

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN TANAH MENGGUNAKAN**  
**PERKUATAN GEOTEKSTIL DENGAN PROGRAM GEOSTUDIO 2012**  
**(STUDI KASUS : JALAN TOL BALIKPAPAN - SAMARINDA STA. 2+300)**

*(ANALISYS OF SLOPE STABILITY USING GEOTEXTIL  
REINFORCEMENT WITH GEOSTUDIO 2012)*

*(CASE STUDIES : HIGHWAY BALIKPAPAN - SAMARINDA STA. 2+300)*

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



**Fajar Nugroho Gusti Lelono**

**15511132**

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

**2022**

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN TANAH MENGGUNAKAN**  
**PERKUATAN GEOTEKSTIL DENGAN PROGRAM GEOSTUDIO 2012**  
**(STUDI KASUS : JALAN TOL BALIKPAPAN - SAMARINDA STA. 2+300)**

**(ANALISYS OF SLOPE STABILITY USING GEOTEXTIL**  
**REINFORCEMENT WITH GEOSTUDIO 2012)**  
**(CASE STUDIES : HIGHWAY BALIKPAPAN-SAMARINDA STA. 2+300)**

Disusun oleh

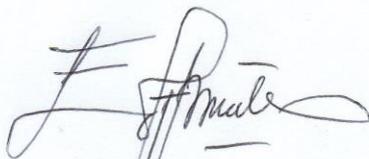
**Fajar Nugroho Gusti Lelono**  
**15511132**

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

Diuji Pada tanggal: \_\_\_\_\_

Oleh Dewan Penguji

**Dosen Pembimbing**



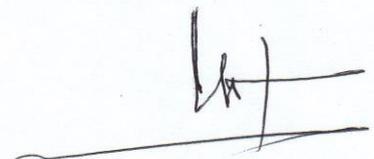
**Edy Purwanto, Dr. Ir., CES., DEA.**  
NIK: 855110101

**Dosen Penguji I**



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

**Dosen Penguji II**



**Lalu Makrup, Dr. Ir., M.T.**  
NIK: 885110106

**Mengesahkan,**  
**Ketua Program Studi Teknik Sipil**



**Yunalia Muntafi, S.T., MT., Ph.D. Eng**  
NIK: 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya 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, 25 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow adhesive stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'SEPULUH RIBU RUPIAH' and 'METERAI TEMPEL'. The serial number '7D689AJX527626892' is printed at the bottom of the stamp.

Fajar Nugroho Gusti Lelono

(15511132)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Menggunakan Perkuatan Geotekstil Dengan Program Geostudio 2012 (studi kasus : Jalan Tol Balikpapan-Samarinda STA. 2+300)*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Prodi Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Edy Purwanto, Dr. Ir, CES., DEA. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir.
2. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. dan bapak Lalu Makrup, Dr. Ir.,M.T. sebagai penguji sidang dan pendadaran.
3. Ibu Yunalia Muntafi. S.T., MT., Ph.D.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak, ibu dan keluarga yang telah berkorban begitu banyak, baik material maupun spiritual, hingga selesainya Proposal Tugas Akhir ini.
5. Saudara - saudara teknik sipil angkatan 2015 yang senantiasa membantu dalam perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir.

Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 25 Agustus 2022



Fajar Nugroho Gusti Lelono

15511132

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TUGAS AKHIR	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Penelitian	4
1.6. Lokasi Studi Kasus	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Tinjauan Umum	6
2.2. Lereng	6
2.3. Analisis Stabilitas Lereng	7
2.4. Geotekstil	7
2.5. Analisa Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil	8
2.6. Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Digunakan	10
BAB III LANDASAN TEORI	14

3.1. Tanah	14
3.1.1. Propertis Tanah	14
3.1.2. Klasifikasi Tanah	18
3.1.3. Kuat Geser Tanah	22
3.2. Stabilitas Lereng	24
3.2.1. Pengertian Umum	24
3.2.2. Metode Fellenius	26
3.3. Penurunan Konsolidasi	29
3.3.1. Pengertian Umum	29
3.3.2. Faktor – faktor yang memengaruhi penurunan Konsolidasi	29
3.3.3. Perhitungan Penurunan Konsolidasi	30
3.4. Perkuatan Lereng	33
3.4.1. Pengertian Umum	33
3.4.2. Faktor Keamanan	33
3.4.3. Geotekstil	34
3.4.4. Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Geotekstil	36
3.5. Beban Gempa	45
3.6. Program GeoStudio 2012	46
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>	<b>48</b>
4.1. Tinjauan Umum	48
4.2. Tahapan Penelitian	48
4.3. Analisis Data	49
4.4. Bagan Alur Penelitian	56
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	<b>59</b>
5.1. Analisis Data Lereng	59
5.1.1. Data Potongan Melintang Jalan	59
5.1.2. Data Parameter Tanah	59
5.2. Data Beban Lalu Lintas dan Struktur	60
5.3. Data Beban Gempa	61
5.4. Data Geotekstil	61

5.5. Analisis Stabilitas Timbunan Asli Tanpa Tambahan Perkuatan dengan GeoStudio.	62
5.6.1. Analisis Stabilitas Lereng 10,5 meter	62
5.6.2. Analisis Stabilitas Lereng Timbunan 7 meter	64
5.6.3. Analisis Stabilitas Lereng Timbunan 4 meter	66
5.6. Analisis Stabilitas Timbunan Asli Tanpa Tambahan Perkuatan dengan Perhitungan Manual.	68
5.7. Analisis Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil	120
5.7.1. Perhitungan Kebutuhan Geotekstil	121
5.8. Analisis Stabilitas Timbunan Asli dengan Tambahan Perkuatan Geotekstil dengan GeoStudio	127
5.9. Analisis Penurunan Konsolidasi Tanah	129
5.9.1. Analisis Penurunan Tanah Pada Timbunan 10,5 meter	129
5.9.2. Analisis Penurunan Tanah Pada Timbunan 7 meter	130
5.9.3. Analisis Penurunan Tanah Pada Timbunan 4 meter	132
5.10. Pembahasan	133
5.10.1. Kondisi Umum	133
5.10.2. Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Asli	133
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	135
6.1. Kesimpulan	135
6.2. Saran	135
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	137
<b>LAMPIRAN</b>	139

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Digunakan	10
Tabel 3.1 Nilai Berat Volume Tanah	15
Tabel 3.2 Nilai Koefisien Permeabilitas	16
Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	16
Tabel 3.4 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson	17
Tabel 3.5 Sistem Klasifikasi USCS	19
Tabel 3.6 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO	22
Tabel 3.7 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Kohesi	24
Tabel 3.8 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	24
Tabel 3.9 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng	26
Tabel 3.10 Faktor Keamanan Lereng	34
Tabel 5.1 Data Parameter pada Tanah	60
Tabel 5.2 Beban Lalu Lintas	61
Tabel 5.3 Data Geotekstil	62
Tabel 5.4 Perhitungan Manual Menggunakan Metode Fellenius	119
Tabel 5.5 Data Parameter Tanah Untuk Perhitungan Geotekstil	120
Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Panjang Geotekstil	125
Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Analisis Angka Aman dan Penurunan Tanah Seluruh Timbunan.	134

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Pembangunan Jalan Tol Balikpapan - Samarinda	2
Gambar 1.2 Denah Lokasi Pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda	5
Gambar 1.3 Potongan melintang jalan pada 2+300	5
Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah	14
Gambar 3.2 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan	25
Gambar 3.3 Gambar Ilustrasi Gaya Gaya Pada Setiap Irisan dengan Metode Fellenius	27
Gambar 3.4 Kurva Hubungan antara Tekanan dengan Angka Pori	30
Gambar 3.5 Penentuan Titik Sketa Gambar	31
Gambar 3.6 Tampilan Regions Penghubung Titik Sketsa Gambar	31
Gambar 3.7 Tampilan Parameter Tanah	32
Gambar 3.8 Tampilan Boundary Conditions	32
Gambar 3.9 Pemasangan Geotekstil pada Timbunan	36
Gambar 3.10 Tinjauan Stabilitas Terhadap Guling	41
Gambar 3.11 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun.	45
Gambar 3.12 Tampilan GeoStudio 2012	46
Gambar 4.1 Tampilan Penentuan Metode Analisis	50
Gambar 4.2 Tampilan Penentuan Bidang Longsor	50
Gambar 4.3 Tampilan Pengaturan Kertas Kerja	51
Gambar 4.4 Penggambaran Model Geometri Lereng	51
Gambar 4.5 Tampilan Parameter Tanah	52
Gambar 4.6 Pemodelan Batas Lapisan Tanah	52
Gambar 4.7 Penentuan Parameter Tanah Tiap Lapisan	53
Gambar 4.8 Penggambaran Letak Bidang Longsor	53
Gambar 4.9 Penggambaran Beban Merata	54
Gambar 4.10 Jendela Beban Gempa	54
Gambar 4.11 Penggambaran Perkuatan	55

Gambar 4.12 Bagan Alir Perhitungan dengan Aplikasi SLOPE/W	57
Gambar 4.13 Bagan Alir Penelitian	58
Gambar 5.1 Potongan Melintang STA 2+300	59
Gambar 5.2 Lapis Tanah pada Timbunan	60
Gambar 5.3 Nilai PGA di lokasi Penelitian	61
Gambar 5.4 Pemodelan Timbunan 10,5 meter	62
Gambar 5.5 Hasil Analisis Lereng Timbunan 10,5 m Tanpa Perkuatan Geotekstil dan Tanpa Beban Gempa	63
Gambar 5.6 Hasil Analisis Lereng Timbunan 10,5 m Tanpa Perkuatan Geotekstil dengan Beban Gempa	64
Gambar 5.7 Pemodelan Timbunan 7 meter	64
Gambar 5.8 Hasil Analisis Lereng Timbunan 7 m Tanpa Perkuatan Geotekstil	65
Gambar 5.9 Hasil Analisis Lereng Timbunan 7 m Tanpa Perkuatan Geotekstil dengan Beban Gempa	66
Gambar 5.10 Pemodelan Timbunan 4 meter	66
Gambar 5.11 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Geotekstil	67
Gambar 5.12 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Geotekstil dengan Beban Gempa	68
Gambar 5.13 Pemodelan Lereng Metode Fellenius	68
Gambar 5.14 Pembagian Zona pada Timbunan	121
Gambar 5.15 Bidang Longsor untuk Menentukan Panjang Geotekstil	124
Gambar 5.16 Hasil Analisis Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	128
Gambar 5.17 Hasil Analisis Lereng dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Gempa	128
Gambar 5. 18 Pemodelan Hasil Analisis Penurunan Kondolidasi Pada Timbunan 10,5 m	129
Gambar 5.19 Hasil Analisis Penurunan Kondolidasi Pada Timbunan 10,5 m	130
Gambar 5.20 Pemodelan Hasil Analisis Penurunan Kondolidasi Pada Timbunan 7 m	131
Gambar 5.21 Hasil Analisis Penurunan Kondolidasi Pada Timbunan 7 m	131

Gambar 5.22 Hasil Analisis Penurunan Kondolidasi Pada Timbunan 4 m 132

Gambar 5.23 Hasil Analisis Penurunan Kondolidasi Pada Timbunan 4 m 132



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Potongan Melintang STA 2+300	140
Lampiran 2 Data Geotekstil	141
Lampiran 3 Parameter yang Digunakan Dalam Analisis STA 2+300	142



## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$\tau$	= tegangan geser ( $\text{kN/m}^2$ )
$\sigma$	= tegangan normal ( $\text{kN/m}^2$ )
$\varphi$	= sudut geser dalam tanah ( $^\circ$ )
$c'$	= kohesi tanah efektif ( $\text{kN/m}^2$ )
$\sigma'$	= tegangan normal efektif ( $\text{kN/m}^2$ )
$\varphi'$	= <i>sudut gesek dalam</i> tanah efektif ( $^\circ$ )
$\sigma_1'$	= tegangan utama mayor efektif ( $\text{kN/m}^2$ )
$\sigma_3'$	= tegangan utama minor efektif ( $\text{kN/m}^2$ )
$\theta$	= sudut keruntuhan ( $^\circ$ )
$c$	= kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )
$\varphi$	= sudut gesek dalam efektif
$\tau'f$	= tegangan geser efektif padasaat terjadi keruntuhan
$\sigma'f$	= tegangan normalefektif pada saatterjadi keruntuhan
$\gamma_b$	= volume basah
$\theta_i$	= sudut yang didefinisikan
$\sigma_{hc}$	= tekanan tanah horizontal ( $\text{kN/m}^2$ )
$\sigma_v$	= tekanan tanah vertikal ( $\text{kN/m}^2$ )
$\beta$	= koefisien <i>interface</i> tanah terhadap geotekstil (dipakai 0,67)
$\Sigma M_P$	= jumlah momen pasif ( $\text{kN.m}$ )
$\Sigma M_A$	= jumlah momen aktif ( $\text{kN.m}$ )
$\gamma$	= berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )
$\gamma_b$	= berat volume tanah basah
$\sigma_{ult}$	= kuat dukung ijin ( $\text{kN/m}^2$ )
$\sigma_{terjadi}$	= kuat dukung yang terjadi ( $\text{kN/m}^2$ ),
$a_i$	= panjang lengkung lingkaran pada irisan ke- $I$ (m)
$c$	= kohesi tanah ( $\text{kN/m}^2$ )
$E$	= gaya yang mendorong (kN)

$E_a$	= gaya aktif akibat tanah (kN)
$E_q$	= gaya aktif akibat beban (kN)
$E_1, E_r$	= gaya normal efektif di sepanjang irisan
$F$	= gaya yang melawan (kN)
$H$	= tinggi tanah timbunan (m)
$H_i$	= tinggi tanah yang ditinjau dihitung dari permukaan tanah (m)
$K_0$	= koefisien tekanan tanah diam
$K_a$	= koefisien tanah aktif
$L$	= panjang geotekstil (m)
$L_C$	= panjang geotekstil yang bekerja sebagai angker (m)
$L_i$	= panjang geotekstil lapisan ke-I (m)
$L_o$	= panjang <i>overlapping</i> geotekstil (m)
$L_R$	= panjang geotekstil di daerah longsor aktif (m)
$M$	= massa per satuan luas ( $\text{gr}/\text{m}^2$ )
$M_{\text{Atanah}}$	= momen akibat tanah terhadap titik A (kN.m)
$M_{\text{Abeban}}$	= momen akibat beban terhadap titik A (kN.m)
$M_p$	= momen pasif (kN.m)
$n$	= porositas
$N_c, N_q, N_\gamma$	= faktor daya dukung tanah Terzaghi,
$N_i$	= resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
$p$	= kerapatan geotekstil secara keseluruhan
$q$	= beban merata (kN/m)
$R$	= jari-jari lingkaran bidang longsor
$SF$	= faktor keamanan
$S_v$	= jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m)
$t$	= tebal geotekstil (cm)
$T_{all}$	= kuat tarik ijin geotekstil (kN/m)
$T_i$	= resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
$u$	= tekanan air pori ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$U_i$	= tekanan air pori di dasar irisan
$U_i, U_r$	= tekanan air pori yang bekerja di kedua sisi irisan

$W$  = gaya pasif (kN)

$W_i$  = berat irisan tanah ke- $I$  (kN)

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

$Z_i$  = tinggi tanah yang ditinjau dari permukaan tanah (m)



## ABSTRAK

Proyek Jalan tol Balikpapan – Samarinda terletak di Provinsi Kalimantan Timur, pekerjaan jalan Tol Balikpapan – Samarinda dilakukan untuk memudahkan segala aktivitas yang menggunakan jalur transportasi darat khususnya yang menghubungkan dua kota antara Balikpapan dan Samarinda. Kondisi tanah pada proyek ini sangat beragam, pada tanah eksisting di lapangan merupakan tanah rawa. Dalam pembangunan jalan tol tersebut, tanah rawa mendapat perhatian khusus karena berdampak pada penurunan tanah atau longsor. Oleh karena itu perlu adanya analisis timbunan diatas tanah rawa tersebut untuk menentukan faktor keamanan terhadap longsor serta angka penurunan tanah.

Analisis pada tanah lereng asli menggunakan bantuan aplikasi SLOPE/W. Variasi tinggi timbunan yang digunakan adalah 4 m, 7 m dan 10,5 m. Tahap awal adalah melakukan pemodelan pada timbunan tanah asli tanpa perkuatan geotekstil untuk mendapat nilai SF dan penurunan tanah. Timbunan tanah yang aman adalah timbunan yang memenuhi syarat angka aman yaitu  $\geq 1,25$ . Tahap kedua adalah menghitung kebutuhan geotekstil. Tahap selanjutnya, melakukan permodelan dengan perkuatan geotekstil dan dengan mempertimbangkan beban gempa yang mengacu pada perhitungan kebutuhan geotekstil.

Dengan menganalisis timbunan tanah asli yang tidak diperkuat dengan geotekstil menggunakan SLOPE/W, hasilnya adalah timbunan dengan tinggi 10,5 meter mengalami collapse. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor keamanan (SF) dengan menggunakan program SLOPE/W sebesar  $1,148 < 1,25$  (tidak aman). Perbandingan antara nilai SF pada tanah timbunan yang diperkuat dengan perkuatan geotekstil dengan variasi geotekstil panjang dan ditambahkan beban gempa menghasilkan nilai SF sebesar  $1,169 > 1$  (aman) dan untuk nilai SF pada lereng yang diperkuat geotekstil tanpa beban gempa sebesar  $1,360 > 1,25$  (aman).

**Kata kunci:** Faktor Keamanan, Geotekstil, SLOPE/W

## **ABSTRACT**

*The Balikpapan - Samarinda toll road project is located in East Kalimantan Province, the Balikpapan - Samarinda Toll Road work is carried out to facilitate all activities that use land transportation routes, especially those connecting two cities between Balikpapan and Samarinda. The condition of the soil on this project is very diverse, on the existing soil in the field is swampy land. In the construction of the toll road, the marshland received special attention because it had an impact on land subsidence or landslides. Therefore, it is necessary to analyze the landfill on the marshland to determine the safety factor for landslides and the rate of land subsidence.*

*Analysis on native slope soils using the help of the SLOPE/W application. The variety of landfill height used 4 m, 7 m and 10.5 m. The first step is to perform modeling on native landfills without geotextile retrofitting to obtain SF and land subsidence values. A safe landfill is a heap that meets the requirement of a safe number of  $\geq 1.25$ . The second step is to calculate the need for geotextiles. The next stage is to do a model with geotextile reinforcement and by considering earthquake loads that refer to the calculation of geotextile needs.*

*By analyzing native soil deposits that are not reinforced with geotextiles using SLOPE/W, the result is that the landfill with 10.5 meters height has collapsed. The results of the analysis showed that the safety factor (SF) using the SLOPE/W program was  $1.148 < 1.25$  (unsafe). The comparison between the SF value on the landfill reinforced with geotextile reinforcement with long geotextile variations and added earthquake loads resulted  $1.169 > 1$  (safe) SF value and for the SF value of geotextile reinforced slopes without earthquake loads of  $1.360 > 1.25$  (safe).*

**Keywords:** Safety Factor, Geotextile, SLOPE/W

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang hanya memiliki dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Selain curah hujan yang tinggi pada musim hujan, Indonesia juga memiliki temperatur yang cukup tinggi di saat musim kemarau. Karakteristik iklim seperti ini berdampak terhadap kestabilan struktur tanah yang ada misalnya pada tanah lereng. Lereng yang tidak stabil sangat berbahaya terhadap lingkungan disekitarnya. Iklim merupakan salah satu faktor yang seringkali menyebabkan longsor. Hal ini dapat mengurangi kekuatan geser serta daya dukung tanah. Pada umumnya untuk mengantisipasi longsor ada beberapa jenis perkuatan tanah yang sering digunakan di Indonesia salah satunya yaitu geotekstil karena mempunyai umur rencana yang cukup lama, mendukung beban yang besar dan memiliki fungsi sebagai separator, filter, proteksi, dan perkuatan.

Jalan Tol Balikpapan – Samarinda memiliki peranan yang sangat penting dalam menjalankan roda perekonomian, sekaligus menghubungkan antar dua kota tersebut. Tujuan jalan tol ini dibangun untuk meningkatkan aksesibilitas dan kapasitas jaringan jalan dan juga meningkatkan produktifitas melalui pengurangan biaya distribusi dan menyediakan akses ke pasar regional maupun internasional. Kondisi tanah eksisting di lokasi pekerjaan jalan Tol Balikpapan – Samarinda banyak terdapat tanah lunak sehingga berpengaruh terhadap stabilitas lereng timbunan hal ini mendorong untuk memanfaatkan setiap lahan yang ada sebaik mungkin. Tingkat keamanan suatu lereng dipengaruhi oleh faktor parameter tanah, tinggi, kemiringan, dan beban yang bekerja di atas tanah itu sendiri. Penyebab terjadinya kelongsoran yaitu kondisi lereng dengan beban yang besar dan tinggi serta memiliki kemiringan yang curam, maka dari itu dalam analisis stabilitas lereng diperlukan suatu model yang dianggap dapat mewakili kondisi di lapangan.



**Gambar 1.1 Lokasi Pembangunan Jalan Tol Balikpapan - Samarinda**

(Sumber : Badan Pembangunan Jalan Tol)

Ada beberapa perkuatan dalam analisis stabilitas lereng, salah satunya yaitu menggunakan perkuatan geotekstil dengan menggunakan perangkat lunak GeoStudio. Geotekstil merupakan metode dalam Geoteknik yang menggunakan bahan sintesis polimer yaitu geosintetik. Geosintetik berfungsi sebagai penahan longsor yang mungkin akan terjadi pada lereng. Geosintetik ini mempunyai beberapa kelebihan dibanding metode lainnya, sebagai berikut ini :

1. Geosintetik sebagai perkuatan dinding penahan tanah lebih mudah serta lebih efisien dalam pelaksanaannya karena geosintetik sebagai bahan yang sudah jadi, sedangkan konstruksi beton bertulang / batu kali yang digunakan sebagai dinding penahan tanah memerlukan waktu pengolahan bahan yang relatif lama dengan campuran semen, pasir, kerikil, baja tulangan, air serta material lain yang diperlukan). Bahan geosintetik yang dipakai sebagai dinding penahan tanah dapat ditempatkan pada permukaan tanah, sehingga akan mengurangi biaya galian dan ketinggian total konstruksinya.
2. Bahan geosintetik bersifat tembus air (*porous*) yang mampu menahan tarikan dan menahan geser (akibat gesekan antara geosintetik dengan tanah), sehingga dapat berfungsi sebagai penulangan pada tanah (seperti tulangan pada konstruksi beton).

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut ini :

1. Bagaimana angka aman timbunan badan jalan asli menggunakan program GeoStudio?
2. Bagaimana angka aman timbunan badan jalan menggunakan perhitungan manual dengan metode *Fellenius* untuk tinggi timbunan 10,5 m?
3. Bagaimana angka aman timbunan badan jalan dengan perkuatan Geotekstil menggunakan GeoStudio?
4. Bagaimana penurunan tanah yang terjadi dengan menggunakan GeoStudio?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui angka aman timbunan badan jalan dengan perhitungan menggunakan software GeoStudio.
2. Mengetahui angka aman badan jalan menggunakan perhitungan manual dengan metode *Fellenius* untuk tinggi timbunan 10,5 m.
3. Mengetahui angka aman timbunan badan jalan dengan perkuatan Geotekstil menggunakan GeoStudio.
4. Mengetahui besarnya penurunan tanah dengan menggunakan GeoStudio.

## 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu mengetahui desain paling efektif untuk lereng pada Proyek Jalan dengan bahan perkuatan geotekstil serta mengaplikasikan program komputasi dalam menganalisis kestabilan lereng. Adapun manfaat lainnya yaitu sebagai bahan masukan dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil terutama dalam konsentrasi studi Geoteknik terlebih khususnya dalam hal kestabilan lereng.

### **1.5. Batasan Penelitian**

Agar penelitian ini dapat berjalan sistematis, maka perlu diberikan batasan-batasan sebagai berikut ini.

