TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN GEOTEKSTIL DENGAN PROGRAM *PLAXIS*

(Studi Kasus Jalan Tol Pekan Baru-Dumai)

(SLOPE STABILITY ANALISYS USING GEOTEXTILE WITH PLAXIS SOFTWARE)

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

Halim Indra Kharisma
13511020

PROGRAM STUDI SARJANATEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERNCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2020

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN GEOTEKSTIL DENGAN PROGRAM *PLAXIS*

(SLOPE STABILITY ANALISYS USING GEOTEXTILE WITH PLAXIS SOFTWARE)

Disusun oleh

Halim Indra Kharisma

13511020

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

Diuji pada tanggal 19 Agustus 2020
Oleh Dewan Penguji :

Pembimbing	**Penguji I**	**Penguji II**
Edy Purwanto, Dr. Ir.,CES., DEA.	**Akhmad Marzuko, Ir.,M.T**	**Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T.,M.Eng.**
NIK: 855110101	**NIK: 885110107**	**NIK: 135111101**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk menyelesaikan program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan 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 di temukan seluruh atau sebagian Tugas Akhir ini bukan 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, Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,



Halin Indra Khansha

(13511020)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Shalawat serta salam selalu dilimpahkan kepada junjungan Rasulullah SAW, keluarga, sahabat, serta pengikut beliau hingga yaumul akhir.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Strata Satu (S1) di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, banyak hambatan yang dihadapi penulis. Tetapi berkat saran, dorongan serta semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan hal tersebut penulis mengucapkan

terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES.,DEA. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak masukan dan bimbingan selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni A, M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Sipil,Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Seluruh Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan ilmu dan wawasan selama kuliah.
4. Keluarga yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir saya ini.
5. Semua pihak yang tidak dapat penulis satu persatu

Penulis menyadari masih banyak kekurangan yang terdapat dalam penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu penulis minta maaf kepada semua pihak yang

merasa kurang berkenan akan Tugas Akhir ini. Namun demikian, penulis selalu berusaha untuk memberikan yang terbaik. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penyusunan dan pihak yang membutuhkannya.

Wassalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, Agustus 2020

Penulis,

Halim Indra Kharisma

13511020

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI **Error! Bookmark not defined.**

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR NOTASI xii

ABSTRAKSI xv

ABSTRACT xvi

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat Penelitian 3

1.5 Batasan Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Analisis Stabilitas Lereng 5

2.1.1 Penelitian Tentang "Analisis Stabilitas Lereng Metode Fellinius Dengan Variasi Bidang Longsor Berdasarkan Teori Probabilitas". 5

2.1.2 Penelitian Tentang "Studi Tentang Stabilitas Lereng Berdasarkan Metode Fellinius dan Metode Bishop Terhadap Variasi Tebal Pias dan Sudut Kemiringan" (Studi Kasus Proyek Gedung Kampus D3 Ekonomi UII, Yogyakarta) 6

2.1.3 Penelitian Tentang "Perbandingan Stabilitas Lereng Tanpa Dan 7

Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Versi 8.5 (Studi Kasus Pada Lereng Sta. 2+225, Proyek Jalan Tol Semarang-Solo)" 7

2.1.4 Penelitian "Analisis Perilaku Timbunan dengan Perkuatan Geosintetik 8

Menggunakan Software Plaxis" 8

2.2 Perbandingan Penelitian yang Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan 9

BAB III LANDASAN TEORI 14
3.1 Tanah 14
3.1.1 Properti Tanah 14
3.1.2 Klasifikasi Tanah 19
3.1.3 Kuat Geser Tanah 26
3.2 Stablitas Lereng 28
3.2.1 Pengertian Umum 28
3.2.2 Metode Fellenius 30
3.3 Perkuatan Lereng 33
3.3.1 Pengertian Umum 33
3.3.2 Faktor Keamanan 34
3.3.3 Geotekstil 35
3.3.4 Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Geotekstil 36
3.4 Konsolidasi 46
3.4.1 Pengertian Umum 46
3.4.2 Faktor – faktor yang memengaruhi konsolidasi 46
3.4.3 Koefisien Konsolidasi (Cv) (*Coefficient of Consolidation*) 47
3.4.4 Perhitungan Penurunan Konsolidasi 48
3.5 Plaxis 52
3.5.1 Pendahuluan 52
3.5.2 Analisis stabilitas lereng menggunakan PLAXIS 8.6 52
BAB IV METODE PENELITIAN 54
4.1 Tinjauan Umum 54
4.2 Lokasi Penelitian 54
4.3 Tahapan Penelitian 55
4.4 Metode Pengumpulan Data 55
4.5 Analisis Data 56
4.6 Bagan Alur Penelitian 62
BAB V ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN 64
5.1 Analisis Data Lereng 64
5.1.1 Data Potongan Melintang Jalan 64

5.2 Data Paramater Tanah dan Beban 64
5.2.1 Data Parameter Tanah 64
5.2.2 Data Beban Gempa 65
5.2.3 Data Beban Lalu Lintas dan Struktur 67
5.2.4 Data Geotekstil 67
5.3 Analisis Stabilitas Timbunan Asli tanpa tambahan perkuatan dengan PLAXIS 8.6 68
5.4 Perhitungan dengan Metode Fellenius 76
5.5 Perhitungan dengan Geotekstil 104
5.5.1 Stabilitas Eksternal 104
5.5.2 Stabilitas Internal 107
5.6 Analisis Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil 109
5.7 Pembahasan 115
5.7.1 Kondisi Umum 115
5.7.2 Analisis stabilitas timbunan tanah asli tanpa perkuatan 116
5.7.3 Analisis stabilitas timbunan tanah asli menggunakan perkuatan geotekstil 116
5.7.4 Perbandingan hasil analisis timbunan tanah asli tanpa perkuatan geotekstil dengan diperkuat geotekstil 117
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 119
6.1 Kesimpulan 119
6.2 Saran 120
DAFTAR PUSTAKA 121
LAMPIRAN 124
lampiran 1 : jadwal pembuatan Tugas Akhir 124
lampiran 2 : Data Proyek jalan tol Balikpapan – Samarinda 125

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang 10
Tabel 3.1 Nilai Berat Volume Tanah 16
Tabel 3.2 Nilai Koefisien Permeabilitas 17
Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah 17
Tabel 3.4 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson 18
Tabel 3.5 Sistem Klasifikasi *Unified* 21
Tabel 3.6 Sistem Klasifikasi USCS 22
Tabel 3.7 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO 25
Tabel 3.8 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan 26
Tabel 3.9 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah 28
Tabel 3.10 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng 29
Tabel 3.11 Faktor Keamanan Lereng 34
Tabel 5.1 Data Parameter Tanah 65
Tabel 5.2 Beban Lalu Lintas 67
Tabel 5.3Data Geotekstil 68
Tabel 5.4 Rekapitulasi Hasil Analisis Seluruh Timbunan Tanah Asli tanpa penambahan perkuatan dengan Plaxis 8.6 75
Tabel 0.1 Perhitungan Manual dengan Metode Fellenius 103
Tabel 5.6 Kebutuhan Geotekstil 107
Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kebutuhan Geotekstil 109
Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Analisis Timbunan yang Diperkuat Geotekstil 115
Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Analisis Angka Aman Seluruh Timbunan 118
Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Analisis Penurunan Tanah Seluruh Timbunan 118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1Lokasi Jalan Tol Pekan Baru - Dumai 2
Gambar 3.1Diagram Fase Tanah 14
Gambar 3.2 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan 29
Gambar 3.3 Gambar Ilustrasi gaya gaya pada setiap irisan dengan metode fellenius 31
Gambar 3.4 Pemasangan Geotekstil pada Timbunan 36
Gambar 3.5 Tinjauan Stabilitas Terhadap Guling 42
Gambar 3.6Kurva Hubungan antara Tekanan dengan Angka Pori 47
Gambar 4.1Potongan jalan melintang 54
Gambar 5.1 Potongan Melintang Jalan 64
Gambar 5.2 Grafik percepatan gempa 66
Gambar 5.3 Peta Zonasi Gempa di Indonesia 66
Gambar 5.4 Pemodelan timbunan 8 meter 69
Gambar 5.5 General Meshing pada timbunan 8 meter 69
Gambar 5.6 Tekanan pori air pada timbunan 8 meter 70
Gambar 5.7 General Initial Stresses pada Timbunan 8 meter 70
Gambar 5.8 Bidang Longsor Timbunan 8 meter 71
Gambar 5.9 Hasil Kalkulasi 71
Gambar 5.10 Model Timbunan 6 m 72
Gambar 5.11 Bidang longsor pada timbunan 6 m 72
Gambar 5.12 Perpindahan total pada timbunan 6 m 73
Gambar 5.13 Kurva SF vs Perpindahan timbunan 6 m 73
Gambar 5.14 Model Timbunan 4 m 74
Gambar 5.15 Bidang longsor pada timbunan 4 m 74
Gambar 5.16 Perpindahan total pada timbunan 4 m 75
Gambar 5.17 Kurva SF vs Perpindahan timbunan 6 dengan tinggi muka air 20 m 75
Gambar 5.18 Pemodelan timbunan dalam metode Fellenius 76

Gambar 5.19 Bidang longsor untuk menentukan panjang geotekstil 107
Gambar 5.20 Model Timbunan 8 m dengan perkuatan geotekstil 109
Gambar 5.21 Bidang Longsor Timbunan 8 m dengan Perkuatan Geotekstil 110
Gambar 5.22 Perpindahan Total Timbunan 8 m dengan Perkuatan Geotekstil 110
Gambar 5.23 Kurva hubungan SF dengan Perpindahan 111
Gambar 5.24 Model Timbunan 8 m yang diperkuat geotekstil 111
Gambar 5.25 Bidang Longsor Timbunan 6 m dengan Perkuatan Geotekstil 112
Gambar 5.26 Penurunan Tanah Timbunan6 m dengan Perkuatan Geotekstil 112
Gambar 5.27 Kurva hubungan SF dengan Perpindahan Timbunan 6 m dengan Perkuatan Geotekstil 113
Gambar 5.28Model Timbunan 6 m dengan Perkuatan Geotekstil 113
Gambar 5.29 Bidang Longsor Timbunan 4 m dengan Perkuatan Geotekstil 114
Gambar 5.30 Penurunan Tanah Timbunan 4 m dengan Perkuatan Geotekstil 114
Gambar 5.31 Kurva hubungan SF dengan Perpindahan Timbunan 4 m dengan Perkuatan Geotekstil 115

DAFTAR NOTASI

SF : Safety Factor

IP : Index Plastisitas

Sv : Spasi Vertikal Lapis Geotekstil

Gs : Berat jenis tanah

w : Kadar air

wN : Kadar air asli dilapangan

τ : Kekuatan geser

α : Sudut kemiringan lereng

σv : Tegangan vertikal

φ : Sudut geser

φ' : Sudut geser dalam tanah efektif

γ : Berat volume

γw : Berat isi air

γ' : Berat volume jenuh tanah

e : Angka Pori

e0 : Angka pori awal

e1 : Angka pori pada perubahan volume tertentu

b : Lebar

c : Kohesi tanah

c' Kohesi tanah efektif

Cc : Indeks pemampatan

Cr : Indeks pemampatan kembali

Cv : Koefisien konsolidasi

G : Berat jenis

H : Tebal lapis tanah

$H\omega$: Kedalaman muka air tanah

Hc : Ketebalan kritis

LL : Batas cair

l : Panjang dasar pada bidang geser

Pc ' : tekanan prakonsolidasi

Po’ : tekanan overburden efektif mula-mula sebelum dibebani

Sc : penurunan konsolidasi primer total

T : Waktu penurunan

Tv : Faktor waktu

u : Tekanan air pori

τd : Tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor

σ : Tegangan normal

σ’ : Tegangan normal efektif

Δe : Perubahan angka pori

ΔH : Perubahan tebal

Δp : Penambahan tegangan

ΔV : Perubahan volume

γsat : Berat isi tanah jenuh

γunsat : Berat isi tanah tak jenuh

ψ : Sudut dilatansi

ε : Regangan

q : Beban merata

L :Panjang

Lo : Panjang geotekstil “overlapping”

W : berat irisan tanah ke-I

Ui : tekanan air pori pada irisan ke-I

R : jari-jari lingkaran bidang longsor

σhc : tekanan horizontal rata-rata pada lipatan

ABSTRAKSI

Proyek Jalan tol Pekan Baru - Dumai terletak di Provinsi Riau. 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 angka aman terhadap longsor serta angka penurunan tanah

Analisis stabilitas timbunan pada menggunakan bantuan software PLAXIS 8.6. Sementara untuk variasi tinggi timbunannya adalah 4 m, 6 m, dan 8 m. Ketinggian muka air tanah terdapat dibawah lapisan tanah keras sesuai dengan parameter tanah yang didapat. Analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai angka aman serta angka penurunan tanah. Timbunan tanah yang aman adalah yang memenuhi syarat angka aman yaitu ≥ 1,5. Timbunan yang tidak aman akan diberi perkuatan menggunakan geotekstil.

Tahap awal adalah menganalisis timbunan tanah asli yang tidak diperkuat dengan PLAXIS 8.6. Hasilnya adalah timbunan dengan tinggi 8 meter mengalami collapse sehingga harus dihitung melalui metode fellenius. Setelah diperkuat dengan geotekstil, seluruh timbunan dikategorikan aman karena memenuhi syarat

Kata kunci : Angka Aman, Geotekstil, PLAXIS 8.6,penurunan tanah, timbunan

ABSTRACT

The Pekan Baru - Dumai toll road project is located in Riau province. The soil conditions on this project are very heterogen. On , the existing soil on the location has swamply soil.Under construction process, swamp land got special attention because it could involve land subsidence or landslides.Therefore it is necessary to have an analisys stability of soil to get safety factor or the number of soil subsidences.

Analisys of slope stability on using PLAXIS 8.6. While the height variation of the embankment is 4 m, 6 m, and 8 m.The ground water level is found under hard soil layer according to the parameters of the soil obtained.The analysis was carried out to obtain the value of safe factor and soil subsidence rates. The embankment has to reach safety factor ≥ 1,5 to called it safe.Unsafe embankment will be reinforced with geotextile.

The initial step is to analyze the original landfill that is not reinforced with PLAXIS 8.6. The result is the embankment of 8 metersin height has collapsed so it must be calculated through the fellenius method. So the embankment necessary have to reinforcement using geotextile. After being reinforced using geotextiles, all the embankments are considered safe

***Keywords** : Safety Factor, Geotextile, PLAXIS 8.6, settlement, embankment*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada kondisi tanah yang kurang baik memerlukan suatu pekerjaan timbunan sebelum dibangun suatu konstruksi. Timbunan pada suatu tanah menyebabkan terjadinya perubahan tegangan di dalam tanah sehingga tanah terdeformasi yang mengakibatkan terganggunya kestabilan tanah. Pada berbagai pekerjaan konstruksi timbunan dibuat dalam ketinggian yang berbeda – beda sesuai dengan kondisi tanah serta jenis konstruksi yang akan dibangun. Semakin tinggi timbunan tanah, maka semakin besar beban yang harus ditahan oleh tanah asli, sehingga menyebabkan semakin berkurangnya kestabilan tanah.

Pada Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai, secara geoteknik tanah yang ada di daerah tersebut merupakan jenis tanah lunak. Tanah lunak dalam konstruksi seringkali menjadi permasalahan. Hal ini disebabkan oleh rendahnya daya dukung tanah tersebut. Daya dukung yang rendah dapat menyebabkan kerugian, mulai dari kerugian dari sisi biaya konstruksi yang semakin mahal, hingga terancamnya keselamatan konstruksi, yaitu struktur yang dibuat tidak mampu berdiri secara stabil dan bisa roboh.

Pekerjaan proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai membentuk badan jalan akan dilakukan pekerjaan timbunan tanah yang cukup tinggi dari permukaan tanah asli setempat. Penimbunan tanah tersebut bertujuan untuk membentuk desain trase yang sudah direncanakan namun karena jenis tanah pada proyek tersebut merupakan tanah lunak maka diperlukan kajian analisis stabilitas lereng tanah. Ada berbagai metode dalam menganalisis kestabilan lereng salah satunya menggunakan *software* geoteknik yang berbasis pada analisis metode elemen hingga yaitu Plaxis. Analisis pada Plaxis menghasilkan angka keamanan lereng yang menunjukan kondisi kestabilan lereng.

Lokasi Jalan Tol Pekan Baru - Dumai dapat dilihat pada Gambar1.1 berikut ini. Gambaran umum mengenai kondisi tanah pada daerah tersebut ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1.1Lokasi Jalan Tol Pekan Baru - Dumai
(Sumber: Google, 2018)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah sebagi berikut ini.

1. Bagaimana nilai angka aman pada tanah timbunan asli terhadap kelongsoran menggunakan program *plaxis*?
2. Berapakah perbandingan nilai angka aman pada tanah timbunan asli dan timbunan yangdiperkuat dengan geotekstil dengan variasi tinggi timbunan 4 m, 6 m, dan 8 m?
3. Berapakah perbandingan nilai penurunan tanah timbunan asli dengan timbunan yang diperkuat dengan geotekstil dengan variasi tinggi timbunan 4 m, 6 m, 8 m?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui nilai angka aman dari kondisi tanah timbunan asli terhadap kelongsoran menggunakan program *plaxis*.
2. Mengetahui perbandingan nilai angka aman pada tanah timbunan asli dan timbunan yang diperkuat dengan geotekstil dengan variasi tinggi timbunan 4 m, 6 m, dan 8 m.
3. Mengetahui perbandingan nilai penurunan tanah timbunan asli dengan timbunan yang diperkuat dengan geotekstil dengan variasi tinggi timbunan 4 m, 6 m, 8 m

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini bagi pembaca maupun penulis adalah sebagai berikut ini.

1. Hasil penelitian dapat digunakan untuk menghindari terjadinya kelongsoran pada tanah timbunan dalam pengerjaan jalan Tol Pekan Baru- Dumai.
2. Hasil penelitian bisa digunakan sebagai acuan dasar untuk penelitian-penelitian selanjutnya.
3. Sebagai bentuk usaha merealisasikan ilmu yang berkaitan dan diperoleh selama kuliah di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian harus mempunyai tujuan yang jelas, agar penelitian fokus dan tidak menyimpang dari topik pembahasan. Adapun batasan-batasan penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Analisis dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS 8.6 2D
2. Perhitungan manua menggunakan metode fellenius
3. Data tanah yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari proyek Jalan Tol Pekan Baru - Dumai,
4. Hanya menganalisis stabilitas tanah timbunan dan penurunan yang terjadi,

5. Jenis geotekstil yang digunakan yaitu Woven UW-250 dengan kuat tarik 60 kN/m dari PT. Tetrasa Geosinindo,
6. Beban gempa yang digunakan mengacu pada peta zonasi gempa (SNI 1726-2012)
7. Variasi tinggi timbunan adalah 4 m, 6 m, dan 8 m.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang tidak horisontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakan tanah ke bawah jika komponen gravitasi terlalu besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui maka akan terjadi kelongsoran terhadap lereng tersebut. Analisis pada permukaan tanah ini disebut dengan analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering digunakan pada perancangan infrastruktur seperti jalan kereta api, bandara, jalan raya, bendungan, saluran, dan lainnya. Pada umumnya analisis stabilitas dilakukan untuk memeriksa nilai angka aman pada suatu lereng (Hardiyatmo, 2002).

Hardiyatmo (2002) menambahkan analisis stabilitas lereng tidak mudah, karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungan. Misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, aliran rembesan air dalam tanah dan lainnya. Hardiyatmo (2002) mengatakan penyebab kelongsoran lereng terjadi akibat pengaruh dalam dan pengaruh luar. Pengaruh luar yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah.

2.1.1 Penelitian Tentang "Analisis Stabilitas Lereng Metode Fellinius Dengan Variasi Bidang Longsor Berdasarkan Teori Probabilitas".

Murdiyanto (2012) melakukan penelitian dengan tujuan untuk membahas tentang konsep analisis dengan pendekatan probabilitas menjadi solusi mutakhir untuk mengatasi kurang telitinya model deterministik. Salah satu propertis tanah yang menunjukkan tingginya variasi data adalah hasil *Cone Penetration Test* (CPT). Pengolahan data CPT yang akan digunakan dalam analisis model probabilitas yang selanjutnya dipakai untuk analisis stabilitas lereng. Data CPT diambil dari

lereng dengan tanah pasir di lokasi Sungai Jamuna, Bangladesh dengan kedalaman 30 meter.

Data CPT di analisis dengan menggunakan metode statistik untuk menentukan fungsi kepadatan probabilitas atau distribusi frekuensinya dan memastikan parameter – parameter statistik seperti mean, standar deviasi dan koefisien variasi. Untuk mendapatkan hasil yang reliabel, digunakan 4 jenis distribusi, yaitu : distribusi normal, gamma, beta, dan log-normal yang dianalisi dengan program MATLAB. Pengujian kesesuain distribusi frekuensi menggunakan metode Uji Chi-Kuadrat. Aplikasi *Crystal Ball* digunakan sebagai perbandingan untuk mendapatkan angka keamanan dari stabilitas lereng dengan perhitungan manual.

Hasil yang diperoleh dari analsisis adalah nilai distribusi yang paling mewakili data sondir adalah pada distribusi beta dengan nilai χ^2 *best fit distribution* sebesar 0,313. Dengan pengujian chi kuadrat (χ^2) diperoleh bahwa sudut gesek dalam (qc) dapat di distribusikan secara normal. Dari hasil analisis dengan metode Fellinius dan analisis program *Crystal Ball*, nilai angka keamanan yang paling besar terjadi pada variasi bidang longsor III sebesar 1,2885 (manual) dan persentase nilai F>1 sebesar 87,770% (*Crystal Ball*). Dari hasil analisis dengan metode Fellinius, kemungkinan lereng akan stabil/tidak terjadi longsor. Hasil dari analisis dengan *Crystall Ball*, menunjukan kemungkinan lereng tetap bertahan >80% .

