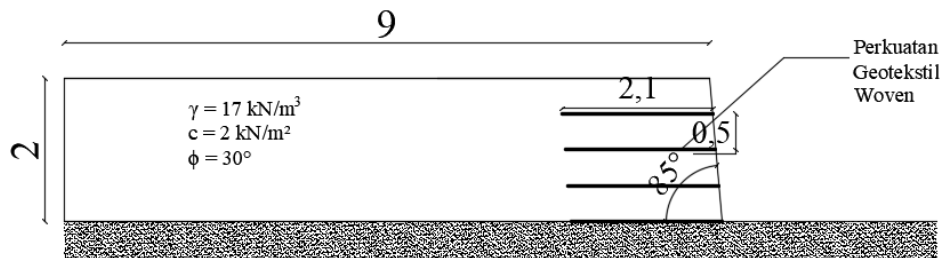
ilustrasi lereng dengan yang telah didesain sesuai standar dan persyaratan dapat dilihat pada Gambar 5.15, Gambar 5.16, dan Gambar 5.17 berikut.



**Gambar 5.15 Ilustrasi Lereng Dengan Ketinggian 5 Meter yang Telah Didesain Sesuai Standar dan Persyaratan**



**Gambar 5.16 Ilustrasi Lereng Dengan Ketinggian 4 Meter yang Telah Didesain Sesuai Standar dan Persyaratan**



**Gambar 5.17 Ilustrasi Lereng Dengan Ketinggian 2 Meter yang Telah Didesain Sesuai Standar dan Persyaratan**

#### 5.4 Analisis Stabilitas Timbunan Dengan Perkuatan Menggunakan Program Geoslope

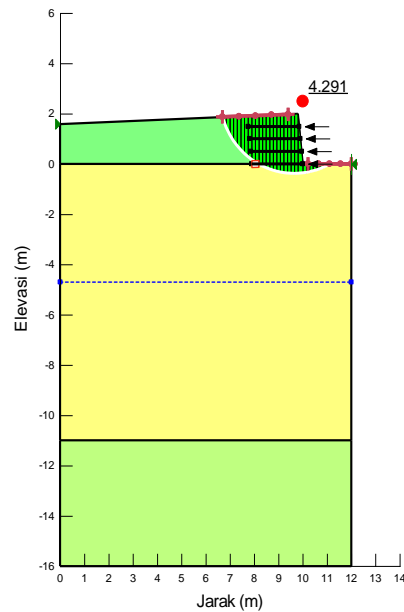
Setelah menyelesaikan perhitungan kebutuhan geotekstil, langkah berikutnya adalah menjalankan analisis menggunakan perangkat lunak Geoslope. Dalam analisis ini, jumlah dan panjang geotekstil yang dimasukkan sesuai dengan hasil perhitungan sebelumnya, dengan memperhitungkan beban perkerasan, beban lalu lintas, dan beban gempa. Kestabilan lereng dapat dianggap aman jika nilai Safety Factor (SF) melebihi persyaratan yang ditetapkan, jika nilai SF masih kurang, maka diperlukan analisis lebih lanjut. Berikut adalah ringkasan dari nilai-nilai Safety Factor (SF) yang diperoleh dari analisis sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

**Tabel 5.4 Rekapitulasi Nilai SF Lereng Tanpa Perkuatan**

<b>Tinggi Lereng</b>	<b>Lereng Tanpa Pembebanan</b>	<b>Lereng dengan Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas</b>	<b>Lereng dengan Beban Perkerasan &amp; Beban Lalu Lintas serta Gempa</b>
2 m	1,917	1,404	1,256
4 m	1,652	1,377	1,206
5 m	1,395	1,247	1,065

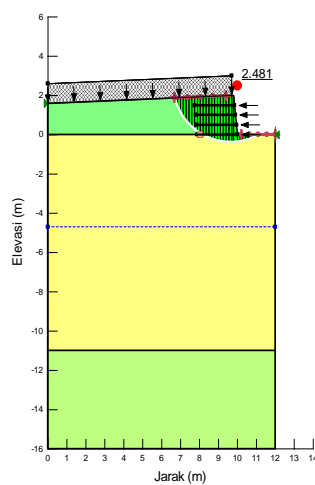
##### 5.4.1 Analisis Stabilitas Timbunan Tinggi 2m Dengan Perkuatan

Pada Tabel 5.5, telah diperoleh hasil analisis pada lereng timbunan ketinggian 2 meter. Selanjutnya dilakukan analisis dengan diberi perkuatan di semua kondisi lereng. Untuk mengetahui berapa besar peningkatan SF setelah diberi perkuatan. Berikut merupakan hasil analisis perkuatan lereng menggunakan geotekstil sesuai dengan perhitungan kebutuhan geotekstil pada timbunan 2 meter dapat dilihat pada Gambar 5.18, Gambar 5.19, dan Gambar 5.20 di bawah ini.



**Gambar 5.18 Hasil Analisis Lereng Timbunan 2 meter dengan Perkuatan Geotekstil Tanpa Pembebanan**

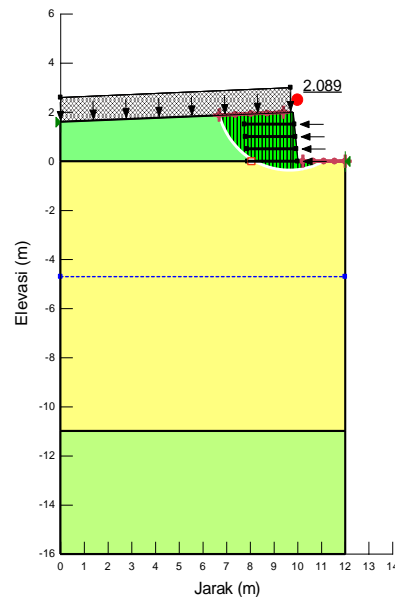
Terjadi kenaikan nilai SF menjadi 4,291 setelah menerapkan perkuatan geotekstil pada kondisi tanpa pembebanan, sementara nilai SF tanpa perkuatan geotekstil hanya 1,917. Perbandingan tersebut menunjukkan peningkatan nilai SF secara signifikan setelah penerapan perkuatan geotekstil.



