

TUGAS AKHIR
ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN
PERKUATAN *GEOTEXTILE WOVEN* PADA PROYEK
JALAN TOL YOGYAKARTA-BAWEN PAKET 1
(SEKSI 1) STA 75+900

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



Imam Prasetyo

19511092

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025

TUGAS AKHIR
ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN
PERKUATAN *GEOTEXTILE WOVEN* PADA PROYEK
JALAN TOL YOGYAKARTA-BAWEN PAKET 1
(SEKSI 1) STA 75+900

Disusun oleh:

Imam Prasetyo

19511092

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana

Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 12 September 2025

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.

NIK: 045110407

Penguji I

Ahisa Nur Amalina, S.T., M.Eng

NIK: 215111305

Penguji II

Astriana Nardawati, S.T., M.Eng.

NIK: 165111301

17.09.25

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Yunalia Muntali S.T., M.T., Ph.D.(Eng), IPM.

NIK: 0951110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa sesungguhnya Laporan Tugas Akhir yang telah saya susun untuk syarat penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah.

Yogyakarta, 18 September 2025

Yang membuat pernyataan,



Imam Prasetyo

(19511092)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Geotextile *Woven* Pada Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1).” Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

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

1. Ibu Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing.
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng selaku penguji 1.
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng selaku penguji 2.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng),IPM. Selaku ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
6. Bapak, ibu, dan saudara penulis yang telah memberikan doa, motivasi, dan berkorban begitu banyak, hingga selesainya Tugas Akhir ini.

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

Yogyakarta, 17 September 2025

Yang membuat pernyataan,



Imam Prasetyo

(19511092)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	17
1.1 Latar Belakang	17
1.2 Rumusan Masalah	18
1.3 Tujuan Penelitian	19
1.4 Manfaat Penelitian	19
1.5 Batasan Penelitian	20
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	21
2.1 Analisis Stabilitas Lereng	21
2.1.1 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil	21
2.1.2 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Berjenjang Tipe <i>Concrete Cantilever</i> Menggunakan Program <i>Plaxis 8.6</i>	22
2.1.3 Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program <i>Geoslope</i>	22

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Yang Dilakukan	23
BAB III LANDASAN TEORI	27
3.1 Tanah	27
3.2 Lereng	30
3.2.1 Kelongsoran	30
3.2.2 Penyebab Kelongsoran	30
3.2.3 Macam-Macam Kelongsoran	31
3.3 Stabilitas Lereng	34
3.4 Metode <i>Fellenius</i>	38
3.5 <i>Geotextile Woven</i>	39
3.6 <i>Plaxis</i>	41
BAB IV METODE PENELITIAN	43
4.1 Tinjauan Umum	43
4.2 Data Penelitian	43
4.3 Lokasi Penelitian	43
4.4 Tahapan Penelitian	45
4.5 Analisis Data	45
4.6 Bagan Alir	45
BAB V PEMBAHASAN	48
5.1 Analisis Data Lereng Asli	48
5.2 Data Perkuatan Tanah, Beban, dan Perkuatan Tanah	49
5.3 Perhitungan dengan Metode <i>Fellenius</i>	51
5.4 Perhitungan Stabilitas Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan	55
5.4.1 Akibat Beban Timbunan	55
5.4.2 Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	56

5.4.3 Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa	58
5.5 Perhitungan Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil	59
5.5.1 Stabilitas Eksternal	60
5.5.2 Stabilitas Internal	65
5.6 Akibat Beban Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil	70
5.6.1 Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil	71
5.6.2 Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil	72
5.7 Pembahasan	73
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	76
6.1 Kesimpulan	76
6.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	23
Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	24
Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	25
Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	26
Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah AASTHO	28
Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah USCS	29
Tabel 3.3 Klasifikasi Longsor Broms (1997) dalam Hardiyatmo (2012)	30
Tabel 3.4 Faktor Keamanan Lereng	38
Tabel 5.1 Data Parameter Tanah	49
Tabel 5.2 Data Beban Lalu Lintas	50
Tabel 5.3 Data Geotekstil	51
Tabel 5.4 Perhitungan Manual Dengan Metode <i>Fellenius</i>	54
Tabel 5.5 Koefisien Daya Dukung Tanah	60
Tabel 5.6 Rekapitulasi Panjang Geotekstil <i>Overlapping</i>	66
Tabel 5.7 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil	66
Tabel 5.8 Rekapitulasi Panjang Geotekstil Pada Zona Aktif	67
Tabel 5.9 Rekapitulasi Panjang Total Geotekstil	68
Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program <i>Plaxis 2D</i>	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Gerakan Tanah Jenis Longsoran Rotasi	32
Gambar 3.2 Gerakan Tanah Jenis Longsoran Translasi	32
Gambar 3.3 Gerakan Tanah Jenis Aliran	33
Gambar 3.4 Gerakan Tanah Jenis Longsoran Blok	34
Gambar 3.5 Gerakan Tanah Jenis Runtuhan	34
Gambar 3.6 Gambar Ilustrasi Gaya Pada Setiap Irisan Dengan Metode <i>Fellenius</i>	39
Gambar 3.7 Geotekstil <i>Woven</i>	41
Gambar 4.1 Lokasi Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Seksi 1	44
Gambar 4.2 Detail Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Seksi 1	44
Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian	46
Gambar 4.4 Bagan Alir Program <i>Plaxis</i>	47
Gambar 5.1 Potongan Melintang Jalan	49
Gambar 5.2 Pete Zonasi Gempa di Indoensia	51
Gambar 5.3 Pemodelan Timbunan dalam Metode <i>Fellenius</i>	52
Gambar 5.4 <i>Meshing</i> Lereng	55
Gambar 5.5 <i>Deformed Mesh</i> Yang Terjadi Pada Timbunan	56
Gambar 5.6 Total <i>Displacement</i> Pada Timbunan	56
Gambar 5.7 Nilai <i>Safety Factor</i> Pada Timbunan	56
Gambar 5.8 <i>Deformed Mesh</i> Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	57
Gambar 5.9 Total <i>Displacement</i> Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	57
Gambar 5.10 Nilai <i>Safety Factor</i> Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	57
Gambar 5.11 <i>Deformed Mesh</i> Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa	58
Gambar 5.12 Total <i>Displacement</i> Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa	58
Gambar 5.13 Nilai <i>Safety Factor</i> Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa	59

Gambar 5.14 Pembagian Zona untuk Perhitungan Geotekstil	59
Gambar 5.15 Gaya-gaya yang Bekerja pada Bidang Miring	61
Gambar 5.16 Pemodelan Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	69
Gambar 5.17 <i>Meshing</i> Pada Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil	70
Gambar 5.18 <i>Deformed Mesh</i> Akibat Beban Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil	70
Gambar 5.19 Total <i>Displacement</i> Akibat Beban Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil	70
Gambar 5.20 Nilai <i>Safety Factor</i> Akibat Beban Timbunan	71
Gambar 5.21 <i>Deformed Mesh</i> Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan Dengan Perkuatan Geotekstil	71
Gambar 5.22 Total <i>Displacement</i> Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	72
Gambar 5.23 Nilai <i>Safety Factor</i> Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan	72
Gambar 5.24 <i>Deformed Mesh</i> Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil	72
Gambar 5.25 Total <i>Displacement</i> Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil	73
Gambar 5.26 Nilai <i>Safety Factor</i> Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa	73
Gambar 5.27 Nilai SF Timbunan Pada Lereng	74
Gambar 5.28 Nilai Total <i>Displacement</i> Pada Timbunan Lereng	75

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

cm	: centimeter
m	: meter
mm	: Milimeter
PGA	: <i>Peak Ground Acceleration</i> (g)
MC	: <i>Mohr-Coulomb</i>
γ_d	: Berat volume tanah kering (kN/m ³)
γ_{sat}	: Berat volume tanah jenuh (kN/m ³)
γ_{unsat}	: Berat volume tanah tak jenuh (kN/m ³)
γ'	: Berat volume tanah efektif (kN/m ³)
e	: Angka Pori
FK	: Faktor keamanan
SF	: <i>Safety Factor</i>
kN	: Kilo <i>Newton</i>
N	: <i>Newton</i>
MPa	: Mega Pascal
%	: persen
Ka	: Koefisien tekanan tanah aktif lateral
Tu	: Kuat tarik ultimit (kN/m)
Ta	: Kuat tarik izin (kN/m)
σ_{hc}	: Tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m ²)

- S_v : Jarak geotekstil arah vertikal (m)
 MD : Momen mendorong (kN m)
 MR : Momen menahan (kN m)
 L : Panjang geotekstil (m)
 Z_i : Kedalaman tiap lembar geotekstil dari permukaan tanah (m)
 L_o : Panjang *overlapping* geotekstil (m)
 L_e : Panjang efektif geotekstil (m)
 L_z ; Panjang geotekstil pada zona aktif (m)
 τ_f : Kuat geser tanah (kN/m²)
 τ_d : Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh (kN/m²)
 σ : Tegangan normal (kN/m²)
 ε : regangan
 Σ : Total/jumlah
 c : Kohesi (kN/m²)
 w : Kadar air (persen)
 e : Eksentrisitas
 N : Koefisien daya dukung tanah
 ϕ : Sudut geser dalam (derajat)
 ν : *Poissons Ratio*
 E : Modulus *young* (kN/m²)
 EA : Kekakuan normal (kN/m)
 ψ : Sudut dilatasi (kN/m)

- K : Koefisien permeabilitas
- G : Modulus geser (kN/m²)
- q_c : Tahanan konus (kN/cm²)
- W : Berat total irisan (kN/m)
- A : Sudut geser singgung masing-masing irisan (derajat)
- u : Tekanan air pori pada pusat dasar (kN/m²)
- l : Panjang dasar (m)
- L : Panjang busur (m)
- k_h : Koefisien seismik
- F_{PGA} : Jenis Tanah

ABSTRAK

Pada proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Paket 1 Seksi 1 di STA 75+900, kondisi lereng alamiah menunjukkan faktor aman (SF) yang mendekati batas kritis untuk stabilitas lereng. Penurunan FS ini dipengaruhi oleh karakteristik tanah dasar berupa lempung lanauan dan pasir berlanau dengan periode jenuh yang rentan terhadap kegagalan geser. Penelitian Tugas Akhir ini bertujuan mengevaluasi peningkatan stabilitas lereng melalui perkuatan menggunakan geotekstil.

Analisis stabilitas lereng akan menggunakan parameter data sekunder yang didapat dari Laporan hasil uji dari PT. Adhi Karya. Dalam proses analisis dan pemodelan lereng akan menggunakan program *Plaxis* 2D versi 22. selain menggunakan program *Plaxis*, akan dilakukan juga perhitungan secara manual dengan menggunakan metode *Fellenius* untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dan menganalisis stabilitas lereng. Perkuatan yang akan dipakai dalam analisis stabilitas lereng berjenis geotekstil *woven*.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng didapatkan nilai faktor keamanan pada lereng dengan perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius* sebesar 1,12. Sedangkan dengan yang menggunakan program *Plaxis* 2D didapatkan SF tanpa perkuatan akibat beban timbunan sebesar 1,448, akibat beban timbunan dan beban kendaraan sebesar 1,446, dan akibat beban timbunan, beban kendaraan, serta beban gempa sebesar 1,440. Untuk yang ditambah perkuatan akibat beban timbunan didapat SF sebesar 1,796, akibat beban timbunan dan beban kendaraan sebesar 1,793, dan akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa sebesar 1,776.

Kata Kunci: Faktor Aman, Stabilitas Lereng, *Plaxis* 2D, Geotekstil *Woven*, Metode *Fellenius*.

ABSTRACT

The Yogyakarta–Bawen Toll Road Project (Package 1, Section 1 at STA 75+900), the natural slope exhibited a factor of safety (FS) approaching the critical threshold for stability. This reduction in FS was driven by subsurface soils composed of silty clay and sandy silt, which become saturated and are prone to shear failure. This thesis aims to evaluate the improvement of slope stability through reinforcement using woven geotextile.

Slope stability analysis will utilize secondary parameters obtained from laboratory test reports by PT Adhi Karya. The analysis and modeling process will be conducted in PLAXIS 2D version 22, and manual calculations using the Fellenius method (method of slices) will also be performed to determine the factor of safety and assess slope stability. The reinforcement applied in the stability analysis consists of woven geotextile layers.

Based on the stability analysis, manual Fellenius calculations yielded an FS of 1,12. In PLAXIS 2D simulations without reinforcement, the FS under embankment load was 1,448, under combined embankment and traffic loads it was 1,446, and under embankment, traffic, and seismic loads it was 1,440. With the addition of woven geotextile reinforcement, the FS increased to 1,796 under embankment load, 1,793 under combined embankment and traffic loads, and 1,776 under combined embankment, traffic, and seismic loads.

Keywords: *Factor of Safety, Slope Stability, Plaxis 2D, Woven Geotextile, Fellenius Method*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era modern saat ini, pembangunan infrastruktur di Indonesia menjadi salah satu prioritas utama dalam meningkatkan konektivitas dan mobilitas masyarakat. Pembangunan infrastruktur yang sedang banyak dilakukan salah satunya adalah proyek jalan tol. Jalan tol merupakan bagian integral dari system transportasi nasional dan memiliki peran dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan pelayanan Masyarakat di wilayah tersebut, contohnya adalah Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Seksi 1.

Jalan Tol Yogyakarta-Bawen merupakan proyek strategis nasional yang bertujuan meningkatkan konektivitas antara Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dan Jawa Tengah. Tol ini memiliki total panjang 75,12 km, terbagi menjadi 6 seksi, dengan Seksi 1 menghubungkan Junction Sleman hingga Simpang Susun Banyurejo sepanjang 8,80 km. Seiring dengan pertumbuhan jumlah pengguna jalan tol, aspek keamanan dan stabilitas struktur jalan tol menjadi sangat penting untuk diperhatikan, salah satunya adalah stabilitas lereng (Kompas.com, 2022).

Lereng adalah bagian dari topografi atau geometri suatu wilayah yang memiliki kecendrungan atau kemiringan tertentu. Kemiringan lereng dapat bervariasi tergantung dari karakteristik lereng ini memiliki dampak signifikan pada kestabilan tanah dan struktur di sekitarnya. Untuk perencanaan lereng harus dilakukan secara matang agar tidak terjadi kegagalan pada lereng karena kurangnya daya dukung pada tanah. Lereng yang masih belum stabil merupakan indikasi lereng tersebut dapat mengalami keruntuhan. Maka diperlukan analisis untuk mengetahui angka aman atau *safety factor* pada lereng tersebut. Apabila sudah diketahui angka aman dari lereng tersebut dan ternyata tidak memenuhi batas aman dari yang ditetapkan maka diperlukan sebuah upaya stabilitas lereng. Stabilitas lereng dapat dilakukan dengan berbagai metode diantaranya dengan

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

Analisis stabilitas lereng menjadi faktor yang harus diperhatikan dalam Pembangunan proyek jalan tol dalam mengevaluasi potensi bahaya longsor atau runtuhnya lereng dan mengakibatkan kerusakan pada struktur. Dalam perencanaan perkuatan lereng dengan Geotekstil bisa dilakukan analisis dengan menggunakan bantuan teknologi berupa *software* yang bernama Plaxis. *Software* Plaxis ini menggunakan metode elemen hingga untuk melakukan analisis kestabilan lereng. Nantinya akan dihasilkan angka *safety factor* pada lereng yang memperlihatkan kondisi kestabilan lereng. Selain itu dengan bantuan *software* Plaxis dapat diketahui nilai *displacement* pada lereng, arah pergerakan tanah pada lereng, dan potensi kelongsoran lereng berdasarkan parameter tanah, parameter beban yang bekerja pada lereng, dan parameter lain yang sudah diinput pada program Plaxis. Untuk mencari nilai *safety factor* menggunakan perhitungan manual dapat menggunakan metode *Fellenius*. Metode *Fellenius* merupakan teknik analisis stabilitas lereng yang digunakan untuk menentukan faktor keamanan terhadap kemungkinan terjadinya kegagalan lereng. Analisis stabilitas lereng menggunakan metode *Fellenius* dan Program *Plaxis* ini diharapkan dapat membantu dalam mendapatkan *safety factor* pada lereng guna mengurangi risiko kegagalan pada lereng di Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka didapat rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Berapa nilai angka aman (SF) tanah asli pada proyek jalan tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1) dengan menggunakan program *PLAXIS V.22*?
2. Berapa nilai angka aman (SF) yang didapatkan tanpa perkuatan tanah pada proyek jalan tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1) dengan metode *Fellenius*?
3. Berapa nilai angka aman (SF) yang didapatkan untuk perkuatan tanah menggunakan *geotextile woven* pada proyek jalan tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1) dengan bantuan program *PLAXIS V.22*?
4. Berapa nilai *displacement* yang didapatkan untuk perkuatan tanah menggunakan *geotextile woven* pada proyek jalan tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1) dengan bantuan program *PLAXIS V.22*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui nilai angka aman (SF) tanah asli pada proyek jalan tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1) dengan menggunakan program *PLAXIS V.22*.
2. Mengetahui nilai angka aman (SF) yang didapatkan tanpa perkuatan tanah pada proyek jalan tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1) dengan metode *Fellenius*.
3. Mengetahui nilai angka aman (SF) yang didapatkan untuk perkuatan tanah menggunakan *geotextile woven* pada proyek jalan tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1) dengan bantuan program *PLAXIS V.22*.
4. Mengetahui nilai *displacement* yang didapatkan untuk perkuatan tanah menggunakan *geotextile woven* pada proyek jalan tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1) dengan bantuan program *PLAXIS V.22*.