2.1.2 Penelitian Tentang "Studi Tentang Stabilitas Lereng Berdasarkan Metode Fellinius dan Metode Bishop Terhadap Variasi Tebal Pias dan Sudut Kemiringan" (Studi Kasus Proyek Gedung Kampus D3 Ekonomi UII, Yogyakarta)

Kurniawan dan Ayudin (2003) melakukan penelitian tentang snalisis stabilitas lereng pada penelitian ini menggunakan metode irisan yaitu metode Fellinius dan metode Bishop yang disederhanakan dengan penggunaan aplikasi program Excel dan Geo-Slope. Lereng yang diteliti terdiri dari 3 lapisan tanah yang

berbeda, mempunyai $\gamma 1$ = 86 kN/m3 pada lapisan tanah atas, $\gamma 2$ = 14,87 kN/m3 pada lapisan tanah tengah dan $\gamma 3$ = 14,35 kN/m3 pada lapisan tanah bawah. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah bahwa nilai faktor keamanan dari program Excel dengan menggunakan metode Fellinius dan metode Bishop untuk sudut 45°, 60° dan 75° mempunyai nilai di atas 1. Nilai faktor keamanan ini dianggap belum minimum, karena hanya dihitung dengan R dan sudut AOC yang tetap untuk setiap kemiringan. Sedangkan nilai faktor keamanan dari program Geo-Slope dengan menggunakan metode Fellinius dan metode Bishop untuk sudut 45° mempunyai nilai sebesar 1,26 dan 1,31, untuk sudut 60° mempunyai nilai sebesar 0,97 dan 0,99 serta untuk sudut 75° mempunyai nilai sebesar 0,78 dan 0,76. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai faktor keamanan yang paling aman adalah pada kemiringan 45°, karena nilai faktor keamanan yang paling aman adalah lebih besar dari 1.

2.1.3 Penelitian Tentang "Perbandingan Stabilitas Lereng Tanpa Dan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Versi 8.5 (Studi Kasus Pada Lereng Sta. 2+225, Proyek Jalan Tol Semarang-Solo)"

Dainty (2013) melakukan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui angka aman lereng asli, lereng dengan geometri baru tanpa diperkuat geotekstil dan lereng dengan geometri baru yang diperkuat geotekstil dengan dan tanpa beban gempa menggunakan program plaxis versi 8.5 serta membandingkan angka aman antara lereng asli, lereng dengan geometri baru tanpa diperkuat geotekstil dan lereng dengan geometri baru yang diperkuat geotekstil.

Analisis stabilitas lereng menggunakan parameter data sekunder yang diambil dari PT.Global Perfex Synergi dan disimulasikan dengan menggunakan program Plaxis versi 8.5. Untuk perencanaan perkuatan pada lereng digunakan perkuatan geotekstil woven HRX 300 produksi PT.Tetrasa Geosinindo. Dari analisis program Palxis versi 8.5 di dapatkan nilai angka aman lereng asli tanpa dan dengan gempa secara berturut-turut sebesar 2,628 dan 2,626, nilai ini telah memenuhi syarat yang disepakati di proyek yaitu 1.3. Nilai angka aman lereng dengan geometri baru

tanpa diperkuat geotekstil untuk sudut 76□ sebesar 1,649 tanpa beban gempa dan sebesar 1.649 dengan beban gempa, nilai ini sudah memenuhi syarat yang di sepakati proyek, sedangkan untuk sudut 90□ sebesar 1.109 tanpa beban gempa dan 0,676 dengan beban gempa, nilai ini tidak memenuhi syarat yang disepakati di proyek. Nilai angka aman lereng dengan geometri baru yang diperkuat geotekstil untuk sudut 76□ sebesar 2,806 tanpa beban gempa dan sebesar 2,805 dengan beban gempa, nilai ini telah memenuhi syarat yang disepakati di proyek, sedangkan untuk sudut 90□ sebesar 2,743 tanpa beban gempa dan sebesar 2,816 dengan beban gempa, nilai ini telah memenuhi syarat yang disepakati oleh proyek. Nilai angka aman yang didapat untuk lereng asli lebih besar dibandingkan dengan nilai angka aman pada lereng dengan geometri baru tanpa diperkuat geotekstil,hal ini menunjukkan bahwa pada geometri lereng asli lebih stabil dibandingkan pada lereng dengan geometri baru tanpa diperkuat geotekstil. Namun nilai angka aman yang didapat untuk lereng dengan geometri baru yang diperkuat geotekstil lebih besar dibandingkan dengan nilai angka aman pada lereng dengan geometri baru tanpa diperkuat geotekstil. Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan geotekstil woven mampu meningkatkan nilai angka aman dari 1,649 menjadi 2,806 (sudut 76□) dan 1,109 menjadi 2,743 (sudut 90□) untuk lereng tanpa beban gempa serta 1,649 menjadi 2,805 (sudut 76□) dan 0.676 menjadi 2,816 (sudut 90□) untuk lereng dengan beban gempa. Selain itu nilai angka aman lereng dengan geometri baru yang diperkuat geotekstil lebih besar dibandingkan dengan nilai angka aman lereng asli, hal ini menunjukkan bahwa lereng dengan geometri baru yang diperkuat geotekstil lebih stabil dibandingkan dengan geometri lereng asli.

2.1.4 Penelitian “Analisis Perilaku Timbunan dengan Perkuatan Geosintetik Menggunakan Software Plaxis”

Ismanti (2012) melakukan penelitian tentang analisis perilaku timbunan dilakukan dengan hitungan analitis dan dengan menggunakan program Plaxis versi 8.2. Untuk menganalisis kestabilan dan penurunan tanah dasar didasarkan pada beban timbunan, lalu lintas dan gempa untuk kondisi tanpa dan dengan perkuatan

geosintetik. Perkuatan geosintetik yang digunakan terdiri dari geotekstil non woven, geotekstil woven dan geogrid.

Berdasarkan hitungan analisis, proses konsolidasi tanah dasar selama penimbunan bertahap hingga konsolidasi berakhir membutuhkan waktu selama 278,76 hari sedangkan berdasarkan analisis numeris Plaxis diperoleh waktu selama 2760 hari. Besar penurunan total tanah dasar hingga konsolidasi terakhir selesai sebagai hasil hitungan analitis diperoleh nilai sebesar 0,31 meter dan 0,25 meter sebagai hasil analisis numeris Plaxis. Nilai angka aman hasil analisis numeris Plaxis untuk struktur tanah timbunan tanpa perkuatan yaitu sebesar 1,27. Nilai tersebut belum memenuhi batas syarat struktur timbunan yaitu sebesar 1,30. Hasil analisis angka aman untuk struktur timbunan dengan perkuatan geotekstil non woven sebesar 1,28, dengan perkuatan geotekstil woven sebesar 1,35 dan dengan perkuatan geogrid sebesar 1,31 dimana nilai-nilai angka aman tersebut telah memenuhi batas syarat struktur timbunan. Dari hasil analisis angka aman, untuk perkuatan geosintetik yang paling efektif dan optimal serta mampu digunakan sebagai solusi selama pelaksanaan struktur timbunan badan jalan dalam penelitian ini adalah jenis geotekstil woven.

2.2 Perbandingan Penelitian yang Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Perbandingan penelitian yang akan dilakukan dengan beberapa penelitian di atas disajikan dalam bentuk table yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.0.1Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

No	Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1.	Murdiyanto (2012)	Analisis Stabilitas Lereng Metode Fellinius dengan Variasi Longsor Berdasarkan Teori Probabilitas	Pendekatan probabilitas menjadi solusi mutakhir untuk mengatasi kurang telitinya model deterministik	Metode Fellinius, metode Uji ChiKuadrat, aplikasi Crystal Ball, dan program MATLAB	Hasil analisis dengan metode Fellinius, kemungkinan lereng akan stabil/tidak terjadi longsor. Hasil dari analisis dengan Crystall Ball, menunjukan kemungkinan lereng tetap bertahan >80% .
2.	Kurniawan dan Ayudin (2003)	Stabilitas Lereng Berdasarkan Metode Fellinius dan Metode Bishop Terhadap Variasi Tebal Pias dan Sudut Kemiringan	Nilai faktor keamanan yang paling aman	Metode irisan yaitu metode Fellinius dan metode Bishop yang disederhanakan dengan penggunaan aplikasi program Excel dan Geo-Slope	Nilai faktor keamanan yang paling aman adalah pada kemiringan 45°, karena nilai faktor keamanan yang paling aman adalah lebih besar dari 1.

No	Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
3.	Dainty (2013)	Perbandingan Stabilitas Lereng Tanpa Dan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Versi 8.5	Untuk mengetahui angka aman lereng asli, lereng dengan geometri baru tanpa diperkuat geotekstil dan lereng dengan geometri baru yang diperkuat geotekstil dengan dan tanpa beban gempa	Metode elemen hingga yaitu Plaxis	Nilai angka aman lereng dengan geometri baru yang diperkuat geotekstil lebih besar dibandingkan dengan nilai angka aman lereng asli, hal ini menunjukkan bahwa lereng dengan geometri baru yang diperkuat geotekstil lebih stabil dibandingkan dengan geometri lereng asli.

4.	Ismanti (2012)	Analisis Perilaku Timbunan dengan Perkuatan Geosintetik Menggunakan Software Plaxis	Untuk menganalisis kestabilan dan penurunan tanah dasar didasarkan pada beban timbunan, lalu lintas dan gempa untuk kondisi tanpa dan dengan perkuatan geosintetik	metode elemen hingga yaitu Plaxis	hasil analisis angka aman, untuk perkuatan geosintetik yang paling efektif dan optimal serta mampu digunakan sebagai solusi selama pelaksanaan struktur timbunan badan jalan dalam penelitian ini adalah jenis geotekstil woven.

No	Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
5	Halim (2020)	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil dengan Program *Plaxis*	Mengetahui perbandingan nilai SF dan penurunan tanah antara timbunan yang tidak diperkuat dengan timbunan yang diperkuat	Meggunakan perangkat lunak PLAXIS 8.6 2D dan perhitungan manual metode fellenius	Timbunan tanah asli mengalami collapse pada tinggi 8 m , sementara pada tinggi 6 m mendapat SF sebesar 1,4886, dan tinggi timbunan 4 m mendapat SF sebesar 1,7407. Setelah timbunan diperkuat geotekstil, timbunan dalam kondisi SF yang aman serta penurunan tanah dapat mengecil

BAB III

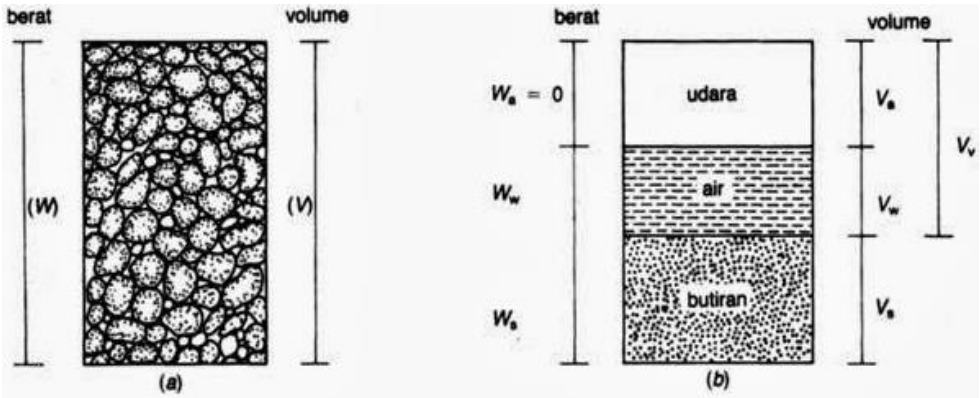
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah merupakan suatu kumpulan mineral dari bahan organik (tumbuhan) atau anorganik (vulkanik) dan merupakan endapan-endapan yang relatif lepas, yang terletak diatas batuan dasar (Hardiyatmo,2002). Tanah terbentuk dari terjadinya pelapukan batuan menjadi partikel – partikel yang lebih kecil akibat proses mekanis dan kimia. Pelapukan mekanis disebabkan oleh peristiwa pemuaian dan penyusutan batuan karena perubahan suhu secara terus menerus sehingga mengakibatkan hancurnya batuan tersebut.

3.1.1 Properti Tanah

Tanah terdiri dari dua atau tiga bagian, yaitu butiran tanah, air dan udara. Tanah dalam keadaan kering hanya memiliki dua bagian tanah, yaitu butiran tanah dan pori-pori udara.Pada tanah dalam kondisi jenuh hanya terdapat dua bagian yaitu butiran tanah serta air pori. Sedangkan dalam kondisi tidak jenuh tanah 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 3.1Diagram Fase Tanah

Berdasarkan Gambar 3.1 diatas, suatu tanah memiliki tiga elemen dalam setiap butirnya. Ada udara, air dan padatan. Dalam setiap elemen tersebut memiliki

volume dan berat masing – masing. Mengacu pada diagram fase tanah maka dapat diketahui beberapa persamaan sebagai berikut.

$W = Ws + Ww$ (3.1)

dan

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

$Vv = Vw + Va$ (3.3)

Dengan

W = berat total

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V = volume total

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

Vv = volume rongga

1. Berat Volume Butiran Padat (γ_s)

   Berat tanah butiran tanah kering dalam satu satuan volume butiran tanah atau perbandingan antara berat butiran padat (*Ws*) dengan volume butiran padat (*Vs*) dan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.4.

   $$\gamma s = \frac{Ws}{Vs} \quad (3.4)$$

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

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

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

7. Hubungan antara derajat kejenuhan, angka pori, kadar air dan berat jenis

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

   S e = w Gs (3.6)

   Korelasi untuk menentukan berat jenis tanah (γ) dan berat jenis tanah jenuh (γsat) dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.1Nilai Berat Volume Tanah

No.	Jenis tanah	γ sat (kN/m3)	γ d (kN/m3)
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)

8. Permeabilitas

   Permeabilitas didifinisikan 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 3.4 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)

9. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan nilai yang menunjukan besarnya angkaelastisitas tanah dari perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadapregangan. Perkiraan nilai ini dapat ditentukan dari jenis tanah seperti padaTabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

No.	Jenis Tanah	E (kN/m2)
1.	Lempung :	
	Sangat lunak	300 – 3000
	Lunak	2000 – 4000
	Sedang	4500 – 9000
	Keras	7000 – 20000
	Berpasir	30000 - 42500

Lanjutan Tabel 3.5 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

2.	Pasir : Berlanau Tidak padat Padat	 5000 – 20000 10000 – 250000 50000 - 100000
3.	Pasir dan kerikil : Padat Tidak padat	 80000 – 200000 50000 - 140000
4.	Lanau	2000 – 20000
5.	Loses	15000 – 60000
6.	Cadas	140000 - 1400000

(Sumber : Bowles,1977)

10. Poisson Ratio

Nilai poisson ratio ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadapregangan pemuaian lateral. Nilai ini dapat ditentukan berdasarkan jenis tanahseperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson

No	Jenis Tanah	*Poisson Ratio*
1	Lempung jenuh	0,4 – 0,5
2	Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
3	Lempung berpasir	0,2 – 0,3

Lanjutan Tabel 3.4 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson

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

Pada sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan14sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolossaringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlahkelompok dan sub kelompok yang dapat dilihat dalam Tabel 3.1. 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*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah Sistem *Unified* adalah sebagai berikut.

a. Pertama adalah menentukaan kategori tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaring menggunakan saringan nomor 200

b. Jika tanah berupa butiran kasar:

   1) tanah harus disaring kemudian hasil saringan dapat digambar grafik distribusinya
   2) menentukan berapa persen butiran yang lolos saringan no 4. Apabila yang lolos kurang dari 50% maka tanah tersebut diklasifikasikan sebagai kerikil. Apabila butiran yang lolos lebih dari 50% maka tanah tersebut diklasifikasikan sebagai pasir
   3) menentukan jumlah yang lolos saringan no. 200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5% maka dalam membuat grafik distribusi butiran harus mempertimbangkan hitungan Cu dan Cc. Jika bergradasi baik maka diklasifikasikan menjadi GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Namun apabila persentase butiran yang lolos saringan no. 200 diantara 5% sampai 12% maka tanah tersebut memiliki simbol ganda dan memiliki sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).
   4) jika persentase butiran yang lolos saringan no 200 lebih dari 12% maka harus tanah harus dilakukan uji batas – batas Atterberg. Uji tersebut dilakukan dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Kemudian , tanah dapat diklasifikasikan menggunakan dasar diagram plastisitas

c. Jika tanah berupa butiran halus :

   1) terlebih dahulu melakukan uji batas – batas atterberg dengan menyingkirkan tanah yang tertinggal pada saringan no. 40. Apabila batas cair lebih dari 50%, maka tanah diklasifikasikan

sebagai H (plastisitas tinggi), apabila batas cair kurang dari 50% maka diklasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah)

2) pada kondisi H (plastisitas tinggi), bila plot batas – batas Atterberg di bawah garis A maka dapat ditentukan tanah tergolong organic (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A maka tanah termasuk golongan CH
3) pada kondisi L (plastisitas rendah), jika plot batas – batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh di bawah garis A dan area yang diarsir maka dapat ditentukan tanah tersebut termasuk organic (OL) atau anorganik(ML) berdasarkan warna, baum atau perubahan atas batas cair serta batas plastisitasnya dengan mengeringkan dalam oven. jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, maka tanah memiliki simbol dobel.

Berikut adalah sistem klasifikasi *Unified* yang ditampilkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5Sistem Klasifikasi *Unified*

DIVISI UTAMA			SIMBOL KELOMPOK	NAMA JENIS
Tanah berbutir kasar 50% butiran berbahan saringan No. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar bertahan saringan No. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikilpasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran
			GP	Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikilpasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran
		kerikil dengan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4 (4,75 mm)	Pasir Besih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP	Pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil,sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasirlanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung

Lanjutan table 3.5 Sistem Klasifikasi Unified

Tanah berbutir halus 50% butiran berbahan saringan No. 200 (0,075 mm)	Lanau dan Lempng Batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batu pasir halus berlanau atau berlempung
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau dengan plastisitas rendah
	Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, ata lanau diatomae, lanau yang elastis
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sar dengan tinggi
Tanah - tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck, dan tanahtanah lain deng kandungan organik tinggi

(Sumber: Bowles J.E., 1993)

Berikut adalah klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS yang ditampilkan dalam Tabel 3.6

Tabel 3.6 Sistem Klasifikasi USCS

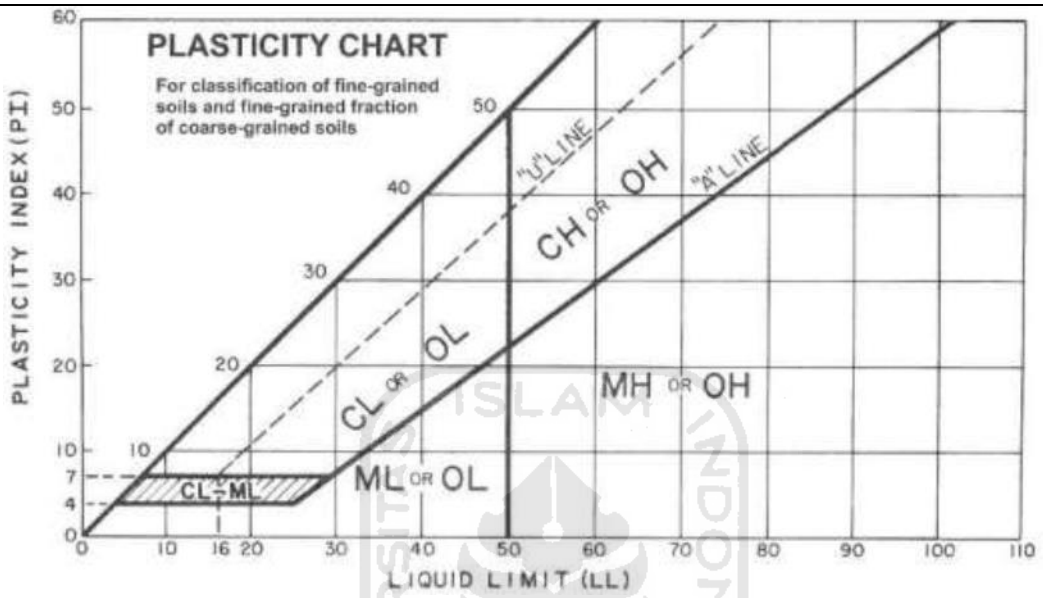
	Klasifikasi Tanah
Klasifikasi Berdasarkan presentase butir halus Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GW,GP,SW,SP Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 GM, GC, SM. SC	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} X\, D_{60}}$ Antara 1 dan 3
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW

Lanjutan Tabel 3.6 Sistem Klasifikasi USCS

<table>
<tr><td rowspan="5"></td><td>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4</td><td rowspan="2">Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda</td></tr>
<tr><td>Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI > 7</td></tr>
<tr><td colspan="2">$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6

$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} X D_{60}}$ Antara 1 dan 3</td></tr>
<tr><td colspan="2">Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW</td></tr>
<tr><td>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4</td><td rowspan="2">Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda</td></tr>
<tr><td>Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI > 7</td></tr>
</table>

Lanjutan Tabel 3.8Sistem Klasifikasi USCS



Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM Designation D-2488

(Sumber: Hardiyatmo H.C., 2009)

1. Klasifikasi berdasarkan AASHTO

   Sistem klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials ClassIfication) berguna untuk menentukan kualitas tanah untuk perencanaan timbunan jalan, subbase dan subgrade. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut. Sistem klasifikasi AASHTO awalnya membagi tanah kedalam 8 kelompok,A-1 sampai A-8 termasuk subkelompok. Sistem yang direvisi (Proc. 25 th Annual Meeting of Highway Research Board, 1945) mempertahankan delapan kelompok dasar tanah tadi tapi menambahkan dua subkelompokdalam A-1, empat kelompok dalam A-2, dan dua subkelompok dalam A-7. Kelompok A-8

tidak diperlihatkan tetapi merupakan gambut atau rawangyang ditentukan berdasarkan klasifikasi visual. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompok, yang dihitung dengan

rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan hanya analisis saringan dan batas-batas Atterberg (Bowles J.E., 1989).

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

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15)(PI - 10) \quad (3.12)$$

dengan,

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 3.7

Tabel 3.7 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO

Klasifikasi Umum	**Material Berbutir Kasar (35% atau kurang lolos saringan No. 200)**						
Klasifikasi Group	A-1		A-3	A-2			
	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 :							

Lanjutan Tabel 3.7 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO

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	
Karakteristik fraksi lolos saringan No. 40 :						

3.1.3 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah untuk melawan tegangan geser yang terjadi saat tanah terbebani. Keruntuhan geser (*shear failure*) tanah tejadi bukan disebabkan karena hancurnya butiran tanah tersebut tetapi karena disebabkan oleh gerak relatif antara butiran tanah tersebut (Budi Santoso, dkk, 1998). Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh (Hardiyatmo H.C., 2009) :

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

Ada beberapa metode untuk menentukan kuat geser tanah, antara lain:

1. pengujian geser langsung (*Direct shear test*)
2. pengujian tiaksial (*Triaksial test*)

3. pengujian tekan bebas (*Unconfined compression test*)

Namun dalam penelitian ini yang digunakan untuk menentukan kuat geser tanah adalah pengujian geser langsung dan pengujian triaksial (*Triaksial test*). Pengujian kuat geser ini dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat geser yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ).

