**TUGAS AKHIR**

# ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN METODE KESETIMBANGAN BATAS DAN *SOFTWARE GEOSTUDIO SLOPE/W* DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL *(SLOPE STABILITY ANALYSIS USING THE LIMIT EQUILIBRIUM METHOD AND GEOSTUDIO SLOPE/W SOFTWARE WITH GEOTEXTILE REINFORCEMENT)*

**(Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta – Bawen Paket 1 STA 70+375)**

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


**Sultan Bayu Prasetio**

**19511189**

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


**2026**

**TUGAS AKHIR**

# ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN METODE KESETIMBANGAN BATAS DAN *SOFTWARE GEOSTUDIO SLOPE/W* DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL

## *(SLOPE STABILITY ANALYSIS USING THE LIMIT EQUILIBRIUM METHOD AND GEOSTUDIO SLOPE/W SOFTWARE WITH GEOTEXTILE REINFORCEMENT)*

Disusun oleh

**Sultan Bayu Prasetio**
**19511189**

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

Diuji pada tanggal 15 July 2026

Oleh Dewan Penguji

| Pembimbing | Penguji I | Penguji II |
|---|---|---|
| Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. | Anisa Nur Amalina, S.T. M.Eng | Melinda Dwi Rahmawati, S.T., M.Eng. |
| NIK: 045110407 | NIK: 215111305 | NIK: 245111202 |

Mengesahkan,
Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil

24/7-26

Dinia Anggraheni, S.T. M.Eng.
NIK: 165110105

# PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Bagian-bagian tertentu yang dikutip dari karya orang lain telah dicantumkan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa seluruh atau sebagian isi laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau terdapat unsur plagiarisme di dalamnya, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku, termasuk pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh.

Yogyakarta, 15 Juli 2026

Penulis,




Sultan Bayu Prasetio

19511189

# KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahiim.*

*Assalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.*

Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji bagi Allah Subhanallahu wa Ta'ala karena atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas dan *Software GeoStudio SLOPE/W* dengan Perkuatan Geotekstil". Solawat serta salam selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad Shallallahu 'alaihi wasallam, keluarga, sahabat, dan pengikut beliau hingga akhir zaman.

Proposal Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Ibu Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku penguji Tugas Akhir
3. Ibu Melinda Dwi Rahmawati, S.T., M.Eng., selaku penguji Tugas Akhir
4. Ibu dan Bapak selaku orang tua penulis
5. Teman yang telah membantu terlaksananya Tugas Akhir sekaligus dalam penulisan laporan ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan ini bermanfaat bagi para pembaca.

Yogyakarta, 15 Juli 2026

Penulis,



Sultan Bayu Prasetio

19511189

3.1.3 Pengujian Propertis Tanah 17
3.1.4 Korelasi Hasil Pengujian Lapangan terhadap Parameter Tanah 23
3.1.5 Kuat Geser Tanah 26
3.2 Lereng 26
3.3 Analisis Stabilitas Lereng 27
3.3.1 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode *Fellenius* 27
3.3.2 Program *GeoStudio SLOPE/W* 28
3.4 Beban Lalu Lintas 29
3.5 Kriteria Faktor Keamanan 30
3.6 Geotekstil 30
3.7 Penurunan Tanah 30
BAB IV METODE PENELITIAN 33
4.1 Tinjauan Umum 33
4.2 Lokasi Studi Kasus 33
4.3 Analisis Data 34
4.4 Pengoperasian Program *GeoStudio SLOPE/W* 34
4.5 Tahapan Analisis Penelitian 38
4.6 Bagan Alir Penelitian 39
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 42
5.1 Gambaran Umum 42
5.2 Data Penelitian 43
5.2.1 Data Parameter Tanah 43
5.2.2 Data Beban 44
5.2.3 Data Geotekstil 46
5.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan 47
5.3.1 Analisis Stabilitas Lereng dengan Program *GeoStudio SLOPE/W* 47
5.3.2 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode *Fellenius* 48
5.4 Perhitungan dengan Perkuatan Geotekstil 50
5.4.1 Stabilitas Eksternal 52
5.4.2 Stabilitas Internal 57

5.4.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil 62
5.5 Perhitungan Penurunan Tanah 66
5.6 Pembahasan 72
5.6.1 Analisa Stabilitas Lereng 73
5.6.2 Penurunan Tanah 75
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 78
6.1 Kesimpulan 78
6.2 Saran 79
DAFTAR PUSTAKA 81
LAMPIRAN 84