1.4 Manfaat Penelitian

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

1. Menambah pengetahuan mengenai stabilitas lereng menggunakan metode *Fellenius*.
2. Menambah pengetahuan mengenai stabilitas lereng menggunakan program *PLAXIS V.22*.
3. Hasil dari penelitian dapat digunakan untuk menghindari kelongsoran pada proyek jalan tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1).
4. Sebagai bentuk usaha merealisasikan ilmu yang sudah didapat di Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan untuk mencari stabilitas menggunakan metode *Fellenius* agar mendapatkan angka *safety factor*.
2. Perhitungan tanah asli hanya menggunakan *PLAXIS V.22*.
3. Perhitungan tidak mencakup beban perkerasan.
4. Data parameter tanah yang didapat merupakan data sekunder dari proyek jalan tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1).
5. Lokasi penelitian pada proyek jalan tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1) STA 75 +900.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng adalah suatu proses evaluasi untuk menentukan apakah suatu lereng mampu menjaga bentuknya untuk runtuh atau longsor. Maksud dari analisis stabilitas lereng ialah untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas suatu lereng apakah sudah memenuhi kriteria keamanan yang telah ditetapkan. Pada proyek jalan tol, lereng dapat mengalami pengaruh signifikan akibat penggalian untuk Pembangunan jalan atau struktur pendukungnya dan dampak yang ditimbulkan akibat perubahan tata guna lahan.

2.1.1 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Kharisma (2020) dengan tujuan mendapatkan nilai angka aman dan angka penurunan tanah dengan menggunakan program *plaxis*. Analisis stabilitas tumbunan menggunakan *software Plaxis 8.6* dengan variasi tinggi tumbunan adalah 4 m, 6 m, dan 8m, dan untuk tumbunan yang tidak aman akan ditambahkan perkuatan dengan menggunakan geotekstil. Hasil yang didapat ialah hanya tumbunan dengan tinggi 8 m yang harus dibantu dalam hitungan dengan metode fellenius.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Lembang (2021) berlatar belakang pada Pembangunan jalan Tol Ngawi-Kertosono, khususnya ruas jalan Ngawi-Caruban seksi 3.1, yang dimana lokasi Pembangunan ini didaerah perbukitan dengan lereng yang cukup tinggi dan membutuhkan pemotongan lereng. Jenis tanahnya ialah berbutir halus untuk bagian atas serta tanah pasir dibagian bawah. Maka akan dilakukan penggalian sedalam 15 meter. Untuk analisis lereng, perhitungannya menggunakan metode elemen hingga menggunakan program *Plaxis 8.6*.

2.1.2 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Berjenjang Tipe *Concrete Cantilever* Menggunakan Program *Plaxis 8.6*

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Pratama (2021) bertujuan untuk mencari stabilitas lereng eksisting menggunakan program *Plaxis 8.6* dan metode *fellenius*, serta mengetahui *safety factor* yang sudah diperkuat dengan dinding penahan tanah berjenjang tipe kantilever. Hasil yang didapatkan dengan menggunakan program *plaxis 8.6* adalah SF sebesar 1,2282 saat tanpa perkerasan dan untuk perhitungan menggunakan metode *fellenius* Sf sebesar 1,20787 yang dimana berarti lereng tersebut dalam kondisi kritis dan pernah terjadi longsor sebelumnya.

2.1.3 Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program *Geoslope*

Penelitian yang dilakukan oleh Afdhal (2023) berlatar belakang pada konstruksi jalan yang dimana sering dijumpai kelongsoran lereng akibat dari penurunan kuat geser tanah dan sudut geser dalam. Pada Pembangunan ini dilakukan penimbunan dengan perkuatan *shotcrete*. Penelitian ini bertujuan untuk dapat mengetahui besar nilai angka aman dan bidang longsor potensial paa tanah agar perkuatan dapat efektif dan jalan dapat berfungsi secara optimal.

Penelitian yang dilakukan oleh Kafilanda (2019) pada jalan Tol Balikpapan-Samarinda terdapat banyak tanah lunak yang akan mempengaruhi stabilitas lereng timbunannya. Untuk kondisi lereng dengan beban yang besar dan kemiringannya yang curam akan menyebabkan kelongsoran. Tujuan dari penelitian ini agar dapat mengetahui nilai faktor keamanan pada lereng asli tersebut dan nilai faktor keamanan pada lereng dengan perkuatan geotekstil. Aplikasi yang digunakan adalah *Slope/W* untuk mencari nilai faktor keamanan dan diberi perkuatan pada lereng dengan jenis perkuatan geotekstil untuk mendapatkan nilai faktor keamanan. Berdasarkan hasil didapat Sf dari program *Slope/W* sebesar $1,159 < 1,5$ serta faktor keamanan menggunakan metode *fellenius* dan hitungan manual pada kondisi asli tanah $0,95 < 1,5$ (tidak aman).

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Yang Dilakukan

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti Terdahulu						Penelitian Yang Dilakukan
Peneliti	Afdhal (2023).	Kafilanda (2019).	Kusuma (2020).	Lexy Dua Lembang (2021).	Pratama (2021).	
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program <i>Geoslope</i> 2018 (Studi Kasus: Proyek Jalan Tawang-Ngalang segmen IV STA. 7+750 Gunungkidul D.I Yogyakarta).	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil Dengan Program <i>Geoslope</i> (Studi Kasus: Jalan Tol Balikpapan-Samarinda STA. 1+975).	Analisis stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil Dengan Program <i>Plaxis</i> .	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga.	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Berjenjang Tipe <i>Concrete Cantilever</i> Menggunakan Program <i>Plaxis</i> 8.6	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan <i>Geotextile Woven</i> Pada Proyek Kalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1) STA 75+900.

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti Terdahulu						Penelitian Yang Dilakukan
Peneliti	Afdhal (2023).	Kafilanda (2019).	Kusuma (2020).	Lexy Dua Lembang (2021).	Pratama (2021).	
Tujuan Penelitian	Tujuan penelitian ini adalah mengetahui nilai angka aman stabilitas lereng asli dengan menggunakan <i>geoslope 2018</i> dan nilai aman setelah diubah sudut kemiringan lereng dan diberi perkuatan menggunakan perkuatan <i>geoslope 2018.</i> ,	Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai angka aman lereng asli sudut 46 dan lereng geometri asli sudut 61 secara manual dan yang diberi perkuatan geotekstil menggunakan program <i>plaxis</i> .	Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai angka aman dari kondisi tanah timbunan asli terhadap kelongsoran dengan program <i>plaxis</i> , mengetahui nilai angka aman yang diperkuat dengan variasi tinggi, dan nilai penurunan tanah yang diperkuat dengan variasi tinggi.	Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai angka aman lereng asli sudut 46 dan lereng geometri asli sudut 61 secara manual dan yang diberi perkuatan geotekstil menggunakan program <i>plaxis</i> .	Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan stabilitas lereng eksisting dengan program <i>plaxis 8.6</i> dan metode <i>fellenius</i> .	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai angka aman (SF) menggunakan metode <i>Fellenius</i> dan nilai angka aman (SF) lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan dengan Program <i>Plaxis V.22</i> .

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Peneliti Terdahulu					Penelitian Yang Dilakukan
	Afdhal (2023).	Kafilanda (2019).	Kusuma (2020).	Lexy Dua Lembang (2021).	Pratama (2021).	
Metode Penelitian	Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data masukan tanah asli dan analisis dilakukan dengan menggunakan program <i>geoslope</i> 2018 dan perhitungan manual..	Metode yang digunakan penelitian ini yaitu dalam analisis pada tanah lereng asli menggunakan aplikasi Slope/W untuk mengetahui nilai faktor keamanan dan diberi perkuatan pada lereng jalan Tol dengan perkuatan geotekstil agar mendapatkan nilai faktor keamanan.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menganalisis timbunan asli yang tidak diperkuat dengan <i>Plaxis</i> 8.6. Untuk timbunan yang mengalami <i>collapse</i> harus di hitung dengan metode <i>fellenius</i>	Metode yang digunakan dengan metode perhitungan dengan metode elemen hingga menggunakan program <i>Plaxis</i> 8.6. penelitian menggunakan variasi lereng asli sudut 46 dan desain lereng geometri baru sudut 61.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini perhitungan manual yang akan dilengkapi dengan analisis menggunakan bantuan program <i>plaxis 8.6</i> dan digunakan perkuatan tanah berupa dinding penahan tanah tiper kantilever berjenjang yang kemudian akan dilakukan analisis pada dua lereng dalam kondisi normal dan kondisi ekstrem.	Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah perhitungan manual dengan metode <i>Fellenius</i> untuk mendapatkan nilai <i>safety factor</i> (SF) dan Program <i>Plaxis V.22</i> untuk mendapatkan nilai SF dan <i>Displacement</i> .

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Peneliti Terdahulu					Penelitian Yang Dilakukan
	Afdhal (2023).	Kafilanda (2019).	Kusuma (2020).	Lexy Dua Lembang (2021).	Pratama (2021).	
Hasil Penelitian	Berdasarkan hasil yang didapatkan pada timbunan lereng asli sudut 35 SF tanpa beban gempa saat masa konstruksi fase satu $3,638 > 1,5$, fase kedua $1,759 > 1,5$, fase ketiga $1,396 > 1,5$ dan saat pasca konstruksi sebesar $1,303 < 1,5$.	Berdasarkan hasil didapat Sf dari program Slope/W sebesar $1,159 < 1,5$ serta faktor keamanan menggunakan metode fellenius dan hitungan manual pada kondisi asli tanah $0,95 < 1,5$ (tidak aman).	Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan pada timbunan dengan tinggi 8meter mengalami <i>collapse</i> sehingga harus dihitung dengan metode <i>fellenius</i> . Setelah diperkuat dengan geotekstil, didapatlah hasil dari seluruh timbunan dikategorikan aman karena suda memenuhi syarat.	Berdasarkan hasil dari pemodelan lareng asli tanpa perkuatan didapat SF 0,9675 dengan perhitungan manual dan 1,306 setelah diberi perkuatan akbibat beban struktur dan 1,3679 beban gempa.. Untuk nilai SF desain geometri baru sudut 61 tanpa perkuatan di peroleh nilai 0,9541 dengan perhitungan manual, dan 1,2913 setelah diberi perkuatan akibat beban struktur dan 1,2902 akibat beban gempa.	Berdasarkan hasil penelitian diperoleh SF sebesar 1,2282 pada keadaan tanpa perkerasan dan perhitungan manuak metode fellenius didapatkan SF sebesar 1,20787, hal ini membuktikan bahwa lereng dalam kondisi kritis dan pernah mengalami terjadi longsor. Selanjutnya perhitungan manual stabilitas eksternal dinding penahan tanah didapatkan hasil pada dinding penahan tanah berjenjang SF guling $3,5109 > 2$ (aman, SF geser $2,2074 > 2$ (aman), SF kapasitas daya dukung tanah $12,9753 > 3$ (aman).	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah merupakan lapisan permukaan bumi yang di dalamnya mengandung mineral, bahan organik, dan material endapan yang membentuk suatu kesatuan. Ikatan pada partikel-partikel tanah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, ataupun oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel (Hardyatmo,2006). Tanah dapat terbentuk karena terjadinya pelapukan batuan yang menjadi partikel-partikel lebih kecil akibat proses mekanis dan kimia. Pelapukan mekanis terjadi dikarenakan tekanan fisik dan gaya-gaya mekanis seperti tekanan hidrostatik, perubahan suhu, getaran, dan aktivitas organisme hidup yang mengakibatkan hancurnya batuan tersebut. Untuk pelapukan kimia terjadi saat mineral-mineral dalam batuan bereaksi dengan air, gas atmosfer, ataupun zat-zat lain disekitarnya, pelapukan ini menghasilkan perubahan dalam struktur mineral dan komposisi kimia batuan dan akan menyebabkan kerapuhan dan pembusukan pada batuan.

A. Klasifikasi Tanah

Tanah merupakan hal pertama yang harus kita lakukan pengecekan pada saat ini membangun sebuah bangunan, jembatan, jalan, ataupun lainnya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah tanah disekitar lokasi proyek tersebut sudah sesuai dengan klasifikasi yang ditentukan.

Sistem klasifikasi tanah adalah cara mengumpulkan dan mengelompokkan tanah berdasarkan kesamaan dan kemiripan sifat serta ciri yang serupa. Sistem klasifikasi tanah sangat membantu dalam perancangan dikarenakan dapat memberikan petunjuk dengan metode empiris yang didasarkan pengalaman masa lalu.

Klasifikasi tanah yang umum digunakan ada beberapa, berikut penjelasannya.

1. System Klasifikasi AASTHO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*).

System klasifikasi AASTHO awalnya diperkenalkan oleh Hoentogler dan Tarzaghi. Klasifikasi ini berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, *subbase*, dan *subgrade*, dengan membagi tanah kedalam 8 kelompok seperti pada Tabel 3.1. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung menggunakan rumus-rumus empiris.

Tabel 3. 1 Sistem Klasifikasi Tanah AASTHO

Klasifikasi umum	Material granuler (< 35% lolos saringan No.200)							Tanah-tanah lanau-lempung (< 35% lolos saringan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis saringan (% lolos)											
2,00 mm (no. 10)	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. 40											
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	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

(Sumber: Hardyatmo, 2014)

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

System klasifikasi USCS pada awalnya diperkenalkan oleh Casagrande (1942) untuk digunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang. 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 subkelompok yang terdapat pada Tabel 3.2 dibawah.

Tabel 3. 2 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Prosedur Klasifikasi		Symbol	Nama Jenis	Identifikasi Lab	
Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 200 / Ø 0.075 mm)	Kerikil (lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 4 / Ø 4.75 mm)	Kerikil Murni (Tanpa – sedikit butir halus)	GW	Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa / tak ada butiran halus	CU = D60/D10 = 1 – 4 CC = D30 ² /D10 = 1-3
			GP	Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butira halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW
		Kerikil Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butiran halus)	GM	Kerikil berlanau, kerikil mengandung pasir – lanau bergradasi buruk	Indek Plastisitas kurang dari 7
			GC	Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	Indek Plastisitas lebih dari 7
	Pasir (lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 4 / Ø 4.75 mm)	Pasir Bersih (Tanpa / sedikit butir halus)	SW	Pasir bergradasi baik, Pasir dengan sedikit pasir tanpa butiran halus	CU = D60/D10 ≥ 6 CC = D30 ² /D10 = 1-3
			SP	Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC SW
		Pasir Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butiran halus)	SM	Pasir berlanau, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk	Indeks Plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25
			SC	Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk	Indeks plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25

(Sumber: Hardyatmo, 2010)

Pada system ini membedakan tanah atas tiga kelompok besar, yaitu:

1. **Tanah Berbutir Kasar**, kurang dari 50% lolos saringan No. 200, yaitu tanah berkerikil dan berpasir. Simbol kelompok ini dimulai dari huruf awal G untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan S untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
2. **Tanah Berbutir Halus**, lebih dari 50% lolos saringan No. 200, yaitu tanah berlanau dan belempong. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau anorganik, C untuk lempung anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol Pt digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

3. **Tanah Organik (gambut/humus)**, secara laboratorium dapat ditentukan jika perbedaan batas cair tanah contoh yang belum dioven dengan yang telah dioven sebesar $>25\%$.

3.2 Lereng

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 (Lembang,2021)

3.2.1 Kelongsoran

BNPB (2021) memberikan definisi tanah longsor sebagai salah satu jenis gerakan massa tanah atau batuan, ataupun percampuran keduanya yang menuruni atau keluar lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng. Broms (1997) mengklasifikasikan longsoran berdasarkan kedalamannya yang terdiri dari longsoran permukaan, longsoran dangkal, longsoran dalam dan longsoran sangat dalam. Klasifikasi longsor berdasarkan kedalamannya dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Klasifikasi Longsor Broms (1997) dalam Hardiyatmo (2012)

Tipe	Kedalaman
Longsoran permukaan	<1,5 m
Longsoran dangkal	1,5-5 m
Longsoran dalam	5-20 m
Longsoran sangat dalam	>20 m

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

3.2.2 Penyebab Kelongsoran

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

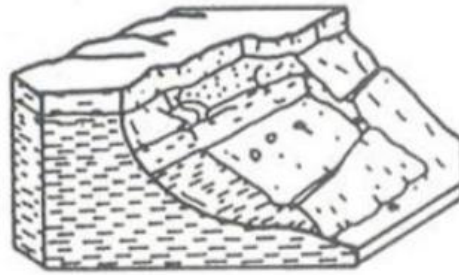
1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenang di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuhan-tumbuhan yang tertiuip angin dan lain-lain.
2. Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng.
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 Macam-Macam Kelongsoran

Menurut Hardiyatmo (2014) karakteristik kegagalan lereng dapat dibagi mejadi lima macam.