1. Kohesi

   Kohesi adalah gaya tarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geserdalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukanketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanahdalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Nilai ini didapat dari pengujian *triaxial test* dan *direct shear test*. Selain itu, kisaran nilai kohesi dapatditentukan berdasarkan nilai qc pada uji sondir seperti pada Tabel 3.8 berikut

Tabel 3.8 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Kohesi

No.	Konsentrasi Tanah	Tekanan Konus qc (kg/cm2)	Kohesi Derajat^{o}
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

Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanahakibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini jugadidapat dari pengujian triaxial test dan direct sheer test. Selain itu, kisarannilai sudut geser dalam dapat ditentukan berdasarkarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.9

Tabel 3.9 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

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

(Sumber: Das 1994)

3.2 Stablitas Lereng

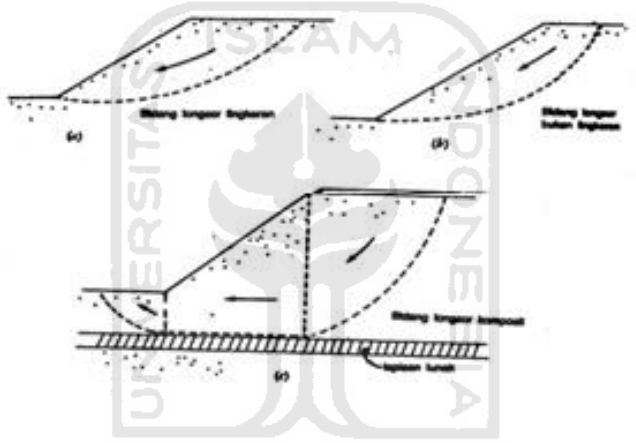
3.2.1 Pengertian Umum

Stabilitas lereng merupakan suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan penggalian dan penimbunan tanah, serta batuan dan bahan galian, karena menyangkut persoalan keselamatan manusia (pekerja), keamanan peralatan serta kelancaran produksi. Keadaan ini berhubungan dengan terdapat dalam bermacam-macam jenis pekerjaan, misalnya pada pembuatan jalan, bendungan, penggalian kanal, penggalian untuk konstruksi, penambangan dan lain-lain.

Dalam operasi penambangan masalah kemantapan lereng ini akan 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 sebagai akibat dari proses penambangan *(pit slope)* maupun yang merupakan sarana penunjang operasi penambangan (seperti bendungan dan jalan) tidak stabil, maka akan mengganggu kegiatan konstruksi.

Gaya-gaya gravitasi dan rembesan *(seepage)* cenderung menyebabkan ketidakstabilan pada lereng alami, lereng yang dibentuk dengan cara penggalian, pada lereng tanggul serta pada bendungan tanah. Tipe keruntuhan lereng yang terjadi pada analisis yaitu tipe keruntuhan gabungan digambarkan pada Gambar 3.1 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 3.10.

Tabel 3.10 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng

Resiko terhadap nyawa / Manusia Resiko Ekonomis		Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan nyawa manusia		
		Tak diperhatikan	Rendah	Tinggi
Rekomendasi	Diabaikan	1,1	1,2	1,5

Lanjutan Tabel 3.10 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng

	Rendah	1,2	1,2	1,5
	Tinggi	1,4	1,4	1,5

Catatan :

1. Meskipun nilai faktor keamanan lerengnya 1,4,jika beresiko tinggi terhadap keselamatan orang – orang disekitarnya maka harus diubah menadi 1,1 berdasarkan hasil prediksi kondisi air tanah terburuk

2. Faktor Keamanan yang tercantum di dalam tabel ini adalah nilai – nilai yang direkomendasikan. Faktor keamanan yang lebih tinggi atau lebih rendah mungkin saa

3. teraman keamanannya pada situasi – situasi khusus dalam hubungannya dengan dengan resiko kehilangan nyawa dan ekonomis

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2005

3.2.2 Metode Fellenius

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

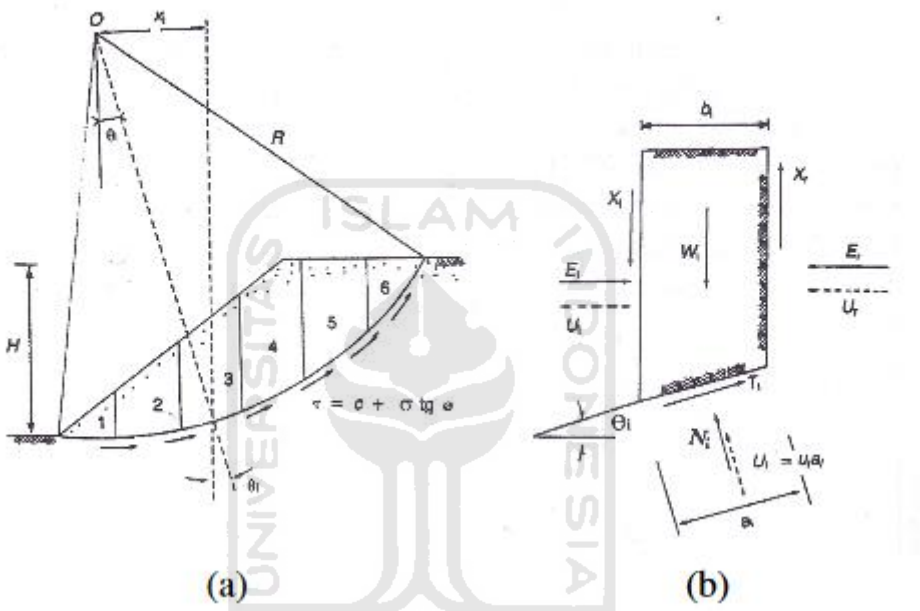
Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja di tengah-tengah *slice*. Diasumsikan 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 :

a. Posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan: n

b. 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:

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i$$

Atau,

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i$$

$$= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \quad (3.7)$$

Faktor aman didefinisikan sebagai,

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

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

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah R sin θ, maka:

$$\sum M_d = R \sum_{n=1}^{i=n} Wi \sin \theta i \quad (3.8)$$

Dengan:

R = jari-jari lingkaran bidang longsor

n = jumlah irisan

W_i = berat massa tanah irisan ke-*i*

N_i = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

θ_i = sudut yang didefinisikan

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

$$\sum M_r = R \sum_{n=1}^{i=n} (cai + Ni \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.9)$$

Maka persamaan untuk faktor aman menjadi,

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} (cai + Ni \operatorname{tg} \varphi)}{\sum_{n=1}^{i=n} Wi \sin \theta i} \quad (3.10)$$

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.

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} cai + (Wi \cos \theta i - uiai) tg\, \varphi}{\sum_{n=1}^{i=n} Wi \sin \theta i} \qquad (3.11)$$

dengan:

F = faktor aman

C = kohesi tanah (kN/m^2)

φ = sudut gesek dalam tanah (^{0})

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^2)

θ_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 Perkuatan Lereng

3.3.1 Pengertian Umum

Perkuatan lereng *(revetments)* adalah bangunan yang ditempatkan pada permukaan suatu lereng guna melindungi suatu tebing alur sungai atau permukaan lereng tanggul dan secara keseluruhan berperan meningkatkan stabilitas alur sungai atau tubuh tanggul yang dilindunginya. Telah terjadi pengembangan yang sangat lanjut terhadap konstruksi, salah satu bangunan persungaian yang sangat vital ini dan pada saat ini telah dimungkinkan memilih salah satu konstruksi,bahan dan cara pelaksanaan yang paling cocok disesuaikan dengan berbagai kondisi setempat.

Walaupun demikian konstruksi perkuatan lereng secara terus menerus dikembangkan dan disempurnakan.

3.3.2 Faktor Keamanan

Dalam analisis kemantapan lereng dengan permukaan gelincir yang diasumsi 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 harus dilakukan analisis 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 aman adalah: gaya yang menggelincirkan gaya penahan SF = Bila faktor keamanan didapat 1, ini berarti bahwa lereng sudah hampir dalam bahaya keruntuhan lereng/longsor. Akibatnya, untuk mendapatkan lereng yang ditetapkan maka safety factor (SF) ≥ 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 3.11Faktor Keamanan Lereng

Faktor Keamanan	Status Lereng	Intensitas Longsor
SF<1,07	Lereng Labil	Longsor sering terjadi
1,07≥SF≥1,25	Lereng Kritis	Longsor pernah terjadi
1,25≥SF	Lereng relatif stabil	Longsor jarang terjadi

(Sumber: Bowles J.E., 1989)

Lereng yang labil merupakan lereng yang sering terjadi longsor, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) dibawah 1,07. Lereng kritis merupakan lereng yang pernah terjadi longsor, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) antara 1,07 hingga 1,25.

Sedangkan lereng yang relatif stabil merupakan lereng yang jarang terjadi longsor dan tergolong lereng yang aman, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) diatas 1,25.

3.3.3 Geotekstil

Geotekstil banyak digunakan untuk perkuatan tanah dasar pada struktur perkerasan jalan. Geotekstil juga telah sering digunakan untuk stabilisasi timbunan badan jalan yang terletak pada pondasi tanah lunak. Pengaruh penting yang menguntungkan dari macam-macam pemakaian geotekstil untuk perkuatan timbunan adalah berfungsi utama sebagai pemisah, geotekstil juga berfungsi sebagai tulangan atau perkuatan yang menaikkan kapasitas dukung tanah dasar oleh kekuatan komposit tanah dengan geotekstil.

Geotekstil meliputi woven (tenun) dan non woven (tanpa tenun). Tenun dihasilkan dari *interlaying* antara benang-benang melalui proses tenun, sedangkan non woven dihasilkan dari beberapa proses seperti : *heat bonded*(dengan panas), *needle punched* (dengan jarum), dan *chemical bonded*(menggunakan bahan kimia). Baik woven maupun non woven dihasilkan dari benang dan serat polimer terutama : polypropelene, poliester, polyethilene dan polyamide

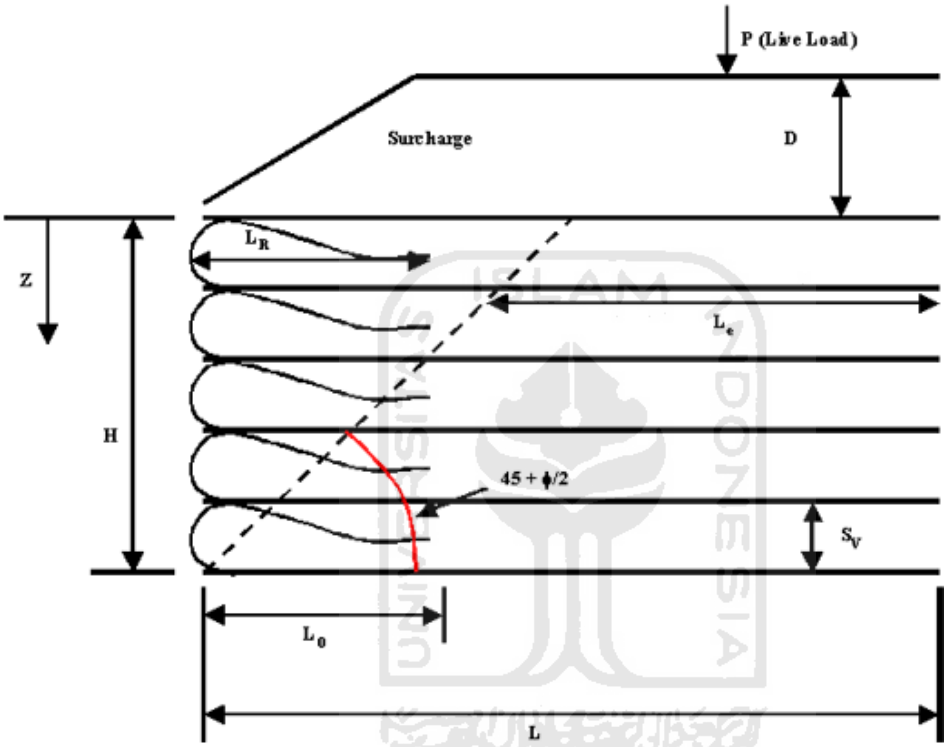
Timbunan yang dibangun pada tanah lunak mempunyai kecenderungan bergerak ke arah lateral, karena akibat dari tekanan tanah horizontal yang bekerja pada timbunan tersebut. Tekanan ini menyebabkan timbulnya tegangan geser pada dasar timbunan yang harus ditahan oleh tanah pondasi yang lunak tersebut agar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

Pemasangan geotekstil pada timbunan harus memiliki nilai faktor keamanan yang disyaratkan, untuk timbunan yang bersifat 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 3.5berikut ini



Gambar 3.4 Pemasangan Geotekstil pada Timbunan

3.3.4 Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Geotekstil

Analisis gaya-gaya yang bekerja untuk stabilitas terhadap gaya-gaya internal digunakan analisis tegangan seperti pada dinding penahan tanah dengan menggunakan teori klasik Rankine dan Coulomb. Metode yang digunakan ada dua macam 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 $(45 - \frac{\varphi}{2})^o$.

Analisis stabilitas konstruksi memiliki 2 pendapat yaitu sebagai berikut ini.

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

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

   Keterangan:

   K_0 = koefisien tekanan tanah diam,

   φ = sudut geser dalam (^{o}).

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

   $Ka = \tan^2 (45-\frac{\varphi}{2})$ (3.12)

   Keterangan:

   Ka = koefisien tanah aktif,

   φ = sudut geser dalam (^{o})

Pada penelitian ini digunakan 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 adanya pergerakan tanah kea rah horizontal. Pada penelitian ini tegangan horizontal dipengaruhi oleh adanya tegangan akibat tanah itu sendiri dan tegangan akibat beban yang bekerja di atas timbunan. Berikut Persamaan 3.13 untuk menghitung tekanan tanah horizontal.

   $\sigma hc = q.Ka + Ka.Hi.\gamma$ (3.13)

Keterangan:

σhc = tekanan tanah horizontal (kN/m^2),

q = beban merata (kN/m),

Ka = koefisien tanah aktif,

Hi = tinggi tanah yang ditinjau dihitung dari permukaan tanah (m),

γ = berat volume tanah (kN/m^3).

Selanjutnya menghitung jarak vertikal antar lapisan geotekstil (Sv) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.14 berikut ini.

$$Sv = \frac{Tall}{\sigma hc \ .SF} \qquad (3.14)$$

Keterangan:

Sv = jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m),

Tall = kuat tarik ijin geotekstil (kN/m),

σhc = tekanan tanah horizontal (kN/m^2),

SF = faktor keamanan (digunakan 1,5).

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

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.

$$\sigma v = \gamma.Hi \qquad (3.15)$$

Keterangan:

σv = tekanan tanah vertikal (kN/m^2),

γ = berat volume tanah (kN/m^3),

Hi = tinggi tanah yang ditinjau dari permukaan tanah (m).

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

$$L_R = \frac{H\text{-}Zi}{\tan(45+\frac{\varphi}{2})} \quad (3.16)$$

L_R = panjang geotekstil di daerah longsoran aktif (m),
H = tinggi tanah timbunan (m),
Zi = tinggi tanah yang ditinjau dari permukaan tanah (m),
φ = sudut geser dalam (^{o}).

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

$$L_C = \frac{1}{\beta}\frac{Tall}{2(c+\sigma v \,.\, \tan\varphi)} \quad (3.17)$$

Keterangan:
L_C = panjang geotekstil yang bekerja sebagai angker (m),
β = koefisien *interface* tanah terhadap geotekstil (dipakai 0,67),
Tall = kuat tarik geotekstil (kN/m),
c = kohesi tanah (kN/m^2),
σv = tekanan tanah vertikal (kN/m^2),
φ = sudut geser dalam (^{o}).

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

$$Ltot = L_R + L_C \quad (3.18)$$

Keterangan:

L_R = panjang geotekstil di daerah longsoran aktif (m),

L_C = panjang geotekstil yang bekerja sebagai angker (m).

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

$$Lo = \frac{1}{\beta}\frac{Tall}{4(c + \sigma v \,.\, \tan \varphi)} \geq 1 \text{ m} \qquad (3.19)$$

Keterangan:

Lo = panjang *overlapping* geotekstil (m),

β = koefisien *interface* tanah terhadap geotekstil (dipakai 0,67),

Tall = kuat tarik geotekstil (kN/m),

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

σv = tekanan tanah vertikal (kN/m^2),

φ = sudut geser dalam (^{o}).

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

$$Ea = \frac{1}{2}H^2 . \gamma . Ka \quad (3.20)$$

dan

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

Keterangan:

Ka = koefisien tanah aktif,

H = tinggi tanah timbunan (m),

γ = berat volume tanah (kN/m^3).

sehingga momen akibat tanah dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.22 berikut.

$$M_{Atanah} = Ea . Lengan \quad (3.22)$$

Keterangan:

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

Ea = gaya aktif akibat tanah (kN).

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

$$Eq = q.H.Ka \quad (3.23)$$

dan

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

Keterangan:

q = beban merata (kN/m),

H = tinggi tanah timbunan (m),

Ka = koefisien tanah aktif.

Sehingga momen akibat beban dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.25 berikut.

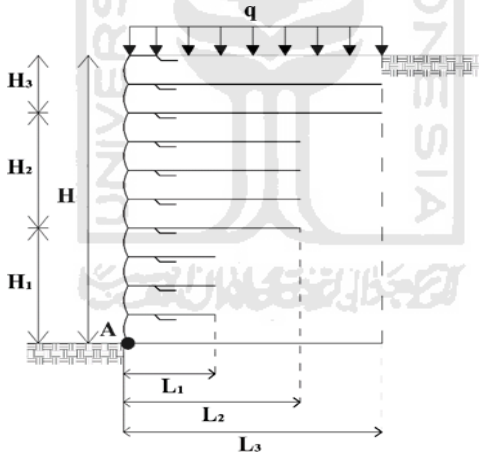
$$M_{Abeban} = Eq \cdot Lengan \quad (3.25)$$

Keterangan:

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

Eq = gaya aktif akibat beban (kN).

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



Gambar 3.5 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.

$$W = Li \cdot Hi \cdot \gamma \quad (3.26)$$

dan

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

Keterangan:

W = gaya pasif (kN),

Li = panjang geotekstil lapisan ke-I (m),

Hi = tinggi tanah pada masing-masing zona (m),

γ = berat volume tanah (kN/m^3).

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

$$Mp = Wi \cdot \text{Lengan} \quad (3.28)$$

Keterangan:

Mp = momen pasif (kN.m),

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

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

$$SF = \frac{\Sigma Mp}{\Sigma MA} > 1{,}5 \quad (3.29)$$

Keterangan:

SF = faktor aman,

ΣM_P = jumlah momen pasif (kN.m),

ΣM_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.

$$F = [Cg + \frac{Wtotal}{l_g}. \tan \delta] \, l_g \qquad (3.30)$$

Keterangan:

F = gaya yang melawan (kN),

C_g = lekatan antara geotekstil dan tanah dasar pondasi = $\frac{2}{3}$ c,

W_{total} = total gaya pasif (kN),

δ = $\frac{2}{3}$ φ (φ 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.

$$E = Ea + Eq \qquad (3.31)$$

Keterangan:

E = gaya yang mendorong (kN),

Ea = gaya aktif akibat tanah (kN),

Eq = gaya aktif akibat beban (kN).

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

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

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.

$$\sigma_{ult} = c \,.Nc + q \,.\, Nq + 0{,}5 \,.\, \gamma \,.L.N\gamma \qquad (3.33)$$

Keterangan:

σ_{ult} = kuat dukung ijin (kN/m^2),

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

Nc, Nq, Nγ = faktor daya dukung tanah Terzaghi,

γ = berat volume tanah(kN/m^3),

L = panjang geotekstil (m).

2) Kuat dukung yang terjadi

Berikut ini Persamaan 3.34 untuk menghitung kuat dukung yang terjadi.

$$\sigma_{terjadi} = H \,.\, \gamma + q \qquad (3.34)$$

Keterangan:

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

H =tinggi tanah timbunan (m),

γ = berat volume tanah (kN/m^3),

q = beban yang bekerja di atas timbunan (kN/m).

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

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

Keterangan:

SF = faktor aman terhadap kuat dukung,

σ_{ult} = kuat dukung ijin (kN/m^2),

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

3.4 Konsolidasi

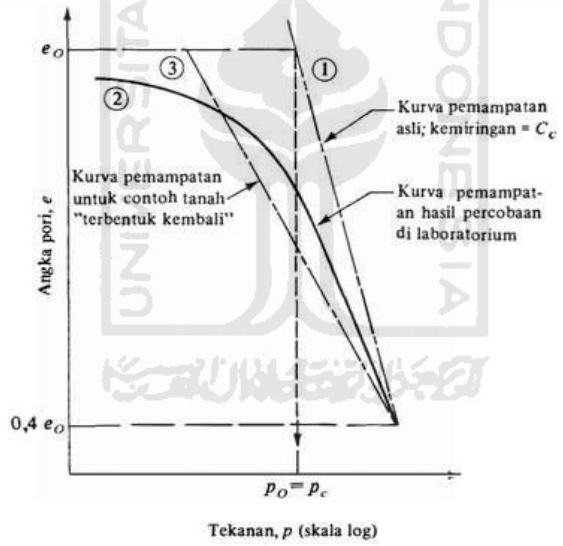
3.4.1 Pengertian Umum

Bila lapisan tanah jenuh dengan permeabilitas rendah diberi beban, maka tekanan airpori dalam tanah tersebut segera bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah mengaibatkan air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah yang 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 permbebanan dimana porsesnya 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).