1. Studi kasus pada penelitian ini mengambil lokasi pada pekerjaan jalan tol Balikpapan – Samarinda STA 2+300.
2. Metode perbaikan tanah menggunakan geosintetik Woven UW 250 dari PT.Teknindo Geosistem Unggul dengan kuat tarik ultimit 52 kN/m.
3. Perencanaan konstruksi hanya pada badan jalan.
4. Data tanah yang digunakan berasal dari laporan evaluasi hasil analisis timbunan pada Tol Balikpapan-Samarinda (sumber : PT.Pembangunan Perumahan 2017)
5. Menganalisis stabilitas tanah timbunan dan menghitung penurunan yang terjadi.
6. Pembebanan sesuai dengan Peraturan dari Departemen Pekerjaan Umum tahun 2009 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan.
7. Variasi tinggi timbunan adalah 4 m, 7 m, dan 10,5 m.
8. Tinggi muka air terletak pada permukaan tanah dasar.
9. Analisis stabilitas lereng menggunakan metode fellenius.
10. Analisis stabilitas lereng menggunakan metode fellenius.
11. Analisis menggunakan bantuan program GeoStudio

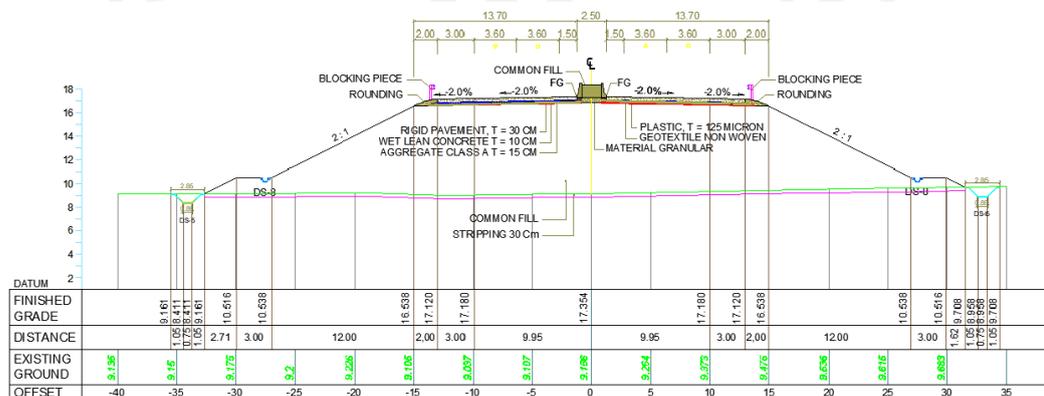
### **1.6. Lokasi Studi Kasus**

Pada penelitian ini, lokasi studi kasusnya berada pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda . Denah lokasi pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda dapat dilihat pada Gambar 1.2 berikut ini



**Gambar 1.2 Denah Lokasi Pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda**

Denah Lokasi Pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda berdasarkan gambar diatas maka total keseluruhan panjang Jalan Tol tersebut yaitu 99,63 km. Dalam penelitian ini diambil sebagai objek yang dianalisis, potongan melintang jalan pada dapat dilihat pada Gambar 1.3 berikut ini



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Longsor atau gerakan pergeseran tanah adalah suatu peristiwa geologi yang terjadi karena adanya pergerakan masa batuan atau tanah dengan berbagai tipe dan jenis seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan besar berupa tanah. Proses terjadinya longsor diawali oleh air yang meresap langsung ke dalam tanah karena tidak ada pohon yang akan menghambat jatuhnya air dan akar pohon yg menyerap air tersebut, maka akan menambah bobot tanah oleh air yang jatuh langsung. Jika air tersebut menembus sampai ke tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin, dan tanah pelapukan diatasnya akan bergerak mengikuti lereng yang lebih landai dan keluar lereng. Faktor - faktor yang menyebabkan terjadinya longsor salah satunya yaitu, gaya pendorong pada lereng lebih besar dari gaya penahan. Gaya pendorong dapat dipengaruhi oleh besarnya sudut kemiringan lereng, air, beban, berat jenis tanah atau batuan, dan gempa. Gaya penahan dapat dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Faktor penyebab terjadinya gerakan pada lereng juga tergantung kondisi batuan dan tanah penyusun lereng, struktur geologi, curah hujan, vegetasi penutup dan penggunaan lahan pada lereng tersebut.

#### **2.2. Lereng**

Menurut Ma'ruf (2018) menyatakan, lereng adalah suatu permukaan yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Pada tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya- gaya yang mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak kearah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor. Longsoran lereng adalah pergerakan massa tanah batuan dalam arah tegak, mendatar, atau miring dari kedudukan semula sebagai akibat ketidakmampuan lereng menahan gaya geser yang bekerja.

### **2.3. Analisis Stabilitas Lereng**

Lereng dapat dianalisis menggunakan perhitungan faktor keamanan lereng dengan melibatkan data sifat fisik tanah, mekanika tanah, dan bentuk geometri lereng.

Menurut Surjandari, dkk (2012) menyatakan tujuan utama stabilitas lereng adalah untuk memberikan kompetensi terhadap suatu perencanaan konstruksi yang aman dan ekonomis. Analisis stabilitas lereng tidak mudah karena terdapat banyak faktor yang mempengaruhi hasil hitungan antara lain: kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah, dan lain-lain. Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis. Tujuan analisis stabilitas lereng adalah mendapatkan faktor aman dari bidang longsor potensial. Faktor aman (SF) didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang dan gaya yang menggerakkan.

Menurut Pradhana (2018) menyatakan kelongsoran tanah merupakan akibat meningkatnya tegangan geser dari suatu massa tanah atau menurunnya kekuatan geser suatu massa tanah. Kekuatan geser dari suatu massa tanah tidak mampu memikul beban kerja yang terjadi. Gangguan terhadap stabilitas lereng dapat disebabkan oleh berbagai kegiatan manusia maupun kondisi alam. Lereng yang tidak stabil sangat berbahaya bagi lingkungan sekitarnya, oleh sebab itu analisis stabilitas lereng sangat diperlukan.

Azizah, dkk (2014) menyatakan kelongsoran tanah merupakan akibat meningkatnya tegangan geser dari suatu massa tanah atau menurunnya kekuatan geser suatu massa tanah. Kekuatan geser dari suatu massa tanah tidak mampu memikul beban kerja yang terjadi. Gangguan terhadap stabilitas lereng dapat disebabkan oleh berbagai kegiatan manusia maupun kondisi alam. Lereng yang tidak stabil sangat berbahaya bagi lingkungan sekitarnya, oleh sebab itu analisis stabilitas lereng sangat diperlukan.

### **2.4. Geotekstil**

Budiastho (2018) mengatakan bahwa geotekstil adalah salah satu jenis geosintetik atau produk buatan dari polimer yang berfungsi untuk memperbaiki

kinerja pada tanah. Fungsi perkuatan pada geotekstil dapat diterjemahkan sebagai fungsi tulangan, seperti istilah pada beton bertulang. Dalam pengertian yang identik tanah hanya mempunyai kekuatan untuk menahan tekan, tapi tidak dapat menahan tarik. Kelemahan terhadap tarik ini dapat dipengaruhi oleh geotekstil. Material ini dapat diletakkan di bawah timbunan yang dibangun diatas tanah lunak, dapat digunakan untuk membangun penahan tanah, dapat pula digunakan untuk perkuatan bahan perkerasan jalan.

## **2.5. Analisa Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil**

Annisa (2018) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas dinding penahan tanah serta perkuatan lereng menggunakan geotekstil. Penelitian tersebut mengambil lokasi pada Sungai Gajah Putih. Penelitian tersebut dilakukan karena adanya lereng yang mengalami kelongsoran meskipun telah diberi DPT. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui besar safety factor pada lereng yang telah diberi dinding penahan tanah serta merencanakan perkuatan yang aman pada lereng menggunakan geotekstil. Metode yang digunakan adalah metode elemen hingga dengan bantuan program PLAXIS. Perencanaan perkuatan lereng menggunakan geotekstil digunakan variasi model lereng 1 jenjang dan lereng 2 jenjang. Dalam penelitian ini analisis dilakukan pada kondisi muka air normal dan muka air banjir dengan memperhitungkan akibat beban merata pejalan kaki dan beban gempa. Nilai angka aman dinding pasangan batu pada kondisi muka air normal dengan beban pejalan dan beban gempa sebesar 1,232 dan 1,016, pada kondisi muka air banjir sebesar 1,235 dan 1,015. Angka aman tersebut menunjukkan bahwa lereng sungai dengan dinding pasangan batu tersebut kritis dan tidak stabil sehingga terjadi keruntuhan. Hasil analisis stabilitas dinding penahan tanah pada kondisi muka air normal memiliki angka aman stabilitas terhadap penggeseran, penggulingan, dan kapasitas dukung tanah berturut-turut sebesar 4,346; 7,520; dan 4,288. Pada kondisi muka air banjir sebesar 3,885; 6,923; dan 3,590; sedangkan dengan program Plaxis diperoleh angka aman dengan beban pejalan dan beban gempa pada kondisi muka air normal sebesar 2,949 dan 1,563, pada kondisi muka air banjir sebesar 3,027 dan 1,564. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dinding

penahan tanah aman dan stabil. Dalam perencanaan perkuatan lereng dengan geotekstil untuk lereng variasi 1 didapatkan nilai angka aman pada kondisi muka air normal 2,433 dan 1,579 dan pada muka air banjir 2,494 dan 1,574. Angka aman untuk lereng variasi 2 pada kondisi muka air normal sebesar 2,665 dan 1,569 dan pada kondisi muka air banjir 2,733 dan 1,567. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perencanaan perkuatan lereng dengan geotekstil aman dan stabil serta dapat digunakan sebagai alternatif perkuatan pada lereng bantaran sungai Gajah Putih.

Prasetyo (2017) melakukan penelitian Analisis Stabilitas Lereng Bertingkat Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga yang berisi tentang pemodelan stabilitas lereng dengan beberapa variasi pada panjang geotekstil dan tebal tanah timbunan pengisi. Metode penelitian menggunakan metode elemen hingga dengan menggunakan Plaxis 8.2. permodelan elemen hingga yang dipilih dalam penelitian ini berupa plane strain. Permodelan material tanah yang dipilih adalah Mohr-Coulumb. Model MohrCoulumb dipilih karena model ini merupakan suatu pendekatan ordo pertama dari perilaku tanah dan batuan. Perhitungan elemen hingga dalam penelitian ini menggunakan perhitungan (calculation type) menggunakan plastic dan phi/c reduction. Jenis plastic adalah jenis proses analisis yang digunakan pada model karena dianggap apabila beban yang diberikan sudah tidak bekerja lagi, model dianggap pada kondisi plastis, sedangkan jenis phi/c reduction digunakan untuk analisis faktor keamanan.

Pamungkas, dkk (2015) melakukan penelitian Analisis Stabilitas Lereng Memakai Perkuatan Geotekstil Dengan Bantuan Perangkat Lunak yang berisi tentang peristiwa longsor yang terjadi di kabupaten Trenggalek. Lereng memiliki ketinggian antara 8 m sampai 8,5 m dengan panjang dinding penahan 375 m dan mengalami kelongsoran pada bagian struktur sepanjang 90 m. Dianalisa menggunakan perangkat lunak SLOPE/W pada lereng tersebut didapatkan angka keamanan hanya 0,660 sehingga terjadi longsor. Dilakukan desain ulang lereng tersebut dengan menggunakan perkuatan geotekstil dengan jumlah 5 lapis, kapasitas tarik 400 kN/m, kohesi 0 kN/m dan sudut geser terhadap tanah  $38^\circ$ , jarak vertikal 1 m. Dengan analisa menggunakan SLOPE/W didapatkan angka keamanan 1,893.

## 2.6. Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Digunakan

Perbandingan penelitian atau tugas akhir ini dengan beberapa penelitian diatas disajikan dalam bentuk tabel, dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Digunakan**

<b>Peneliti</b>	Pradhana (2018)	Budiastho (2018)	Pamungkas, dkk (2015)	Chasanah (2012)	Prasetyo (2017)	Fajar Nugroho (2022)
<b>Judul Penelitian</b>	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope Di Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis, Daerah Istimewa Yogyakarta.	Analisis Stabilitas Timbunan pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil menggunakan program PLAXIS pada Proyek Jalan Tol Solo – Kertosono.	Analisis Stabilitas Lereng Memakai Perkuatan Geotekstil Dengan Bantuan Perangkat Lunak SLOPE/W (Studi Kasus Pada Sungai Parit Raya).	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Geoslope.	Analisis Stabilitas Lereng Bertingkat Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga	Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Menggunakan Perkuatan Geotekstil Dengan Program Geostudio 2012 (Studi Kasus : Jalan Tol Balikpapan - Samarinda STA. 2+300)
<b>Metode</b>	•Menghitung nilai faktor keamanan dengan perhitungan	•Analisis stabilitas menggunakan perangkat	• Melakukan analisis stabilitas lereng memakai perkuatan	Analisis dengan perhitungan manual, yaitu stabilitas internal	•Melakukan analisis stabilitas lereng dengan	• Analisis menggunakan software Geostudio untuk

**Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Digunakan**

	<p>secara komputasi menggunakan Program Geoslope.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Melakukan perbandingan nilai faktor keamanan dengan berbagai variasi menggunakan Program Geoslope.</li> </ul>	<p>lunak PLAXIS untuk mendapatkan nilai SF. Semetara pada timbunan yang collapse menggunakan perhitungan manual yaitu metode fellenius.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Variasi tinggi timbunan 2m, 4m, 6m, dan 8m.</li> <li>•Kondisi tanah yang dianalisis yaitu timbunan tanah asli, timbunan tanah replacement, dan timbunan tanah replacement dengan perkuatan geotekstil</li> </ul>	<p>geotekstil pada sungai parit raya</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Menghitung nilai faktor keamanan melalui 2 cara yaitu : Perhitungan Manual dan Perhitungan secara komputasi menggunakan Program Geoslope</li> <li>• Melakukan perbandingan nilai faktor keamanan antara Perhitungan Manual dengan Perhitungan Secara Komputasi.</li> </ul>	<p>dan eksternal serta perhitungan dengan software Geoslope untuk kestabilan lereng.</p>	<p>perkuatan geotekstil.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Menghitung nilai faktor keamanan.</li> <li>•Melakukan analisis menggunakan metode elemen hingga.</li> </ul>	<p>mendapatkan SF dan besar penurunan tanah.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Perhitungan manual menggunakan metode fellenius.</li> <li>•Variasi tinggi Timbunan dibedakan menjadi 4 m, 7m dan 10,5 m.</li> </ul>
--	--	--	--	--	--	--

**Lanjutan Tabel 2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Digunakan**

<b>Tujuan</b>	Mencari nilai faktor aman (SF) sebelum dan sesudah perkuatan geotekstil dengan variasi muka air tanah, beban merata, dan beban gempa secara komputasi menggunakan Program Geoslope.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Angka aman dan besar penurunan tanah pada timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 2m, 4m, 6m, dan 8m.</li> </ul>	Mengetahui perbandingan perhitungan manual, dan komptasi pada analisis stabilitas lereng memakai perkuatan geotekstil pada sungai parit raya.	Untuk mengetahui nilai angka aman pada lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan program Geoslope	Mengetahui analisis metode elemen hingga dengan menggunakan Plaxis 8.2. permodelan elemen hingga yang dipilih dalam penelitian ini berupa plane strain.	Untuk mengetahui nilai SF pada timbunan tanah asli dan tanah asli yang diperkuat geotekstil dengan variasi tinggi timbunan.
<b>Hasil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Solusi peningkatan nilai SF dengan menghematan geotekstil sesuai besaran bidang longsornya dengan menggunakan program Geoslope.</li> <li>•Perbandingan SF lereng sebelum longsor,</li> </ul>	Timbunan tanah asli memiliki safety factor yang lebih dari yang disyaratkan yaitu 1,4. Namun penurunan tanah sangat besar sehingga perlu adanya perkuatan.	Perbandingan rata-rata selisih SF menggunakan hitungan manual dan program SLOPE/W	Dari hasil analisa dengan perkuatan geotekstil menggunakan program Geoslope rata-rata nilai SF bertambah pada panjang, kemiringan lereng, jarak vertikal antar	Mendapatkan nilai faktor keamanan (SF) dengan menggunakan metode elemen hingga.	Analisis awal yaitu pada tanah asli didapatkan SF yang tidak aman (collapse) pada timbunan 10,5 m. Kemudian timbunan yang tidak aman tersebut diberi perkuatan, setelah diberi perkuatan maka didapatkan nilai SF yang

**Lanjutan Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Digunakan**

	setelah longsor, dan diberi perkuatan geotekstil dengan berbagai variasi beban merata, muka air tanah dan akibat gempa.	Setelah diperkuat dengan tanah replacement serta geotekstil penurunan tanah bisa direduksi		geotekstil maka kelongsoran dapat diminimalisir		aman serta penurunan tanah yang kecil.
<b>Perbedaan Penelitian</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokasi studi kasus berbeda</li> <li>• Variasi tinggi timbunan berbeda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variasi tinggi timbunan berbeda</li> <li>• Program yang digunakan adalah PLAXIS sedangkan saat ini menggunakan SLOPE/W</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokasi studi kasus berbeda</li> <li>• Variasi tinggi timbunan berbeda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokasi studi kasus berbeda</li> <li>• Variasi tinggi timbunan berbeda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak menggunakan metode fellenius dalam perhitungan manual.</li> <li>• Program yang Digunakan adalah PLAXIS sedangkan saat ini menggunakan SLOPE/W</li> </ul>	

## BAB III

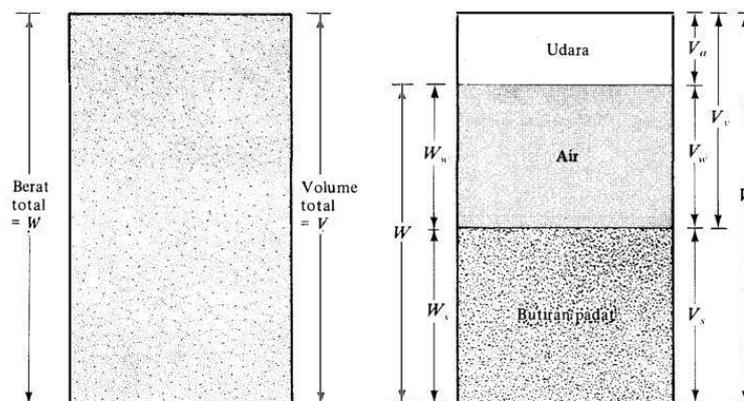
### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Tanah

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat atau butiran mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel tersebut (Das,1995). Tanah sendiri terbentuk dari terjadinya pelapukan batuan menjadi partikel – partikel yang lebih kecil akibat proses mekanis dan kimia. Pelapukan mekanis dapat disebabkan oleh peristiwa pemuaian dan penyusutan batuan dikarenakan perubahan panas dan dingin secara terus menerus sehingga mengakibatkan hancurnya batuan tersebut.

##### 3.1.1. Propertis Tanah

Tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu butiran tanah, air dan udara. Tanah dalam keadaan kering hanya terdapat dua bagian tanah, yaitu butiran tanah dan pori-pori udara. Tanah dalam kondisi jenuh hanya terdapat dua bagian yaitu butiran tanah serta air pori. Sedangkan tanah dengan kondisi tidak jenuh terdiri dari tiga bagian, yaitu butiran tanah, pori-pori udara, dan air pori. Hubungan antara bagian-bagian tanah digambarkan dalam bentuk diagram fase yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah**

1. Berat Volume Butiran Padat ( $\gamma_s$ )

Berat tanah butiran tanah kering dalam satu satuan volume butiran tanah atau perbandingan antara berat butiran padat ( $W_s$ ) dengan volume butiran padat ( $V_s$ ) dan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.4.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (3.1)$$

2. Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air ( $S=1$ )

Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.5.

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1 + e} \quad (3.2)$$

Hubungan antara derajat kejenuhan, angka pori, kadar air dan berat jenis dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.6.

$$S_e = w G_s \quad (3.3)$$

Korelasi untuk menentukan berat jenis tanah ( $\gamma$ ) dan berat jenis tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Nilai Berat Volume Tanah**

No.	Jenis tanah	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	Kerikil	20 - 22	15 - 17
2	Pasir	18 - 20	13 - 16
3	Lanau	18 - 20	14 - 18
4	Lempung	16 - 22	14 - 21

(sumber : John Wiley & Sons, 2000)

3. Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan

terjadinya aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir melewati rongga pori. Pori – pori pada tanah saling terhubung, sehingga air dapat mengalir dari tekanan tinggi menuju tekanan yang lebih rendah. Padatanah, permeabilitas artikan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga rongga pori tanah. Menurut Das (1983) pada buku Mekanika Tanah 1 Edisi Ke Enam untuk kisaran nilai permeabilitas pada jenis – jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2 Nilai Koefisien Permeabilitas**

No.	Jenis Tanah	k (mm/detik)
1.	Butiran Kasar	$10 - 10^3$
2.	Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir sedang	$10^{-2} - 10$
3.	Pasir halus, lanau longgar	$10^{-4} - 10^{-2}$
4.	Lanau padat, lanau berlempung	$10^{-5} - 10^{-4}$
5.	Lempung berlanau, lempung	$10^{-8} - 10^{-5}$

(sumber : Hardiyatmo, 2012)

#### 4. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan nilai yang menunjukkan besarnya angka elastisitas tanah dari perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap peregangan. Perkiraan nilai ini dapat ditentukan dari jenis tanah seperti pada Tabel 3.3 berikut ini.

**Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah**

No.	Jenis Tanah	E (kN/m <sup>2</sup> )
1.	Lempung :	300 – 3000
	Sangat lunak	2000 – 4000
	Lunak Sedang	4500 – 9000
	Keras Berpasir	7000 – 20000
		30000 - 42500
2.	Pasir :	5000 – 20000

**Lanjutan Tabel 3.4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah**

	Berlanau Tidak padat Padat	10000 – 250000 50000 - 100000
3	kerikil : Padat Tidak padat	80000 – 200000 50000 - 140000
4	Lanau	2000 – 20000
5	Loses	15000 – 60000
6	Cadas	140000 - 1400000

(Sumber : Bowles,1977)

## 5. Poisson Ratio

Nilai poisson ratio ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuai lateral. Nilai ini dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.5 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson**

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

(Sumber : Hardiyatmo,2003 )

### 3.1.2. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi yang sering digunakan ada dua, yaitu *Unified Soil Classification System* dan AASHTO (*American Association Of State Highway and Transporting Official*). Sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah seperti distribusi ukuran dan plastisitas.

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

Pada sistem *Unified Soil Classification System* (USCS), tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Kemudian, tanah diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok dan sub kelompok yang dapat dilihat dalam Tabel 3.5 berikut ini. Adapun simbol - simbol yang digunakan tersebut adalah:

G = kerikil (*gravel*) S = pasir (*sand*)

C = lempung (*clay*) M = lanau (*silt*)

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

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

W = gradasi baik (*well-graded*)

P = gradasi buruk (*poorly graded*)

H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

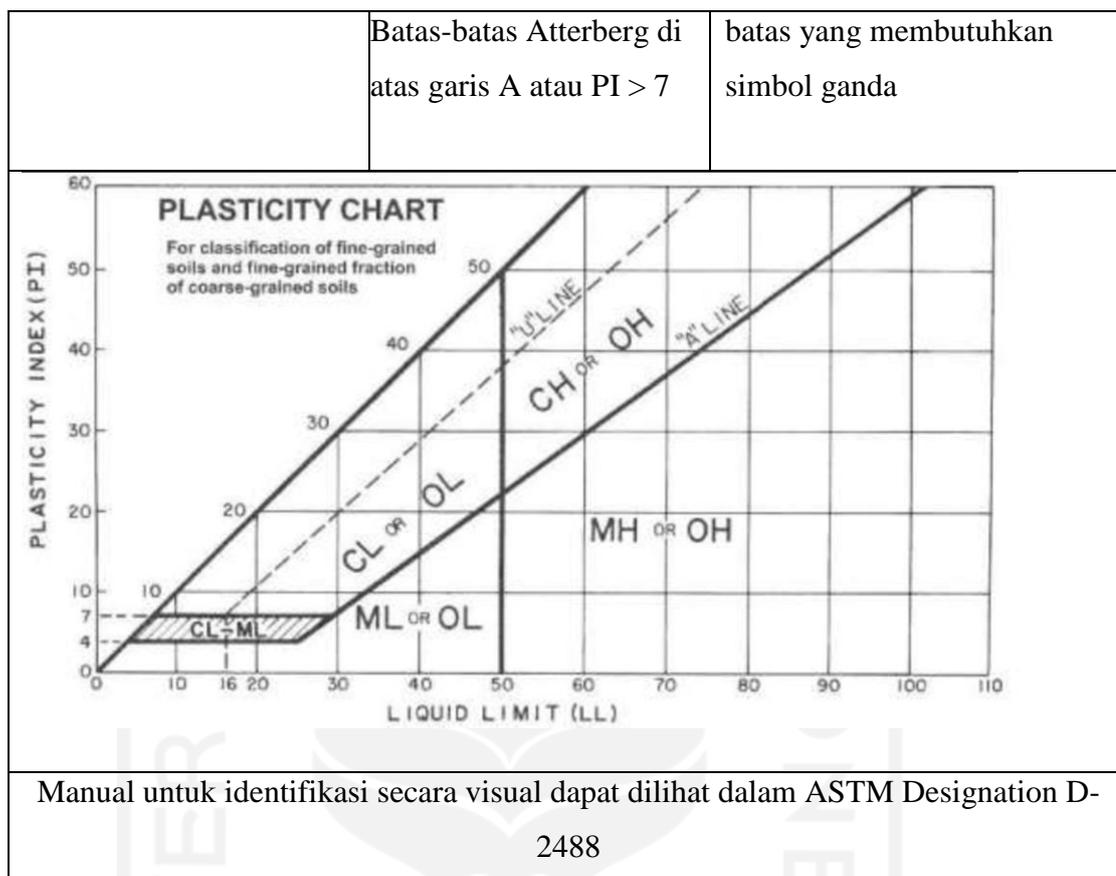
L = plastisitas rendah (*low plasticity*)

Berikut adalah klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS yang ditampilkan dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.6 Sistem Klasifikasi USCS

Klasifikasi Tanah		
<p style="text-align: center;">Klasifikasi Berdasarkan presentase butir halus</p> <p>Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200    GW, GP, SW, SP</p> <p>Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200    GM, GC, SM, SC</p> <p>5% sampel 12% lolos ayakan No. 200    Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dari</p>	$Cu = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4  $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	<p>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau <math>PI &lt; 4</math></p> <p>Batas-batas Atterberg di atas garis A atau <math>PI &gt; 7</math></p>	<p>Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda</p>
	$Cu = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6  $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
<p>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau <math>PI &lt; 4</math></p>	<p>Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi</p>	

Lanjutan Tabel 3.7 Sistem Klasifikasi USCS



(Sumber: Hardiyatmo H.C., 2009)

2. Klasifikasi berdasarkan *American Association Of State Highway and Transporting (AASHTO)*.

Sistem klasifikasi AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah untuk perencanaan timbunan jalan, lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut. Sistem klasifikasi AASHTO untuk membagi tanah kedalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8. Sistem yang direvisi (Proc. 25 th Annual Meeting of Highway Research Board, 1945) mempertahankan delapan kelompok dasar tanah tadi akan tetapi ada penambahan di beberapa kelompok menjadi subkelompok, yaitu dua subkelompok dalam A-1, empat subkelompok dalam A-2, dan dua subkelompok dalam A-7. Kelompok A-8 merupakan gambut atau rawang yang ditentukan berdasarkan klasifikasi visual tidak diperlihatkan. Tanah-tanah yang berada disetiap kelompoknya

dievaluasi terhadap indeks kelompok, yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan yaitu hanya analisis saringan dan batas-batas Atterberg (Bowles J.E., 1989).