# DAFTAR TABEL


| | | |
|---|---|---|
| Tabel 2.1 | Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Akan Dilakukan | 9 |
| Tabel 3.1 | Berat Jenis Tanah Berbagai Tanah | 19 |
| Tabel 3.2 | Macam Tanah Berdasarkan Nilai Indeks Plastisitas | 22 |
| Tabel 3.3 | Perkiraan Modulus Elastisitas (E) | 22 |
| Tabel 3.4 | Hubungan Antara Jenis Tanah dan *Poisson's Ratio* | 23 |
| Tabel 3.5 | Korelasi N-SPT terhadap Kepadatan Tanah Granular | 23 |
| Tabel 3.6 | Variasi Korelasi N-SPT dengan Berat Volume Tanah dan Sudut Geser Dalam | 24 |
| Tabel 3.7 | Variasi Korelasi Jenis Tanah dengan Modulus Elastisitas | 25 |
| Tabel 3.8 | Korelasi Jenis Tanah terhadap *Poisson's Ratio* | 25 |
| Tabel 3.9 | Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas | 29 |
| Tabel 3.10 | Kriteria Faktor Keamanan | 30 |
| Tabel 5.1 | Data N-SPT | 43 |
| Tabel 5.2 | Data Parameter Tanah STA 70+375 | 44 |
| Tabel 5.3 | Beban Lalu Lintas | 45 |
| Tabel 5.4 | Data Geotekstil | 46 |
| Tabel 5.5 | Hasil Perhitungan Metode Fellenius | 50 |
| Tabel 5.6 | Koefisien Daya Dukung Tanah *Meyerhof* Mekanisme Keruntuhan Geser Lokal | 52 |
| Tabel 5.7 | Rekapitulasi Panjang Geotekstil *Overlapping* | 58 |
| Tabel 5.8 | Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil | 58 |
| Tabel 5.9 | Rekapitulasi Panjang Geotekstil pada Zona Aktif | 59 |
| Tabel 5.10 | Rekapitulasi Panjang Total Geotekstil | 60 |
| Tabel 5.11 | Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Variasi Perkuatan Geotekstil | 66 |
| Tabel 5.12 | Rekapitulasi Tebal Lapisan dan Nilai N-SPT Rata-Rata | 67 |
| Tabel 5.13 | Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tanah | 70 |
| Tabel 5.14 | Hasil Pembacaan Deformasi Vertikal dari *SIGMA/W* | 72 |

Tabel 5.15 Hasil Analisis Stabilitas Lereng 75

# DAFTAR GAMBAR


Gambar 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS 16
Gambar 3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO 17
Gambar 3.3 Gaya yang Bekerja pada Irisan Vertikal 27
Gambar 3.4 Grafik *Influence Factor* 32
Gambar 4.1 Lokasi Studi Kasus 33
Gambar 4.2 Menentukan *Analysis Type* 34
Gambar 4.3 Menentukan *Slip Surface* 34
Gambar 4.4 Pemodelan Timbunan 35
Gambar 4.5 Mendefinisikan Parameter Tanah 35
Gambar 4.6 Memplot Parameter Tanah 36
Gambar 4.7 Menentukan *Entry* dan *Exit* 36
Gambar 4.9 Memasukkan Nilai Beban Merata 37
Gambar 4.10 Setelah Beban Merata Digambar 37
Gambar 4.11 Memasukkan Beban Gempa 38
Gambar 4.12 Bagan Alir Penelitian 40
Gambar 4.13 Bagan Alir Program *GeoStudio SLOPE/W* 41
Gambar 5.1 Potongan Melintang Timbunan STA 70+375 42
Gambar 5.2 Lapisan Tanah STA 70+375 44
Gambar 5.3 Peta Zonasi Gempa Indonesia 46
Gambar 5.4 Pemodelan Timbunan dengan Program *GeoStudio* 47
Gambar 5.5 Hasil Analisis Lereng dengan *Geostudio* Tanpa Perkuatan 48
Gambar 5.6 Pemodelan Timbunan pada Metode *Fellenius* 48
Gambar 5.7 Lembaran Geotekstil 51
Gambar 5.8 Pembagian Zona untuk Perhitungan Geotekstil 51
Gambar 5.9 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Tanah Miring 53
Gambar 5.10 Pemasangan Geotekstil pada Setiap Zona Timbunan 62
Gambar 5.11 Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Panjang Geotekstil Berdasarkan Perhitungan Awal 62

Gambar 5.12 Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Variasi Panjang Geotekstil sebesar Ltotal 63
Gambar 5.15 Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Variasi Panjang Geotekstil 10 m pada Zona 1 dan 17m pada Zona 2 65
Gambar 5.16 Geometri Lereng Timbunan STA 70+375 67
Gambar 5.17 Grafik *Influence Factor* 69
Gambar 5.18 Hasil deformasi tanah akibat beban timbunan menggunakan *SIGMA/W* 71
Gambar 5.19 *View Result Information* pada Analisis Deformasi *GeoStudio SIGMA/W* 71
Gambar 5.20 Perbandingan Nilai *Safety Factor* (SF) Berdasarkan Metode Analisis dan Variasi Perkuatan Geotekstil 75

# DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Shop Drawing* Potongan Melintang STA 70+375 85
Lampiran 2 Data Borelog BH-23 Proyek Pembangunan Tol Yogyakarta-Bawen STA 70+375 86
Lampiran 3 Spesifikasi Geotekstil PT. Teknindo Geosistem Unggul 89

# DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

| | |
|---|---|
| cm | = Centimeter |
| m | = Meter |
| mm | = Milimeter |
| LHRT | = Lalu Lintas Harian Rata-rata (kendaraan/hari) |
| PGA | = Peak Ground Acceleration (g) |
| MC | = Mohr-Coulomb |
| $\gamma d$ | = Berat volume tanah kering (kN/m³) |
| $\gamma$ | = Berat volume tanah (kN/m³) |
| $\gamma$ sat | = Berat volume tanah jenuh (kN/m³) |
| $\gamma$ unsat | = Berat volume tanah tak jenuh (kN/m³) |
| $\gamma'$ | = Berat volume tanah efektif (kN/m³) |
| e | = Angka pori |
| FK | = Faktor Keamanan |
| SF | = Safety Factor |
| kN | = Kilo Newton |
| N | = Newton |
| MPa | = Mega Pascal |
| % | = Persen |
| Ka | = Koefisien tekanan tanah aktif lateral |
| Tu | = Kuat tarik ultimit (kN/m) |
| Ta | = Kuat tarik izin (kN/m) |
| $\Sigma hc_i$ | = Tegangan yang bekerja pada lapis geotekstil ke-i (kN/m²) |
| Sv | = Jarak geotekstil arah vertikal (m) |
| MD | = Momen mendorong (kN/m) |
| MR | = Momen menahan (kN/m) |
| L | = Panjang geotekstil (m) |
| Zi | = Kedalaman tiap lembar geotekstil dari permukaan tanah (m) |
| Lo | = Panjang overlapping geotekstil (m) |