1. Longsoran rotasi

Longsoran rotasional umumnya terjadi pada lereng yang tanahnya homogen. Bidang longsor berbentuk lingkaran dan dalam, dan massa tanah yang longsor cenderung menyatu, walaupun kadang-kadang tampak adanya scarp di bagian atas longsor. Longsoran rotasional dapat terjadi pada timbunan atau galian. Adapun gambar longsoran rotasional dapat dilihat pada Gambar 3.1.

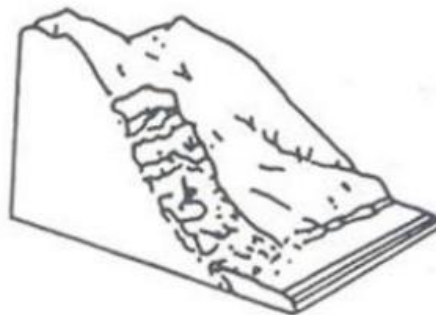


Gambar 3. 1 Gerakan Tanah Jenis Longsoran Rotasi

(Sumber: Mitchell and Villet, 1987)

2. Longsoran Translasi

Jenis longsoran ini terjadi ketika massa tanah dan batuan bergerak sepanjang bidang gelincir yang cenderung datar atau memiliki kemiringan landai. Gerakan translasi terjadi sepanjang diskontinuitas atau bidang lemah yang sejajar dengan permukaan lereng. Contohnya seperti yang terlihat pada Gambar 3.2. Dalam kondisi tanah lempung, translasi dapat terjadi di sepanjang lapisan tipis pasir atau lanau, terutama jika bidang lemah tersebut sejajar dengan lereng yang ada. Longsoran translasi pada tanah lempung yang mengandung lapisan pasir atau lanau dapat disebabkan oleh tekanan air pori yang tinggi di dalam pasir atau lanau tersebut.



Gambar 3. 2 Gerakan Tanah Jenis Longsoran Translasi

(Sumber: Mitchell and Villet, 1987)

3. Aliran

Longsoran yang berupa aliran lanau atau lumpur berupa gerakan material tanah dangkal di dekat permukaan. Aliran lumpur terdiri dari aliran tanah lembek jenuh yang bergerak ke bawah seperti air. Kelongsoran sering terjadi tanpa tanda-tanda selama atau sesudah hujan lebat, atau kalau di negara barat ketika salju mencair. Aliran lumpur ini, sering terjadi pada lereng tajam yang tanah pembentukannya berupa pasir atau lanauan dengan atau sedikit kandungan lempung. Adapun gambar longsoran aliran dapat dilihat pada Gambar 3.3.

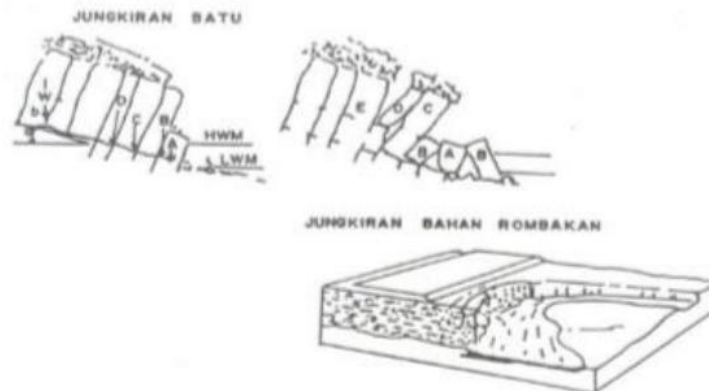


Gambar 3. 3 Gerakan Tanah Jenis Aliran

(Sumber: Mitchell and Villet, 1987)

4. Longsoran Blok

Longsoran blok terjadi dalam bentuk blok masif dari material tanah atau batuan yang bergerak dalam satu kesatuan dan terjadi disepanjang bidang longsor tertentu, atau di sepanjang kekar (*joint*) batuan. Bidang longsor umumnya terdiri dari material lemah atau kekar. Longsoran balok dapat terdiri dari unit tunggal maupun banyak yang bergerak pada waktu yang berbeda. Longsoran tipe ini sangat berbahaya, Karena terjadi sangat cepat dan tanpa tanda-tanda awal. Adapun gambar longsoran blok dapat dilihat pada Gambar 3.4.

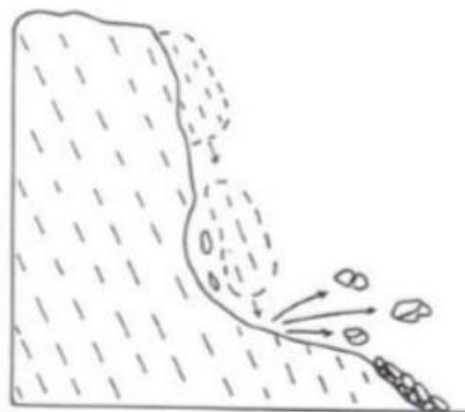


Gambar 3. 4 Gerakan Tanah Jenis Longosoran Blok

(Sumber: Mitchell and Villet, 1987)

5. Runtuhan Batuan

Runtuhan batuan terjadi dalam bentuk jatuhnya batu-batuan ke permukaan jalan. Batu jatuh oleh akibat pelapukan lapisan batuan yang berada di bawahnya. Runtuhan batuan masif bisa sering terjadi oleh akibat pelapukan, hujan, mencairnya es, pembekuan dan sebagainya. Di alam, batuan massif sering mengandung kekar-kekar (*joint*). Adapun gambar runtuhan dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Gerakan Tanah Jenis Runtuhan

(Sumber: Mitchell and Villet, 1987)

3.3 Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng merupakan suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan penggalian dan penimbunan tanah, serta

batuan dan bahan galian, karena menyangkut persoalan keselamatan manusia (pekerja), keamanan peralatan serta kelancaran produksi. Keadaan ini berhubungan dengan terdapat dalam bermacam-macam jenis pekerjaan, misalnya pada pembuatan jalan, bendungan, penggalian kanal, penggalian untuk konstruksi, penambangan dan lain- lain (Kharisma, 2020).

Pada beberapa kasus ditemukan bahwa kondisi tanah dasar yang tidak ideal dan memerlukan beberapa penanganan, salah satunya adalah dengan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah/lereng adalah suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan daya dukung suatu lapisan tanah dengan cara memberikan perlakuan khusus terhadap lapisan tanah tertentu. Tujuan dari stabilisasi tanah adalah sebagai berikut:

1. Untuk memperbaiki atau meningkatkan daya dukung tanah.
2. Untuk memperbaiki atau memperkecil penurunan lapisan tanah.
3. Untuk memperbaiki atau menurunkan permeabilitas dan potensi *swelling* tanah
4. Untuk menjaga atau mempertahankan potensi tanah yang ada.

(Pratama, 2021)

Berdasarkan Hardiyatmo (2014) dalam praktek, analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*). Adapun maksud dari analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng, beberapa anggapan dibuat sebagai berikut ini.

1. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
2. Massa 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

Berdasarkan Hardiyatmo (2014) faktor keamanan didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, yang dinyatakan dengan Persamaan 3.1.

$$F = \frac{T}{\tau d} \quad (3.1)$$

Keterangan:

τd = tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah (kN/m²)

τd = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m²)

F = faktor aman

Menurut teori *Mohr-Coulomb* dalam Hardiyatmo (2014), tahanan terhadap tegangan geser (τ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, di sepanjang bidang longsohnya, dapat dinyatakan oleh oleh Persamaan 3.2.

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

Keterangan:

τ = tegangan geser (kN/m²)

C = kohesi (kN/m²)

φ = sudut gesek dalam tanah (derajat)

σ = tegangan normal (kN/m²)

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi (τd) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsohnya sesuai Persamaan 3.3.

$$\tau_d = C_d + \sigma_d \operatorname{tg} \varphi_d \quad (3.3)$$

Keterangan:

τ_d = tegangan geser (kN/m²)

C_d = kohesi (kN/m²),

σ_d = sudut gesek dalam tanah (derajat), dan

φ_d = tegangan normal (kN/m²).

Substitusi persamaan 3.2 dan 3.3 ke Persamaan 3.4 diperoleh faktor aman.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} = \frac{c + \sigma \tan \phi}{c_d + \sigma \tan \phi_d} \quad (3.4)$$

a. Faktor Keamanan

Dalam analisis kemantapan lereng dengan permukaan gelincir yang diasumsi sebagai lengkungan lingkaran, maka gaya yang mendorong massa tanah di atas 25 lengkungan lingkaran sehingga menggelincir harus dibandingkan dengan gaya geser sepanjang lengkungan lingkaran yang menahan longsoran itu. Karena gaya dorong dan gaya tahan berbeda dengan kedudukan dan jari-jari lengkung lingkaran, maka harus dilakukan analisis dengan mengubah kedudukan dan jari-jari lengkung lingkaran untuk beberapa nilai dengan cara asumsi. Berbagai metode diusulkan untuk perbandingan antara gaya dorong dan gaya penahan sehingga angka aman adalah: gaya yang menggelincirkan gaya penahan $SF =$ Bila faktor keamanan didapat 1, ini berarti bahwa lereng sudah hampir dalam bahaya keruntuhan lereng/longsor. Akibatnya, untuk mendapatkan lereng yang ditetapkan maka *safety factor* (SF) 1,0. Dalam buku Mekanika Tanah I karya (Hardiyatmo H.C., 2009), Bowles J.E. (1989) menjelaskan bahwa keadaan lereng berdasarkan nilai *safety factor* (SF) nya dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3. 4 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)

3.4 Metode *Fellenius*

Metode *Fellenius* 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 3.1 sampai Persamaan 3.2.

$$N' = (W \times \cos\alpha) - (u \times l) \quad (3.1)$$

$$SF = \frac{c' \cdot L_a + \tan \phi' \sum N'}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (3.2)$$

Keterangan:

N' = gaya normal efektif (kN/m)

W = berat total irisan (kN/m)

A = sudut geser singgung masing-masing irisan (derajat)

U = tekanan air pori pada pusat dasar (kN/m²)

l = panjang dasar (m)

L_a = panjang busur (m)

Φ = sudut gesek dalam (derajat)

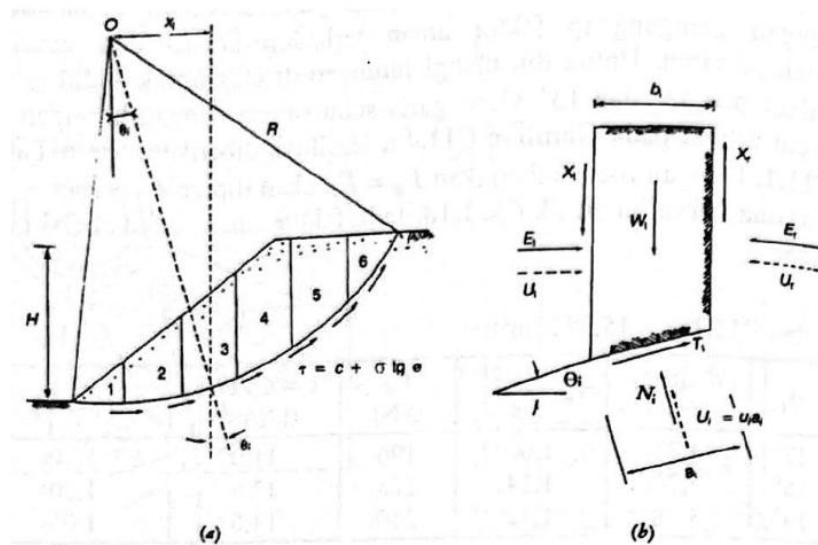
c' = kohesi tanah efektif (kN/m²)

Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja di tengah-tengah *slice*. Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisannya adalah sama dengan nol, atau bias juga disebutkan bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan. Jadi total asumsi yang dibuat oleh metode ini adalah:

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

Total : $2n - 1$

Ilustrasi mengenai pemodelan metode *fellenius* dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut ini:



Gambar 3. 6 Gambar Ilustrasi gaya gaya pada setiap irisan dengan metode *Fellenius*

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

3.5 *Geotextile Woven*

Geotekstil merupakan suatu bahan sintesis *permeable* yang bahan dasarnya terbuat dari tekstil polimer seperti *polyester* atau *polypropylene*. Geotekstil dapat digunakan atau berfungsi sebagai separator, filter, proteksi, dan perkuatan.

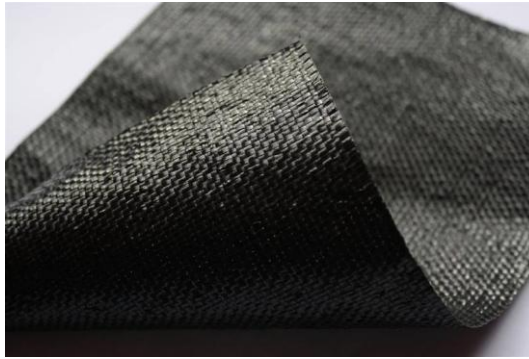
Secara umum geotekstil terbagi menjadi dua jenis yaitu geotekstil teranyam (*woven*) dan geotekstil tak teranyam (*non-woven*). Geotekstil *woven* merupakan salah satu jenis geotekstil yang pembuatannya dengan cara dianyam dan pada umumnya berbahan dasar *polypropylene* (PP). Geotekstil *woven* ini terlihat secara visual seperti karung beras. Fungsi geotekstil *woven* yaitu sebagai bahan stabilisasi tanahdasar (terutama pada tanah dasar lunak), karena mempunyai *tensile strength* (kuat tarik) yang lebih tinggi dibandingkan dengan geotekstil *non-woven* (Sari,2019).

Jika dilihat dari segi fungsinya, terdapat beberapa contoh aplikasi geotekstil yang telah digunakan sampai saat ini, antara lain.:

1. Sebagai pemisah antara bahan yang berbeda, geotekstil ditempatkan di dalam struktur perkerasan jalan dan bandara, baik di antara tanah dasar (*subgrade*) dan lapis pondasi agregat batuan, maupun di antara lapisan aspal lama dan baru (*overlay*). Dalam konstruksi timbunan, geotekstil diletakkan di dasar timbunan yang berada di atas tanah lunak, dengan tujuan tidak hanya memisahkan lapisan- lapisan timbunan, tetapi juga memperkuat struktur timbunan tersebut.
2. Berfungsi sebagai penyaring, geotekstil digunakan dalam aplikasi filter dengan cara memasangnya di sekitar agregat batuan atau pipa pengumpul dalam saluran drainase bawah tanah. Saat terpasang di dalam timbunan, geotekstil berperan sebagai penyaring untuk mencegah butiran halus dari timbunan terbawa oleh aliran rembesan.
3. Sebagai peningkatan kekuatan struktur yang didirikan di atas tanah yang lunak, geotekstil dapat ditempatkan pada bagian lereng dengan mempertimbangkan jarak tertentu. Ini sesuai dengan tujuannya untuk memperkuat lereng pada timbunan yang curam atau landai, sehingga kestabilan lereng dapat dipertahankan (Hardiyatmo, 2008).

Geotekstil anyam (*woven*) dibuat dengan cara dianyam seperti yang terlihat pada Gambar 3.7. Jenis geotekstil ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi, sehingga sering digunakan sebagai lapisan perkuatan atau pemisah dalam aplikasinya di

lapangan. Sebagai perkuatan, geotekstil anyam berfungsi sebagai tulangan pada tanah. Sementara sebagai pemisah, geotekstil anyam berfungsi untuk memisahkan antara tanah lunak dan tanah keras.



Gambar 3. 7 Geotekstil Woven
(Sumber: Geotekstil Nusantara, 2016)

3.6 *Plaxis*

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

Kondisi di lapangan yang disimulasikan dengan program *Plaxis* ini bertujuan untuk diaplikasikan dari pengerjaan program ke tahapan pelaksanaan di lapangan. Sehingga hasil dari program tersebut lebih memudahkan pada proses olah data yang diharapkan dapat menghemat waktu namun hasilnya sesuai dengan perhitungan manual (Kharisma,2020).

Implementasi kondisi lapangan ke dalam program *Plaxis* bertujuan untuk memodelkan langkah-langkah pelaksanaan di lapangan dalam tahapan pengerjaan program. Tujuannya adalah agar pelaksanaan di lapangan sejajar dengan simulasi program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat dianggap sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya.

