

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

(Studi Kasus di Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750)

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



**Lexy Dua Lembang
14511012**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

**ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN
PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN
METODE ELEMEN HINGGA
ANALYSIS OF SLOPE STABILITY WITH GEOTEXTILE
REINFORCEMENT USING THE FINITE ELEMENT
METHOD ON HIGHWAY NGAWI-KERTOSONO
PROJECT STA.132+750**

Disusun oleh

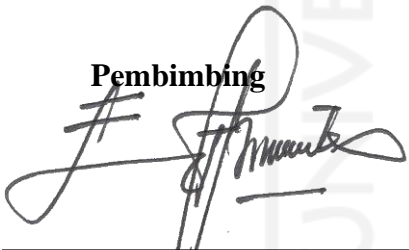
**Lexy Dua Lembang
14511012**

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


Diuji pada tanggal 07 Juli 2021

Oleh Dewan Penguji

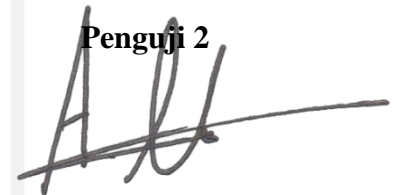
Pembimbing



Penguji 1



Penguji 2



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

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 penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, 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 ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 14 April 2021
Yang membuat pernyataan,


Lexy



(14511012)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah rabbil'alamiin, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Shalawat serta salam selalu terlimpah curahkan kepada junjungan Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat serta pengikut beliau hingga yaumul akhir.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan kritik dan saran, juga telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng., selaku dosen Penguji Tugas Akhir 1
3. Bapak Akhmad Marzuko, Ir., M.T., selaku dosen Penguji tugas Akhir 2
4. Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Seluruh Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta yang telah memberikan ilmu dan wawasan selama kuliah
6. Keluarga yang tercinta, telah memberikan support, motivasi, biaya, dorongan, dan doa tiada henti hingga selesainya Tugas Akhir ini
7. Serta semua pihak terkait yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan banyak manfaat bagi penyusun dan bagi pembaca pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, April 2021

Lexy Dua Lembang

14 511 012



DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil	6
2.1.1 Menggunakan Perangkat Lunak	6
2.1.2 Tanpa Menggunakan Perangkat Lunak	6
2.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil	7

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan	8
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Tanah	12
3.1.1 Pengertian Umum	12
3.1.2 Klasifikasi Tanah	12
3.1.3 Parameter Tanah	19
3.2 Lereng	25
3.2.1 Pengertian Umum	25
3.2.2 Penyebab Longsor	25
3.2.3 Stabilitas Lereng	26
3.2.5 Metode yang Digunakan	29
3.2.6 Metode Elemen Hingga	32
3.3 Perkuatan Lereng	33
3.3.1 Pengertian Umum	33
3.3.2 Faktor Keamanan	33
3.4 Geotekstil	35
3.4.1 Mekanisme Kerja Geotekstil pada Tanah	36
3.4.2 Perkuatan Lereng Dengan Geotekstil	37
3.5 Konsolidasi	39
3.5.1 Pendahuluan	39
3.5.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Konsolidasi	40
3.5.3 Koefisien Konsolidasi (C_v) (Coefficient of Consolidation)	41

3.6	Penurunan	41
3.6.1	Penurunan Segera	41
3.6.2	Penurunan Konsolidasi	42
3.7	Plaxis	43
3.7.1	Pendahuluan	43
3.7.2	Parameter Input Untuk Program Plaxis v.8.6	44
3.7.3	Analisis Stabilitas lereng dengan Plaxis v.8.6	46
BAB IV METODE PENELITIAN		48
4.1	Tinjauan Umum	48
4.2	Data Penelitian	48
4.3	Lokasi Penelitian	48
4.4	Tahapan Penelitian	49
4.3.1	Pengumpulan Data	50
4.3.2	Desain Badan Jalan	50
4.5	Analisis Data	50
4.5.1	Data Potongan Melintang Jalan dan Struktur Galian Lereng	51
4.5.2	Data Beban	52
4.5.3	Data Geotekstil	54
4.6	Analisis Data dengan Software Plaxis 8.6	55
4.7	Bagan Alir	56
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		58
5.1	Data Penelitian	58
5.1.1	Data Potongan Melintang Jalan	58

5.1.2	Data Parameter Tanah	59
5.1.3	Data Beban	59
5.1.4	Data geotekstil	59
5.2	Lereng Asli Tanpa Perkuatan Sudut 46	60
5.2.1	Analisis Menggunakan PLAXIS 8.6	60
5.3	Lereng Asli Sudut 46 Dengan Perkuatan	66
5.3.1	Kebutuhan Geotekstil	67
5.3.2	Stabilitas Eksternal	69
5.3.3	Stabilitas Internal	72
5.4	Lereng Dengan Geometri Baru Sudut 61	81
5.4.1	Lereng Dengan Geometri Baru Sudut 61 Tanpa Perkuatan	81
5.5	Analisis Lereng Geometri Baru Sudut 61 Dengan Perkuatan	87
5.5.1	Kebutuhan Geotekstil	87
5.5.2	Stabilitas Eksternal	88
5.5.3	Stabilitas Internal	90
5.6	Pembahasan	98
5.6.1	Hasil Analisis Stabilitas Galian Tanah Asli Tanpa Perkuatan	98
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		102
6.1	Kesimpulan	102
6.2	Saran	103
DAFTAR PUSTAKA		105
LAMPIRAN		107

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	9
Tabel 3. 1 Klasifikasi Tanah system AASHTO	14
Tabel 3. 2 Klasifikasi Tanah Sistem Unifield	17
Tabel 3. 3 Klasifikasi Tanah Sistem USCS	18
Tabel 3. 4 Perkiraan Modulus Elastisis	21
Tabel 3. 5 Perkiraan Rasio Poisson	23
Tabel 3. 6 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah	25
Tabel 3. 7 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng	27
Tabel 3. 8 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng	34
Tabel 3. 9 Faktor Keamanan Lereng	34
Tabel 4. 1 Parameter Tanah Sta. 132+750	51
Tabel 4. 2 Beban Lalu Lintas	52
Tabel 4. 3 Data Parameter Geotekstil Woven	54
Tabel 5. 1 Hasil Perhitungan Metode Fellenius	65
Tabel 5. 2 Parameter Tanah Timbunan	67
Tabel 5. 3 Koefisien Daya Dukung Tanah	69
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Internal	73
Tabel 5. 5 Hasil Perhitungan Metode Irisan	86
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Internal Untuk Geotekstil	91
Tabel 5. 7 Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Angka Aman	99
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Besar Penurunan Yang Terjadi Keseluruhan	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Fase Tanah.	19
Gambar 3. 2 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan	27
Gambar 3. 3 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan	31
Gambar 3. 4 Geotekstil Non Woven dan Woven	36
Gambar 3. 5 Dasar Mekanisme Perkuatan Lereng dengan Tanah	36
Gambar 3. 6 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral	37
Gambar 3. 7 Kurva Hubungan Antara Tekanan dan Angka Pori	40
Gambar 4. 1 Peta Jalan Tol Trans Jawa, Ngawi - Kertosono	49
Gambar 4. 2 Kondisi Lereng di Sta. 132+750	51
Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Antara Percepatan dan Waktu	53
Gambar 4. 4 Peta Zonasi Gempa Indonesia	54
Gambar 5. 1 Penampang Lereng Asli Sudut 46	60
Gambar 5. 2 Permodelan Lereng Asli sudut 46	61
Gambar 5. 3 Meshing Lereng Asli sudut 46	61
Gambar 5. 4 Deformed Mesh Lereng Asli Sudut 46	62
Gambar 5. 5 Total Displacement Lereng Asli Sudut 46	63
Gambar 5. 6 Arah Pergerakan Tanah Lereng Asli Sudut 46	63
Gambar 5. 7 Gaya - gaya yang Bekerja pada Irisan Lereng Asli Sudut 46	64
Gambar 5. 8 Pembagian Zona pada Lereng Dengan Perkuatan	68
Gambar 5. 9 Hasil Pemasangan Geotekstil pada Lereng dengan Perkuatan	74
Gambar 5. 10 Permodelan Lereng Asli Sudut 46 dengan Perkuatan	75
Gambar 5. 11 Meshing Lereng Asli Sudut 46 dengan Perkuatan	75
Gambar 5. 13 Deformed Mesh Lereng Asli Sudut 46	76
Gambar 5. 14 Total Displacement Lereng Asli Sudut 46	77

Gambar 5. 15 Total Displacement Lereng Asli Sudut 46	77
Gambar 5. 17 Arah Pergerakan Tanah pada Lereng Asli Sudut 46	78
Gambar 5. 18 Potensi Kelongsoran Lereng Asli Sudut 46	79
Gambar 5. 19 Potensi Kelongsoran Lereng Asli Sudut 46	80
Gambar 5. 20 Kurva Time VS Vertical Displacement Lereng Dengan Perkuatan	81
Gambar 5. 21 Penampang Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61	82
Gambar 5. 22 Permodelan Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61	82
Gambar 5. 23 Mesing Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61	83
Gambar 5. 24 Deformed Mesh Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61	83
Gambar 5. 25 Total Displacement Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61	84
Gambar 5. 26 Arah Pergerakan Tanah Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61	84
Gambar 5. 27 Gaya - gaya yang Bekerja Pada Irisan Lereng Geometri Baru	85
Gambar 5. 28 Permodelan Pemasangan Geotekstil	92
Gambar 5. 29 Permodelan Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61	92
Gambar 5. 30 Meshing Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61 dengan Perkuatan	93
Gambar 5. 31 Deformed Mesh Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61	94
Gambar 5. 32 Deformed Mesh Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61	94
Gambar 5. 33 Total Displacement Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61	95
Gambar 5. 34 Total Displacement Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61	95
Gambar 5. 35 Arah Pergerakan Tanah Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61	96
Gambar 5. 36 Arah Pergerakan Tanah Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61	96
Gambar 5. 37 Potensi Kelongsoran Tanah Desain Lereng Geometri Baru	97
Gambar 5. 38 Potensi Kelongsoran Tanah Desain Lereng Geometri Baru	97
Gambar 5. 39 Kurva Time VS Vertical Displacement	98
Gambar 5. 41 Grafik Rekapitulasi Safety Factor Analisis Stabilitas Lereng	100
Gambar 5. 42 Grafik Rekapitulasi Penurunan Tanah Uji 10 Tahun	101

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk yang tinggi menyebabkan transportasi di Indonesia membutuhkan banyak lahan untuk penggunaan jalan Tol. Salah satu proyek jalan tol tersebut adalah proyek tol Ngawi-Kertosono. Jalan tol ini terletak pada daerah perbukitan dengan lereng yang cukup tinggi sehingga perlu dilakukan pemotongan lereng. Secara geoteknik, tanah yang ada di daerah tersebut adalah jenis tanah berbutir halus pada bagian atas dan pada lapisan bawah berupa tanah pasir. Untuk mengatasi permasalahan di atas, maka akan dilakukan galian pada perbukitan lereng sedalam ± 15 meter, sehingga perlu dilakukan kajian atau analisis stabilitas lereng.

Analisis stabilitas lereng dilakukan perhitungan menggunakan metode elemen hingga menggunakan program *Plaxis 8.6*. Penelitian ini menggunakan variasi lereng asli sudut 46 dan desain lereng geometri baru sudut 61. Untuk perencanaan perkuatan pada lereng yang tidak aman digunakan perkuatan geotekstil *woven UW-250* produksi PT.Teknindo Geosistem Unggul.

Hasil dari pemodelan lereng asli tanpa perkuatan didapatkan nilai SF sebesar 0,9675 menggunakan perhitungan manual (*Fellenius*) karena *plaxis* tidak dapat menampilkan nilai SF. Untuk nilai SF pada desain geometri baru dengan sudut kemiringan lereng 61° tanpa perkuatan diperoleh nilai 0,9541 menggunakan manual (*Fellenius*). Selanjutnya untuk nilai angka aman lereng asli setelah tanah diganti dengan tanah timbunan dan diberi perkuatan diperoleh nilai 1,306 akibat beban struktur dan 1,3679 akibat beban gempa, hasil nilai penurunan selama 365 hari adalah sebesar 0,0002626 meter. Untuk nilai SF pada lereng geometri baru sudut 61° dengan perkuatan diperoleh nilai 1,2913 akibat beban struktur dan 1,2902 akibat beban gempa, dan hasil untuk penurunan selama 365 hari adalah 0,0004088 meter.

Kata Kunci: Stabilitas Lereng, Geotekstil, Program *Plaxis 8.6*

ABSTRACT

High population growth causes transportation in Indonesia to require a lot of land for the use of toll roads. One of the toll road projects is the Ngawi-Kertosono toll road project. This toll road is located in a hilly area with quite high slopes, so it is necessary to cut the slopes. Geotechnically, the soil in the area is a type of fine-grained soil at the top and the bottom layer is sandy soil. To overcome the above problems, excavation will be carried out on the hill slopes as deep as ± 15 meters, so it is necessary to conduct a study or analysis of slope stability.

Slope stability analysis was calculated using the finite element method using the program Plaxis 8.6. This study uses a variation of the original slope angle 46 and a new geometric slope design angle 61. For the planning of reinforcement on unsafe slopes, geotextile reinforcement woven UW-250 produced by PT.Teknindo Geosistem Unggul is used.

The results of the original slope modeling without reinforcement obtained an SF value of 0.9675 using manual calculations (Fellenius) because Plaxis cannot display the SF value. For the SF value in the new geometric design with a slope angle of 61 without reinforcement, the value is 0.9541 using the manual (Fellenius). Furthermore, for the value of the original slope safety value after the soil was replaced with embankment soil and given reinforcement, it was obtained a value of 1.306 due to structural loads and 1.3679 due to earthquake loads, the result of the decrease in value for 365 days was 0.0002626 meters. For the SF value on the new geometric slope of 61 angle with reinforcement, the value is 1.2913 due to structural loads and 1.2902 due to earthquake loads, and the result for 365 days of subsidence is 0.0004088 meters.

Keywords: *Slope Stability, Geotextile, Plaxis 8.6 . Program*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk yang tinggi menyebabkan transportasi di Indonesia membutuhkan banyak lahan untuk penggunaan jalan yang dapat dilalui oleh kendaraan. Hal ini mendorong manusia untuk mulai membuka lahan hingga Kawasan perbukitan dan lereng. Namun dengan digunakannya lahan perbukitan dan lereng ini sangat memungkinkan terjadinya longsor.

Longsor merupakan bencana yang sering terjadi karena kurangnya daya dukung tanah. Longsor dapat menyebabkan terganggunya sarana dan pra sarana, kerugian harta benda, bahkan dapat menimbulkan korban jiwa. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka perlu dilakukan kajian untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya longsor, sehingga diperlukan analisa stabilitas lereng untuk mengetahui faktor keamanan dari lereng yang mengalami kelongsoran tersebut.

Pembangunan jalan Tol Ngawi – Kertosono, khususnya ruas Ngawi – Caruban seksi 3.1. sepanjang kurang lebih 21,06 km melintasi daerah perbukitan perkebunan. Untuk daerah pertanian untuk membentuk jalan akan dilakukan pekerjaan timbunan tanah, sedangkan pada daerah perbukitan maka dilakukan pemotongan lereng. Untuk trase jalan Ngawi - Kertosono khususnya pada Sta. 128+850 hingga Sta. 139+760 terletak pada daerah perbukitan dengan lereng yang cukup tinggi sehingga perlu dilakukan pemotongan lereng. Pada daerah lain jalan untuk mencapai *finish grade* permukaan jalan maka dilakukan penimbunan tanah yang cukup tinggi dengan ketebalan kurang lebih dari 1 meter hingga 8 meter dari permukaan tanah asli setempat. Penimbunan tanah tersebut dimaksudkan untuk membentuk badan jalan sesuai dengan gambar desain. Disisi lain untuk mendapatkan trase jalan maka dilakukan pemotongan lereng perbukitan hingga 15 meter. Disamping itu, secara geoteknik, tanah yang ada di daerah tersebut adalah jenis tanah berbutir halus pada bagian atas dan pada lapisan

bawah berupa tanah pasir. Jenis tanah pasir yang berada pada daerah ini akan digunakan sebagai bahan timbunan untuk badan jalan di bagian jalan lain. Karena pemotongan bukit perhutani ini cukup dalam untuk mendapatkan bentuk jalan sesuai dengan gambar rencana (D.E.D.) maka perlu dilakukan kajian atau analisis stabilitas lereng.

Ada beberapa metode dalam analisis stabilitas lereng, salah satunya menggunakan perkuatan geotekstil dengan menggunakan perangkat lunak *Plaxis*. Geotekstil itu sendiri merupakan metode dalam Geoteknik yang tembus air, yang dapat digunakan sebagai separator, filter, proteksi, dan perkuatan. Bahan dasar pembuatannya adalah Polyester atau Polypropylene. Geosintetik tersebut berfungsi sebagai penahan longsor yang mungkin terjadi pada lereng. Geosintetik ini mempunyai beberapa kelebihan dibanding metode lainnya, sebagai berikut ini.

1. Geosintetik menjadi perkuatan tanah basic, yang mana material geosintetik memiliki properti keahlian tarik yang melawan pergerakan tanah basic baik mengembang maupun menyusut
2. Geosintetik sebagai dinding penahan tanah dapat mengatasi masalah pada susunan penahan tanah. Langkah tersebut dapat menambah kemampuan menerima beban yang cukup besar.
3. Geosintetik pada timbunan tanah diatas tanah lunak dapat melindungi stabilitas tanah sampai tanah lunak terkonsolidasi.
4. Geosintetik sebagai perkuatan dinding penahan tanah lebih mudah serta lebih efisien dalam pelaksanaannya mengingat bahan geosintetik sebagai bahan yang sudah jadi, dan dapat menghemat hingga 50% dari biaya konstruksi dibandingkan dengan bangunan struktur (campuran semen, pasir, kerikil, baja tulangan, air serta material lain yang diperlukan)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana angka aman (*safety factor*) lereng asli sudut 46 secara manual dan dengan program plaxis?
2. Bagaimana angka aman (*safety factor*) lereng asli sudut 46 yang diberi perkuatan geotekstil menggunakan program plaxis?
3. Bagaimana besar penurunan tanah yang terjadi pada lereng asli sudut 46 tanpa perkuatan dan dengan menggunakan perkuatan geotekstil?
4. Bagaimana angka aman (*safety factor*) desain lereng geometri baru sudut 61 secara manual dan dengan program plaxis?
5. Bagaimana angka aman (*safety factor*) desain lereng geometri baru sudut 61 yang diberi perkuatan geotekstil menggunakan program plaxis?
6. Bagaimana besar penurunan tanah yang terjadi pada desain lereng geometri baru sudut 61 tanpa perkuatan dan dengan menggunakan perkuatan geotekstil?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui angka aman (*safety factor*) lereng asli sudut 46 secara manual dan dengan program plaxis.
2. Mengetahui angka aman (*safety factor*) lereng asli sudut 46 yang diberi perkuatan geotekstil menggunakan program plaxis.
3. Mengetahui besar penurunan tanah yang terjadi pada lereng asli sudut 46 dan lereng yang diberi perkuatan geotekstil.
4. Mengetahui angka aman (*safety factor*) desain lereng geometri baru sudut 61 secara manual dan dengan program plaxis.
5. Mengetahui angka aman (*safety factor*) desain lereng geometri baru sudut 61 yang diberi perkuatan geotekstil menggunakan program plaxis.

6. Mengetahui besar penurunan tanah yang terjadi pada desain lereng geometri baru sudut 61 dan lereng yang diberi perkuatan geotekstil.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah untuk mengetahui desain tinggi timbunan paling efektif dan aman untuk timbunan lereng pada Proyek dengan perkuatan geotekstil serta mengaplikasikan program Plaxis dalam menganalisis kestabilan lereng. Manfaat lainnya yaitu sebagai bahan masukan dalam konsentrasi studi Geoteknik terlebih khusus dalam hal kestabilan lereng.

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. Beban gempa pada lereng diperhitungkan untuk wilayah Ngawi
2. Tidak mengikutsertakan air
3. Data tanah yang digunakan berdasarkan uji laboratorium
4. Geotesintetik yang dipakai adalah jenis Woven UW 250 dari PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan kuat tarik ultimit 52 kN/m.
5. Pembebanan lalu lintas sesuai peraturan Paraturan dari Departemen Pekerjaan Umum tahun 2009 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan.
6. Program Plaxis yang digunakan adalah versi 8.6 dengan permodelan 2D.
7. Lokasi penelitian pada ruas jalan Tol Ngawi – Kertosono, tepatnya di Stasiun 132+750.
8. Untuk pekerjaan *Shorcrete* untuk lapisan permukaan lereng lainnya tidak dianalisis.
9. Pemasangan geotekstil adalah mendatar.
10. Perhitungan manual untuk mencari angka aman menggunakan metode *Fellenius*.

11. Analisis dilakukan pada lereng asli sudut 46 dan pada desain lereng geometri baru sudut 61.
12. Analisis penurunan tanah selama 10 tahun.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil

2.1.1 Menggunakan Perangkat Lunak

Wicaksono, (2016) melakukan penelitian yang mengkaji pengaruh geotekstil pada perkuatan lereng Jalan raya Pacitan – Ponorogo yang terletak di Dusun Gayam, Desa Gemaharjo, Kecamatan Tegalombo, Kabupaten Pacitan. Analisis stabilitas lereng disimulasikan dengan menggunakan program Plaxis versi 8.2. Untuk perencanaan perkuatan pada lereng digunakan perkuatan geotekstil woven UW-250 produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul. Penelitian dilakukan guna mencari nilai angka aman lereng dengan menganalisis lereng asli terlebih dahulu lalu melakukan perlakuan penggantian geometri lereng, lalu penggunaan perkuatan geotekstil pada lereng geometri baru. Adanya perlakuan tersebut memberikan pengaruh pada lereng dengan naiknya nilai angka aman.

2.1.2 Tanpa Menggunakan Perangkat Lunak

Saputra (2017) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dan geotekstil pada ruas jalan lintas liwa-simpang gunung kemala. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil stabilitas eksternal lereng yang diperkuat dinding penahan tanah kantilever dan geotekstil, apakah aman terhadap bahaya guling, bahaya geser dan penurunan daya dukung. Kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut diantaranya adalah analisis stabilitas dinding penahan dengan perkuatan geotekstil dilakukan dengan cara manual. Pada analisis ini didapatkan hasil sebagai berikut: stabilitas guling sebesar 5,9479 stabilitas geser 3,3531 dan daya dukung sebesar 3,4815. Sehingga dinding penahan dengan geotekstil dalam kondisi aman dan mampu menahan kelongsoran. Untuk

analisis stabilitas dinding penahan kantilever pun dilakukan dengan cara manual. Pada analisis ini didapatkan hasil sebagai berikut: stabilitas guling sebesar 6,5844, stabilitas geser 2,2581 dan daya dukung sebesar 3,4237. Sehingga dinding penahan tanah kantilever dalam kondisi aman dan mampu menahan kelongsoran.

2.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil

Pangemanan (2014) melakukan penelitian mengenai analisis kestabilan lereng dengan metode fellenius pada studi kasus kawasan citraland. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kestabilan lereng berdasarkan perhitungan faktor keamanan dengan metode fellenius, grafik hubungan FK & c , ϕ , γ ; FK & NS ; FK & α . Kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut diantaranya adalah hasil analisis perhitungan komputer menggunakan program Slide 6 menunjukkan nilai Faktor Keamanan dari lereng di Kawasan Citraland adalah 0,193. Itu artinya lereng di Kawasan Citraland tersebut dalam kondisi tidak stabil. Itu berbahaya dan dapat mengakibatkan longsor pada kemudian hari. Supaya keadaan lereng menjadi stabil dan Faktor Keamanan dapat menjadi lebih dari 1 maka lereng diperbaiki dengan menggunakan soil nail. Soil nail adalah salah satu cara perbaikan lereng dengan cara memperkecil gaya penggerak atau momen penyebab longsor. Sehingga dapat diperoleh nilai Faktor Keamanan 1,926 yang menunjukkan kondisi lereng dalam keadaan stabil.

Penelitian yang dilakukan oleh Monintja (2014) adalah mengenai analisis kestabilan lereng dengan metode bishop pada studi kasus kawasan citraland. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mencari tahu hubungan antara faktor keamanan dengan variasi, sudut kemiringan lereng, variasi parameter geser, variasi jumlah anak tangga (pembuatan terasering) dan hubungan antara faktor keamanan dengan koefisien rasio tegangan air pori. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian tersebut diantaranya adalah hasil analisis perhitungan komputer menggunakan program Slide 6 menunjukkan nilai Faktor Keamanan dari lereng di Kawasan Citraland adalah 1,099. Kemudian lereng diperbaiki dengan menggunakan *End Anchored* menghasilkan faktor keamanan yaitu 1,522. Lereng 8 dengan multi slope dan memperkecil sudut lereng

merupakan alternatif serta penggunaan *End anchore* untuk memperkecil terjadinya longsor.