Indeks kelompok (group index) (GI) dapat digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan 3.12

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15)(PI - 10) \quad (3.4)$$

Keterangan,

GI = indeks kelompok (group index)

F = persen butiran lolos saringan no. 200 (0,075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Berikut adalah sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO yang ditampilkan pada Tabel 3.6

Tabel 3.8 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Berbutir Kasar (35% atau kurang lolos saringan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi Group	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa ayakan (% lolos) :							
No. 10	Max 50	-	-	-	-	-	-
No. 40	Max 30	Max 50	Min 51	-	-	-	-
No. 200	Max 15	Max 25	Max 10	Max 35	Max 35	Max 35	Max 35
Karakteristik fraksi lolos saringan No.40 :							
Batas Cair (LL)	-			Max 40	Min 41	Max 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Max 6		N.P.	Max 10	Max 10	Min 11	Min 11
Jenis Material Pokok	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan Pasir Kelanauan atau Kelempungan			
Tingkat kegunaan sebagai subgrade	Sangat baik hingga baik						
Klasifikasi Group	A-4	A-5	A-6	A-7			
				A-7-5			
				A-7-6			
Analisa Ayakan (% lolos) :							
No. 10	-	-	-	-	-	-	-
No. 40	-	-	-	-	-	-	-
No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Karakteristik fraksi lolos saringan No. 40 :							

(sumber : AASHTO, 1993)

### 3.1.3. Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah yaitu kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat tanah yang terbebani. Keruntuhan geser (*shear failure*) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butiran tanah tersebut akan tetapi karena

adanya gerak relatif antara butiran tanah tersebut. Dengan dasar pengertian ini, apabila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh (Hardiyatmo H.C., 2009):

1. Kohesi pada tanah yang bergantung dengan jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan yang terjadi antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya

Beberapa metode untuk menentukan kuat geser tanah, antara lain:

1. Pengujian geser langsung (*Direct shear test*)
2. Pengujian triaksial (*Triaksial test*)
3. Pengujian tekan bebas (*Unconfined compression test*)

Dalam penelitian ini yang akan digunakan untuk menentukan kuat geser tanah adalah pengujian triaksial (*Triaksial test*) dan pengujian geser langsung. Pengujian kuat geser dilakukan untuk mencari parameter kuat geser yaitu kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ).

1. Kohesi ( $c$ ).

Kohesi adalah gaya tarik menarik antar partikel tanah dan batuan. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang akan menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat adanya tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Nilai kohesi ( $c$ ) didapat dari pengujian laboratorium yaitu pada pengujian triaxial (*triaxial test*) dan pengujian kuat geser langsung (*direct shear test*). Selain itu, nilai kohesi bisa didapat dari nilai  $q_c$  pada uji sondir seperti pada Tabel 3.7 berikut.

**Tabel 3.9 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Kohesi**

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

(sumber : Bowles, 1996)

2. Sudut Geser Dalam ( $\phi$ ).

Sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk antara tegangan normal dan tegangan geser didalam material tanah. Sudut geser tanah sama dengan kohesi yaitu untuk menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai sudut geser dalam didapat dari pengujian triaxial (*triaxial test*) dan pengujian kuat geser langsung (*direct sheer test*). Selain itu, nilai sudut geser dalam ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.8

**Tabel 3.10 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah**

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

(sumber : Bowles, 1996)

### 3.2. Stabilitas Lereng

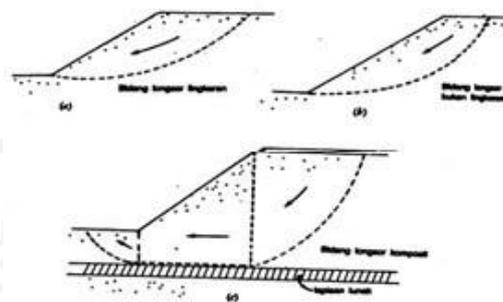
#### 3.2.1. Pengertian Umum

Stabilitas lereng merupakan suatu faktor penting dalam pekerjaan yang

berkaitan dengan penggalian dan penimbunan tanah, batuan dan bahan galian, dikarenakan menyangkut persoalan keselamatan manusia (pekerja), keamanan peralatan serta kelancaran produksi. Keadaan ini berhubungan dengan adanya bermacam-macam jenis pekerjaan, misalnya pada pembuatan jalan, bendungan, penggalian kanal, penggalian untuk konstruksi, penambangan dan lain- lain.

Dalam pekerjaan penambangan masalah kemantapan lereng ini dapat ditemukan pada penggalian tambang terbuka, bendungan untuk cadangan air kerja, tempat penimbunan limbah buangan (tailing disposal) dan penimbunan bijih (stockyard). Apabila lereng-lereng yang terbentuk akibat dari proses penambangan (pit slope) maupun yang merupakan kegiatan penunjang operasi penambangan (seperti bendungan dan jalan) tidak stabil, maka akan membahayakan dan mengganggu kegiatan konstruksi.

Gaya-gaya gravitasi dan rembesan (seepage) yang terjadi cenderung dapat menyebabkan ketidakstabilan pada lereng alami, lereng yang dibentuk dengan cara penggalian, pada lereng tanggul serta pada bendungan tanah. Tipe keruntuhan lereng yang dapat terjadi pada analisis ini yaitu tipe keruntuhan gabungan digambarkan pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



**Gambar 3.2 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan**

(Sumber: Santoso Budi, 1998)

Berikut adalah tabel nilai faktor keamanan untuk lereng yang disyaratkan dari Departemen Pekerjaan Umum seperti pada Tabel 3.9.

**Tabel 3.11 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng**

		Resiko terhadap nyawa	Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan nyawa manusia		
			Tak diperhatikn	Rendah	Tinggi
Rekomendasi faktor keamanan terhadap resiko	Manusia Resiko Ekonomis	Diabaikan	1,1	1,2	1,5
		Rendah	1,2	1,2	1,5
		Tinggi	1,4	1,4	1,5
Catatan :					
<p>1. Meskipun nilai faktor keamanan lerengnya 1,4,jika beresiko tinggi terhadap keselamatan orang – orang disekitarnya maka harus diubah menjadi 1,1 berdasarkan hasil prediksi kondisi air tanah terburuk</p> <p>2. Faktor Keamanan yang tercantum di dalam tabel ini adalah nilai – nilai yang direkomendasikan. Faktor keamanan yang lebih tinggi atau lebih rendah mungkin</p> <p>3. teraman keamanannya pada situasi – situasi khusus dalam hubungannya dengan dengan resiko kehilangan nyawa dan ekonomis</p>					

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

### 3.2.2. Metode Fellenius

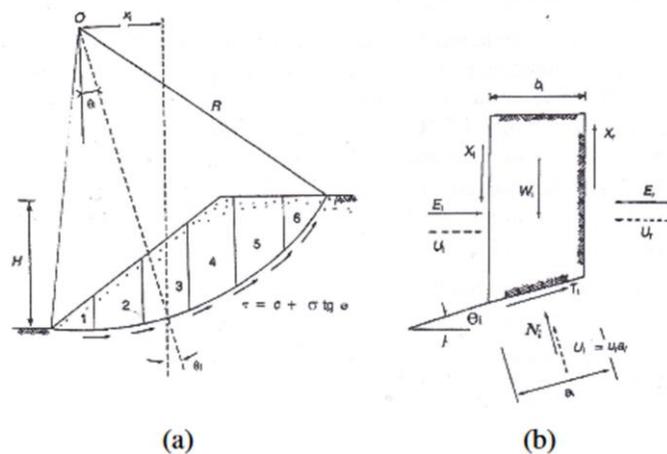
Metode Fellenius (*Ordinary Method of Slice*) pertama kali diperkenalkan oleh Fellenius (1927, 1936). Prinsip dasar Metode Fellenius adalah menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan- kiri dari sembarang irisan memiliki resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor.

Fellenius mengemukakan metodenya dengan berasumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk

lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja di tengah-tengah *slice*. Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisannya adalah sama dengan nol, atau bias juga disebutkan bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan. Jadi total asumsi yang dibuat oleh metode ini adalah :

- Posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan: n
- Resultan gaya antar irisan sama dengan nol: n – 1 Total : 2n – 1

Ilustrasi mengenai pemodelan metode fellenius dapat dilihat pada gambar berikut ini.



**Gambar 3.3 Gambar Ilustrasi Gaya - Gaya Pada Setiap Irisan dengan Metode Fellenius**

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Dengan anggapan-anggapan tersebut maka dapat diuji persamaan keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi dan diperoleh suatu nilai Faktor Keamanan. Dengan anggapan ini maka keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya bekerja adalah:

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (3.5)$$

Atau,

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\ &= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \end{aligned} \quad (3.6)$$

Faktor aman didefinisikan sebagai,

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

$$= \frac{\varepsilon Mr}{\varepsilon Md}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah  $R \sin \theta$ , maka:

$$\sum M_d = R \sum_{n=1}^{i=1} W_i \sin \theta_i \quad (3.7)$$

Keterangan:

$R$  = jari-jari lingkaran bidang longsor

$n$  = jumlah irisan

$W_i$  = berat massa tanah irisan ke- $i$

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

$\theta_i$  = sudut yang didefinisikan

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah akan longsor adalah:

$$\sum Mr = R \sum_{n=1}^{i=n} (c a_i + N_i \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.8)$$

Maka persamaan untuk faktor aman menjadi,

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} (c a_i + N_i \operatorname{tg} \varphi)}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.9)$$

Apabila terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor ( $M_d$ ), karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran.

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} c a_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.10)$$

Keterangan:

$F$  = faktor aman

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

$\Phi$  = sudut gesek dalam tanah ( $^\circ$ )

- $a_i$  = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke- $I$  (m)  
 $W_i$  = berat irisan tanah ke- $I$  (kN)  
 $u_i$  = tekanan air pori pada irisan ke- $I$  (kN/m<sup>2</sup>)  
 $\theta_i$  = sudut yang didefinisikan

Apabila terdapat gaya-gaya selain dari berat tanahnya sendiri, seperti bangunan yang ada di atas lereng, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai  $M_d$ .

### 3.3. Penurunan Konsolidasi

#### 3.3.1. Pengertian Umum

Bila lapisan tanah jenuh dengan permeabilitas rendah lalu diberi beban, maka tekanan air pori dalam tanah tersebut akan segera bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah dapat mengakibatkan air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah diikuti dengan penurunan tanah. Permeabilitas tanah yang rendah mengakibatkan proses ini membutuhkan waktu. Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya airpori keluar dari rongga tanah. Besarnya penurunan dapat diukur dengan berpedoman pada titik referensi ketinggian pada tempat tertentu (Hardiyatmo H.C., 2010).

#### 3.3.2. Faktor – faktor yang memengaruhi penurunan konsolidasi

Secara garis besar penurunan tanah bisa disebabkan oleh beberapa hal antara lain sebagai berikut (Whittaker B.N. and Reddish D.J., 1989).

1. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi seperti aktifitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya.
2. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air tanah atau minyak bumi
3. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh adanya beban-beban berat

diatasnya seperti struktur bangunan sehingga lapisan-lapisan tanah dibawahnya mengalami kompaksi/konsolidasi. Penurunan muka tanah ini sering juga disebut dengan *settlement*.

4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah (aktivitas penambangan).



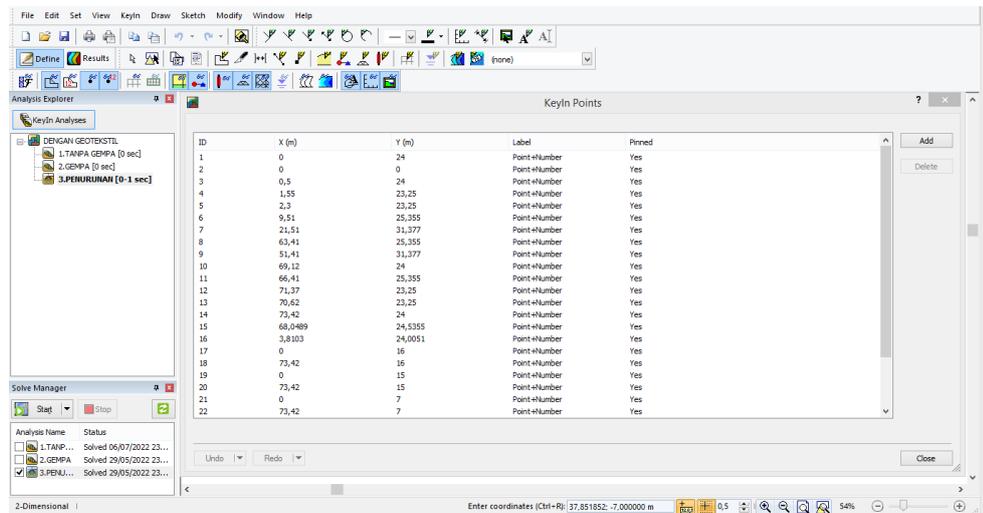
**Gambar 3.4 Kurva Hubungan antara Tekanan dengan Angka Pori**

(Sumber: Hardiyatmo H.C., 2009)

### 3.3.3. Perhitungan Penurunan Konsolidasi

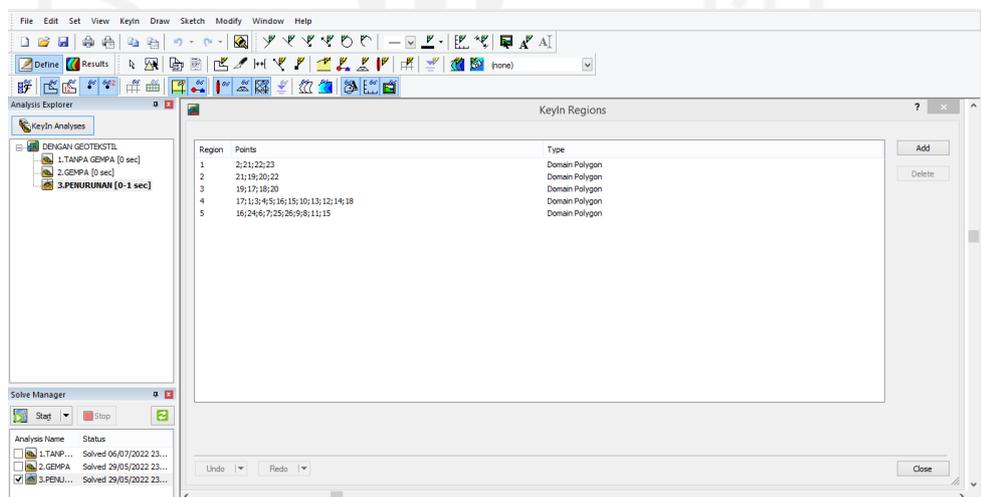
Penambahan beban di atas suatu lapisan tanah jenuh air menyebabkan tekanan air pori meningkat dan mengakibatkan air berusaha mengalir keluar dari pori-pori tanah sehingga volumenya akan berkurang. Penurunan tanah tersebut disebut sebagai penurunan konsolidasi atau penurunan primer. Besar penurunan konsolidasi untuk jenis tanah lunak sangat bergantung pada sejarah geologis tanah. Data yang didapatkan kemudian dianalisis menggunakan bantuan software *SIGMA/W* untuk mendapatkan nilai penurunan tanah lereng asli. Adapun tahap pengerjaan perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut ini.

1. Membuat sketsa gambar.
  - a. Klik keyin pada *toolbar*, lalu pilih *points* untuk membuat titik koordinat gambar.



**Gambar 3. 5 Penentuan Titik Sketsa Gambar**

- b. Setelah selesai membuat titik koordinat, selanjutnya menghubungkan antara titik koordinat tersebut. Klik keyin pada *toolbar*, lalu pilih *regions* dan hubungkan titik koordinat yang sudah ada. Klik *add* pilih koordinat titik untuk dihubungkan menjadi sebuah garis.



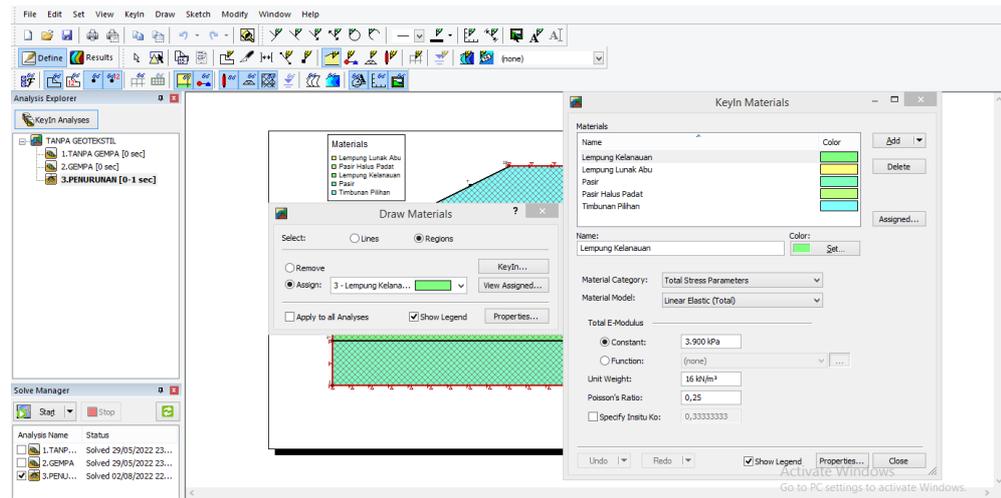
**Gambar 3. 6 Tampilan Regions Penghubung Titik Sketsa Gambar**

2. Mendefinisikan parameter tanah.

Setelah selesai melakukan pemodelan, langkah selanjutnya input data tanah dan memasukan *boundary condition*.

a. Input data matrial

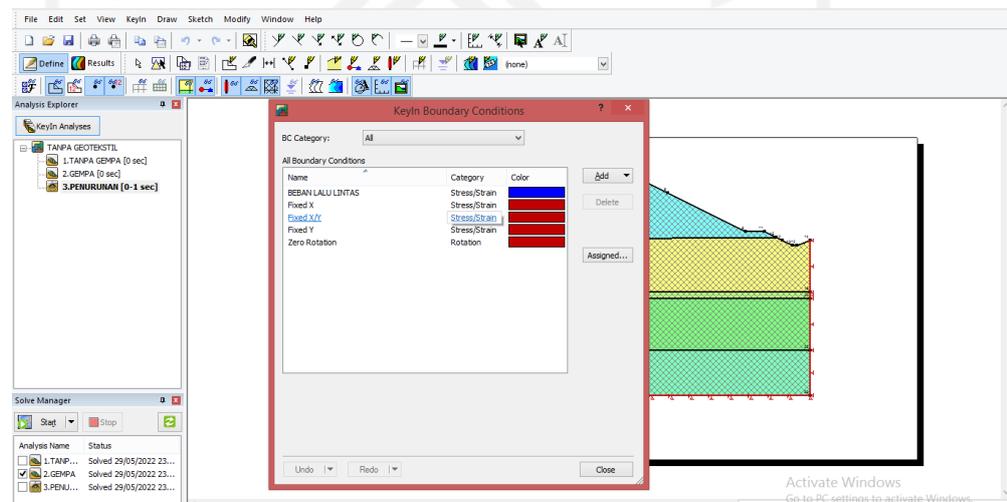
Klik *draw materials*, lalu klik keyin setelah itu klik add untuk memasukan data tanah yang ada, jika sudah selesai klik warna gambar lalu sesuaikan pada timbunannya.



**Gambar 3. 7 Tampilan Parameter Tanah**

b. Input *boundary condition*

Selanjutnya input data batasan kondisi di yang ada di lapangan. Pilih *draw* pada *toolbar* lalu pilih *boundary conditions*, klik add dan input datanya.



**Gambar 3. 8 Tampilan Boundary Conditions**

### 3. Menghitung penurunan tanah.

Menghitung penurunan pada program *SIGMA/W* dilakukan dengan cara klik *Start* pada *menu bar* pada bagian kiri halaman yang bernama *Solve Manager*, lalu pilih *result* pada menu *toolbnar* dan akan muncul nilai penurunan tanah pada lereng yang telah ditinjau.

## 3.4. Perkuatan Lereng

### 3.4.1. Pengertian Umum

Perkuatan lereng (revetments) merupakan bangunan yang ditempatkan pada permukaan suatu lereng bertujuan untuk melindungi suatu tebing alur sungai atau permukaan lereng tanggul dan secara keseluruhan yang mempunyai peran untuk meningkatkan stabilitas alur sungai atau tubuh tanggul yang dilindunginya. Setelah terjadi pengembangan yang berlanjut terhadap konstruksi, salah satu bangunan persungai yang sangat vital ini dan pada saat ini telah dimungkinkan memilih salah satu konstruksi, bahan dan cara pelaksanaan yang paling cocok disesuaikan dengan kondisi setempat. Walaupun demikian konstruksi pada perkuatan lereng dikembangkan dan disempurnakan secara terus menerus.

### 3.4.2. Faktor Keamanan

Dalam analisis kemantapan lereng dengan permukaan gelincir yang dapat diasumsikan sebagai lengkungan lingkaran, maka gaya yang mendorong massa tanah di atas 25 lengkungan lingkaran sehingga menggelincir harus dibandingkan dengan gaya geser sepanjang lengkungan lingkaran yang menahan longsoran itu. Karena gaya dorong dan gaya tahan berbeda dengan kedudukan dan jari-jari lengkung lingkaran, maka cara yang harus dilakukan ialah dengan mengubah kedudukan dan jari-jari lengkung lingkaran untuk beberapa nilai dengan cara asumsi. Berbagai metode diusulkan untuk perbandingan antara gaya dorong dan gaya penahan. Sehingga angka amannya yaitu: gaya yang menggelincirkan gaya penahan  $SF =$  Bila faktor keamanan didapat 1, maka lereng sudah hampir diposisi dalam bahaya keruntuhan lereng/longsor. Untuk mendapatkan lereng yang ditetapkan maka safety factor (SF)  $\geq 1,0$ . Dalam buku Mekanika Tanah I karya

(Hardiyatmo H.C., 2009), Bowles J.E. (1989) menjelaskan bahwa keadaan lereng berdasarkan nilai safety factor (SF) nya dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut ini.

**Tabel 3.12 Faktor Keamanan Lereng**

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

(Sumber: SNI 8460:2017)

Metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium methods*) menggunakan gaya seismik yang direpresentasikan dalam model pseudostatik. Koefisien seismik yang digunakan adalah percepatan puncak di permukaan (PGA) dengan faktor keamanan minimum terhadap gempa ( $FK > 1,0$ ). Koefisien seismik horizontal,  $k_h$ , ditentukan sebesar 0,5 dari percepatan puncak horizontal dengan penentuan kelas situs dan faktor amplifikasi.

### 3.4.3. Geotekstil

Geotekstil biasa digunakan untuk perkuatan tanah dasar pada struktur perkerasan jalan. Geotekstil juga sering digunakan pada stabilisasi timbunan badan jalan yang terdapat pada pondasi tanah lunak. Pengaruh penting dari macam-macam pemakaian geotekstil untuk perkuatan timbunan yaitu berfungsi utama sebagai pemisah, selain itu geotekstil juga berfungsi sebagai tulangan atau perkuatan yang menaikkan kapasitas daya dukung tanah dasar oleh kekuatan komposit tanah dengan geotekstil.

Geotekstil umumnya terbuat dari polimer *polypropylane*, yang dibuat

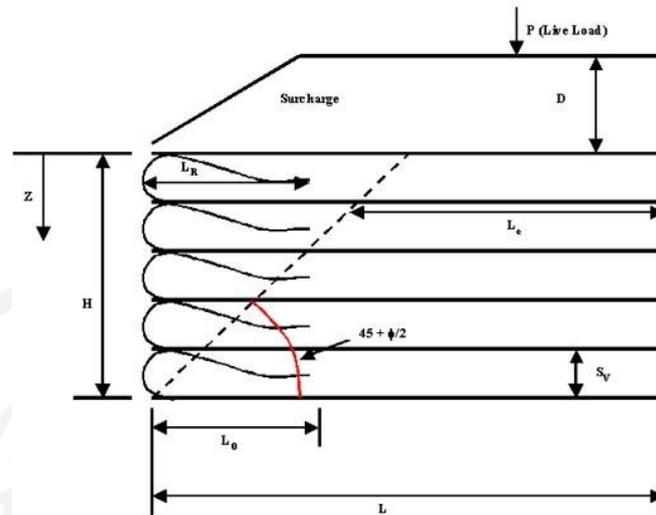
membentuk fiber-fiber atau benang-benang, yang akhirnya dipakai untuk membuat lembaran kain anyam (*woven*) atau nir-anyam (*non woven*). Ketika kain tekstil tersebut diletakkan didalam tanah, maka dapat disebut sebagai geotekstil. Tenun dihasilkan dari *interlaying* antara benang-benang melalui proses tenun, sedangkan non woven dihasilkan dari beberapa proses seperti : dengan panas (*heat bonded*), dengan jarum (*needle punched*), dan menggunakan bahan kimia (*chemical bonded*).

Pekerjaan timbunan yang dibangun pada tanah lunak mempunyai kecenderungan bergerak ke arah lateral, dikarenakan akibat adanya tekanan tanah horizontal yang bekerja pada timbunan tersebut. Tekanan ini dapat menyebabkan terjadinya tegangan geser pada dasar timbunan yang harus ditahan oleh tanah pondasi yang lunak tersebut agar tidak mengalami keruntuhan. Oleh karena itu, pada dasar tanah timbunan dapat dipasang geotekstil dengan kuat tarik tinggi yang berfungsi untuk menambah nilai stabilitas timbunan.