**Gambar 5.19 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4 meter dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas**



Terjadi kenaikan nilai SF menjadi 2,481 setelah menerapkan perkuatan geotekstil pada kondisi dengan beban perkerasan, lalu lintas, sementara nilai SF tanpa perkuatan geotekstil hanya 1,404. Perbandingan tersebut menunjukkan peningkatan signifikan nilai SF setelah penerapan perkuatan geotekstil.



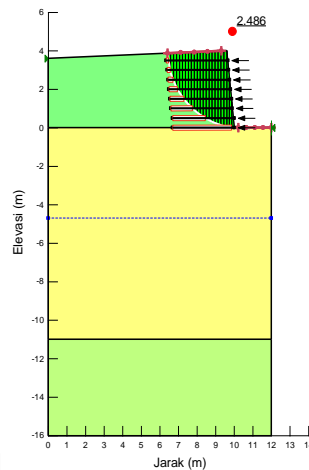
**Gambar 5.20 Hasil Analisis Lereng Timbunan 2 meter dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Gempa**

Terjadi kenaikan nilai SF menjadi 2,089 setelah menerapkan perkuatan geotekstil pada kondisi dengan beban perkerasan, lalu lintas, dan gempa, sementara nilai SF tanpa perkuatan geotekstil hanya 1,256. Perbandingan tersebut menunjukkan peningkatan signifikan nilai SF setelah penerapan perkuatan geotekstil.

#### **5.4.2 Analisis Stabilitas Timbunan Tinggi 4m Dengan Perkuatan**

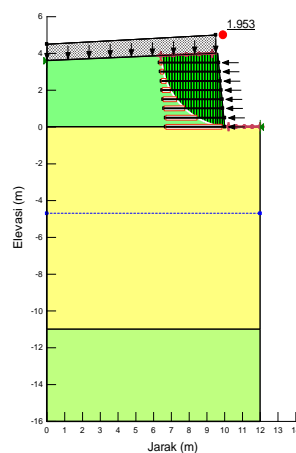
Pada Tabel 5.5, telah diperoleh hasil analisis pada lereng timbunan ketinggian 4 meter. Selanjutnya dilakukan analisis dengan diberi perkuatan di semua kondisi lereng. Untuk mengetahui berapa besar peningkatan SF setelah diberi perkuatan. Berikut merupakan hasil analisis perkuatan lereng menggunakan geotekstil sesuai dengan

perhitungan kebutuhan geotekstil pada timbunan 4 meter dapat dilihat pada Gambar 5.21, Gambar 5.22, dan Gambar 5.23 di bawah ini.



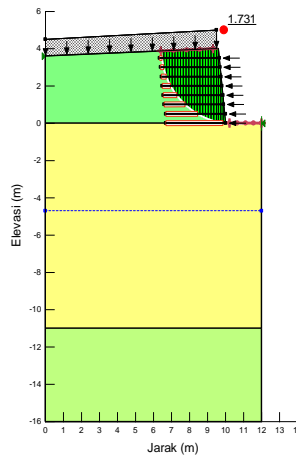
**Gambar 5.21 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4 meter dengan Perkuatan Geotekstil Tanpa Pembebanan**

Terjadi kenaikan nilai SF menjadi 2,486 setelah menerapkan perkuatan geotekstil pada kondisi tanpa pembebanan, sementara nilai SF tanpa perkuatan geotekstil hanya 1,652. Perbandingan tersebut menunjukkan peningkatan nilai SF secara signifikan setelah penerapan perkuatan geotekstil.



**Gambar 5.22 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4 meter dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas**

Terjadi kenaikan nilai SF menjadi 1,953 setelah menerapkan perkuatan geotekstil pada kondisi dengan beban perkerasan, lalu lintas, sementara nilai SF tanpa perkuatan geotekstil hanya 1,377. Perbandingan tersebut menunjukkan peningkatan signifikan nilai SF setelah penerapan perkuatan geotekstil.

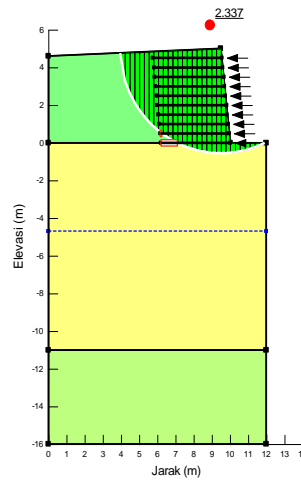


**Gambar 5.23 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4 meter dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Gempa**

Terjadi kenaikan nilai SF menjadi 1,731 setelah menerapkan perkuatan geotekstil pada kondisi dengan beban perkerasan, lalu lintas, dan gempa, sementara nilai SF tanpa perkuatan geotekstil hanya 1,206. Perbandingan tersebut menunjukkan peningkatan signifikan nilai SF setelah penerapan perkuatan geotekstil.