3.4.2 Faktor – faktor yang memengaruhi 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 3.6Kurva Hubungan antara Tekanan dengan Angka Pori

(Sumber: Hardiyatmo H.C., 2009)

3.4.3 Koefisien Konsolidasi (Cv) (*Coefficient of Consolidation*)

Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung menggunakan koefisienkonsolidasi Cv. Kecepatan penurunan perlu diperhitungkan bila penurunan konsolidasi yang terjadi pada struktur diperkirakan besar. Bila penurunan sangat kecil. Kecepatan penurunan sejalan dengan waktunya tidak menghasilkan perbedaan yang berarti. Derajat konsolidasi untuk sembarang waktu ditentukan dengan menggambarkan grafik penurunan vs, waktu untuk satu beban tertentu yang diterapkan pada alat konsolidasi. Caranya, yaitu dengan mengukur penurunan total pada akhir fase konsolidasi. Kemudian, dari data penurunan dan waktu sembarang waktu yang dihubungkan dengan derajat konsolidasi rata-rata tertentu (misalnya U = 50%) ditentukan. Walaupun fase konsolidasi telah selesai, yaitu ketika tekanan air pori telah nol, benda uji di dalam alat konsolidasi masih terus mengalami penurunan akibat konsolidasi sekunder. Oleh karena itu, tekanan air pori mungkin perlu diukur selama proses pembebanan atau suatu interpretasi data penurunan dan waktu harus di buat untuk menentukan kapan konsolidasi telah selesai. Kecuali, jika sejumlah kecil udara terhisap masuk ke dalam air pori akibat penurunan tekanan pori dari lokasi aslinya di lapangan, kemungkinan terdapat juga penurunan yang berlansung dengan cepat, yang bukan bagian dari proses konsolidasi. Oleh karena itu, tinggi awal atau saat kondisi sebelum adanya penurunan saat permulaan proses konsolidasi juga harus diinterpretasikan

3.4.4 Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Ditinjau pada lapisan tanah lempung jenuh dengan tebal H. karena adanya beban yang bekerja, lapisan tanah menerima tambahan tegangan geser sebesar (Δp). Dianggap regangan arah lateral nol. Pada akhir konsolidasi, terdapat tambahan tegangan efektif vertikal sebesar (Δp). Sebagai akibat penambahantegangan dari p0’ ke p1’ (dengan p1’ = p0’ + Δp) terjadi pengurangan angka pori dari e0 ke e1. Pengurangan volume persatuan volume lempung dinyatakan oleh persamaan angka pori pada Persamaan 3.36.

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta H}{H} = \frac{e0-e1}{1+e0} = \frac{\Delta e}{1+e0} \qquad (3.36)$$

dengan:

V = Volume awal

H = Tebal lapisan tanah awal

ΔV = Perubahan volume ΔH = Perubahan tebal

e0 = Angka pori awal

e1 = Angka pori pada perubahan volume tertentu

Δe = Perubahan angka pori

Karena regangan lateral nol, pengurangan volume per volume satuan sama dengan pengurangan tebal persatuan tebalnya, yaitu penurunan persatuan ketinggian atau panjangnya. Besarnya penurunan lapisan tanah setebal dh dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.37 di bawah ini.

$$dS_c = \frac{e0-e1}{1+e0}dh \qquad (3.37)$$

$$= \frac{e0-e1}{1+e0}\frac{p1-p0'}{1+e0}dh$$

$$= m_v \Delta p dh$$

Sc adalah penurunan konsolidasi primer total atau ultimit. Untuk penurunan lapisan tanah dengan tebal H, maka persamaan menjadi seperti Persamaan 3.38.

$$Sc = \int_0^H \mathrm{mv}\Delta\mathrm{p}\ \mathrm{dh} \qquad (3.38)$$

Jika mv dan Δp dianggap sama pada sembarang kedalaman tanah, maka diperoleh persamaan penurunan konsolidasi primer total seperti Persamaan 3.39.

$$Sc = \mathrm{mv}\Delta\mathrm{p}\ \mathrm{dh} \qquad (3.39)$$

Jika ingin menghitung besarnya penurunan konsolidasi dengan menggunakan nilai mv dan Δp, maka pada sembarang kedalaman lapisan yang ditinjau nilai keduanya ditentukan dan penurunan dihitung dengan menambahkan secara aljabar dari penurunan pada tiap lapisan. Nilai tambahan regangan Δp dapat ditentukan dengan memperhatikan distribusi tegangan akibat beban fondasi pada setiap lapisan yang ditinjau. Penurunan konsolidasi primer total adalah jumlah dari penurunan tiap lapisannya, yaitu pada Persamaan 3.40.

$$Sc = \sum mvi\Delta p\ dh \quad (3.40)$$

Persamaan konsolidasi dengan menggunakan grafik e-log p' adalah sebagai berikut ini.

Bila ΔH = Sc, maka dapat dibuat persamaan umum menjadi seperti Persamaan 3.41.

$$Sc = \frac{e0-e1}{1+e0}H = \frac{\Delta e}{1+e0}H \quad (3.41)$$

Untuk lempung tertentu, penurunan konsolidasi primer total dinyatakan oleh persamaan-persamaan berikut ini. Bila didefinisikan seperti Persamaan 3.42.

$$P'_1 = P'_0 + \Delta p \quad (3.42)$$

1. Penurunan untuk lempung *normally consolidated* ($Pc'=Po'$) dengan teganganefektif sebesar $p1'$ seperti pada Persamaan 3.43

   $$Sc = Cc\frac{H}{1+e0}log\frac{P1'}{P0'} \quad (3.43)$$

2. Penurunan lempung overconsolidated ($Pc' > Po'$) penurunan konsolidasi primer total dinyatakan oleh persamaan yang bergantung nilai $P1'$ seperti pada Persamaan 3.44 dan Persamaan 3.45

   a. Bila, $P1' < Pc'$

   $$Sc = Cr\frac{H}{1+e0}log\frac{P1'}{P0'} \quad (3.44)$$

b. Bila, $P1' > Pc'$

$$Sc = Cr\frac{H}{1+e0} log \frac{P1'}{P0'} + Cc\frac{H}{1+e0} log \frac{P1'}{P0'} \quad (3.45)$$

$Cc = \frac{\Delta e}{\Delta log p'}$; pada kurva penambahan beban atau pada $p' > Pc'$

$Cr = \frac{\Delta e}{\Delta log p'}$; pada kurva penambahan beban atau pada $p' < Pc'$

Dengan:

Cr = indeks pemampatan kembali

Cc = indeks pemampatan

H = tebal lapisan tanah

Pc' = tekanan prakonsolidasi $e0$ = angka pori awal

Δp = tambahan tegangan akibat beban fondasi

P0′ = tekanan overburden efektif mula-mula sebelum dibebani

Untuk perhitungan waktu konsolidasi yang terjadi, maka rumus yang digunakan dapat dilihat Persamaan 3.46.

$$T = \frac{Tv \; x \; H^2}{Cv} \quad (3.46)$$

Dengan :

T = waktu penurunan

H = tebal lapisan

Cv = koefisien konsolidasi

Tv = faktor waktu (time factor)

3.5 Plaxis

3.5.1 Pendahuluan

Plaxis adalah program analisis geoteknik yang dipilih karena dapat menganilisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. Plaxis menyediakan berbagai analisis tentang displacement, tegangan-tegangan yangterjadi pada tanah, faktor keamanan lereng dan lain-lain.

Kondisi di lapangan yang disimulasikan dengan program Plaxis ini bertujuan untuk diaplikasikan dari pengerjaan program ke tahapan pelaksanaan di lapangan. Sehingga hasil dari program tersebut lebih memudahkan pada prosesolah data yang diharapkan dapat menghemat waktu namun hasilnya sesuai dengan perhitungan manual.

3.5.2 Analisis stabilitas lereng menggunakan PLAXIS 8.6

Dari data-data yang ada kemudian diolah dengan memasukkan data-datadari lereng untuk dilakukan pengolahan data oleh program, maka akan diketahui perlu tidaknya lereng diberi perkuatan. Dengan program ini juga dapat dilakukan pengontrolan angka faktor keamanan (SF) terhadap lereng dengan perkuatanmenggunakan geotekstil. Dalam pengoperasian program PLAXIS 8.6 diperlukan langkah sebagai berikut:

1. Buka program *PLAXIS 8.6*kemudian masukkan data dimensi dan *title* program yang akan dibuat
2. Gambar penampang lereng yang akan dianalisis, kemudian klik *Standart Fixities*.
3. Buat jenis *properties* material yang akan dipakai pada lereng, dan isi data-data lereng seperti ɣd, ɣb, φ, dan lain sebagainya. Lalu kemudian aplikasikan material yang telah dibuat ke setiap lapisan tanah.
4. Kemudian ubah *mesh generating setup* sesuai dengan *mesh* dan lalu *generate.*

5. Buat lapisan muka air tanah pada penampang dengan menggunakan *initial conditions*.
6. Kemudian lakukan *calculating* dan isi setiap *phase* yang akan dilakukan analisis.
7. Kemudian buat *curve displacement*, dan baru dapat dilakukan *calculate*
8. Setelah proses *calculate* selesai maka didapatkan *output* sebagai berikut

Dari tahapan-tahapan yang telah dilakukan oleh program PLAXIS 8.6didapatkan berupa curve displacement dan juga nilai SF. Output tersebut dapat dilihat apakah lereng aman mengalami kelongsoran atau sudah aman sehingga tidak diperlukan perkuatan tambahan. Apabila lereng belum aman terhadap longsor, maka akan dilakukan analisis kembali menggunakan perkuatan geotekstil dan akan didapatkan Safety Factor yang baru setelah diberi perkuatan. Cara untuk menambahkan perkuatan geotekstil pada Plaxis adalah sebagai berikut ini:

1. Buka program *Plaxis 8.6*kemudian masukkan data dimensi dan *title* program yang akan dibuat
2. Gambar penampang lereng yang akan dianalisis, kemudian klik *Standart Fixities*.
3. Buat jenis *properties* material yang akan dipakai pada lereng, dan isi data-data lereng seperti ɣd, ɣb, φ, dan lain sebagainya. Lalu kemudian aplikasikan material yang telah dibuat ke setiap lapisan tanah.
4. Buat profil geotekstil sesuai spesifikasi yang diperlukan dengan klik tombol geometri, kemudian pilih opsi geogrid
5. Kemudian ubah *mesh generating setup* sesuai dengan *mesh* dan lalu *generate.*
6. Buat lapisan muka air tanah pada penampang dengan menggunakan *initial conditions*.
7. Kemudian lakukan *calculating* dan isi setiap *phase* yang akan dilakukan analisis.
8. Kemudian buat *curve displacement*, dan baru dapat dilakukan *calculate*
9. Setelah proses *calculate* selesai maka didapatkan *output* sebagai berikut

BAB IV

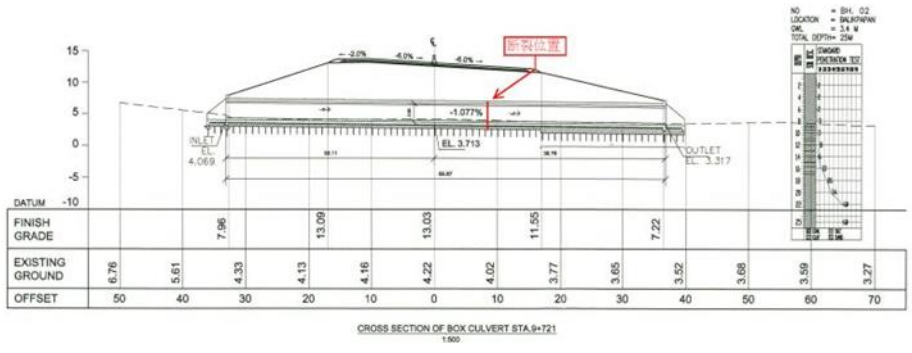
METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Penelitian yang dilakukan pada lereng di Jalan Tol Pekan Baru - Dumai, adalah menganalisis stabilitas lereng dengan dan tanpa beban gempa menggunakan aplikasi *Plaxis* serta mencari angka aman lereng asli dan angka aman lereng dengan perkuatan geotekstil. Aplikasi *Plaxis* merupakan salah satu program aplikasi yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng. Dari analisis tersebut, hasil yang di dapat nanti diharapkan dapat mengatasi permasalahan yang terjadi pada lereng Jalan Tol Pekan Baru - Dumai dan menjadi acuan dalam perencanaan di lapangan yang memiliki tipikal kemiringan lereng Jalan Tol Pekan Baru Dumai.

4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi objek penelitian yang dianalisis ini adalah untuk mengetahui angka aman lereng asli pada Jalan Tol Pekan Baru - Dumai. Untuk detail lokasinya bisa dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1Potongan jalan melintang

(Sumber : skyscrapercity.com)

4.3 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini proses penelitian dibagi dalam beberapa tahapan, diantaranya adalah sebagai berikut ini.

1. Tahap pengumpulan data, tahap ini meliputi tahap pengambilan data tanah (data tanah uji lapangan dan data tanah laboratorium), data topografi lereng Jalan Tol Pekan Baru - Dumai.
2. Tahap analisis dan pengolahan data, pada tahap ini data yang telah diambil (data uji lapangan dan data laboratorium), kemudian diolah dengan logika, teori dan yang berlaku (analisis dengan program *Plaxis*).
3. Tahap penulisan dan penarikan kesimpulan, tahap ini meliputi penulisan laporan penelitian berdasarkan aturan yang berlaku dan hasil pengolahan data.

Kesimpulan diambil berdasarkan teori yang digunakan untuk menjawab masalah yang timbul.

4.4 Metode Pengumpulan Data

Berkaitan dengan analisis stabilitas lereng Jalan Tol Pekan Baru - Dumai, data yang digunakan dalam analisis merupakan data sekunder. Data sekunder pada penelitian ini adalah data yang diperoleh dari data pengujian lapangan maupun data laboratorium. Data sekunder tersebut meliputi:

1. data tanah, yang meliputi: data tanah uji lapangan dan data tanah uji laboratorium. Data tanah uji lapangan yaitu data hasil pengujian SPT (Standar Penetration Test) dan boring test dalam bentuk tabel dan grafik. Data tanah uji laboratorium yaitu data hasil pengujian di laboratorium yang meliputi:

a. berat volume basah (γ),

b. kohesi (c), dan

c. sudut geser dalam (φ).

2. data topografi lereng Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Sta. 1+950, meliputi: tinggi lereng, lebar lereng, dan sudut kemiringan lereng.

3. data muka air tanah (MAT).

4.5 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 dlakukan adalah sebagai berikut ini.

1. Tahap Pertama

   Tahap pertama merupakan tahapan pemodelan kondisi stabilitas lereng asli.

2. Tahap kedua merupakan tahapan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan aplikasi *Plaxis* untuk mendapatkan nilai angka aman (*SF*) lereng asli sebelum dan sesudah diberi perkuatan geotekstil.

3. Pemodelan menggunakan *Plaxis*.

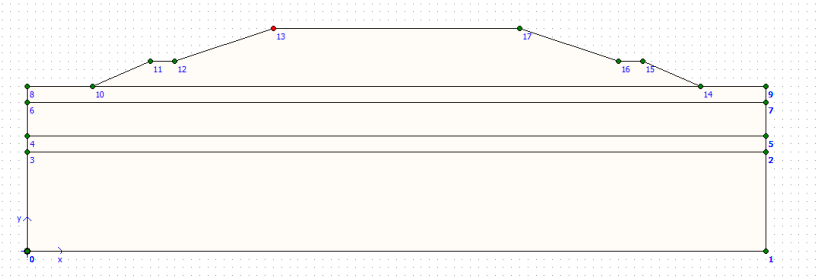
   Setelah mendapatkan data-data yang diperlukan maka dilakukan proses olah data menggunakan Program Plaxis. Adapun langkah-langkahnya dapat dilihat sebagai berikut.

   a. Pemodelan, data – data dan parameter tanah

      1. Model Geometri

         Melakukan permodelan geometri dengan memulai klik opsi *Geometriline* lalu menempatkan pada koordinat 0.0;0.0 sebagai titik awal setelah gambar geometri sesuai yang telah ditentukan.Setelah menggambar permodelan, menekan opsi *standart fixities* dan *standard earthquake boundaries* pada menu loads.

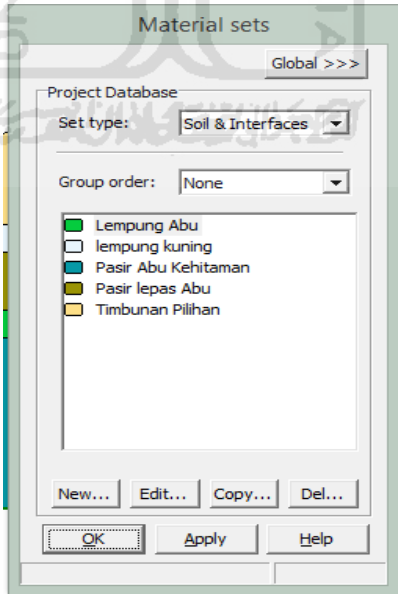
      Contoh permodelan geometri yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut



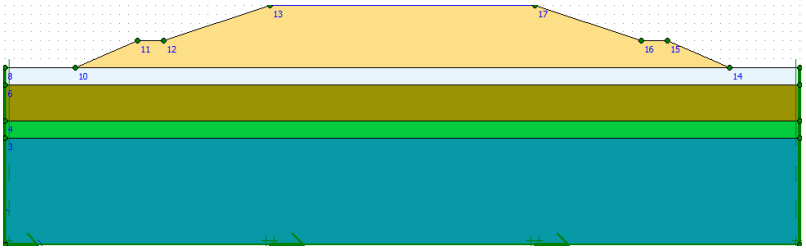
Gambar 4.2 Pemodelan Geometri Plaxis 8.2

2. Data-data tanah

Memasukkan data material set dapat dengan cara menekan Tombol  pada toolbar kemudian definisikan parameter dari masingmasing seperti Gambar 4.3. Kemudian mendrag kumpulan material sesuai lapisan geometri tanah. Maka material akan menyesuaikan dalam gambar permodelan dan dibedakan dalam bentuk warna seperti Gambar 4.3.



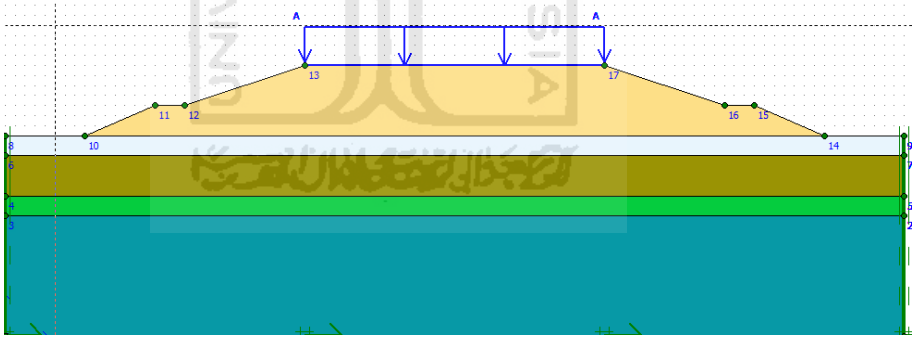
Gambar 4.3 Jendela Material Set



Gambar 4.4 Pemodelan Setelah Dimasukkan Material Tanah

3. Beban Struktur

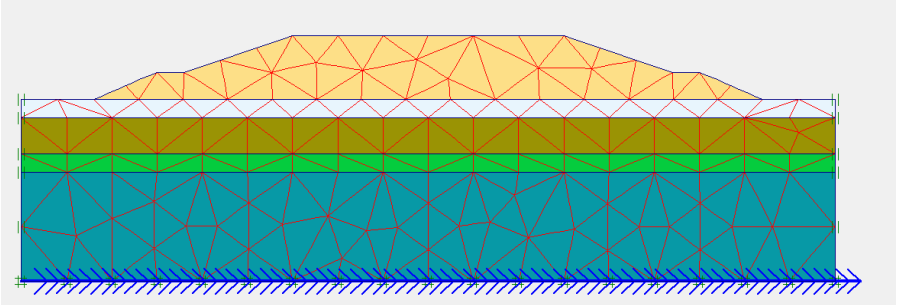
Meng-klik tombol distributed load system A pada toolbar, kemudian klik pada 2 titik tiap ujung (diseret) pada timbunan yang akan menerima beban untuk beban merata. Selanjutnya memasukkan nilai beban merata 10 kN/m2 pada saat konstruksi dan 25 kN/m2 saat pasca konstruksi. Permodelan yang telah diberikan beban dapat dilihat pada Gambar 4.5 sebagai berikut.



Gambar 4.5 Permodelan Setelah Diberikan Beban Merata

4. *General Meshing*

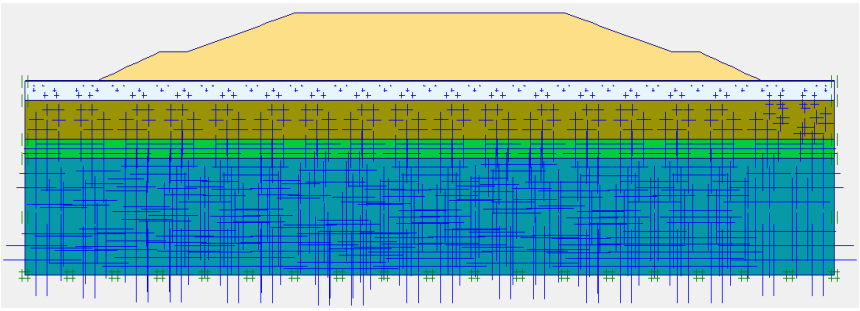
Melakukan klik tombol Generate mesh pada toolbar setelah penyusunan jaringan elemen maka muncul jendela baru yang akan memunculkan jaring elemen hingga yang terbentuk seperti pada Gambar 4.6 berikut ini



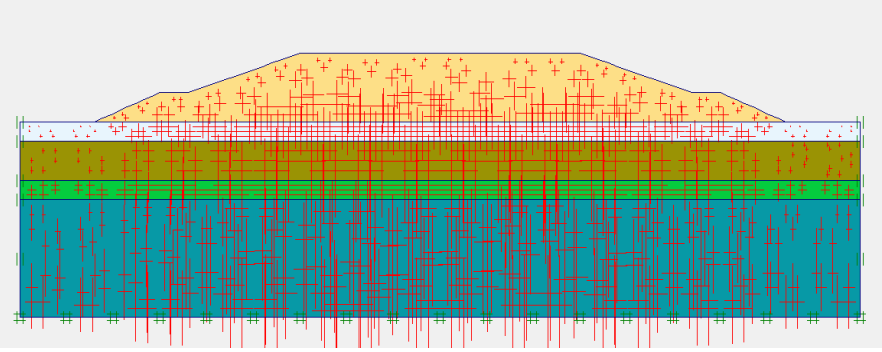
Gambar 4.6 Jaringan Elemen Hingga

5. *Initial Condition*

Melakukan klik tombol *initial conditions* pada toolbar, kemudian jendela akan berubah ke tahap selanjutnya dan menunjukkan pra-pilih berat isi air yaitu 10 kN/m3 dan klik OK untuk menerima nilai tersebut dan drag dari ujung titik awal hingga ujung titik akhir pada permukaan tanah asli. Untuk *initial conditions* terdiri dari 2 tombol yaitu *generatewater pressures* dan *generate initial stresses*. Perpindahan antara kedua modus dilakukan dengan menggunakan tombol switch. Pada modus *generate water pressures*, untuk melakukan olah tekanan air pori yang dilakukan dengan klik untuk melihat gambar tekanan air pori yang dapat dilihat pada Gambar 4.7 kemudian *update*, lalu switch modus satunya yaitu *generate initial stresses* lalu klik untuk melihat gambar tegangan awal yang dapat dilihat pada Gambar 4.10 kemudian *update*.