| | |
|---|---|
| Le | = Panjang efektif geotekstil (m) |
| Lz | = Panjang geotekstil pada zona aktif (m) |
| $\tau f$ | = Kuat geser tanah (kN/m²) |
| $\tau d$ | = Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh (kN/m²) |
| $\sigma$ | = Tegangan normal (kN/m²) |
| $\varepsilon$ | = Regangan |
| $m^2$ | = Meter persegi |
| $m^3$ | = Meter kubik |
| $\sum$ | = Total/Jumlah |
| c | = Kohesi (kN/m²) |
| w | = Kadar air (persen) |
| e | = eksentrisitas |
| N | = Koefisien daya dukung tanah |
| $\phi$ | = Sudut geser dalam (derajat) |
| v | = Poissons Ratio |
| E | = Modulus Young / Modulus Elastisitas (kN/m²) |
| EA | = Kekakuan normal (kN/m) |
| $\psi$ | = Sudut dilatasi (derajat) |
| K | = Koefisien permeabilitas |
| G | = Modulus geser (kN/m²) |
| SPT | = Standard Penetration Test |
| qc | = Tahanan konus (kg/cm²) |
| BH | = Bore Hole |
| N | = Gaya normal efektif (kN) |
| W | = Berat total irisan (kN/m) |
| A | = Sudut geser singgung masing-masing irisan (derajat) |
| u | = Tegangan air pori pada pusat dasar (kN/m²) |
| l | = Panjang dasar (m) |
| L | = Panjang busur (m) |

# ABSTRAK

Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta-Bawen melintasi wilayah berbukit dengan lereng alami yang berpotensi mengalami ketidakstabilan, khususnya pada lereng timbunan STA 70+375. Penelitian ini bertujuan menganalisis stabilitas lereng timbunan existing menggunakan metode kesetimbangan batas Fellenius secara manual dan *software GeoStudio SLOPE/W*, merencanakan kebutuhan perkuatan geotekstil, menganalisis pengaruh perkuatan terhadap peningkatan nilai faktor keamanan, serta menghitung penurunan tanah segera akibat beban timbunan.

Analisis dilakukan secara dua dimensi dengan mengacu pada persyaratan SNI 8460:2017. Data yang digunakan berupa data *borelog*, parameter tanah, dan hasil uji triaksial yang telah tersedia. Analisis stabilitas lereng dilakukan pada kondisi tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil. Analisis penurunan tanah dilakukan melalui perhitungan manual dan pemodelan numerik menggunakan *SIGMA/W*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng timbunan existing belum memenuhi persyaratan stabilitas. Nilai faktor keamanan yang diperoleh sebesar 1,092 berdasarkan metode Fellenius dan 1,012 berdasarkan *GeoStudio SLOPE/W*. Kedua nilai tersebut lebih kecil dari faktor keamanan minimum sebesar 1,25. Perkuatan geotekstil woven UW-250 dengan konfigurasi panjang 10 m pada Zona 1 dan 17 m pada Zona 2 mampu meningkatkan faktor keamanan menjadi 1,656, sehingga memenuhi persyaratan stabilitas. Hasil analisis penurunan tanah dasar akibat beban timbunan setinggi 10 m menunjukkan penurunan sebesar 9,4 cm berdasarkan perhitungan manual dan 11,84 cm berdasarkan *SIGMA/W*. Kedua nilai tersebut masih berada di bawah batas penurunan izin sebesar 25,97 cm. Dengan demikian, perkuatan geotekstil efektif meningkatkan stabilitas lereng, sedangkan penurunan tanah akibat beban timbunan masih berada dalam batas yang dapat diterima.

**Kata kunci:** Stabilitas lereng, *Fellenius*, *GeoStudio*, Geotekstil, Penurunan tanah.

# ABSTRACT

*The Yogyakarta-Bawen Toll Road construction passes through a hilly area with natural slopes that may experience instability, especially at the embankment slope of STA 70+375. This study aims to analyze the stability of the existing embankment slope using the Fellenius limit equilibrium method and GeoStudio SLOPE/W software, design the required geotextile reinforcement, analyze the effect of reinforcement on the increase in the safety factor, and calculate the immediate settlement caused by the embankment load.*

*The analysis was conducted in two dimensions by referring to the requirements of SNI 8460:2017. The data used in this study consisted of borelog data, soil parameters, and available triaxial test results. Slope stability analysis was carried out for both unreinforced and reinforced conditions. The settlement analysis was performed using manual calculation and numerical modeling with SIGMA/W.*

*The results show that the existing embankment slope does not meet the stability requirements. The safety factor obtained from the Fellenius method was 1.092, while the result from GeoStudio SLOPE/W was 1.012. Both values are lower than the minimum safety factor of 1.25. The use of woven geotextile UW-250 with a length configuration of 10 m in Zone 1 and 17 m in Zone 2 increased the safety factor to 1.656, which satisfies the stability requirement. The settlement analysis of the subsoil due to a 10 m high embankment showed a settlement of 9.4 cm based on manual calculation and 11.84 cm based on SIGMA/W. Both values are still below the allowable settlement limit of 25.97 cm. Therefore, geotextile reinforcement is effective in improving slope stability, while the settlement caused by the embankment load remains within the acceptable limit.*