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

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



Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

No	Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Tujuan	Hasil
1	Monintja (2014)	Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland sta.1000m)	Analisis menggunakan Metode Bishop untuk permukaan gelincir (slip surface) dan untuk kestabilan lereng digunakan program Slide 6.0.	Mengetahui faktor keamanan pada lereng didaerah Citraland masih memenuhi syarat. Jikalau tidak memenuhi, solusi yang paling efektif untuk mendapatkan kestabilan lereng diantaranya dengan pembuatan terasering dan penggunaan End Anchored.	Lereng diperbaiki dengan menggunakan End Anchored menghasilkan faktor kemanan yaitu 1,522. Data End Anchored yang digunakan $P = 8m$, $s = 3m$, $n = 14bh$, kapasitas = 210KN.
2	Pangemanan (2014)	Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland)	Analisis menggunakan Metode Fellenius untuk Faktor Keamanan terhadap gelincir dan untuk kestabilan lereng digunakan program Slide 6.0.	Mengetahui kestabilan lereng berdasarkan perhitungan faktor kemanan dengan metode Fellenius. Mencari solusi yang tepat untuk mengatasi bahaya kelongsoran.	Hasil analisis menggunakan program Slide 6 nilai Faktor Keamanan dari lereng di Kawasan Citraland adalah 0,193. Kemudian diperbaiki dengan menggunakan soil nail.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

No	Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Tujuan	Hasil
3	Zaika dkk (2014)	Analisis Stabilitas Lereng Memakai Perkuatan Geotekstil Dengan Bantuan Perangkat Lunak (Studi Kasus Pada Sungai Parit Raya)	Analisa menggunakan software Geoslope untuk kestabilan lereng dan perhitungan manual eksisting.	Mengetahui penyebab kelongsoran lereng sebelum perkuatan dan kerusakan penahan tanah eksisting. Menentukan stabilitas lereng dan merencanakan perkuatan tanah dengan geotekstil serta menghitung anggaran biaya beserta metode pelaksanaannya.	Hasil analisa menggunakan SLOPE/W angka keamanannya 1,893. Dari hasil analisis manual diperoleh nilai angka keamanan 0,333 (eksisting), kemudian naik menjadi 1,925 (setelah diperkuat geotekstil).
4	Saputra (2017)	Kemanan terhadap geser, guling, stabilitas lereng internal dan eksternal	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dan Geotekstil Pada Ruas Jalan Lintas LiwaSimpang Gunung Kemala Km. 268+550	Mengetahui stabilitas lereng tanpa perkuatan dinding penahan tanah dan dengan pekuatan dinding penahan tanah dan geotekstil dengan menggunakan perangkat lunak Geoslope. Mengetahui analisis stabilitas eksternal lereng dan menentukan panjang geotekstil.	Hasil analisa kondisi lereng yang tidak diperkuat tidak aman dengan nilai SF < 1, setelah lereng diperkuat dengan geotekstil, diperkuat dengan DPT, maupun geotekstil dengan DPT nilai SF naik menjadi > 1.
5	Chasanah (2012)	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Geoslope	Analisa dengan perhitungan manual, yaitu stabilitas internal dan eksternal serta perhitungan dengan program Geoslope untuk kestabilan lereng.	Mengetahui hubungan antara kemiringan lereng, panjang geotekstil, dan jarak vertikal antar geotekstil dengan angka kemanan (SF). Mengetahui perbandingan analisis stabilitas lereng menggunakan perhitungan manual dengan program Geoslope.	Hasil analisa dengan perkuatan geotekstil menggunakan program Geoslope rata-rata nilai SF bertambah pada panjang, kemiringan lereng, jarak vertikal antar geotekstil maka kelongsoran dapat diminimalisir.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

No	Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Tujuan	Hasil
6	Lembang (2020)	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Perangkat Lunak	Analisis dengan perkuatan geotekstil menggunakan <i>software Plaxis</i> untuk kestabilan lereng dan Metode Fellinius	Untuk mengetahui nilai angka aman dan angka penurunan pada lereng asli menggunakan perkuatan dan Analisa pada geometri baru dengan menggunakan perkuatan geotekstil	dari hasil Analisa dengan perkuatan geotekstil menggunakan program <i>plaxis 8.6</i> dihasilkan SF yang memenuhi untuk mencegah terjadinya kelongsoran

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Pengertian Umum

Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai/lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan (Craig, 1987)

Tanah dalam pengertian teknik secara umum didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, di samping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan (Das B.M., 1995).

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi berfungsi sebagai penjelasan singkat dari sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terperinci. Sistem klasifikasi yang sudah ada dan dikembangkan sebagian besar didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana (Das, 1995).

1. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai Public Road Administration Classification System. Dalam sistem ini tanah diklasifikasikan menjadi 7 kelompok besar yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-1, dan A-3 merupakan tanah berbutir dimana 6

35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Sedangkan tanah yang lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No.200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7 yang sebagian besar adalah lanau dan lempung. Untuk pengklasifikasiannya dapat dilihat seperti pada Tabel 3.1 di bawah ini.



Tabel 3. 1 Klasifikasi Tanah system AASHTO

Klasifikasi umum	Material granuler ($< 35\%$ lolos saringan no.200)							Tanah-tanah lanau-lempung ($< 35\%$ lolos saringan no.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos)											
2,00 mm (no.10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no.200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no.4											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	2- maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			
Catatan: Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL) Untuk $PL > 30$, klasifikasinya A-7-5 Untuk $PL < 30$, klasifikasinya A-7-6 Np = nonplastis											13

Sumber : Hardiyatmo (2014)

2. Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Pada sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok 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. Menentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200.
- b. Jika tanah berupa butiran kasar:
 - 1) Menyaring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi
 - 2) Menentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila persentase yang lolos kurang dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai pasir.
 - 3) Menentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribus butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau

SW (bila pasir). Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (*GW - GM*, *SW - SM*, dan sebagainya).

- 4) Jika persentase butiran yang lolos saringan no.200 lebih besar 12%, harus dilakukan uji batas-batas Atterberg. dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (*GM*, *GC*, *SM*, *SC*, *GM - GC* atau *SM - SC*).
- c. Jika tanah berbutir halus:
- 1) Menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50, klasifikasikan sebagai *H* (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai *L* (plastisitas rendah).
 - 2) Untuk *H* (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis *A*, tentukan apakah tanah organik (*OH*) atau anorganik (*MH*). Jika plotnya jatuh di atas garis *A*, klasifikasikan sebagai *CH*.
 - 3) Untuk *L* (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis *A* dan area yang diarsir, tentukan apakah tanah organik (*OL*) atau anorganik (*ML*) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam *oven*.
 - 4) Jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis *A* atau nilai *LL* sekitar 50, gunakan simbol dobel.
- Berikut adalah sistem klasifikasi *Unified* yang ditampilkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Klasifikasi Tanah Sistem Unifield

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

Sumber : Hardiyatmo (2014)

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

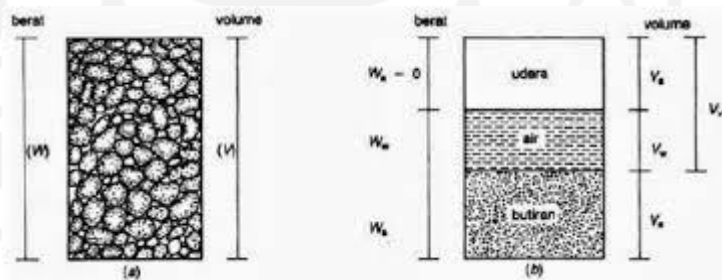
Tabel 3. 3 Klasifikasi Tanah Sistem USCS

		Kriteria Klasifikasi			
Klasifikasi berdasarkan persentas butir halus	GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW			
		<table border="1"> <tr> <td>Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$</td> <td rowspan="2">Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda</td> </tr> <tr> <td>Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$</td> </tr> </table>	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$
		Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda		
		Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$			
		$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW			
	<table border="1"> <tr> <td>Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$</td> <td rowspan="2">Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda</td> </tr> <tr> <td>Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$</td> </tr> </table>	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$	
	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda			
	Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$				
	Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 5% sampel 12% lolos ayakan No.200				
	<p>PLASTICITY CHART</p> <p>Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti Batasan klasifikasinya Menggunakan simbol. Persamaan garis A : $PI = 0,78(LL-20)$</p>				
Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM Designation D-2488					

3.1.3 Parameter Tanah

Parameter tanah yang dimaksudkan disini meliputi berat volume basah, berat volume jenuh air, modulus young, posson ratio, sudut geser dalam, dan kohesi.

Berdasarkan Hardiyatmo (2014) segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, maka tanah hanya terdiri dari dua bagian, yaitu butiran-buturan tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Bagian-bagian tanah dapat digambar dalam bentuk diagram fase ditunjukkan dalam Gambar 3.1 memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume V dan berat total W .



Gambar 3. 1 Diagram Fase Tanah.

(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

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

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

dan

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

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

dengan:

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = Volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

1. Berat Volume Lembab atau Basah (γ_b) Berat volume lembab atau basah (γ_b), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W), dengan volume total tanah (V) (lihat Persamaan 3.4).

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

dengan

$W = W_w + W_s + W_a$ ($W_a = 0$), bila ruang udara terisi oleh air seluruhnya ($V_a = 0$), maka tanah menjadi jenuh.

2. Berat volume jenuh air (γ_{sat})

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

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

3. Modulus Young

Nilai modulus young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari triaxial test. Umumnya modulus elastisitas (E) ditentukan dari uji triaksial kondisi undrained, dan nilai E ditentukan dari pendekatan kemiringan kurva tegangan-regangan yang diambil pada setengah dari beban ultimit aksial. Angka poisson (ν) dapat dihitung dari pengukuran regangan kompresi aksial dan regangan lateral selama uji triaksial. Nilai Modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 3.4.

Untuk tanah granuler seperti pasir, modulus elastisitas dapat ditentukan dari uji triaksial. Nilai modulus elastisitas (E) telah diketahui proposional dengan

σ_3^n , dengan σ_3 adalah tekanan kekang hidrostatik dan nilai n mendekati 0,5. Nilai-nilai modulus elastisitas (E) dan angka *poisson* (ν) perkiraan untuk berbagai macam tanah.

Tabel 3. 4 Perkiraan Modulus Elastisitas

Macam Tanah	$E(kN/m^2)$
LEMPUNG	
Sangat lunak	300-3000
Lunak	2000-4000
Sedang	4500-5000
Keras	7000-20000
Berpasir	30000-42500
PASIR	
Berlanau	5000-20000
Tidak padat	10000-25000
Padat	50000-100000
PASIR DAN KRIKIL	
Padat	80000-200000
Tidak padat	50000-140000
LANAU	2000-20000
LOESS	15000-60000
CADAS	140000-1400000

Sumber : Bowles (1977)

Nilai-nilai E yang dipergunakan dalam Persamaan (3.6), terdapat beberapa usulan nilai E yang diberikan oleh peneliti yang lain. Hasil-hasil uji kerucut statis (sondir) yang dilakukan oleh De Beer (1965) memberikan korelasi antara tahanan kerucut q_c dan E , seperti dalam Persamaan (3.6) sebagai berikut :

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

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

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

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

Nilai perkiraan modulus elastis dapat pula diperoleh dari uji SPT. Mitchell dan Gardner (1975) mengusulkan nilai modulus elastis yang dihubungkan dengan nilai SPT seperti dalam persamaan (3.9) dan (3.10), sebagai berikut :

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

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

Didasarkan pada nilai pendekatan hubungan antara nilai N dari pengujian SPT dan tahanan konus (Meyerhof, 1956) nilai q_c dapat menggunakan rumus seperti dalam Persamaan (3.11), sebagai berikut :

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

4. *Poisson Ratio*

Nilai poisson ratio ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Nilai poisson ratio dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang tertera pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Perkiraan Rasio Poisson

Macam Tanah	ν
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,50
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasar padat	0,20 – 0,40
Pasar kasar ($e= 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasar halus ($e= 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu	0,10 – 0,40
Loesss	0,10 – 0,30
Beton	0.15

Sumber: Bowles (1977)

5. Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Nilai ini didapat dari pengujian *Triaxial Test dan Direct Shear Test*.

6. Kuat Geser Tanah

Menurut Hardiyatmo (2014) parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis kapasitas dukungan tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Menurut teori Moch (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan oleh persamaan (3.12) :

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.12)$$

Dengan τ adalah tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan (*failure*), dan σ adalah tegangan normal pada saat kondisi tersebut. Garis kegagalan yang didefinisikan dalam persamaan (3.13), adalah kurva yang ditunjukkan dalam Gambar (3.14).

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

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

Columb (1776) mendefinisikan τ sebagai :

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (3.13)$$

dengan,

τ = Kuat geser tanah (kN/m²)

c = Kohesi tanah (kN/m²)

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

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

Kekuatan geser dalam memiliki variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapat dari pengukuran *engineering properties* tanah berupa *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah

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

Sumber : Das (1994)

3.2 Lereng

3.2.1 Pengertian Umum

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Pada tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak kearah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor.

3.2.2 Penyebab Longsor

Menurut Hardiyatmo (2014) kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut ini.

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenang di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuhan- tumbuhan yang tertiup angin dan lain-lain.

2. Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng.
3. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) (pada bendung, sungai dan lain-lain).
5. Kenaikan tekanan tanah lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral).
6. Gempa bumi.
7. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.

3.2.3 Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng merupakan suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan penggalian dan penimbunan tanah, 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 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3. 2 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan
(Sumber: Santoso, 1998)

Berikut adalah tabel nilai faktor keamanan untuk lereng yang disyaratkan dari Departemen Pekerjaan Umum seperti pada Tabel 3.7.

Tabel 3. 7 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng

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

Catatan :

- Meskipun nilai faktor keamanan lerengnya 1,4, jika beresiko tinggi terhadap keselamatan orang-orang disekitarnya maka harus diubah menjadi 1.1 berdasarkan hasil prediksi kondisi air tanah terburuk.
- Faktor keamanan yang tercantum di dalam tabel ini adalah nilai-nilai yang direkomendasikan. Faktor keamanan yang lebih tinggi atau lebih rendah mungkin saja terjamin keamanannya pada situasi-situasi khusus dalam hubungannya dengan resiko kehilangan secara ekonomis.

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

3.2.4 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Berdasarkan Hardiyatmo (2014) Maksud dari analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng, beberapa anggapan dibuat, yaitu: 1. kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2

dimensi. 2. kassa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif. 3. tanah geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis. 4. faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor.

Menurut Hardiyatmo (1994) faktor keamanan didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, yang dapat dilihat dalam Persamaan 3.14, sebagai berikut :

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

keterangan:

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

τ_d = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m^2), dan

F = faktor aman

Menurut teori Mohr-Coulomb dalam Hardiyatmo (1994), tahanan terhadap tegangan geser (τ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, di sepanjang bidang longsornya, dapat dinyatakan pada Persamaan 3.15.

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

keterangan:

τ = tegangan geser (kN/m^2),

c = kohesi (kN/m^2),

\emptyset = sudut gesek dalam tanah (derajat), dan

σ = tegangan normal (kN/m^2)

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi (τ_d) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsornya seperti pada Persamaan 3.16.

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

keterangan:

τ_d = tegangan geser (kN/m^2),

c_d = kohesi (kN/m^2),

ϕ_d = sudut gesek dalam yang terjadi (derajat), dan

σ = tegangan normal (kN/m^2)

3.2.5 Metode yang Digunakan

Kelongsoran gabungan (*compound slip*) terjadi bila bentuk permukaan runtuh dipengaruhi oleh adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan. Kelongsoran translasi cenderung terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang relatif dangkal dibawah permukaan lereng, dimana permukaan runtuhnya akan berbentuk bidang dan hampir sejajar dengan lereng. Kelongsoran gabungan biasanya terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan pada kedalaman yang lebih besar, dan permukaan runtuhnya terdiri dari bagian-bagian lengkung dan bidang. Untuk menganalisis stabilitas lereng ini ada beberapa metode yang sering digunakan, sebagai berikut.

1. Metode Fellenius

Metode ini mengasumsikan bahwa, untuk setiap irisan gaya-gaya antar irisan adalah nol. Penyelesaian tersebut meliputi penyelesaian ulang untuk gaya-gaya pada setiap irisan yang tegak lurus terhadap dasar dinyatakan pada Persamaan 3.17 sampai Persamaan 3.18.

$$N' = (W \times \cos \alpha) - (u \times l) \quad (3.17)$$

$$SF = \frac{c' \cdot L_a + \tan \varphi' \sum N'}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (3.18)$$

Keterangan:

N' = gaya normal efektif

W = berat total irisan

A = sudut geser singgung masing-masing irisan

u = tekanan air pori pada pusat dasar

l = panjang dasar

L_a = panjang busur

φ = sudut gesek dalam

c' = kohesi tanah efektif

2. Metode Bishop

Bishop mengasumsikan bahwa resultan gaya pada sisi irisan adalah horizontal, yaitu $X_1 - X_2 = 0$. Dengan menyelesaikan kembali gaya-gaya ke arah vertikal, didapatkan persamaan 3.19 sampai Persamaan 3.21:

$$W = N' \cdot \cos \alpha + u \cdot \cos \alpha - \frac{c'}{SF} \cdot \sin \alpha - \frac{N'}{SF} \cdot \tan \varphi' \cdot \sin \alpha \quad (3.19)$$

$$N' = \frac{(W \cdot \frac{c'}{SF} \cdot \sin \alpha - u \cdot l \cdot \cos \alpha)}{\cos \alpha + \frac{\tan \varphi' \cdot \sin \alpha}{SF}} \quad (3.20)$$

Dengan substitusi nilai $l = b \cdot \sec \alpha$, maka didapat persamaan SF :

$$SF = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha} \sum \left[(c' \cdot b + (W - u \cdot b) \cdot \tan \varphi') \cdot \frac{\sec \alpha}{1 - \frac{\tan \alpha \cdot \tan \varphi'}{SF}} \right] \quad (3.21)$$

Keterangan:

N' = gaya normal efektif

W = berat total irisan

α = sudut geser singgung masing-masing irisan

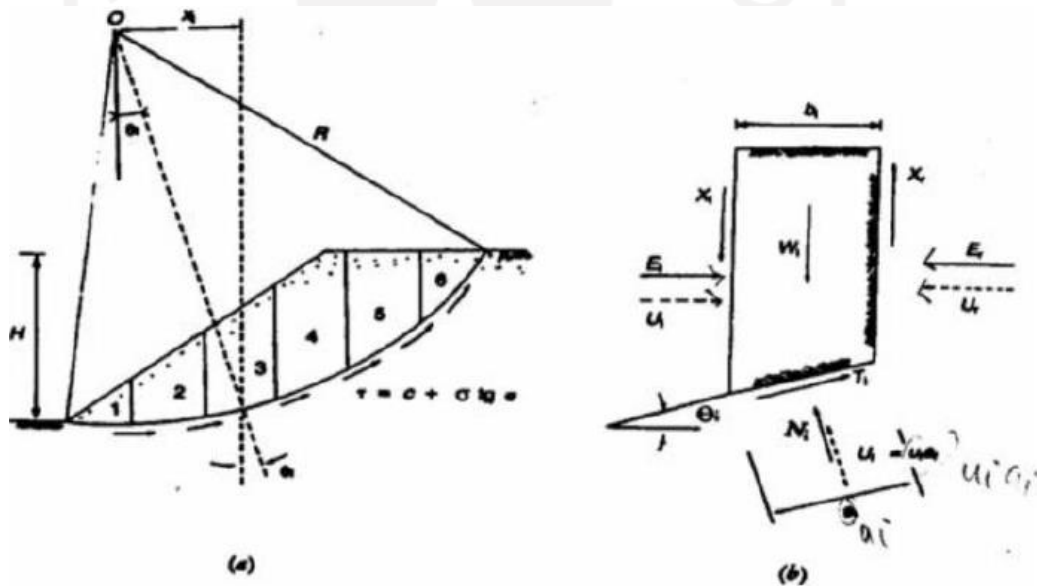
u = tekanan air pori pada pusat dasar

l = panjang dasar

ϕ = sudut gesek dalam

c' = kohesi tanah efektif

3. Metode Irisan



Gambar 3. 3 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Faktor keamanan merupakan rasio kekuatan geser yang ada (τ) terhadap kekuatan geser (τ_m) yang harus dikerahkan untuk mempertahankan syarat batas keseimbangan dinyatakan pada Persamaan 3.22.

$$SF = \frac{\tau}{\pi m} \quad (3.22)$$

Dengan meninjau momen terhadap titik O, jumlah momen akibat gaya-gaya geser pada busur keruntuhan AC harus sama dengan momen akibat massa tanah ABCD. Untuk setiap irisan, lengan momen $W = r \cdot \sin \alpha$ sehingga dinyatakan pada Persamaan 3.23 sampai dengan Persamaan 3.25:

$$\sum Tr = \sum W \cdot r \cdot \sin \alpha \quad (3.23)$$

$$T = \frac{\tau}{SF} \cdot l \quad (3.24)$$

$$SF = \frac{\sum \tau \cdot l}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (3.25)$$

Untuk menganalisis yang menggunakan tegangan efektif dinyatakan pada Persamaan 3.26.

$$SF = \frac{c' \cdot La - \tan \varphi' \sum N'}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (3.26)$$

3.2.6 Metode Elemen Hingga

Menurut Hardiyatmo (2014) dengan menggunakan metoda keseimbangan batas dimungkinkan untuk melakukan evaluasi lereng dengan cepat. Tetapi, prosedur ini memberlakukan hitungan yang sama antara lereng timbunan baru, lereng yang baru digali atau lereng alami. Tegangan-tegangan di dalam lereng sangat dipengaruhi oleh K_0 , yaitu rasio tegangan lateral terhadap tegangan vertical efektif. Tetapi, hitungan cara konvensional dengan metoda keseimbangan batas mengabaikan hal ini (Chowdhury, 1981). Dalam kenyataan, distribusi tegangan dalam ke tiga lereng tersebut akan berbeda, dan oleh karena itu akan mempengaruhi stabilitasnya. Metode Elemen Hingga (Finite Element Method) pertama kali dikenalkan oleh Clough dan Woodward (1967),

tapi penggunaannya terbatas pada struktur tanah yang kompleks. Untuk kasus khusus, metode elemen hingga dapat mengakomodasi pengaruh penimbunan dan penggalian secara bertahap, sehingga pengaruh sejarah tegangan dalam tanah terhadap deformasinya dapat ditelusuri. Akan tetapi, kualitas metoda elemen hingga secara langsung bergantung pada kemampuan dari model konstitutif yang dipilih, yang secara realistis mensimulasi kelakuan non linier dari tanah pembentuk lereng. Untuk lereng galian dan lereng alam, model konstitutif hanya dapat benar-benar dikembangkan dengan uji lapangan kualitas tinggi yang didukung dengan pengamatan di lapangan.

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 persungai 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

mengelincirkan 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) $\geq 1,0$. Dalam buku Mekanika Tanah I karya (Hardiyatmo H.C., 2009), Bowles J.E. (1989) menjelaskan bahwa keadaan lereng berdasarkan nilai *safety factor* (SF) nya dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 berikut ini.

Tabel 3. 8 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng

Faktor Keamanan (F)	Keadaan Lereng
$F < 1,00$	Lereng dalam kondisi tidak mantap (lereng <i>labil</i>)
$1,00 < F < 1,20$	Lereng dalam kondisi kemantapan diragukan
$1,30 < F < 1,40$	Lereng dalam kondisi memuaskan
$1,50 < F < 1,70$	Lereng dalam kondisi mantap (lereng <i>stabil</i>)

Sumber : Sosrodarsono (2003)

Tabel 3. 9 Faktor Keamanan Lereng

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

(Sumber: Bowles, 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.

3.4 Geotekstil

Geotekstil merupakan material lembaran yang dibuat dari bahan tekstil polymeric, bersifat yang lolos air, yang dapat berbentuk bahan nir-anyam (*non woven*), rajutan atau anyaman (*woven*) yang digunakan dalam kontak dengan tanah/batu dan material geoteknik yang lain di dalam aplikasi teknik sipil. Geotekstil umumnya tidak tahan atau mengalami degradasi apabila terkena sinar ultra violet dari matahari. Dengan berbagai macam jenis material dan cara pemrosesannya, maka diperlukan pemilihan tipe geotekstil yang tepat dalam aplikasi proyek di lapangan. Suatu hal yang sangat penting terkait dengan geotekstil adalah kuat tariknya. Tipe geotekstil tertentu menentukan tipe penggunaan tertentu yang cocok, misalnya fungsi geotekstil untuk tulangan atau pemisah, filtrasi atau drainase (Fluet, 1998).

Jika ditinjau menurut fungsinya, beberapa aplikasi geotekstil yang telah digunakan hingga saat ini adalah sebagai berikut ini.