Pemasangan geotekstil pada timbunan harus memiliki nilai faktor keamanan yang disyaratkan, untuk timbunan yang sifatnya sementara ataupun permanen. Perancangan lereng timbunan dianggap pada kondisi kritis jika:

1. Keruntuhan lereng mengakibatkan adanya korban atau kerusakan pemukiman yang signifikan,
2. Adanya gaya tarik termobilisasi dalam tulangan perkuatan pada umur rancangan struktur,
3. Keruntuhan tulangan perkuatan mengakibatkan runtuhnya struktur.

Perkuatan geotekstil dapat dipasang satu lapis atau lebih tergantung besarnya gaya geser yang akan ditahan, seperti pada Gambar 3.9 berikut ini



**Gambar 3.9 Pemasangan Geotekstil pada Timbunan**

#### 3.4.4. Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Geotekstil

Analisis gaya-gaya yang bekerja pada stabilitas terhadap gaya-gaya internal menggunakan analisis tegangan seperti pada dinding penahan tanah dengan menggunakan teori klasik Rankine dan Coulomb. Metode yang dapat digunakan ada dua yaitu dengan anggapan bentuk longsoran tanah adalah segitiga dan trapesium yang masih dalam taraf penelitian lanjutan.

Panjang geotekstil dianalisis berdasarkan asumsi bentuk bidang longsor dengan sudut kemiringan sebesar  $(45 - \frac{\varphi}{2})^\circ$ .

Analisis stabilitas konstruksi memiliki 2 pendapat yaitu sebagai berikut ini.

1. Menggunakan koefisien tekanan tanah diam, dengan Persamaan 3.11 berikut.

$$K_0 = 1 - \sin \varphi \quad (3.11)$$

Keterangan:

$K_0$  = koefisien tekanan tanah diam,

$\varphi$  = sudut geser dalam ( $^\circ$ ).

2. Menggunakan koefisien tanah aktif, dengan menggunakan Persamaan 3.12 berikut.

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.12)$$

Keterangan:

$K_a$  = koefisien tanah aktif,

$\phi$  = sudut geser dalam ( $^\circ$ )

Pada penelitian ini menggunakan koefisien tekanan tanah aktif dengan menggunakan Persamaan 3.21 di atas. Selanjutnya perhitungan akan ditinjau dari stabilitas internal dan eksternal sebagai berikut ini.

#### 1. Stabilitas Internal

Tegangan horizontal tanah yaitu tegangan tanah yang diakibatkan oleh pergerakan tanah kearah horizontal. Pada penelitian ini tegangan horizontal dipengaruhi dengan adanya tegangan akibat tanah itu sendiri dan tegangan akibat beban yang bekerja di atas timbunan. Berikut Persamaan 3.13 untuk menghitung tekanan tanah horizontal.

$$\sigma_{hc} = q.K_a + K_a.H_i.\gamma \quad (3.13)$$

Keterangan:

$\sigma_{hc}$  = tekanan tanah horizontal ( $\text{kN/m}^2$ ),

$q$  = beban merata ( $\text{kN/m}$ ),

$K_a$  = koefisien tanah aktif,

$H_i$  = tinggi tanah yang ditinjau dihitung dari permukaan tanah (m)

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

Selanjutnya yang dilakukan yaitu menghitung jarak vertikal antar lapisan geotekstil ( $S_v$ ) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.14 berikut ini.

$$S_v = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} . SF} \quad (3.14)$$

Keterangan:

$S_v$  = jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m),

$T_{all}$  = kuat tarik ijin geotekstil ( $\text{kN/m}$ ),

$\sigma_{hc}$  = tekanan tanah horizontal ( $\text{kN/m}^2$ ),

$SF$  = faktor keamanan (digunakan 1,5).

Panjang geotekstil dianalisis berdasarkan asumsi bentuk bidang longsor dengan sudut kemiringan sebesar  $(45 - \frac{\varphi}{2})$

Perhitungan panjang geotekstil (L) sesuai hasil perhitungan jarak vertikal geotekstil (Sv) di atas, sehingga digunakan panjang terbesar geotekstil pada masing-masing zona. Berikut ini Persamaan 3.15 untuk menghitung tekanan tanah vertikal.

$$\sigma_v = \gamma \cdot H_i \quad (3.15)$$

Keterangan:

$\Sigma v$  = tekanan tanah vertikal (kN/m<sup>2</sup>),

$\gamma$  = berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>),

$H_i$  = tinggi tanah yang ditinjau dari permukaan tanah (m)

Berikut ini Persamaan 3.16 untuk menghitung panjang geotekstil di daerah longsor aktif.

$$LR = \frac{H - Z_i}{\tan(45 + \frac{\varphi}{2})} \quad (3.16)$$

Keterangan:

$L_R$  = panjang geotekstil di daerah longsor aktif (m),

$H$  = tinggi tanah timbunan (m),

$Z_i$  = tinggi tanah yang ditinjau dari permukaan tanah (m),

$\varphi$  = sudut geser dalam (°).

Berikut ini Persamaan 3.17 untuk menghitung panjang geotekstil yang bekerja sebagai angker.

$$L_c = \frac{1}{\beta} \frac{T_{all}}{2(c + \sigma_v \cdot \tan \varphi)} \quad (3.17)$$

Keterangan:

- $L_C$  = panjang geotekstil yang bekerja sebagai anker (m),  
 $B$  = koefisien *interface* tanah terhadap geotekstil (dipakai 0,67),  
 $T_{all}$  = kuat tarik geotekstil (kN/m),  
 $c$  = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>),  
 $\sigma_v$  = tekanan tanah vertikal (kN/m<sup>2</sup>),  
 $\phi$  = sudut geser dalam (°).

Perhitungan  $L_R$  dan  $L_C$  di atas selanjutnya akan dijumlahkan dan menjadi panjang geotekstil total, seperti pada Persamaan 3.18 berikut.

$$L_{tot} = L_R + L_C \quad (3.18)$$

Keterangan:

- $L_R$  = panjang geotekstil di daerah longsoran aktif (m),  
 $L_C$  = panjang geotekstil yang bekerja sebagai anker (m).

Panjang *overlapping* geotekstil tidak ada analisis khususnya, karena secara teoritis tidak diperlukan tetapi dalam praktek dilakukan agar konstruksi menjadi satu kesatuan. Persamaan 3.19 berikut dapat digunakan untuk menghitung panjang *overlapping* ( $L_o$ ).

$$L_o = \frac{1}{\beta} \frac{T_{all}}{4(c + \sigma_v \cdot \tan \phi)} \geq 1m \quad (3.19)$$

Keterangan:

- $L_o$  = panjang *overlapping* geotekstil (m),  
 $B$  = koefisien *interface* tanah terhadap geotekstil (dipakai 0,67),  
 $T_{all}$  = kuat tarik geotekstil (kN/m),  
 $c$  = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>),  
 $\sigma_v$  = tekanan tanah vertikal (kN/m<sup>2</sup>),  
 $\phi$  = sudut geser dalam (°).

## 2. Stabilitas Eksternal

Stabilitas eksternal pada tanah timbunan meninjau pada 3 stabilitas yaitu sebagai berikut ini.

### a. Stabilitas terhadap guling

Stabilitas terhadap guling ditinjau terhadap titik A. berikut ini persamaan-persamaan gaya aktif.

#### 1) Gaya Aktif

Persamaan gaya aktif akibat tanah ( $E_a$ ) dapat menggunakan Persamaan 3.20 dan 3.21 untuk lengan gaya aktif akibat tanah seperti berikut ini.

$$E_a = \frac{1}{2} H^2 \cdot \gamma \cdot K_a \quad (3.20)$$

dan

$$Lengan = \frac{H}{3} \quad (3.21)$$

Keterangan:

$K_a$  = koefisien tanah aktif,

$H$  = tinggi tanah timbunan (m),

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

sehingga momen akibat tanah dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.22 berikut.

$$M_{A\text{tanah}} = E_a \cdot Lengan \quad (3.22)$$

Keterangan:

$M_{A\text{tanah}}$  = momen akibat tanah terhadap titik A ( $\text{kN.m}$ ),

$E_a$  = gaya aktif akibat tanah ( $\text{kN}$ ).

Persamaan gaya aktif akibat beban ( $E_q$ ) dapat menggunakan Persamaan 3.23 dan Persamaan 3.24 untuk lengan gaya aktif akibat beban seperti berikut ini.

$$E_q = q \cdot H \cdot K_a \quad (3.23)$$

dan

$$Lengan = \frac{H}{2} \quad (3.24)$$

Keterangan:

$q$  = beban merata (kN/m),

$H$  = tinggi tanah timbunan (m),

$K_a$  = koefisien tanah aktif.

Sehingga momen akibat beban dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.25 berikut.

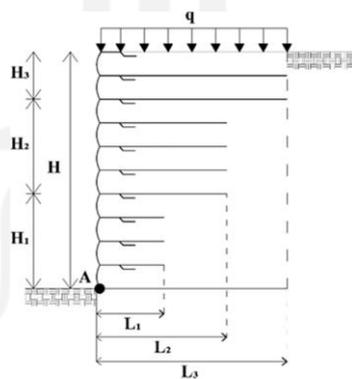
$$M_{\text{beban}} = E_q \cdot Lengan \quad (3.25)$$

Keterangan:

$M_{\text{beban}}$  = momen akibat beban terhadap titik A (kN.m),

$E_q$  = gaya aktif akibat beban (kN).

Berikut ini tinjauan stabilitas terhadap gaya guling dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini.



**Gambar 3. 10 Tinjauan Stabilitas Terhadap Guling**

(Sumber: Suryolelono, K.B., 1993)

## 2) Gaya Pasif

Persamaan untuk menghitung gaya pasif dapat dilihat pada Persamaan 3.26 dan Persamaan 3.27 untuk menghitung lengan gaya pasif seperti

berikut.

$$W = L_i \cdot H_i \cdot \gamma \quad (3.26)$$

dan

$$Lengan = \frac{L_i}{2} \quad (3.27)$$

Keterangan:

$W$  = gaya pasif (kN),

$L_i$  = panjang geotekstil lapisan ke-I (m),

$H_i$  = tinggi tanah pada masing-masing zona (m),

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

Sehingga momen pasif terhadap titik A dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.28 berikut.

$$M_p = W_i \cdot Lengan \quad (3.28)$$

Keterangan:

$M_p$  = momen pasif (kN.m),

$W_i$  = gaya pasif pada zona ke-i (kN).

Sehingga stabilitas timbunan terhadap guling dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.29 berikut.

$$SF = \frac{\sum M_p}{\sum M_A} > 1,5 \quad (3.29)$$

Keterangan:

$SF$  = faktor aman,

$\sum M_p$  = jumlah momen pasif (kN.m),

$\sum M_A$  = jumlah momen aktif (kN.m).

b. Stabilitas terhadap geser

1) Gaya yang melawan

Persamaan untuk menghitung gaya yang melawan dapat dilihat pada Persamaan 3.30 berikut ini.

$$F = [ Cg + \frac{W_{total}}{1g} \cdot \tan \delta ] 1g \quad (3.30)$$

Keterangan:

- F = gaya yang melawan (kN),  
 $C_g$  = lekatan antara geotekstil dan tanah dasar pondasi  
 $W_{total}$  = total gaya pasif (kN),  
 $\delta$  =  $^2 \varphi$  ( $\varphi$  sudut geser dalam dari tanah dasar pondasi),  
 $l_g$  = panjang geotekstil paling bawah (m).

## 2) Gaya yang mendorong

Persamaan untuk menghitung gaya yang mendorong dapat dilihat pada Persamaan 3.31 berikut.

$$E = E_a + E_q \quad (3.31)$$

Keterangan:

- E = gaya yang mendorong (kN)  
 $E_a$  = gaya aktif akibat tanah (kN)  
 $E_q$  = gaya aktif akibat beban (kN)

Sehingga stabilitas timbunan terhadap geser dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.32 berikut.

$$SF = \frac{F}{E} > 1,5 \quad (3.32)$$

Keterangan:

- SF = faktor aman terhadap geser,  
F = gaya yang melawan (kN).  
E = gaya yang mendorong (kN).

c. Stabilitas terhadap kuat dukung yang terjadi

Perhitungan stabilitas terhadap kuat dukung ini didasarkan pada beban yang bekerja di atasnya.

1) Kuat dukung ijin

Berikut ini Persamaan 3.33 untuk menghitung kuat dukung ijin tanah.

$$\sigma_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot L \cdot N_\gamma \quad (3.33)$$

Keterangan:

$\sigma_{ult}$	= kuat dukung ijin (kN/m <sup>2</sup> ),
$c$	= kohesi tanah(kN/m <sup>2</sup> ),
$N_c, N_q, N_\gamma$	= faktor daya dukung tanah Terzaghi,
$\gamma$	= berat volume tanah(kN/m <sup>3</sup> ),
$L$	= panjang geotekstil (m).

2) Kuat dukung yang terjadi

Berikut ini Persamaan 3.34 untuk menghitung kuat dukung yang terjadi.

$$\sigma_{terjadi} = H \cdot \gamma + q \quad (3.34)$$

Keterangan:

$\sigma_{terjadi}$	= kuat dukung yang terjadi (kN/m <sup>2</sup> ),
$H$	= tinggi tanah timbunan (m),
$\gamma$	= berat volume tanah (kN/m <sup>3</sup> ),
$q$	= beban yang bekerja di atas timbunan (kN/m).

Sehingga stabilitas timbunan terhadap kuat dukung dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.35 berikut ini.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{\sigma_{terjadi}} > 1,5 \quad (3.35)$$

Keterangan:

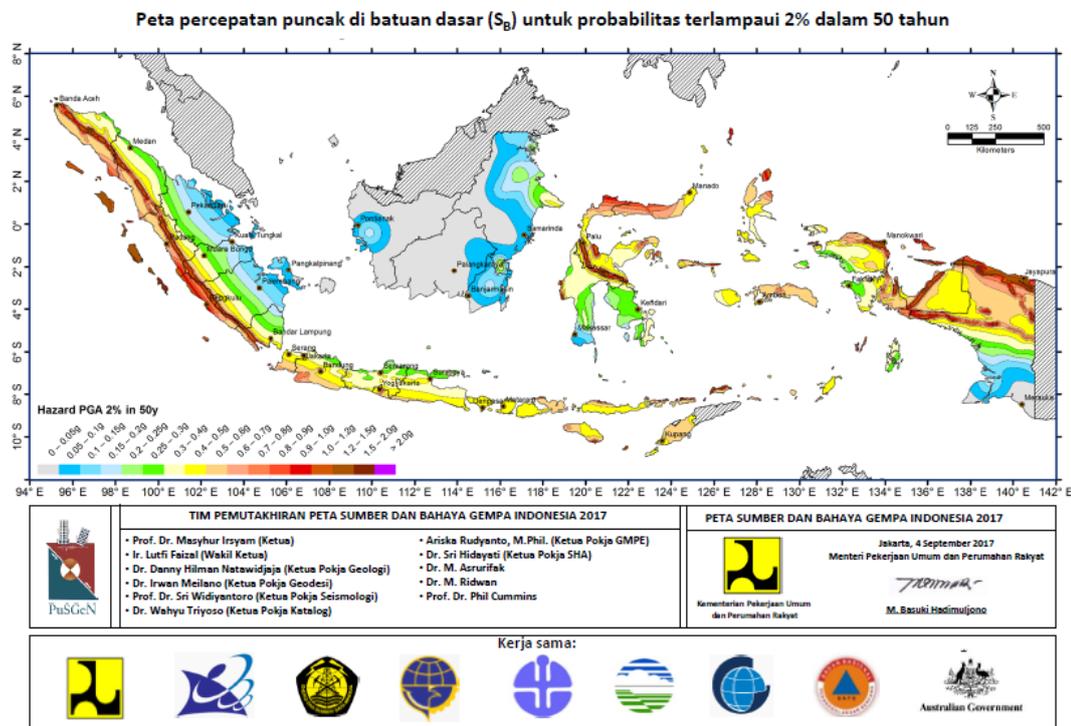
SF = faktor aman terhadap kuat dukung,

$\sigma_{ult}$  = kuat dukung ijin ( $\text{kN/m}^2$ ),

$\sigma_{terjadi}$  = kuat dukung yang terjadi ( $\text{kN/m}^2$ ).

### 3.5. Beban Gempa

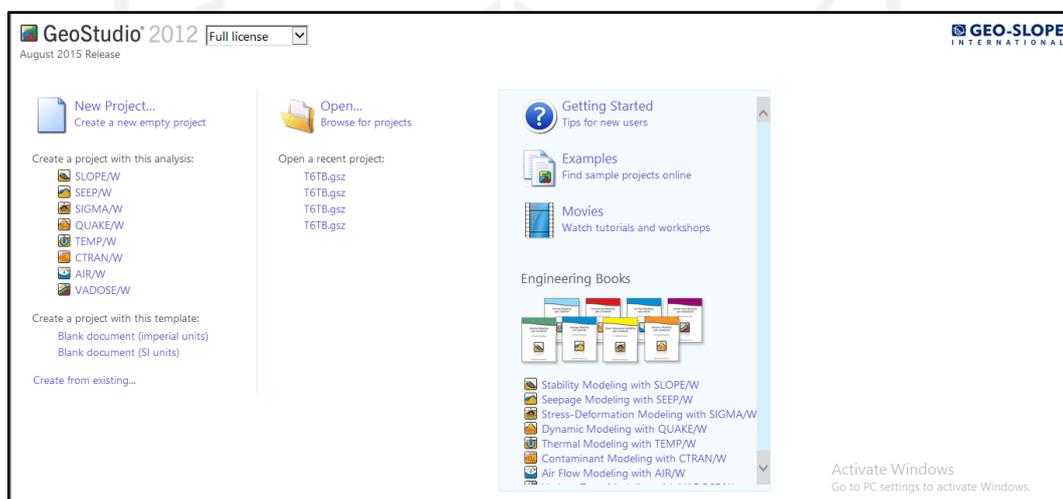
Pengaruh beban gempa diperhitungkan jika lereng galian atau timbunan direncanakan dibangun di dekat area pemukiman atau dibangun dengan kriteria kepentingan strategis yaitu dengan kondisi tidak boleh mengalami keruntuhan atau terputusnya lajur transportasi setelah terjadi gempa rencana. Gempa rencana untuk lereng galian dan timbunan ditetapkan dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur rencana 50 tahun adalah 2% atau setara dengan periode ulang 500 tahun dengan mengacu pada peta gempa yang terdapat pada surat edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 12/SE/M/2010.



**Gambar 3. 11 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun.**

### 3.6. Program GeoStudio 2012

*Geostudio Office* adalah aplikasi untuk pemodelan geoteknik dan geolingkungan. Software *geostudio* melingkupi *SLOPE / W*, *SEEP / W*, *SIGMA / W*, *QUAKE / W*, *TEMP / W*, dan *CTRAN / W*. Yang sifatnya terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke dalam produk yang lain. Ini unik dan fitur yang kuat sangat memperluas jenis masalah yang dapat dianalisis dan memberikan fleksibilitas untuk memperoleh modul seperti yang dibutuhkan untuk proyek yang berbeda.



**Gambar 3. 12 Tampilan GeoStudio 2012**

*SLOPE / W* merupakan produk perangkat lunak untuk menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan. Dengan *SLOPE / W*, kita dapat menganalisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekanan pori-air, sifat tanah dan beban terkonsentrasi. Kita dapat menggunakan elemen tekanan pori air yang terbatas, tegangan statis, atau tekanan dinamik pada analisis kestabilan lereng. Anda juga dapat melakukan analisis probabilistik.

*SIGMA / W* adalah salah satu software yang digunakan untuk menganalisis tekanan geoteknik dan masalah-masalah deformasi. Dengan *SIGMA / W*, kita dapat mempertimbangkan analisis mulai dari masalah deformasi sederhana hingga

masalah tekanan-efektif lanjutan secara bertahap dengan menggunakan model konstitutif tanah seperti linier-elastis, anisotropik linier-elastis, nonlinier-elastis (hiperbolik), elastis-plastik atau Cam-clay.



## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

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

Metode penelitian adalah tata cara yang dilakukan oleh peneliti yang bertujuan untuk mengumpulkan informasi atau data serta melakukan investigasi terhadap data yang telah didapatkan. Metode penelitian ini harus dilakukan sesuai dengan rumusan masalah yang telah dibuat dan nantinya akan didapatkan hasil dari identifikasi, analisis dan mengolah data dari rumusan masalah tersebut. Penelitian yang akan dilakukan ini yaitu analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil pada proyek Jalan Tol Balikpapan - Samarinda.

Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis stabilitas internal dan eksternal pada lereng dengan menggunakan program *Geostudio* , kemudian didapatkan output berupa nilai *Safety Factor* dan nilai *displacement*. Kestabilan lereng pada Proyek Jalan Tol Balikpapan - Samarinda menggunakan perkuatan dengan bahan geosintetik jenis geotekstil serta dikombinasikan dengan berm. Dari analisis tersebut, manan (*safety f* diharapkan dapat menentukan kondisi mana yang menghasilkan faktor keaactor) paling baik, sehingga pada perencanaan perkuatan stabilitas lereng dapat dijadikan sebagai acuan untuk kondisi tanah dan nilai pembebanan tertentu.

#### **4.2. Tahapan Penelitian**

Dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa proses tahapan penelitian, diantaranya yaitu sebagai berikut.

1. Tahap pengumpulan data yang meliputi tahap pengambilan data tanah dan data lereng (data uji lapangan dan laboratorium) yang dibutuhkan untuk analisis dari Tugas Akhir analisis stabilitas timbunan tanah pada proyek jalan tol Balikpapan-Samarinda STA 2+300,
2. Tahap pengolahan data *software* dan analisis, pada tahapan ini data yang telah

didapatkan kemudian akan diolah untuk melakukan analisis stabilitas timbunan badan jalan dan di *input* kedalam *software Geostudio* dengan variasi permodelan yaitu kondisi timbunan tanah asli, timbunan tanah asli dengan geotekstil. Setelah itu, dilakukan analisis secara manual sebagai perbandingan dan koreksi terhadap pengolahan data menggunakan *software*.

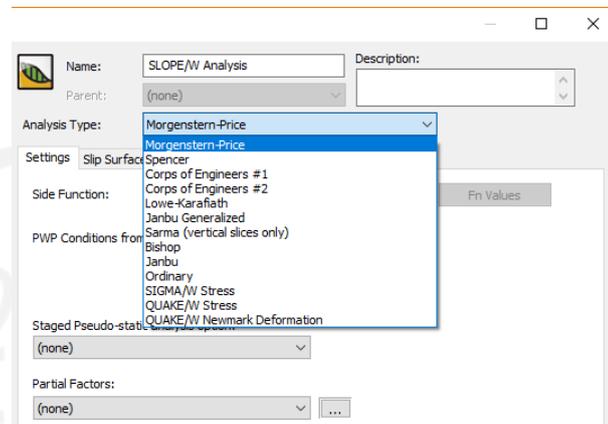
Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan, tahap ini akan dilakukan penulisan kedalam laporan yang berisi hasil-hasil yang telah didapatkan dari tahapan analisis, kemudian akan dihasilkan solusi dari masalah-masalah yang timbul dan diambil kesimpulan berdasarkan teori yang ada.

### 4.3. Analisis Data

Metode analisis data adalah metode atau cara yang digunakan untuk menyederhanakan dan mempermudah dalam memahami data yang diperoleh. Data yang didapatkan kemudian dianalisis berdasarkan tahap pengerjaannya. Adapun tahap pengerjaan yang dilakukan adalah sebagai berikut ini.

1. Tahap pertama  
Tahap pertama merupakan tahapan pemodelan kondisi stabilitas lereng asli.
2. Tahap kedua  
Tahap kedua merupakan tahapan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan aplikasi *SLOPE/W* untuk mendapatkan nilai angka aman (*SF*) lereng asli sebelum dan sesudah diberi perkuatan geotekstil.
3. Pemodelan menggunakan *SLOPE/W* versi 2012.  
Tahapan mengoperasikan program *SLOPE/W* akan dimodelkan dengan setengah bagian timbunan (*half sine function*) serta material *Mohr Coloumb*.
  - a. Pengaturan awal analisis.  
Pengaturan awal yang dilakukan adalah pada *KeyIn Analysis*, pengaturan tersebut untuk menentukan pengaturan dalam menganalisis stabilitas kelongsoran lereng. Berikut ini langkah-langkah pengaturannya.
    - 1) Menentukan Metode Analisis (*Analysis Type*)  
Pada program *SLOPE/W* ada beberapa jenis metode analisis lereng,

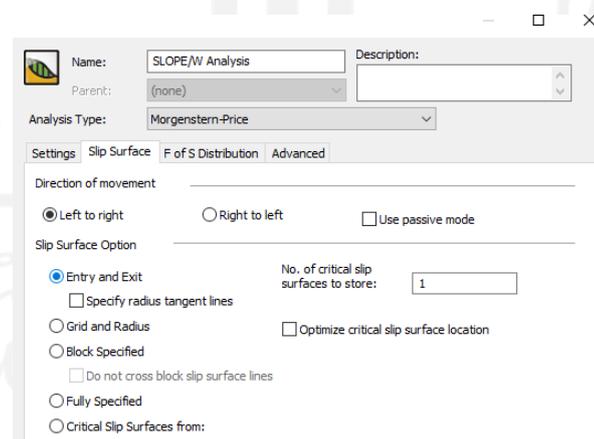
seperti *Morgenstern-Price*, *Spencer*, *Bishop*, *Janbu Generalized*, *Janbu*, *Sarma* dan *Ordinary* seperti pada Gambar 4.1 di bawah ini.