Tahap analisis menggunakan program *Plaxis* melibatkan beberapa langkah yang harus dilakukan sebagai berikut.

1. *Input data*

Pada tahap ini, dilakukan pemodelan dengan memasukkan data geometri dinding penahan tanah dan lereng yang akan dianalisis, data material tanah, pembebanan, pengaturan meshing, dan kondisi awal. Dengan demikian, model yang dihasilkan dapat menggambarkan kondisi yang ada di lapangan.

2. *Calculation*

Setelah melakukan pemodelan pada tahap input, tahap berikutnya adalah perhitungan. Pada tahap ini, analisis dilakukan sesuai dengan kebutuhan terhadap model yang telah ditentukan pada tahap input data. Terdapat beberapa jenis perhitungan yang tersedia, seperti perhitungan plastisitas, konsolidasi, pengurangan ϕ/c , dan analisis dinamis.

3. *Output*

Setelah menyelesaikan analisis, hasil dari perhitungan pada tahap sebelumnya dapat dilihat pada tahap *output*. Hasil analisis pada tahap output dapat ditampilkan dalam bentuk angka, gambar, dan kurva. *Output* yang dihasilkan dan akan ditinjau dalam penelitian ini meliputi pergeseran total, potensi kelongsoran, faktor keamanan, dan tegangan total.

4. Kurva

Selain dapat dilihat melalui output, hasil analisis juga dapat direpresentasikan dalam bentuk kurva. Kurva ini menggambarkan hasil dari semua tahapan perhitungan dan menunjukkan dua parameter untuk membandingkan setiap tahap perhitungan. Dalam penelitian ini, kurva faktor keamanan dan kurva pergeseran vertikal akan diambil sebagai pembanding

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini dilakukan pada lereng diproyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1) STA 75+900. Penelitian ini mencakup analisis stabilitas lereng dengan kondisi tanah asli dan tanah yang telah diberikan perkuatan *geotextile woven*. Untuk perhitungan digunakan metode *Fellenius* dan program *Plaxis* yang outputnya berupa nilai Faktor Keamanan (*Safety Factor*). Parameter analisis melibatkan variasi ketinggian timbunan lereng untuk mengidentifikasi tinggi timbunan yang berpotensi mengalami kelongsoran dan akan diperkuat menggunakan perkuatan jenis geotekstil *woven* dengan $SF > 1,350$, yang merupakan standar dalam perencanaan keamanan lereng pada konstruksi jalan tol. Melalui analisis tersebut, diharapkan *geotextile woven* menghasilkan faktor keamanan yang optimal dan dapat menahan beban tanah dengan baik.

4.2 Data Penelitian

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

1. Data Parameter Tanah
2. Peta Lokasi
3. Gambar Potongan Melintang Jalan
4. Data N-SPT

4.3 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan diproyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1) pada STA 75+900. Untuk peta lokasi jalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1) dan detail lokasi beserta dengan penjelasan singkat dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Lokasi Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Seksi 1
(Sumber: Kompas.com, 2020)



Gambar 4. 2 Detail Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Seksi 1
(Sumber : Kabarjawa, 2025)

Berikut adalah gambar detail proyek dan lokasi STA 75+900 yang diberi tanda titik merah, titik ini berada di wilayah Kecamatan Tempel dan berbatasan dengan Ngluwar (Magelang), Kabupaten Sleman, D.I Yogyakarta

4.4 Tahapan Penelitian

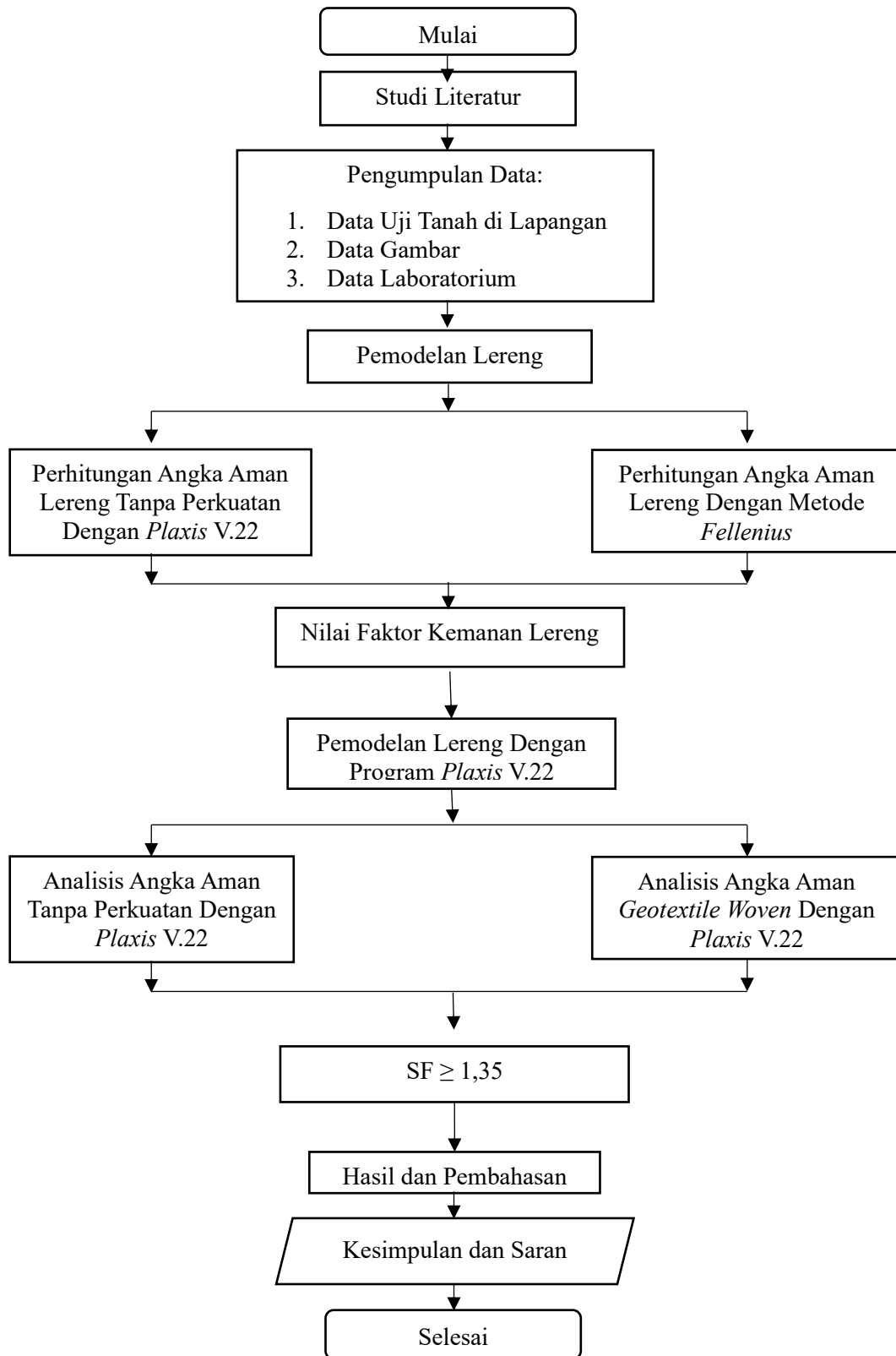
1. Tahap pengumpulan data melibatkan pengambilan data tanah dari uji lapangan dan laboratorium yang diperlukan untuk analisis berdasarkan Laporan Analisis Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 (Seksi 1).
2. Tahap analisis dan pengolahan data melibatkan pengolahan data yang telah dikumpulkan, baik data uji lapangan maupun data laboratorium dan akan dilakukan pemodelan lereng. Selanjutnya perhitungan manual nilai angka aman dengan bantuan program *Plaxis* dan perhitungan manual dengan metode *Fellenius*.
3. Tahap pengolahan data selanjutnya dengan melakukan pemodelan lereng yang sudah ditambah kekuatan geotekstil dan perhitungan nilai angka aman (SF) dengan bantuan program *Plaxis* untuk dibandingkan dengan yang tanpa kekuatan.
4. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan melibatkan penulisan laporan yang berisi hasil analisis yang telah dilakukan. Laporan tersebut akan berupa solusi untuk masalah-masalah yang muncul dan kesimpulan berdasarkan hasil perhitungan.

4.5 Analisis Data

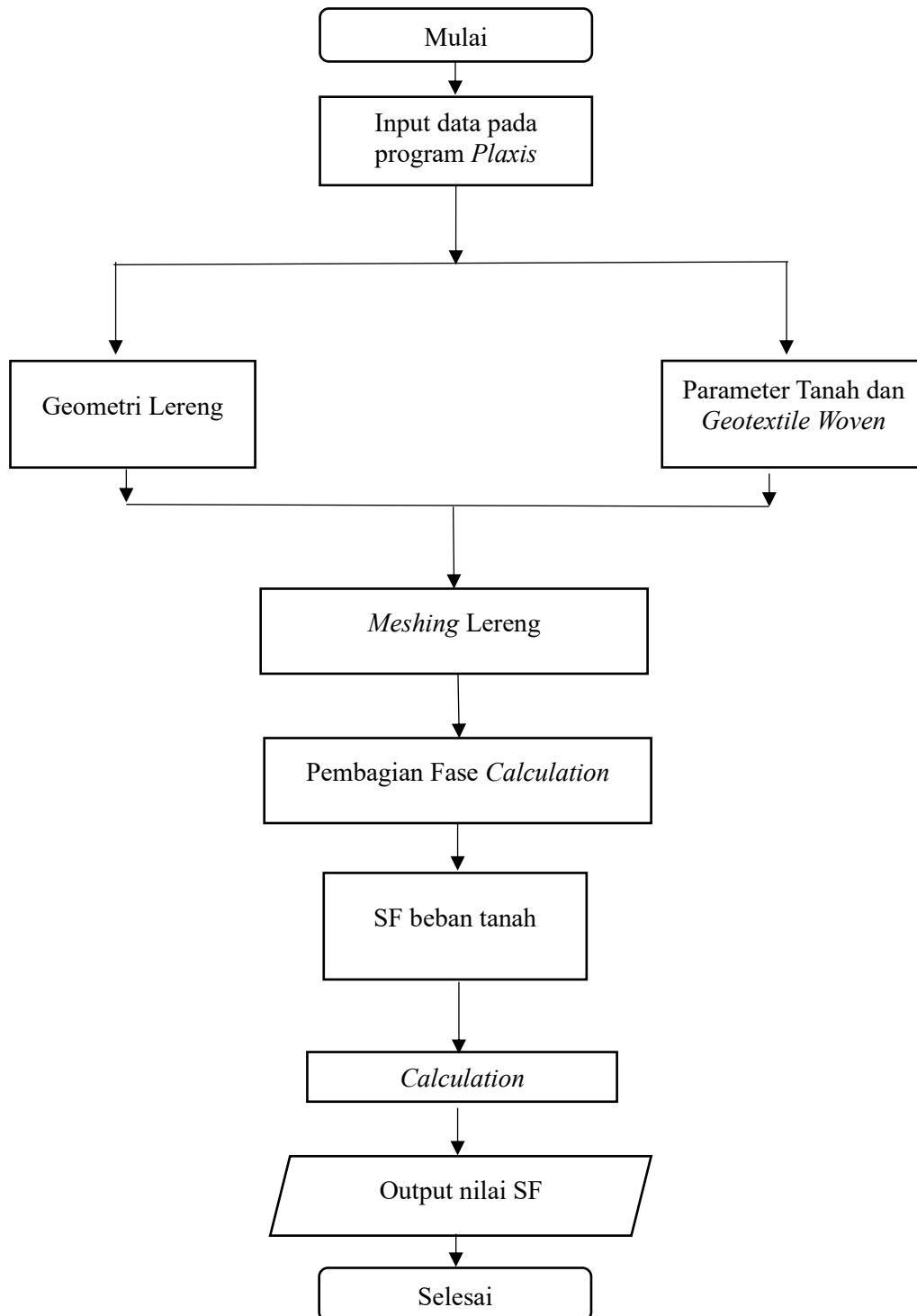
Metode analisis data adalah pendekatan yang digunakan untuk mempermudah pemahaman dan penyederhanaan data yang telah diperoleh. Data tersebut kemudian akan dianalisis melalui tahapan-tahapan yang sesuai.

4.6 Bagan Alir

Pada penelitian ini terdapat prosedur atau alur penelitian dan Bagan Alir Pemodelan Lereng yang dapat memudahkan dalam penelitian agar lebih terstruktur dari tahap awal hingga tahap akhir. Bagan alir yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 Berikut ini.



Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.4 Bagan Alir Program *Plaxis*

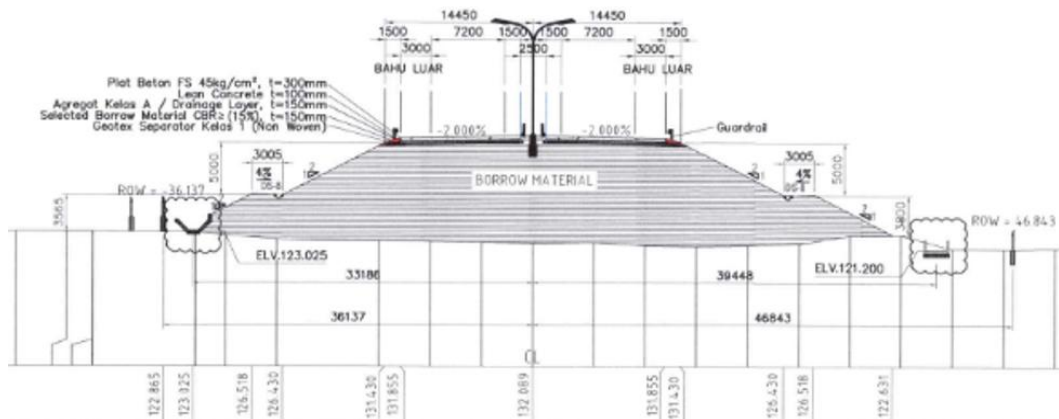
BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Analisis Data Lereng Asli

Lereng yang dianalisis terletak pada proyek pembangunan Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Paket 1 (Seksi 1) STA 75+900. Berdasarkan gambar potongan melintang dan data bor BH-13, lereng ini memiliki tinggi $\pm 8,5$ meter dengan panjang sekitar 20 meter dan sudut kemiringan rata-rata 45° atau rasio lereng 1V:1H. Hasil pengeboran menggunakan metode *Rotary Cored Drilling* menunjukkan bahwa lapisan tanah di lokasi terdiri dari *silty sand*, *clayey sand*, *gravel*, dan batuan tuf serta andesit. Lapisan atas didominasi oleh tanah berbutir halus dengan tingkat pelapukan tinggi, warna kecoklatan, dan kandungan akar serta kelembaban yang signifikan, yang menunjukkan potensi erosi dan ketidakstabilan lereng. Sementara itu, lapisan bawah berupa tuf dan andesit memiliki struktur lebih padat dan tingkat pelapukan rendah, namun tetap menunjukkan potensi retakan dan perubahan volume akibat fluktuasi kadar air.

Uji laboratorium *Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test* terhadap sampel tanah dari lokasi menunjukkan nilai kohesi (c) sebesar $8,419 \text{ kg/cm}^2$ dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar 0° , yang mengindikasikan bahwa tanah memiliki kekuatan geser yang dominan dari kohesi dan sangat dipengaruhi oleh kondisi jenuh. Nilai RQD pada beberapa kedalaman menunjukkan kualitas massa batuan yang bervariasi, dengan beberapa zona menunjukkan fragmen yang tidak utuh dan potensi pergerakan tanah. Berdasarkan kondisi geoteknik tersebut, lereng ini dikategorikan sebagai lereng alami yang memiliki potensi ketidakstabilan, terutama pada musim hujan atau saat terjadi perubahan kadar air tanah. Oleh karena itu, diperlukan analisis stabilitas lereng secara menyeluruh dan penggunaan perkuatan seperti geotekstil *woven* untuk meningkatkan faktor keamanan lereng. Untuk detail lebih lanjut mengenai gambar potongan melintang jalan dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Potongan Melintang Jalan
(Sumber : PT. JASAMARGA JOGJA BAWEN 2022)

5.2 Data Perkuatan Tanah, Beban, dan Perkuatan Tanah

Beban-beban yang bekerja pada lereng tersebut adalah beban kendaraan dan beban gempa. Informasi mengenai parameter tanah, dan beban-beban yang bekerja, dan perkuatan pada lereng yang digunakan tersedia dalam penjelasan berikut ini.