1. Pemisah antar material yang berbeda. Pada struktur perkerasan jalan dan bandara geotekstil diletakkan di antara tanah dasar (subgrade) dan lapis pondasi agregat batuan dan diletakkan di antara lapisan aspal lama dan baru (overlay). Pada timbunan, geotekstil diletakkan pada dasar timbunan di atas tanah lunak berfungsi sebagai pemisah sekaligus sebagai perkuatan timbunan.
2. Sebagai filter. Dalam aplikasinya sebagai filter, geotekstil sering dipasang melingkari agregat batuan atau pipa pengumpul pada saluran drainase bawah tanah. Apabila geotekstil dipasang dalam timbunan dapat berfungsi sebagai penyaring agar butiran halus tidak terangkut aliran rembesan.
3. Perkuatan bangunan pada tanah lunak. Dalam fungsinya sebagai perkuatan, terutama perkuatan lereng pada timbunan terjal maupun landai, geotekstil diletakkan dibagian lereng dengan jarak tertentu sehingga terjaga kestabilannya (Hardiyatmo, 2008).

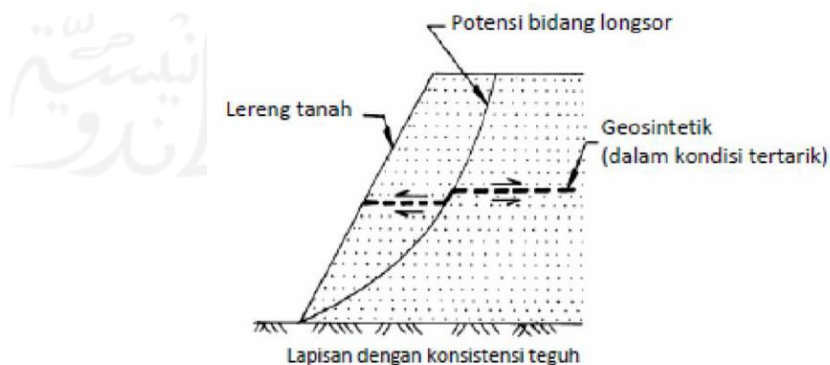
Geotekstil *Non Woven*Geotekstil *Woven*

Gambar 3. 4 Geotekstil Non Woven dan Woven

Sumber : Geotextile Nusantara (2016)

3.4.1 Mekanisme Kerja Geotekstil pada Tanah

Salah satu kegunaan geotekstil dalam rekayasa teknik sipil adalah sebagai fungsi stabilisasi tanah untuk meningkatkan sifat mekanis massa tanah, meningkatkan faktor keamanan lereng dan menstabilkan lereng dengan kemiringan curam ($< 70^\circ$). Lereng tanah yang diperkuat umumnya terdiri dari timbunan padat yang digabungkan dengan perkuatan geotekstil yang disusun ke arah horisontal. Ketika tanah dan geotekstil digabungkan, material komposit (tanah yang diperkuat) tersebut menghasilkan kekuatan tekan dan tarik tinggi sehingga dapat menahan gaya yang bekerja dan deformasi. Pada tahapan tersebut, geotekstil berlaku sebagai bagian tahanan tarik gesekan (*adhesi*), saling mengikat (*interlocking*) atau pengurungan (*confinement*) yang digabungkan ke tanah/timbunan dan menjaga stabilitas massa tanah seperti yang digambarkan pada Gambar 3.5 di bawah ini.

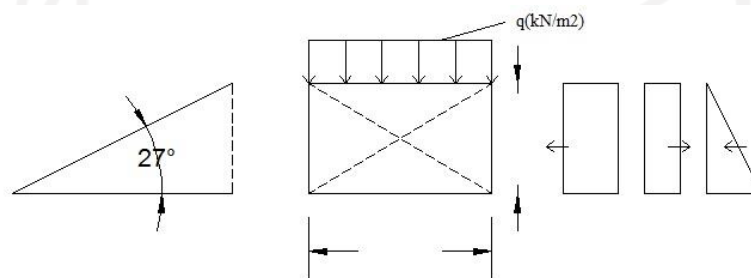


Gambar 3. 5 Dasar Mekanisme Perkuatan Lereng dengan Tanah

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

3.4.2 Perkuatan Lereng Dengan Geotekstil

Perkuatan lereng merupakan struktur perkuatan yang ditempatkan di lereng untuk menahan gaya tanah yang terjadi untuk melindungi terhadap erosi dan kelongsoran. Salah satu metode untuk perkuatan lereng yaitu dengan menggunakan geotekstil yang dibagi dalam stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Adapun diagram distribusi tekanan tanah lateral pada lereng dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral

Untuk mendapatkan jarak arah vertical antar lapis geotekstil (S_v) dapat dilakukan dengan Persamaan 3.27 sampai dengan Persamaan 3.29 berikut ini.

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \left(\frac{\varphi}{2} \right) \right) \quad (3.27)$$

$$\sigma_{hc1} = q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} + K_a \cdot H \cdot \gamma \quad (3.28)$$

$$S_{v1} = \frac{T_a}{\sigma_{hc1} \cdot SF} \quad (3.29)$$

Dengan,

K_a = koefisien tanah aktif

σ_{hc1} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m^2)

q = beban merata (kN/m^2)

SF = faktor aman

S_v = jarak tulangan arah vertical (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

c = kohesi (kN/m^2)

Ta = kuat tarik geotekstil *allowable*

1. Stabilitas Eksternal

a. Stabilitas Terhadap Geser

Faktor aman terhadap geser terdapat pada Persamaan 3.30.

$$SF = \frac{L.(q+\gamma b).tan\phi}{(q.Ka.H+Ka.H^2.\gamma b-2.c.\sqrt{Ka}.H)} \quad (3.30)$$

b. Stabilitas Terhadap Guling

Faktor aman terhadap guling terdapat pada Persamaan 3.31.

$$SF = \frac{L.(\frac{1}{2}q+\frac{1}{2}\gamma b.H)}{(\frac{1}{2}q.Ka.H^2+\frac{1}{6}Ka.H^2.\gamma b-c.\sqrt{Ka}.H^2)} \quad (3.31)$$

c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Nilai L pada stabilitas eksentrisitas terdapat pada Persamaan 3.32.

$$\frac{1}{6}L \geq \frac{(\frac{1}{2}q.Ka.H^2+\frac{1}{6}Ka.H^2.\gamma b-c.\sqrt{Ka}.H^2)}{(q.L+\gamma b.H.L)} \quad (3.32)$$

d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Daya Dukung Tanah

Faktor aman terhadap kapasitas daya dukung tanah terdapat pada Persamaan 3.33 sampai Persamaan 3.35.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{q_{ult}} \quad (3.33)$$

$$q_{ult} = c.Nc + 0,5L.\gamma b.N\gamma \quad (3.34)$$

$$\sigma_{ult} = c.Nc + q.Nq + 0,5L.\gamma b.N\gamma \quad (3.35)$$

2. Stabilitas Internal

a. Panjang Geotekstil “*Overlapping*”

Panjang geotekstil *overlapping* terdapat pada Persamaan 3.36.

$$L0 = \frac{\sigma_{hc1} \cdot S_v \cdot SF}{2 \cdot Z_i \cdot \gamma_b \cdot \tan \phi} \quad (3.36)$$

Dengan,

- $L0$ = Panjang geotekstil *overlapping* (m)
- σ_{hc1} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m^2)
- q = beban merata (kN/m^2)
- SF = faktor aman
- S_v = jarak tulangan arah vertikal (m)
- γ = berat volume tanah (kN/m^3)
- Φ = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)
- Z_i = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah (m)

3.5 Konsolidasi

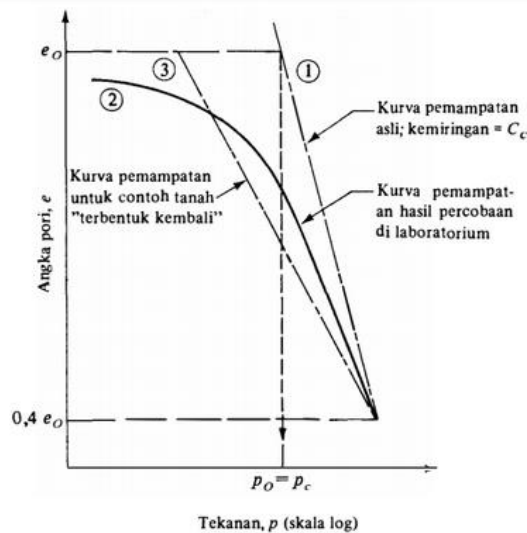
3.5.1 Pendahuluan

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

3.5.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Konsolidasi

Secara garis besar penurunan tanah bisa disebabkan oleh beberapa hal antara lain sebagai berikut (Whittaker and Reddish, 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 di atasnya 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. 7 Kurva Hubungan Antara Tekanan dan Angka Pori

(Sumber: Hardiyatmo, 2009)

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

Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung menggunakan koefisien konsolidasi C_v . 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.

3.6 Penurunan

3.6.1 Penurunan Segera

Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus kering atau tidak jenuh terjadi dengan segera sesudah beban kerja. Penurunan pada kondisi ini disebut penurunan segera (*immediate settlement*). Penurunan segera merupakan bentuk penurunan elastis. Dalam praktek, sangat sulit memperkirakan besarnya penurunan segera. Hal ini, tidak hanya karena tanah dalam kondisi alam tidak homogen dan anisotropis dengan modulus elastisitas yang

bertambah dengan kedalaman, tetapi juga akibat kesulitan dalam mengevakuasi kondisi tegangan-regangan yang terjadi di lapisan tanah. Penurunan segera banyak diperhatikan pada fondasi bangunan yang terletak pada tanah granuler atau tanah berbutir kasar. (Hardiyatmo, 2014)

3.6.2 Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak di bawah muka air tanah. Penurunan yang terjadi memerlukan waktu, yang lamanya tergantung pada kondisi lapisan tanah. Bila tanah mengalami pembebanan dan kemudian berkonsolidasi, maka penurunan tersebut berlangsung dalam 3 fase (Leonard, 1962):

Fase Awal, yaitu fase di mana penurunan terjadi dengan segera sesudah beban berkerja. Di sini, penurunan terjadi akibat proses penekanan udara keluar dari dalam pori tanah. Pada lempung jenuh, kemungkinan ini sangat kecil. Tetapi dalam lempung yang tidak jenuh, hal ini sangat besar pengaruhnya terhadap penurunan. Proporsi penurunan awal dapat diberikan dalam perubahan angka pori, dan dapat ditentukan dari kurva waktu terhadap penurunan dari uji konsolidasi

Fase konsolidasi primer, yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meniggalkan rongga pori tanah akibat adanya tambahan tekanan. Proses konsolidasi primer sangat dipengaruhi oleh sifat tanah, seperti: permeabilitas, kompresibilitas, angka pori, bentuk geometri tanah termasuk tebal lapisan mampat, pengembangan arah horizontal dari zona mampat, dan batas lapisan lolos air, di mana air keluar menuju lapisan yang lolos air ini.

Fase konsolidasi sekunder merupakan proses lanjutan dari konsolidasi primer, di mana prosesnya berjalan sangat lambat. Pada tanah-tanah anorganik penurunan konsolidasi sekunder jarang diperhitungkan, karena pengaruhnya sangat kecil. Kecuali, pada jenis tanah organik tinggi dan beberapa lempung anorganik yang sangat mudah mampat. (Hardiyatmo, 2014)

3.7 Plaxis

3.7.1 Pendahuluan

PLAXIS merupakan salah satu perangkat lunak yang berdasarkan analisis menggunakan metode elemen hingga. Pengembangan PLAXIS dimulai pada tahun 1987 di Universitas Teknik Delft (Technical University of Delft) inisiatif Departemen Tenaga Kerja dan Pengelolaan Sumber Daya Air Belanda (Dutch department of public work and water management). Pemodelan yang digunakan yaitu Mohr-Coulomb. Model Mohr-Coulomb adalah model elastis-plastis yang terdiri dari lima parameter yaitu E dan ν untuk memodelkan elastis tanah; ϕ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah dan sebagai sudut dilatasi (Brinkgreve, 2007). Model Mohr-Coulomb disarankan untuk digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi karena relatif sederhana, cepat dan saat tidak diperoleh data tanah yang memadai. Titik-titik kritis permodelan Mohr-Coulomb memiliki nilai yang berdekatan dengan titik-titik kritis tanah sebenarnya di sepanjang bidang kelongsoran. Oleh karena itu pemodelan Mohr-Coulomb sangat cocok untuk menganalisa stabilitas lereng. Kelebihan metode elemen hingga dengan metode kesimbangan batas (Griffiths dan Lane, 1999) sebagai berikut.

1. Asumsi bidang longsor tidak diperlukan. Longsoran terjadi secara natural melalui zona dalam massa tanah di mana kekuatan geser tanah tidak dapat menahan tegangan geser yang ada,
2. Tidak adanya konsep irisan (slice) pada pendekatan elemen hingga sehingga tidak perlu adanya asumsi gaya-gaya yang terjadi pada tiap irisan (slice side force). Metode elemen hingga menjaga keseimbangan global hingga kelongsoran terjadi,
3. Jika terdapat data soil compressibility, metode elemen hingga dapat memberikan informasi deformasi yang terjadi, dan
4. Metode elemen hingga dapat memantau progressive failure termasuk shear failure secara keseluruhan.

Model material yang digambarkan pada program Plaxis adalah bentuk persamaan matematika yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan. Model

material ini sering diekspresikan dalam bentuk pertambahan tegangan dan pertambahan regangan.

Pemodelan Plaxis dapat dianalisa dalam kondisi plane strain maupun axisymmetry. Plane strain digunakan untuk menganalisis struktur yang memiliki potongan melintang dengan pembebanan dan kondisi tegangan yang seragam dan perpindahan pada arah ini dianggap nol, sedangkan pemodelan axisymmetry digunakan untuk analisa struktur lingkaran yang memiliki potongan radial dan pembebanan seragam terhadap pusat, dengan deformasi dan tegangan yang besarnya dianggap sama pada arah radialnya. Untuk mendapatkan hasil analisis metode elemen hingga yang akurat diperlukan pemodelan tanah yang sesuai dengan keadaan sesungguhnya di lapangan (Hendroatmo, 2008).

3.7.2 Parameter Input Untuk Program Plaxis v.8.6

Pada tugas akhir ini model tanah yang digunakan adalah model Mohr- Coulomb, dengan parameter-parameter berupa: kohesi tanah (c), sudut geser dalam (ϕ). Seperti yang dikutip dari peneliti sebelumnya (Hendroatmo, 2008), analisis data dengan program Plaxis dilakukan dengan memasukkan data berupa parameter-parameter dasar yang meliputi:

1. Bentuk kemiringan lereng dan kondisi muka air tanah

Input data ini memberikan gambaran dari lereng yang akan dianalisis. Gambaran lereng akan ditampilkan dengan memasukkan koordinat-koordinat lereng tersebut. Data muka air tanah diinput untuk kemiringan lereng. Jika tekanan air pori sama dengan nol, maka opsi untuk kondisi permukaan air tanah diabaikan.

2. Data mesh generation

Data mesh generation merupakan informasi berupa titik noda koordinat, jumlah titik noda, dan titik tegangan yang ada untuk semua elemen yang dipakai.

3. Data Tanah

a. Berat isi tanah (γ)

Perhitungan berat tanah basah dan berat kering mengacu pada berat isi tanah pada parameter ini. Berat isi kering digunakan untuk material di atas garis phreatic, sedangkan berat isi basah digunakan untuk material yang berada dibawahnya. Untuk material nonporous paling sesuai menggunakan berat isi kering. Sebenarnya tidak ada tanah yang benar-benar kering. Tanah di atas garis phreatic bersifat jenuh karena sifat kapiler tanah, sedang diatasnya lagi sebagian jenuh.

b. Konstanta modulus Young (Eref)

Plaxis menggunakan modulus Young sebagai modulus kekakuan dalam model elastik pada model Mohr-Coulomb. Namun Plaxis juga memberikan dua alternatif modulus lainnya, yaitu modulus geser G atau modulus oedometer Eoed. Harga dari parameter kekakuan memerlukan perhatian khusus karena banyak material tanah menunjukkan sifat non linier pada kondisi pembebanan. Dari test triaxial, dapat ditentukan besarnya modulus Young E, yang didapat dari kemiringan awal grafik tegangan regangan.

c. Rasio Poisson

Pada awal pembebanan aksial dalam tes triaksial, akan dihasilkan perubahan volume yang cukup besar, sehingga harga rasio poisson yang didapat cukup kecil. Harga rasio poisson ini disebut dengan harga elastik murni (ν_0). Pada kasus dan beberapa kasus geoteknik lainnya, harga ini cukup realistis untuk digunakan. Akan tetapi, apabila menggunakan model tanah Mohr-Coulomb, disarankan untuk memakai harga rasio poisson yang lebih besar.

d. Kohesi (c)

Dimensi kohesi sama dengan dimensi tegangan. Plaxis dapat menjalankan material yang tidak memiliki kohesi misalnya seperti pasir ($c=0$) tetapi tidak akan berjalan dengan baik. Sebaiknya digunakan nilai kohesi yang kecil untuk prosedur nonlinear agar lebih efektif (gunakan $c>0$). Dalam praktek di lapangan, material yang tidak memiliki kohesi sama sekali terkadang ditemui. Kohesi yang kecil diperlukan untuk mencocokkan pengukuran kuat geser dari test triaxial

pada tingkat tegangan yang berbeda. Dalam hal ini parameter kohesi didapat dari analisa balik.

e. Sudut gesek (ϕ)

Parameter sudut geser dinyatakan dalam derajat dan merupakan pertambahan dari kuat geser dengan level tegangan. Sudut geser yang besar sering ditemukan pada pasir padat, dan cenderung menurun ketika tanah mengalami deformasi geser yang terus menerus. Sudut geser konstan pada pemodelan Mohr-Coulomb, lebih cocok menggunakan ϕ_{cv} (sudut geser kritis) dibandingkan dengan nilai yang lebih besar yang menghasilkan regangan yang kecil. Dalam hal ini parameter sudut geser didapat dari analisis balik. Penggunaan sudut geser yang besar dapat meningkatkan beban komputasi, sehingga waktu eksekusi akan meningkat secara eksponensial.

f. Sudut dilatasi (ψ)

Tanah lempung biasanya menunjukkan dilatasi yang kecil ($\psi \approx 0$). Dilatasi pada pasir tergantung pada kerapatandan sudut gesernya, selain material lapisan over consolidated, lempung dan lanau biasanya memiliki sudut dilatasi yang kecil ($\psi \approx 0$). Sudut dilatasi pada pasir tergantung kepadatan dan sudut gesernya. Untuk pasir kuarsa $\psi = \phi - 30^\circ$. Nilai negatif yang kecil untuk ψ hanya realistis untuk pasir sangat lepas.

3.7.3 Analisis Stabilitas lereng dengan Plaxis v.8.6

Dari data-data yang ada kemudian diolah dengan memasukkan data-data dari 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 perkuatan menggunakan 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 γ_d , γ_b , 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 8.6* didapatkan 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.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan metode atau proses yang dapat dipilih secara khusus untuk memecahkan berbagai masalah yang dapat diangkat dalam suatu penelitian. Sedangkan menurut Muhammad Nasir memahami metode penelitian merupakan sebuah metode yang paling penting yakni dimana para peneliti dapat mencapai tujuan dan dapat menemukan jawaban sebagai masalah yang akan diajukan.

Penelitian yang dilakukan pada lereng di Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750, adalah menganalisis stabilitas lereng dengan dan tanpa beban gempa menggunakan program Plaxis versi 8.6 serta mencari angka aman antara lereng asli. Dari analisis tersebut, hasil yang di dapat nanti diharapkan dapat mengatasi permasalahan yang terjadi pada lereng Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750 dan menjadi acuan dalam perencanaan di lapangan yang memiliki tipikal kemiringan lereng Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750

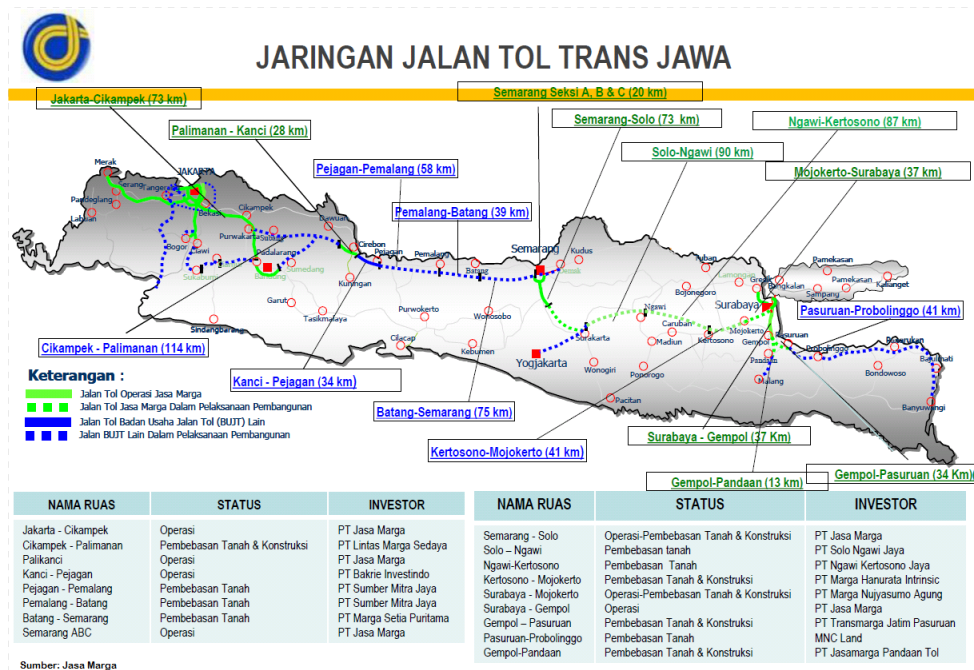
4.2 Data Penelitian

Data penelitian yang akan dianalisis pada tugas akhir ini adalah data sekunder sebagai berikut.

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

4.3 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750. Untuk peta lokasi Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta.132+750 dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Peta Jalan Tol Trans Jawa, Ngawi - Kertosono
(Sumber : Jasa Marga, 2015)

4.4 Tahapan Penelitian

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

1. Tahap pengumpulan data, dimana tahap ini meliputi tahap pengambilan data tanah dan data lereng (data uji lapangan dan laboratorium) yang dibutuhkan untuk keperluan analisis.
2. Tahap pemodelan desain potongan badan jalan sesuai dengan gambar rencana pada gambar potongan melintang badan jalan.
3. Tahap pengolahan data *software* dan analisis, pada tahapan ini data yang telah didapatkan kemudian akan diolah dan di *input* kedalam *software plaxis* sesuai dimensi gambar rencana. Variasi pemodelan dilakukan dalam kondisi drained dan undrained, kondisi drained dengan geotekstil, kondisi undrained dengan geotekstil dan menghitung besar penurunan yang terjadi.

4. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan, tahap ini akan dilakukan penulisan kedalam laporan yang kemudian akan dihasilkan solusi dari masalah-masalah yang timbul dan diambil kesimpulan berdasarkan teori yang ada.

4.3.1 Pengumpulan Data

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

1. Data Tanah

Tanah yang ada di konstruksi terdapat beberapa lapisan dan setiap lapisan berbeda jenis tanah.

2. Data Beban Lalu Lintas

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

3. Data Gempa

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

4. Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan jenis geotekstil yang digunakan pada proyek terkait.

4.3.2 Desain Badan Jalan

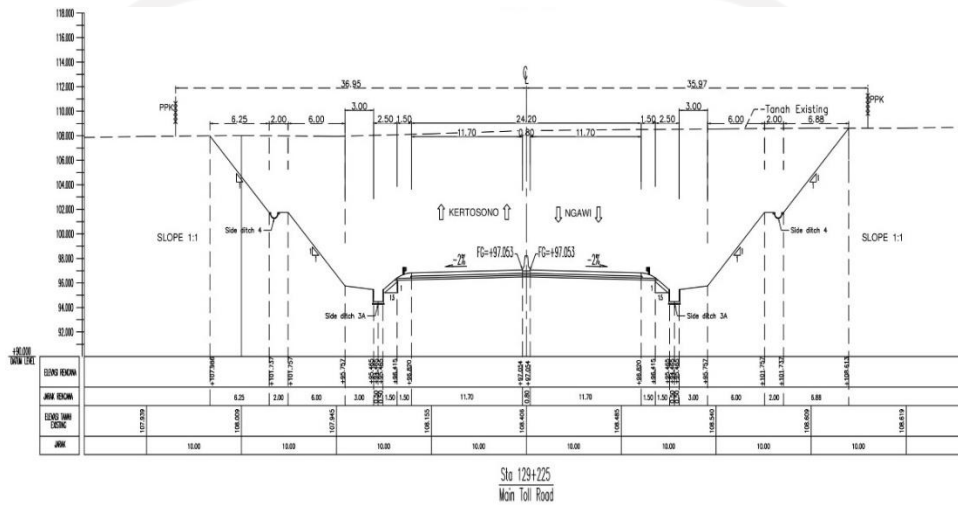
Desain potongan galian pada badan jalan sesuai dengan gambar rencana. Variasi pada lereng asli sudut 46 dan pada desain lereng geometri baru sudut 61

4.5 Analisis Data

Metode analisis data adalah suatu cara yang digunakan untuk memudahkan dalam mengolah data yang diperoleh kemudian dianalisis berdasarkan tahap pengerjaannya. Data yang diperoleh dapat dilihat sebagai berikut.