**Gambar 4. 1 Tampilan Penentuan Metode Analisis**

## 2) Menentukan Bidang Longsor (Slip Surface Option)

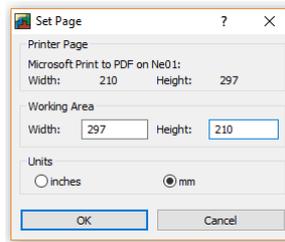
Pada pengaturan ini untuk arah kelongsoran dapat ditentukan sesuai dengan keinginan, baik dari arah kanan maupun arah kiri. Bidang longsor dapat ditentukan dengan memilih Entry and Exit, seperti pada Gambar 4.2 berikut ini.



**Gambar 4. 2 Tampilan Penentuan Bidang Longsor**

## 3) Pengaturan Kertas Kerja

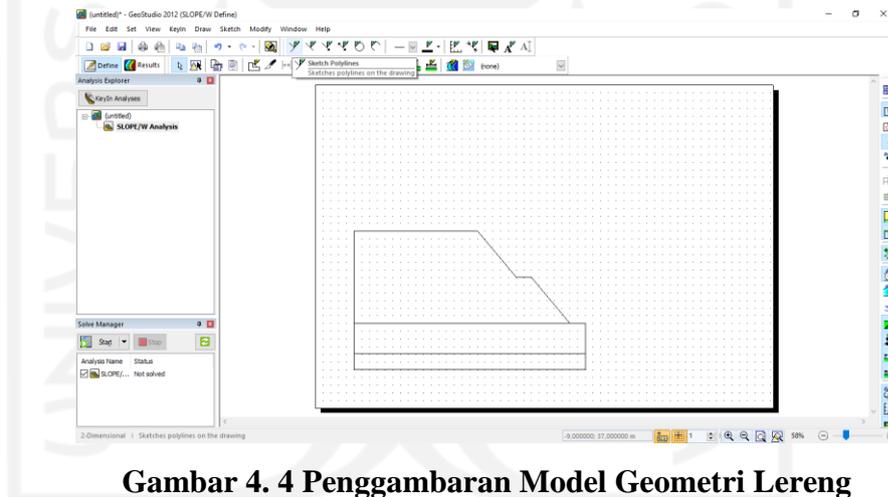
Bagian ini bertujuan untuk mengatur ukuran kertas dan mencetak hasil analisis. Klik Set pada toolbar, lalu klik Page seperti pada Gambar 4.3 di bawah ini.



**Gambar 4. 3 Tampilan Pengaturan Kertas Kerja**

b. Membuat sketsa gambar.

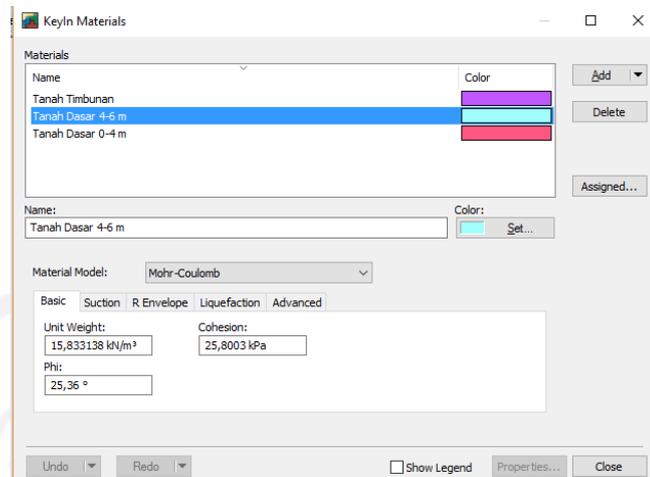
Langkah ini sangat penting dan harus benar dalam pelaksanaannya untuk sketsa gambar timbunan yang sesuai dengan perencanaan. Klik *Sketch Polylines* pada *toolbar*, lalu ketik angka koordinat dengan format (X;Y) seperti pada Gambar 4.4 berikut.



**Gambar 4. 4 Penggambaran Model Geometri Lereng**

c. Mendefinisikan parameter tanah.

Parameter tanah yang dimasukkan adalah berat isi tanah ( $\gamma$ ), kohesi ( $c$ ), dan sudut geser ( $\phi$ ). Sebelum data parameter tanah dimasukkan, satuannya harus disamakan terlebih dahulu dengan satuan yang terdapat pada program SLOPE/W. Klik KeyIn pada toolbar, lalu klik Materials, lalu akan muncul jendela KeyIn Materials dan klik Add. Isikan nama material, lalu pilih Material Model dengan Mohr-Coloumb seperti Gambar 4.5 di bawah ini.



**Gambar 4. 5 Tampilan Parameter Tanah**

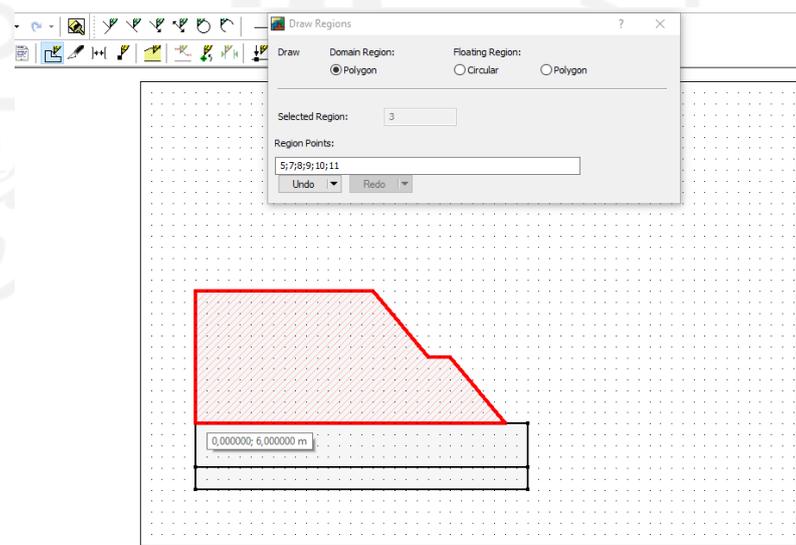
d. Menentukan parameter tanah tiap lapisan

Selanjutnya menentukan parameter tanah ke masing-masing lapisan tanah.

Ada dua tahap untuk menentukan parameter tanah, yaitu:

1) Menggambarkan Batas Lapisan Tanah.

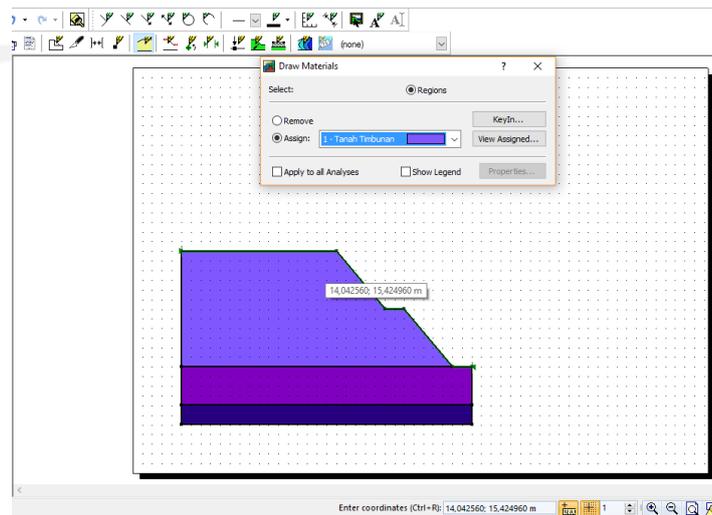
Garis batas pada tiap lapisan tanah digambar sesuai dengan koordinat seperti pada gambar di atas. Klik *Draw Regions* pada *toolbar*, lalu ketik angka koordinat dengan format (X;Y) seperti pada Gambar 4.6 berikut ini.



**Gambar 4. 6 Pemodelan Batas Lapisan Tanah**

## 2) Memilih Parameter Tanah.

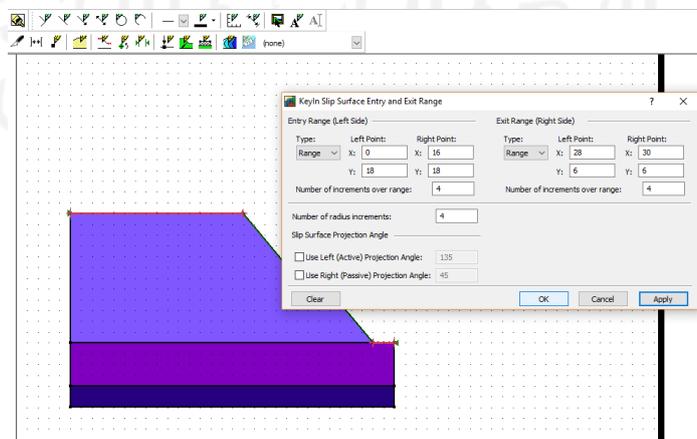
Memilih parameter tanah sesuai dengan lapisan tanah dengan klik Draw Materials, lalu pilih jenis material dan klik pada lapisan tanah yang akan dipilih seperti pada Gambar 4.7 berikut.



**Gambar 4. 7 Penentuan Parameter Tanah Tiap Lapisan**

## e. Menggambar *Entry and Exit* bidang longsor.

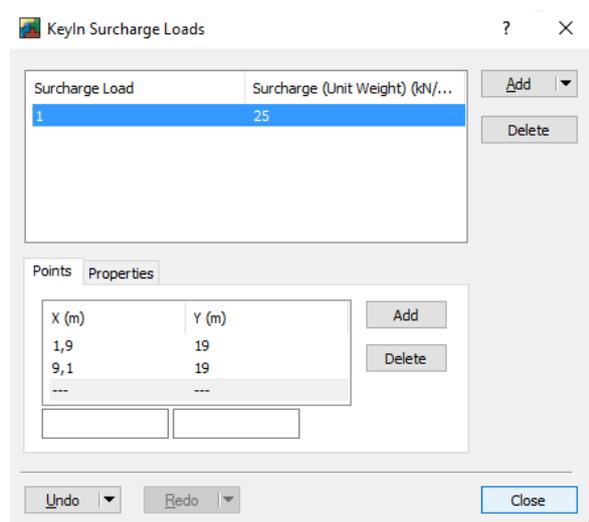
Penggambaran bidang longsor merupakan langkah untuk memvisualisasikan lokasi pada bagian mana longsor akan terjadi dengan cara klik *KeyIn* pada *toolbar*, lalu pilih *Slip Surface*, lalu klik *Entry and Exit* dan masukkan koordinatnya seperti contoh pada Gambar 4.8 berikut ini.



**Gambar 4. 8 Penggambaran Letak Bidang Longsor**

f. Menggambar beban merata

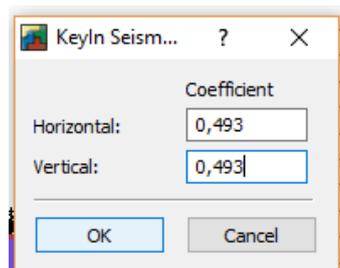
Pada penggambaran beban merata ini perlu dimasukkan berat beban yang bekerja di atas tanah timbunannya, lalu gambar sesuai dengan dimensi yang telah direncanakan dengan cara klik *KeyIn* pada *toolbar*, lalu pilih *Surcharge Loads*, kemudian klik *Add* dan tentukan koordinat letak beban merata, lalu masukkan nilai berat bebannya seperti Gambar 4.9 di bawah ini.



**Gambar 4. 9 Penggambaran Beban Merata**

g. Memasukkan nilai beban gempa

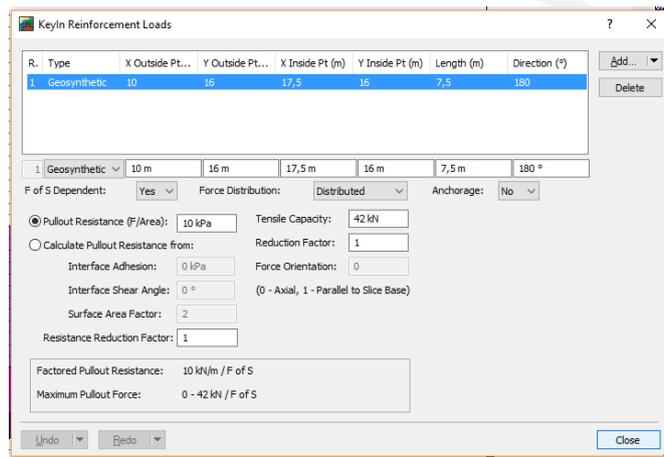
Beban gempa yang dimasukkan adalah koefisien gempa arah horizontal dan vertikal berdasarkan percepatan gempa pada daerah yang ditinjau dari web [www.puskim.pu.go.id](http://www.puskim.pu.go.id). Selanjutnya klik *KeyIn* pada *toolbar*, lalu pilih *Seismic Loads*, lalu isikan koefisien gempa seperti pada Gambar 4.10 berikut.



**Gambar 4. 10 Jendela Beban Gempa**

#### h. Menggambar perkuatan geotekstil

Penggambaran geotekstil membutuhkan data kuat tarik geotekstil yang dikeluarkan oleh produsen geotekstil tersebut dan selanjutnya masukkan koordinat peletakkan geotekstil dan panjangnya seperti pada Gambar 4.11 berikut



**Gambar 4. 11 Penggambaran Perkuatan**

#### i. Menghitung angka aman.

Menghitung angka aman pada program *SLOPE/W* dilakukan dengan cara klik *Start* pada *menu bar* pada bagian kiri halaman yang bernama *Solve Manager*, lalu akan muncul nilai angka aman pada lereng yang telah ditinjau sebelumnya .

#### 4. Perhitungan Kebutuhan Geotekstil

Analisis yang dilakukan pada perhitungan geotekstil ini meliputi:

##### a. Jarak vertikal geotekstil

Jarak vertikal antar lapis geotekstil.

##### b. Stabilitas internal

Perhitungan stabilitas internal dilakukan pada timbunan dengan penambahan perkuatan geotekstil untuk mendapatkan panjang dari geotekstil.

##### c. Stabilitas eksternal.

Perhitungan stabilitas eksternal dilakukan pada timbunan dengan

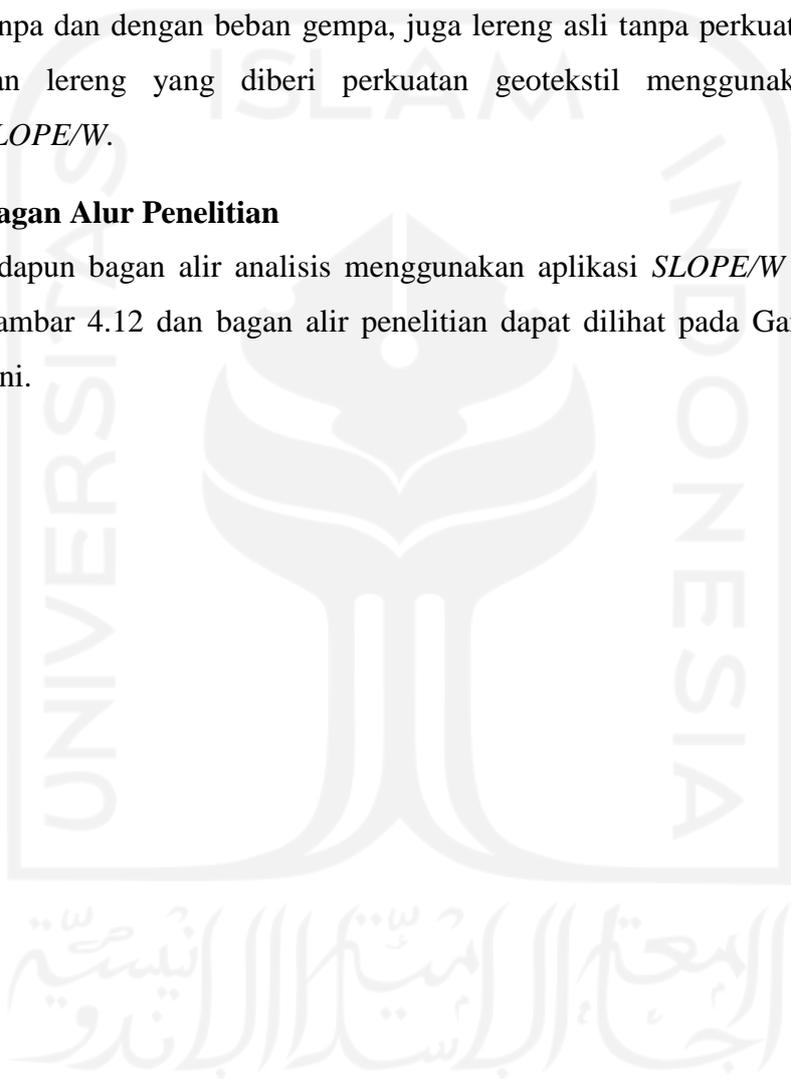
penambahan kekuatan geotekstil untuk mendapatkan panjang efektif dan *overlapping*.

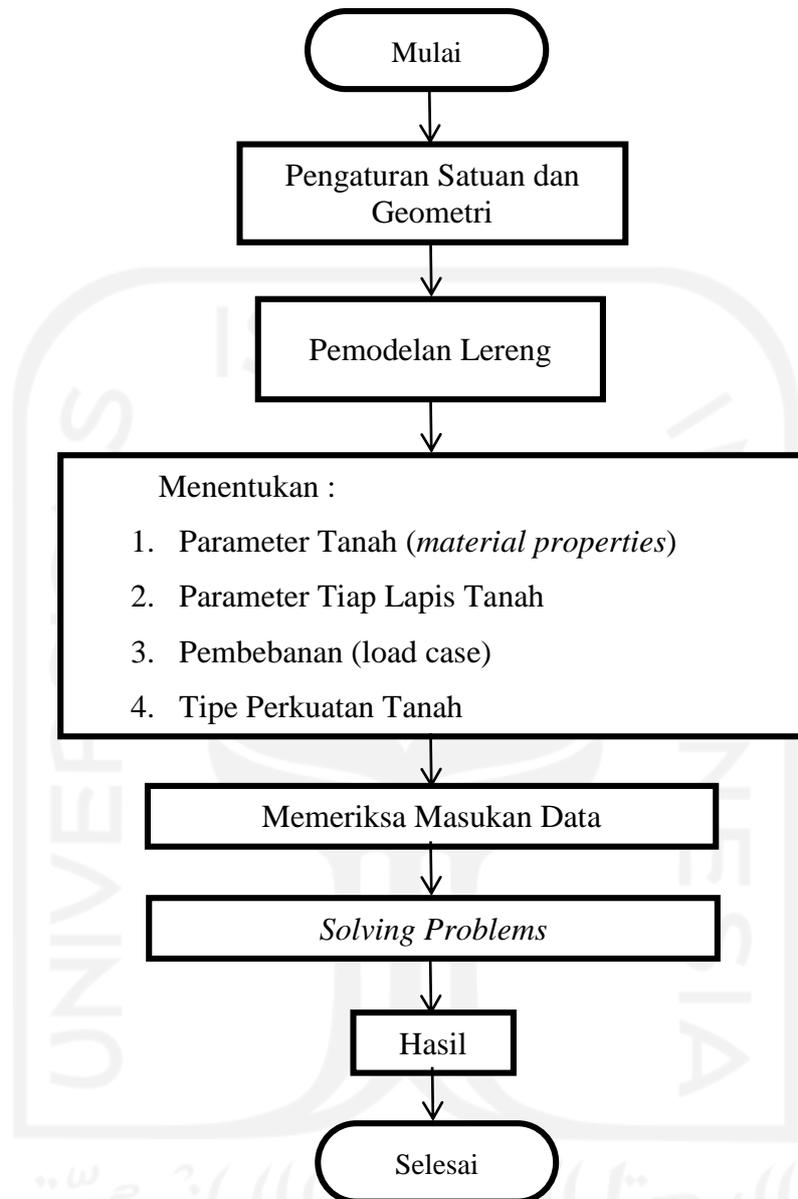
#### 5. Pembahasan

Pembahasan dan penelitian ini berisi tentang hasil analisis stabilitas lereng tanpa dan dengan beban gempa, juga lereng asli tanpa kekuatan geotekstil dan lereng yang diberi kekuatan geotekstil menggunakan program *SLOPE/W*.

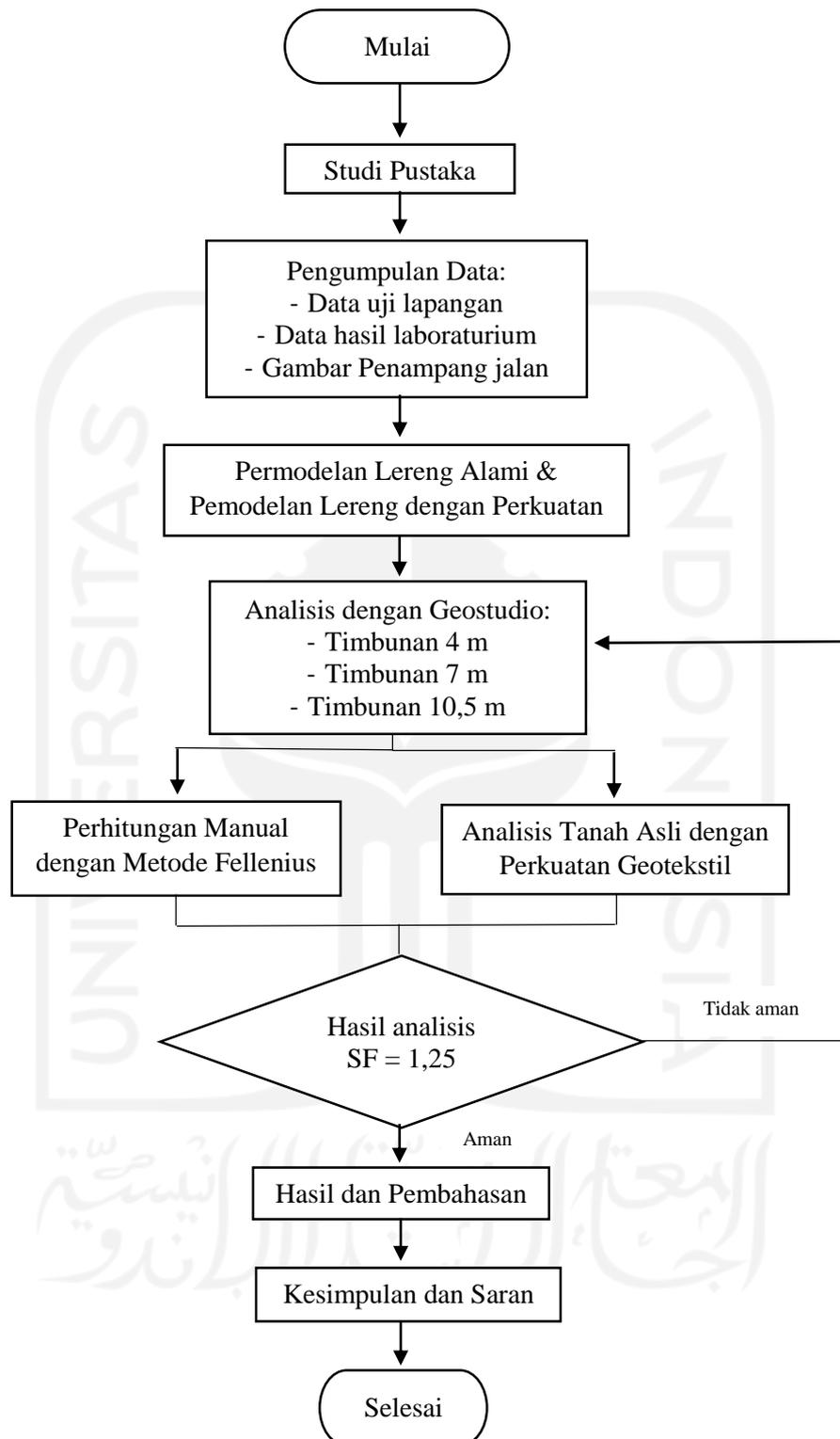
#### 4.4. Bagan Alur Penelitian

Adapun bagan alir analisis menggunakan aplikasi *SLOPE/W* dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.13 di bawah ini.





**Gambar 4. 12** Bagan Alir Perhitungan dengan Aplikasi SLOPE/W



**Gambar 4. 13 Bagan Alir Penelitian**

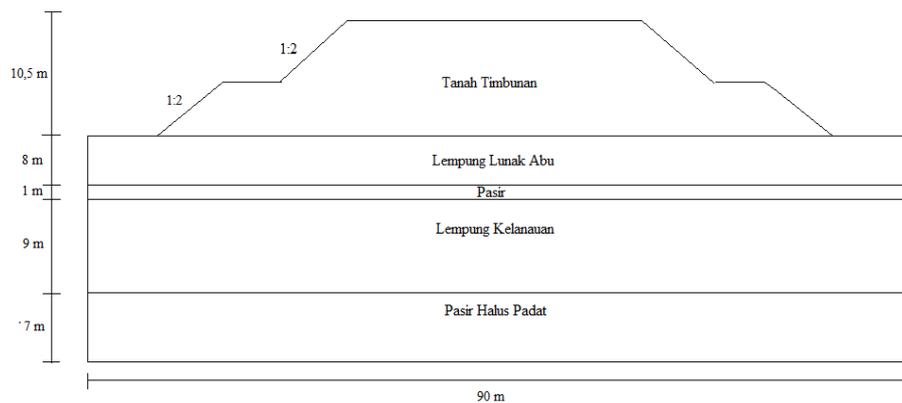


**Tabel 5.1 Data Parameter pada Tanah**

Nama	Satuan	Timbunan Pilihan	Pasir Halus Padat	Lempung Kelanauan	Pasir	Lempung Lunak Abu
Simbol	-	C	S	C	S	C
Jenis	-	Undrained	Drained	Undrained	Drained	Undrained
$\gamma$ unsat	kN/m <sup>3</sup>	16,6	19	15	13	13
$\gamma$ sat	kN/m <sup>3</sup>	17,6	20	16	14	14
Eref	kN/m <sup>2</sup>	25000	24000	8900	9280	2700
$\nu$		0,3	0,3	0,25	0,3	0,25
C	kN/m <sup>2</sup>	40	5	42	5	18
$\phi$	°	20	46,83	5	32,96	2
Kedalaman	m		(18-25)	(9-18)	(8-9)	(0-8)

(Sumber: PT. Pembangunan Perumahan, 2017)

Berdasarkan data parameter tanah tersebut maka jika diplot pada timbunan akan seperti Gambar 5.2 berikut ini.