***Key words:*** *Slope stability, Fellenius, GeoStudio, Geotextile, Soil settlement.*

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan tol di Indonesia terus mengalami peningkatan sebagai upaya mendukung konektivitas antarwilayah dan pertumbuhan ekonomi nasional. Salah satu proyek strategis yang sedang dikembangkan adalah Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen yang melintasi wilayah dengan kondisi topografi berbukit dan lereng alami. Kondisi tersebut menyebabkan pekerjaan konstruksi pada area lereng memerlukan perhatian khusus karena berpotensi mengalami ketidakstabilan tanah yang dapat memicu longsor. Longsor pada lereng jalan dapat mengganggu proses konstruksi maupun membahayakan operasional jalan tol apabila tidak ditangani dengan baik (Hardiyatmo, 2006).

Analisis stabilitas lereng menjadi salah satu langkah penting dalam bidang geoteknik untuk mengetahui tingkat keamanan suatu lereng terhadap potensi kelongsoran. Stabilitas lereng umumnya dinyatakan dalam bentuk nilai faktor keamanan (*factor of safety*). Nilai faktor keamanan diperoleh dengan membandingkan gaya penahan terhadap gaya penggerak pada bidang longsor. Apabila nilai faktor keamanan terlalu kecil, maka lereng memiliki potensi mengalami keruntuhan sehingga diperlukan penanganan atau perkuatan lereng (Das, 2016).

Metode yang umum digunakan dalam analisis stabilitas lereng adalah metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*). Metode ini bekerja dengan menganalisis keseimbangan gaya maupun momen pada massa tanah yang berpotensi longsor. Salah satu metode kesetimbangan batas yang sering digunakan dalam perhitungan manual adalah metode *Fellenius* atau *Ordinary Method of Slices*. Metode tersebut membagi massa tanah menjadi beberapa irisan vertikal untuk menghitung faktor keamanan lereng berdasarkan keseimbangan momen. Selain dilakukan secara manual, analisis stabilitas lereng saat ini juga banyak menggunakan bantuan software geoteknik seperti GeoStudio SLOPE/W karena

mampu menentukan bidang longsor kritis dan menghitung nilai faktor keamanan secara lebih cepat dan efisien (GEO-SLOPE International Ltd., 2012).

Pada penelitian ini, analisis dilakukan pada lereng STA 70+375 Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen menggunakan metode kesetimbangan batas secara manual dan dengan bantuan *software GeoStudio SLOPE/W*. Analisis manual dilakukan menggunakan metode *Fellenius* untuk mengetahui proses perhitungan faktor keamanan secara teoritis, sedangkan analisis menggunakan *software* dilakukan untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif melalui pencarian bidang longsor kritis secara otomatis. Perbandingan hasil analisis manual dan software diharapkan dapat menunjukkan tingkat konsistensi hasil perhitungan serta memberikan pemahaman mengenai penerapan metode kesetimbangan batas pada analisis stabilitas lereng.

Selain analisis terhadap kondisi lereng eksisting, penelitian ini juga mengevaluasi penggunaan geotekstil sebagai alternatif perkuatan lereng. Geotekstil merupakan salah satu material geosintetik yang umum digunakan dalam bidang geoteknik karena memiliki fungsi sebagai elemen perkuatan tanah melalui mekanisme tahanan tarik. Penggunaan geotekstil pada lereng dapat membantu meningkatkan gaya penahan sehingga nilai faktor keamanan lereng menjadi lebih besar (Koerner, 2012).

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan analisis stabilitas lereng pada STA 70+375 Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen menggunakan metode kesetimbangan batas secara manual dan *software GeoStudio SLOPE/W*, serta evaluasi penggunaan geotekstil sebagai perkuatan lereng untuk meningkatkan nilai faktor keamanan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut

1. Bagaimana klasifikasi tanah *existing* pada STA 70+375, Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen?

2. Bagaimana nilai faktor keamanan lereng timbunan *existing* pada STA 70+375, Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen berdasarkan analisis menggunakan metode *Fellenius* dan *software GeoStudio SLOPE/W*?
3. Bagaimana perencanaan kebutuhan geotekstil sebagai perkuatan pada lereng timbunan STA 70+375, Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen?
4. Bagaimana pengaruh penggunaan geotekstil terhadap peningkatan nilai faktor keamanan lereng timbunan pada STA 70+375 Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen berdasarkan analisis menggunakan *software GeoStudio SLOPE/W*?
5. Berapa besar penurunan tanah segera (*immediate settlement*) yang terjadi pada tanah dasar akibat beban timbunan di STA 70+375 Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi klasifikasi tanah *existing* pada STA 70+375, Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen.
2. Menentukan nilai faktor keamanan lereng timbunan existing pada STA 70+375, Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen berdasarkan analisis menggunakan metode *Fellenius* dan *software GeoStudio SLOPE/W*.
3. Merencanakan kebutuhan geotekstil sebagai perkuatan pada lereng timbunan STA 70+375 Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen.
4. Menganalisis pengaruh penggunaan geotekstil terhadap peningkatan nilai faktor keamanan lereng timbunan pada STA 70+375 Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen berdasarkan analisis menggunakan software GeoStudio SLOPE/W.
5. Menghitung besarnya penurunan tanah segera (*immediate settlement*) yang terjadi pada tanah dasar akibat beban timbunan di STA 70+375 Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen.