4.5.1 Data Potongan Melintang Jalan dan Struktur Galian Lereng

Hasil Penyelidikan tanah didapatkan hasil parameter tanah dan gambar struktur galian lereng yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4. 2 Kondisi Lereng di Sta. 132+750
(Sumber : PT. Ngawi Kertosono Jaya, 2015)

Berikut adalah data parameter tanah lereng galian pada Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750.

Tabel 4. 1 Parameter Tanah Sta. 132+750

Nama	Medium Stiff Clay	Stiff Clay	Very Stiff Clay	Hard Clay	Medium Dense Sand	Satuan
Model	MC	MC	MC	MC	MC	-
Jenis	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	-
γ_{unsat}	17	17	17	17,5	18,5	kN/m^3
γ_{sat}	17,8	17,8	17,8	18,5	19,5	kN/m^3
E	4500	8700	22800	24000	30000	kN/m^3
ν	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-
c	6	12	22	28	1	kN/m^3
ϕ	23	27	29	30	30	$^\circ$
K_x	0,0000001	0,0000001	0,0000001	0,0000001	0,01	m/hari
K_y	0,0000001	0,0000001	0,0000001	0,0000001	0,01	m/hari
ψ	0	0	0	0	0	$^\circ$

(Sumber: PT Eskapindo, 2016)

4.5.2 Data Beban

Beban-beban yang bekerja pada lereng tersebut adalah beban perkerasan, beban lalu lintas dan beban gempa. Data-data yang tertera pada data beban sebagai berikut.

1. Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Jalan Tol Ngawi-Kertosono mempunyai beban perkerasan sebesar 10 kN/m^2 dari data sekunder, sedangkan beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 sesuai fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2 Beban Lalu Lintas

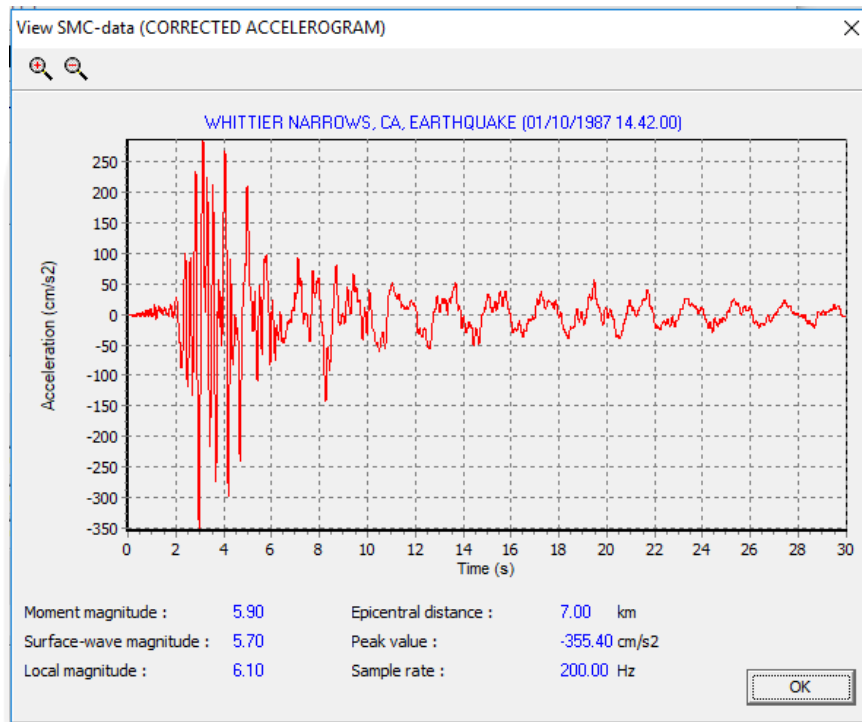
Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m^2)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	>10.000	15
		<10.000	12
Sekunder	Arteri	>20.000	15
		<20.000	12
	Kolektor	>6.000	12
		<6.000	10
	Lokal	>500	10
		<500	10

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

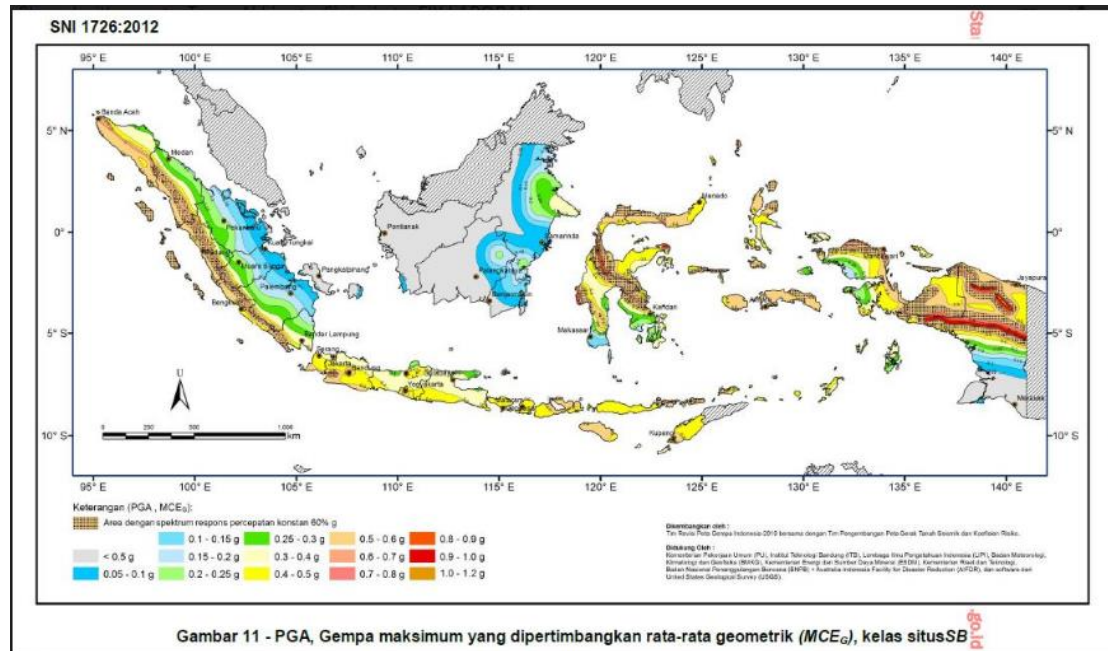
2. Data Gempa

Wilayah Kabupaten Ngawi memiliki percepatan puncak gempa (PGA) sebesar 0,3-0,4g seperti yang tertera pada Gambar 5.4. Data gempa yang sesuai dengan nilai tersebut adalah data kawasan *Gempa Whittier Narrows, California* pada tahun 1987 yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,35g. Waktu interval yang dimasukkan dalam Plaxis diambil sebesar 4,2 detik dengan asumsi telah melewati

percepatan puncak. Grafik respon spektrum dan gambar peta zonasi gempa dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Antara Percepatan dan Waktu
(Sumber : Data Gempa Whittier Narrows California, 1987)



Gambar 4. 4 Peta Zonasi Gempa Indonesia
(Sumber : SNI 1726:2012)

4.5.3 Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan geotekstil jenis *woven* atau geotekstil teranyam. Data parameter geotekstil dari PT. Teknindo Geosistem Unggul dapat dilihat pada Lampiran 3. Adapun data geotekstil dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4. 3 Data Parameter Geotekstil *Woven*

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

(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul, 2015)

4.6 Analisis Data dengan *Software Plaxis 8.6*

Metode tahapan dengan analisis menggunakan *software plaxis* untuk tanah yang diberikan beban lalu lintas dan beban gempa dengan variasi tanah kondisi drained dengan dan tanpa geotekstil, kondisi tanah undrained dengan dan tanpa geotekstil. Langkah-langkah analisis menggunakan *software plaxis* adalah sebagai berikut.

1. Input

- a. Modelkan geometri tanah,
- b. memberikan kondisi batas (boundary condition),
- c. membentuk mesh lapisan tanah dan timbunan,
- d. menentukan kondisi tanah air tanah,
- e. menentukan konfigurasi awal dari mesh,
- f. menghitung tegangan-tegangan awal, dan
- g. menspesifikasi titik yang ditinjau.

2. proses (*calculation* pada *software PLAXIS*)

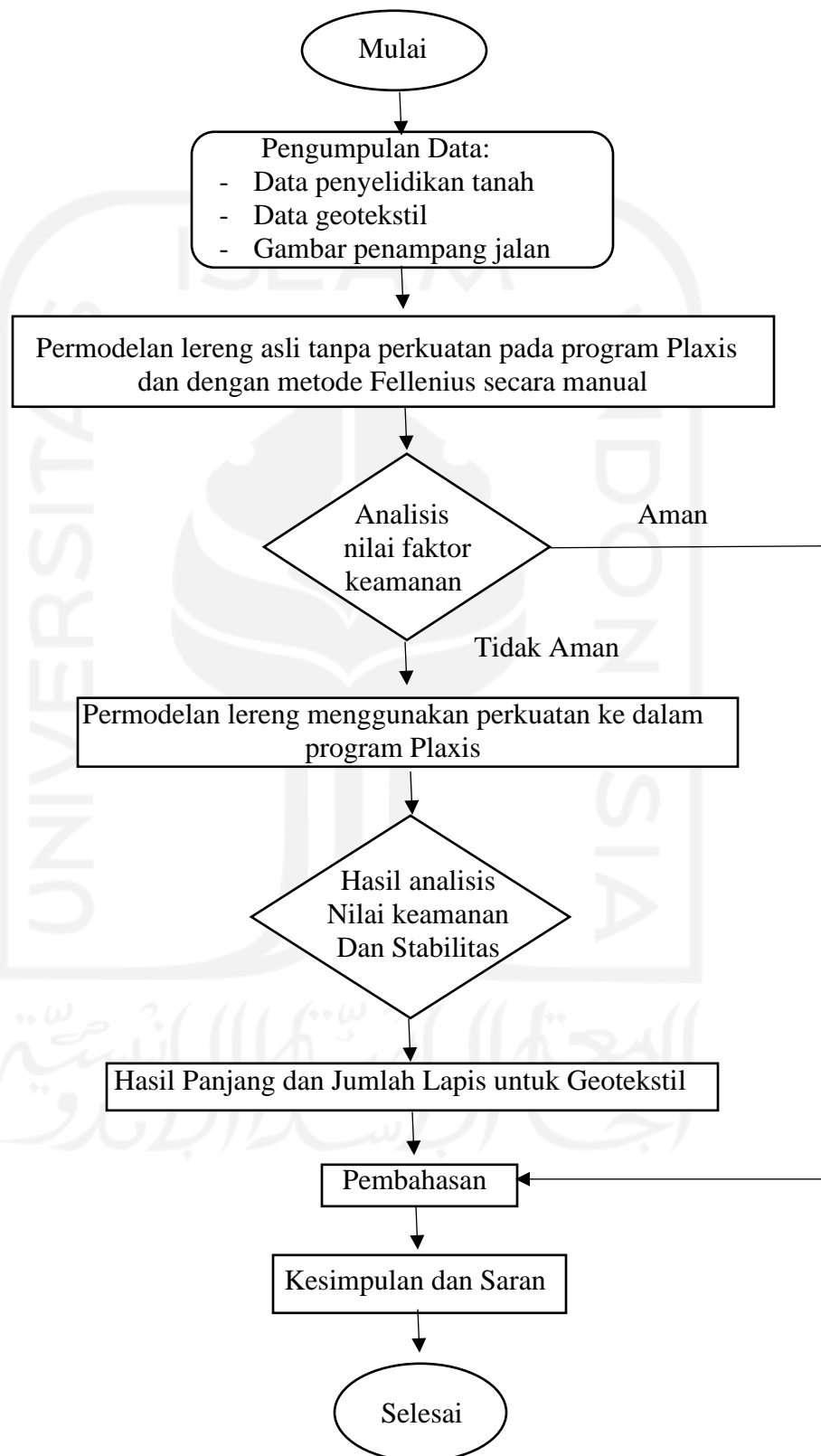
3. output

- a. Besar angka aman (safety factor) pada tanah asli
- b. besar displacement lereng dengan dan tanpa perkuatan,
- c. besarnya penurunan (konsolidasi) yang akan terjadi dengan lama 365 hari.

4.7 Bagan Alir

Bagan alir (*flow chart*) menunjukkan Langkah-langkah yang ditempuh dalam proses penelitian. Dengan adanya bagan alir akan membantu kita melakukan evaluasi prosedur yang ada apakah sudah optimal atau sebaliknya untuk dapat melakukan improvement atau perbaikan. Jalannya penelitian dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada bagan alir pada Gambar 4.5 dibawah ini.





BAB V

DATA, ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Penelitian

Pembangunan jalan Tol Ngawi – Kertosono 132+750 dilaksanakan di atas tanah lunak yaitu berupa tanah lempung yang tergenang oleh air. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah dari PT. Lap I ITB menunjukkan bahwa tanah sebagai tumpuan dasar jalan melewati daerah persawahan/pertanian. Disamping itu, secara geoteknik, tanah yang ada di daerah tersebut adalah jenis tanah berbutir halus pada bagian atas dan pada lapisan bawah berupa tanah pasir. Untuk mengetahui seberapa besar gaya yang kemungkinan terjadi pada lereng tersebut serta mengetahui nilai angka aman suatu lereng dan bagaimana kemampuan lereng tersebut dilakukan permodelan menggunakan software *plaxis* 8.6.

Pada penelitian ini memerlukan data yang akan digunakan untuk melakukan analisis stabilitas lereng pada lereng jalan dengan menggunakan program *Plaxis*. Adapun data yang digunakan adalah data sekunder dari laporan proyek jalan Tol Ngawi – Kertosono Sta. 132+750. Adapun data-data yang digunakan sebagai berikut:

5.1.1 Data Potongan Melintang Jalan

Hasil penyelidikan tanah yang dilakukan PT. Ngawi Kertosono Jaya didapatkan hasil potongan melintang jalan dapat dilihat pada pada Gambar 4.2

5.1.2 Data Parameter Tanah

Data parameter untuk kebutuhan analisis dapat dilihat pada Tabel 4.1

5.1.3 Data Beban

Beban-beban yang bekerja pada lereng tersebut adalah beban kendaraan dan beban gempa. Data Beban yang digunakan untuk analisis adalah sebagai berikut ini.

1. Data Beban Kendaraan

Jalan tol Ngawi – Kertosono mempunyai beban perkerasan sebesar 10 kN/m^2 dari data sekunder, sedangkan beban lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 sesuai fungsi jalan dan sistem jaringan jalan dapat dilihat pada Tabel 4.2

2. Data Beban Gempa

Wilayah Kabupaten Ngawi memiliki percepatan puncak gempa (PGA) sebesar 0,3-0,4g seperti yang tertera pada Gambar 5.2. Data gempa yang sesuai dengan nilai tersebut adalah data kawasan *Gempa Whittier Narrows, California* pada tahun 1987 yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,35g. Waktu interval yang dimasukkan dalam Plaxis diambil sebesar 4,2 detik dengan asumsi telah melewati percepatan puncak. Grafik respon spektrum dan gambar peta zonasi gempa dapat dilihat pada pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.

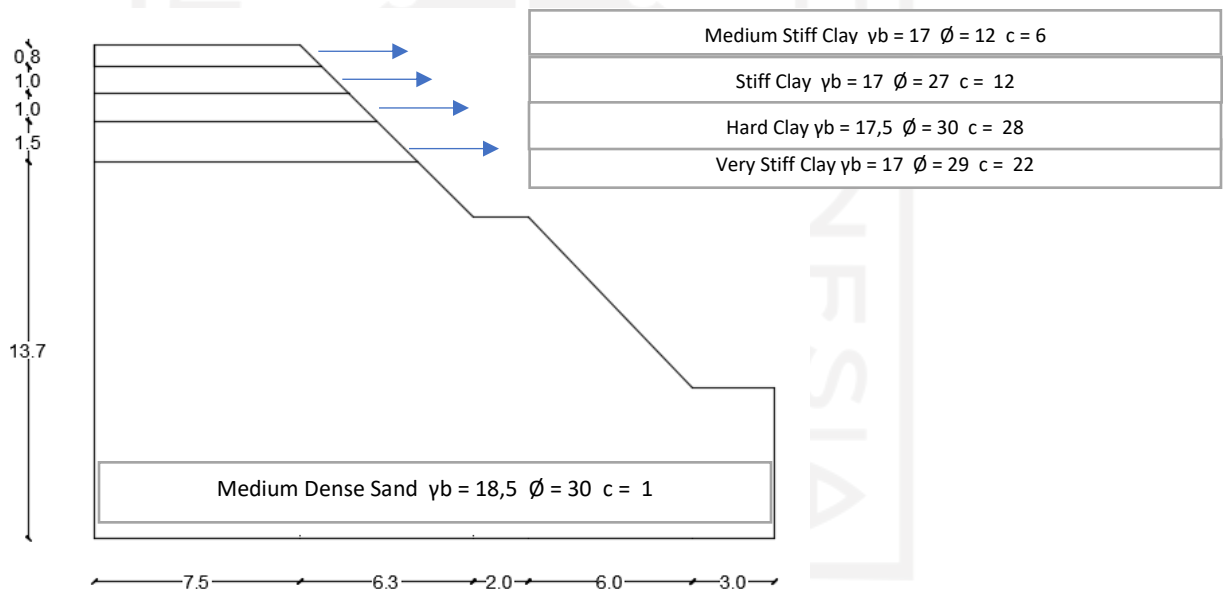
5.1.4 Data geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan geotekstil jenis *woven* atau geotekstil teranyam. Data parameter geotekstil dari PT. Teknindo Geotekstin Unggul dapat dilihat pada lampiran 3. Adapun data geotekstil dapat dilihat pada Tabel 4.2.

5.2 Lereng Asli Tanpa Perkuatan Sudut 46

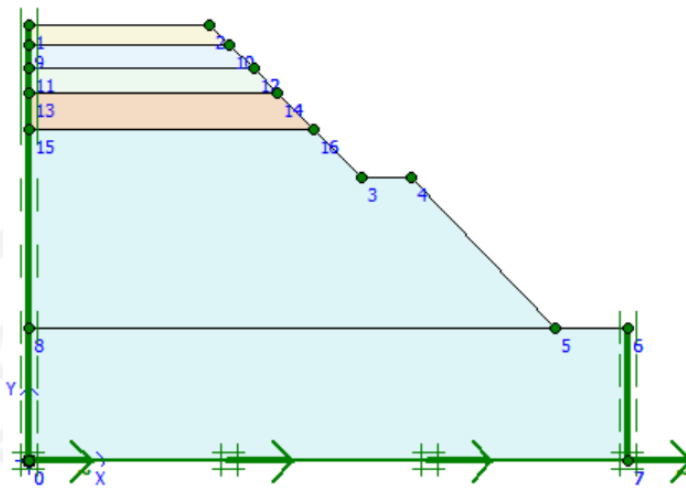
5.2.1 Analisis Menggunakan PLAXIS 8.6

Analisis stabilitas lereng akan dilakukan pada galian lereng asli dengan tinggi sebesar 12.5 m dan dibuat berjenjang pada ketinggian 6,2 m. Beban yang diperhitungkan dalam analisis stabilitas lereng menggunakan program *Plaxis* adalah beban lereng itu sendiri, dan beban gempa. Adapun percepatan gempa sebesar 0,35 g dengan interval waktu 4.2 detik dengan anggapan telah melewati percepatan puncak. Berikut merupakan gambar penampang galian lereng asli dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 1 Penampang Lereng Asli Sudut 46

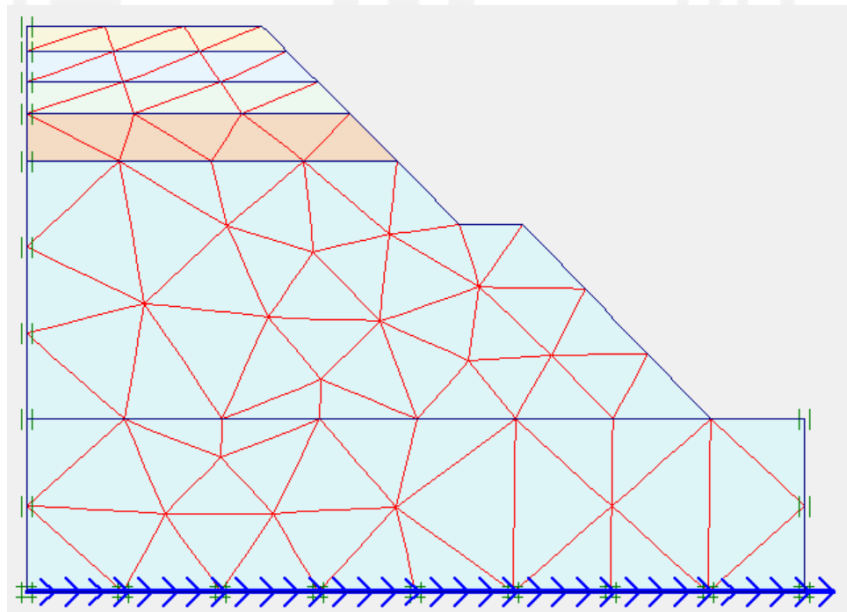
Untuk permodelan galian lereng asli sudut 46 dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5.2 Permodelan Lereng Asli sudut 46

Setelah permodelan dibuat maka diperlukan input parameter pada permodelan, yang meliputi parameter tanah yang terdapat pada tabel 5.1.

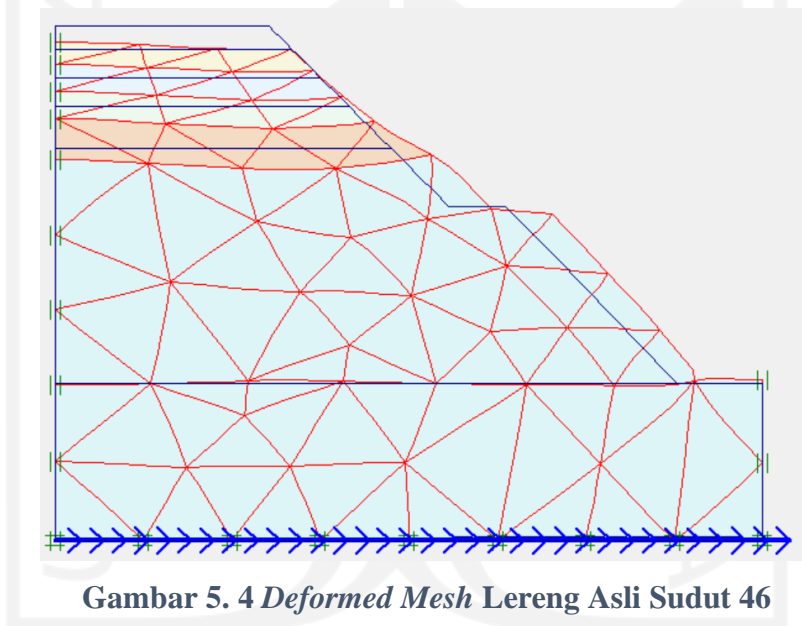
Setelah melakukan input parameter maka dilanjutkan dengan penyusunan jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng. Hasil jaringan elemen hingga pada lereng asli sudut 46 dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.



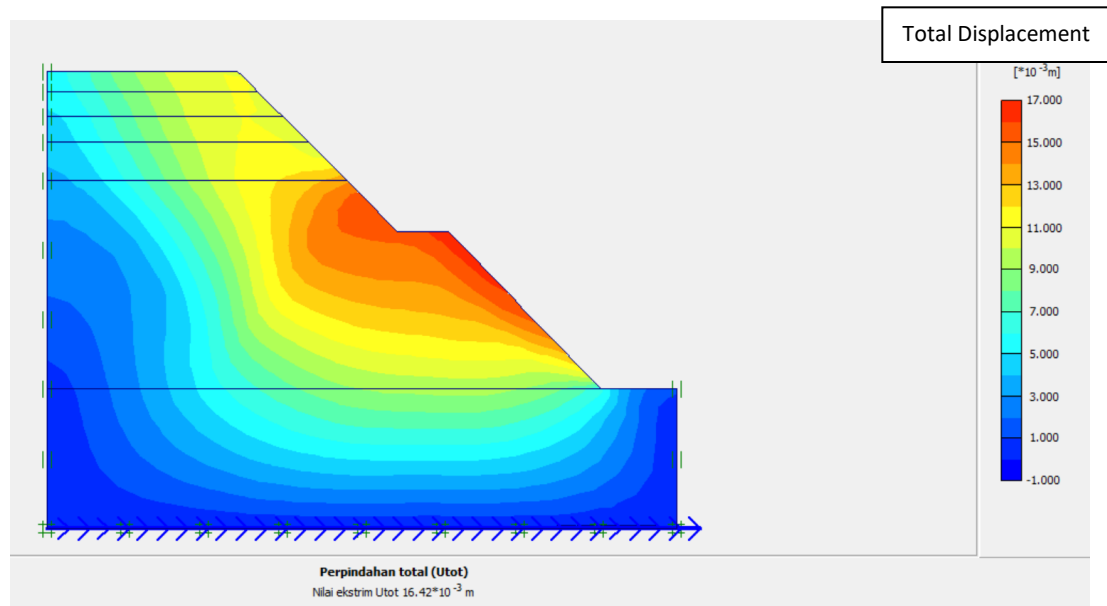
Gambar 5.3 Meshing Lereng Asli sudut 46

Pada awal (*initial condition*) ditetapkan nilai massa jenis air sebesar 10 kN/m^3 serta ketinggian muka air tanah. Tahap analisis perhitungan (*calculation*) dilakukan lima tahap. Tahap pertama yaitu analisis konsolidasi yang terjadi, tahap kedua yaitu analisis akibat beban struktur pada badan lereng, tahap yang ketiga yaitu analisis angka aman (SF) akibat beban struktur. Tahap keempat yaitu analisis akibat beban gempa dan tahap kelima yaitu analisis angka aman (SF) akibat beban gempa.