1. Data Parameter Tanah

Selain data potongan melintang jalan, diperoleh juga data parameter tanah yang digunakan pada proyek seperti pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 1 Data Parameter Tanah

Parameter	Notasi	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Timbunan	Satuan
Model material	–	MC	MC	MC	MC	MC	–
Jenis Perilaku Material	–	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	–
Berat Volume Tanah Tak Jenuh	γ_{unsat}	17,2	18	18	18,5	18,5	kN/m ³
Berat Volume Tanah Jenuh	γ_{sat}	19,3	20	20	20,5	20	kN/m ³
Modulus Elastisitas	E	45.000	80.000	85.000	160.000	100.000	kN/m ²
Angka Poisson	ν	0,35	0,33	0,33	0,3	0,3	–
Kohesi	C	10	10	5	0	5	kN/m ²
Sudut Geser Dalam	ϕ'	26°	28°	30°	34°	32°	°

2. Data Beban Lalu Lintas Kendaraan

Pada kasus ini, fungsi dan sistem jaringan jalan Tol Jogja-Bawen Paket 1 (Seksi 1) sebagai jalan arteri primer. Maka beban lalu lintas yang digunakan adalah sebesar 15 kN/m^2), seperti Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5. 2 Data Beban Lalu Lintas

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

(Sumber: Departemen pekerjaan Umum Tahun 2009)

3. Data Beban Gempa

Waktu interval gempa yang digunakan diasumsikan telah melewati percepatan puncak. Sedangkan untuk beban gempa, Yogyakarta memasuki wilayah gempa ke-8 dengan percepatan puncak gempa (PGA) sekitar 0,4-0,5g. Ini sebanding dengan data gempa yang terjadi di Gempa *Whittier Narrows*, California pada tahun 1987, yang memiliki PGA sekitar 0,457g. Untuk grafik respon spektrum dan peta zonasi gempa Indonesia dapat dilihat seperti Gambar 5.2 dan 5.3.

Diketahui:

$$PGA = 0,457 \text{ g}$$

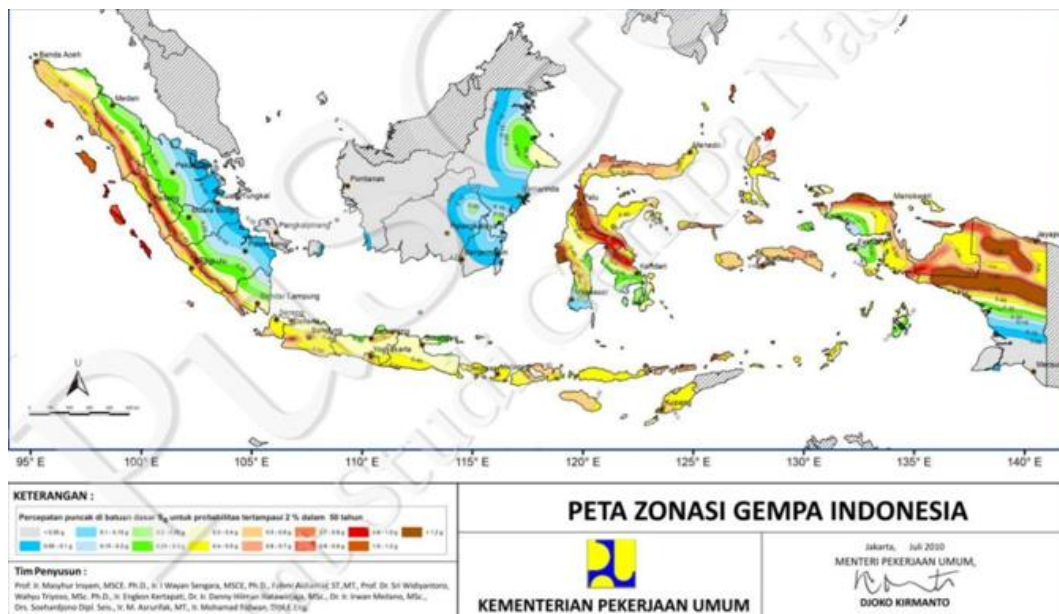
$$k_h = 0,5 \times PGA$$

$$= 0,2285$$

Berdasarkan jenis tanah yang dilihat pada SNI 8460:2017, nilai F_{PGA} yang digunakan adalah 1,1. Maka:

$$a = k_h \times F_{PGA}$$

$$= 0,2513$$



Gambar 5. 2 Pete Zonasi Gempa di Indoensia
(Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017)

4. Data Geotekstil

Jenis geotekstil yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng pada proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Paket 1 (Seksi 1) adalah Woven UW–250 produksi PT Tekindo Geosistem Unggul. Material ini dipilih karena memiliki kekuatan tarik tinggi dan deformasi rendah, sehingga efektif digunakan sebagai perkuatan lereng untuk meningkatkan faktor keamanan terhadap potensi longsor. Informasi mengenai data geotekstil *woven* dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Data Geotekstil

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ultimit	Tu	52	kN/m
Kuat Tarik Izin	Ta	26	kN/m
Kekakuan Normal	EA	260	kN/m

(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul)

5.3 Perhitungan dengan Metode *Fellenius*

Dalam analisis ini, untuk menentukan angka aman pada lereng tanpa perkuatan tanah akan menggunakan perhitungan secara manual sebagai perbandingan dengan angka aman (*safety factor*) yang didapat dari program *Plaxis*.

$$\begin{aligned}Wt_1 &= W_1 \times \sin \alpha \\ &= 132,6327 \times (\sin (51)) \\ &= 103,0750 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

d. Perhitungan $N = W_1 \times \cos \alpha$

$$\begin{aligned}Wt_1 &= W_1 \times \cos \alpha \\ &= 132,6327 \times (\cos (51)) \\ &= 83,4685 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

e. Perhitungan $N_1 \times \tan 28$

$$\begin{aligned}Nt_1 &= N_1 \times \tan 28 \\ &= 83,4685 \times (\tan (32)) \\ &= 52,1569 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Perhitungan diatas adalah contoh untuk satu pias saja. Untuk perhitungan yang lainnya dari pias 1 sampai dengan 10 untuk dapat menghitung nilai faktor keamanan dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 4 Perhitungan Manual Dengan Metode *Fellenius*

No pias	A (m²)	α	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$\tan \phi$	Wi (A x γ) (kN/m)	Wi $\cos\alpha$ (kN/m)	Wi $\sin\alpha$ (kN/m)	W $\cos\alpha \cdot \tan \phi$ (kN/m)
1	5,936	51°	0,7771	0,6293	0,6248	132,6327	83,4685	103,0750	52,1569
2	14,788	40	0,6428	0,7660	0,6248	296,4936	227,1273	190,5824	141,9249
3	17,899	31	0,5150	0,8572	0,6248	353,8731	303,3285	182,2581	189,5407
4	18,555	23	0,3907	0,9205	0,6248	319,1520	293,7810	124,7026	143,2866
5	17,711	15	0,2588	0,9659	0,6248	304,6356	294,2554	78,8455	143,5179
6	16,424	7	0,1219	0,9925	0,6248	282,4936	280,3880	34,4273	136,7543
7	16,055	0	0,0000	1,0000	0,6248	276,1423	276,1423	0,0000	134,6836
8	12,475	8	0,1392	0,9903	0,6248	214,5621	212,4740	29,8613	103,6305
9	7,409	16	0,2756	0,9613	0,6248	127,4349	122,4983	35,1258	59,7464
10	1,544	22	0,3746	0,9272	0,6248	26,5592	24,6253	9,9492	12,0105
TOTAL	128,796							788,8273	1117,2523

Dengan pertimbangan panjang jari-jari dan sudut diapit pada Gambar 5.4, maka panjang garis

$$AB = 13,117 \text{ meter}$$

$$BC = 19,855 \text{ meter}$$

Gaya perlawanan terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen kohesi adalah:

$$\Sigma c.La = (5 \times 13,117) + (10 \times 19,855) = 264,435 \text{ kN/m}$$

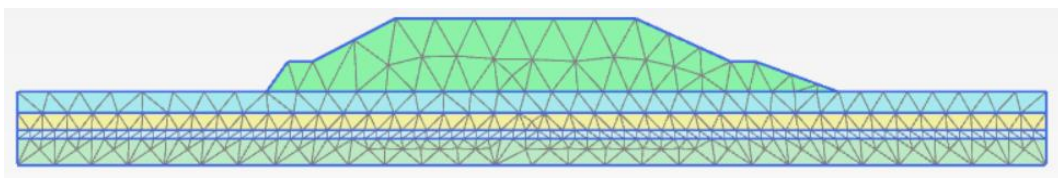
Maka berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan nilai faktor keamanan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\Sigma (c \times L + \tan \theta \times W \cos \alpha)}{\Sigma W \sin \alpha + (q \times L)} \\ &= \frac{264,435 + 1117,2523}{788,8273 + (15 \times 29,005)} \\ &= 1,12 < 1,35 \end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual tanpa perkuatan yaitu sebesar 1,12. Hal ini menandakan bahwa lereng tidak aman dan dalam kondisi rawan terjadi longsor.

5.4 Perhitungan Stabilitas Lereng Timbunan Tanpa Perkuatan

Dalam sebuah perencanaan menggunakan geotekstil, lereng harus stabil terhadap gaya-gaya yang bekerja pada geotekstil. Pada tugas akhir ini, analisis stabilitas lereng bagian kanan STA 75+900 tanpa perkuatan tanah dihitung dengan menggunakan program *Plaxis* 2D. hasil dari pemodelan elemen jaringan (*meshing*) dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.

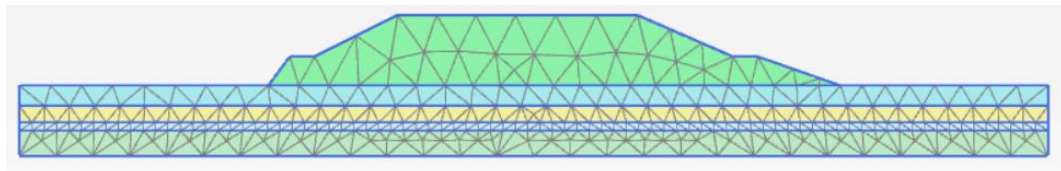


Gambar 5. 4 *Meshing* Lereng

5.4.1 Akibat Beban Timbunan

1. *Deformed Mesh*

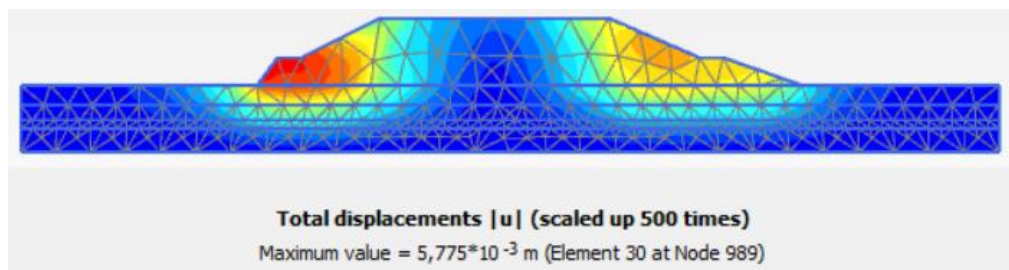
Deformed mesh adalah sebuah jaringan elemen yang tidak beraturan yang dapat berubah dikarenakan beban yang bekerja. Pada lereng ini, *deformed mesh* tanpa perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Deformed Mesh Yang Terjadi Pada Timbunan

2. Total Displacement

Pada lereng terjadi *displacement* searah vertikal akibat beban timbunan yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan 5.7 dibawah. Didapatkan SF sebesar 1,448 dan *displacement* sebesar 0,00577 m.



Gambar 5.6 Total Displacement Pada Timbunan

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	-0,05067E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0,000 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,448

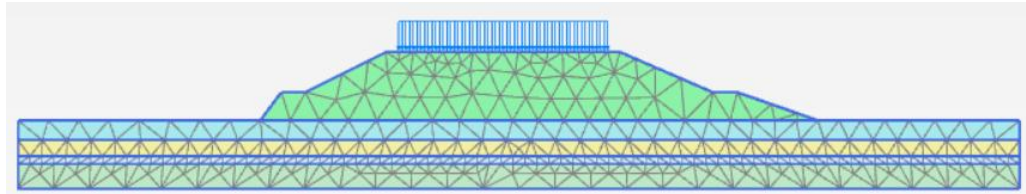
Gambar 5.7 Nilai Safety Factor Pada Timbunan

5.4.2 Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan

1. Deformed Mesh

Deformed mesh adalah sebuah jaringan elemen yang tidak beraturan yang dapat berubah dikarenakan beban yang bekerja, seperti beban

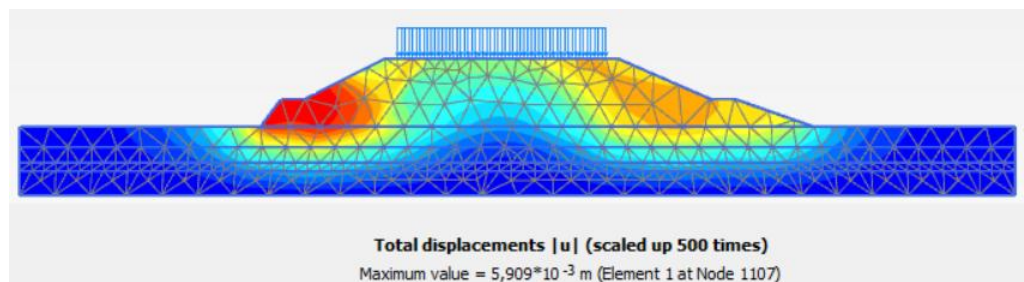
timbunan, beban kendaraan. Pada lereng ini, *deformed mesh* tanpa perkuatan akibat beban timbunan dan beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5. 8 Deformed Mesh Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan

2. Total Displacement

Pada lereng terjadi *displacement* searah vertikal akibat beban timbunan akibat beban timbunan dan beban kendaraan yang ditambahkan sebesar 15 kN/m² seperti pada Gambar 5.9 dan 5.10 dibawah. Didapatkan nilai SF sebesar 1,446 dan total *displacement* sebesar 0,00590 m.



Gambar 5. 9 Total Displacement Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan

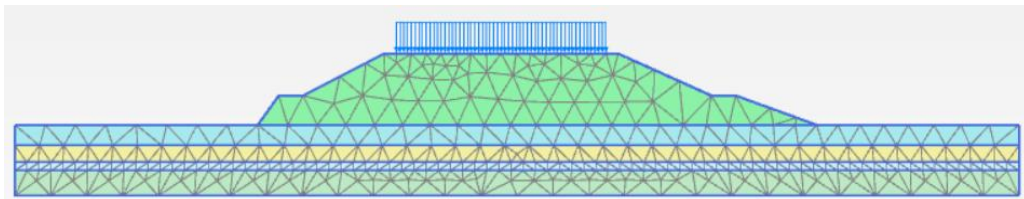
Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	-0,09037E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0,000 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,446

Gambar 5. 10 Nilai Safety Factor Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan

5.4.3 Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa

1. *Deformed Mesh*

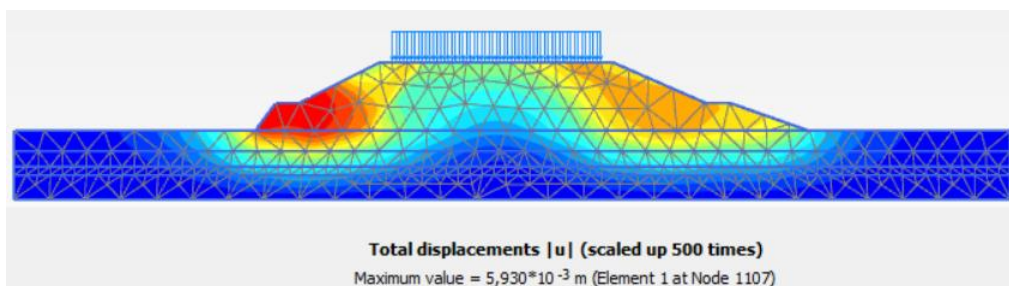
Deformed mesh adalah sebuah jaringan elemen yang tidak beraturan yang dapat berubah dikarenakan beban yang bekerja, seperti beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa. Pada lereng ini, *deformed mesh* tanpa perkuatan akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5. 11 *Deformed Mesh* Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa

2. *Total Displacement*

Pada lereng tanpa perkuatan tanah terjadi *displacement* searah vertikal akibat beban timbunan, beban kendaraan sebesar 15kN/m², dan beban gempa sebesar 0,2513 g. Hal ini dapat dilihat dengan *displacement* yang terjadi ditengah atas sebesar 0,00593 m dengan warna oranye dan SF yang didapat sebesar 1,440 seperti pada Gambar 5.11 dan 5.12 dibawah.