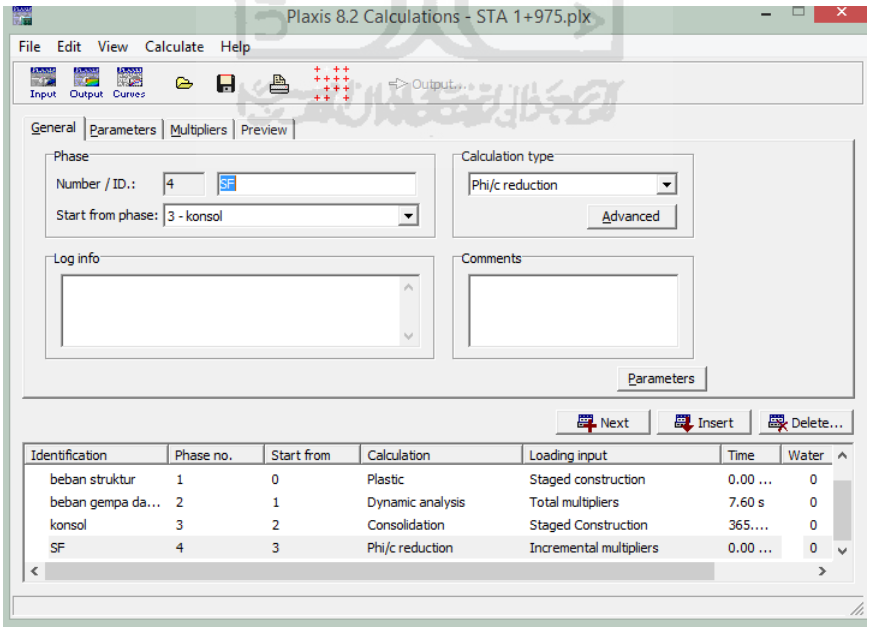
Gambar 4.7 Pemodelan Tekanan Air Pori



Gambar 4.8 *initial pressure*

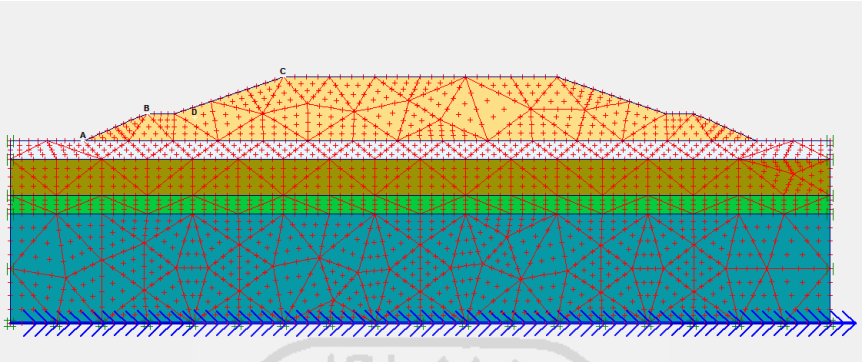
b. Proses kalkulasi pada program Plaxis 8.2

Pada jendela *calculations* (lihat Gambar 4.9) terdapat 4 lembar tab, yaitu: general, parameters, multipliers dan preview. Dalam lembar tab general pada calculation type pilih plastic analisis untuk beban struktur, dynamic analysis untuk beban gempa, phi/c reduction untuk SF struktur dan gempa serta consolidation untuk pengolahan konsolidasi atau mengetahui penurunan yang terjadi.



Gambar 4.9Tampilan layar pada tahapkalkulasi

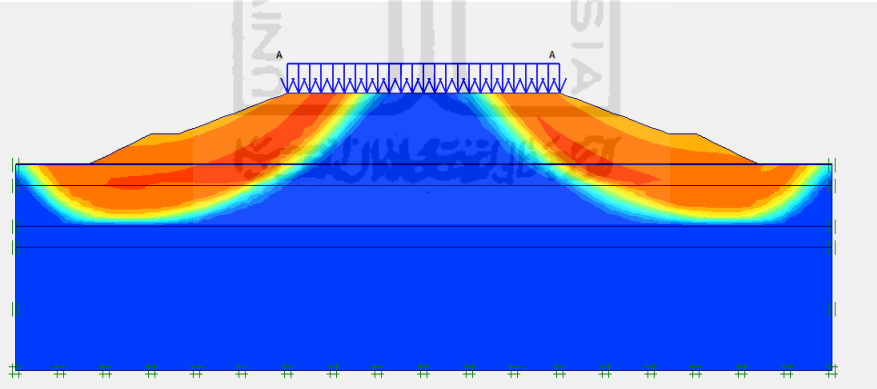
Melakukan klik point of curves untuk menentukan titik yang akan ditinjau untuk potensi kelongsoran yang akan menggambarkan tampilan kurva. Titik-titik yang akan ditinjau dapat dilihat pada Gambar 4.10 sebagai berikut



Gambar 4.10 Pemilihan titik kurva yang akan Ditinjau

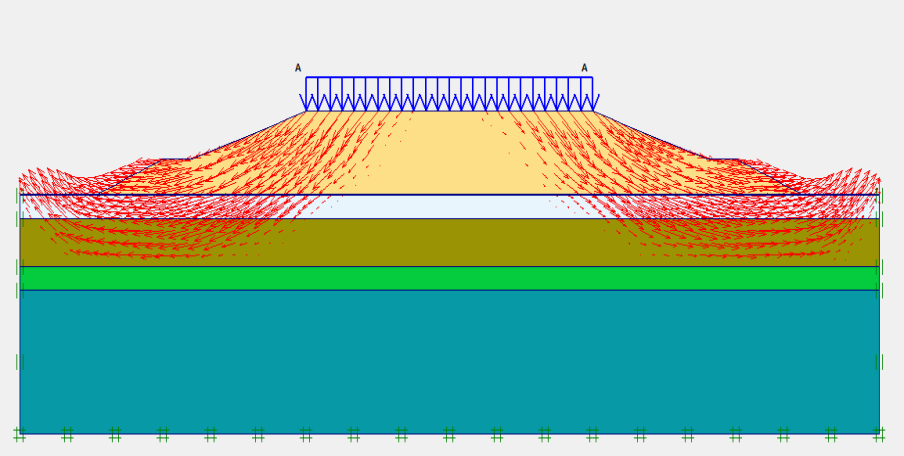
c. Output

Melakukan klik tombol output setelah proses calculation untuk menampilkan hasil dari tahap perhitungan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut ini.



Gambar 4.11 Total Displacement

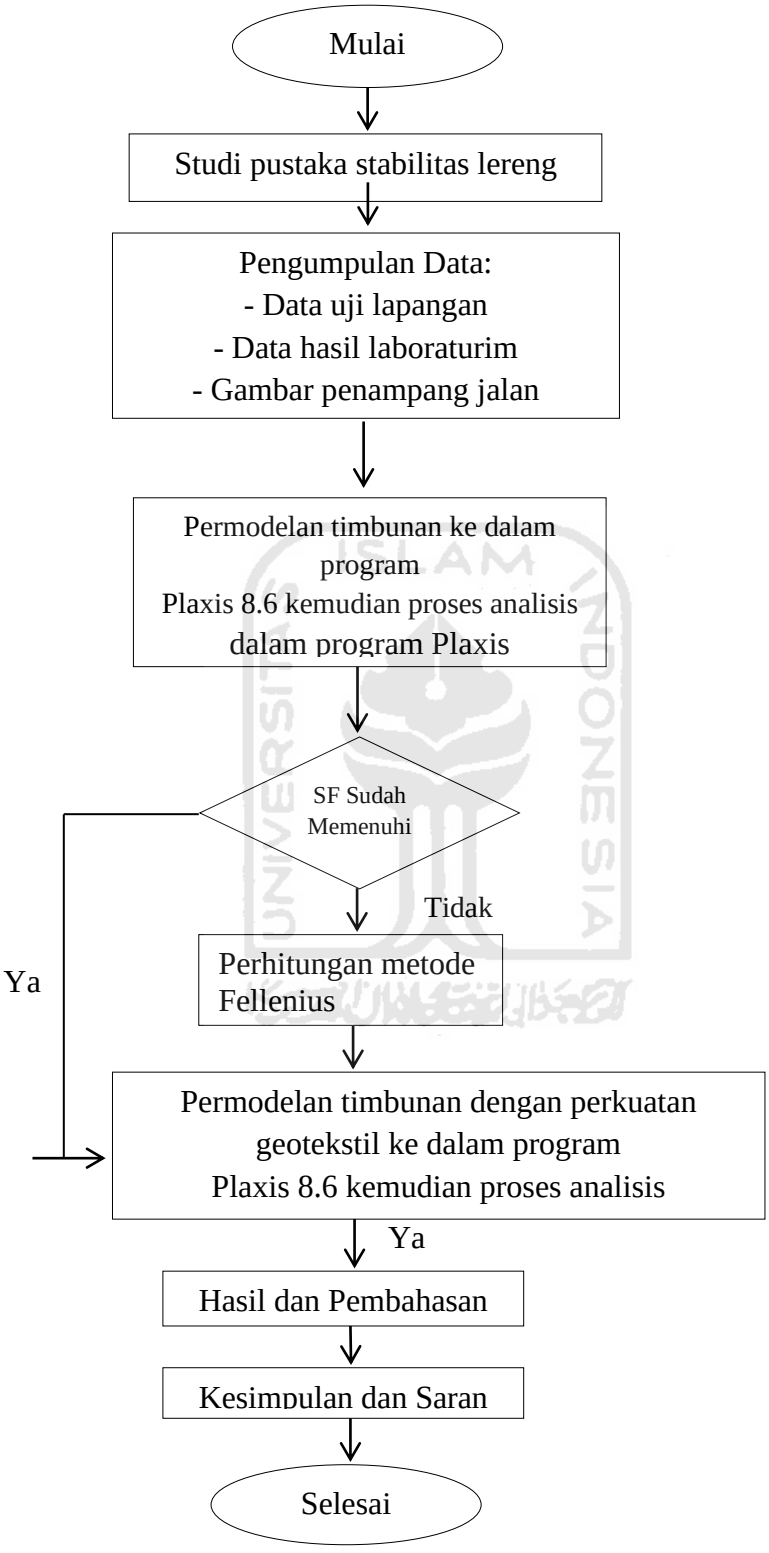
.



Gambar 4.12 Arah Pergerakan Tanah

4.6 Bagan Alur Penelitian

Jalan dari penelitian ini dapat dilihat pada flowchart yang dilampirkan pada Gambar 4.13 berikut ini



Gambar 4.13 Bagan Alir Penelitian

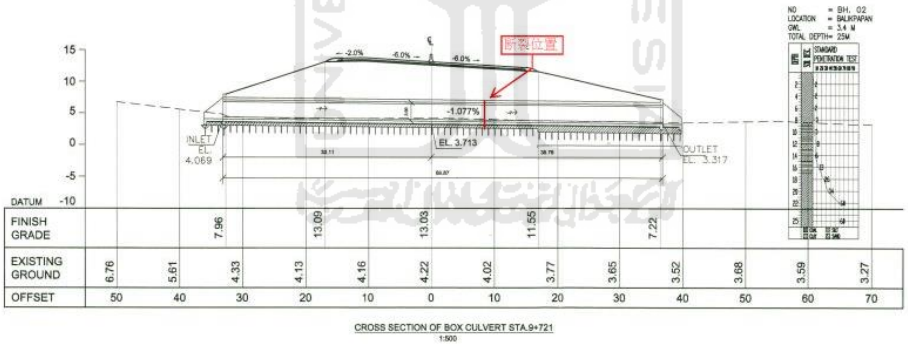
BAB V

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Data Lereng

5.1.1 Data Potongan Melintang Jalan

Data lereng diperoleh dari proyek pembangunan Jalan Tol Pekan Baru - Dumai yang sedang dikerjakan oleh PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk. Mengacu pada data yang diperoleh, gambar potongan melintang jalan dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini



Gambar 5.1 Potongan Melintang Jalan

(sumber : PT.Wijaya Karya 2017)

5.2 Data Paramater Tanah dan Beban

5.2.1 Data Parameter Tanah

Selain data potongan melintang jalan, diperoleh data parameter tanah yang digunakan pada proyek. Data parameter tanah tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini

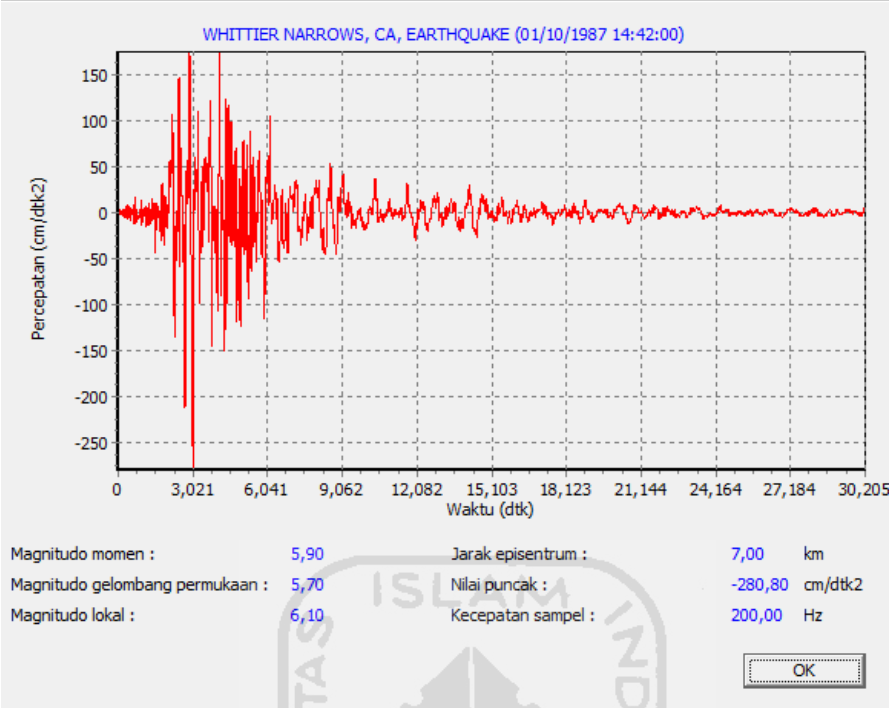
Tabel 5.1 Data Parameter Tanah

Parameters	*Name*	*Emb.*	*Soft Layer*	*Medium Layer*	*Hard Layer*	*Units*
Model	*Model*	MC	MC	MC	MC	-
Type of Behavior	*Type*	D	UD	UD	UD	-
Soil Weight Unsaturated	γ_{unsat}	18	16	18	20	kN/m^3
Soil Weight Saturated	γ_{sat}	19.5	17.5	20	21.5	kN/m^3
Young's Modulus	E_{ref}	15000	5000	10000	35000	kN/m^2
Cohession	*c*	25	14	16	25	kN/m^2
Friction Angle	φ	25	10	20	30	°
Poisson Ratio	*v*	0.3	0.3	0.3	0.3	-

(Sumber: PT.Wijaya Karya 2017)

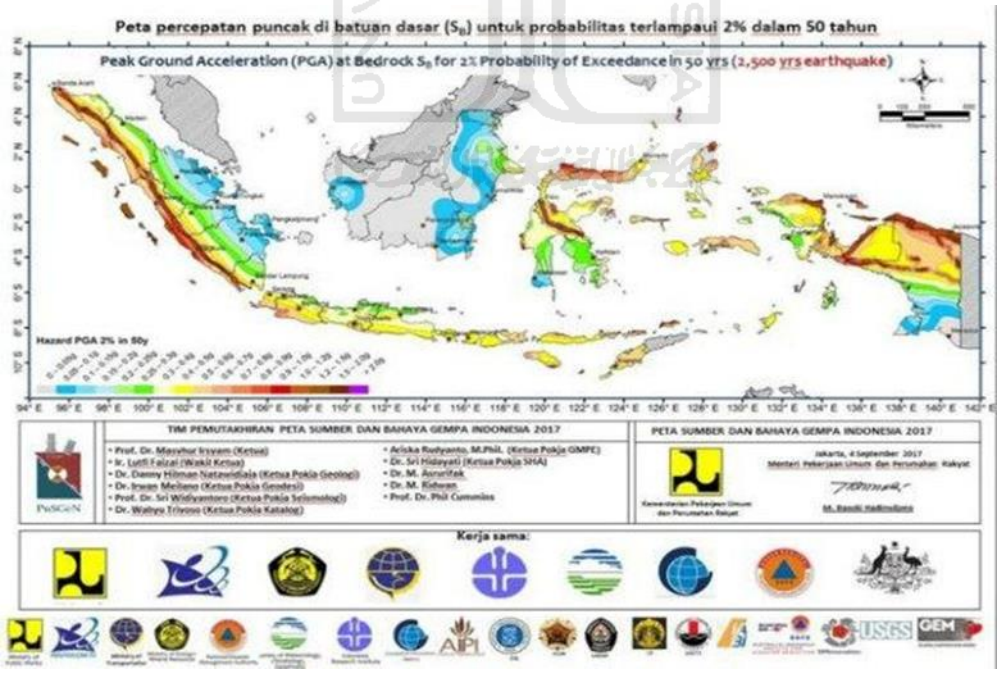
5.2.2 Data Beban Gempa

Pulau Kalimantan adalah pulau di Indonesia yang relatif paling aman dari ancaman gempa bumi. Meskipun demikian, faktor beban gempa akan tetap dimasukan dalam analisis guna memperoleh hasil yang sekomprehensif mungkin. Pada peta zonasi gempa yang diperoleh dari SNI 1726:2012 maka diperoleh percepatan gempa sebesar 0,25g – 0,3g. Oleh karena itu, waktu interval yang dimasukan dalam program plaxis adalah 4,4 s karena dianggap telah melewati waktu puncak. Berikut gambar grafik percepatan gempa dari whitter narrow california dan peta zonasi gempa Indonesia dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4



Gambar 5.2 Grafik percepatan gempa

(sumber : whitter narrow california. 1987)



Gambar 5.3 Peta Zonasi Gempa di Indonesia

(sumber : SNI 1726:2012)

5.2.3 Data Beban Lalu Lintas dan Struktur

Data perkerasan yang digunakan adalah 10 kN/m^2 yang diperoleh dari data sekunder. Sementara beban lalu lintas yang digunakan sebesar 15 kN/m^2.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/m2)
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)

5.2.4 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 5.3Data Geotekstil

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	T	52	kN/m
Regangan	ε	20	%
Kekakuan Normal	*EA*	260	kN/m

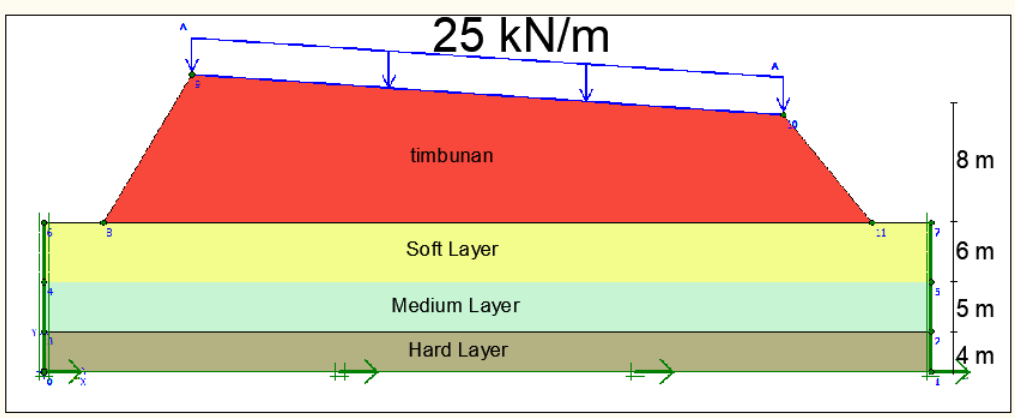
(sumber:PT. Teknindo Geosistem Unggul 2015)

5.3 Analisis Stabilitas Timbunan Asli tanpa tambahan perkuatan dengan PLAXIS 8.6

Langkah pertama yang dilakukan adalah mencari Safety Factor dari timbunan tanah asli tanpa tambahan perkuatan dan mencari bentuk bidang longsor dari timbunan tanah asli. Dalam menganalisis dua hal tersebut digunakan software PLAXIS 8.6. Analisis yang ditampilkan dibawah ini adalah timbunan dengan tinggi 8 meter dengan Berikut ini adalah tahap – tahap analisis stabilitas timbunan tanah asli tanpa perkuatan dengan ketinggian 8 meter.

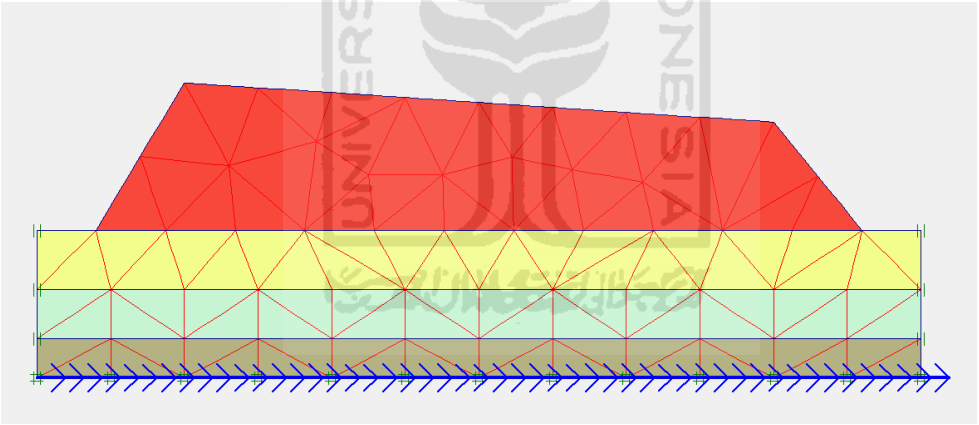
1. Pemodelan Timbunan 8 meter

   Pemodelan awal timbunan menggunakan data potongan melintang jalan pada 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. Sementara beban gempa berdasarkan peta zonasi gempa Indonesia diperoleh percepatan puncak sebesar 0,1 – 0,15 g. Berdasarkan Melo dan Sharma (2004) beban gempa tersebut dikalikan 1/2 hingga 1/3 dari PGA. Maka dari itu digunakan beban sebesar 1/3 dari 0,15 g yaitu sebesar 0,05 g. Pemodelan timbunan 8 meter dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini.