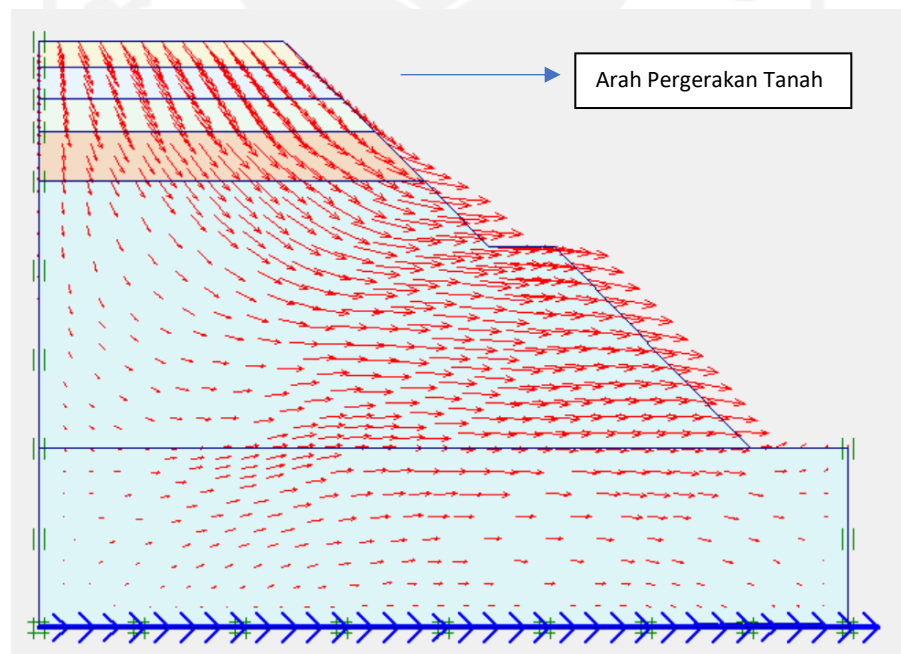
Berikut adalah gambar *deformed mesh* untuk lereng asli sudut 46 terdapat pada gambar 5.7.



Selanjutnya ditampilkan *total displacement* dan arah pergerakan tanah dari lereng asli sudut 46 yang terdapat pada gambar 5.8 dan 5.9 berikut ini.



Gambar 5. 5 Total Displacement Lereng Asli Sudut 46

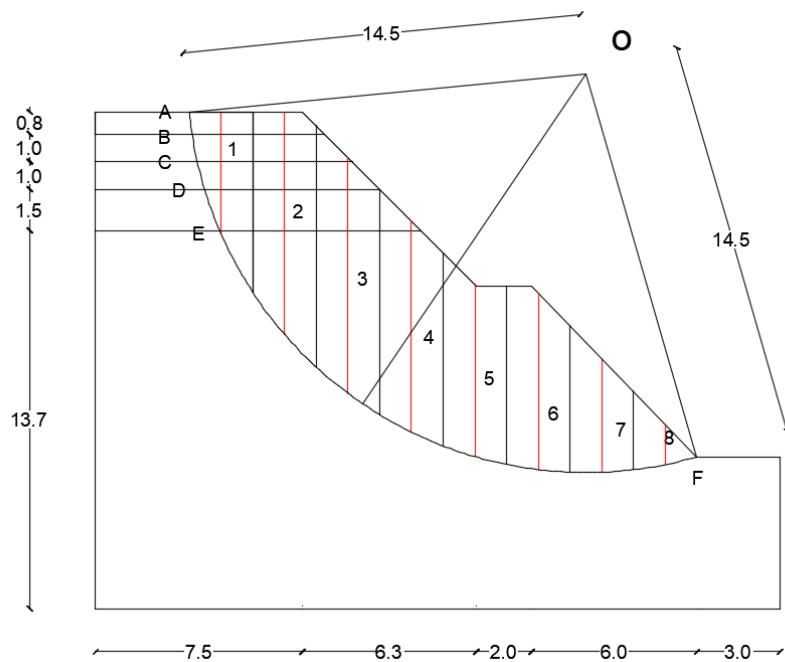


Gambar 5. 6 Arah Pergerakan Tanah Lereng Asli Sudut 46

Namun untuk permodelan galian lereng asli mengalami *collapse* saat melakukan perhitungan beban struktur dengan program *Plaxis* maka dilakukan

perhitungan manual dengan menggunakan metode irisan (*fellenius*) karena program *plaxis* tidak dapat menunjukkan nilai SF saat terjadi *collapse*.

Adapun gambar gaya-gaya yang bekerja pada irisan lereng asli sudut 46 terdapat pada gambar 5.10 serta contoh perhitungannya berikut ini.



Gambar 5. 7 Gaya - gaya yang Bekerja pada Irisan Lereng Asli Sudut 46

Bidang longsor dibagi menjadi 8 irisan. Panjang total dari bidang longsor (arah horizontal) = 18.4 m, maka tiap irisan mempunyai lebar $18.4/8 = 2.3$ m

Langkah-langkah perhitungan stabilitas badan jalan tanpa perkuatan menggunakan metode *Fellenius* secara perhitungan manual adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan berat irisan tanah

$$W_i = \gamma \times A_i$$

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

Contoh pada irisan 1:

$$\begin{aligned}
 W1 &= \gamma \times A1 = (17 \times 1.8031) + (17 \times 2.1116) + (17 \times 1.8852) + (17,5 \times 2.2341) + \\
 &\quad (18,5 \times 1.4383) \\
 &= 164.3036 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

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

Contoh pada irisan 1:

$$30.6527 \times 0.9135 = 28.00263 \text{ KN}$$

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

Contoh pada irisan 1:

$$30.6527 \times 0.4067 = 12.4675 \text{ KN}$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5. 1 Hasil Perhitungan Metode *Fellenius*

pias no	Hi	A	α	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	wi	wi.cos α	wi.sin α	wcos α *tanphi
1	0.8	1.8031	66	0.913545	0.406737	30.6527	12.46758	28.00263	2.650065151
	1	2.1116	66	0.913545	0.406737	35.8972	14.60071	32.79372	7.439431605
	1	1.8852	66	0.913545	0.406737	32.0484	13.03526	29.27767	7.52591008
	1.5	2.2341	66	0.913545	0.406737	39.09675	15.90208	35.71666	8.814667352
	0.1	1.4383	66	0.913545	0.406737	26.60855	10.82267	24.30812	3.939130574
2	0.8	1.715	49	0.75471	0.656059	29.155	19.1274	22.00356	4.065654588
	1	2.3	49	0.75471	0.656059	39.1	25.65191	29.50914	13.07029997
	1	2.3	49	0.75471	0.656059	39.1	25.65191	29.50914	14.81013601
	1.5	3.45	49	0.75471	0.656059	60.375	39.60956	45.56559	21.95593978
	3.8	8.5251	49	0.75471	0.656059	157.7144	103.4699	119.0285	37.65997223
3	0.15	0.045	37	0.601815	0.798636	0.765	0.610956	0.460388	0.129862742
	0.2	0.8	37	0.601815	0.798636	13.6	10.86144	8.184684	5.534181594
	1	1.8	37	0.601815	0.798636	30.6	24.43825	18.41554	14.10942826
	1.5	3.45	37	0.601815	0.798636	60.375	48.21762	36.33458	26.72746261
	5.9022	13.5067	37	0.601815	0.798636	249.874	199.5582	150.3779	72.63324826
4	0.35	1.125	26	0.438371	0.898794	19.6875	17.69501	8.630432	9.808502982
	7.3036	16.4299	26	0.438371	0.898794	303.9532	273.1913	133.2443	99.43349475
5	6.2419	14.9217	16	0.275637	0.961262	276.0515	265.3577	76.09009	96.58229877
6	6.4043	14.2755	7	0.121869	0.992546	264.0968	262.1282	32.1853	95.40686705
7	4.1217	9.4448	-2	-0.0349	0.999391	174.7288	174.6224	-6.09795	63.55734125
8	1.47	3.3437	-11	-0.19081	0.981627	61.85845	60.72194	-11.8031	22.10097729
		106.9047						841.7369	627.9548729

Dengan memperhatikan jari-jari dan sudut yang diapit, panjang garis AB = 0.8063 m, BC = 1.018 m, CD = 1.0345 m, DE = 1.5971 m, dan EF = 20.9252 m

Tahanan terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen kohesi :

$$\Sigma C_{iai} = (6 \times 0.8063) + (12 \times 1.018) + (22 \times 1.0345) + (48 \times 1.5971) + (1 \times 20.9252) = 137.3988 \text{ KN}$$

$$\text{Faktor aman} = \frac{137.3988 + 627.954}{841.7369 + 106.9047} = 0.9675$$

Nilai angka aman yang didapat pada analisis menggunakan metode *fellenius* pada galian lereng asli sebesar 0,9675, sehingga terjadi keruntuhan.

5.3 Lereng Asli Sudut 46 Dengan Perkuatan

Berdasarkan hasil analisis lereng galian asli tanpa perkuatan, didapatkan angka aman yang berada di bawah angka aman yang ditetapkan yaitu sebesar 1,25. Nilai angka aman yang dihasilkan yaitu sebesar 0,9524, maka lereng tersebut termasuk dalam kondisi lereng labil.

Solusi mengatasi hal tersebut yaitu diperlukan suatu upaya atau tindakan guna menciptakan konstruksi yang aman dari kelongsoran. Pada penelitian ini akan mengganti tanah lempung bagian atas dan pasir pada bagian bawah dengan menggunakan tanah timbunan dengan tinggi sebesar 12,5 meter, serta akan ditambahkan perkuatan pada lereng dengan menggunakan lapis geotekstil. Jenis geotekstil yang digunakan adalah geotekstil woven tipe UW-250 yang merupakan produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul. Dalam tugas akhir ini, data tanah timbunan yang digunakan adalah tanah timbunan dari Tugas Akhir Fuanda Noordharma Ma'ruf (2019). Untuk parameter tanah timbunan yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini.

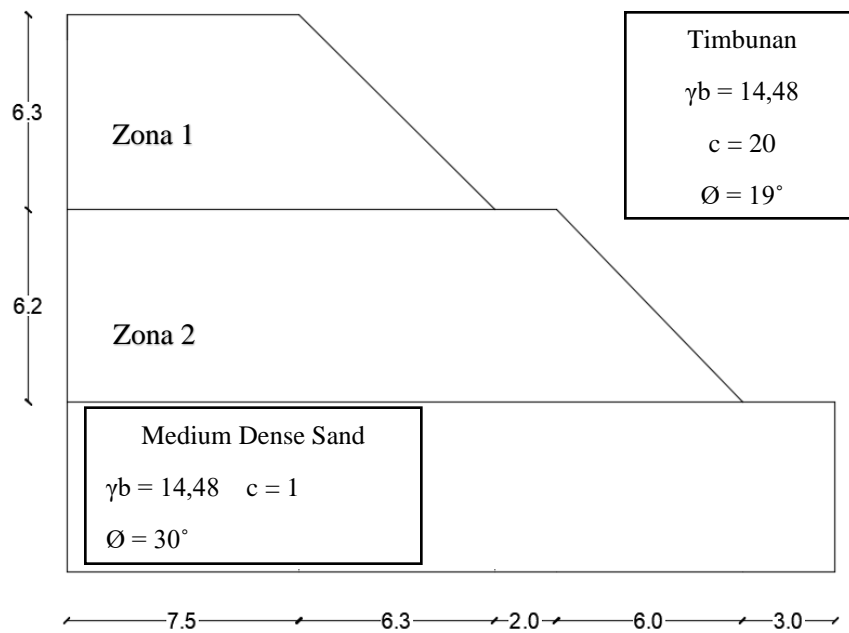
Tabel 5. 2 Parameter Tanah Timbunan

NAMA	TIMBUNAN REBACKFILL
<i>Model</i>	MC
<i>Jenis</i>	<i>DRAINED</i>
γ_{unsat}	14.48
γ_{sat}	17.8
K_x	$1 \cdot 10^{-3}$
K_y	$1 \cdot 10^{-3}$
<i>Eref</i>	3400
<i>V</i>	0,3
Kohesi (C)	20
Sudut geser (ϕ)	5
Sudut dilatasi (Ψ)	

(Sumber: PT. LAPIITB, 2016)

5.3.1 Kebutuhan Geotekstil

Dalam perhitungan geotekstil yang digunakan untuk perkuatan pada lereng ini dilakukan dengan membagi menjadi 2 zona. Terdapat pekerjaan berm selebar 2 meter pada ketinggian 6,2 meter. Adanya pekerjaan *berm* diantara jenjang lereng ini bertujuan untuk memberi ruang agar peralatan-peralatan yang digunakan saat pekerjaan perkuatan lereng dapat bekerja di sekitar lereng. Pekerjaan *berm* pada lereng juga dapat meningkatkan gaya-gaya yang menahan kelongsoran, mengurangi gaya-gaya yang mendorong pada lereng, dan dapat meningkatkan angka aman lereng dari kelongsoran. Untuk pembagian zona pada lereng dengan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut ini.



Gambar 5. 8 Pembagian Zona pada Lereng Dengan Perkuatan

Adapun perhitungan perancangan geotekstil untuk lereng dengan perkuatan adalah sebagai berikut ini.

1. Tanah Timbunan

- a. Berat Volume tanah (γ) = 14,48 kN/m³
- b. Kohesi (c) = 22 kN/m³
- c. Sudut Gesek Dalam = 19°
- d. Kemiringan lereng = 46°

2. Geotekstil

- a. Jenis Geotekstil = Geotekstil *woven* UW-250
- b. Kuat Tarik = 52 kN/m

2. Beban Merata = 1 kN/m²

4. Koefisien Kapasitas Dukung Tanah

Nilai koefisien kapasitas dukung tanah yang dihasilkan pada sudut geser dalam timbunan sebesar 19° adalah N_c sebesar 13,93 dan N_q sebesar 5,80 seperti Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5. 3 Koefisien Daya Dukung Tanah

ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ
7	7,16	1,88	0,71	26	22,25	11,85	12,54
8	7,53	2,06	0,86	27	23,94	13,2	14,47
9	7,92	2,25	1,03	28	25,80	14,72	16,72
10	8,85	2,47	1,22	29	27,86	16,44	19,34
11	8,80	2,71	1,44	30	30,14	18,40	22,40
12	9,28	2,97	1,69	31	32,67	20,63	25,90
13	9,81	3,26	1,97	32	35,49	23,18	30,22
14	10,37	3,59	2,29	33	38,64	26,09	35,19
15	10,98	3,94	2,65	34	42,16	29,44	41,06
16	11,63	4,34	3,06	35	46,12	33,30	48,03
17	12,34	4,77	3,53	36	50,59	37,75	56,31
18	13,10	5,26	4,07	37	55,63	42,92	66,19
19	13,93	5,80	4,68	38	61,35	48,93	78,03
20	14,83	6,40	5,39	39	67,87	55,96	92,25
21	15,82	7,07	6,20	40	75,31	64,20	109,41
22	16,88	7,82	7,13	41	83,86	73,90	130,22
23	18,05	8,66	8,20	42	93,71	85,38	155,55

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

5.3.2 Stabilitas Eksternal

1. Menentukan jarak Vertikal Antar Geotekstil (S_v)

Digunakan angka aman (SF) = 1,5

$$\begin{aligned}
 K_a &= \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{\phi}{2}\right)\right) \\
 &= \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{19}{2}\right)\right) \\
 &= 0,509
 \end{aligned}$$

a. Zona 1

Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (S_v)

$$\begin{aligned}\sigma_{hc1} &= q \cdot Ka - 2 \cdot c \cdot \sqrt{Ka} + Ka \cdot H1 \cdot \gamma b \\ &= 1,0,509 - 2,22 \cdot \sqrt{0,509} + 0,509 \cdot 6,3 \cdot 14,48 \\ &= 15,551\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}Sv_1 &= \frac{Ta}{\sigma_{hc1} \cdot SF} \\ &= \frac{52}{15,551 \cdot 1,5} \\ &= 2,229 \text{ m (dipakai minimal 2 m)}\end{aligned}$$

Dilapangan dipasang $Sv = 2 \text{ m}$ (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = $6,3/2 = 3,150 = 3$ Lapis

b. Zona 2

Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (Sv)

$$\begin{aligned}\sigma_{hc2} &= -2 \cdot c \cdot \sqrt{Ka} + Ka \cdot H2 \cdot \gamma b \\ &= -2,22 \cdot \sqrt{0,509} + 0,509 \cdot 12,5 \cdot 14,48 \\ &= 60,738\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}Sv_2 &= \frac{Ta}{\sigma_{hc2} \cdot SF} \\ &= \frac{52}{60,738 \cdot 1,5} \\ &= 0,571 \text{ m (dipakai minimal 0,5 m)}\end{aligned}$$

Dilapangan dipasang $Sv = 0,5 \text{ m}$ (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = $6,2/0,5 = 12,4 = 12$ Lapis

2. Menentukan Panjang Geotekstil

a. Stabilitas terhadap guling

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

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

$$\Sigma MR = \left(\frac{1}{2} \times q \times L^2\right) + \left(\frac{1}{2} \times \gamma b \times H \times L^2\right)$$

$$SF = \frac{\left(\frac{1}{2} \times 1 \times L^2\right) + \left(\frac{1}{2} \times 14,48 \times 12,5 \times L^2\right)}{\left(1 \times 0,509 \times \frac{1}{2} \times 12,5^2\right) + \left(\frac{1}{2} \times 0,509 \times 14,48 \times 12,5^2 \times \frac{1}{3} \times 12,5\right) - \left(2 \times 22 \times \sqrt{0,509} \times \frac{1}{2} \times 12,5^2\right)}$$

$$SF = \frac{91 L^2}{-13,5}$$

$$L^2 = \frac{-13,5 \times 1,5}{91} = -0,223$$

$$L = 0,472 \text{ m}$$

b. Stabilitas terhadap geser

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

Tahanan geser dasar perkuatan ($\delta = 2/3 \times 19^\circ = 12,67$)

$$SF = \frac{(1 \times \tan 12,67 \times L) + (12,5 \times 14,48 \times \tan 12,67 \times L)}{(1 \times 0,509 \times 12,5) + (0,5 \times 0,509 \times 14,48 \times 12,5^2) - (2 \times 22 \times \sqrt{0,509} \times 12,5)}$$

$$SF = \frac{40,915 L}{189,775}$$

$$L = 6,957 = 7 \text{ m}$$

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

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

$$e = \frac{\Sigma MD}{Rv} = \frac{(q \times Ka \times \frac{1}{2} \times H^2) + \left(\frac{1}{2} \times Ka \times \gamma b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H\right) - (2 \times c \times \sqrt{Ka} \times \frac{1}{2} \times H^2)}{(H \times \gamma b \times L) + (q \times L)}$$

$$\frac{L}{6} \geq \frac{-13,5}{182 \times L}$$

$$182 L^2 = -81$$

$$L = 0,667 \text{ m}$$

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

$$Nc = 12,93$$

$$N\gamma = 4,68$$

$$\begin{aligned} qult &= c.Nc + 0,5L.\gamma b.N\gamma \\ &= 22.12,93 + 0,5.L.14,48.4,68 \\ &= 306,46 + 33,883L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} qult &= qult.SF \\ &= (306,46 + 33,883 L). 1,5 \\ &= 459,69 + 50,825 L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &\leq \frac{qult}{H.\gamma b + q} \\ &\leq \frac{459,69 + 50,825L}{12,5.14,48 + 1} \\ &= 2,805 \text{ m} = 3 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari keempat jenis parameter stabilitas lereng diatas, digunakan panjang geotekstil yang maksimum 7 m.

5.3.3 Stabilitas Internal

1. Panjang overlapping geotekstil

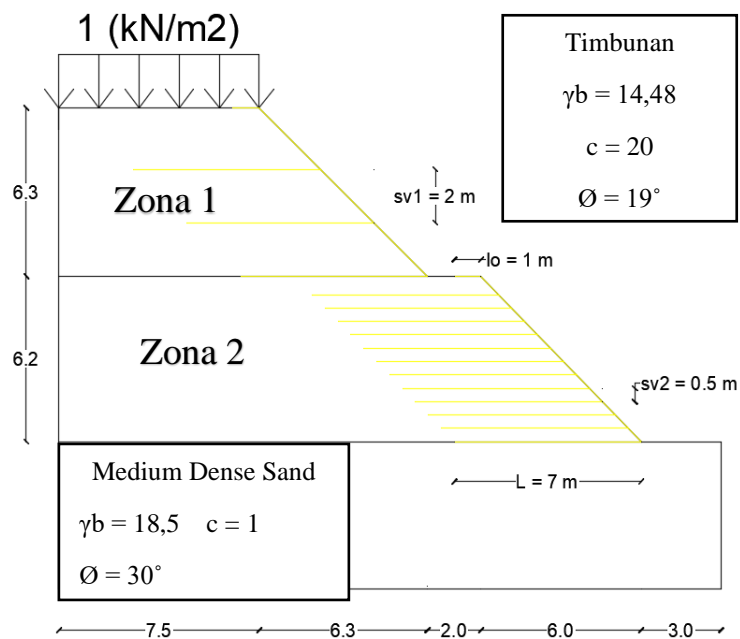
$$\begin{aligned} Lo &= \frac{\sigma_{hc}.Svi.SF}{2.Zi.\gamma b.tan\varphi} \\ &= \frac{60,738.0,5.1,5}{2.18.14,48.tan19} \\ &= 0,25 \text{ m (dipakai minimal 1 m)} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan stabilitas internal selengkapnya untuk geotekstil yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Internal Untuk Geotekstil Lereng Dengan Perkuatan

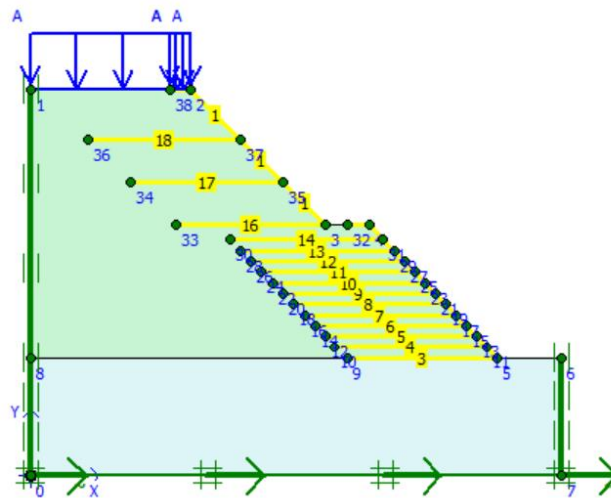
No	Svi (m)	Zi (m)	Lo (m)	Lo Pakai
geotekstil no.15	2	18	0.259918	1
geotekstil no.14	2	16	0.292408	1
geotekstil no.13	2	12	0.389877	1
geotekstil no.12	0.5	11.5	0.39724	1
geotekstil no.11	0.5	11	0.415297	1
geotekstil no.10	0.5	10.5	0.435073	1
geotekstil no.9	0.5	10	0.456827	1
geotekstil no.8	0.5	9.5	0.48087	1
geotekstil no.7	0.5	9	0.507585	1
geotekstil no.6	0.5	8.5	0.537443	1
geotekstil no.5	0.5	8	0.571033	1
geotekstil no.4	0.5	7.5	0.609102	1
geotekstil no.3	0.5	7	0.652609	1
geotekstil no.2	0.5	6.5	0.70281	1
geotekstil no.1	0.5	6	0.761378	1

Setelah dilakukan analisis perhitungan di atas, digunakan geotekstil untuk zona 1 sebanyak 3 lapis dengan panjang sebesar 7 meter, dan jarak antar geotekstil sebesar 2 meter. Untuk zona 2 digunakan geotekstil sebanyak 12 lapis dengan panjang sebesar 7 meter dan jarak antar geotekstil sebesar 0,5 meter. Adapun hasil pemasangan geotekstil pada lereng dengan perkuatan yang telah menggunakan geotekstil sesuai dengan kebutuhan yang telah diperhitungkan dapat dilihat pada Gambar 5. 12 berikut ini.