Gambar 5. 12 *Total Displacement* Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa

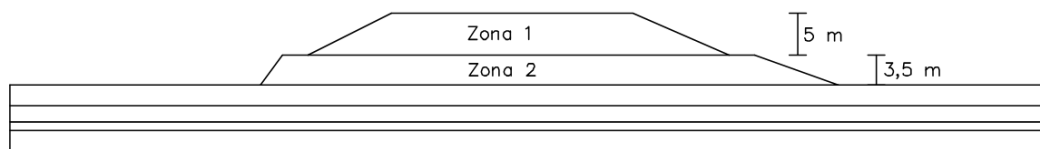
Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	0,02085E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0,000 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,440

Gambar 5. 13 Nilai *Safety Factor* Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa

Berdasarkan hasil perhitungan faktor keamanan dari hasil analisis menggunakan program *Plaxis 2D* tanpa perkuatan akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa sebesar. Hal ini menunjukkan bahwa lereng sudah aman dari ancaman terjadinya kelongsoran pada lereng dikarenakan sudah lebih dari minimal SF yaitu 1,35.

5.5 Perhitungan Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

Pada tugas akhir ini, perhitungan analisis stabilitas lereng akan menggunakan perkuatan geotekstil *woven*. Untuk metode yang akan digunakan adalah zona per zona yang dimana lereng tanah timbunan akan dibagi menjadi 2 zona. Menurut Bowles (1989) nilai faktor keamanan (SF) > 1,5 yang dimaksudkan sebuah lereng dengan intensitas longsor yang jarang terjadi. Dalam merencanakan perkuatan lereng dengan geotekstil stabil terhadap gaya-gaya yang bekerja, maka akan diperlukan analisis eksternal dan internal.



Gambar 5. 14 Pembagian Zona untuk Perhitungan Geotekstil
Berikut ini adalah data-data yang diperlukan untuk analisis stabilitas

eksternal dan internal:

1. Tanah Timbunan

- a. Berat Volume Tanah (γ_b) = $18,5 \text{ kN/m}^3$
 - b. Kohesi (c) = 5 kN/m^2
 - c. Sudut Gesek Dalam (ϕ) = 32°
 - d. Kemiringan Lereng = 23°
2. Geotekstil
- a. Jenis Geotekstil = Geotekstil woven UW-250
 - b. Kuat Tarik Ijin = 26 kN/m
 - c. Kuat Tarik Ultimit = 52 kN/m
3. Beban merata Kendaraan = 15 kN/m^2
4. Koefisien Daya Dukung Tanah

Untuk koefisien perhitungan daya dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 5 Koefisien Daya Dukung Tanah

ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ
15	11,63	4,34	3,06	24	19,32	9,60	9,44
16	11,63	4,34	3,06	25	20,72	10,66	10,88
17	12,34	4,77	3,53	26	22,25	11,85	12,54
18	13,10	5,26	4,07	27	23,94	13,20	14,47
19	13,93	5,80	4,68	28	25,80	14,72	16,72
20	14,83	6,40	5,39	29	27,86	16,44	19,34
21	15,82	7,07	6,20	30	30,14	18,40	22,40
22	16,88	7,82	7,13	31	32,67	20,63	25,9
23	18,05	8,66	8,2	32	35,49	23,18	30,22

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

5.5.1 Stabilitas Eksternal

1. Menentukan jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (SV)

Beban merata kendaraan = 15 kN/m

Safety factor = 1,35

Kohesi (c) = 5 kN/m^2

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

$$= 0,307$$

a. Zona 1

$$(\sigma_{hc} 1) = (q \times k_a) + (k_a \times H_1 \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{k_a})$$

$$= (15 \times 0,307) + (0,307 \times 5 \times 18,5) - (2 \times 5 \times \sqrt{0,307})$$

$$= 27,461 \text{ kN/m}^2$$

$$SV1 = \frac{26}{27,461 \times 1,35}$$

$$= 0,701 \text{ m}$$

Dilapangan akan dipakai = 1 m

Banyaknya lapis geotekstil = $(5)/1 = 5$

Banyak lembar yang diambil = 5

b. Zona 2

$$(\sigma_{hc} 2) = (k_a \times H_2 \times \gamma b) - (2 \times c \times \sqrt{k_a})$$

$$= 42,734 \text{ kN/m}^2$$

SF = diambil 1,35

$$SV2 = \frac{26}{42,734 \times 1,5}$$

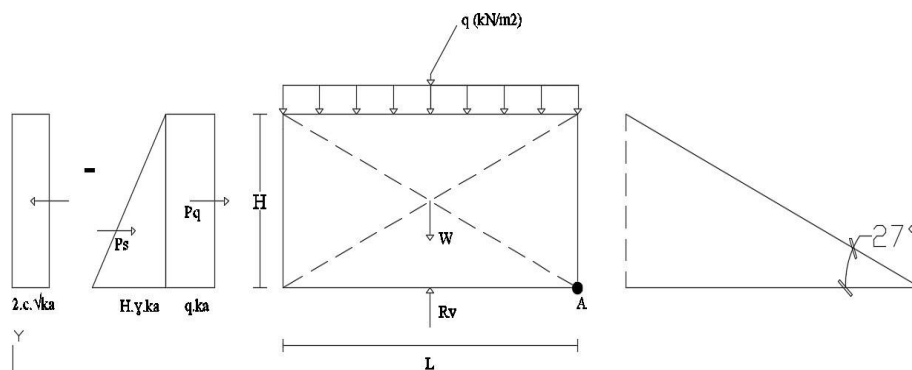
$$= 0,450 \text{ m}$$

Dilapangan dipasang = 0,5 m

Banyaknya lapis geotekstil = $(3,5)/(0,5) = 7$

Banyak lembar yang diambil = 7

2. Menentukan panjang Geotekstil berdasarkan gaya-gaya yang bekerja



Gambar 5. 15 Gaya-gaya yang Bekerja pada Bidang Miring

Zona 1:

a. Eksentrisitas

$$e = \frac{\Sigma MD}{Rv} = \frac{(Pox\frac{1}{2}H) + (Psx\frac{1}{3}H) - (Pkkx\frac{1}{2}H)}{(Hx\gamma bxL) + (qxL)}$$

Asumsi bahwa resultan gaya bekerja pada Tera (sentris)

$$1/6 L > \frac{(q \times ka \times \frac{1}{2}H^2) + (\frac{1}{2} \times ka \times \gamma b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H) - (2 \times c \times \sqrt{ka} \times \frac{1}{2}H^2)}{(Hx\gamma bxL) + (qxL)}$$

$$1/6 L > \frac{(15 \times 0,307 \times \frac{1}{2} \times 5^2) + (\frac{1}{2} \times 0,307 \times 18,5 \times 5^2 \times \frac{1}{3} \times 5) - (2 \times 5 \times \sqrt{0,307} \times \frac{1}{2} \times 5^2)}{(5 \times 18,5 \times L) + (15 \times L)}$$

$$1/6 L > \frac{106,625}{107,5 L}$$

$$107,5 L^2 > 639,75$$

$$L^2 = \frac{639,75}{107,5}$$

$$L = \sqrt{5,951}$$

$$L = 2,439 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil sebesar 2,5 m

b. Stabilitas Terhadap Guling

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

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

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

$$SF = \frac{0,5 \times 18,5 \times 5 \times L^2}{(15 \times 0,307 \times \frac{1}{2} \times 5^2) + (\frac{1}{2} \times 0,307 \times 18,5 \times 5^2 \times \frac{1}{3} \times 5) - (2 \times 5 \times \sqrt{0,307} \times \frac{1}{2} \times 5^2)}$$

$$SF = \frac{46,25 L^2}{106,625}$$

$$L^2 = \frac{106,625 \times 1,35}{46,25}$$

$$L = \sqrt{3,112}$$

$$L = 1,764 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil sebesar 2 m

c. Stabilitas terhadap Geser

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

$$\text{Tahanan geser pada dasar perkuatan } (\delta b = \frac{2}{3} \times 32 = 21,333)$$

$$SF = \frac{(L \times 5 \times 18,5 \times \text{tg } 21,333) + (15 + \text{tg } 21,333 \times L)}{(0,5 \times 5^2 \times 0,307 \times 18,5) + (15 \times 0,307 \times 5) - (2 \times 5 \times \sqrt{0,307} \times 5)}$$

$$SF = \frac{51,516 L}{66,314}$$

$$L = \frac{66,314 \times 1,35}{51,516}$$

$$L = 1,737 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil sebesar 2 m

d. Tinjauan Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

SF yang digunakan = 1,35

$$N_c = 35,49$$

$$N_q = 23,18$$

$$N_\gamma = 30,22$$

$$L < \frac{\sigma_{ult}}{H \times \gamma^b + q}$$

$$\begin{aligned} \text{Qult} &= c \times N_c + 0,5 \times L \times \gamma^b \times N_\gamma \\ &= 5 \times 35,49 + 0,5 \times L \times 18,5 \times 30,22 \\ &= 177,45 + 279,535 L \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \sigma_{ult} &= \text{qult} \times SF \\ &= (177,45 + 279,535 L) \times 1,35 \\ &= 239,55 + 377,37 L \end{aligned}$$

$$L < \frac{239,55 + 377,37 L}{(5 \times 18,5) + 15}$$

$$107,5 L < 239,55 + 377,37 L$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{239,55}{377,37 - 107,5} \\ &= 0,887 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari keempat jenis parameter di atas, diambil panjang geotekstil maksimum (L) untuk Zona 1 sebesar L = 2,5 m.

Zona 2:

a. Eksentrisitas

$$e = \frac{\Sigma MD}{Rv} = \frac{(Psx\frac{1}{3}H) - (Pkx\frac{1}{2}H)}{(Hx\gamma^b x L) + (qxL)}$$

Asumsi bahwa resultan gaya bekerja pada Tera (sentris)

$$1/6 L > \frac{\left(\frac{1}{2} x ka x \gamma b x H^2 x \frac{1}{3} x H\right) - (2 x c x \sqrt{ka} x \frac{1}{2} H^2)}{(H x \gamma b x L)}$$

$$1/6 L > \frac{\left(\frac{1}{2} x 0,307 x 18,5 x 8,5^2 x \frac{1}{3} x 8,5\right) - (2 x 5 x \sqrt{0,307} x \frac{1}{2} x 8,5^2)}{(8,5 x 18,5 x L)}$$

$$1/6 L > \frac{381,16}{157,25 L}$$

$$157,25 L^2 > 2286,96$$

$$L^2 = \frac{2286,96}{157,25}$$

$$L = \sqrt{14,543}$$

$$L = 3,813 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil sebesar 4 m

b. Stabilitas Terhadap Guling

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

$$\Sigma MD = \left(\frac{1}{2} x ka x \gamma b x H^2 x \frac{1}{3} x H\right) - (2 x c x \sqrt{ka} x \frac{1}{2} x H^2)$$

$$\Sigma MR = 0,5 x \gamma b x H x L^2$$

$$SF = \frac{0,5 x 18,5 x 8,5 x L^2}{\left(\frac{1}{2} x 0,307 x 18,5 x 8,5^2 x \frac{1}{3} x 8,5\right) - (2 x 5 x \sqrt{0,307} x \frac{1}{2} x 8,5^2)}$$

$$SF = \frac{78,625 L^2}{381,16}$$

$$L^2 = \frac{381,16 x 1,35}{78,625}$$

$$L = \sqrt{6,544}$$

$$L = 2,558 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil sebesar 2,5 m

c. Stabilitas terhadap Geser

$$SF = \frac{(L x H x \gamma b x tg \delta b)}{(0,5 x H^2 x ka x \gamma b) - (2 x c x \sqrt{ka} x H)}$$

$$\text{Tahanan geser pada dasar perkuatan } (\delta b = \frac{2}{3} x 28 = 18,667)$$

$$SF = \frac{(L x 8,5 x 18,5 x tg 21,333)}{(0,5 x 8,5 x 0,307 x 18,5) - (2 x 5 x \sqrt{0,307} x 8,5)}$$

$$SF = \frac{61,413 L}{22,958}$$

$$L = \frac{22,958 x 1,35}{61,413}$$

$$L = 0,504 \text{ m}$$

Diambil panjang geotekstil sebesar 1 m

d. Tinjauan Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

SF yang digunakan = 1,5

$$N_c = 35,49$$

$$N_q = 23,18$$

$$N_\gamma = 30,22$$

$$L < \frac{\sigma_{ult}}{H \times \gamma b}$$

$$\begin{aligned} \text{Qult} &= c \times N_c + 0,5 \times L \times \gamma b \times N_\gamma \\ &= 5 \times 35,49 + 0,5 \times L \times 18,5 \times 30,22 \\ &= 177,45 + 279,535 L \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \sigma_{ult} &= \text{qult} \times \text{SF} \\ &= (177,45 + 279,535 L) \times 1,35 \\ &= 239,557 + 377,372 L \end{aligned}$$

$$L < \frac{239,557 + 377,372 L}{(8,5 \times 18,5)}$$

$$157,25 L < 239,557 + 377,372 L$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{239,557}{377,372 - 157,25} \\ &= 1,088 \text{ m} \\ &= 1 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari keempat jenis parameter di atas, diambil panjang geotekstil maksimum (L) untuk Zona 2 sebesar L = 4 m.

5.5.2 Stabilitas Internal

1. Panjang Geotekstil *Overlapping*

$$L_o = \frac{\sigma_{hci} \times S v_i \times SF}{2 \times \gamma b \times Z_i \times \text{tg } \theta}$$

Geotekstil no. 1 Pada Zona 1

$$\sigma_{hci} = 27,461 \text{ kN/m}^2$$

$$S v_1 = 1 \text{ m}$$

$$SF = 1,35$$

$$Z_1 = 1 \text{ m}$$

$$L_o = \frac{27,461 \times 1 \times 1,35}{2 \times 18,5 \times 1 \times \text{tg } 32} = 1,603 \text{ m}$$

Diambil panjang *overlapping* sebesar 2 m. Rekapitulasi hasil perhitungan L_o tertera pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Panjang Geotekstil *Overlapping*

Zona	Geotekstil	Sv_i (m)	Z_i (m)	Lo (m)	Lo Pakai (m)
Zona 1	Geotekstil 1	1	1	1,603464	2
	Geotekstil 2	1	2	0,801732	1
	Geotekstil 3	1	3	0,534488	1
	Geotekstil 4	1	4	0,400866	1
	Geotekstil 5	1	5	0,320693	1
Zona 2	Geotekstil 6	0,5	5,5	0,200354	1
	Geotekstil 7	0,5	6	0,183658	1
	Geotekstil 8	0,5	6,5	0,16953	1
	Geotekstil 9	0,5	7	0,157421	1
	Geotekstil 10	0,5	7,5	0,146926	1
	Geotekstil 11	0,5	8	0,137743	1
	Geotekstil 12	0,5	8,5	0,129641	1

2. Panjang Efektif Geotekstil (L_e)

$$L_e = \frac{SF \times Sv_i \times ka \times \gamma^b \times Z_i}{2 \times \gamma^b \times Z_i \times \text{tg } \theta}$$

Geotekstil no 1 Zona 1:

$$L_e = \frac{1,35 \times 1 \times 0,307 \times 18,5 \times 1}{2 \times 18,5 \times 1 \times \text{tg } 32} = 0,331 \text{ m}$$

Karena L_e memiliki panjang minimum 1 meter, maka diambil panjang L_e sebesar 1 meter. Berikut adalah rekapitulasi L_e tertera dalam Tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil

Zona	Geotekstil	Sv_i (m)	Z_i (m)	Le (m)	Le Pakai (m)
Zona 1	Geotekstil 1	1	1	0,331629	1
	Geotekstil 2	1	2	0,331629	1
	Geotekstil 3	1	3	0,331629	1

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil

	Geotekstil 4	1	4	0,331629	1
	Geotekstil 5	1	5	0,331629	1
Zona 2	Geotekstil 6	0,5	5,5	0,165815	1
	Geotekstil 7	0,5	6	0,165815	1
	Geotekstil 8	0,5	6,5	0,165815	1
	Geotekstil 9	0,5	7	0,165815	1
	Geotekstil 10	0,5	7,5	0,165815	1
	Geotekstil 11	0,5	8	0,165815	1
	Geotekstil 12	0,5	8,5	0,165815	1

3. Panjang Geotekstil Pada Zona Aktif

$$L_z = (H - Z_i) \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)$$

Geotekstil no 1 pada Zona 1:

$$L_z = (5 - 1) \times \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{32}{2}\right) = 2,403 \text{ m}$$

Maka diambil panjang geotekstil pada zona aktif sebesar = 2 m.