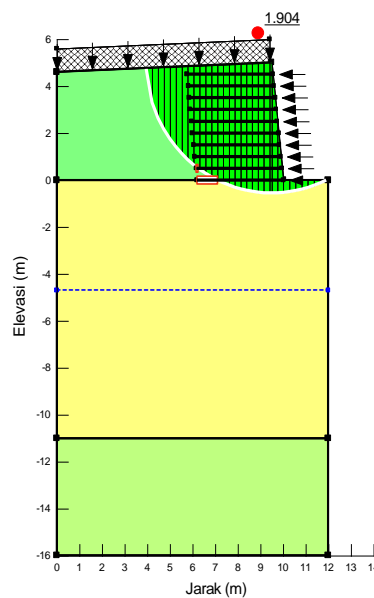
#### **5.4.3 Analisis Stabilitas Timbunan Tinggi 5m Dengan Perkuatan**

Pada Tabel 5.5, telah diperoleh hasil analisis pada lereng timbunan ketinggian 5 meter. Selanjutnya dilakukan analisis dengan diberi perkuatan di semua kondisi lereng karena tidak memenuhi persyaratan. Untuk mengetahui berapa besar peningkatan SF setelah diberi perkuatan. Berikut merupakan hasil analisis perkuatan lereng menggunakan geotekstil sesuai dengan perhitungan kebutuhan geotekstil pada timbunan 5 meter dapat dilihat pada Gambar 5.24, Gambar 5.25, dan Gambar 5.26 di bawah ini.



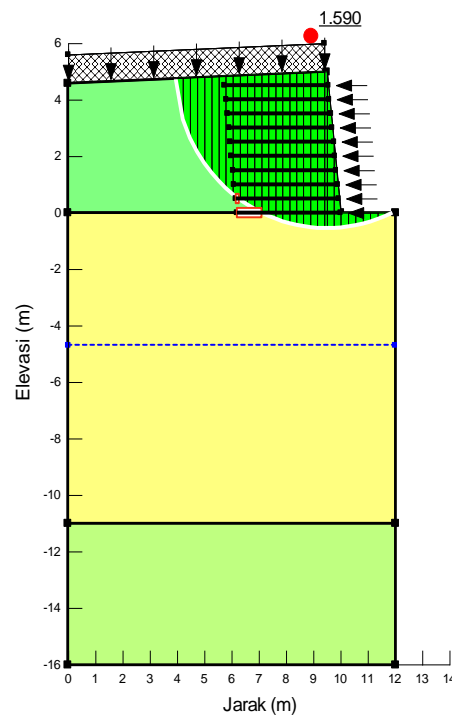
**Gambar 5.24 Hasil Analisis Lereng Timbunan 5 meter dengan Perkuatan Geotekstil Tanpa Pembebanan**

Terjadi kenaikan nilai SF menjadi 2,337 setelah menerapkan perkuatan geotekstil pada kondisi tanpa pembebanan, sementara nilai SF tanpa perkuatan geotekstil hanya 1,395. Perbandingan tersebut menunjukkan peningkatan yang signifikan terhadap nilai SF setelah penerapan perkuatan geotekstil.



**Gambar 5.25 Hasil Analisis Lereng Timbunan 5 meter dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas**

Terjadi kenaikan nilai SF menjadi 1,904 setelah menerapkan perkuatan geotekstil pada kondisi dengan beban perkerasan, lalu lintas, sementara nilai SF tanpa perkuatan geotekstil hanya 1,247. Perbandingan tersebut menunjukkan peningkatan signifikan nilai SF setelah penerapan perkuatan geotekstil.



**Gambar 5.26 Hasil Analisis Lereng Timbunan 5 meter dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Gempa**

Terjadi kenaikan nilai SF menjadi 1,590 setelah menerapkan perkuatan geotekstil pada kondisi dengan beban perkerasan, lalu lintas, dan gempa, sementara nilai SF tanpa perkuatan geotekstil hanya 1,065. Perbandingan tersebut menunjukkan peningkatan signifikan nilai SF setelah penerapan perkuatan geotekstil.

## 5.5 Pembahasan

Studi stabilitas lereng timbunan di ramp on Jalan Tol Cakung STA 0+674 ini bertujuan untuk menentukan Safety Factor (SF) pada lereng timbunan, menemukan

ketinggian tanah timbunan dimana terjadi kelongsoran tanpa perkuatan, dan menentukan nilai SF pada lereng timbunan yang telah diperkuat dengan geotekstil. Dalam analisis stabilitas ini, variasi tinggi timbunan 2 m, 4 m, dan 5 m digunakan, dilakukan dengan program Geoslope dan perhitungan manual untuk menentukan SF terhadap gaya geser, gaya guling, dan daya dukung tanah. Beban yang digunakan mencakup beban lalu lintas kendaraan, beban struktur jalan, dan beban gempa sesuai dengan zonasi gempa di wilayah Jakarta. Persyaratan nilai SF yang ditetapkan adalah  $SF > 1,5$ .

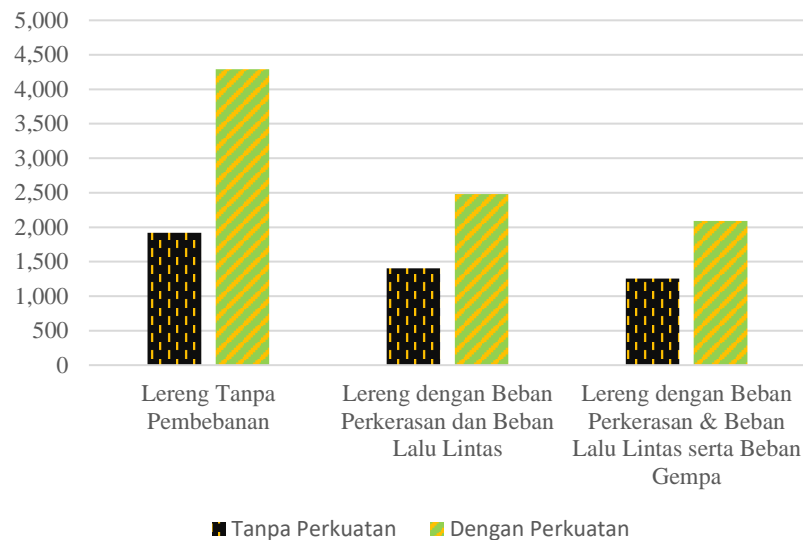
Disamping berbagai variasi ketinggian, tipe analisis yang dilakukan juga mencakup 3 kondisi. Untuk setiap variasi ketinggian, analisis dimulai dengan kondisi tanpa pembebanan, dilanjutkan dengan kondisi dengan beban perkerasan dan lalu lintas, serta kondisi dengan tambahan beban perkerasan, lalu lintas, dan gempa. Selain itu, lereng timbunan dengan penerapan perkuatan juga dianalisis dalam 3 kondisi yang telah disebutkan sebelumnya.