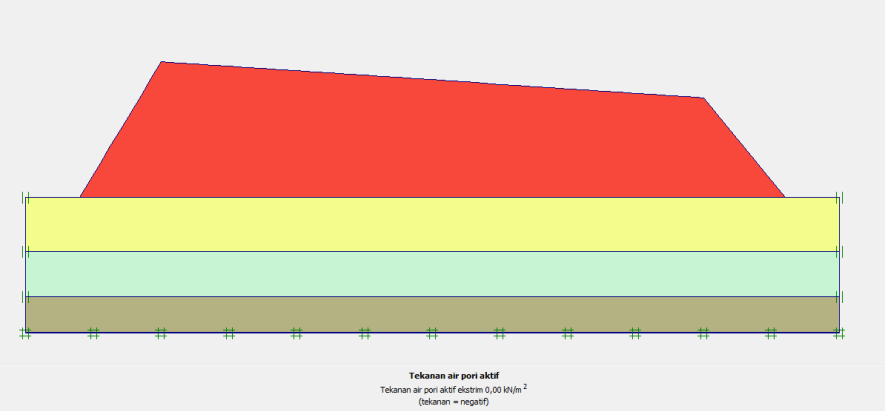
Gambar 5.4 Pemodelan timbunan 8 meter

Setelah selesai melakukan pemodelan maka dilakukan tahapan meshing. Tingkat kekasaran meshing yang digunakan adalah pada level medium. Hasil general meshing dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini



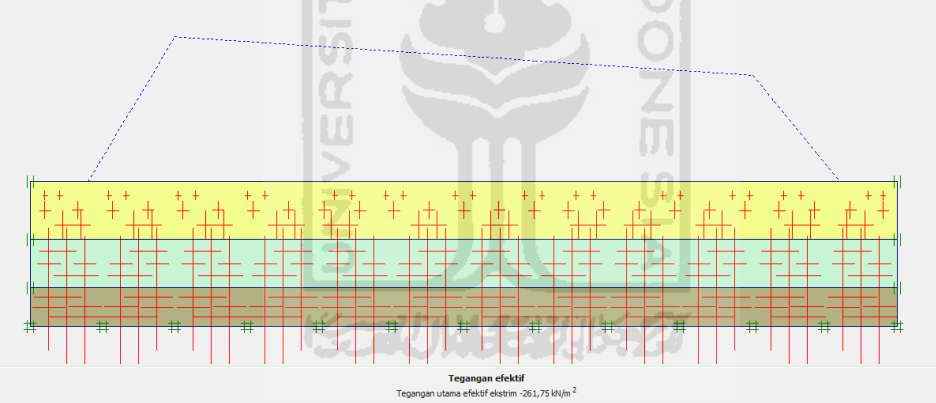
Gambar 5.5 General Meshing pada timbunan 8 meter

Setelah melakukan general meshing, langsung dilanjutkan ke perhitungan kondisi awal. Pertama menentukan tekanan pori air yang terjadi. Tekanan pori air dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini



Gambar 5.6 Tekanan pori air pada timbunan 8 meter

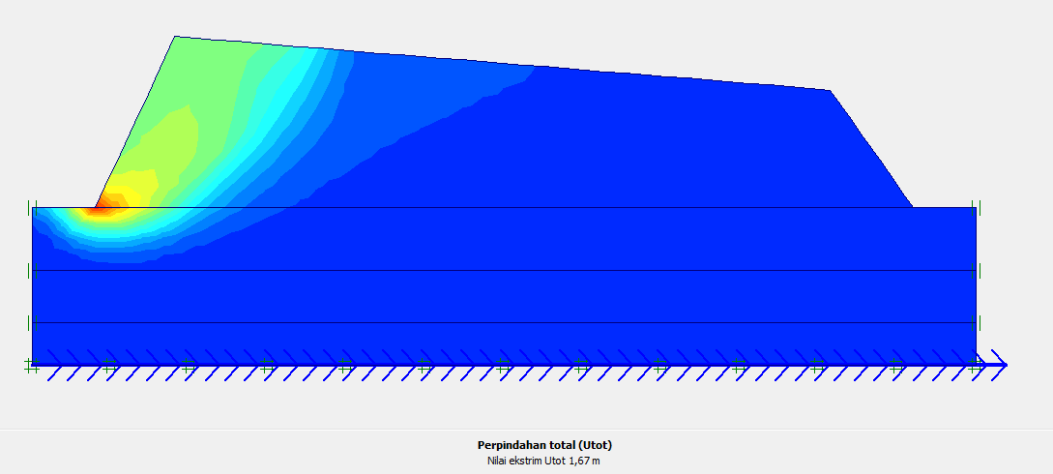
Setalah mengetahui tekanan pori air, kemudian masuk ke tahapan menentukan initial stresses. Hasil initial stresses dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini



Gambar 5.7 General Initial Stresses pada Timbunan 8 meter

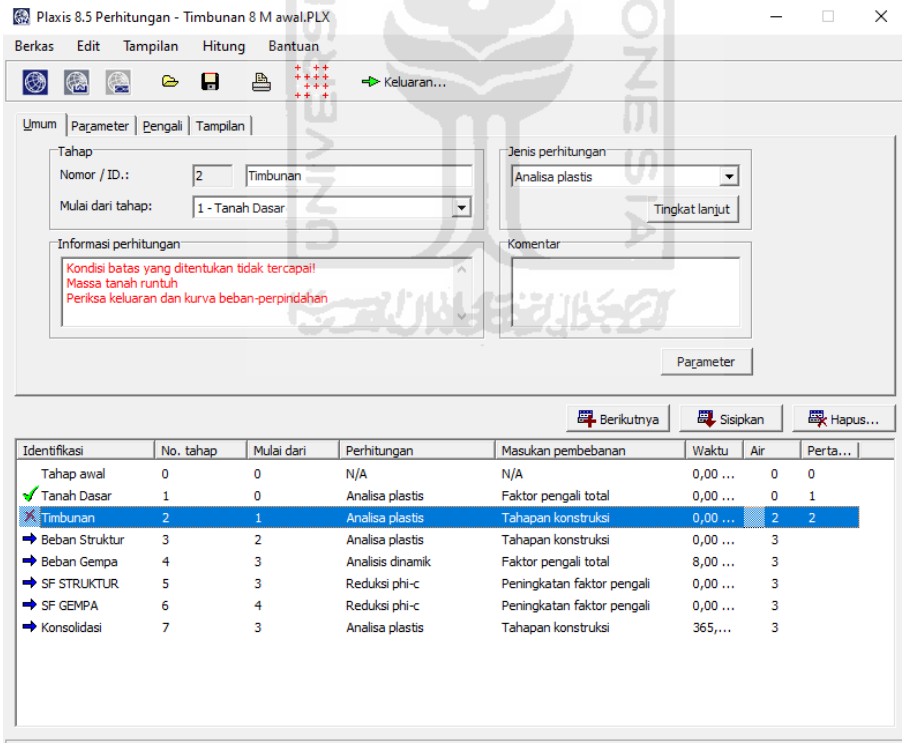
2. Tahapan Kalkulasi model timbunan 8 meter

   Setelah menyelesaikan tahapan pemodelan, maka masuk tahap kalkulasi. Tahapan kalkulasi pertama adalah memasukan Base Soil, kedua timbunan, ketiga beban struktur dan beban lalu lintas, keempat adalah perhitungan safety factor beban struktur, dan yang kelima adalah terkait konsolidasi. Hasil dari kalkulasi menunjukan potensi longsor pada timbunan 8 meter yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini berikut ini



Gambar 5.8 Bidang Longsor Timbunan 8 meter

Hasil kalkulasi pada timbunan 8 m mengalami *collapse* seperti dilihat pada Gambar 5.9 berikut ini

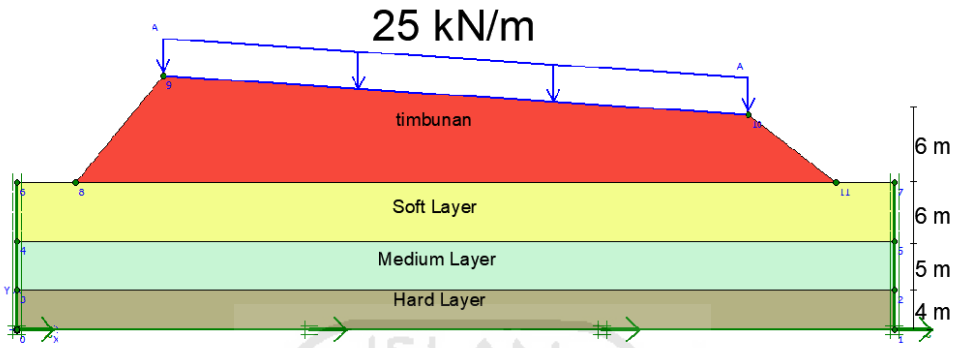


Gambar 5.9 Hasil Kalkulasi

Selain menganalisis timbunan diatas, terdapat beberapa variasi yang dianalisis

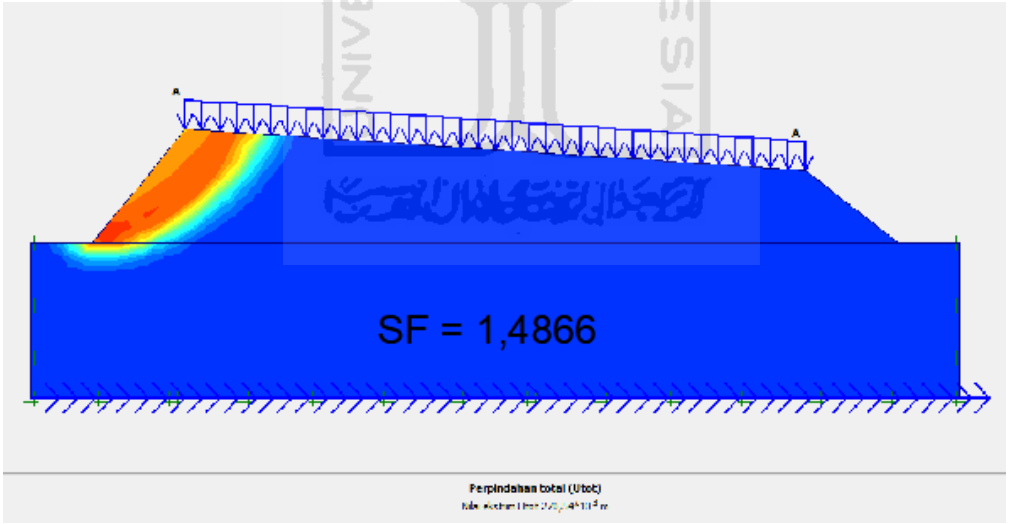
a. Timbunan 6 m

Pemodelan selanjutnya adalah timbunan 6 m. Model timbunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut ini



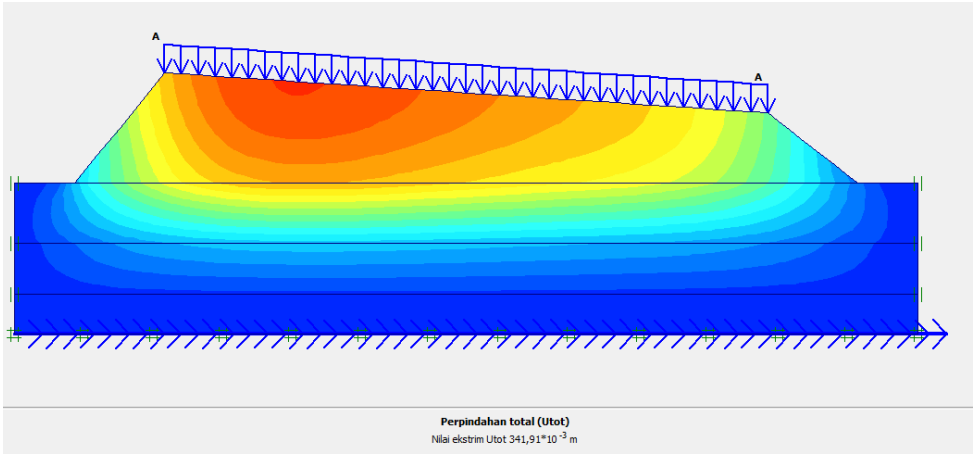
Gambar 5.10 Model Timbunan 6 m

Semetara analisis stabilitas timbunan dengan tinggi 6 m dapat dilihat pada gambar – gambar berikut ini



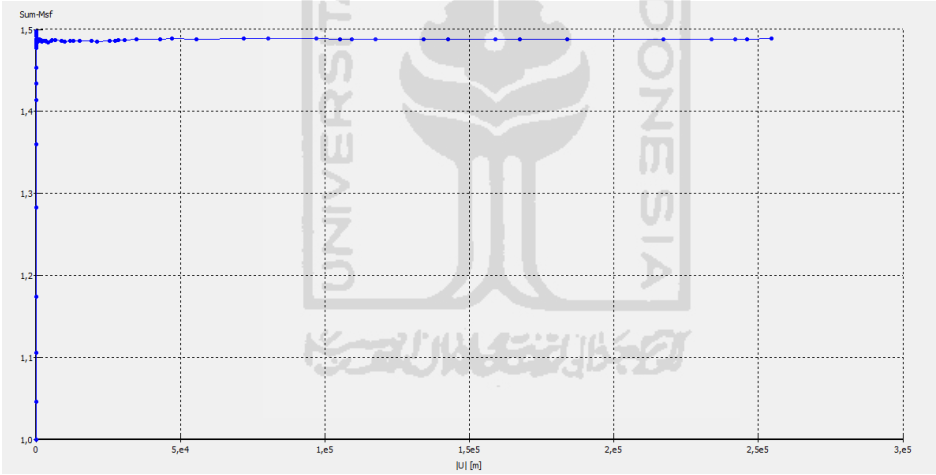
Gambar 5.11 Bidang longsor pada timbunan 6 m

Pada Gambar diatas , model timbunan tersebut menghasilkan SF sebesar 1,4866. Konsolidasi pada timbunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut ini.



Gambar 5.12 Perpindahan total pada timbunan 6 m

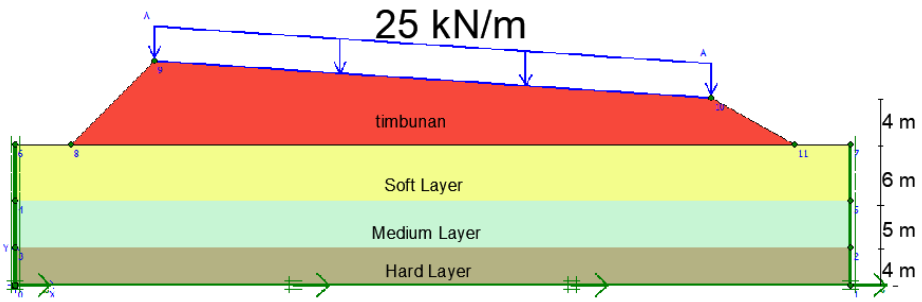
Perpindahan tanah yang terjadi sebesar 0,371 meter. Berdasarkan hasil diatas, maka didapat kurva SF vs Perpindahan pada Gambar 5.14 berikut ini.



Gambar 5.13 Kurva SF vs Perpindahan timbunan 6 m

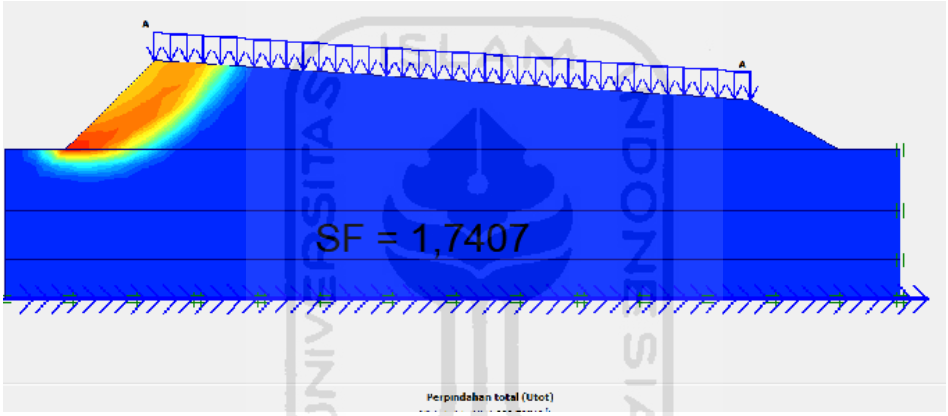
b. Timbunan 4 m

Pemodelan selanjutnya adalah timbunan 4 m. Model timbunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut ini



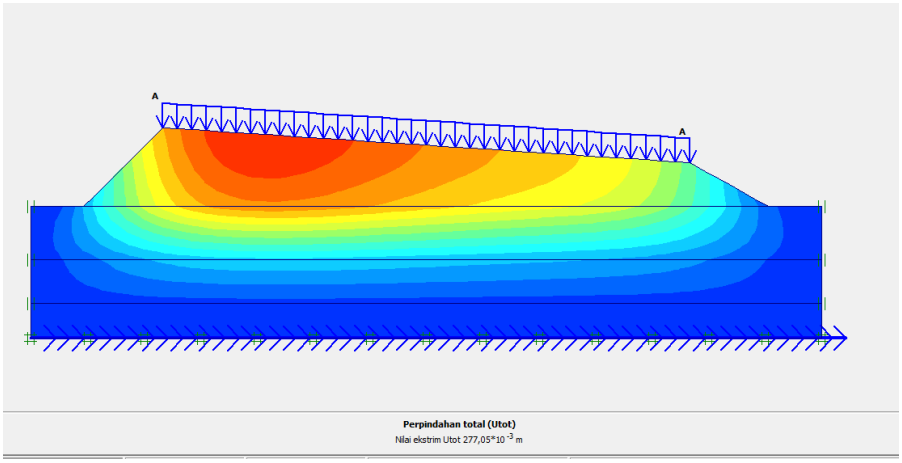
Gambar 5.14 Model Timbunan 4 m

Semetara analisis stabilitas timbunan dengan tinggi 4 m dapat dilihat pada gambar – gambar 5.16 berikut ini



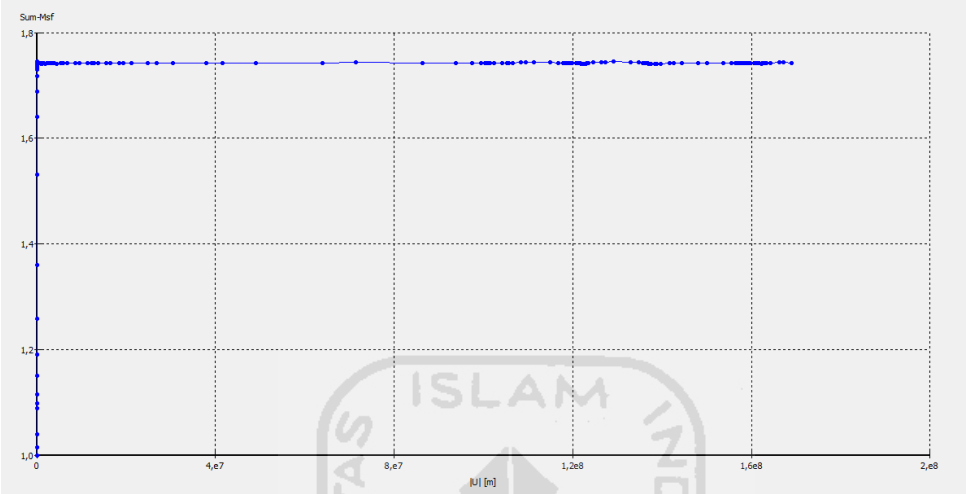
Gambar 5.15 Bidang longsor pada timbunan 4 m

Pada Gambar diatas , model timbunan tersebut menghasilkan SF sebesar 1,7407. Konsolidasi pada timbunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut ini.



Gambar 5.16 Perpindahan total pada timbunan 4 m

Perpindahan tanah yang terjadi sebesar 0,277 meter. Berdasarkan hasil diatas, maka didapat kurva SF vs Perpindahan pada Gambar 5.18 berikut ini.



Gambar 5.17 Kurva SF vs Perpindahan timbunan 6 dengan tinggi muka air 20 m

Rekapitulasi seluruh hasil perhitungan dengan PLAXIS 8.6 pada semua variasi tinggi timbunan dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini

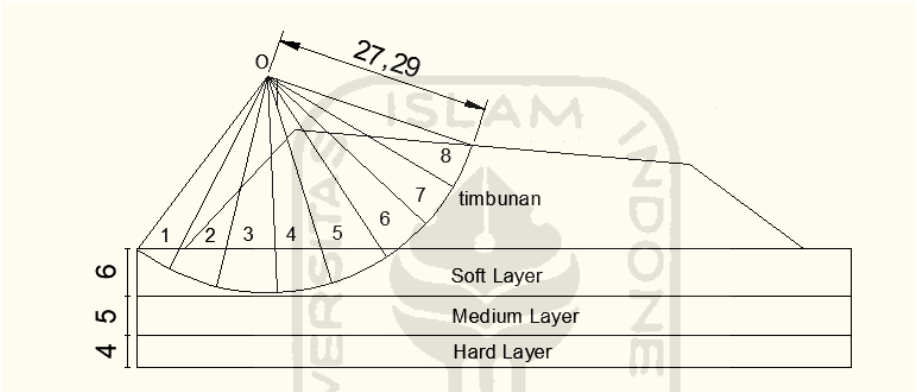
Tabel 5.4 Rekapitulasi Hasil Analisis Seluruh Timbunan Tanah Asli tanpa penambahan perkuatan dengan Plaxis 8.6

No.	Tinggi Timbunan	SF	Penurunan Tanah (m)
1	8	collapse	-
2	6	1,4866	0,371
3	4	1,7407	0,277

Berdasarkan hasil analisis diatas maka tidak semua timbunan mengalami collapse. Namun terdapat timbunan dengan tinggi 8 m yang masih belum memenuhi angka keamanan menurut Bowless (SF≥1,5). Maka selanjutnya dilakukan perhitungan dengan metode fellenius agar mendapatkan angka aman dari timbunan 8 m

5.4 Perhitungan dengan Metode Fellenius

Berdasarkan analisis PLAXIS diatas maka timbunan yang memiliki safety factor tidak aman yaitu timbunan 8 meter. Pada perhitungan ini akan dijabarkan contoh perhitungan manual pada timbunan 8 meter sehingga dapat diketahui nilai *safety factor*yang terjadi. Perhitungan manual yang digunakan adalah metode fellenius. Sebelum melakukan perhitungan maka harus dibuat pemodelan timbunan sehingga diperoleh pias – pias yang akan menjadi dasar perhitungan. Pemodelan dalam melakukan perhitungan manual dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut ini



Gambar 5.18 Pemodelan timbunan dalam metode Fellenius

a. Perhitungan berat irisan tanah

Luas per pias didapatkan dengan bantuan program Autocad 2013.