Gambar 5.9 Hasil Pemasangan Geotekstil pada Lereng dengan Perkuatan

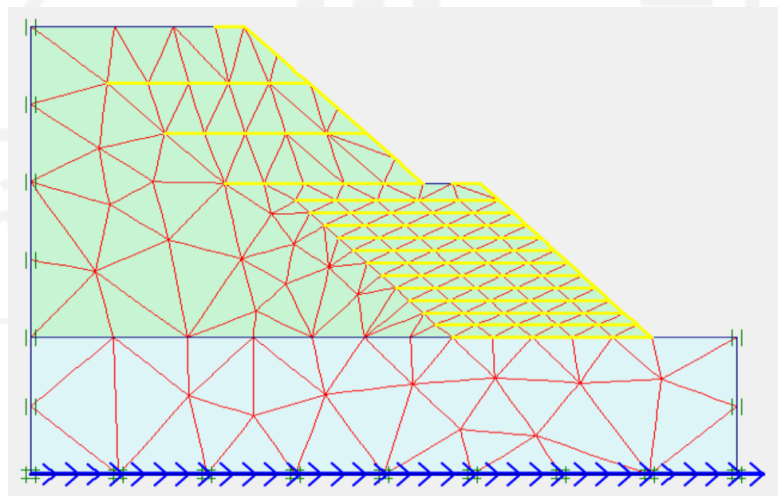
Lalu akan dilakukan permodelan perkuatan lereng menggunakan geotekstil dengan beban pejalan kaki dan beban gempa statis dalam program *Plaxis 8.6*. Adapun permodelan penampang perkuatan lereng menggunakan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut ini.



Gambar 5. 10 Permodelan Lereng Asli Sudut 46 dengan Perkuatan

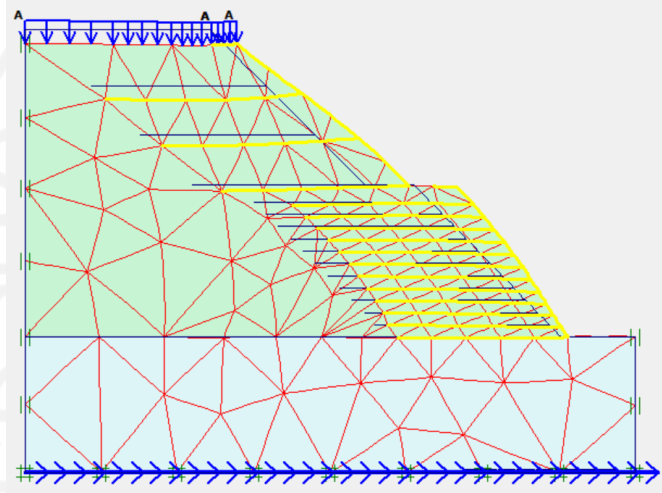
Setelah permodelan dibuat maka diperlukan input parameter tanah pada permodelan. Data parameter tanah yang dipakai pada analisis lereng dengan perkuatan memakai parameter yang terdapat pada Tabel 5.4.

Setelah melakukan input parameter maka dilanjutkan dengan penyusunan jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng. Hasil jaringan elemen hingga pada lereng dengan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut ini.

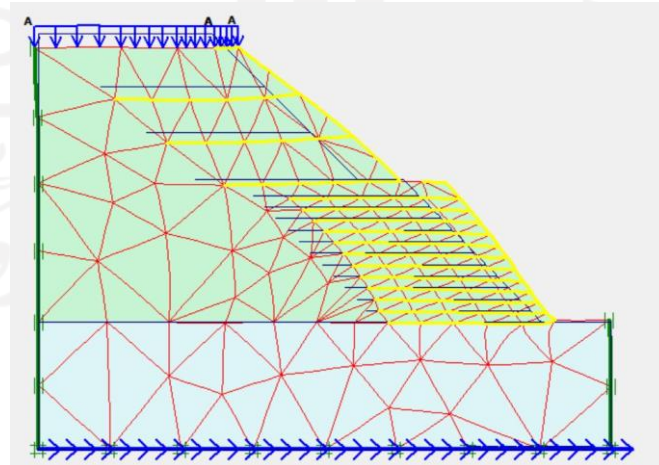


Gambar 5. 11 Meshing Lereng Asli Sudut 46 dengan Perkuatan

Setelah dilakukan *meshing* selanjutnya memulai perhitungan dengan menggunakan program *Plaxis* yang akan menghasilkan *deformed mesh*, *total displacement*, arah pergerakan *displacement*, potensi kelongsoran serta kurva SF dan kurva Konsolidasi. Adapun hasil *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 berikut ini.

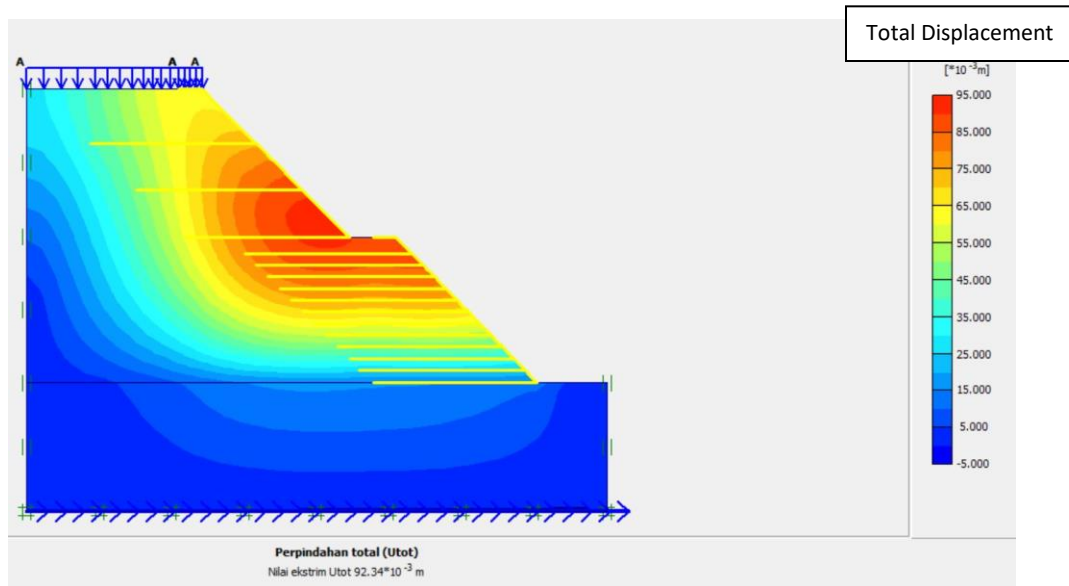


Gambar 5. 12 Deformed Mesh Lereng Asli Sudut 46 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur

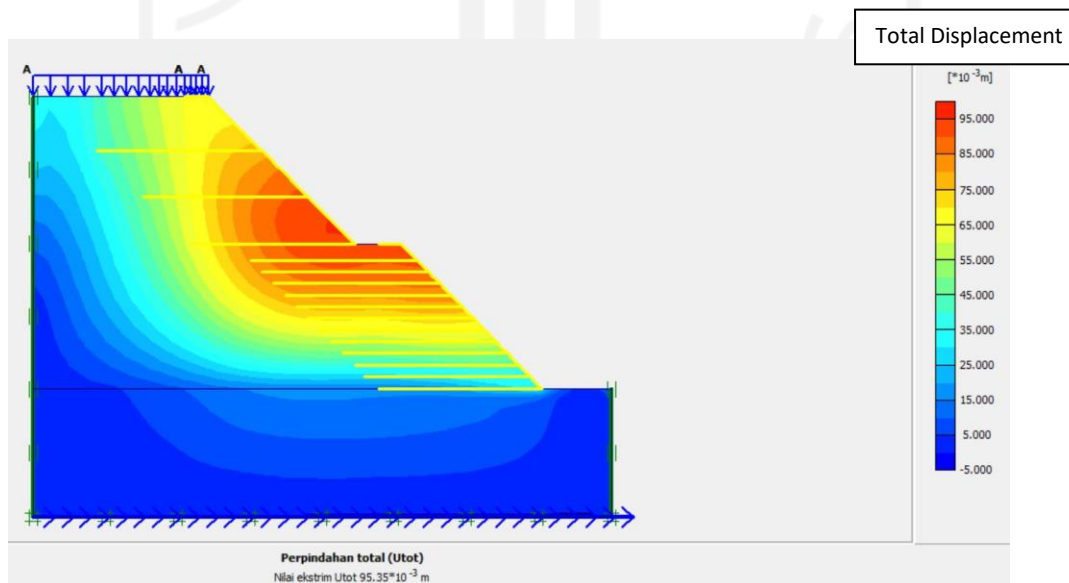


Gambar 5. 13 Deformed Mesh Lereng Asli Sudut 46 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa

Besarnya nilai *total displacement* pada lereng dapat dilihat pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 berikut ini.

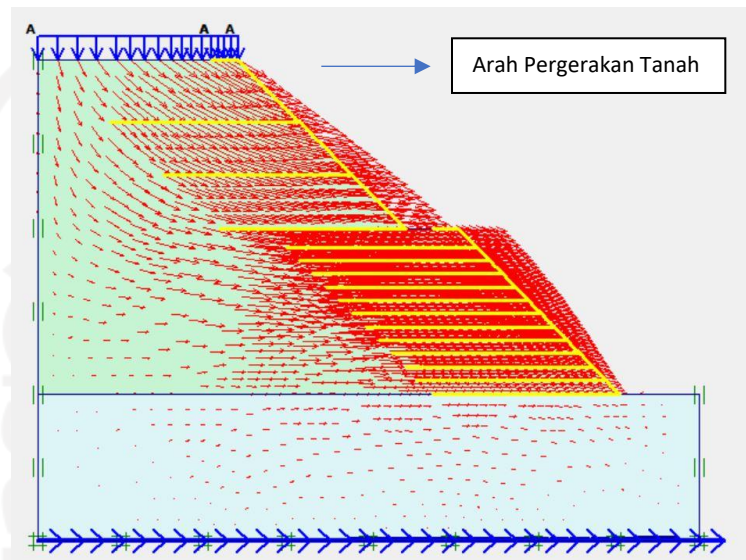


Gambar 5. 14 *Total Displacement* Lereng Asli Sudut 46 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur

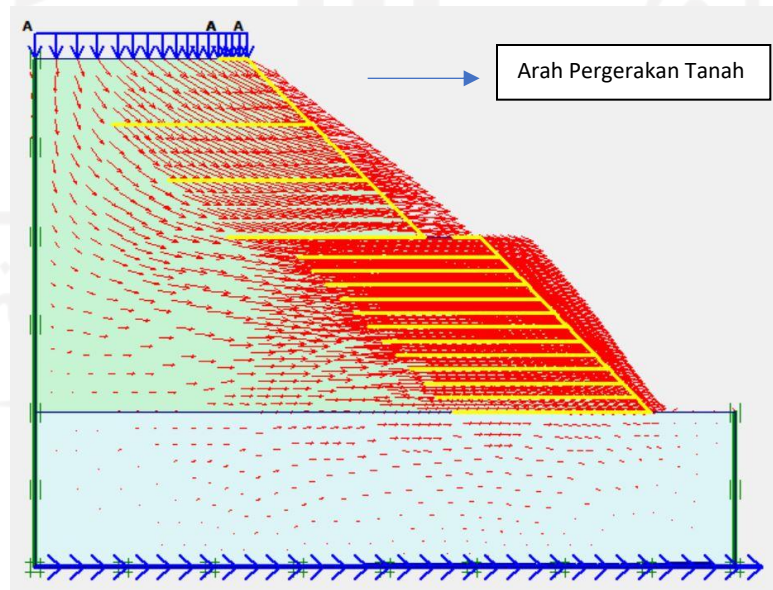


Gambar 5. 15 *Total Displacement* Lereng Asli Sudut 46 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa

Arah pergerakan tanah akibat beban struktur dan beban gempa pada lereng dengan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan 5.20 berikut ini.

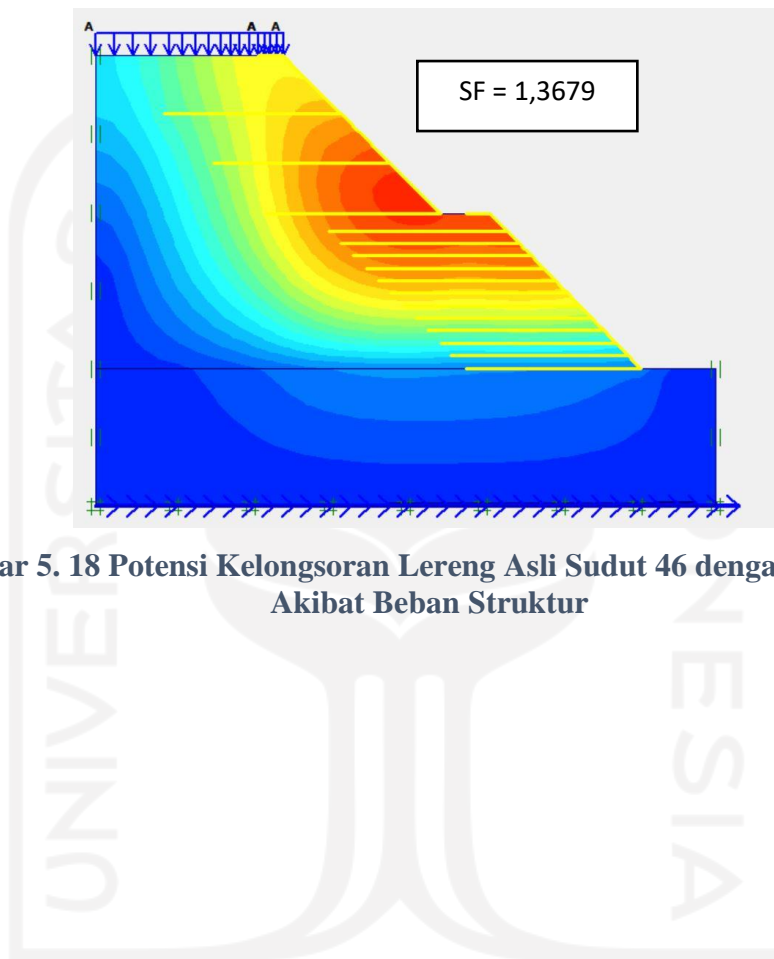


Gambar 5. 16 Arah Pergerakan Tanah pada Lereng Asli Sudut 46 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur



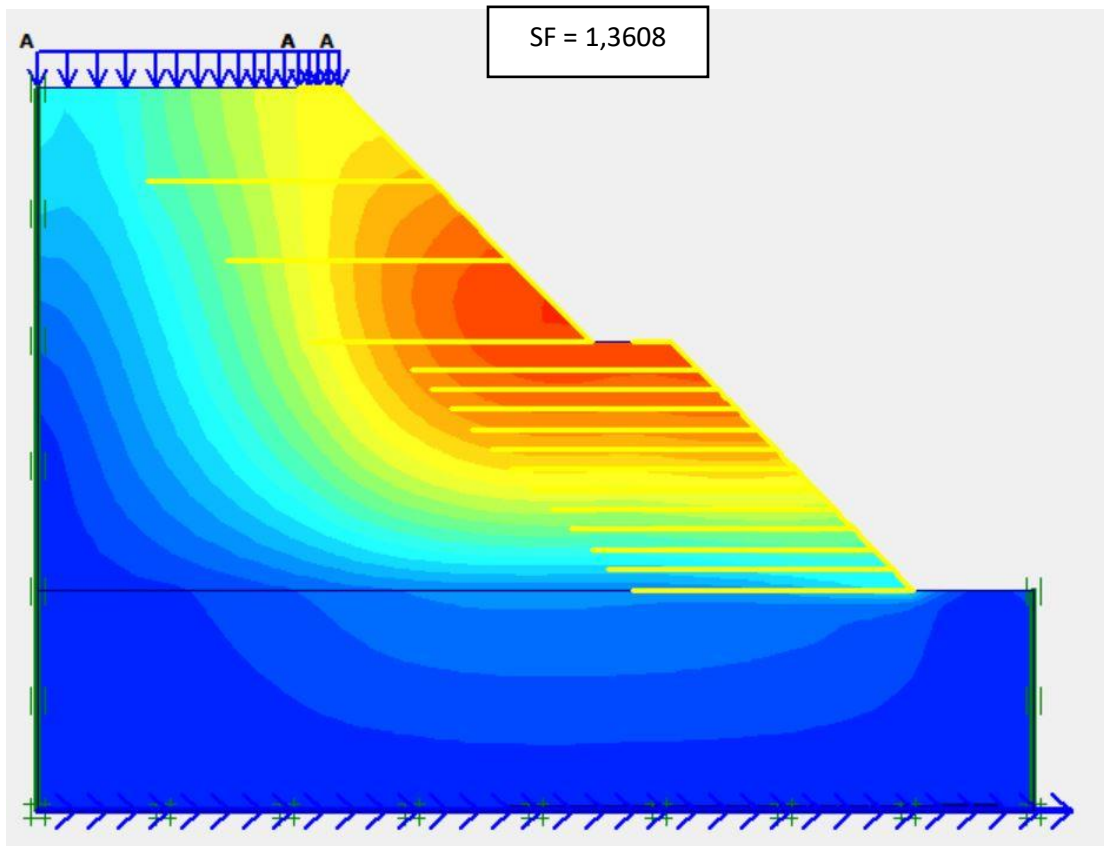
Gambar 5. 17 Arah Pergerakan Tanah pada Lereng Asli Sudut 46 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa

Potensi kelongsoran tanah akibat beban struktur dan akibat beban gempa pada lereng dengan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 berikut ini.



Gambar 5. 18 Potensi Kelongsoran Lereng Asli Sudut 46 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur

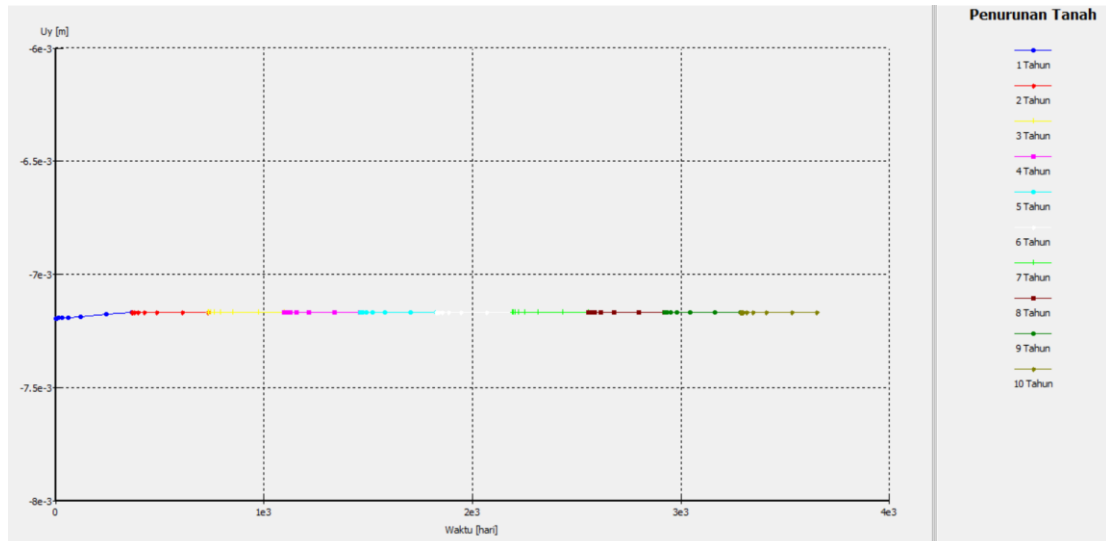
UNIVERSITAS INDONESIA
UNIVERSITY OF INDONESIA
الجامعة الإسلامية
الإسلامية



Gambar 5. 19 Potensi Kelongsoran Lereng Asli Sudut 46 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa

Selanjutnya ditampilkan gambar kurva Konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 5.59 berikut ini.

الجامعة الإسلامية
الاستدراك والتدريس



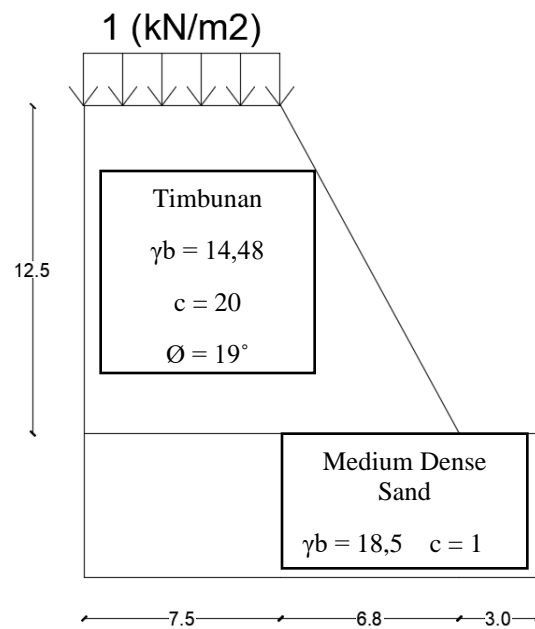
Gambar 5. 20 Kurva Time VS Vertical Displacement Lereng Dengan Perkuatan

5.4 Lereng Dengan Geometri Baru Sudut 61

Dalam analisis ini, pada lereng akan dibuat geometri baru dengan menggali tanah lempung bagian atas dan sebagian tanah pasir bagian bawah serta mengganti tanah asli dengan tanah timbunan, selain mengganti tanah, lereng juga didesain dengan geometri baru. Desain ini bertujuan untuk memanfaatkan lahan diatas lereng dan alternatif untuk mendirikan bangunan diatas lereng. Dalam tugas akhir ini, data tanah timbunan yang digunakan adalah tanah timbunan dari Tugas Akhir Fuanda Noordarma Ma'ruf (2019) yang terdapat pada Tabel 5.5

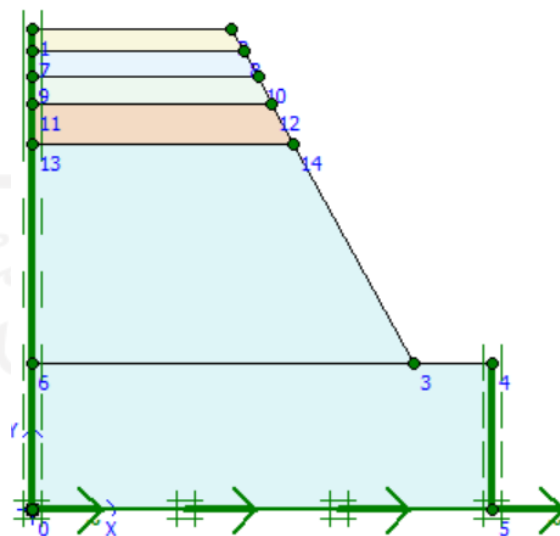
5.4.1 Lereng Dengan Geometri Baru Sudut 61 Tanpa Perkuatan

Permodelan lereng geometri baru menggunakan galian tanah dasar asli, dan tanah timbunan. Permodelan menggunakan beban gempa statik. Tinggi lereng sebesar 12,5 m dengan kemiringan lereng 61° serta terdapat beban merata pejalan kaki 1 kN/m^2 . Untuk gambar penampang desain geometri baru menggunakan tanah timbunan dapat dilihat pada gambar 5.24 berikut ini.



Gambar 5. 21 Penampang Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61

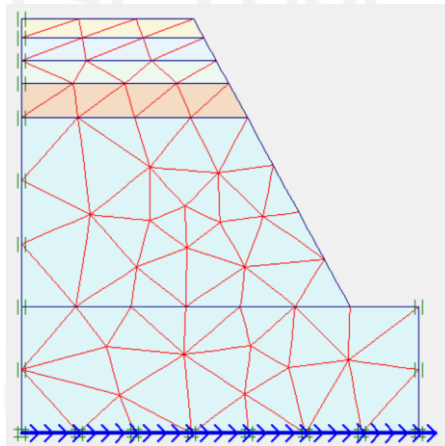
Untuk permodelan desain lereng geometri baru sudut 61 dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut ini.



Gambar 5. 22 Permodelan Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61

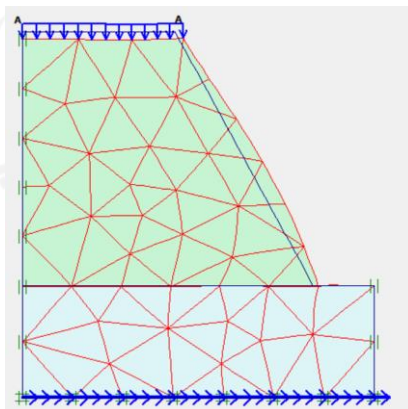
Setelah permodelan dibuat maka diperlukan input parameter pada permodelan, yang meliputi parameter tanah yang terdapat pada Tabel 5.4

Setelah melakukan input parameter maka dilanjutkan dengan penyusunan jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng. Hasil jaringan elemen hingga pada desain lereng geometri baru sudut 61 dilihat pada Gambar 5.26 berikut ini.