## 1.4 Manfaat Penelitian

1. Mahasiswa

   Penelitian ini dapat menjadi referensi dalam mempelajari analisis stabilitas lereng menggunakan metode kesetimbangan batas secara manual maupun dengan bantuan *software GeoStudio SLOPE/W*, serta menambah pemahaman mengenai penerapan geotekstil sebagai metode perkuatan lereng.

2. Ilmu Pengetahuan

   Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian geoteknik, khususnya terkait analisis stabilitas lereng dan pengaruh penggunaan geotekstil terhadap peningkatan nilai faktor keamanan lereng.

3. Praktisi Lapangan

   Penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan dan evaluasi perkuatan lereng, terutama pada proyek jalan yang memiliki kondisi lereng serupa dengan lokasi penelitian.

## 1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini adalah untuk memastikan bahwa penelitian tidak keluar dari tujuan awalnya. Batasan-batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi analisis: lereng STA 70+375 Tol Yogyakarta–Bawen (lereng galian atau lereng timbunan sesuai kondisi aktual di lokasi)
2. Data geoteknik yang digunakan: borelog (profil tanah, nilai SPT) dan hasil uji triaksial (c dan φ) yang telah tersedia, tidak dilakukan pengambilan data lapangan tambahan
3. Penelitian yang dilakukan tidak mencakup proses, metode pelaksanaan konstruksi dan biaya
4. Dalam tugas akhir ini setiap versi pemodelan lereng tidak dimaksudkan untuk pekerjaan lapangan, melainkan untuk tujuan kajian penelitian.
5. Analisis stabilitas lereng menggunakan *Metode Fellenius* dan *Software GeoStudio SLOPE/W*
6. Ruang lingkup pembahasan materi studi diantaranya adalah analisis *safety factor* dan *displacement* yang terjadi.

7. Peraturan SNI *Safety Factor* yang digunakan adalah SNI 8460-2017.
8. Analisis bersifat 2D (*plane strain*) pada penampang melintang kritis
9. Tekanan air pori dianggap nol, kondisi muka air tanah diabaikan.
10. Dipakai koefisien gempa di daerah Yogyakarta dengan rentang 0,4-0,5 g, serta menggunakan metode *time history* pada gempa di Whittier Narrows, California yang memiliki PGA sebesar 0,457g. PGA tersebut dianggap merepresentasikan beban gempa yang terjadi di permukaan tanah.

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Tinjauan Umum

Tinjauan pustaka merupakan kegiatan mencari, mengumpulkan, dan menyusun berbagai informasi yang berkaitan dengan topik penelitian. Tinjauan pustaka bertujuan untuk memahami penelitian-penelitian terdahulu yang relevan, baik yang berasal dari jurnal, buku, artikel, laporan, maupun sumber lain yang berkaitan dengan topik yang dibahas. Melalui tinjauan pustaka, peneliti dapat mempelajari serta menganalisis berbagai referensi tersebut sebagai dasar dalam mendukung argumen atau landasan penelitian yang dilakukan. Dalam prosesnya, peneliti juga perlu memperhatikan kredibilitas, relevansi, dan kualitas dari setiap sumber informasi yang digunakan. Dengan tinjauan pustaka yang baik, peneliti dapat memperluas pemahaman terhadap topik penelitian sekaligus meningkatkan kualitas penelitian yang dilakukan.

## 2.2 Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

Lembang (2021) telah melakukan penelitian yang berjudul "Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga". Penelitian ini menjelaskan bahwa stabilitas lereng tanpa perkuatan merupakan kondisi awal lereng sebelum diberi perlakuan tambahan seperti geotekstil, soil nailing, atau struktur penahan lainnya. Pada kondisi ini, lereng hanya mengandalkan kekuatan tanah asli dalam menahan gaya pendorong yang dapat menyebabkan kelongsoran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lereng tanpa perkuatan dapat berada dalam kondisi tidak aman apabila nilai faktor keamanannya lebih kecil dari batas minimum yang disyaratkan, seperti pada lereng asli yang mengalami *collapse* dan nilai faktor keamanan *Fellenius* sebesar 0,9675.

Susangunap (2021) melakukan penelitian berjudul "Analisis Stabilitas Lereng Badan Jalan dengan Timbunan Bertahap dan Menggunakan Perkuatan Geotekstil". Penelitian ini juga menunjukkan bahwa lereng tanpa perkuatan pada

timbunan badan jalan dapat mengalami kondisi tidak stabil karena beban timbunan dan beban lalu lintas belum mampu ditahan oleh tanah asli. Dalam penelitian tersebut, lereng timbunan tanah asli setinggi 12 m dianalisis menggunakan *Plaxis V20* dan metode *Fellenius*, kemudian diperoleh bahwa kondisi tanpa perkuatan mengalami keruntuhan atau memiliki nilai faktor keamanan di bawah syarat rencana.

## 2.3 Stabilitas Lereng dengan Perkuatan

Afdhal (2023) telah melakukan penelitian yang berjudul "Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program *Geoslope* 2018". Penelitian ini menjelaskan bahwa stabilitas lereng dengan perkuatan merupakan upaya meningkatkan kemampuan lereng dalam menahan gaya longsor melalui penambahan elemen perkuatan, salah satunya geotekstil. Geotekstil bekerja sebagai material perkuatan yang membantu menahan gaya tarik dan meningkatkan kestabilan massa tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan geotekstil dapat meningkatkan nilai faktor keamanan lereng dibandingkan kondisi tanpa perkuatan, sehingga lereng menjadi lebih stabil terhadap potensi kelongsoran.