**Gambar 5.2 Lapis Tanah pada Timbunan**

## 5.2. Data Beban Lalu Lintas dan Struktur

Data perkerasan yang digunakan adalah 10 kN/m<sup>2</sup> yang diperoleh dari data sekunder. Sementara beban lalu lintas yang digunakan sebesar 15 kN/m<sup>2</sup>. karena jalan tol Balikpapan – Samarinda termasuk dalam kelas jalan primer arteri berdasarkan Tabel 5.2 berikut ini

**Tabel 5.2 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
	Kolektor	>6000	12
		<6000	10
	Lokal	>500	10
		<500	10

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum tahun, 2009)

### 5.3. Data Beban Gempa

Pulau Kalimantan adalah pulau di Indonesia yang relatif paling aman dari ancaman gempa bumi. Meskipun demikian, faktor beban gempa akan tetap dimasukkan dalam analisis guna memperoleh hasil yang sekomprensif mungkin. Pada peta zonasi gempa yang diperoleh dari peta gempa 2017 maka diperoleh nilai PGA dari website puskim sebesar 0,0617 g.

Results: Tabel dibawah ini merupakan Parameter untuk membuat Grafik Desain Spektra Indonesia:

Kelas	T <sub>0</sub> (detik)	T <sub>s</sub> (detik)	S <sub>d</sub> (g)	S <sub>d1</sub> (g)
SBC - Batuan	0.14	0.71	0.07	0.05

Rentang T(s) Value: 6 Save

PGA MCEG: 0.0617 (g) bedrock

SS MCEr: 0.1167 (g) bedrock

S1 MCEr: 0.0959 (g) bedrock

TL: 16 Detik

**Gambar 5.3 Nilai PGA di lokasi Penelitian**

(Sumber : <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/>)

### 5.4. Data Geotekstil

Sementara geotekstil yang digunakan adalah produk dari PT.Teknindo Geosistem Unggul. Data Geotekstil yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini

Tabel 5.3 Data Geotekstil

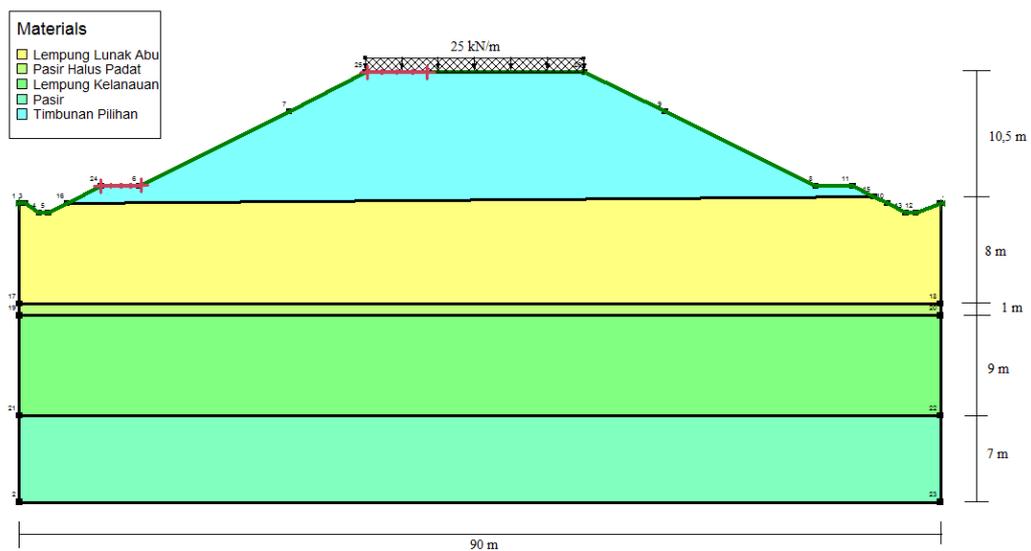
Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	T	52	kN/m
Regangan	$\epsilon$	20	%
Kekuatan Normal	EA	260	kN/m

### 5.5. Analisis Stabilitas Timbunan Asli Tanpa Tambahan Perkuatan dengan GeoStudio.

Langkah pertama yang dilakukan adalah mencari Safety Factor dari timbunan tanah asli tanpa tambahan perkuatan dan mencari bentuk bidang longsor dari timbunan tanah asli dengan menggunakan program SLOPE/W. Analisis yang ditampilkan dibawah ini adalah timbunan dengan tinggi 4m, 7m dan 10,5m. Berikut ini hasil analisis stabilitas timbunan tanah asli tanpa perkuatan.

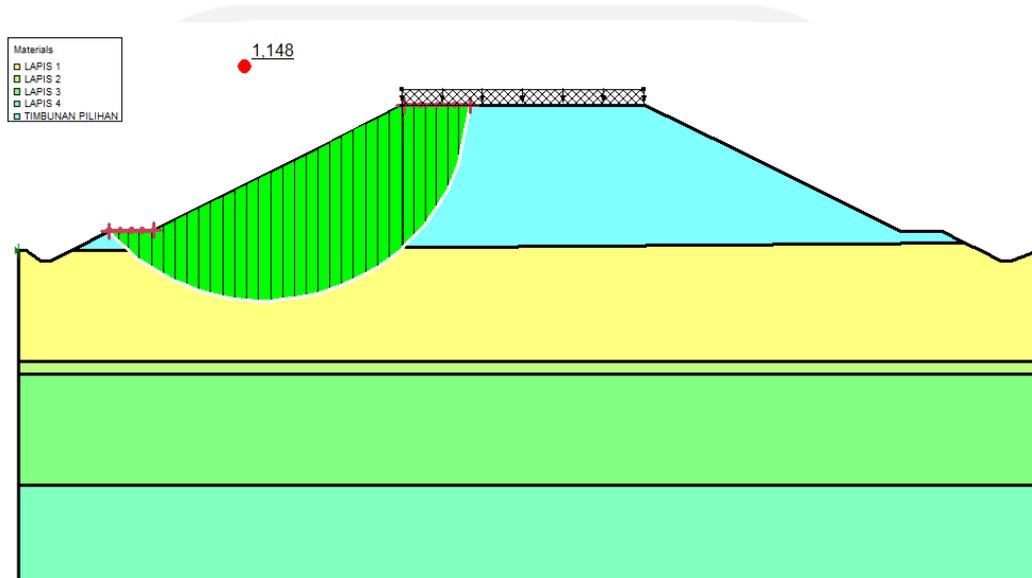
#### 5.6.1. Analisis Stabilitas Lereng 10,5 meter

Pemodelan awal timbunan menggunakan data potongan melintang jalan dan data parameter tanah yang diperoleh. Pemodelan meliputi geometri timbunan, properti tanah, beban merata sebesar 25 kN/m akibat beban struktur dan beban lalu lintas.



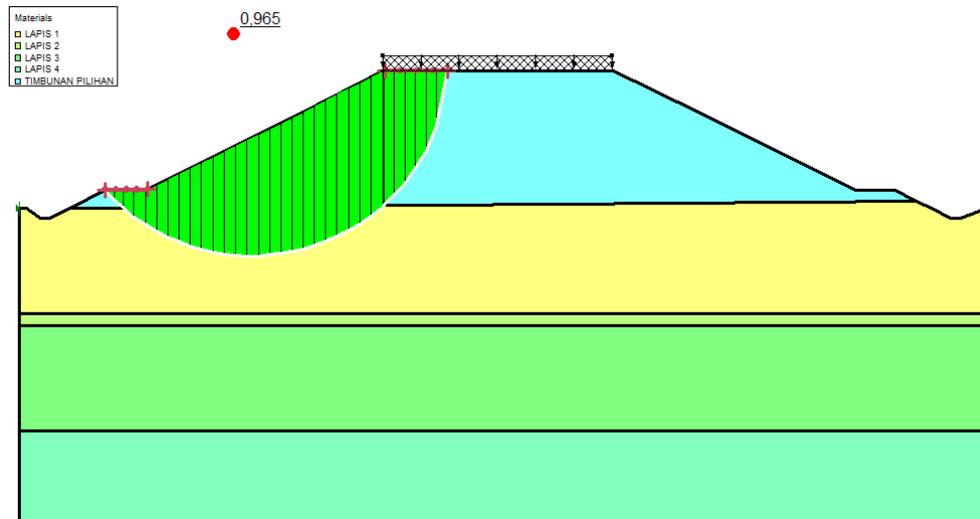
Gambar 5.4 Pemodelan Timbunan 10,5 meter

Setelah selesai melakukan pemodelan maka dilakukan tahapan perhitungan dengan menggunakan program *SLOPE/W* dengan tidak mempertimbangkan beban gempa. Angka keamanan terhadap kelongsoran metode *Fellenius* pada lereng sebesar 1,148. Berikut adalah hasil analisis menggunakan metode *Fellenius* pada program *SLOPE/W* seperti pada Gambar 5.5 berikut.



**Gambar 5.5 Hasil Analisis Lereng Timbunan 10,5 m Tanpa Perkuatan Geotekstil dan Tanpa Beban Gempa**

Setelah dilakukan analisis dengan tidak mempertimbangkan beban gempa selanjutnya dilakukan tahapan perhitungan dengan menggunakan program *SLOPE/W* dengan mempertimbangkan beban gempa. Angka keamanan terhadap kelongsoran metode *Fellenius* pada lereng sebesar 0,965. Berikut adalah hasil analisis menggunakan metode *Fellenius* pada program *SLOPE/W* dengan mempertimbangkan beban gempa seperti pada Gambar 5.6 berikut

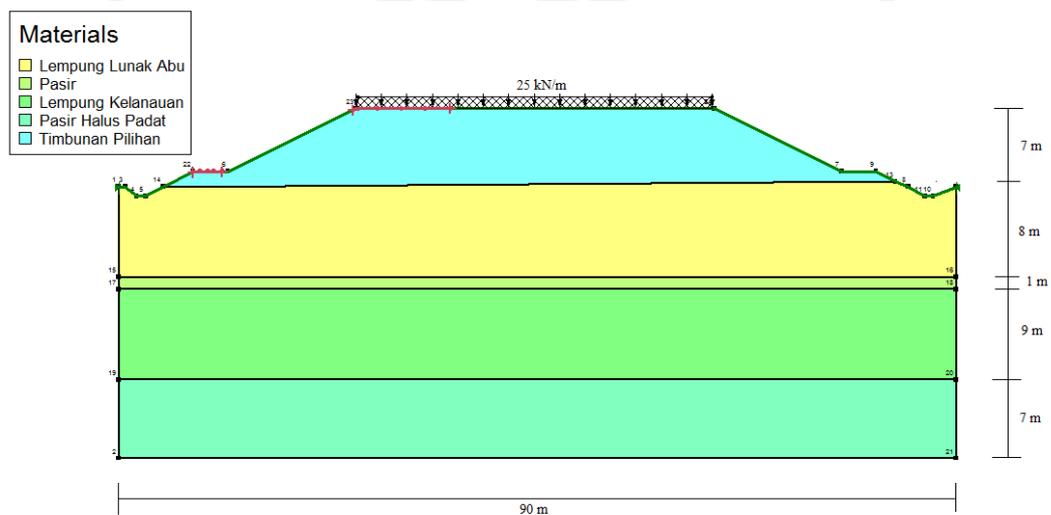


**Gambar 5.6 Hasil Analisis Lereng Timbunan 10,5 m Tanpa Perkuatan Geotekstil dengan Beban Gempa**

Dari hasil analisis didapatkan kondisi tidak aman baik tanpa gempa maupun dengan pengaruh beban gempa sehingga timbunan 10,5 m perlu dilakukan perkuatan dengan menggunakan geotekstil.

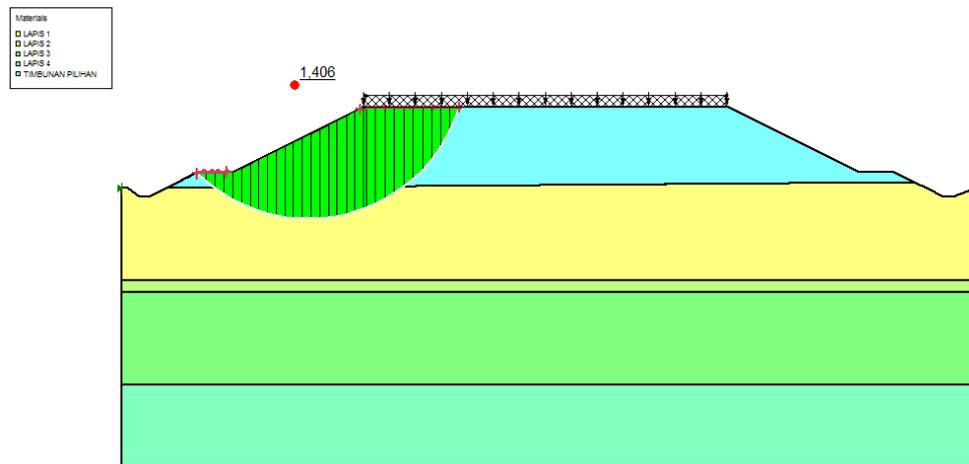
### 5.6.2. Analisis Stabilitas Lereng Timbunan 7 meter

Pemodelan selanjutnya adalah timbunan 7 m, model timbunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.



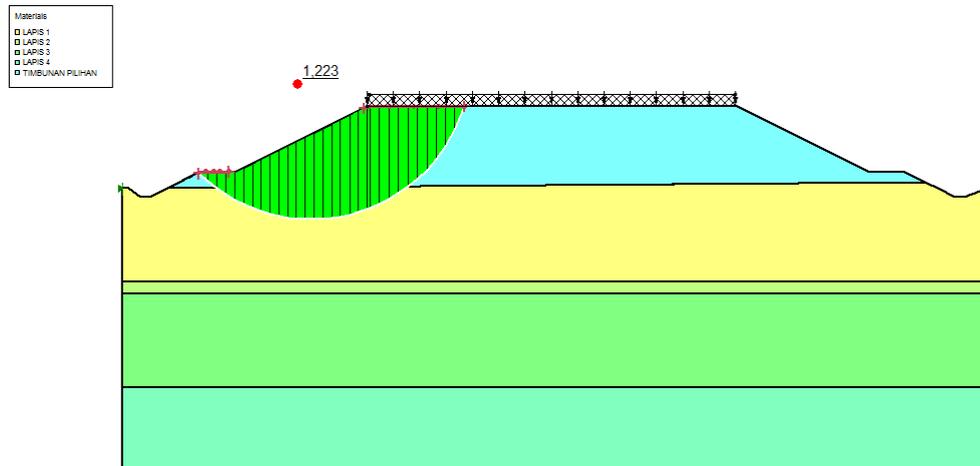
**Gambar 5.7 Pemodelan Timbunan 7 meter**

Setelah selesai melakukan pemodelan maka dilakukan tahapan perhitungan dengan menggunakan program *SLOPE/W* dengan tidak mempertimbangkan beban gempa. Angka keamanan terhadap kelongsoran metode *Fellenius* pada lereng sebesar 1,408. Berikut adalah hasil analisis menggunakan metode *Fellenius* pada program *SLOPE/W* seperti pada Gambar 5.8 berikut.



**Gambar 5.8 Hasil Analisis Lereng Timbunan 7 m Tanpa Perkuatan Geotekstil**

Setelah dilakukan analisis dengan tidak mempertimbangkan beban gempa selanjutnya dilakukan tahapan perhitungan dengan menggunakan program *SLOPE/W* dengan mempertimbangkan beban gempa. Angka keamanan terhadap kelongsoran metode *Fellenius* pada lereng sebesar 1,223. Berikut adalah hasil analisis menggunakan metode *Fellenius* pada program *SLOPE/W* dengan mempertimbangkan beban gempa seperti pada Gambar 5.9 berikut

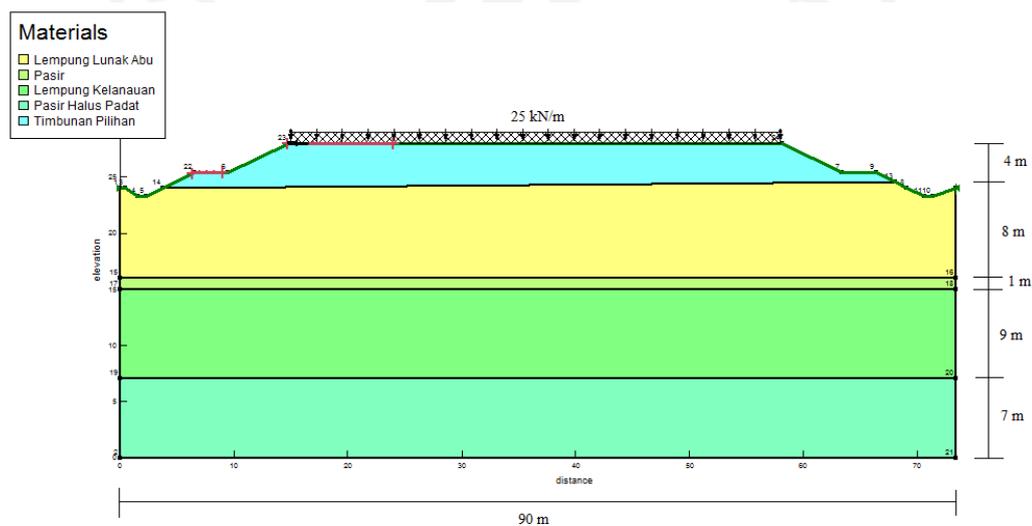


**Gambar 5.9 Hasil Analisis Lereng Timbunan 7 m Tanpa Perkuatan Geotekstil dengan Beban Gempa**

Dari hasil analisis didapatkan kondisi aman baik tanpa gempa maupun dengan pengaruh beban gempa sehingga timbunan 7 m perlu tidak perlu perkuatan dengan menggunakan geotekstil.

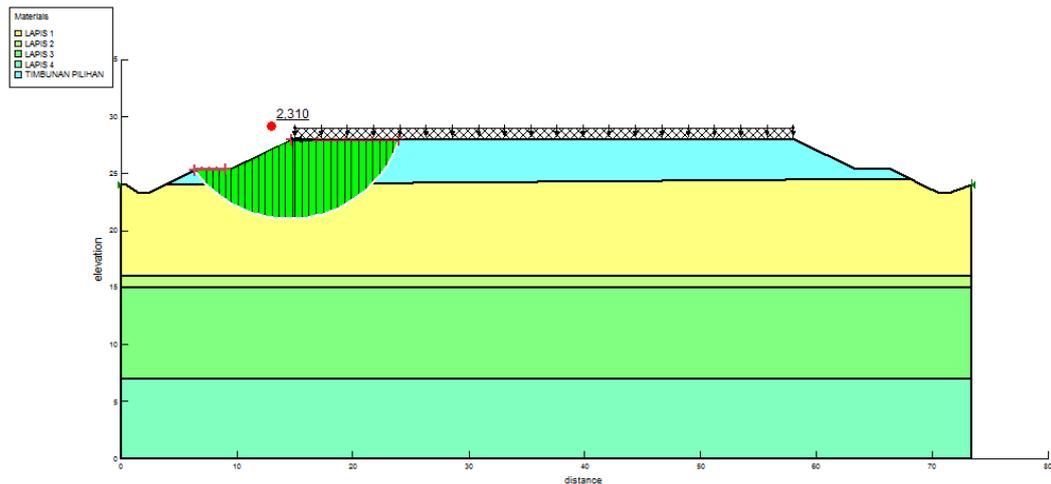
### 5.6.3. Analisis Stabilitas Lereng Timbunan 4 meter

Pemodelan selanjutnya adalah timbunan 4 m, model timbunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut ini.



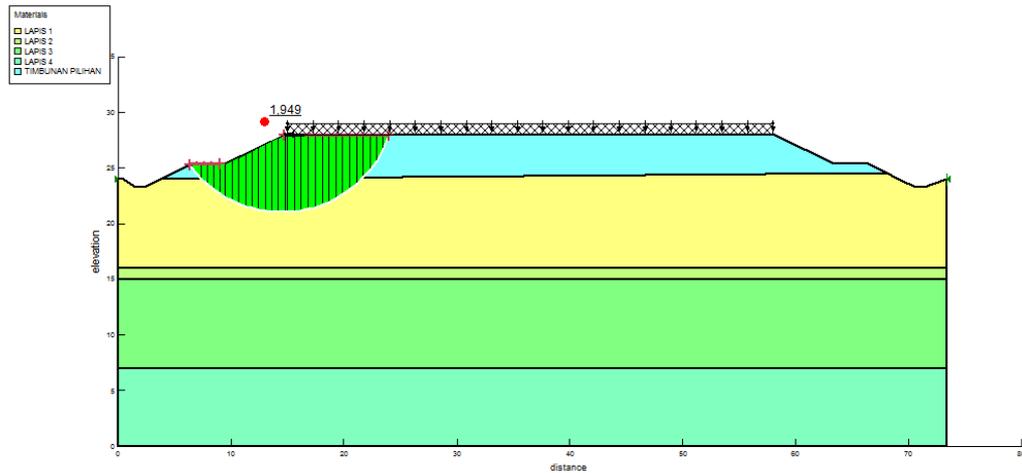
**Gambar 5.10 Pemodelan Timbunan 4 meter**

Sementara analisis stabilitas timbunan dengan tinggi 4 m didapat angka keamanan terhadap kelongsoran pada lereng sebesar 2,310. Berikut adalah hasil analisis menggunakan metode *Fellenius* pada program *SLOPE/W* seperti pada Gambar 5.11 berikut.



**Gambar 5.11 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Geotekstil**

Setelah dilakukan analisis dengan tidak mempertimbangkan beban gempa selanjutnya dilakukan tahapan perhitungan dengan menggunakan program *SLOPE/W* dengan mempertimbangkan beban gempa. Angka keamanan terhadap kelongsoran metode *Fellenius* pada lereng sebesar 1,949. Berikut adalah hasil analisis menggunakan metode *Fellenius* pada program *SLOPE/W* dengan mempertimbangkan beban gempa seperti pada Gambar 5.12 berikut

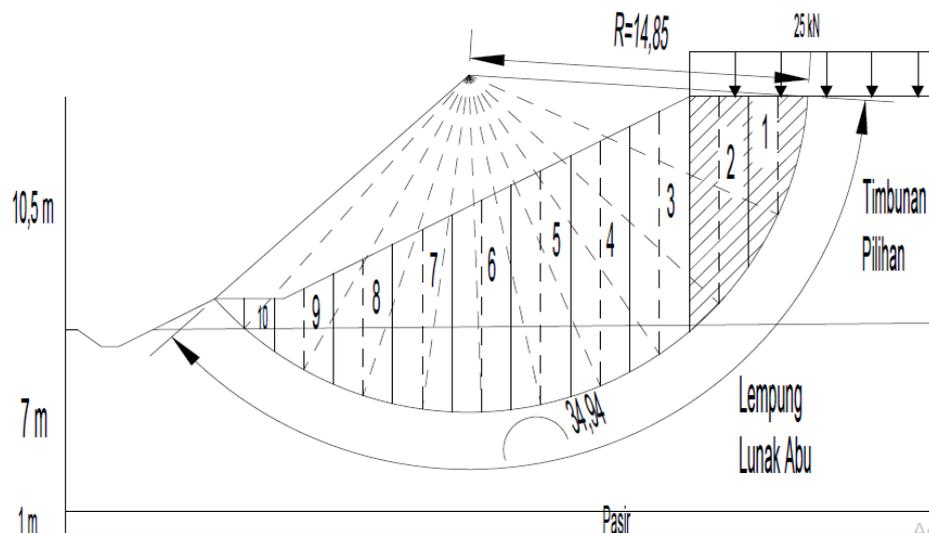


**Gambar 5.12 Hasil Analisis Lereng Timbunan 4 m Tanpa Perkuatan Geotekstil dengan Beban Gempa**

Dari hasil analisis didapatkan kondisi aman baik tanpa gempa maupun dengan pengaruh beban gempa sehingga timbunan 4 m perlu tidak perlu perkuatan dengan menggunakan geotekstil.

### 5.6. Analisis Stabilitas Timbunan Asli Tanpa Tambahan Perkuatan dengan Perhitungan Manual.

Perhitungan yang digunakan dalam analisis ini yaitu seperti pada Gambar 5.13 berikut.



**Gambar 5.13 Pemodelan Lereng Metode Fellenius**

a. Perhitungan Berat Irisan Tanah

Luas per pias didapatkan dengan bantuan program Autocad 2013.

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Untuk irisan yang terdapat beban lalu lintas di atasnya, maka berat irisan dapat diperhitungkan dengan rumus berikut ini.

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

Dimana  $q$  merupakan besarnya beban lalu lintas dan  $L$  merupakan lebar irisan yang terkena beban (m).