#### **5.5.1 Lereng Timbunan 2 meter**

Dari hasil analisis lereng timbunan, yaitu lereng dengan ketinggian 2 meter dengan 3 kondisi yaitu tanpa pembebanan, kondisi dengan beban perkerasan & lalu lintas, serta kondisi dengan beban perkerasan & lalu lintas serta gempa. Didapatkan nilai SF secara berturut turut sebesar 1,917; 1,404; dan 1,256. Sedangkan setelah diberi perkuatan didapatkan nilai SF sebesar 4,291; 2,481; dan 2,089. Nilai angka telah memenuhi nilai SF yang disyaratkan yaitu  $SF > 1,5$ . Untuk rekapitulasi hasil analisis pada timbunan dengan lereng 2m dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Gambar 5.27 berikut ini.

**Tabel 5.5 Rekapitulasi Nilai SF Lereng Timbunan 2m**

Tanpa Perkuatan				Dengan Perkuatan		
Tinggi Lereng	Lereng Tanpa Pembebanan	Lereng dengan Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas	Lereng dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Beban Gempa	Lereng Tanpa Pembebanan	Lereng dengan Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas	Lereng dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Beban Gempa
2 m	1,917	1,404	1,256	4,291	2,481	2,089



**Gambar 5.27 Grafik Nilai SF Timbunan 2m Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan Pada Kondisi Tanpa Pembebanan, dengan Pembebanan Perkerasan dan Beban Lalu Lintas, Serta Beban Gempa**

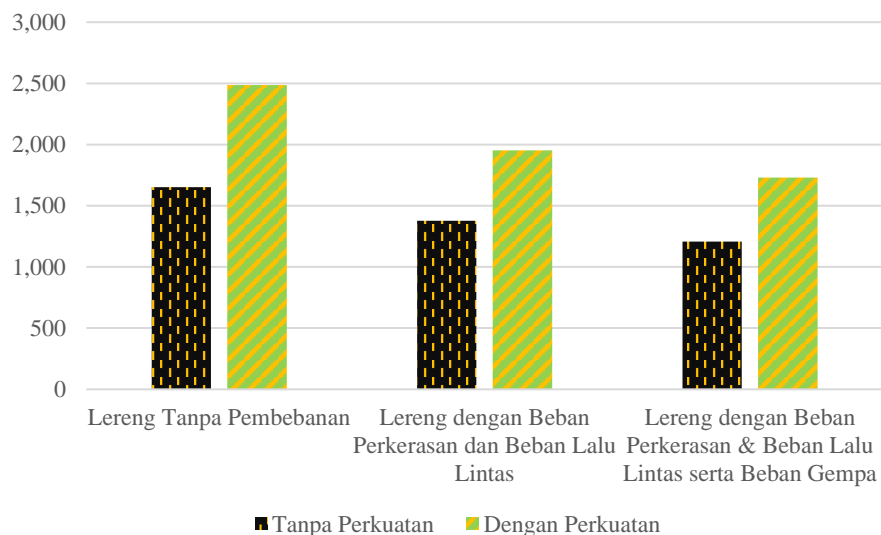
### 5.5.2 Lereng Timbunan 4 meter

Dari hasil analisis lereng timbunan, yaitu lereng dengan ketinggian 4-meter dengan 3 kondisi yaitu tanpa pembebanan, kondisi dengan beban perkerasan & lalu lintas, serta kondisi dengan beban perkerasan & lalu lintas serta gempa. Didapatkan nilai SF secara berturut turut sebesar 1,652; 1,377; dan 1,206. Sedangkan setelah diberi

perkuatan didapatkan nilai SF sebesar 2,486; 1,953; dan 1,731. Nilai angka telah memenuhi nilai SF yang disyaratkan yaitu  $SF > 1,5$ . Untuk rekapitulasi hasil analisis pada timbunan dengan lereng 4m dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Gambar 5.28 berikut ini.

**Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai SF Lereng Timbunan 4m**

Tinggi Lereng	Tanpa Perkuatan			Dengan Perkuatan		
	Lereng Tanpa Pembebanan	Lereng dengan Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas	Lereng dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Beban Gempa	Lereng Tanpa Pembebanan	Lereng dengan Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas	Lereng dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Beban Gempa
4m	1,652	1,377	1,206	2,486	1,953	1,731



**Gambar 5.28 Grafik Nilai SF Timbunan 4m Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan Pada Kondisi Tanpa Pembebanan, dengan Pembebanan Perkerasan dan Beban Lalu Lintas, Serta Beban Gempa**