Dhaneswara (2024) juga membahas stabilitas lereng dengan perkuatan melalui penggunaan geotekstil pada lereng ramp jalan tol. Dalam penelitian tersebut, lereng dianalisis pada beberapa variasi tinggi timbunan, kemudian dibandingkan antara kondisi tanpa perkuatan dan dengan perkuatan. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan mengalami peningkatan setelah diberi geotekstil, sehingga perkuatan tersebut dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengurangi potensi kelongsoran pada lereng timbunan.

## 2.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Program *GeoStudio SLOPE/W*

Rachman (2024) telah melakukan penelitian yang berjudul "Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Keseimbangan Batas dan Metode Elemen Hingga". Penelitian ini menjelaskan bahwa metode *Fellenius* merupakan salah satu metode keseimbangan batas yang

digunakan untuk menghitung faktor keamanan lereng secara manual dengan membagi massa tanah yang berpotensi longsor menjadi beberapa irisan vertikal. Setiap irisan dihitung berdasarkan berat tanah, sudut bidang gelincir, kohesi, dan sudut geser dalam tanah. Hasil perhitungan metode *Fellenius* kemudian dapat digunakan sebagai pembanding terhadap hasil analisis *software*, sehingga metode ini membantu mengevaluasi apakah lereng berada dalam kondisi aman atau memerlukan perkuatan.

Susangunap (2021) juga menggunakan metode *Fellenius* sebagai pembanding terhadap hasil analisis menggunakan *Plaxis V20*. Dalam penelitian tersebut, metode *Fellenius* digunakan untuk menghitung faktor keamanan lereng timbunan tanpa perkuatan, sehingga dapat diketahui apakah lereng berada dalam kondisi aman atau tidak. Dengan demikian, metode *Fellenius* dapat digunakan sebagai dasar perhitungan manual untuk mengevaluasi stabilitas lereng sebelum dilakukan pemodelan atau perkuatan lebih lanjut.

## 2.5 Analisis Stabilitas Lereng dengan Program *GeoStudio SLOPE/W*

Nadhif (2023) telah melakukan penelitian yang berjudul "Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Menggunakan Perkuatan Geotekstil dengan *Software GeoStudio*". Penelitian ini menjelaskan bahwa *GeoStudio SLOPE/W* merupakan program komputasi yang dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng berdasarkan metode keseimbangan batas. Dalam penggunaannya, data geometri lereng, parameter tanah, kondisi pembebanan, serta perkuatan dimasukkan ke dalam program untuk memperoleh nilai faktor keamanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *SLOPE/W* dapat digunakan untuk membandingkan stabilitas lereng pada beberapa variasi tinggi timbunan dan kondisi pembebanan, sehingga mempermudah evaluasi keamanan lereng.

## 2.6 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Rencana

Perbandingan penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Akan Dilakukan**

| Aspek | Penelitian Terdahulu | | | | | | Penelitian Yang Dilakukan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Afdhal (2023)** | **Rachman (2022)** | **Lembang (2022)** | **Susangunap (2021)** | **Dhaneswara (2024)** | **Nadhif (2025)** | **Prasetio (2026)** |
| Judul | Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program *Geoslope* 2018 (Studi Kasus: Proyek Jalan Tawang- | Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas dan Metode Elemen Hingga | Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga | Analisis Stabilitas Lereng Badan Jalan dengan Timbunan Bertahap dan Menggunakan Perkuatan Geotekstil | Analisis Stabilitas Lereng Ramp Jalan Tol dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan *Geoslope* | Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Menggunakan Perkuatan Geotekstil dengan *Software GeoStudio* | Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas dan *Software GeoStudio SLOPE/W* dengan Perkuatan Geotekstil |

| Aspek | Penelitian Terdahulu | | | | | | Penelitian Yang Dilakukan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Afdhal (2023)** | **Rachman (2022)** | **Lembang (2022)** | **Susangunap (2021)** | **Dhaneswara (2024)** | **Nadhif (2025)** | **Prasetio (2026)** |
| | Ngalang segmen IV STA. 7+750 Gunungkidul D.I Yogyakarta) | | | | | | |
| Lokasi | Proyek Jalan Tawang–Ngalang Segmen IV STA 7+750, Gunungkidul, D.I. Yogyakarta | Jalan Lintas Selatan Ruas Planjan–Tepus STA 2+375. | Jalan Tol Ngawi–Kertosono STA 132+750 | Proyek Jalan Tol Indralaya–Muara Enim Seksi Prabumih–Muara Enim, Sumatera Selatan, STA 117+925. | Lereng ramp Jalan Tol Cakung, Jakarta Timur. | Jalan Tol Pemalang–Batang STA 1+600 | Proyek Pembanguan Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 STA 70+375 |
| Tujuan | Mengetahui nilai angka aman dan | memperoleh faktor keamanan | Mengetahui nilai angka aman dan | Mengetahui kestabilan lereng | Memperoleh nilai faktor keamanan | Mengetahui nilai faktor | Menganalisis stabilitas lereng |