$Wi = \gamma \times Ai$

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

$Wi = (\gamma \times Ai) + (q \times L)$

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.

W1 = γ x A2= (16 x 13,3078) = 212,925 kN

W2 = γ x A2 = (18 x 21,859) + (16 x 18,2666) = 685,731 kN

W3 = γ x A3 = (18 x 42,378) + (16 x 25,7301) = 1174,477 kN

W4 = γ x A4 = (18 x 68,032) + (16 x 23,96922) = 1608,078 kN

W5 = γ x A5 = (18 x 71,675) + (16 x 13,9656) = 1269,410 kN

W6 = γ x A6 = (18 x 61,175) = 1101,157 kN

W7 = γ x A7 = (18 x 39,772) = 715,889 kN

W8 = γ x A8 = (18 x 27,375) = 492,743 kN

b. Perhitungan Wt x sin α

Wt 1 = Wt x sin α = 212,925 x sin -27 = -96,666

c. Perhitungan N = Wt x cos α

Wt 1 = Wt x cos α = 212,925 x cos -27 = 189,717 kN

d. Perhitungan N x tan α

Nt 1 = Nt x tan α = 189,717 x tan 38 = 69,051 kN

Hasil selengkapnya perhitungan dengan metode fellenius dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini

.

Tabel 5.5 Perhitungan Manual dengan Metode Fellenius

Pias	Hi (m)		B (m)	W = bh ϒ (kN)	θ (^{o})	N = w cos θ tan ϕ (kN)	N* tan ϕ (kN)	T = W sin θ (kN)
	timbunan	lapis 1						
1	4,705	1,120	5,06	212,925	-27,000	189,717	69,051	-96,666
2	12,46	1,246	5,06	685,731	-14,000	665,362	242,172	-165,893
3	15,520	1,287	5,06	1174,477	-2,000	1173,761	854,428	-40,989
4	15,240	1,143	5,06	1608,078	17,000	1537,813	1119,436	470,157
5	13,830	1,065	5,06	1513,598	33,000	1269,410	924,055	824,364
6	10,885		5,06	1101,157	47,000	750,987	546,674	805,335
7	6,875		5,06	715,889	59,000	368,710	268,399	613,636
8	5,41		5,06	492,743	66,000	200,417	145,891	450,143
JUMLAH							4170,107	2860,088

Nilai faktor keamanan dari perhitungan tersebut di atas adalah:

$$SF = \frac{\sum (c \times L + \tan \theta \times W \cos \alpha)}{\sum W \sin \alpha + \Sigma Ciai}$$

$$= \frac{\sum (40 \times 32{,}73 + 3188{,}11)}{\sum 1565{,}909 + (10{,}91 \times 18) + (21{,}82 \times 16)}$$

$$= 0{,}802 < 1{,}5$$

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan metode *Fellenius* secara perhitungan manual tanpa perkuatan yaitu sebesar 0,802.

5.5 Perhitungan dengan Geotekstil

Dalam perencanaan perkuatan dengan geotekstil, lereng harus stabil terhadap gaya-gaya yang bekerja pada geotekstil. Berikut contoh perhitungan perencanaan geotekstil pada timbunan 8 m. Beban merata yang digunakan adalah sebesar 25 kN/m. Sedangkan geotekstil yang digunakan memiliki kuat tarik ijin sebesar 52 kN/m. Nilai safety factor sebagai acuan dalam perhitungan kebutuhan geotekstil digunakan 1,5. Gaya-gaya yang akan bekerja pada tanah timbunan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.44 berikut

5.5.1 Stabilitas Eksternal

1. Menentukan Jarak Vertikal minimal antar lapis geotekstil (SV)
   Perhitungan koefisien aktif tanah sebagai berikut

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

   $= \tan^2 (45^o - \frac{20}{2})$

   $= 0{,}4903$

   Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 8 m

   $\sigma hc1 = q \cdot Ka + Ka \cdot H_1 \cdot \gamma b$

   $= 25 \cdot 0{,}4903 + 0{,}4903 \cdot 8 \cdot 18$

   $= 26{,}843 \ kN/m^2$

   $SF = 1{,}5$

Sv_1 $= \frac{Tall}{ghc1 \cdot SF}$

$= \frac{52}{26,843 \cdot 1,5}$

= 1,2418 m (dipakai 1,5 m)

Jumlah lapis geotekstil $= \frac{H1}{Sv1}$

$= \frac{8}{1,5}$

= 5,33 lapis

= 6 lapis

Pada penelitian akan digunakan perkuatan geotekstil sebanyak 5 lapis

2. Menentukan Panjang Geotekstil

a. Stabilitas terhadap guling

$SF = \frac{\Sigma M_p}{\Sigma M_A} > 1,5$

$L^2 = \frac{SF.(1/2.q.ka.H2+1/6.Ka.H3.\gamma b-c.\sqrt{Ka.H2})}{(\frac{1}{2}.q+\frac{1}{2}.\gamma b.H)}$

$L^2 = \frac{1,5.(\frac{1}{2}.25.8^2+\frac{1}{6}.0,4903.8^3.18-40.\sqrt{0,4903}.8^2)}{(\frac{1}{2}.25+\frac{1}{2}.18.8)}$

L = 2,767 m

= 3 m

b. Stabilitas terhadap geser

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

$1,5 = \frac{25.tan6,667.L+8.18.tan6,667.L}{25.0,4903.8+0,5.0,4903.8^2-2.40.\sqrt{0,4903}.8}$

L = 3,2204 m

L = 3,5 m

c. Stabilitas Kapasitas dukung tanah

Nc = 14,83

Nq = 6,4

Nγ = 5,39

Qult = $c.Nc + 0{,}5.L.\gamma b.N\gamma$

= 40.14,83 + 0,5 . L . 18 . 5,39

= 593,2 + 48,51 L

σult = qult. SF

= (593,2 + 48,51 L) . 1,5

= 889,8+ 72,765 L

L $\leq \frac{\sigma ult}{H.\gamma b+q}$

$\leq \frac{889{,}8+\ 72{,}765\ L}{8\ .18+25}$

= 9,246 m

= 9,5 m

d. Stabilitas terhadap eksentrisitas

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

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

Σ MP =

$\left(q\ x\ Ka\ x\ \frac{1}{2}\ x\ H^2\right) + \left(\frac{1}{2}\ x\ Ka\ x\ \gamma b\ x\ H^2\ x \frac{1}{3}\ x\ H\right) - 2.c.\sqrt{\text{Ka}}.H^2$

= (25 x 0,4903 x $\frac{1}{2}$x 8^2 + ($\frac{1}{6}$ x 0,4903 x 18 x 8^2) – (2 x 40

x$\sqrt{0{,}4903X8^2}$

= 469,959 kNm

$\frac{1}{6}L = \frac{469{,}959}{q.L+\gamma b.H.L}$

$$= \frac{299{,}0341}{25.L + 18.8.L}$$

L = 4,604

L = 5 meter

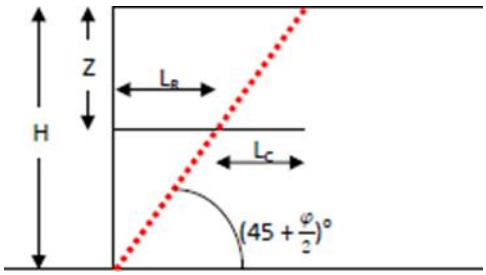
Dari keempat jenis parameter stabilitas lereng diatas, digunakan panjang geotekstil yang maksimum yaitu 9,5 m. Untuk panjang kebutuhan geotekstil lereng dengan tinggi timbunan yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Kebutuhan Geotekstil

Tinggi Timbunan (m)	Stabilitas Guling	Stabilitas Geser	Stabilitas Daya Dukung Tanah	Stabilitas terhadap eksentrisitas	Panjang Minimum (m)
4	2,5 m	7 m	6 m	4 m	7 m
6	3 m	5 m	8 m	5 m	8 m
8	3 m	3,5 m	9,5 m	5 m	9,5

5.5.2 Stabilitas Internal

Perhitungan panjang geotekstil dianalisis berdasarkan asumsi bentuk bidang longsor dengan sudut kemiringan sebesar $(45 - \frac{\varphi}{2})^o$. Sketsa bidang longsor untuk menghitung panjang geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut ini



Gambar 5.19 Bidang longsor untuk menentukan panjang geotekstil

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

Nilai koefisien interface tanah terhadap geotekstil (β) = 0,67. Perhitungan panjang geotekstil sesuai hasil perhitungan jarak vertikal geotekstil di atas, sehingga digunakan panjang terbesar geotekstil pada masing – masing zona. Berikut ini adalah contoh perhitungan pada timbunan 8 m.

Z_1= 1 m

$\sigma_{v1} = \gamma b \,.\, Z_1$

$= 17{,}6 \,.\, 1$

$= 17{,}6 \text{ kN/m}^2$

$L_R = \dfrac{H\text{-}Z1}{\tan(45+\frac{\varphi}{2})}$

$= \dfrac{10{,}5\text{-}1}{\tan(45+\frac{10}{2})}$

$= 7{,}9714 \text{ m}$

$L_C = \dfrac{1}{\beta} \cdot \dfrac{Tall}{2(c+\sigma v1 \,.\, \tan\varphi)}$

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

$= 1{,}0388 \text{ m}$

$L_{tot} = L_R + L_C$

$= 7{,}9714 + 1{,}0388$

$= 9{,}0102$

1. Menghitung Panjang *overlapping* (lipatan) Geotekstil

Panjang *overlapping* geotekstil dapat dihitung sebagai berikut.

$L_0 = \dfrac{1}{\beta}\dfrac{Tall}{4(c+\sigma v \,.\, \tan\varphi)} \geq 1 \text{ m}$

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

$= 0{,}419 \text{ m (dipakai } 0{,}5 \text{ m)}$

$= \dfrac{477{,}9}{204{,}8} > 1{,}5$

$= 2{,}33 > 1{,}5 \text{ (Aman)}$

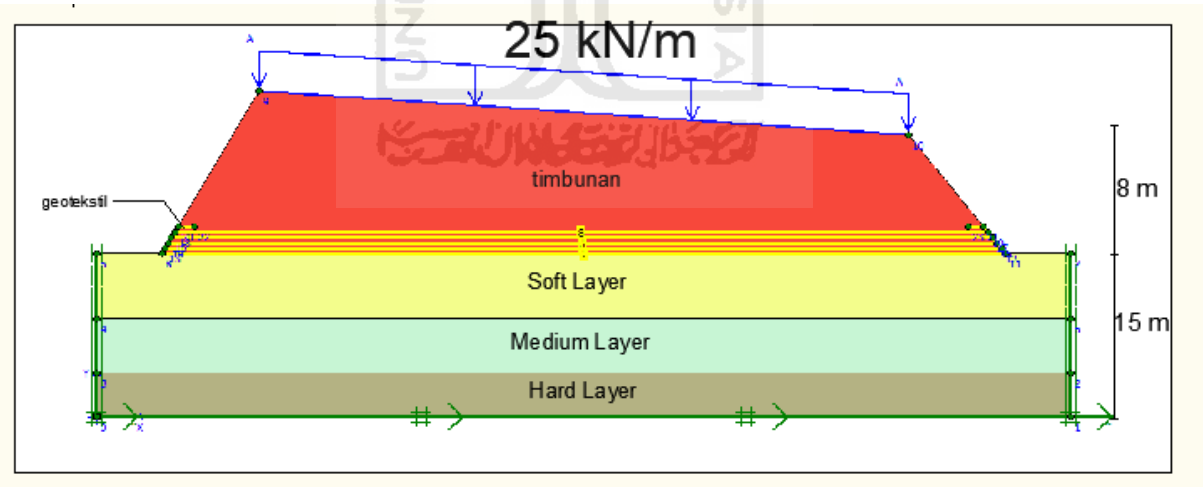
Hasil keseluruhan perhitungan panjang geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini

Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kebutuhan Geotekstil

Tinggi Timbunan	Jumlah Lapis	Lo (m)	Panjang Geotekstil (m)
8 m	5	1,5	9,5
6 m	2	1	8
4 m	2	1	7

5.6 Analisis Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

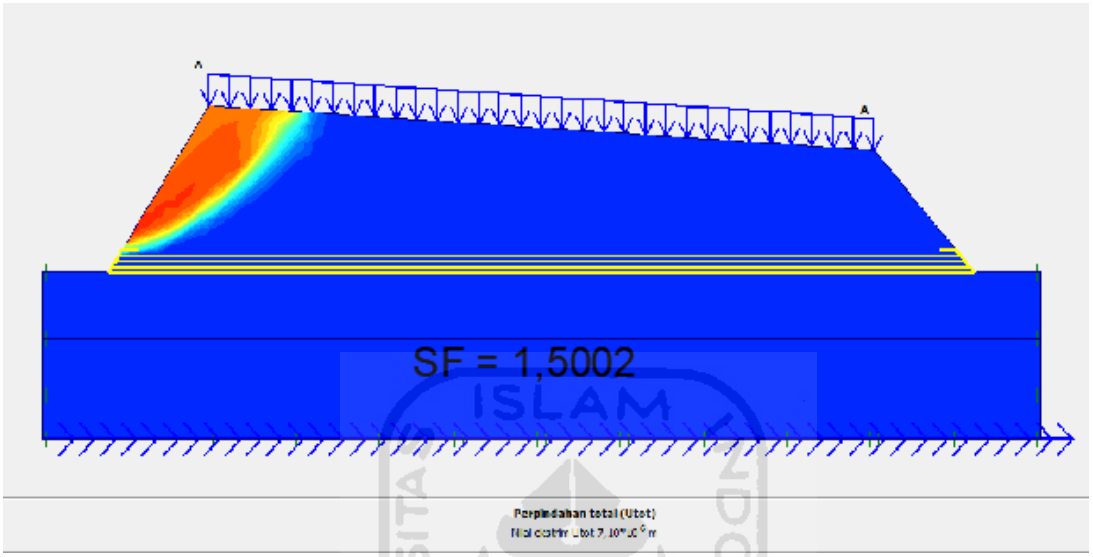
Langkah awal sebelum melakukan analisis adalah dengan melakukan pemodelan timbunan yang diperkuat geotekstil. Pemodelan berdasarkan hasil perhitungan. contoh pemodelan yang dibuat pada timbunan 8 m dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut ini



Gambar 5.20 Model Timbunan 8 m dengan perkuatan geotekstil

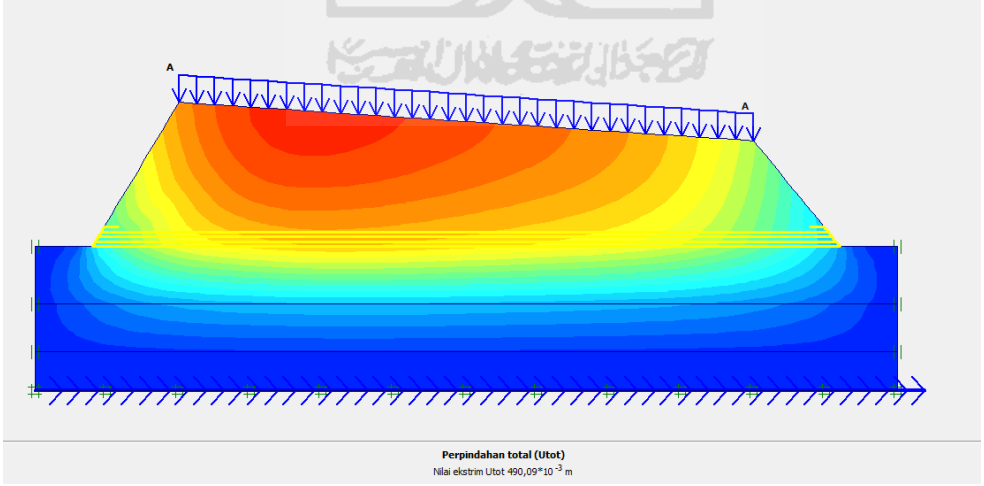
Setelah dilakukan pemodelan maka selanjutnya adalah melakukan proses kalkulasi menggunakan program Plaxis 8.6 2D. Kallasi dilakukan dengan menambah fase kondisi tanah yang telah dipasang geotekstil. Fase dimulai dari Fase timbunan.

Setelah semua fase dimasukan maka langsung dilakukan proses perhitungan. Dari perhitungan didapatkan SF sebesar 1,5002 . Sementara bentuk bidang logsor dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut ini



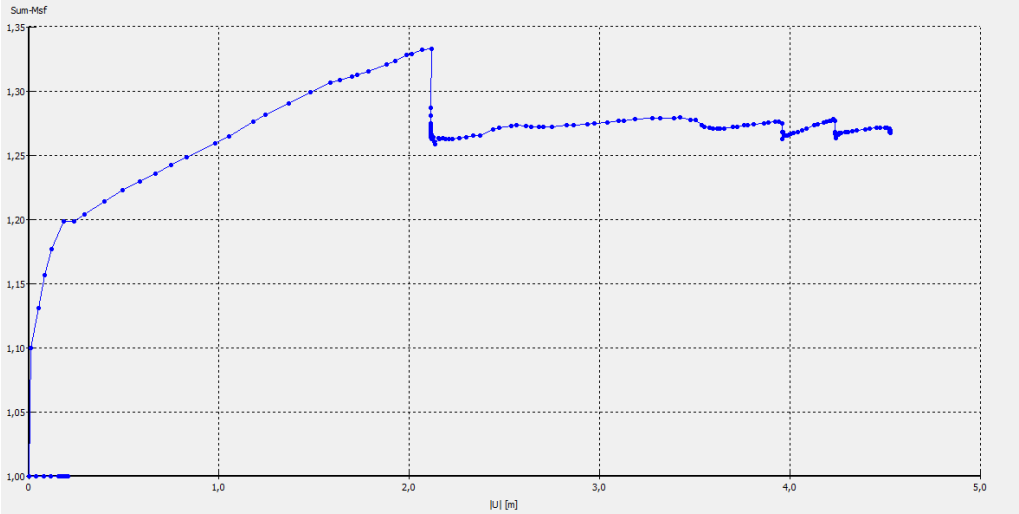
Gambar 5.21 Bidang Longsor Timbunan 8 m dengan Perkuatan Geotekstil

Selain itu didapatkan anka penurunan tanah sebesar 0,483 m . Bentuk perpindahan total pada timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut ini.



Gambar 5.22 Perpindahan Total Timbunan 8 m dengan Perkuatan Geotekstil

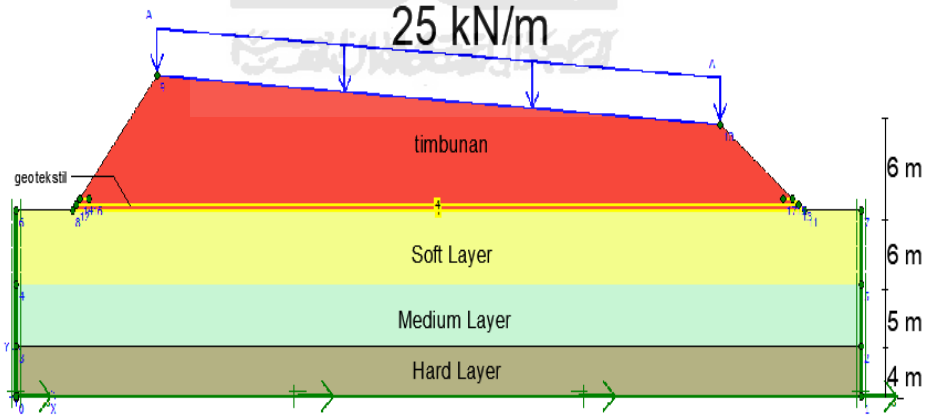
Kurva hubungan antara SF dengan Perpindahan dapat dilihat pada Gambar 5.24berikut ini



Gambar 5.23 Kurva hubungan SF dengan Perpindahan

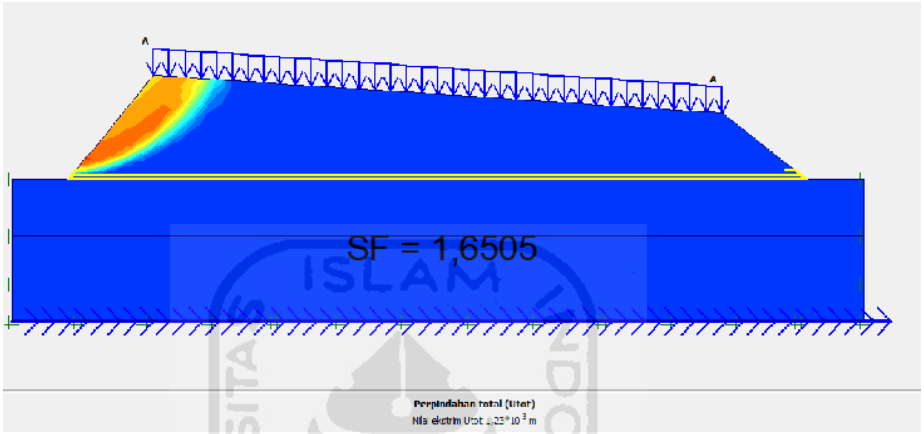
Sementara hasil analisis timbunan dengan tinggi 6m dan 4 m dapat dilihat dibawahini

1. Timbunan 6 m
   Model timbunan 6 m yang telah diperkuat dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut ini



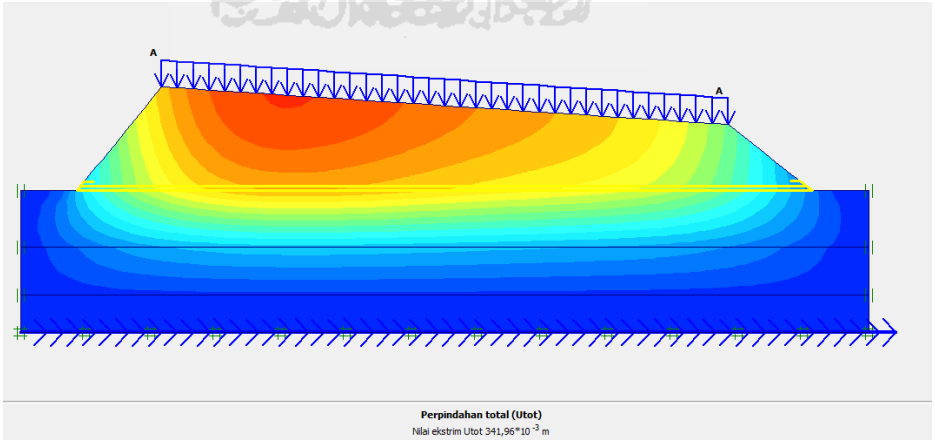
Gambar 5.24 Model Timbunan 8 m yang diperkuat geotekstil