Berikut ini merupakan perhitungan berat irisan 1 sampai dengan 7 untuk lereng tanpa perkuatan.

$$W_1 = \gamma \times A_1 = (17,6 \times 26,2734) + (25 \times 8,0213) = 662,9443 \text{ kN}$$

$$W_2 = \gamma \times A_2 = (17,6 \times 30,4743) + (25 \times 3,8824) = 633,4077 \text{ kN}$$

$$W_3 = \gamma \times A_3 = (17,6 \times 27,4398) = 624,2906 \text{ kN}$$

$$W_4 = \gamma \times A_4 = (17,6 \times 25,1474) = 565,3098 \text{ kN}$$

$$W_5 = \gamma \times A_5 = (17,6 \times 21,7994) = 522,03 \text{ kN}$$

$$W_6 = \gamma \times A_6 = (17,6 \times 14,4053) = 388,5857 \text{ kN}$$

$$W_7 = \gamma \times A_7 = (17,6 \times 11,1869) = 326,5518 \text{ kN}$$

$$W_8 = \gamma \times A_8 = (17,6 \times 7,8667) = 244,8595 \text{ kN}$$

$$W_9 = \gamma \times A_8 = (17,6 \times 4,588) = 145,5646 \text{ kN}$$

$$W_{10} = \gamma \times A_8 = (17,6 \times 2,5223) = 53,5597 \text{ kN}$$

b. Perhitungan  $W_t \times \sin \alpha$

$$W_{t1} = W_t \times \sin \alpha = 662,9443 \times \sin 66^\circ = 605,6298 \text{ kN}$$

c. Perhitungan  $W_t \times \cos \alpha$

$$W_{t1} = W_t \times \cos \alpha = 662,9443 \times \cos 66^\circ = 269,6437 \text{ kN}$$

d. Perhitungan  $N \times \tan \alpha$

$$N_{t1} = N_t \times \tan \alpha = 269,6437 \times \tan 66^\circ = 98,1423 \text{ kN}$$

Untuk selengkapnya hasil dari perhitungan di atas dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

**Tabel 5.4 Perhitungan Manual Menggunakan Metode Fellenius**

Pias	Luas (m <sup>2</sup> )		B (m)	$\alpha$ (°)	$W = bh \gamma$ (kN)	$N = W \cos \alpha$ (kN)	$N * \tan \alpha$ (kN)	$T = W \sin \alpha$ (kN)
	A1	A2						
1	26,2734		2,5936	66	662,9443	269,6437554	98,1423	605,6298
2	30,4743		2,5936	54	633,4077	372,307693	135,5089	512,4376
3	27,4398	7,2159	2,5936	38	624,2906	571,5545856	181,8343	384,3517
4	25,1474	8,7654	2,5936	27	565,3098	613,0351558	187,1481	256,6453
5	21,7994	9,8829	2,5936	15	522,03	637,8883746	188,1962	135,1113
6	14,4053	9,6466	2,5936	7	388,5857	519,7349612	145,0604	47,35668
7	11,1869	9,2616	2,5936	-6	326,5518	453,7150507	122,7072	-34,134
8	7,8667	7,6004	2,5936	-15	244,8595	339,2960513	89,67399	-63,3743
9	4,588	4,6297	2,5936	-22	145,5646	195,0613102	51,2219	-54,5295
10	2,5223	0,6548	2,5936	-30	53,55968	54,32307158	17,15965	-26,7798
Jumlah						4026,560009	1216,653	1762,715

Nilai faktor keamanan dari perhitungan tersebut di atas adalah:

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{\sum (c \times L + \tan \theta \times W \cos \alpha)}{\sum W \sin \alpha} \\
 &= \frac{\sum (1216,653 + 4026,56)}{\sum 1762,715} \\
 &= 1,2189 < 1,25
 \end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan metode *Fellenius* secara perhitungan manual tanpa perkuatan yaitu sebesar 1,2198, tidak aman.

### 5.7. Analisis Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil

Untuk merencanakan suatu perkuatan pada lereng dengan menggunakan geotekstil maka perlu menentukan terlebih dahulu spesifikasi dari material yang akan digunakan agar geotekstil yang digunakan bersifat stabil terhadap gaya dalam dan gaya luar yang terjadi. Data tanah yang digunakan bisa dilihat pada tabel 5.3 berikut ini serta data lainnya yang diperlukan untuk perencanaan perkuatan dapat dilihat di bawah ini.

Tipe Geotekstil	= Geotekstil Woven UW-250
Tultimit	= 60 kN/m
H	= 10,5 m
SF	= 1,5
Lominimum	= 1 m
Sudut Lereng ( $\alpha$ )	= 27°

**Tabel 5.5 Data Parameter Tanah Untuk Perhitungan Geotekstil**

Parameter	Notasi		Satuan
Berat Volume Tanah	$\gamma$	17,6	kN/m <sup>3</sup>
Kohesi	c	40	kN/m <sup>2</sup>
Sudut gesek dalam	$\phi$	20	°

(Sumber: Laporan Evaluasi Hasil Analisis Timbunan Tol Balsam, 2017)

### 5.7.1. Perhitungan Kebutuhan Geotekstil

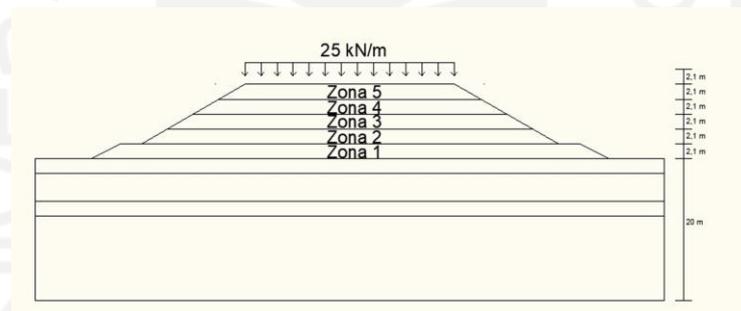
Pada penelitian ini menggunakan geotekstil dengan spesifikasi kuat tarik (Tult) sebesar 60 kN/m. Perhitungan geotekstil dilakukan dengan cara menghitung panjang geotekstil perzona.

#### a. Perhitungan Kebutuhan Geotekstil Panjang Perzona

Perhitungan ini menganalisis dengan asumsi lereng timbunan tegak vertikal dan mengabaikan nilai kohesi (c), hal ini dilakukan untuk memberikan keamanan yang lebih besar pada desain.

#### 1. Jarak Vertikal Antar Geotekstil

Pada perhitungan ini dilakukan pembagian zona tinggi timbunan sebesar masing-masing 2,1 m, karena total tinggi timbunan sebesar 10,5 m maka dibagi menjadi 5 zona. Contoh pemodelan zona yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut ini.



**Gambar 5.14 Pembagian Zona pada Timbunan**

Berikut ini perhitungan koefisien tekanan tanah aktif.

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{10}{2} \right) \\ &= 0,704 \end{aligned}$$

#### 2. Stabilitas Internal

Kuat tarik geotekstil (Tall) yang digunakan adalah sebesar 60 kN/m, dengan asumsi kuat tarik berfungsi sepenuhnya.

#### a. Analisis Zona 1

$$H_1 = 4 \text{ m}$$

$$\sigma_{hc1} = q \cdot K_a + K_a \cdot H_1 \cdot \gamma_b$$

$$= 25 \cdot 0,704 + 0,704 \cdot 4 \cdot 17,6$$

$$= 67,162 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = 1,25$$

$$Sv_1 = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc1} \cdot SF}$$

$$= \frac{52}{67,162 \cdot 1,25}$$

$$= 0,6194 \text{ m ( dipakai 1 m)}$$

$$\text{Banyak lapis geotekstil} = \frac{H_1}{Sv_1}$$

$$= \frac{4}{1}$$

$$= 4 \text{ lapis}$$

b. Analisis Zona 2

$$H_2 = 4 \text{ m}$$

$$\sigma_{hc2} = q \cdot K_a + K_a \cdot H_2 \cdot \gamma_b$$

$$= 25 \cdot 0,704 + 0,704 \cdot 4 \cdot 17,6$$

$$= 67,162 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = 1,25$$

$$Sv_2 = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc2} \cdot SF}$$

$$= \frac{52}{67,162 \cdot 1,25}$$

$$= 0,6194 \text{ m ( dipakai 1 m)}$$

$$\text{Banyak lapis geotekstil} = \frac{H_2}{Sv_2}$$

$$= \frac{4}{1}$$

$$= 4 \text{ lapis}$$

c. Analisis Zona 3

$$H_3 = 7 \text{ m}$$

$$\sigma_{hc3} = q \cdot K_a + K_a \cdot H_3 \cdot \gamma_b$$

$$= 25 \cdot 0,704 + 0,704 \cdot 7 \cdot 17,6$$

$$= 104,33 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = 1,25$$

$$Sv_3 = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc3} \cdot SF}$$

$$= \frac{52}{104,33 \cdot 1,25}$$

$$= 0,3987 \text{ m ( dipakai 0,5 m)}$$

$$\text{Banyak lapis geotekstil} = \frac{H3}{Sv3}$$

$$= \frac{7,}{0,5}$$

$$= 14 \text{ lapis}$$

d. Analisis Zona 4

$$H_4 = 10,5 \text{ m}$$

$$\sigma_{hc4} = q \cdot K_a + K_a \cdot H_4 \cdot \gamma b$$

$$= 25 \cdot 0,704 + 0,704 \cdot 10,5 \cdot 17,6$$

$$= 147,7 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = 1,25$$

$$Sv_4 = \frac{Tall}{\sigma_{hc4} \cdot SF}$$

$$= \frac{52}{147,7 \cdot 1,25}$$

$$= 0,2816 \text{ m (dipakai 0,5 m)}$$

$$\text{Banyak lapis geotekstil} = \frac{H4}{Sv4}$$

$$= \frac{10,5}{0,5}$$

$$= 21 \text{ lapis}$$

e. Analisis Zona 5

$$H_4 = 10,5 \text{ m}$$

$$\sigma_{hc4} = q \cdot K_a + K_a \cdot H_4 \cdot \gamma b$$

$$= 25 \cdot 0,704 + 0,704 \cdot 10,5 \cdot 17,6$$

$$= 147,7 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = 1,25$$

$$Sv_4 = \frac{Tall}{\sigma_{hc4} \cdot SF}$$

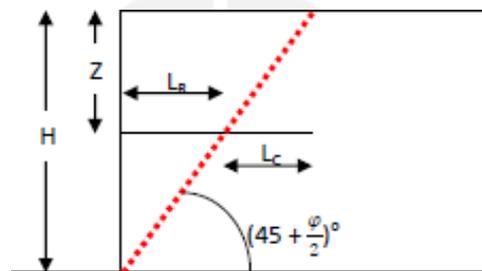
$$= \frac{52}{147,7 \cdot 1,5}$$

$$= 0,2816 \text{ m (dipakai 0,5 m)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Banyak lapis geotekstil} &= \frac{H4}{Sv4} \\
 &= \frac{10,5}{0,5} \\
 &= 21 \text{ lapis}
 \end{aligned}$$

### 3. Panjang Minimum Geotekstil

Panjang geotekstil dianalisis berdasarkan asumsi bentuk bidang longsor dengan sudut kemiringan sebesar  $(45 - \frac{\phi}{2})^\circ$ . Berikut bidang longsor untuk menentukan panjang geotekstil pada Gambar 5.5 di bawah ini.



**Gambar 5.15 Bidang Longsor untuk Menentukan Panjang Geotekstil**

(sumber: Suryolelono, K.B., 1993)

Nilai koefisien *interface* tanah terhadap geotekstil ( $\beta$ ) = 0,67.

Perhitungan panjang geotekstil sesuai hasil perhitungan jarak vertikal geotekstil di atas, sehingga digunakan panjang terbesar geotekstil pada masing-masing zona. Berikut contoh perhitungan pada zona 1.

#### a. Geotekstil lapis ke-1

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= 1 \text{ m} \\
 \sigma_{v1} &= \gamma b \cdot Z_1 \\
 &= 17,6 \cdot 1 \\
 &= 17,6 \text{ kN/m}^2 \\
 L_R &= \frac{H-Z_1}{\tan (45+\frac{\phi}{2})} \\
 &= \frac{10,5-1}{\tan (45+\frac{10}{2})} \\
 &= 7,9714 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$L_c = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{T_{all}}{2(c + \sigma_v \cdot \tan \phi)}$$

$$= \frac{1}{0,67} \cdot \frac{52}{2(40 + 17,6 \cdot \tan 10)}$$

$$= 0,6364 \text{ m}$$

$$L_{tot} = L_R + L_c$$

$$= 7,9714 + 0,6364$$

$$= 8,6079 \text{ m}$$

Hasil perhitungan panjang geotekstil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.6 di bawah ini.

**Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Panjang Geotekstil**

Zona	Lapis ke-i	Z (m)	S <sub>vi</sub> (m)	S <sub>v</sub> pakai	σ <sub>v</sub>	LR (m)	L <sub>c</sub> (m)	L <sub>tot</sub> min	L <sub>tot</sub> pakai
1	1	1	0,619402	1	17,6	7,971446	0,636426	8,607872	9
	2	2	0,619402	1	35,2	7,132347	0,473534	7,605881	
2	3	3	0,619402	1	52,8	6,293247	0,377033	6,67028	7
	4	4	0,619402	1	70,4	5,454148	0,313205	5,767353	
3	5	4,5	0,398724	0,5	79,2	5,034598	0,288763	5,323361	5
	6	5	0,398724	0,5	88	4,615048	0,26786	4,882908	
	7	5,5	0,398724	0,5	96,8	4,195498	0,249778	4,445276	
	8	6	0,398724	0,5	105,6	3,775948	0,233983	4,009932	
4	9	6,5	0,398724	0,5	114,4	3,356399	0,220068	3,576466	4
	10	7	0,398724	0,5	123,2	2,936849	0,207714	3,144563	
	11	7,5	0,281654	0,5	132	2,517299	0,196674	2,713973	
	12	8	0,281654	0,5	140,8	2,097749	0,186748	2,284497	
5	13	8,5	0,281654	0,5	149,6	1,678199	0,177776	1,855975	2
	14	9	0,281654	0,5	158,4	1,258649	0,169626	1,428275	
	15	9,5	0,281654	0,5	167,2	0,8391	0,162191	1,00129	
	16	10	0,281654	0,5	176	0,41955	0,15538	0,57493	

4. Panjang overlapping (lipatan) geotekstil.

Panjang *overlapping* geotekstil dapat dihitung sebagai berikut.

$$L_0 = \frac{1}{\beta} \frac{T_{all}}{4(c + \sigma_v \cdot \tan \phi)} \geq 1 \text{ m}$$

$$= \frac{1}{0,67} \frac{52}{4(40 + 35,2 \cdot \tan 10)}$$

$$= 0,4199 \text{ m (dipakai 0,5 m)}$$

## 5. Menghitung panjang geotekstil

## a. Stabilitas terhadap guling

$$SF = \frac{\Sigma Mp}{\Sigma Ma} > 1,5$$

$$L^2 = \frac{SF \left( \frac{1}{2} x q x Ka x H^2 + \frac{1}{6} x Ka x H^3 x \gamma b - C x \sqrt{Ka} x H^2 \right)}{\left( \frac{1}{2} x q + \frac{1}{2} x \gamma b x H \right)}$$

$$L^2 = \frac{1,5 \left( \frac{1}{2} x 25 x 0,704 x 10,5^2 + \frac{1}{6} x 0,704 x 10,5^3 x 17,6 - 40 x \sqrt{0,704} x 10,5^2 \right)}{\left( \frac{1}{2} x 25 + \frac{1}{2} x 17,6 x 10,5 \right)}$$

$$L = 2,3527 \text{ m}$$

$$= 2,5 \text{ m}$$

## b. Stabilitas terhadap geser

$$SF = \frac{(q x \tan \delta x L + H \gamma b x \tan \delta x L)}{(q x Ka x H + 0,5 x Ka x \gamma b x H^2 - 2 x c x \sqrt{Ka} x H \phi)}$$

$$1,25 = \frac{(25 x \tan 6,667 x L + 10,5 x 10,5 x \tan 6,667 x L)}{(25 x 0,704 x 10,5 + 0,5 x 0,704 x 17,6 x 10,5^2 - 2 x 40 x \sqrt{0,704} x 10,5)}$$

$$L = \frac{1,25 x 163,0858}{49,7235}$$

$$L = 4,0998$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

## c. Stabilitas kapasitas dukung tanah

$$Nc = 9,6$$

$$Nq = 2,7$$

$$N\gamma = 1,2$$

$$\begin{aligned} Qult &= c \cdot Nc + 0,5 \cdot L \cdot \gamma b \cdot N\gamma \\ &= 40 \cdot 9,6 + 0,5 \cdot L \cdot 17,6 \cdot 1,2 \\ &= 384 + 10,5 L \end{aligned}$$

$$\sigma_{ult} = qult \cdot SF$$

$$= (384 + 10,5 L) \cdot 1,25$$

$$= 480 + 15,84 L$$

$$L = \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \cdot \gamma b + q}$$

$$= \leq \frac{480 + 15,84 L}{10,5 \cdot 17,6 + 25}$$

$$= 5,8394 \text{ m}$$

d. Stabilitas terhadap eksentrisitas

$$\frac{1}{6} x L \leq e$$

$$e = \frac{\Sigma MP}{\Sigma MA} = \frac{\text{Momen menahan}}{\text{Momen menggulingan}} \leq 1,5$$

$$\Sigma MP = \left( q x Ka x \frac{1}{2} x H^2 \right) + \left( \frac{1}{2} x Ka x \gamma b x H^2 x \frac{1}{3} x H \right) - 2 \cdot c \cdot \sqrt{ka} \cdot H^2$$

$$= \left( 25 x 0,704 x \frac{1}{2} x 10,5^2 \right) + \left( \frac{1}{2} x 0,704 x 17,6 x 10,5^2 x \frac{1}{3} x 10,5 \right) -$$

$$2 \cdot 40 \cdot \sqrt{0,704} \cdot 10,5^2$$

$$= 339,2356 \text{ kNm}$$

$$\frac{1}{6} L = \frac{339,2356}{q \cdot L + \gamma b \cdot H \cdot L}$$

$$= \frac{339,2356}{25 \cdot L \cdot 17,8 \cdot 10,5 \cdot L}$$

$$L^2 = 9,7017$$

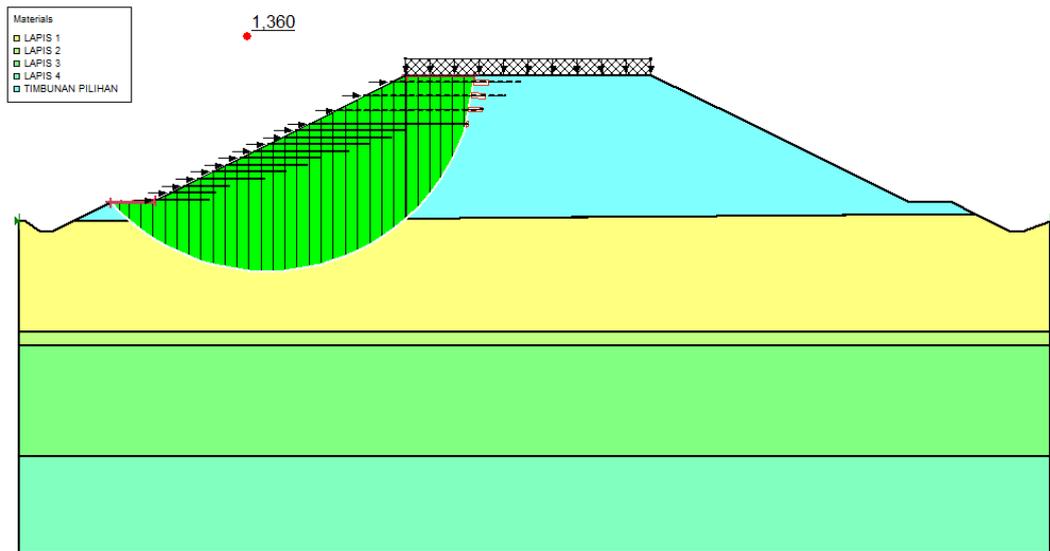
$$L = 3,1147$$

$$L = 4 \text{ m}$$

### 5.8. Analisis Stabilitas Timbunan Asli dengan Tambahan Perkuatan Geotekstil dengan GeoStudio

Setelah melakukan perhitungan terhadap geotekstil dengan panjang per zona, maka langkah selanjutnya melakukan input dari hasil hitungan yang telah dilakukan sebelumnya ke dalam aplikasi *SLOPE/W*. Dalam melakukan analisis menggunakan aplikasi *SLOPE/W* diasumsikan apabila kondisi lereng yang tanpa dipengaruhi beban gempa mempunyai nilai  $SF > 1,25$  maka lereng tersebut dinyatakan aman dan apabila lereng yang dianalisis dan diberikan beban gempa lalu menghasilkan nilai  $SF > 1$  maka lereng tersebut dinyatakan juga aman dari keruntuhan lereng.

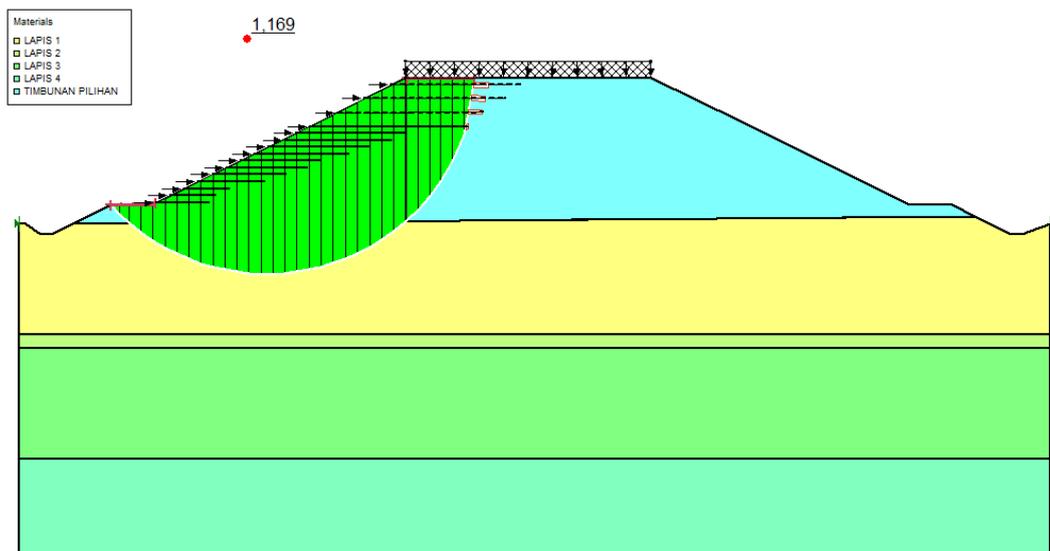
1. Analisis lereng dengan perkuatan geotekstil tanpa beban gempa



**Gambar 5.16 Hasil Analisis Lereng dengan Perkuatan Geotekstil**

Hasil dari analisis lereng menggunakan perkuatan geotekstil dengan GeoStudio tanpa adanya beban gempa menghasilkan nilai SF sebesar 1,360, maka lereng tersebut dinyatakan aman setelah dilakukan perkuatan dengan geotekstil.

2. Analisis lereng dengan perkuatan geotekstil dengan beban gempa



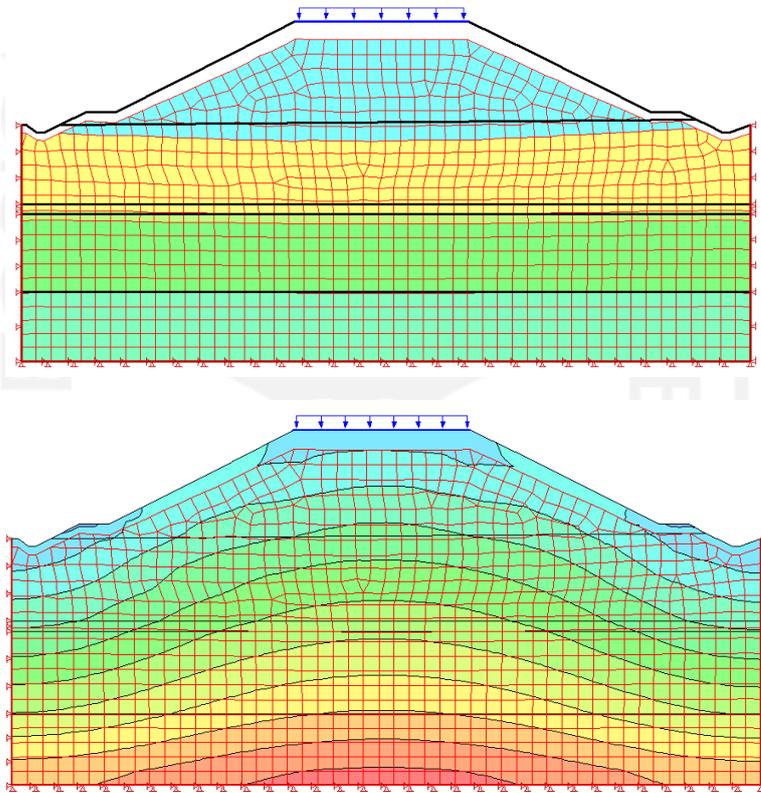
**Gambar 5.17 Hasil Analisis Lereng dengan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Gempa**

Dari hasil analisis diatas didaat bahwa lereng dengan perkuatan geotekstil dan adanya beban gempa menghasilkan nilai SF sebesar 1,169, maka lereng tersebut dinyatakan aman setelah dilakukan perkuatan dengan geotekstil.

### 5.9. Analisis Penurunan Konsolidasi Tanah

Analisis penurunan konsolidasi dilakukan dengan tinjauan 3 tipe timbunan diantaranya timbunan 10,5 m, Timbunan 7 m, dan timbunan 4 m. Berikut ini hasil perhitungan dari penurunan konsolidasi.