| Aspek | Penelitian Terdahulu | | | | | | Penelitian Yang Dilakukan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Afdhal (2023)** | **Rachman (2022)** | **Lembang (2022)** | **Susangunap (2021)** | **Dhaneswara (2024)** | **Nadhif (2025)** | **Prasetio (2026)** |
| | penurunan yang terjadi pada timbunan lereng Jalan Tawang–Ngalang sebelum dan sesudah diberi perkuatan geotekstil. | lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil, baik melalui metode *Fellenius* maupun program *Plaxis*, serta mengetahui *displacement* yang terjadi. | penurunan pada lereng asli maupun geometri baru setelah diberi perkuatan geotekstil. metode: Metode yang digunakan adalah analisis stabilitas lereng dengan *Plaxis* 8.6 berbasis metode elemen hingga dan | timbunan badan jalan dan menentukan pengaruh timbunan bertahap serta perkuatan geotekstil terhadap nilai angka aman. | lereng ramp jalan tol dengan variasi tinggi timbunan dan mengetahui pengaruh perkuatan geotekstil terhadap stabilitas lereng. | keamanan lereng timbunan pada variasi tinggi timbunan serta mengetahui pengaruh perkuatan geotekstil dan penurunan tanah terhadap stabilitas lereng. | pada STA 70+375 Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen dengan menghitung nilai faktor keamanan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas secara manual dan menggunakan bantuan software GeoStudio SLOPE/W. Selain itu, penelitian ini |

| Aspek | Penelitian Terdahulu | | | | | | Penelitian Yang Dilakukan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Afdhal (2023)** | **Rachman (2022)** | **Lembang (2022)** | **Susangunap (2021)** | **Dhaneswara (2024)** | **Nadhif (2025)** | **Prasetio (2026)** |
| | | | pembanding manual menggunakan metode Fellenius. | | | | juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan perkuatan geotekstil terhadap peningkatan nilai faktor keamanan lereng. |
| Metode | Analisis stabilitas lereng timbunan menggunakan *Geoslope* 2018, | metode Fellenius sebagai metode keseimbangan batas dan | Analisis stabilitas lereng dengan metode elemen hingga menggunakan | Analisis timbunan dengan *Plaxis V20*, perhitungan manual *Fellenius*, analisis timbunan | Metode yang digunakan adalah analisis stabilitas lereng menggunakan | Metode yang digunakan adalah analisis stabilitas lereng dengan | Analisis stabilitas lereng menggunakan metode *Fellenius* secara manual dan |

| Aspek | Penelitian Terdahulu | | | | | | Penelitian Yang Dilakukan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Afdhal (2023)** | **Rachman (2022)** | **Lembang (2022)** | **Susangunap (2021)** | **Dhaneswara (2024)** | **Nadhif (2025)** | **Prasetio (2026)** |
| | perhitungan manual *Fellenius*, dan analisis penurunan konsolidasi. | *Plaxis* versi 22 sebagai metode elemen hingga, dengan geotekstil *woven* yang dipasang secara horizontal. | *Plaxis* 8.6, serta pembanding manual menggunakan metode *Fellenius*. | bertahap, konsolidasi, dan perkuatan geotekstil. | *GeoSlope* dengan variasi tinggi timbunan 2 m, 4 m, dan 5 m, kemudian dibandingkan antara kondisi tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil. | *SLOPE/W GeoStudio* 2018, variasi tinggi timbunan 6 m, 8 m, dan 10 m, serta perhitungan manual Fellenius untuk timbunan 10 m. | pemodelan menggunakan *software GeoStudio SLOPE/W* berdasarkan data parameter tanah yang tersedia. |
| Hasil | lereng asli sudut 35° belum aman pada beberapa | SF tanpa perkuatan sebesar 1,017 | Penelitian menunjukkan lereng tanpa | Timbunan asli setinggi 12 m mengalami | Hasil penelitian menunjukkan nilai SF | setelah diberi geotekstil nilai SF untuk | |

| Aspek | Penelitian Terdahulu | | | | | | Penelitian Yang Dilakukan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Afdhal (2023)** | **Rachman (2022)** | **Lembang (2022)** | **Susangunap (2021)** | **Dhaneswara (2024)** | **Nadhif (2025)** | **Prasetio (2026)** |
| | kondisi, sedangkan lereng sudut 32° dengan geotekstil menghasilkan SF 2,566 tanpa gempa dan 1,187 dengan gempa sehingga dinilai aman. | dengan *Fellenius* dan turun sampai 0,978 pada Plaxis akibat beban timbunan, kendaraan, dan gempa, sedangkan setelah diberi geotekstil SF meningkat menjadi 1,265–1,353. | perkuatan tidak aman dengan SF sekitar 0,9675–0,9541, sedangkan setelah diberi perkuatan nilai SF meningkat sekitar 1,3679 pada lereng asli dan 1,2913 pada geometri baru, sehingga dinyatakan aman. | *collapse*, sedangkan perkuatan geotekstil dapat meningkatkan SF menjadi 1,331 dengan 12 lapis dan 1,520 dengan 18 lapis. | meningkat setelah diberi geotekstil; pada tinggi 2 m SF menjadi 4,291; 2,481; 2,089, pada tinggi 4 m menjadi 2,486; 1,953; 1,731, dan pada tinggi 5 m menjadi 2,337; 1,904; 1,590. | timbunan 6 m, 8 m, dan 10 m pada kondisi gempa meningkat menjadi 1,590; 1,540; dan 1,991, serta penurunan pada timbunan 10 m sebesar 2,201 cm. | |

# BAB III
# LANDASAN TEORI

## 3.1 Tanah

Landasan-landasan teori mengenai tanah dijelaskan dalam poin-poin sebagai berikut.