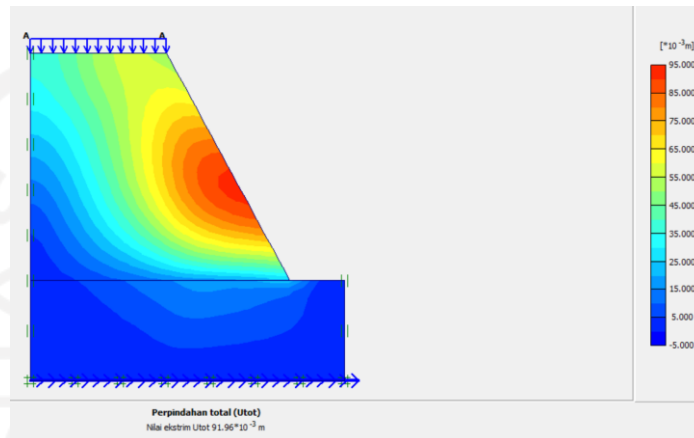
Gambar 5. 23 Meshing Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61

Setelah dilakukan *meshing* selanjutnya memulai perhitungan dengan menggunakan program *Plaxis* yang akan menghasilkan *deformed mesh*, *total displacement*, arah pergerakan *displacement*. Adapun hasil *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.27

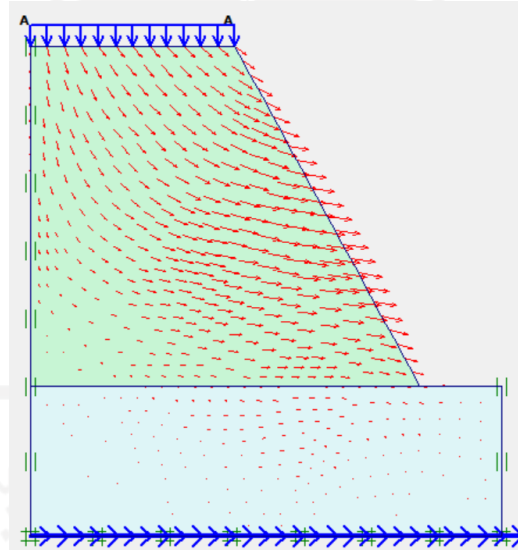


Gambar 5. 24 Deformed Mesh Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61

Selanjutnya ditampilkan *total displacement* dan arah pergerakan tanah dari galian tanah asli yang terdapat pada Gambar 5. 28 dan Gambar 5.29 berikut ini.



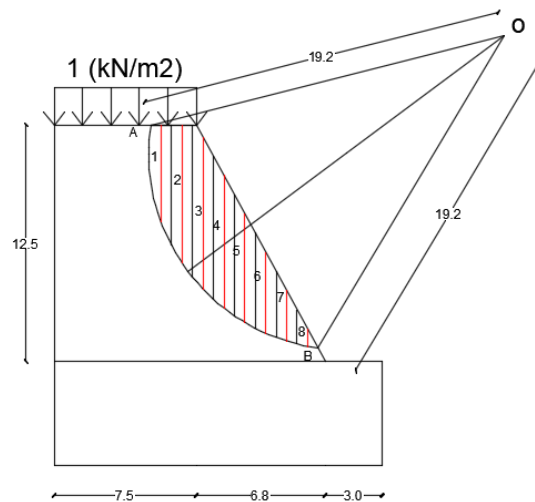
Gambar 5. 25 Total Displacement Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61



Gambar 5. 26 Arah Pergerakan Tanah Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61

Namun untuk permodelan geometri baru mengalami *collapse* saat melakukan perhitungan beban struktur dengan program *Plaxis* maka dilakukan perhitungan manual dengan menggunakan metode irisan (*fellenius*) karena program *plaxis* tidak dapat menunjukkan nilai SF saat terjadi *collapse*

Adapun gambar gaya-gaya yang bekerja pada irisan galian lereng asli terdapat pada gambar 5.30 serta contoh perhitungannya berikut ini.



Gambar 5. 27 Gaya - gaya yang Bekerja Pada Irisan Lereng Geometri Baru Sudut 61

Bidang longsor dibagi menjadi 8 irisan. Panjang total dari bidang longsor (arah horizontal) = 8.8192 meter, maka tiap irisan akan mempunyai lebar $8.8192/8 = 1.1024$ meter. Langkah-langkah perhitungan stabilitas badan jalan tanpa perkuatan menggunakan metode *Fellenius* secara perhitungan manual adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan berat irisan tanah

$$W_i = \gamma \times A_i$$

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

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

Dimana q merupakan besarnya beban jalan (kN/m²) dan L merupakan lebar irisan yang terkena beban (m).

Di bawah ini merupakan perhitungan berat irisan untuk Lereng dengan geometri baru

Contoh pada irisan 1:

$$W_1 = \gamma \times A_1 = (14,48 \times 5.7263) + (1 \times 1.1024) = 84.019 \text{ kN}$$

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

Contoh pada irisan 1:

$$84.019 \times 0,8746 = 73.4849 \text{ KN}$$

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

Contoh pada irisan 1:

$$84.019 \times 0.4848 = 40.7333 \text{ KN}$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5. 5 Hasil Perhitungan Metode Irisan

pias no	Hi	A	α	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	wi	wi.cos α	wi.sin α
1	5.135	5.7263	61	0.87462	0.48481	84.01922	40.73333	73.48487
2	7.2855	7.9998	55	0.819152	0.573576	116.9395	67.07374	95.79123
3	8.009	8.7776	50	0.766044	0.642788	127.2948	81.82355	97.51351
4	6.9882	7.6927	46	0.71934	0.694658	111.3903	77.3782	80.12747
5	5.7217	6.288	42	0.669131	0.743145	91.05024	67.66351	60.9245
6	4.2685	4.6986	39	0.62932	0.777146	68.03573	52.87369	42.81627
7	2.6611	2.9274	35	0.573576	0.819152	42.38875	34.72283	24.31319
8	0.9184	1.0067	32	0.529919	0.848048	14.57702	12.36201	7.724642
							434.6309	482.6957

Karena bidang longsor hanya terjadi pada satu jenis tanah, maka rumus yang dipakai adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{(C \times L) + (\tan \emptyset \times \sum W \times \cos \alpha)}{\sum W \sin \alpha} \\
 &= \frac{(20 \times 16.3626) + (\tan 19 \times 434.6309)}{482.6957} \\
 &= 0,9541
 \end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan lereng jalan tanpa perkuatan dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual, dimana tidak memperhitungkan pengaruh beban gempa yaitu sebesar 0,9541

5.5 Analisis Lereng Geometri Baru Sudut 61 Dengan Perkuatan

Berdasarkan hasil analisis lereng geometri baru tanpa perkuatan, didapatkan angka aman yang berada di bawah angka aman yang ditetapkan yaitu sebesar 1,25. Nilai angka aman yang dihasilkan yaitu sebesar 0.9541 untuk kondisi yang telah diberikan semua beban antara lain beban gempa dan beban struktur, maka lereng tersebut termasuk dalam kondisi lereng labil.

Solusi mengatasi hal tersebut yaitu diperlukan suatu upaya atau tindakan guna menciptakan konstruksi yang aman dari kelongsoran. Pada penelitian ini ditambahkan perkuatan pada perencanaan lereng dengan menggunakan lapis geotekstil, khususnya pada tanah timbunan. Jenis geotekstil yang digunakan adalah geotekstil *woven* tipe UW-250 yang merupakan PT. Teknindo Geosistem Unggul.

5.5.1 Kebutuhan Geotekstil

Perencanaan perkuatan lereng menggunakan geotekstil dilakukan dengan perhitungan menggunakan stabilitas eksternal dan stabilitas internal lereng.

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

1. Tanah Timbunan

Berat Volume tanah (γ)	= 14,48 kN/m ³
Kohesi (c)	= 22 kN/m ³
Sudut Gesek Dalam	= 19°
Kemiringan lereng	= 61°

2. Geotekstil

Jenis Geotekstil	= Geotekstil <i>woven</i> UW-250
Kuat Tarik	= 52 kN/m

3. Beban Merata (q) = 1 kN/m²

4. Koefisien Kapasitas Dukung Tanah

Nilai koefisien kapasitas dukung tanah yang digunakan mengacu pada Tabel

5.5 didapatkan hasil

$N_c = 13,93$

$N_y = 4,68$

5.5.2 Stabilitas Eksternal

1. Menentukan jarak Vertikal Antar Geotekstil (S_v)

Digunakan angka aman (SF) = 1,5

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{\phi}{2}\right)\right) \\ &= \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{19}{2}\right)\right) \\ &= 0,509 \end{aligned}$$

a. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (S_v)

$$\begin{aligned} \sigma_{hc1} &= q \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} + K_a \cdot H \cdot \gamma_b \\ &= 1 \cdot 0,509 - 2 \cdot 22 \cdot \sqrt{0,509} + 0,509 \cdot 12,5 \cdot 14,48 \\ &= 61,247 \end{aligned}$$

SF = diambil 1,5

$$\begin{aligned} S_{v1} &= \frac{T_a}{\sigma_{hc1} \cdot SF} \\ &= \frac{52}{61,247 \cdot 1,5} \\ &= 0,566 \text{ m (dipakai minimal 0,75 m)} \end{aligned}$$

Dilapangan dipasang $S_v = 0,75$ m (minimal)

Banyak lapis geotekstil teoritis = $12,5/0,75 = 16,667 = 16$ Lapis

2. Menentukan Panjang Geotekstil

a. Stabilitas terhadap guling

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

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

$$\Sigma MR = \left(\frac{1}{2} \times q \times L^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times \gamma b \times H \times L^2 \right)$$

$$SF = \frac{\left(\frac{1}{2} \times 1 \times L^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 14,48 \times 12,5 \times L^2 \right)}{\left(1 \times 0,509 \times \frac{1}{2} \times 12,5^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 0,509 \times 14,48 \times 12,5^2 \times \frac{1}{3} \times 12,5 \right) - \left(2 \times 22 \times \sqrt{0,509} \times \frac{1}{2} \times 12,5^2 \right)}$$

$$SF = \frac{91 L^2}{-13,5}$$

$$L^2 = \frac{-13,5 \times 1,5}{91} = -0,223$$

$$L = 0,050 \text{ m}$$

b. Stabilitas terhadap geser

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

$$\text{Tahanan geser dasar perkuatan } (\delta = 2/3 \times 19^\circ = 12,67)$$

$$SF = \frac{(1 \times \tan 12,67 \times L) + (12,5 \times 14,48 \times \tan 12,67 \times L)}{(1 \times 0,509 \times 12,5) + (0,5 \times 0,509 \times 14,48 \times 12,5^2) - (2 \times 22 \times \sqrt{0,509} \times 12,5)}$$

$$SF = \frac{40,915 L}{189,775}$$

$$L = 6,957 = 7 \text{ m}$$

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

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

$$e = \frac{\Sigma MD}{Rv} = \frac{\left(q \times Ka \times \frac{1}{2} \times H^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times Ka \times \gamma b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H \right) - \left(2 \times c \times \sqrt{Ka} \times \frac{1}{2} \times H^2 \right)}{(H \times \gamma b \times L) + (q \times L)}$$

$$\frac{L}{6} \geq \frac{-13,5}{182 \times L}$$

$$182 L^2 = -81$$

$$L = 0,198 \text{ m}$$

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

$$N_c = 12,93$$

$$N_\gamma = 4,68$$

$$\begin{aligned} qult &= c \cdot N_c + 0,5L \cdot \gamma b \cdot N_\gamma \\ &= 22 \cdot 12,93 + 0,5 \cdot L \cdot 14,48 + 4,68 \\ &= 306,46 + 33,883L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} qult &= qult \cdot SF \\ &= (306,46 + 33,883L) \cdot 1,5 \\ &= 459,69 + 50,825L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &\leq \frac{qult}{H \cdot \gamma b + q} \\ &\leq \frac{459,69 + 50,825L}{12 \cdot 14,48 + 1} \\ &= 2,921 \text{ m} = 3 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari keempat jenis parameter stabilitas lereng diatas, digunakan panjang geotekstil yang maksimum 7 m.

5.5.3 Stabilitas Internal

1. Panjang overlapping geotekstil

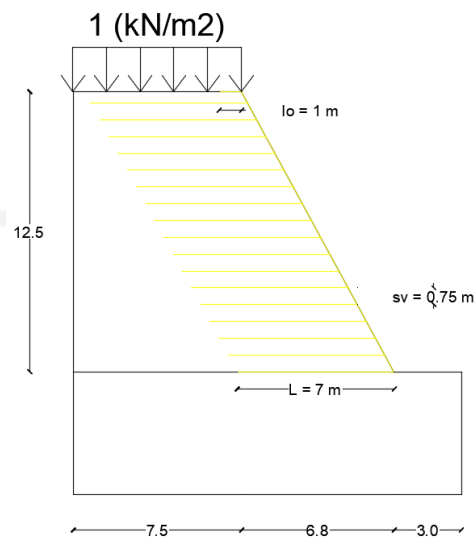
$$\begin{aligned} L_o &= \frac{\sigma_{hc} \cdot S_{vi} \cdot SF}{2 \cdot Z_i \cdot \gamma b \cdot \tan \varphi} \\ &= \frac{61,247 \cdot 0,75 \cdot 1,5}{2 \cdot 18 \cdot 14,48 \cdot \tan 19} \\ &= 0,3838 \text{ m (dipakai minimal 1 m)} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan stabilitas internal selengkapnya untuk geotekstil yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Internal Untuk Geotekstil

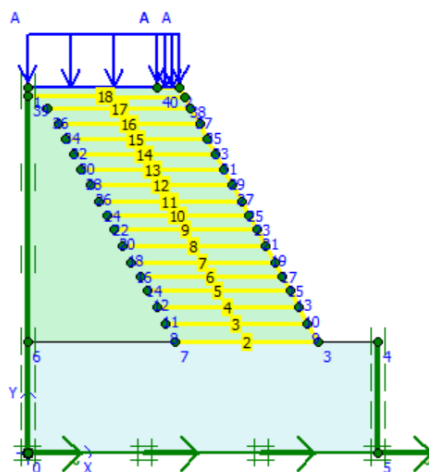
No	Svi (m)	Zi (m)	Lo (m)	Lo Pakai
geotekstil no.17	0.75	18	0.383879065	1
geotekstil no.16	0.75	17.25	0.400569459	1
geotekstil no.15	0.75	16.5	0.418777162	1
geotekstil no.14	0.75	15.75	0.438718932	1
geotekstil no.13	0.75	15	0.460654878	1
geotekstil no.12	0.75	14.25	0.484899872	1
geotekstil no.11	0.75	13.5	0.511838754	1
geotekstil no.10	0.75	12.75	0.541946915	1
geotekstil no.9	0.75	12	0.575818598	1
geotekstil no.8	0.75	11.25	0.614206504	1
geotekstil no.7	0.75	10.5	0.658078397	1
geotekstil no.6	0.75	9.75	0.708699813	1
geotekstil no.5	0.75	9	0.76775813	1
geotekstil no.4	0.75	8.25	0.837554324	1
geotekstil no.3	0.75	7.5	0.921309756	1
geotekstil no.2	0.75	6.75	1.023677507	1
geotekstil no.1	0.75	6	1.151637195	1

Setelah dilakukan analisis perhitungan di atas, digunakan geotekstil yang direncanakan sebanyak 17 lapis dengan jarak antar geotekstil 0,75 meter, dan panjang sebesar 7 meter. Lalu akan dilakukan permodelan perkuatan lereng menggunakan geotekstil dengan beban pejalan kaki dan beban gempa statis dalam program *Plaxis* 8.6. Adapun permodelan penampang perkuatan lereng geometri baru menggunakan geotekstil sesuai dengan kebutuhan yang telah diperhitungkan dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut ini.



Gambar 5. 28 Permodelan Pemasangan Geotekstil pada Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61

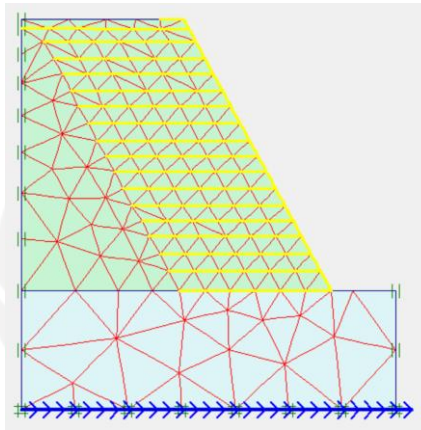
Lalu akan dilakukan permodelan perkuatan lereng menggunakan geotekstil dengan beban pejalan kaki dan beban gempa statis dalam program *Plaxis 8.6*. Adapun permodelan penampang perkuatan lereng menggunakan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.32 berikut ini.



Gambar 5. 29 Permodelan Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61 dengan Perkuatan

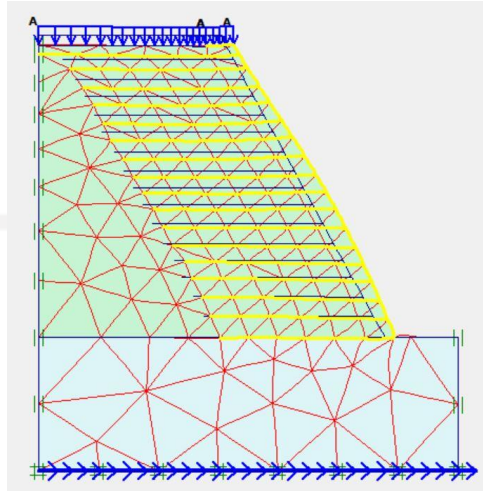
Setelah permodelan dibuat maka diperlukan input parameter tanah pada permodelan. Data parameter tanah yang dipakai pada analisis desain lereng geometri baru dengan perkuatan memakai parameter yang terdapat pada Tabel 5.4.

Setelah melakukan input parameter maka dilanjutkan dengan penyusunan jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng. Hasil jaringan elemen hingga pada desain lereng geometri baru dengan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut ini.

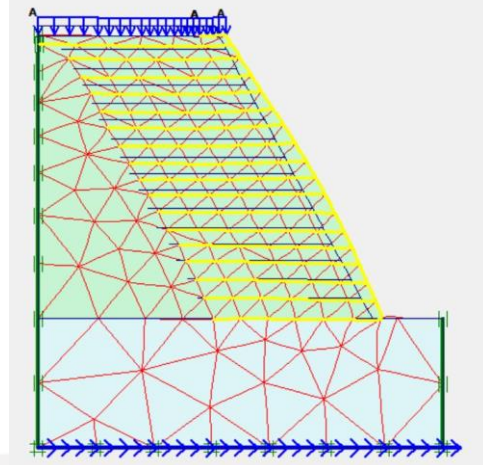


Gambar 5. 30 Meshing Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61 dengan Perkuatan

Setelah dilakukan *meshing* selanjutnya memulai perhitungan dengan menggunakan program *Plaxis* yang akan menghasilkan *deformed mesh*, *total displacement*, arah pergerakan *displacement*, potensi kelongsoran serta kurva SF dan kurva Konsolidasi. Adapun hasil *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.32 dan Gambar 5.33 berikut ini.

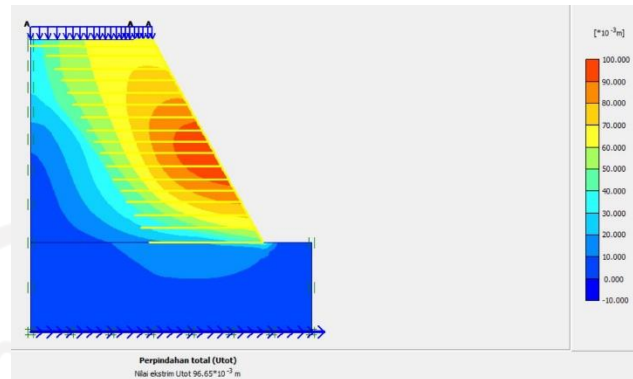


Gambar 5. 31 *Deformed Mesh* Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur

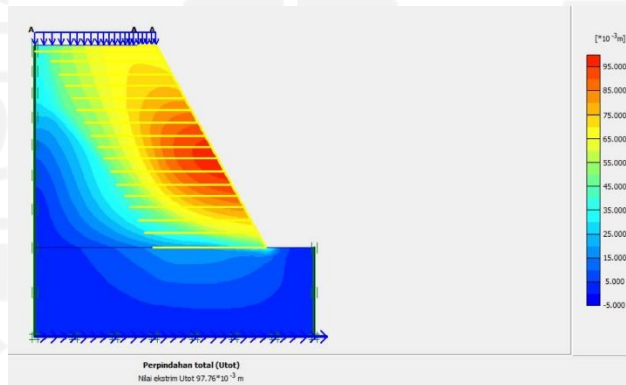


Gambar 5. 32 *Deformed Mesh* Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa

Besarnya nilai *total displacement* pada lereng dapat dilihat pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 berikut ini.

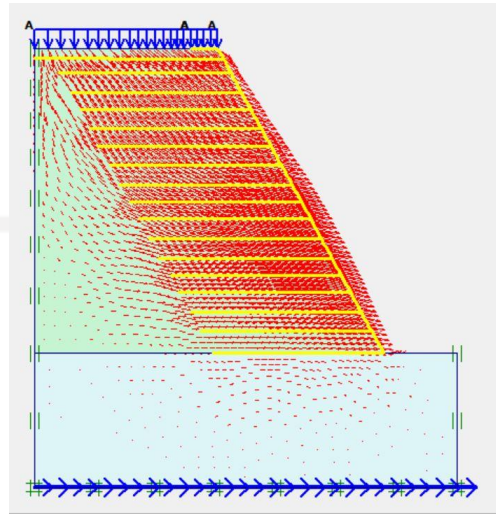


Gambar 5. 33 *Total Displacement* Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur

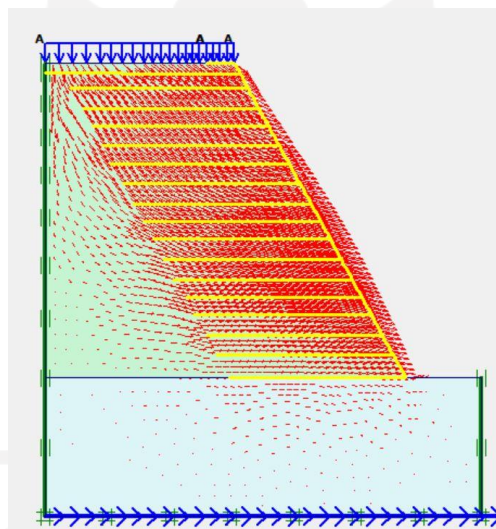


Gambar 5. 34 *Total Displacement* Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa

Arah pergerakan tanah akibat beban struktur dan beban gempa pada lereng dapat dilihat pada Gambar 5.38 dan 5.39 berikut ini.

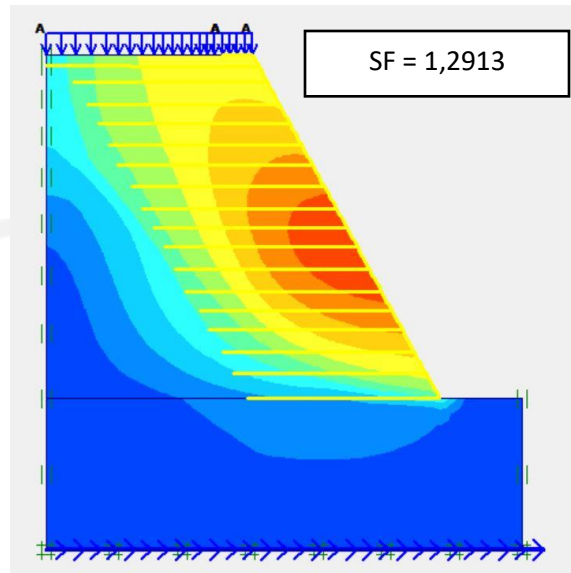


Gambar 5. 35 Arah Pergerakan Tanah Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur

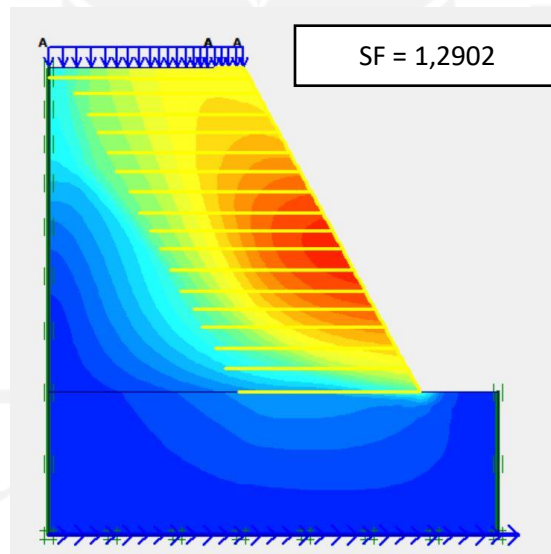


Gambar 5. 36 Arah Pergerakan Tanah Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa

Potensi kelongsoran tanah akibat beban struktur dan akibat beban gempa pada lereng dengan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.40 dan Gambar 5.41 berikut ini.