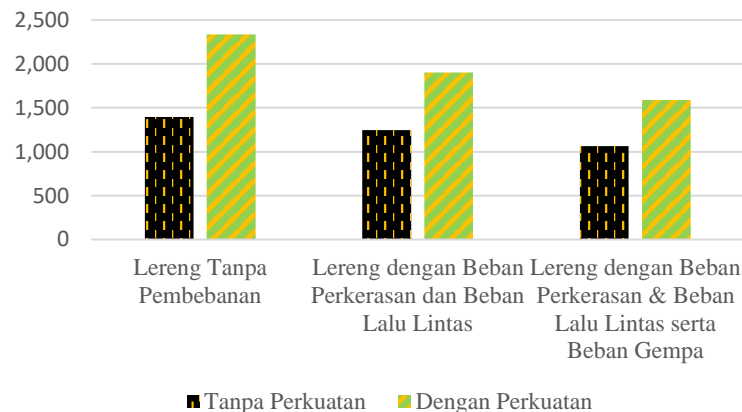


### 5.5.3 Lereng Timbunan 5 meter

Dari hasil analisis lereng timbunan, lereng dengan ketinggian 5 meter dengan 3 kondisi yaitu tanpa pembebanan, kondisi dengan beban perkerasan & lalu lintas, serta kondisi dengan beban perkerasan & lalu lintas serta gempa. Didapatkan nilai SF secara berturut turut sebesar 1,395; 1,247; dan 1,065. Sedangkan setelah diberi perkuatan didapatkan nilai SF sebesar 2,337; 1,904; dan 1,590. Nilai angka telah memenuhi nilai SF yang disyaratkan yaitu  $SF > 1,5$ . Untuk rekapitulasi hasil analisis pada timbunan dengan lereng 5m dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Gambar 5.29 berikut ini.

**Tabel 5.7 Rekapitulasi Nilai SF Lereng Timbunan 5m**

	Tanpa Perkuatan			Dengan Perkuatan		
	Lereng Tanpa Pembebanan	Lereng dengan Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas	Lereng dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Beban Gempa	Lereng Tanpa Pembebanan	Lereng dengan Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas	Lereng dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Beban Gempa
5m	1,395	1,247	1,065	2,337	1,904	1,590

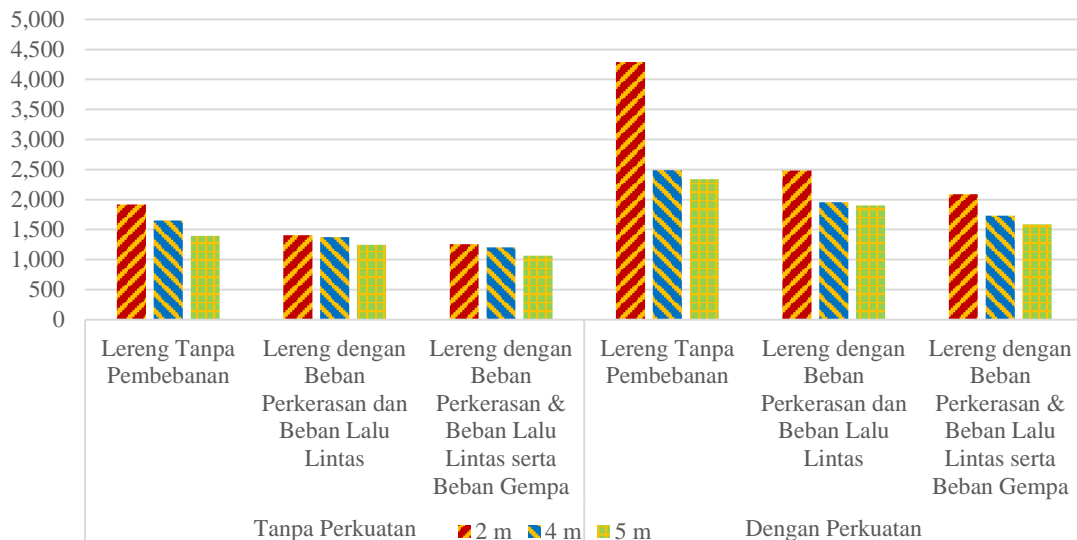


**Gambar 5.29 Grafik Nilai SF Timbunan 5m Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan Pada Kondisi Tanpa Pembebanan, dengan Pembebanan Perkerasan dan Beban Lalu Lintas, Serta Beban Gempa**

Adapun rekapitulasi hasil SF keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Gambar 5.30 berikut ini.

**Tabel 5.8 Rekapitulasi Keseluruhan Nilai SF Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan Pada Kondisi Tanpa Pembebanan, Dengan Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas, dan Dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Beban Gempa**

Tinggi Lereng	Tanpa Perkuatan			Dengan Perkuatan		
	Lereng Tanpa Pembebanan	Lereng dengan Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas	Lereng dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Beban Gempa	Lereng Tanpa Pembebanan	Lereng dengan Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas	Lereng dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Beban Gempa
2 m	1,917	1,404	1,256	4,291	2,381	2,089
4 m	1,652	1,377	1,206	2,486	1,953	1,731
5 m	1,395	1,247	1,065	2,337	1,904	1,590



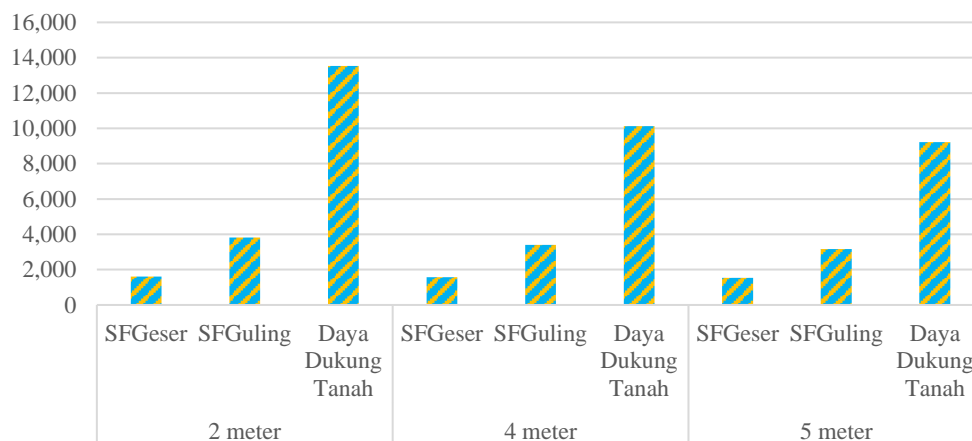
**Gambar 5.30 Grafik Rekapitulasi Keseluruhan Nilai SF Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan Pada Kondisi Tanpa Pembebanan, Dengan Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas, dan Dengan Beban Perkerasan & Beban Lalu Lintas serta Beban Gempa**

#### 5.5.4 Stabilitas Terhadap Gaya Geser, Gaya Guling, dan Daya Dukung Tanah

Pada perhitungan timbunan lereng 2m, 4m, dan 5m didapatkan hasil angka aman stabilitas terhadap gaya geser, gaya guling, dan daya dukung tanah secara keseluruhan yang telah memenuhi persyaratan  $SF > 1,5$  untuk geser,  $SF > 2$  untuk guling, dan  $SF > 3$  untuk kapasitas dukung tanah. Adapun hasil rekapitulasi analisis stabilitas SF geser, SF guling, dan Daya dukung tanah disajikan pada Tabel 5.9 dan Gambar 5.31 berikut.

**Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Perhitungan SF Geser, SF Guling, dan Daya Dukung Tanah Pada Tiap Tinggi Timbunan**

Timbunan	Tinjauan	Hasil SF
2 meter	$SF_{Geser}$	1,602
	$SF_{Guling}$	3,824
	Daya Dukung Tanah	13,532
4 meter	$SF_{Geser}$	1,576
	$SF_{Guling}$	3,408
	Daya Dukung Tanah	10,126
5 meter	$SF_{Geser}$	1,538
	$SF_{Guling}$	3,173
	Daya Dukung Tanah	9,221



**Gambar 5.31 Grafik Rekapitulasi SF Geser, SF Guling, dan Daya Dukung Tanah**

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1. Kesimpulan**

Dari hasil analisis perhitungan dan pembahasan yang telah didapat, dapat disimpulkan seperti berikut ini.

1. Hasil analisis stabilitas lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil
  - a. Pada tinggi timbunan 2m pada kondisi tanpa pembebanan, kondisi pembebanan struktur perkerasan & beban lalu lintas, dan kondisi pembebanan struktur perkerasan & beban lalu lintas serta gempa sebesar berturut-turut yaitu 1,917; 1,404; dan 1,256
  - b. Pada tinggi timbunan 4m pada kondisi tanpa pembebanan, kondisi pembebanan struktur perkerasan & beban lalu lintas, dan kondisi pembebanan struktur perkerasan & beban lalu lintas serta gempa sebesar berturut-turut yaitu 1,652; 1,377; dan 1,206.
  - c. Pada tinggi timbunan 5m pada kondisi tanpa pembebanan, kondisi pembebanan struktur & beban lalu lintas, dan kondisi pembebanan struktur & beban lalu lintas serta gempa sebesar berturut-turut yaitu 1,395; 1,247; dan 1,065.
2. Hasil analisis angka keamanan (SF) terhadap gaya geser, gaya guling dan daya dukung tanah yaitu sebagai berikut.
  - a. Hasil angka keamanan (SF) terhadap gaya geser pada tinggi timbunan 2m, 4m, dan 5m berturut-turut adalah 1,602; 1,576; dan 1,528.
  - b. Hasil angka keamanan (SF) terhadap gaya guling pada tinggi timbunan 2m, 4m, dan 5m berturut-turut adalah 3,824; 3,408; dan 3,173.
  - c. Hasil angka aman terhadap daya dukung tanah pada tinggi timbunan 2m, 4m, dan 5m berturut-turut adalah 13,532; 10,216, dan 9,221.

3. Hasil analisis stabilitas lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil
  - a. Pada tinggi timbunan 2m pada kondisi tanpa pembebanan, kondisi pembebanan struktur & beban lalu lintas, dan kondisi pembebanan perkerasan & beban lalu lintas serta gempa sebesar berturut-turut yaitu 4,291; 2,481; dan 2,089.
  - b. Pada tinggi timbunan 4m pada kondisi tanpa pembebanan, kondisi pembebanan struktur & beban lalu lintas, dan kondisi pembebanan perkerasan & beban lalu lintas serta gempa sebesar berturut-turut yaitu 2,486; 1,953; dan 1,731.
  - c. Pada tinggi timbunan 5m pada kondisi tanpa pembebanan, kondisi pembebanan struktur & beban lalu lintas, dan kondisi pembebanan struktur & beban lalu lintas serta gempa sebesar berturut-turut yaitu 2,377; 1,904 ; dan 1,590.

## 6.2. Saran

1. Berdasarkan hasil analisis timbunan yang dilakukan menggunakan program Geoslope dengan perkuatan geotekstil seperti pada penelitian ini, jenis perkuatan lainnya seperti *sheet pile*, *soil nailing* dan dinding penahan tanah tipe pasangan batu dapat dijadikan alternatif perkuatan untuk mengatasi kelongsoran yang terjadi.
2. Analisis dapat dilakukan menggunakan program yang lain untuk mendapatkan hasil yang lebih baik seperti program *Plaxis 8.6*.
3. Bagi peneliti yang akan merencanakan penelitian lanjutan, selain pemberian perkuatan pada timbunan, dapat dipertimbangkan pula penggunaan bahan tambahan alternatif untuk meningkatkan stabilitas tanah. Contohnya adalah melalui stabilisasi kimia dengan menggunakan bahan kimia seperti kapur, semen, dan bahan lainnya pada lereng asli untuk meningkatkan stabilitas.
4. Menambahkan variasi beban vertikal, muka air tanah, dll.