Bidang longsor yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut ini



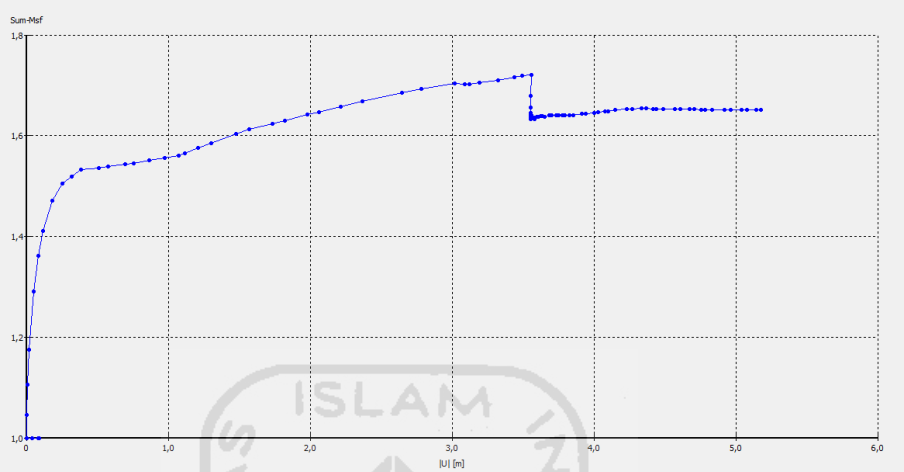
Gambar 5.25 Bidang Longsor Timbunan 6 m dengan Perkuatan Geotekstil

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa nilai SF sebesar 1,6505. Sementara bentuk penurunan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut ini



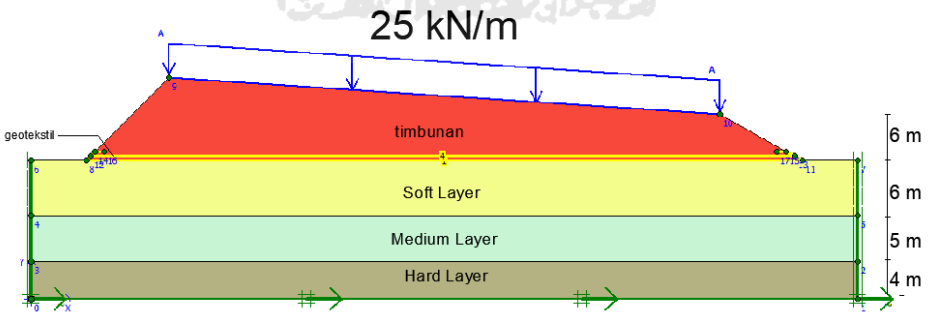
Gambar 5.26 Penurunan Tanah Timbunan6 m dengan Perkuatan Geotekstil

Angka penurunan tanah dapat dilihat yaitu sebesar 0,342 m Sementara kurva hubungan SF dengan penurunan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.28 berikut ini



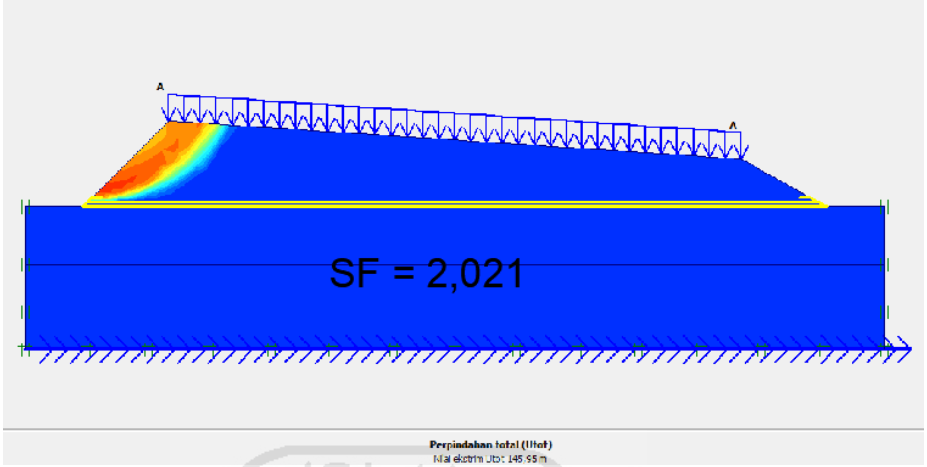
Gambar 5.27 Kurva hubungan SF dengan Perpindahan Timbunan 6 m dengan Perkuatan Geotekstil

2. Timbunan 4 m
   Model timbunan 4 m yang telah diperkuat dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut ini



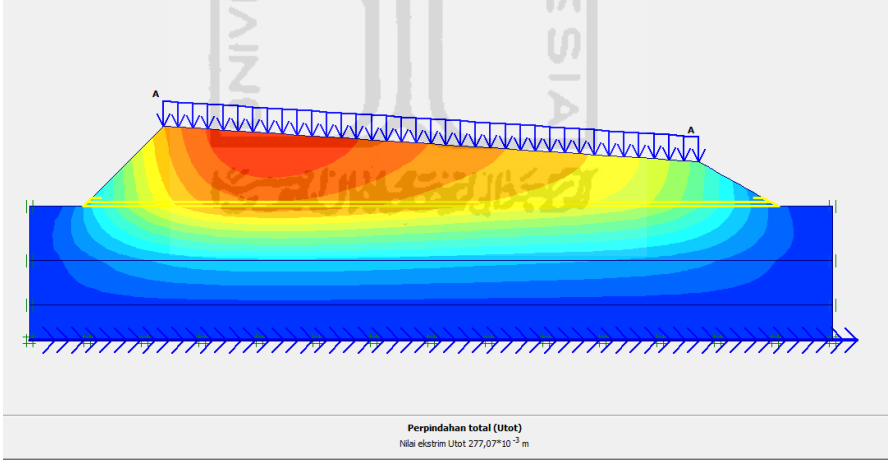
Gambar 5.28Model Timbunan 4 m dengan Perkuatan Geotekstil

Bidang longsor yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 5.30berikut ini



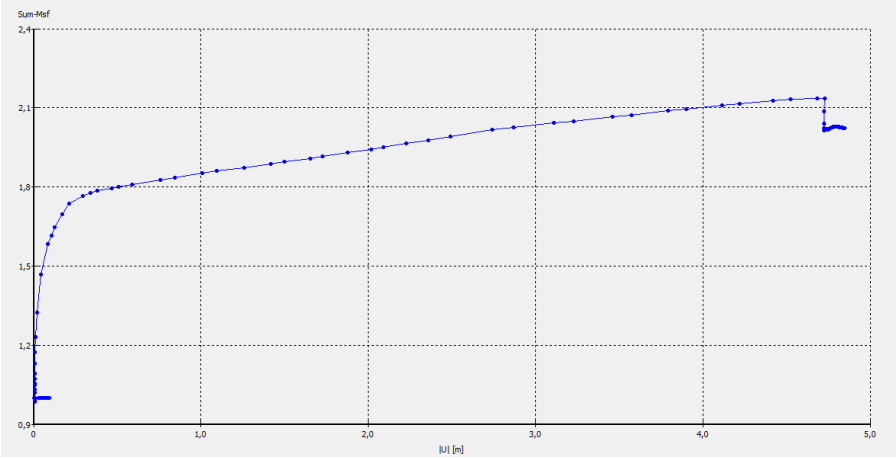
Gambar 5.29 Bidang Longsor Timbunan 4 m dengan Perkuatan Geotekstil

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa nilai SF sebesar 2,021 . Semetara bentuk penurunan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut ini



Gambar 5.30 Penurunan Tanah Timbunan 4 m dengan Perkuatan Geotekstil

Angka penurunan tanah dapat dilihat yaitu sebesar 0,277 m Sementara kurva hubungan SF dengan penurunan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.32berikut ini



Gambar 5.31 Kurva hubungan SF dengan Perpindahan Timbunan 4 m dengan Perkuatan Geotekstil

Hasil keseluruhan analisis timbunan yang telah diperkuat geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini

Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Analisis Timbunan yang Diperkuat Geotekstil

Tinggi Timbunan (m)	Safety Factor	Penurunan Tanah (m)
8	1,5002	0,4308
6	1,6505	0,342
4	2,0212	0,277

5.7 Pembahasan

5.7.1 Kondisi Umum

Analisis stabilitas terhadap timbunan digunakan untuk memperoleh nilai angka aman terhadap longsor serta nilai penurunan tanah. Analisis dilakukan terhadap tiga variasi timbunan tanah yaitu 4 m, 6 m, 8 m. Sementara parameter yang digunakan adalah beban merata akibat struktur jalan tol dan beban lalu lintas pasca konstruksi. Akumulasi dua beban tersebut adalah 25 kN/m.Ditambah beban gempa

yang disesuaikan dengan peta zonasi gempa. Dalam melakukan analisis, digunakan software PLAXIS 8.6 untuk membantu proses analisis. Sementara jika terjadi *collapse* maka perhitungan angka aman dilakukan dengan menggunakan metode fellenius.

5.7.2 Analisis stabilitas timbunan tanah asli tanpa perkuatan

Hasil analisis pada timbunan dengan tinggi 4 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 1,7407 serta penurunan tanah sebesar 0,278 meter. Hasil tersebut menunjukan timbunan tanah sangat aman karena memenuhi syarat angka aman sebesar 1,5. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 6 meter diperoleh hasil angka aman sebesar1,4886 serta penurunan tanah sebesar 0,346 m meter. Hasil tersebut belum memenuhi angka aman sebesar 1,5. Sementara pada timbunan dengan tinggi 8 meter memperoleh hasil angka aman sebesar 1,1750 serta penurunan tanah 0,4905 m.Hasil tersebut menunjukan timbunan 8 meter tidak aman tehadap longsor karena mengalami *collapse* sehingga harus dihitung dengan metode fellenius. Perhitungan fellenius menunjukan SF pada timbunan 8 m sebesar 0,756. Oleh karena adanya timbunan yang tidak aman maka perlu adanya perkuatan pada timbunan tanah tersebut.yang digunakan adalah geotekstil.

5.7.3 Analisis stabilitas timbunan tanah asli menggunakan perkuatan geotekstil

Setelah mengetahui hasil analisis timbunan tanpa perkuatan maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis stabilitas timbunan dengan perkuatan. Pada dasarnya timbunan yang memerlukan perkuatan dalam hal ini adalah timbunan yang tidak memenuhi syarat angka aman, namun dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap semua variasi timbunan yang telah diperkuat geotekstil.

Hasil analisis pada timbunan dengan tinggi 4 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 2,0216 serta penurunan tanah sebesar 0,277 meter. Hasil tersebut menunjukan timbunan tanah sangat aman karena memenuhi syarat angka aman sebesar 1,5. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 6 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 1,6505serta penurunan tanah sebesar 0,342 meter. Hasil tersebut juga telah memenuhi angka aman sebesar 1,5. Sementara pada timbunan dengan tinggi

8meter memperoleh hasil angka aman sebesar 1,5002 serta penurunan tanah 0,2308 meter. Hasil tersebut tentu aman karena lebih besar dari syarat angka aman sebesar 1,5.

5.7.4 Perbandingan hasil analisis timbunan tanah asli tanpa perkuatan geotekstil dengan diperkuat geotekstil

Setelah melakukan tahapan analisis , maka dapat dibandingkan hasil dari kedua kondisi analisis tersebut beserta variasi yang diterapkan. Pada analisis timbunan tanah asli tanpa perkuatan ada timbunan yang masih belum memenuhi angka aman. Timbunan yang tidak memenuhi angka aman adalah timbunan 8 meter.. Perlakuan yang digunakan menindaklanjuti hasil tersebut adalah dengan memperkuat timbunan menggunakan geotekstil. Setelah diperkuat geotekstil terbukti seluruh variasi timbunan mengalami peningkatan angka aman. Sementara penurunan tanah dari timbunan mengalami penurunan setelah diperkuat geotekstil.

Rekapitulasi hasil seluruh analisis angka aman timbunan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.7 , sementara rekapitulasi hasil seluruh analisis angka penurunan tanah timbunan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Analisis Angka Aman Seluruh Timbunan

Tinggi Timbunan	Kondisi	SF
8 m	Tanpa Perkuatan	*Collapse*
	Diperkuat	1,5002
6 m	Tanpa Perkuatan	1,4886
	Diperkuat	1,6505
4 m	Tanpa Perkuatan	1,7407
	Diperkuat	2,0216

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Analisis Penurunan Tanah Seluruh Timbunan

Tinggi Timbunan	Kondisi	Penurunan Tanah (m)
8 m	Tanpa Perkuatan	0,4905
	Diperkuat	0,4308
6 m	Tanpa Perkuatan	0,346
	Diperkuat	0,342
4 m	Tanpa Perkuatan	0,278
	Diperkuat	0,277

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

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

1. Angka aman timbunan tanah asli tanpa diperkuat geotekstil
   a. Tinggi timbunan 4 meter memiliki angka aman sebesar1,7407
   b. Tinggi timbunan 6 meter memiliki angka aman sebesar 1,
   c. Tinggi timbunan 8 meter memiliki angka aman sebesar *collapse* (0,802)
2. Angka aman timbunan tanah asli diperkuat geotekstil sebagai berikut ini
   a. Tinggi timbunan 4 meter memiliki angka aman sebesar 2,0216
   b. Tinggi timbunan 6 meter memiliki angka aman sebesar 1,6505
   c. Tinggi timbunan 8 meter memiliki angka aman sebesar 1,5002
3. Perbandingan nilai penurunan tanah pada timbunan tanah asli tanpa perkuatan geotekstil dengan timbunan tanah asli dengan perkuatan geotekstil
   a. Tinggi 8 m tanpa perkuatan geotekstil mengalami collapse sementara setelah diperkuat geotekstil menjadi 0,4308 m
   b. Tinggi 6 m tanpa perkuatan geotekstil memiliki angka penurunan sebesar 0,346 m sementara setelah diperkuat geotekstil menjadi 0,342 m
   c. Tinggi 4 m tanpa perkuatan geotekstil memiliki angka penurunan sebesar 0,278 m sementara setelah diperkuat geotekstil menjadi 0,277 m

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang dapat ditarik dari analisis stabilitas timbunan pada proyek jalan tol Pekan Baru - Dumai, ada beberapa saran yang dapat dilakukan antara lain sebagai berikut ini.

1. Penelitian ini masih bisa dikembangkan dengan memodifikasi parameter lain seperti berat jenis tanah (ɣb), kohesi (c), atau kuat geser (φ).
2. Penelitian bisa dilakukan menggunakan software lain seperti SLOPE/W
3. Perkuatan timbunan dapat menggunakan Dinding Penahan Tanah, *Mini Pile*, *Bore Pile*, atau *sheet pile*.

DAFTAR PUSTAKA

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

Bowles, J.E. 1989. Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah. Erlangga. Daerah Khusus Ibukota Jakarta.

Chasanah, Uswatun. 2012. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Mengggunakan Program Geoslope. Tugas Akhir. UniversitasSebelas Maret. Surakarta.

Dainty. 2013. Perbandingan Stabilitas Lereng Tanpa Dan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis Versi 8.5.

Departemen Pekerjaan Umum. 2009. *Modul Pelatihan Geosintetik Volume 3: Perencanaan Geosintetik Untuk Perkuatan Lereng*

Hardiyatmo, H.C.. 2013. Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya (Perancangan Dan Aplikasi), 2nd Ed. Gadjah Mada University Press. DaerahIstimewa Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C.. 2014. Mekanika Tanah 2, 5th Ed. Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta.

Ismanti .2012. Analisis Perilaku Timbunan dengan Perkuatan Geosintetik Menggunakan Software PlaxisPada Lereng Sungai Putih Surakarta. Penelitian. Universitas SebelasMaret. Surakarta.

Lambe, T.W and Whitman, R.V. (1969). Soil Mechanics. John Wiley & Sons. New York

Muntahar, A.S. 2015: *Tanah Longsor: Analisis-Prediksi-Mitigasi*. Penerbit Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.

Murdiyanto (2012).Analisis Stabilitas Lereng Metode Fellinius dengan Variasi Longsor Berdasarkan Teori Probabilitas. Universitas Islam Indonesia

Prasetyo, Dodik. 2014. Pengaruh Kemiringan Lereng Dan Jumlah Lapisan Geotekstil Terhadap Daya Dukung Pondasi Pada Permodelan Fisik Lereng Pasir. *Makalah Jurnal Teknik Sipil*. Vol 3. No. 1. Malang.

PT. Teknindo Geosistem Unggul (Tanpa Tahun). *Technical Spesification*.*Geotextile Woven*. Surabaya

Purwanto, E. 2012. Perkuatan Tanah. Handout Mata Kuliah, Universitas Islam Indonesia.

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

LAMPIRAN

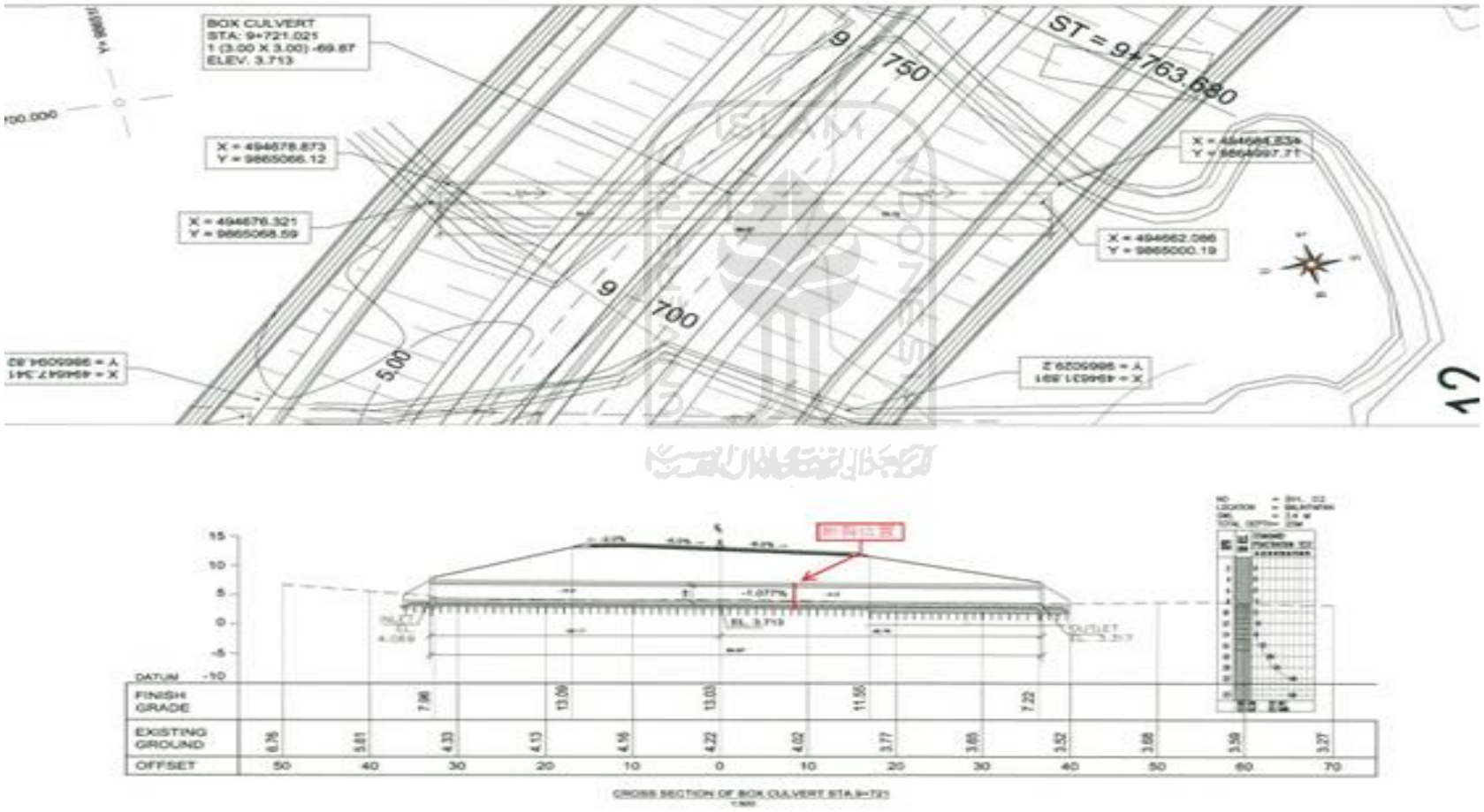
lampiran 1 : jadwal pembuatan Tugas Akhir

JADWAL PEMBUATAN TUGAS AKHIR

Bulan	Bobot (%)	1				2				3				4		
Minggu Ke		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Kegiatan																
Persiapan																
Pengambilan data	5	5														
Instal aplikasi	3	3														
Pengumpulan data																
perhitungan manual Geotekstil	20		6.6667	6.6667	6.6667											
input data di Plaxis	10					3.3333	3.3333	3.3333								
Analisis dan pembahasan																
Analisis data hasil perhitungan manual	19							6.3333	6.3333	6.3333						
Analisis perhitungan di Plaxis	20										6.6667	6.6667	6.6667			
Pembahasan kedua analisis	10													7	3	
Penyusunan Laporan																
Lanjutan Laporan akhir	13					0.6	0.6	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2			2.4	2.4
	100	8	6.6667	6.6667	6.6667	3.9333	3.9333	10.867	7.5333	7.5333	7.8667	7.8667	6.6667	7	5.4	2.4
			14.667	21.333	28	31.933	35.867	46.733	54.267	61.8	69.667	77.533	84.2	91.2	96.6	99

lampiran 2 : Data Proyek jalan tol Balikpapan – Samarinda

1. GAMBAR POTONGAN MELINTANG jalan tol Pekan Baru- Damai



2. DATA PARAMETER TANAH TIMBUNAN PADA JALAN TOL PEKAN BARU - DUMAI

Parameters	*Name*	*Emb.*	*Soft Layer*	*Medium Layer*	*Hard Layer*	*Units*
Model	*Model*	MC	MC	MC	MC	-
Type of Behavior	*Type*	D	UD	UD	UD	-
Soil Weight Unsaturated	γ_{unsat}	18	16	18	20	kN/m^3
Soil Weight Saturated	γ_{sat}	19.5	17.5	20	21.5	kN/m^3
Young's Modulus	E_{ref}	15000	5000	10000	35000	kN/m^2
Cohession	c	25	14	16	25	kN/m^2
Friction Angle	φ	25	10	20	30	°
Poisson Ratio	ν	0.3	0.3	0.3	0.3	-