Berikut ada rekapitulasi dari perhitungan L_z seperti pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Panjang Geotekstil Pada Zona Aktif

Zona	Geotekstil	S _{vi} (m)	Z _i (m)	L _z (m)	L _z Pakai (m)
Zona 1	Geotekstil 1	1	1	2,403442476	2,5
	Geotekstil 2	1	2	1,802581857	2
	Geotekstil 3	1	3	1,201721238	1
	Geotekstil 4	1	4	0,600860619	1
	Geotekstil 5	1	5	0	1
Zona 2	Geotekstil 6	0,5	5,5	1,802581857	2
	Geotekstil 7	0,5	6	1,502151548	2
	Geotekstil 8	0,5	6,5	1,201721238	1,5
	Geotekstil 9	0,5	7	0,901290929	1
	Geotekstil 10	0,5	7,5	0,600860619	1
	Geotekstil 11	0,5	8	0,30043031	1
	Geotekstil 12	0,5	8,5	0	1

4. Panjang Total Geotekstil

$$L_{\text{total}} = L_o + S_v + L_e + L_z$$

Geotekstil no 1 pada Zona 1

$$L \text{ total} = 2 + 1 + 1 + 2,5 = 6,5 \text{ m.}$$

Berikut ada rekapitulasi perhitungan L tertera pada Tabel 5.9 diibawah.

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Panjang Total Geotekstil

Zona	Geotekstil	(m)	Lo Pakai (m)	Le Pakai (m)	Lz Pakai (m)	L Total (m)
Zona 1	Geotekstil 1	1	2	1	2,5	6,5
	Geotekstil 2	1	1	1	2	5
	Geotekstil 3	1	1	1	1	4
	Geotekstil 4	1	1	1	1	4
	Geotekstil 5	1	1	1	1	4
Zona 2	Geotekstil 6	0,5	1	1	2	4,5
	Geotekstil 7	0,5	1	1	2	4,5
	Geotekstil 8	0,5	1	1	1,5	4
	Geotekstil 9	0,5	1	1	1	3,5
	Geotekstil 10	0,5	1	1	1	3,5
	Geotekstil 11	0,5	1	1	1	3,5
	Geotekstil 12	0,5	1	1	1	3,5

Dalam mengecek kemampuan geotekstil untuk menahan gaya tarik tanah, maka akan diambil nilai Sv_i dari Zona 1 dan geotekstil no. 1 dikarenakan nilai yang paling besar.

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

$$\begin{aligned} \text{a. } \tau_1 &= C_1 + \sigma_1 \times \text{tg } \varphi_1 \\ &= 5 + \left(\frac{1}{2} \times 1 \times 18,5\right) \times \text{tg } 32 \\ &= 10,780 \text{ kn/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } \tau_2 &= C_2 + \sigma_2 \times \text{tg } \varphi_2 \\ &= 5 + \left(\frac{1}{2} \times 0,5 \times 18,5\right) \times \text{tg } 32 \\ &= 7,890 \text{ kn/m} \end{aligned}$$

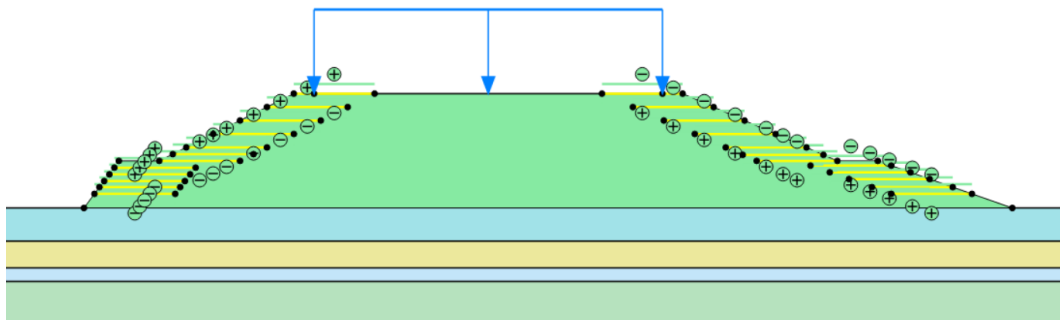
Gaya Tarik yang bekerja pada geotekstil adalah sebesar

$$\begin{aligned} T &= \tau_1 + \tau_2 \\ &= (10,780 + 7,890) \\ &= 18,67 \text{ kN/m} < 52 \text{ kN/m (Aman)} \end{aligned}$$

Dari perhitungan sebelumnya, didapatkan gaya tarik yang berpengaruh pada geotekstil sebesar 18,67 kN/m. Geotekstil yang akan dipakai memiliki kuat tarik sebesar 52 kN/m yang dimana melebihi gaya tarik yang bekerja sehingga bisa dikatakan aman.

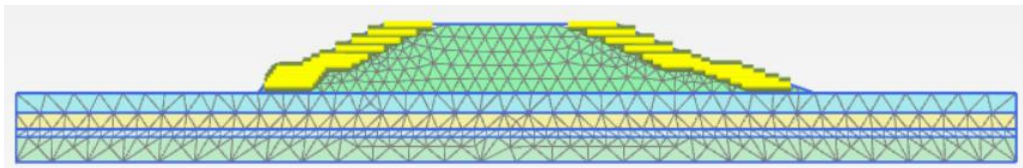
Berdasarkan perhitungan di atas, digunakanlah geotekstil untuk zona 1 sebanyak 5 lapis dengan panjang 2,5 meter dan jarak antar geotekstil sebesar 1 meter. Untuk zona 2 digunakan geotekstil sebanyak 7 lapis dengan jarak antar lapisannya sebesar 0,5 meter. Adapun hasil pemasangan geotekstil pada lereng berdasarkan hasil yang didapat di atas sesuai dengan kebutuhan yang telah diperhitungkan seperti pada Gambar 5.14 berikut.

Pada tugas akhir ini, stabilitas lereng timbunan pada STA 75+900 dengan perkuatan tanah geotekstil akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa yang akan dihitung menggunakan program Plaxis 2D. Pemodelan lereng dengan perkuatan geotekstil akan menganalisis hal yang sama dengan pemodelan lereng tanpa perkuatan geotekstil yang membedakannya adalah ditambah perkuatan geotekstil dengan jumlah dan panjang yang sudah diperhitungkan seperti pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5. 16 Pemodelan Lereng dengan Perkuatan Geotekstil

Dan untuk hasil jaringan elemen dan ditambahkan *interface (meshing)* pada lereng timbunan tanah asli dengan perkuatan geotekstil seperti pada Gambar 5.15.

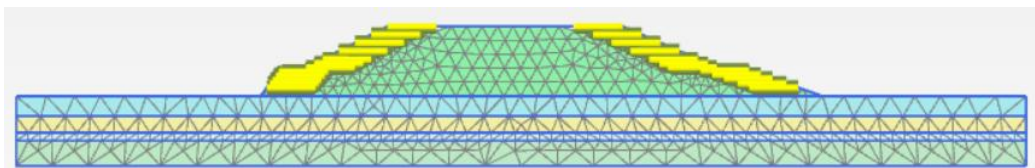


Gambar 5. 17 Meshing pada Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil

5.6 Akibat Beban Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

1. *Deformed Mesh*

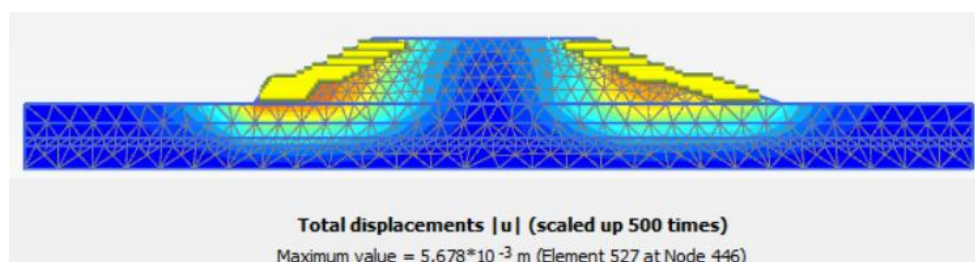
Deformed mesh adalah sebuah jaringan elemen yang tidak beraturan serta bisa mengalami sebuah penurunan dibagian yang kritis dikarenakan pembebanan terjadi dipermukaannya. Beban-beban yang bekerja tersebut terdiri dari beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa. Pada lereng ini, *deformed mesh* dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5. 18 *Deformed Mesh* Akibat Beban Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

2. *Total Displacement*

Pada lereng dengan perkuatan tanah terjadi terjadi *displacement* searah vertikal dibagian samping geotekstil akibat beban timbunan dan didapatkan SF sebesar 1,796 dan nilai *displacement* sebesar 0,00567 m. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 adanya indikator berwarna oranye lain yang menandakan terjadi nya *displacement*.



Gambar 5. 19 Total *Displacement* Akibat Beban Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

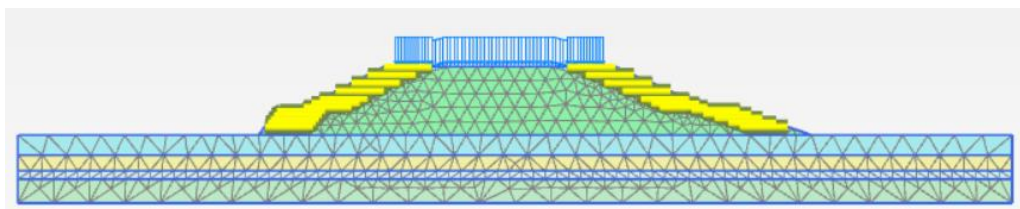
Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	0,4484E-3
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0,000 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,796

Gambar 5. 20 Nilai *Safety Factor* Akibat Beban Timbunan

5.6.1 Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil

1. *Deformed Mesh*

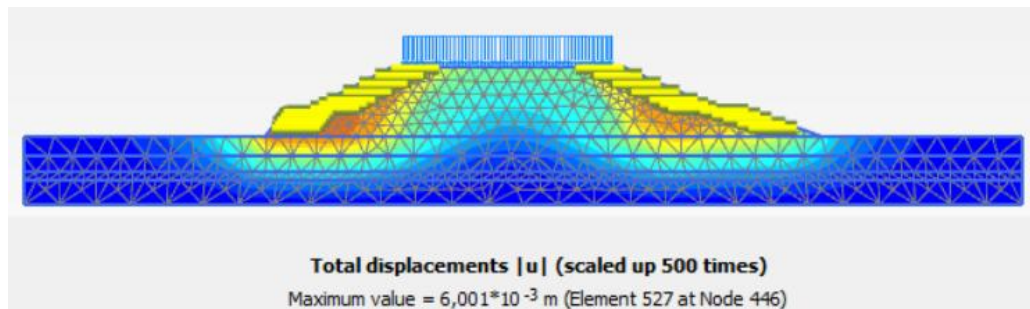
Deformed mesh adalah sebuah jaringan elemen yang tidak beraturan serta bisa mengalami sebuah penurunan dibagian yang kritis dikarenakan pembebanan terjadi dipermukaannya. Beban-beban yang bekerja tersebut terdiri dari beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa. Pada lereng ini, *deformed mesh* dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan dan beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5. 21 *Deformed Mesh* Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan dengan Perkuatan Geotekstil

2. *Total Displacement*

Pada lereng dengan perkuatan tanah terjadi terjadi *displacement* searah vertikal disamping geotekstil akibat beban timbunan dan beban kendaraan sebesar 15 kN/m dan didapatkan SF sebesar 1,793 dan nilai *displacement* sebesar 0,0060 m. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 yang dimana adanya indikator berwarna lain yang menandakan terjadinya *displacement*.



Gambar 5. 22 Total *Displacement* Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan

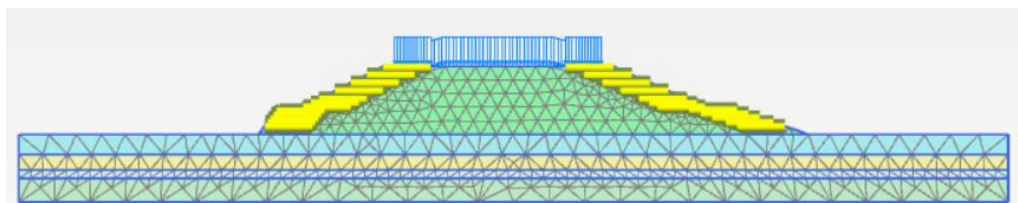
Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	0,4014E-3
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0,000 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,793

Gambar 5. 23 Nilai *Safety Factor* Akibat Beban Timbunan dan Beban Kendaraan

5.6.2 Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil

1. *Deformed Mesh*

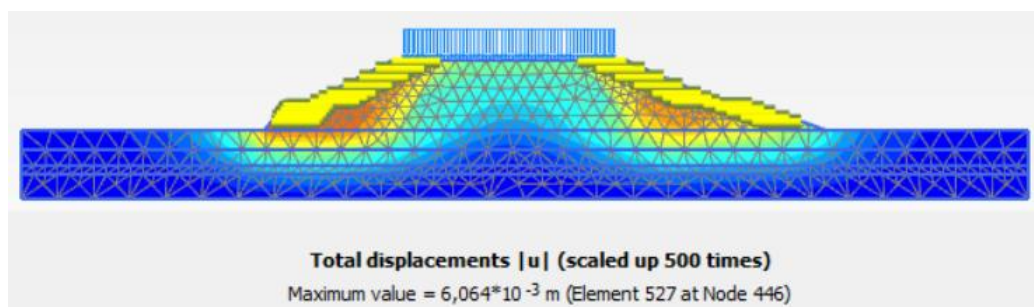
Deformed mesh adalah sebuah jaringan elemen yang tidak beraturan serta bisa mengalami sebuah penurunan dibagian yang kritis dikarenakan pembebanan terjadi dipermukaannya. Beban-beban yang bekerja tersebut terdiri dari beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa. Pada lereng ini, *deformed mesh* dengan perkuatan geotekstil akibat beban sendiri, beban kendaraan, dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut.



Gambar 5. 24 *Deformed Mesh* Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil

2. Total Displacement

Pada lereng dengan perkuatan tanah terjadi *displacement* searah vertikal disamping geotekstil akibat beban timbunan, beban kendaraan sebesar 15 kN/m, dan beban gempa sebesar 0,2513 g. Hal ini ditandai dengan warna oranye pada samping kiri dan kanan geotekstil seperti pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26. Maka didapatkan SF sebesar 1,776 dan nilai *displacement* sebesar 0,006 m.



Gambar 5. 25 Total Displacement Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa dengan Perkuatan Geotekstil

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	0,1450E-3
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0,000 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,776

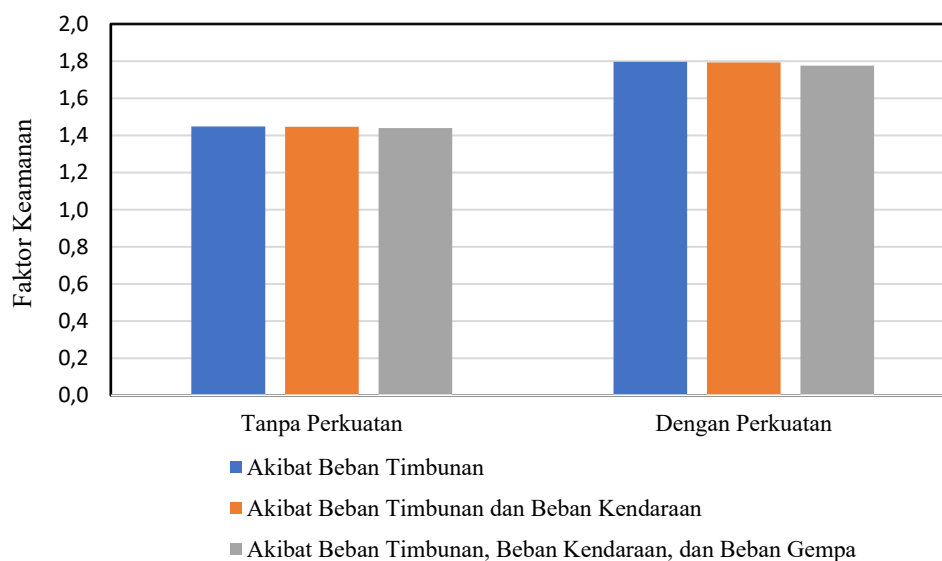
Gambar 5. 26 Nilai Safety Factor Akibat Beban Timbunan, Beban Kendaraan, dan Beban Gempa

5.7 Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan analisis stabilitas lereng yang tanpa perkuatan dan dengan perkuatan menggunakan program *Plaxis 2D*, dengan input beban kombinasi antara beban timbunan, beban kendaraan sebesar 15 kN/m, beban gempa sebesar 0,2513 g. Hasil safety factor yang didapatkan cukup signifikan antara lereng yang tanpa perkuatan dan dengan ditambah perkuatan geotekstil. Maka dari itu didapatkan hasil rekapitulasi seperti pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program *Plaxis 2D*