5. Menambahkan variasi analisa lainnya berupa analisa deformasi, analisa hidrologi, analisa material, dll.
6. Menggunakan metode penelitian lainnya seperti Janbu, Spencer, Ordinary, dll

## DAFTAR PUSTAKA

- Adriyati, M.R., Harya, D., dan Surjandari, N.S. 2017. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Software Geo Studio 2007 dengan Variasi Kemiringan (Studi Kasus: Bukit Ganoman Kab. Karanganyar). *Jurnal Matriks Teknik Sipil* 97–102. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Arum, S.P. 2010. Redesain Dinding Penahan Tanah Tipe Pasangan Batu Dengan Geotekstil Teranyam. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Chasanah, U. 2012. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope. *Tugas Akhir*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Das, B.M. 1995. Mekanika Tanah I. Erlangga. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2009. Modul Pelatihan Geosintetik Volume 3: Perencanaan Geosintetik Untuk Perkuatan Lereng. Jakarta
- Dwityagana, I.M. 2019. Desain Penahan Tanah Dengan Perkuatan Geotekstil. *Jurnal*. Universitas Hindu Indonesia. Bali.
- Hakam, A. 2010. Stabilitas Lereng dan Dinding Penahan Tanah. *Tugas Akhir*. Universitas Andalas Press. Padang.
- Hardiyatmo, H.C. 2002. Mekanika Tanah 1. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2006. Mekanika Tanah I. Beta Offset. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2006. Mekanika Tanah II. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2006. Mekanika Tanah 1. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2013. Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya (Perancangan Dan Aplikasi), 2nd ed. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Harryanto. 2020. Studi Pengaruh Panjang Penjangkaran Geotekstil Terhadap Stabilitas Timbunan di Atas Tanah Lunak. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*. Universitas Tarumanegara. Jakarta.

- International, GEO-SLOPE. 2008. *Stability Modeling with GeoStudio*. (<https://downloads.geoslope.com/geostudioresources/books/11/2/SLOPE%20Modeling.pdf>). Diakses 9 Februari 2022.
- Irfan, M., Charismaningwang, G., dan Ardhana, P. 2023. Studi Pengaruh Kemiringan Sudut Terhadap Angka Keamanan Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Pada Proyek Pembangunan Pabrik Kariangau. *Jurnal*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Jewell, R.A. 1996. *Soil Reinforcement with Geotextiles. Ciria Special Publication 123*, Thomas Telford. London.
- Koerner, R.M. 1990. *Designing with Geosynthetics, Second Edition*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Muzaidi. 2023. Analisa Perkuatan Lereng Pada Tanah Lunak Yang Dipengaruhi Oleh Kemiringan Lereng Dan Jumlah Lapis Geotekstil. *Jurnal*. Universitas Muhammadiyah Banjarmasin. Banjarmasin.
- Pamungkas, Fika., Suyadi, Widodo., dan Zaika, Yulvi. 2015. Analisis Stabilitas Lereng Memakai Perkuatan Geotekstil Dengan Bantuan Perangkat Lunak (Studi Kasus Pada Sungai Parit Raya). *Penelitian*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Pradana, R. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Pratama, Sarie, dan Hendri. 2021. Analisis Perbaikan Tanah Menggunakan Geotekstil pada Lapisan Subgrade Proyek Pekerjaan Jalan (Studi Kasus: Peningkatan Jalan G. Obos Xxiv Kota Palangka Raya). *Jurnal*. Universitas Palangka Raya. Palangka Raya.
- Purwanto, E. 2012. *Hand Out Mata Kuliah Perkuatan Tanah*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- PUPR, 2017. Peta Sumber Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. KemenPUPR. Bandung
- Qayyim, A.I. 2020. Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rekzyanti, R., Balamba, Sjachrul., Manaroinsong, Lanny. 2016. Analisis Kestabilan Lereng Akibat Gempa (Studi Kasus: IAIN Manado). *Penelitian*. Universitas Sam Ratulangi. Manado.



Rosidarta, A. 2021. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis 2d Pada Sta 2+700b Jalan Raya Pusuk Di Kabupaten Lombok Utara. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Mataram. Mataram.

Taylor, D.W. 1962. *Fundamentals of Soil Mechanics*. John Willey & Son. New York.

# LAMPIRAN

Lampiran 1. Data SPT Tanah

DRILLING LOG				HOLE NO.		AOC UJUNG								
Project: 6 RUIAS JALAN TOL DALAM KOTA JAKARTA SEKSI A KELAPA GADING - PULO GEBANG				Type of Drilling: Continuous Coring		Coordinates: X 714203 Y 9313933								
Location: Jl. Akses Tol Cahaya Bumi-Cakung Jakarta Timur				Driller: Hafid										
Date: 16 - 19 Januari 2021				Supervisor: Karadi										
				SPT Curve		Soil Laboratory Results								
Sampling	Symbol	Soil Description	N1 (0-45CM)	N2 (15-30CM)	N3 (30-45CM)	N-SPT	γ <sub>w</sub> t/m <sup>3</sup>	Gs	W %	LL %	PL %	Type	C (kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)
		Filled layer with sand and gravel (0.0-0.3 m)												
0.3														
1.0	UDS 1 1.30-1.95	clayey SILT, high plasticity, brown												
2.0	SPT 1 2.00-2.45	grades medium stiff consistency	2	3	2	5	1.68	2.67	47.96	73.44	37.20	UU UCS	0.38 0.26	12.10
3.0														
4.0	SPT 2 4.00-4.45	grades grayish red, medium stiff consistency	2	2	3	5								
5.0														
6.0	SPT 3 6.00-6.45	grades soil to medium stiff consistency	2	1	3	4								
7.0														
7.5	UDS 2 7.50-8.00	same as above					1.66	2.66	50.15	79.86	37.70	UU UCS	0.30 0.23	12.48
8.0	SPT 4 8.00-8.45	grades medium stiff consistency	1	2	3	5								
9.0														
10.0	SPT 5 10.00-10.45	grades medium stiff to stiff consistency	2	3	5	8								
11.0														
12.0	SPT 6 12.00-12.45	stiff CLAY, high plasticity, gray, stiff consistency	6	6	8	14								
13.0														
14.0	UDS 3 13.50-14.00	same as above					1.70	2.68	44.37	85.97	37.30	UU UCS	0.45 0.33	9.70
15.0	SPT 7 14.00-14.45	grades very stiff consistency	4	7	17	24								
16.0														
17.0	SPT 8 16.00-16.45	clayey SILT, high plasticity, brown, hard consistency	17	23	17	40								
18.0														
19.0	SPT 9 18.00-18.45	grades very stiff consistency	7	12	12	24								
20.0														
21.0	SPT 10 20.00-20.45	grades light gray, hard consistency	13	14	25	39								
Remarks:														