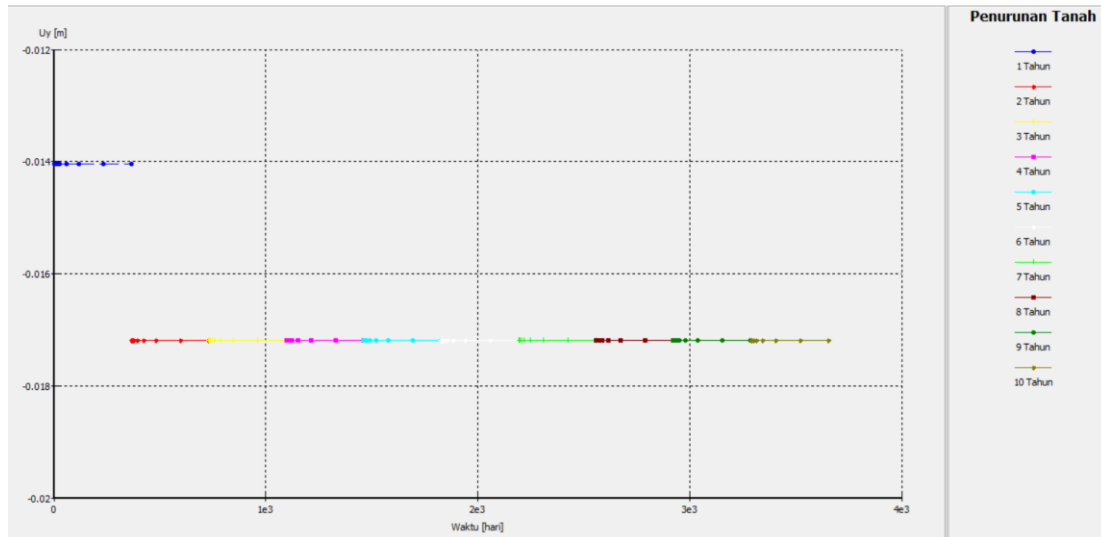


Gambar 5. 37 Potensi Kelongsoran Tanah Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur



Gambar 5. 38 Potensi Kelongsoran Tanah Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61 dengan Perkuatan Akibat Beban Struktur dan Beban Gempa

Selanjutnya ditampilkan gambar kurva konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 5.42 berikut ini.



Gambar 5. 39 Kurva Time VS Vertical Displacement

5.6 Pembahasan

5.6.1 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Asli Tanpa Perkuatan

Hasil Analisis lereng pada jalan Tol Ngawi – Kertosono Sta. 132+750 ini dilakukan untuk mengetahui angka aman (SF) pada lereng. Analisis lereng tanpa perkuatan dilakukan menggunakan program *plaxis* 8.6 pada galian lereng asli. Parameter yang digunakan pada analisis adalah beban berat lereng itu sendiri dan beban gempa statis sesuai dengan zonasi gempa pada daerah Ngawi.

Selanjutnya mencari nilai SF dengan melakukan perhitungan dengan program *plaxis*, namun karena *plaxis* tidak dapat menampilkan nilai SF saat terjadi *collapse* maka dilakukan perhitungan manual dengan metode irisan (*Fellenius*) dan didapatkan hasil SF sebesar 0,9675

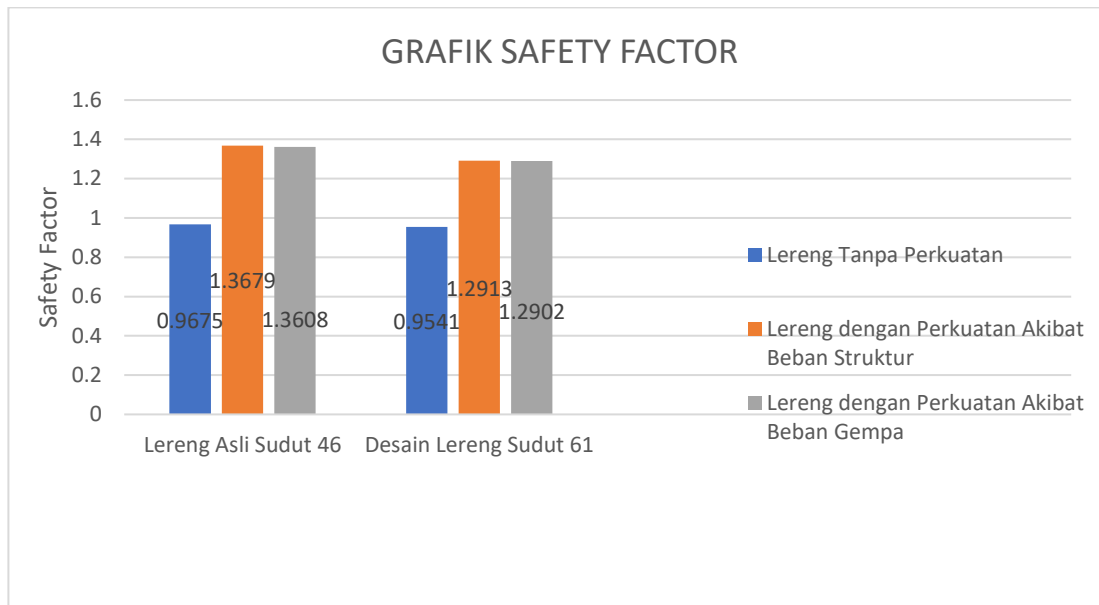
Oleh karena adanya kondisi lereng yang belum memenuhi syarat angka aman, maka harus dilakukan analisis selanjutnya dengan mengganti geometri lereng ataupun dengan memberi perkuatan yang dapat menambah kekuatan pada lereng. Pada penelitian ini dilakukan analisis lereng menggunakan perkuatan dengan mengganti tanah asli menggunakan tanah timbunan dengan tinggi sebesar 12,5 meter dan

menggunakan perkuatan geotekstil. Pada penelitian ini juga melakukan analisis untuk mendesain geometri baru dengan mengganti tanah asli menggunakan tanah timbunan dengan tinggi sebesar 12,5 m yang dimana dilakukan perhitungan tanpa menggunakan perkuatan dan dengan menggunakan perkuatan geotekstil. Adapun hasil rekapitulasi angka aman secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Angka Aman Keseluruhan Dengan Program Plaxis

<i>SAFETY FACTOR</i>	Beban Struktur	Beban Gempa
Lereng Asli Sudut 46 Tanpa Perkuatan	Collapse 0,9675	Collapse -
Desain Lereng Geometri Baru Sudut 61 Tanpa Perkuatan	Collapse 0,9541	Collapse -
Lereng Asli Menggunakan Tanah Timbunan Dengan Perkuatan Sudut 46	1,3679 (Aman)	1,3608 (Aman)
Desain Lereng Geometri Baru Menggunakan Tanah Timbunan Dengan Perkuatan Sudut 61	1,2913 (Aman)	1,2902 (Aman)

Grafik hasil rekapitulasi analisis stabilitas lereng asli sudut 46 tanpa dan dengan perkuatan dan grafik hasil rekapitulasi desain lereng geometri baru sudut 61 tanpa dan dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.40 Grafik Rekapitulasi Safety Factor Analisis Stabilitas Lereng



Gambar 5. 41 Grafik Rekapitulasi Safety Factor Analisis Stabilitas Lereng

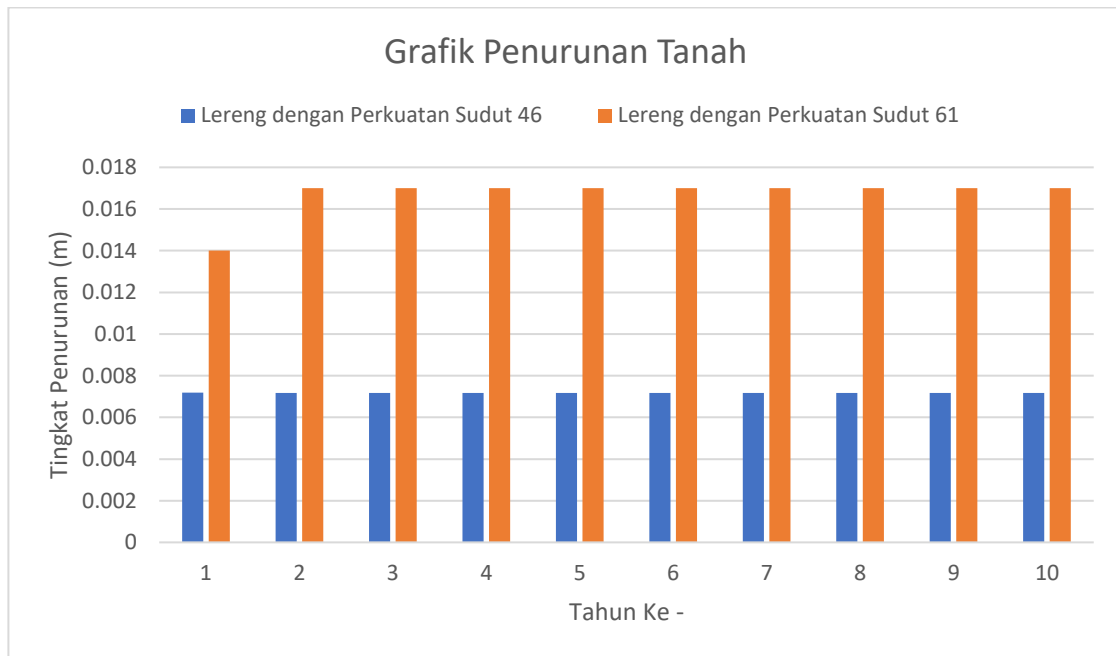
Selanjutnya hasil rekapitulasi besar penurunan yang terjadi pada lereng secara keseluruhan selama 365 hari dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Besar Penurunan Yang Terjadi Keseluruhan Dengan Program *Plaxis*

Konsolidasi	Penurunan (m)	Waktu
Galian Lereng Asli Tanpa Perkuatan	Collapse	365
Geometri Baru Lereng Tanpa Perkuatan	Collapse	365
Lereng Asli Menggunakan Tanah Timbunan Dengan Perkuatan Sudut 46°	7.17×10^{-3}	365
Geometri Baru Lereng Dengan Perkuatan 61°	0,014	365

Grafik hasil rekapitulasi penurunan tanah pada analisis stabilitas lereng asli sudut 46 tanpa dan dengan perkuatan dan grafik hasil rekapitulasi desain lereng

geometri baru sudut 61 tanpa dan dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5. 1 Grafik Rekapitulasi Penurunan Tanah Analisis Stabilitas Lereng



Gambar 5. 42 Grafik Rekapitulasi Penurunan Tanah Uji 10 Tahun

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Hasil didapatkan setelah melakukan analisis pada lereng asli sudut 46 mengalami *collapse* atau terjadi kelongsoran. Karena plaxis tidak dapat menampilkan nilai SF saat perhitungan terjadi *collapse* maka dilakukan perhitungan manual dengan metode *Fellenius* dan didapatkan hasil SF untuk galian lereng asli sebesar 0,9675.
2. Hasil analisis stabilitas lereng asli sudut 46 dengan menggunakan perkuatan geotekstil menggunakan tanah timbunan dengan tinggi sebesar 12,5 m mendapatkan nilai SF sebesar 1,3679 akibat beban struktur dan 1,3608 akibat beban struktur dan beban gempa.
3. Hasil analisis stabilitas lereng dengan menggunakan program plaxis diperoleh hasil penurunan pada uji 365 hari untuk lereng asli sudut 46 tidak dapat diperoleh karena lereng *collaps*. Untuk lereng dengan perkuatan sudut 46 mengalami penurunan tanah sebesar 7.187×10^{-3} pada uji 365 hari (1 tahun) lalu mengalami peningkatan penurunan tanah sebesar 7.17×10^{-3} pada uji 730 hari (2 tahun), setelah itu tanah *relative* stabil sampai uji 3650 hari (10 tahun).
4. Hasil analisis stabilitas desain lereng geometri baru sudut 61 menggunakan tanah dasar asli dan tanah timbunan dengan tinggi 12,5 tanpa perkuatan mengalami *collapse* atau terjadi kelongsoran, selanjutnya dilakukan perhitungan manual dengan metode *Fellenius* dan didapatkan hasil SF untuk lereng geometri baru tanpa perkuatan sebesar 0,9541.
5. Hasil analisis stabilitas pada desain lereng geometri baru sudut 61 dengan perkuatan geotekstil menggunakan tanah timbunan dengan tinggi 12,5 m mendapatkan nilai

SF sebesar 1,2913 akibat beban struktur dan 1,2902 akibat beban struktur dan beban gempa.

6. Hasil analisis stabilitas lereng dengan menggunakan program plaxis diperoleh hasil penurunan pada uji 365 hari untuk desain lereng geometri baru sudut 61 tanpa perkuatan tidak dapat diperoleh karena lereng collaps. Untuk desain lereng geometri baru dengan perkuatan sudut 46 mengalami penurunan tanah sebesar 0,014 pada uji 365 hari (1 tahun), setelah itu penurunan tanah naik menjadi 0.017 pada uji 730 hari (2 tahun) dan *relative* stabil sampai uji 3650 hari (10 tahun).

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis menyampaikan beberapa saran sebagai berikut.

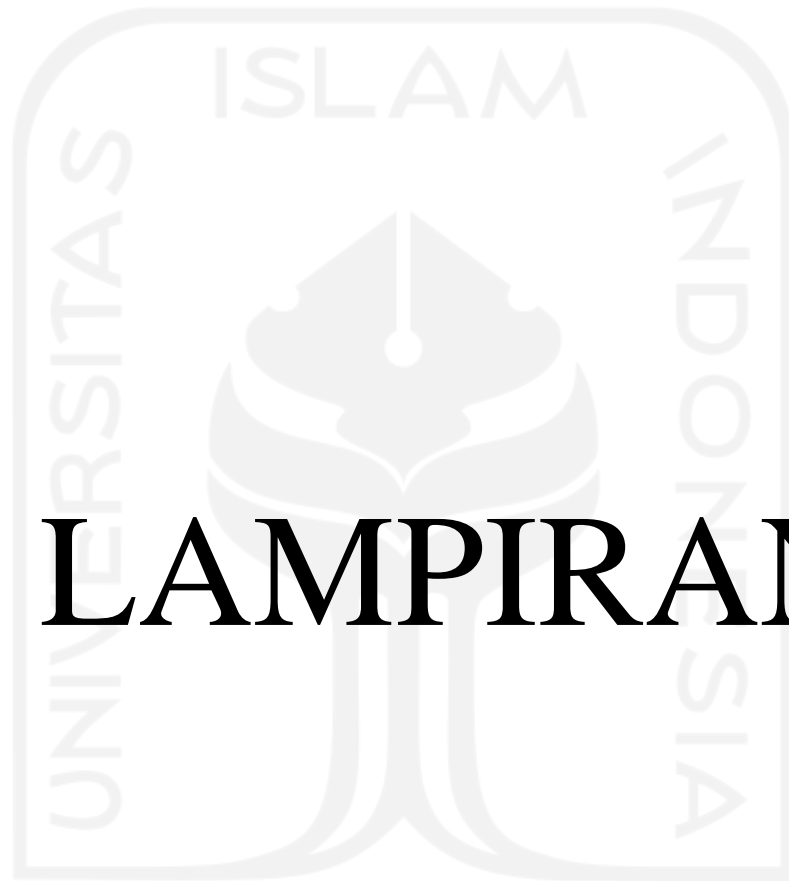
1. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng Sta. 132+750 dengan menggunakan program plaxis 8.6 pada lereng asli untuk menurunkan sudut kemiringan dan pelebaran berm pada jenjang untuk mencegah kelongsoran pada lereng galian tanah.
2. Untuk penelitian lebih lanjut perlu dilakukan analisis menggunakan program plaxis yang lebih terbaru untuk membandingkan dengan hasil analisis menggunakan plaxis 8.6
3. Selain dengan perkuatan geotekstil, dapat menggunakan beberapa metode lain seperti sheet pile, dinding penahan tanah atau perkuatan dengan bahan lain, seperti: kapur, injeksi semen, dan sebagainya.



DAFTAR PUSTAKA

- Adi Saputra, S. 2017. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever dan Geotekstil Pada Ruas Jalan Lintas Liwa – Simpang Gunung Kemala KM. 268+550. *Tugas Akhir*. 2017. Universitas Lampung, Lampung.
- Arsy, Aisyah Anugerah. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Bina Marga, 2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Bowles, J. E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. 1993. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Budiasto, Adi. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis 8.2 Pada Proyek Tol Solo-Kertosono Seksi 3. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Chasanah, U. 2012. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program *Geoslope*. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Craig, R. 1997. *Mekanika Tanah Edisi Keempat*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Das, B. M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.

- Departemen Pekerjaan Umum. 2009. *Modul Pelatihan Geosintetik Volume 3: Perencanaan Geosintetik Untuk Perkuatan Lereng*.
- Hardiyatmo, H. C. 2009. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2010. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Ma'ruf, Fuanda Noordharma. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga Pada Proyek Tol Solo-Kertosono Seksi 3. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Monintja, Sartje 2014. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Metode Bishop. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*. Vol 2. No. 3.
- PT. Teknindo Geosistem Unggul (Tanpa Tahun). *Technical Spesification Geotextile Woven*. Surabaya.
- Purwanto, Edy. 2012. Perkuatan Tanah. Handout Mata Kuliah, Universitas Islam Indonesia.
- Santoso, Budi, Suprpto H., Suryadi HS. 1998: *Mekanika Tanah Lanjut*. Jakarta: Gunadarma.
- Terzaghi, K. dan Peck, R. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Erlangga.
- Whittaker, B.N. and Reddish, D.J. 1989. *Subsidence Occurrence, Prediction and Control (Developments in Geotechnical Engineering, 56)*. Department of Mining Engineering, The University of Nottingham. Nottingham City.
- Wicaksono E. N., 2016. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*. Vol 1. No. 2.

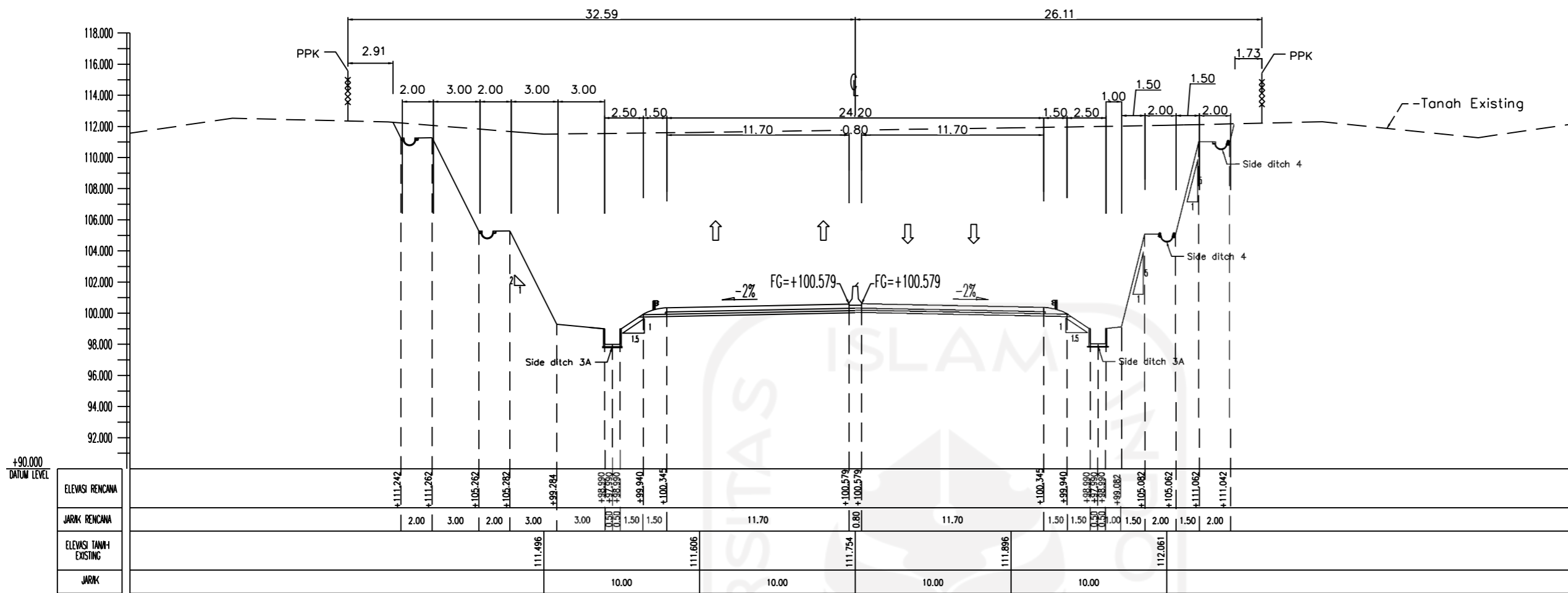


LAMPIRAN

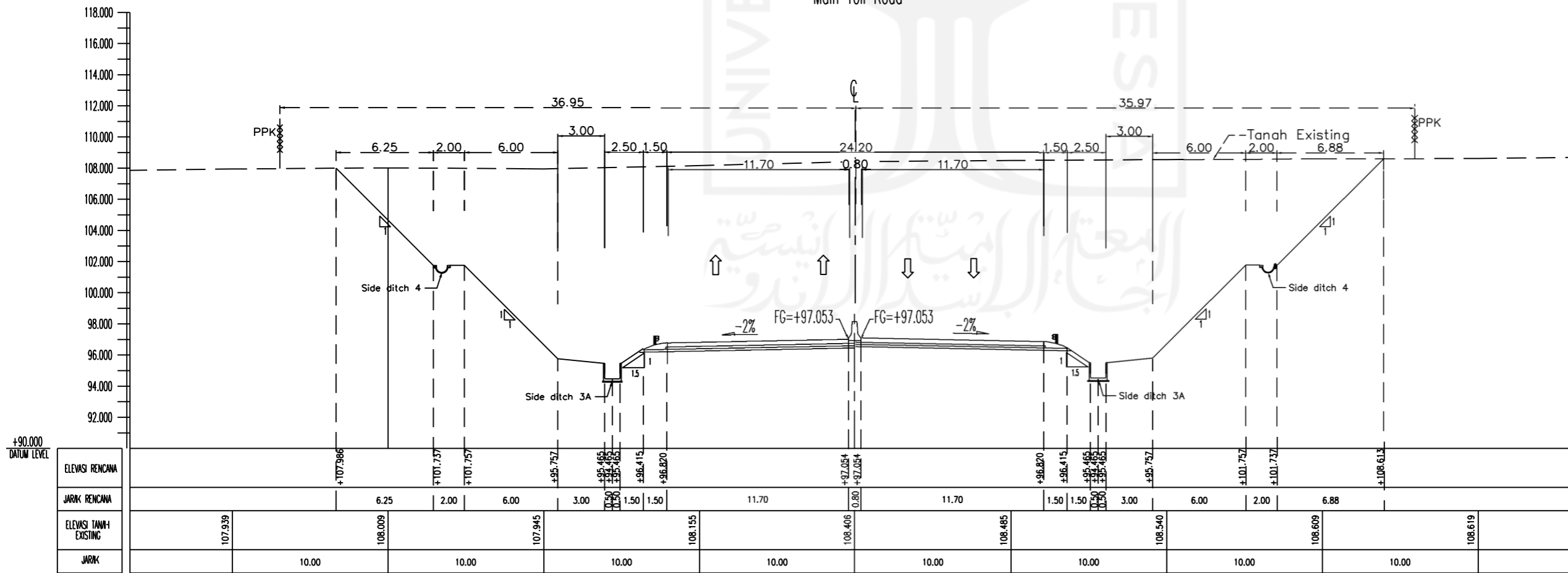
الجمهورية الإسلامية الإندونيسية

Material name	Sub unit	Model material							
		Short term				Long term			
		model	Parameter design			model	Parameter design		
		Static & dynamic	(kN/m ³)	Su (kPa)	$\phi = 0$	Static & dynamic	(kN/m ³)	c' (kPa)	$\phi = 0$
Medium Stiff clay	2.1	Undrained ($\phi = 0$)	17	36	-	Mohr-Coulomb	17	6	23
Stiff clay	2.2		17	72	-		17	12	27
Very Stiff clay	3.1		17	138	-		17	22	29
Hard clay	3.2		17,5	300	-		17,5	48	30
Medium dense sand	4.5	Mohr-Coulomb	18.5	-	47	Mohr-Coulomb	18.5	-	47

- Modulus Elastis tanah : $E = 10000 - 80000 \text{ kN/m}^2$
- Angka Poisson : $\nu = 0,30 - 0,33$
- Sudut dilatasi : $\psi = 0$



Sta 129+975
Main Toll Road



Sta 129+225
Main Toll Road

Lahan yang belum bebas

FEMEANGUNAN JALAN TOL SOLO NGAWI KERTOSONO
PUAS NGAWI KERTOSONO
PAKET 3 STA 11P+700 s/d 13P+760

NGAWI KERTOSONO JAYA



PT ESKAPINDO MATRA CE
PT DRESSA CIPTA REKAYASA



PT ADHI KARYA (Persero) Tbk

A J DWI WINARSA
Pemimpin Proyek

Ir PRATIKA
P sident Engineer

OKA CANDRA S
Deputi Project Manager