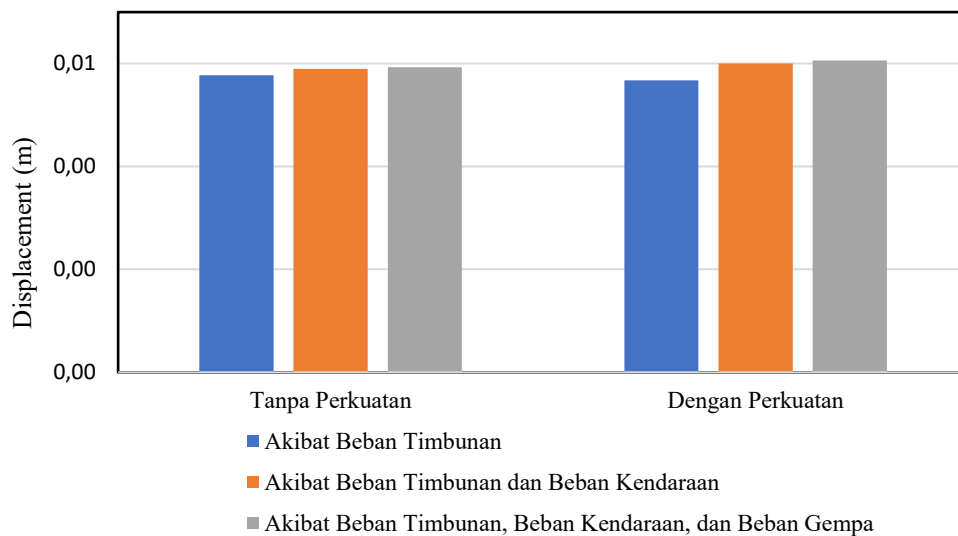
Analisis		Total Displacement (m)	Safety Factor
Lereng Tanpa Perkuatan	Akibat Beban Timbunan	0,00577	1,448
	Akibat Beban Timbunan dan beban Kendaraan	0,00590	1,446
	Akibat beban Timbunan , beban Kendaraan, dan Beban Gempa	0,00593	1,440
Lereng Dengan Perkuatan	Akibat Beban Timbunan	0,00567	1,796
	Akibat Beban Timbunan dan beban Kendaraan	0,0060	1,793
	Akibat beban Timbunan ,beban Kendaraan, dan Beban Gempa	0,00606	1,776



Gambar 5. 27 Nilai SF Timbunan Pada Lereng

Berdasarkan Gambar 5.27 di atas dapat dilihat hasil SF dari program *Plaxis* yang tanpa perkuatan akibat beban timbunan sebesar 1,448, akibat beban timbunan dan beban kendaraan sebesar 1,446, dan akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan gempa sebesar 1,440. Untuk yang ditambah perkuatan geotekstil akibat beban timbunan didapat SF sebesar 1,796, akibat beban timbunan dan beban kendaraan

sebesar 1,793, dan akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa sebesar 1,776. Hal ini menunjukkan bahwa lereng yang tanpa perkuatan sudah cukup aman dikarenakan nilai SF yang didapat sudah lebih dari 1,35 dan setelah ditambahkan geotekstil hasil yang didapat cukup signifikan lebih tinggi dibandingkan yang tanpa perkuatan yang menandakan lereng relatif stabil potensi terjadi longsor sangat rendah.



Gambar 5. 28 Nilai Total *Displacement* Pada Timbunan Lereng

Dari Gambar 5.28 di atas, didapat hasil total *displacement* dengan program *Plaxis* untuk lereng yang tanpa perkuatan akibat beban timbunan sebesar 0,00577 m, akibat beban timbunan dan beban kendaraan sebesar 0,00590 m, dan akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa sebesar 0,00593 m. Untuk total *displacement* yang didapat dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan sebesar 0,00567 m, akibat timbunan dan beban kendaraan sebesar 0,0060 m, serta akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa sebesar 0,00606 m.

Displacement merupakan perpindahan tanah yang disebabkan karena adanya beban yang bekerja dengan arah perpindahan yang searah dengan sumbu x (kekanan atau kekiri) dan searah sumbu y (keatas atau kebawah). Total *displacement* yang didapat pada penelitian ini berasal dari program *Plaxis 2D*, dengan menginput parameter tanah dan beban yang bekerja.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian mengenai analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Didapat angka aman (SF) lereng tanpa perkuatan tanah menggunakan program *Plaxis 2D* akibat beban timbunan didapat SF sebesar 1,448, akibat beban timbunan dan beban kendaraan sebesar 1,446, dan akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa sebesar 1,440.
2. Didapatkan nilai angka aman (SF) lereng tanpa perkuatan tanah secara perhitungan manual dengan menggunakan metode *Fellenius* sebesar 1,12.
3. Didapatkan nilai angka aman (SF) pada lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan Program *Plaxis 2D* akibat beban timbunan sebesar 1,796, akibat beban timbunan dan beban kendaraan sebesar 1,793, dan akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa sebesar 1,776.
4. Didapatkan nilai Total *Displacement* pada lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan Program *Plaxis 2D* akibat beban timbunan sebesar 0,00577 m, akibat beban timbunan dan beban kendaraan sebesar 0,0060 m, dan akibat beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa sebesar 0,00606 m.

6.2 Saran

Saran yang akan diberikan berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng yang sudah dilakukan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Dalam merencanakan sebuah analisis lereng sebaiknya dilakukan dengan perhitungan yang lengkap, mulai dari perhitungan secara manual dan analisis dengan menggunakan bantuan program seperti Plaxis. Plaxis dapat melakukan analisa dengan tingkat kompleksitas yang tinggi dan mampu melakukan iterasi dalam jumlah yang banyak sehingga hasil yang didapatkan bisa lebih akurat.
2. Penelitian sejenis ini masih memiliki potensi untuk dikembangkan dengan melakukan modifikasi pada jenis perkuatan tanah yang dipakai, memodifikasi parameter tanah, dan mencoba berbagai variasi metode analisis yang lain.
3. Penelitian bisa menggunakan bantuan software atau program yang lain seperti *geoslope*, *slope/w*, dan lain lain. Hal tersebut bertujuan agar mahasiswa dapat memahami lebih banyak lagi pengoperasian program untuk kebutuhan analisis dibidang geoteknik, khususnya dalam bidang stabilitas lereng.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Bowles, J.E. 1997, *Foundation Analysis and Design*, 5th Ed., McCraw-Hill, International Editions, Singapore.
- Digo Wira Kafilanda (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil Dengan Program Geoslope* (Studi Kasus: Jalan Tol Balikpapan-Samarinda STA. 1+975).
- Halim Indra Kusuma (2020). *Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil Dengan Program Plaxis* (Studi Kasus Jalan Tol Pekan Baru-Dumai).
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 1*. Penerbit Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2009. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H.C. 2014. *Mekanika Tanah 2, 5th Ed.* Gajah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Imron Maulana Fauzi (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Woven Akibat Pengaruh Termal Menggunakan Metode Elemen Hingga*.
- Jurnal Tekla (2023). *Desain Perkuatan Geotekstil Pada Timbunan Khusus Studi Kasus Jalan Tol Ruas Pekanbaru Padang Seksi Bangkinang Pangkalan STA 1+035 IC, VOL 5 NO.2*
- Kabarjawa.com (2025). *Progres Terkini Pembangunan Tol Jogja-Bawen Seksi 1: Konektivitas Baru di Banyurejo*

Kompas.com (2022). *Proyek Tol Bawen-Yogyakarta, Melintasi Empat Kota di Jawa Tengah*

Lexy Dua Lembang (2021). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus di Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750)*.

Nurrahman Iftah Fitriadi (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil dan Turap Beton Menggunakan Program Plaxis*.

Putra, M.A., 2023. *Penentuan indeks potensi dan probabilitas likuefaksi berdasarkan data SPT (Studi kasus: Proyek pembangunan Jalan Tol Jogja–Bawen Seksi 1, Paket 1)*. Sripsi. Universitas Islam Indonesia


Rio Rizky Pratama (2021). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Berjenjang Tipe Concrete Cantilever Menggunakan Program Plaxis 8.6 (Studi Kasus di Pasaman, Padang, Sumatera Barat)*.

SNI 8460:2017 *Persyaratan perancangan geoteknik*.

Tajid Afdhal (2023). *Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope 2018 (Studi Kasus: Proyek Jalan Tawang-Ngalang segmen IV STA. 7+750 Gunungkidul D.I Yogyakarta)*

LAMPIRAN

Lampiran 2: Hasil *Drillhole Record* BH-13(1) Sheet 1

		DRILLHOLE RECORD		HOLE No. BH-13 (1) 05000500													
PROJECT TOL YOGYAKARTA - BAWEN D.I. YOGYAKARTA - JAWA TENGAH		CONTRACT No.:		SHEET: 1 of 3 STA 75+800													
METHOD ROTARY CORED DRILLING		CO-ORDINATES E 424753.0 N 9144291.0		LOGGED JJ CHECKED HNF DATE 07/04/2021 DATE 08/04/2021													
RIG & No.		FLUSHING MEDIUM		DATE from: 04/04/2021 to 06/04/2021													
ORIENTATION VERTICAL		GROUND-LEVEL 122.25 m WGS84															
Drilling Progress	Casing depth/size	Water Level (m)/ Shift start/end	Total core Recovery %	Solid core Recovery %	R.O.D.	Fracture Index	Tests	Samples	Depth (m)	Legend	USCS	Description	Unit Weight (kN/m ³)			Undrained Shear Strength (kPa)	
													Moisture Content	PI	LL		
04.04.21	NW								0.00								
			100				(3, 5, 15) N = 20	SPT-1 2.00 2.45	1.00			Lanau, pasir halus-kasar, dengan konsistensi sangat kaku, warna cokelat gelap, moist.					
			100				(5, 9, 17) N = 26	SPT-2 4.00 4.45	2.50			Pasir halus-kasar, lanau, gravelan sedang, dengan densitas sedang, warna cokelat gelap, moist.					
			100				(4, 10, 15) N = 25	SPT-3 6.00 6.45	4.00			Boulders, dengan densitas sangat padat, warna abu-abu gelap, moist.					
			100				(9, 20, 30) N = 50	SPT-4 8.00 8.45	4.00			Pasir halus-kasar, lanau, gravelan sedang, dengan densitas sedang, warna cokelat terang, wet.					
			100				(7, 18, 25) N = 44	SPT-5 10.00 10.45	5.50			Gravel sedang pasir halus-kasar, dengan densitas sedang, warna abu-abu gelap, wet.					
			100				(7, 17, 25) N = 42	SPT-6 12.00 12.45	6.00			Pasir halus-sedang, lanau, dengan densitas padat, warna abu-abu gelap, wet.					
			100				(9, 21, 30) N = 51	SPT-7 14.00 14.45	7.30			Lanau, pasir halus-kasar, gravelan sedang, dengan konsistensi keras, warna cokelat gelap kehitaman, moist.					
04.04.21		2.5m at 17:00							10.00								
05.04.21		3.5m at 08:00							10.45								
			100						12.00								
			100						12.45								
			100						13.00								
			100						13.90								
			100						14.00								
			100						14.45								

Lampiran 3: Hasil *Drillhole Record* BH-13(1) Sheet 2

KSO CIPTA STRADA CS		DRILLHOLE RECORD		HOLE No. BH-13 (1) 37A0000																					
PROJECT		TOL YOGYAKARTA - BAWEN D.I. YOGYAKARTA - JAWA TENGAH		CONTRACT No.:																					
METHOD		ROTARY CORED DRILLING		SHEET: 2 of 3 STA 75+800																					
Rig & No.		CO-ORDINATES E 424753.0 N 9144291.0		LOGGED JJ DATE 07/04/2021																					
FLUSHING MEDIUM		ORIENTATION VERTICAL		CHECKED HNF DATE 08/04/2021																					
				DATE from: 04/04/2021 to 06/04/2021																					
				GROUND-LEVEL 122.25 m WGS84																					
Drilling Progress	Casing depth/size	Water Level (m) Shift start/end	Total core Recovery %	Solid core Recovery %	R.Q.D.	Fracture Index	Tests	Samples	Depth (m)	Legend	USCS	Description	Unit Weight (kN/m ³)			Moisture Content			Undrained Shear Strength (kPa)						
													X	PL	PI	LL	W	P	L	50	100	150	200		
			100				(10, 25, 30) N = 55	SPT-8 16.00 16.45	15.00 16.45			Pasir halus-kasar, lanau, gravelan sedang, dengan densitas sangat padat, warna abu-abu terang, wet. (<i>continued</i>)													
			100				(5, 10, 18) N = 28	SPT-9 18.00 18.45	17.60 18.50			Pasir halus-sedang, lanauan, dengan densitas sedang, warna abu-abu gelap, wet.													
05.04.21 06.04.21	4m at 17:00 3.5m at 08:00		100				(11, 19, 27) N = 46	SPT-10 20.00 20.45				Pasir halus-kasar, lanau, gravelan sedang, dengan densitas padat, warna abu-abu gelap, wet.													
	24.00 NW		100				(7, 15, 25) N = 40	SPT-11 22.00 22.45																	
			100				(9, 17, 25) N = 42	SPT-12 24.00 24.45																	
			100				(10, 19, 26) N = 45	SPT-13 26.00 26.45																	
			100				(10, 20, 30) N = 50	SPT-14 28.00 28.45																	
06.04.21	3,6m at 17:00								29.00																
KEY ▲ Torvane ● UU Triaxial Onshore ▼ Pocket Penetrometer ○ UU Triaxial Offshore + Lab Vane ⊕ UU Remoulded ⊖ Lab Vane Remould/dred ⊕ In Situ Vane ⊕ CIU Triaxial ⊕ In Situ Vane Remoulded --- Est. from CPT, N ₆₀ =15 --- Est. from CPT, N ₆₀ =20 --- Normally Consolidated Profile --- Design Profile												REMARKS													

Lampiran 4: Hasil *Drillhole Record* BH-13(1) Sheet 4

KSO CIPTA STRADA CS		DRILLHOLE RECORD		HOLE No. BH-13 (1) 85500588																		
		CONTRACT No.:		SHEET: 3 of 3 STA 75+800																		
PROJECT TOL YOGYAKARTA - BAWEN D.I. YOGYAKARTA - JAWA TENGAH																						
METHOD ROTARY CORED DRILLING		CO-ORDINATES		LOGGED JJ CHECKED HNF DATE 07/04/2021 DATE 08/04/2021																		
Rig & No.		E 424753.0 N 9144291.0		DATE from: 04/04/2021 to 06/04/2021																		
FLUSHING MEDIUM		ORIENTATION VERTICAL		GROUND-LEVEL 122.25 m WGS84																		
Drilling Progress	Casing depth/size	Water Level (m)/ Shift start/end	Total core Recovery %	R.O.D.	Fracture Index	Tests	Samples	Depth (m)	Legend	USCS	Description	Unit Weight (kN/m ³)			Moisture Content			Undrained Shear Strength (kPa)				
												5	10	20	25	PL	PI	LL	50	100	150	200
06.04.21	3.6m at 17.00		100			(11, 21, 31) N=52	SPT-15 30.00 30.45	30.00 30.45			Pasir halus - kasar gravel sedang lanauan, dengan densitas sangat padat, warna abu-abu gelap, wet. (continued) Hole Terminated at 30.45 m ROTARY CORED DRILLING											

KEY

- ▲ Torvane
- ▼ Pocket Penetrometer
- + Lab Vane
- ⊕ Lab Vane Remoulded
- ⊖ CIU Triaxial
- Est. from CPT, N₆₀=15
- - - Normally Consolidated Profile
- ▲ Water Sample
- ▼ Water Level
- | Standard Penetration Test
- ⊕ Permeability Test
- ⊖ Piezometer Tip
- ⊕ Observation Well Tip
- ▼ In-situ Vane Shear Test

REMARKS

Lampiran 5: Uji *Triaxial*

Page 1 of 1	UNCONSOLIDATED-UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST								
Standard : SNI 03-4183-1998 Rev. 2004 Project : Tol Yogyakarta - Bawen No. of borehole : BH-14 (1) STA 0+280 No. of sample : UDS 1 Depth : 3.60 - 4.00 m Apparatus : TX 1	Location : Sleman Date : Sample Accepted : June 2021 Sample Tested : 2 July 2021 Test Finished : 2 July 2021 Test Checked : 4 July 2021								
RESULT									
Cohesion (c) :		0.480 kg/cm ²							
Angle of Int. Friction :		8.93 °							
Specimen No.	Condition of sample	Size of Specimen (cm)		Water Content	Bulk Density	Dry Density	Cell pressure	Peak Deviator Stress	Strain at failure
		Diameter	Height						
1	Undisturbed	3.80	7.60	40.53%	1.72	1.22	0.70	1.37	10.60
2	Undisturbed	3.80	7.60	38.33%	1.65	1.19	1.10	1.53	9.50
3	Undisturbed	3.80	7.60	41.68%	1.68	1.19	1.40	0.95	7.00

Stress-strain Curve

— Specimen No. 1 — Specimen No. 2 — Specimen No. 3

After testing (Spec. 1)

After testing (Spec. 2)

Checked by : RMA
Date : 4 July 2021
Name : RMA

Tested by : ATA
Date : 2 July 2021
Name : ATA

After testing (Spec. 3)