## Lampiran 2. Kondisi Lapisan Tanah

### 3.1 Kondisi Lapisan Tanah Berdasarkan Pengeboran Dalam

Kondisi lapisan tanah pada masing-masing titik bor dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2 kondisi lapisan tanah pada titik AOC Ujung

Kedalaman (meter)	Jenis tanah	N-SPT (pukulan)	Konsistensi/kepadatan	Parameter geoteknik
0.0-0.3	Timbunan			
0.3-11.0	Lanau-1	4-8	Lunak hingga sedang teguh	$\gamma_b$ 1.66-1.68 t/m <sup>3</sup> ; Gs 2.67-2.68; w 47.96%-50.15%; LL 75.44%-79.86%; PL 37.20%-37.70%; c 0.28-0.30 kg/cm <sup>2</sup> , $\phi$ 12.10°-12.40°
11.0-16.0	Lempung-2	14-24	Teguh hingga sangat teguh	$\gamma_b$ 1.70 t/m <sup>3</sup> ; Gs 2.68; w 44.37%; LL 85.97%; PL 37.10%; c 0.45 kg/cm <sup>2</sup> , $\phi$ 9.70°
16.0-18.0	Lanau-3	40	Keras	
18.0-20.0	Lanau-2	24	Sangat teguh	
20.0-26.0	Lanau-3	39->50	Keras	
26.0-27.0	Pasir-2	>50	Sangat padat	
27.0-27.5	Lanau			
27.5-29.0	Pasir-2	>50	Sangat padat	
29.0-30.0	Lempung-2	22	Sangat teguh	

### Lampiran 3. Muka Air Tanah

Program penyelidikan tanah yang telah dilakukan meliputi pekerjaan-pekerjaan sebagai berikut:

- Pengeboran dalam pada 3 titik hingga kedalaman maksimal 30.0 meter.
- Pengujian SPT dengan interval 2.0 meter pada masing-masing titik bor.
- Pengambilan sampel tanah tak terganggu.
- Memonitor muka air tanah pada setiap titik bor dalam.

Ringkasan pekerjaan lapangan terangkum sebagai berikut:

Tabel 1 ringkasan pekerjaan lapangan penyelidikan tanah

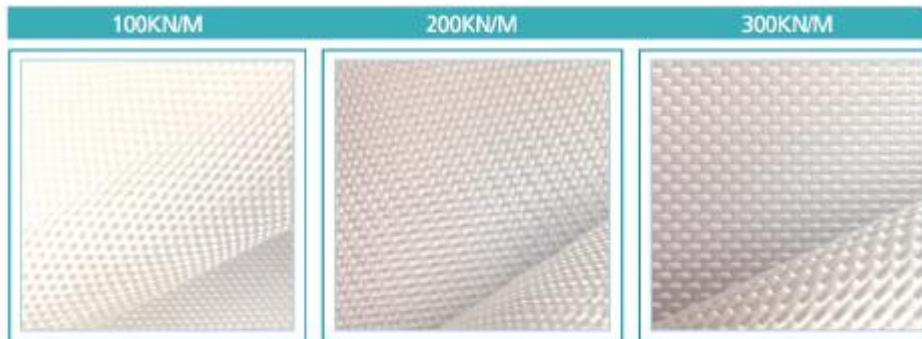
Titik bor	Tanggal pelaksanaan	Kedalaman (meter)	UDS (tabung)	SPT (tes)	Muka air tanah (meter)
AOC Ujung	16-19 Januari 2020	30.0	3	15	4.7
ACB 1 Ujung	20-22 Januari 2020	30.0	3	15	1.3
ACB 2 Ujung	23-25 Januari 2020	30.0	3	15	1.8

#### 1.2 Pengeboran Dalam

Pengeboran dilakukan dengan menggunakan 1 unit mesin bor dengan metode pengeboran inti. Pada kedalaman tertentu diambil contoh tanah tak terganggu dengan menggunakan tabung berdiameter 76 mm dan panjang 50 cm. Contoh tanah tak terganggu ini dideskripsikan sesuai Unified Soil Classification System (USCS) dan diplot dalam drilling log.

## Lampiran 4. Data Geotekstil

### • • PET MAT



### • • Application

- Fast reinforcement of weak foundation
- Preventing differential settlement
- Supporting hardening process of weak foundation
- Ensures operations of heavy equipments on the reinforce foundation
- Road and Rail Construction.

### • • Ultimatex® PET Woven Geotextile's guide

	Weight per unit area	Tensile Strength in both Direction	Elongation in both Direction	Permeability	Fiber identification	Container Loading Capacity	
Test Method	ASTM D 5261	ASTM D 4595	ASTM D 4595	ASTM D 4491	ASTM D 276	20 Feet	40 Feet
Unit criteria	≥ g/m <sup>2</sup>	≥ kNm	≤ %	≥ m/sec	-	(m)	(m)
PET	DJ5	150	20	1 x 10 <sup>-4</sup>	Polyester	50,000	100,000
	DJ6	190				40,000	90,000
	DJ8	240				40,000	80,000
	DJ10	300				30,000	60,000
	DJ12	380				25,000	50,000
	DJ15	450				20,000	40,000
	DJ20	650	200			15,000	30,000
	DJ25	750	250			12,000	25,000
	DJ30	900	300			9,000	20,000
	DJ40	1,300	400			25	8,000

- The indicated test figure is obtained in our laboratory and independent institutes.
- The figure may change without notice according to new development products.
- Other Strengths on request, please consult us.