#### 5.9.1. Analisis Penurunan Tanah Pada Timbunan 10,5 meter



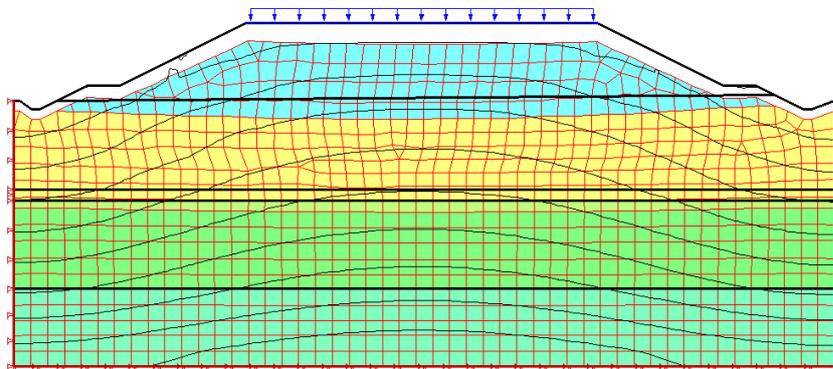
**Gambar 5. 18 Pemodelan Hasil Analisis Penurunan Kondolidasi Pada Timbunan 10,5 m**

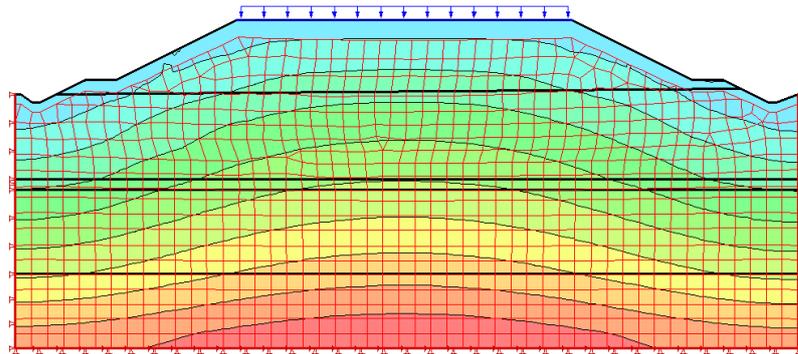
Parameter	532
X (m)	36,67656
Y (m)	24,276467
X-Displacement (m)	0,0049999522
Y-Displacement (m)	-1,3181903
XY-Displacement (m)	1,3181998
X-Boundary Force (kN)	0
Y-Boundary Force (kN)	0
XY-Boundary Force (kN)	0
X-Total Stress (kPa)	-37,409129
Y-Total Stress (kPa)	161,51179
Z-Total Stress (kPa)	31,713681
Max. Total Stress (kPa)	161,51839
Min. Total Stress (kPa)	-37,415727
Mean Total Stress (p) (kPa)	51,93878
X-Effective Stress (kPa)	None
Y-Effective Stress (kPa)	None
Z-Effective Stress (kPa)	None
Maximum Effective Stress (kPa)	None
Minimum Effective Stress (kPa)	None
Mean Effective Stress (p') (kPa)	None
XY-Shear Stress (kPa)	-1,1456422
Max. Shear Stress (kPa)	99,467057
Deviatoric Stress (q) (kPa)	174,93273

**Gambar 5.19 Hasil Analisis Penurunan Kondolidasi Pada Timbunan 10,5 m**

Berdasarkan hasil analisis penurunan konsolidasi ketika mencapai tekanan air pori minimum dengan menggunakan SIGMA/W pada timbunan 10,5 m didapatkan nilai penurunan sebesar 1,31 m.

### 5.9.2. Analisis Penurunan Tanah Pada Timbunan 7 meter





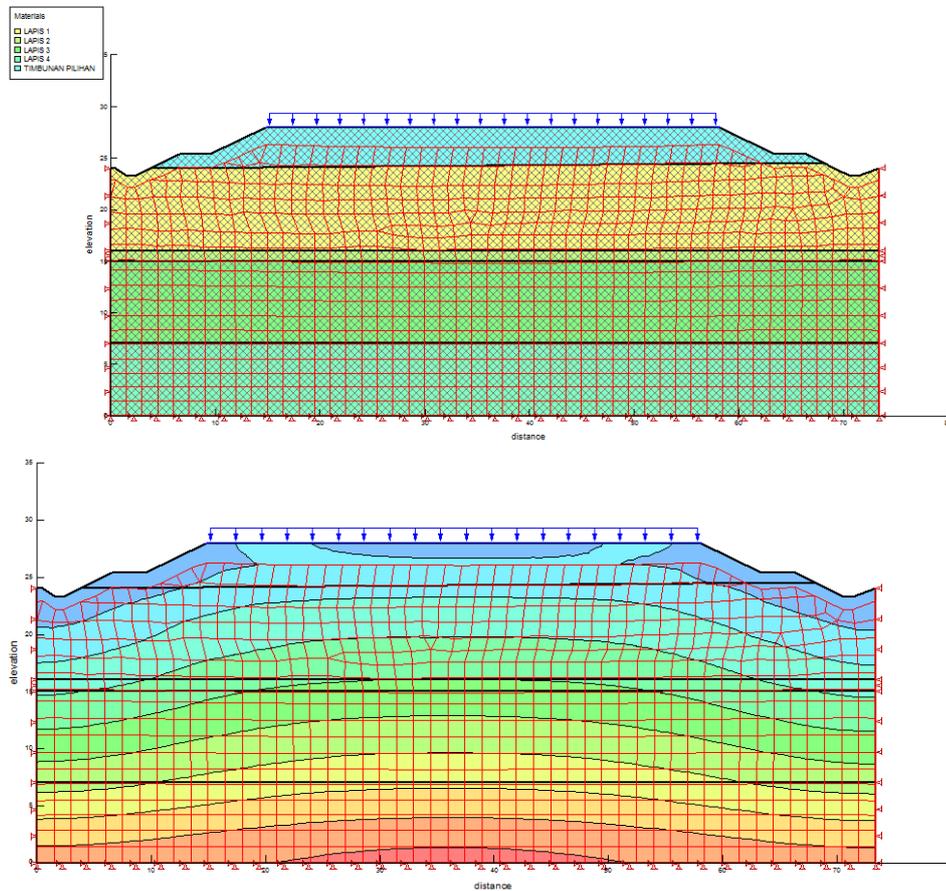
**Gambar 5. 20** Pemodelan Hasil Analisis Penurunan Kondolidasi Pada Timbunan 7 m

Parameter	461
X (m)	34,422243
Y (m)	20,269875
X-Displacement (m)	-0,0076543089
Y-Displacement (m)	-0,97154295
XY-Displacement (m)	0,9715731
X-Boundary Force (kN)	0
Y-Boundary Force (kN)	0
XY-Boundary Force (kN)	0
X-Total Stress (kPa)	49,990878
Y-Total Stress (kPa)	189,35
Z-Total Stress (kPa)	59,835219
Max. Total Stress (kPa)	189,36569
Min. Total Stress (kPa)	49,975185
Mean Total Stress (p) (kPa)	99,725365
X-Effective Stress (kPa)	None
Y-Effective Stress (kPa)	None
Z-Effective Stress (kPa)	None
Maximum Effective Stress (kPa)	None
Minimum Effective Stress (kPa)	None
Mean Effective Stress (p') (kPa)	None
XY-Shear Stress (kPa)	1,4788961
Max. Shear Stress (kPa)	69,695253
Deviatoric Stress (q) (kPa)	134,73136

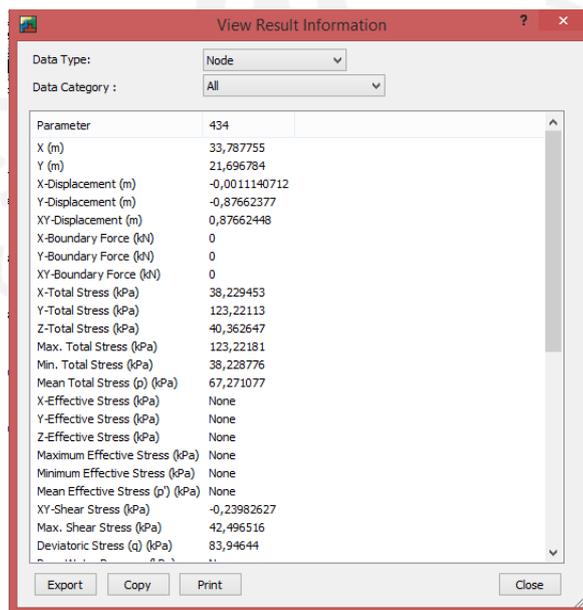
**Gambar 5.21** Hasil Analisis Penurunan Kondolidasi Pada Timbunan 7 m

Berdasarkan hasil analisis penurunan konsolidasi ketika mencapai tekanan air pori minimum dengan menggunakan SIGMA/W pada timbunan 7m didapatkan nilai penurunan sebesar 0,97 m.

### 5.9.3. Analisis Penurunan Tanah Pada Timbunan 4 meter



Gambar 5. 22 Hasil Analisis Penurunan Kondolidasi Pada Timbunan 4 m



Gambar 5.23 Hasil Analisis Penurunan Kondolidasi Pada Timbunan 4 m

Berdasarkan hasil analisis penurunan konsolidasi ketika mencapai tekanan air pori minimum dengan menggunakan SIGMA/W pada timbunan 7m didapatkan nilai penurunan sebesar 0,87 m.

## **5.10. Pembahasan**

### **5.10.1. Kondisi Umum**

Jalan Tol Balikpapan – Samarinda terletak di Provinsi Kalimantan Timur yang mempunyai peranan penting dalam menjalankan roda perekonomian, sekaligus menghubungkan antar dua kota tersebut. Hal ini mendorong untuk memanfaatkan setiap lahan yang ada sebaik mungkin, dikarenakan kondisi tanah eksisting di lokasi pekerjaan jalan Tol Balikpapan – Samarinda banyak terdapat tanah lunak sehingga berpengaruh terhadap stabilitas lereng timbunan. Tingkat keamanan suatu lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah faktor parameter tanah, tinggi, kemiringan, dan beban yang bekerja di atas tanah itu sendiri. Kondisi lereng dengan beban yang besar dan tinggi serta memiliki kemiringan yang curam dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran, maka dari itu dalam analisis stabilitas lereng diperlukan suatu model yang dianggap dapat mewakili kondisi di lapangan.

Analisis stabilitas terhadap timbunan digunakan untuk memperoleh nilai angka aman terhadap longsor serta nilai penurunan tanah. Analisis dilakukan terhadap 3 (tiga) variasi timbunan tanah yaitu 4 m, 7 m, dan 10,5 m. Sementara parameter yang digunakan adalah beban merata akibat struktur jalan tol serta beban lalu lintas pasca konstruksi. Akumulasi dua beban tersebut adalah 25 kN/m. Dalam melakukan analisis, digunakan program *SLOPE/W* untuk membantu proses analisis.

### **5.10.2. Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Asli**

Hasil nilai SF pada perhitungan manual sebesar 1,2189, sedangkan perhitungan dengan menggunakan *SLOPE/W* sebesar 1,148. Untuk nilai SF tanpa adanya perkuatan geotekstil dan tanpa beban gempa pada tinggi timbunan 10,5 m sebesar 1,148, timbunan 7 m sebesar 1,406, dan pada timbunan 4 m sebesar 2,310. Sedangkan nilai SF tanpa adanya perkuatan geotekstil dan ditambah beban gempa

pada tinggi timbunan 10,5 m sebesar 0,965, timbunan 7 sebesar 1,223 dan pada timbunan 4 sebesar 1,949.

Nilai SF pada lereng yang sudah diperkuat dengan perkuatan geotekstil tanpa adanya beban gempa didapat sebesar 1,360, sedangkan lereng yang diperkuat dengan perkuatan geotekstil dan ditambah dengan beban gempa didapat nilai SF sebesar 1,169. Rekapitulasi hasil seluruh analisis angka aman timbunan dan analisis angka penurunan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5. 7 Rekapitulasi Hasil Analisis Angka Aman dan Penurunan Tanah Seluruh Timbunan.**

Tinggi Timbunan	Safety Factor				Penurunan Tanah (m)	
	Tanpa Perkuatan Tanah		Setelah Diperkuat Geotekstil		Tanpa Perkuatan Tanah	Setelah Diperkuat Geotekstil
	Tanpa Beban Gempa	Beban Gempa	Tanpa Beban Gempa	Beban Gempa		
4 m	2,310	1,949	-	-	0,87	-
7 m	1,406	1,223	-	-	0,97	-
10,5 m	1,148	0,965	1,360	1,169	1,31	1,34

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1. Kesimpulan**

Berdasarkan analisis stabilitas timbunan yang telah dilakukan didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Hasil analisis timbunan tanah asli.
  - a. Tinggi timbunan 4 meter didapat angka aman sebesar 2,310 dan dengan beban gempa sebesar 1,949
  - b. Tinggi timbunan 7 meter didapat angka aman sebesar 1,406 dan dengan beban gempa sebesar 1,223
  - c. Tinggi timbunan 10,5 meter didapat angka aman sebesar 1,148 dan dengan beban gempa sebesar 0,965
2. Hasil analisis timbunan tanah asli pada timbunan 10,5 m menggunakan software GeoStudio memiliki angka aman sebesar 1,148. Perhitungan manual dengan metode *Fellenius* didapatkan angka aman sebesar 1,2189.
3. Nilai SF pada tanah timbunan yang diperkuat dengan geotekstil dengan ditambahkan beban gempa menghasilkan nilai SF sebesar 1,169 dan tanpa beban gempa menghasilkan nilai SF sebesar 1,360.
4. Hasil analisis penurunan tanah timbunan asli
  - a. Tinggi timbunan 4 meter memiliki angka penurunan sebesar 0,87 m
  - b. Tinggi timbunan 7 meter memiliki angka penurunan sebesar 0,97 m
  - c. Tinggi timbunan 10,5 meter memiliki angka penurunan sebesar 1,31 m

#### **6.2. Saran**

Saran yang diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Untuk melakukan pemodelan lereng dapat menggunakan metode atau program yang lainnya seperti *Plaxis*, *Miraslope*, *STABB* dan program lainnya.

2. Untuk jenis perkuatan pada lerengnya bisa digunakan jenis perkuatan yang lain seperti Dinding Penahan Tanah (DPT), *soil nailing*, *mini pile* dan lainnya.
3. Untuk penelitian selanjutnya bisa menambahkan perhitungan RAB, guna mendapatkan biaya yang ekonomis namun kondisi lereng sudah jauh dari kata aman.

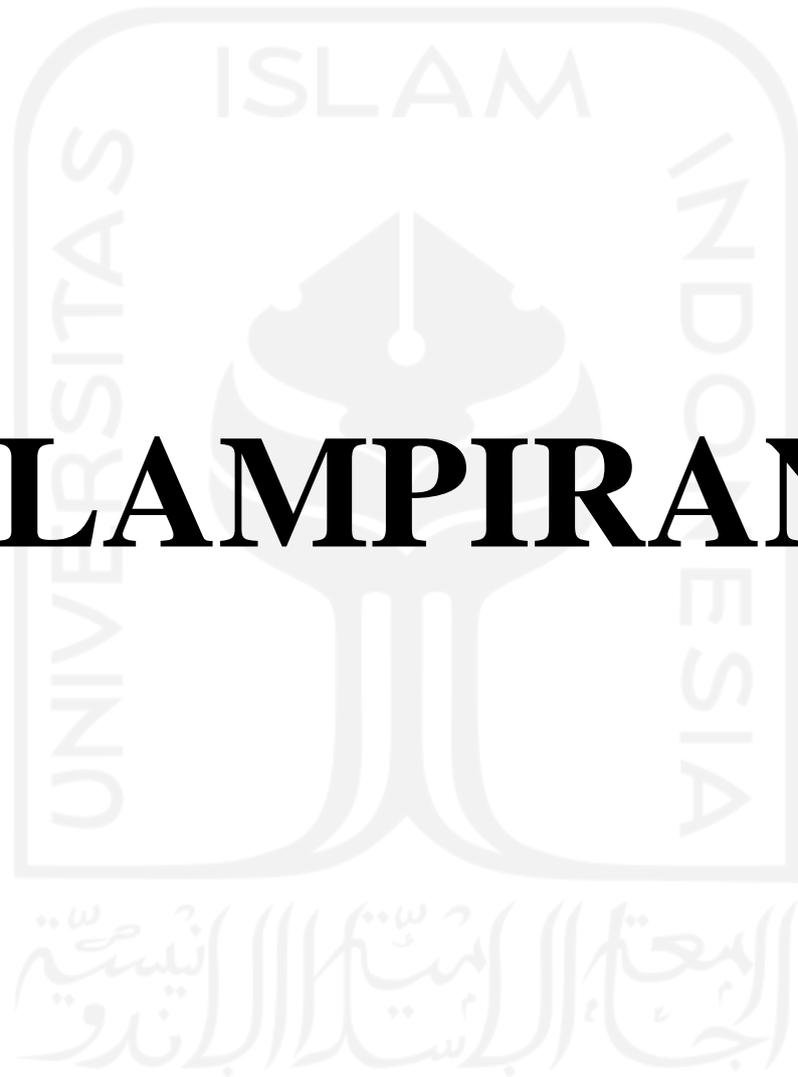


## DAFTAR PUSTAKA

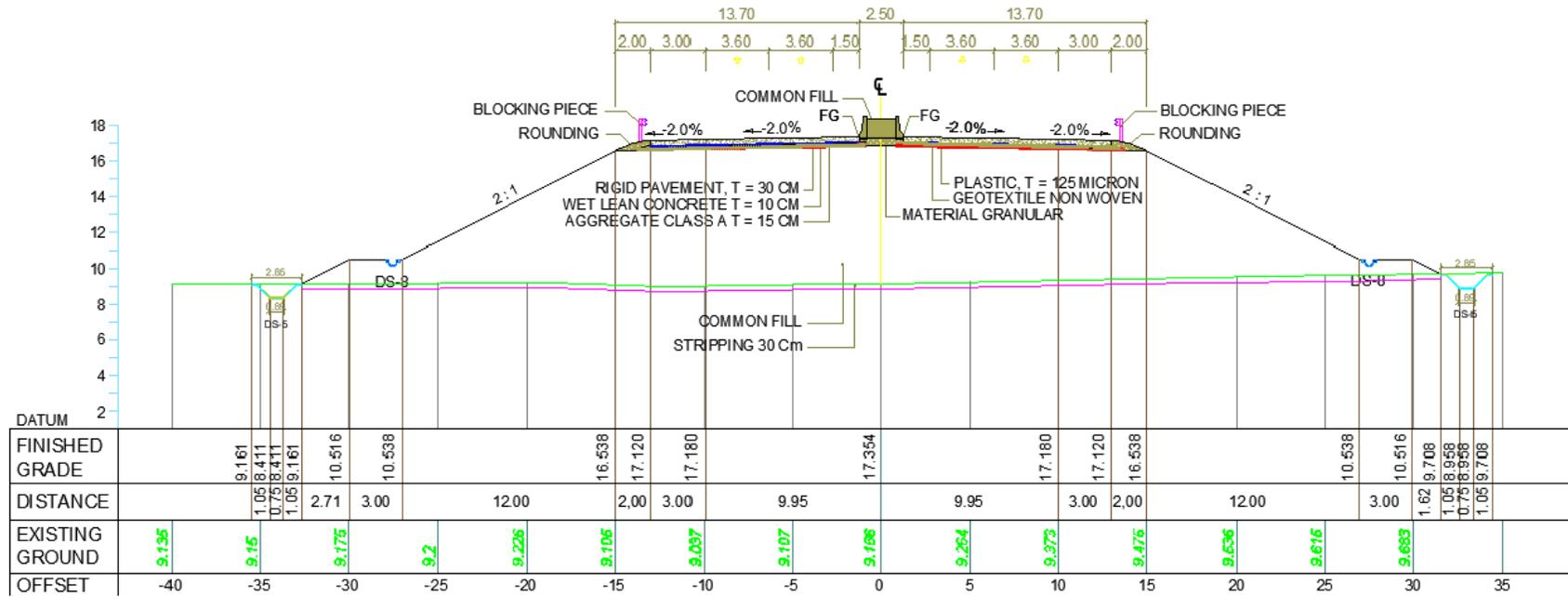
- Azizah, F.N., Surjandari, N.S., Dan Asád, Sholihin. 2014. Penggunaan Geotekstil Pada Lereng Sungai Putih Surakarta. *Penelitian*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Bowles, J.E. 1989. Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah. Erlangga. Daerah Khusus Ibukota Jakarta.
- Budiastho, 2018. Analisis Stabilitas Timbunan pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS pada Proyek Jalan Tol Solo – Kertosono. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Chasanah, Uswatun. 2012. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope. Tugas Akhir. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Das, B.M. (1988). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). Edisi Pertama. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C.. 2013. Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya (Perancangan Dan Aplikasi), 2nd Ed. Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C.. 2014. Mekanika Tanah 2, 5th Ed. Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta.
- 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.

- Prasetyo, Ichsan. 2017. Analisis Stabilitas Lereng Bertingkat Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Tugas Akhir*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Santoso, B dkk. 1998: Mekanika Tanah Lanjut. Penerbit Gunadarma. Jakarta.
- Terzaghi, K. dan Peck, R. B. 1987. Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa. Penerbit Erlangga. Jakarta
- Surjandari, N.S., Setiawan, Bambang., Nindyantika, Ernha. 2012. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil. *Penelitian*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- PT. Teknindo Geosistem Unggul (Tanpa Tahun). Technical Spesification. Geotextile Woven. Surabaya
- Bina Marga. 2009. Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2009. Modul Pelatihan Geosintetik Volume 3: Perencanaan Geosintetik Untuk Perkuatan Leren.

# LAMPIRAN



Lampiran 1 Gambar Potongan Melintang STA 2+300



## Lampiran 2 Data Geotekstil

# UnggulTex

POLYPROPYLENE WOVEN GEOTEXTILES

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

PROPERTIES	UNIT	TEST METHOD	UW - 150	UW - 200	UW - 250
<b>Physical Properties</b>					
Mass	g/m <sup>2</sup>	ASTM D 5261-92	150	200	250
Thickness	mm	ASTM D 5189-91	0.5	0.6	0.7
Colour	-	-	Black	Black	Black
<b>Mechanical Properties</b>					
Strip Tensile Strength (Wabi/Wabi)	kN/m	ASTM D 4285-94	37/35	42/39	52/52
Elongation at Max. Load (Wabi/Wabi)	%	ASTM D 4285-94	19/18	20/20	20/20
Cross Tensile Strength (Wabi/Wabi)	N	ASTM D 4632-91	1210/1250	1600/1600	1750/1750
Elongation at Max. Load (Wabi/Wabi)	%	ASTM D 4632-91	14/13	22/22	22/22
Trapezoidal Tear Strength (Wabi/Wabi)	N	ASTM D 4533-91	615/615	700/700	800/800
<b>Hydraulic Properties</b>					
Pore Size $D_{95}$	$\mu$ m	ASTM D 4751-95	329	275	280
Water Permeability	l/s/Sec	100 mm water head	25	10	7.5
<b>Environmental Properties</b>					
Effect of soil Alkalinity	-	-	nil	nil	nil
Effect of soil Acidity	-	-	nil	nil	nil
Effect of Bacteria	-	-	nil	nil	nil
Effect of U.V. Light	-	-	Stabilized	Stabilized	Stabilized
<b>Packaging</b>					
Roll Length	m	-	150 - 200	150 - 200	150 - 200
Roll Width	m	-	3 - 4	3 - 4	3 - 4
Roll Area	m <sup>2</sup>	-	640 - 700	640 - 700	640 - 700
Roll Diameter (Approx)	m	-	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5
Roll Weight (Approx)	kg	-	90 - 114	120 - 152	150 - 150

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

Distributed by :



**PT. TEKNINDO GEOSISTEM UNGGUL**

Wisma SIER Building, 1<sup>st</sup> Floor, J. Rungkul Industri Raya 13, Surabaya 60253  
Tel. 031-8475062 Fax. 031-8475063

### Lampiran 3 Parameter yang Digunakan Dalam Analisis STA 2+300

#### 1. DATA PARAMETER TANAH TIMBUNAN PADA JALAN TOL BALIKPAPAN – SAMARINDA

2+300											
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	NSPT	Simbol	Parameter Short Term							
				Kondisi	$\gamma_{\text{unsat}}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{sat}}$ (KN/m <sup>3</sup> )	E (KN/m <sup>2</sup> )	U	cu (KN/m <sup>2</sup> )	$\phi$	
0 - 8	Lempung Lunak Abu	3	C	Undrained	13	14	2700	0,25	18	2,00	
8 - 9	Pasir	14	S	Drained	13	14	9280	0,3	5	32,96	
9 - 18	Lempung Kelanauan	7	C	Undrained	15	16	3900	0,25	42	5,00	
18 - 25	Pasir Halus Padat	60	S	Drained	19	20	24000	0,3	5	46,83	
	Timbunan Pilihan	-	C	Undrained	16,6	17,6	25000	0,3	35	10,00	

#### 2. DATA PARAMETER TANAH TIMBUNAN BARU PADA JALAN TOL BALIKPAPAN – SAMARINDA

2+300											
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	NSPT	Simbol	Parameter Short Term							
				Kondisi	$\gamma_{\text{unsat}}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{sat}}$ (KN/m <sup>3</sup> )	E (KN/m <sup>2</sup> )	U	cu (KN/m <sup>2</sup> )	$\phi$	
0 - 8	Lempung Lunak Abu	3	C	Undrained	13	14	2700	0,25	18	2,00	
8 - 9	Pasir	14	S	Drained	13	14	9280	0,3	5	32,96	
9 - 18	Lempung Kelanauan	7	C	Undrained	15	16	3900	0,25	42	5,00	
18 - 25	Pasir Halus Padat	60	S	Drained	19	20	24000	0,3	5	46,83	
	Timbunan Pilihan	-	C	Undrained	16,6	17,6	25000	0,3	40	20,00	