### 3.1.1 Umum

Dalam ilmu Teknik Sipil, tanah didefinisikan sebagai kumpulan mineral, material organik, dan endapan yang bersifat relatif lepas (*loose*) serta berada di atas lapisan batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antarbutir tanah umumnya lemah karena dipengaruhi oleh keberadaan zat organik, oksida, maupun karbonat yang mengisi sela-sela partikel tanah. Rongga antarpartikel tersebut dapat terisi oleh udara, air, atau kombinasi keduanya. Proses terbentuknya tanah dari batuan dasar dapat terjadi melalui pelapukan fisik dan kimia. Pelapukan fisik dipengaruhi oleh faktor seperti air, angin, erosi, es, aktivitas manusia, serta perubahan suhu dan cuaca yang menyebabkan pecahnya partikel batuan. Sementara itu, pelapukan kimia terjadi akibat pengaruh oksigen, air, dan reaksi kimia lainnya (Hardiyatmo, 2017)

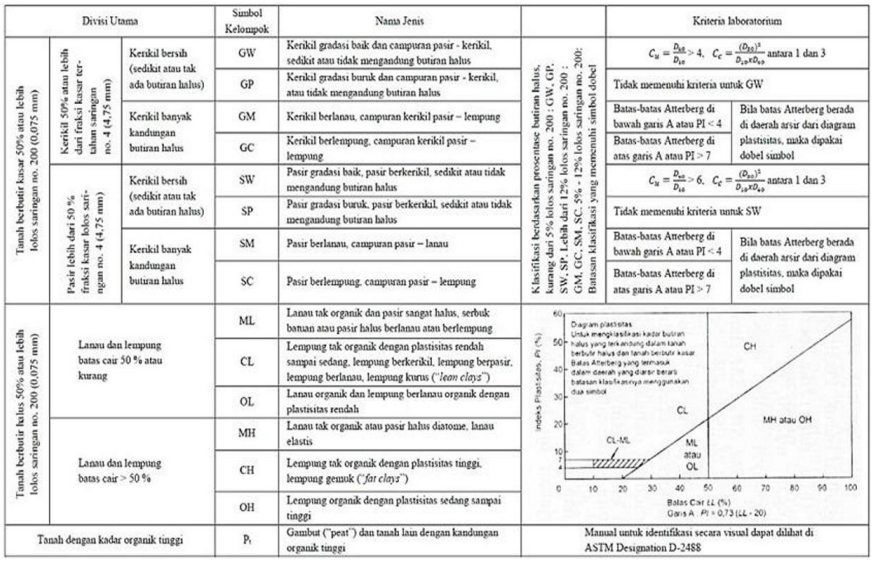
### 3.1.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan dalam bidang geoteknik adalah sistem USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

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

   Klasifikasi tanah berdasarkan USCS pertama kali dikembangkan oleh A. *Casagrande* pada tahun 1942. Pada sistem ini, tanah dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu tanah berbutir kasar yang meliputi kerikil dan pasir, serta tanah berbutir halus yang terdiri dari lanau dan lempung. Tanah dikategorikan sebagai tanah berbutir kasar apabila lebih dari 50% material tertahan pada saringan No. 200. Sebaliknya, tanah diklasifikasikan sebagai tanah berbutir halus apabila lebih dari 50% material lolos saringan No. 200.

Pembagian klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS secara lebih rinci dapat dilihat pada Gambar 3.1.




**Gambar 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS**
(Sumber: Hardiyatmo, 2017)

2. Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*)

Klasifikasi tanah berdasarkan sistem AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) membagi tanah ke dalam tujuh kelompok utama, yaitu A-1 hingga A-7. Dalam penentuan jenis tanah menggunakan metode AASHTO, diperlukan nilai *Group Index* (GI) yang berfungsi sebagai indikator mutu tanah. Nilai indeks kelompok tersebut dihitung menggunakan Persamaan 3.1 berikut.

$$GI = (F - 35)[0{,}2 + 0{,}005(LL - 40)] + 0{,}001(F - 15)(PI - 10) \quad (3.1)$$

Dengan:

GI = indeks kelompok

F = persen butiran lolos saringan no. 200

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Klasifikasi dapat dilihat lebih lengkap pada Gambar 3.2 berikut.

| 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 | | | | A-7-5/A-7-6 |
| Analisa 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 | Pasir batu, kerikil, dan pasir | | Pasir Halus | Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir | | | | Tanah Berlanau | | Tanah Lempung | |
| Penilaian umum sebagai tanah dasar | Sangat baik sampai baik | | | | | | | Sedang sampai buruk | | | |

**Gambar 3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO**
(Sumber: Hardiyatmo, 2017)

Kelompok tanah A-7 pada sistem klasifikasi AASHTO terbagi menjadi dua subkelompok, yaitu A-7-5 dan A-7-6. Pembagian tersebut ditentukan berdasarkan nilai batas plastis (*Plastic Limit/PL*) tanah. Apabila nilai PL lebih besar dari 30, maka tanah diklasifikasikan sebagai A-7-5. Sebaliknya, jika nilai PL kurang dari 30, maka tanah termasuk ke dalam klasifikasi A-7-6.

### 3.1.3 Pengujian Propertis Tanah

Tanah tersusun atas dua hingga tiga komponen utama, yaitu udara, air, dan partikel padat. Di antara butiran tanah terdapat rongga-rongga yang dapat terisi oleh udara, air, maupun keduanya. Tanah dikatakan jenuh apabila seluruh rongga dalam tanah terisi penuh oleh air, sedangkan tanah yang tidak mengandung air disebut sebagai tanah kering. Hubungan antara kadar air, berat volume, dan parameter tanah lainnya dijelaskan sebagai berikut.

1. Kadar air

   Kadar air tanah merupakan persentase kandungan air yang terdapat di dalam tanah. Nilai kadar air diperoleh melalui pengujian dengan membandingkan berat air dalam tanah ($w_w$) terhadap berat tanah kering ($w_s$). Perhitungan kadar air tersebut dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.2 berikut.

$$w = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} x\ 100\% \tag{3.2}$$

Dengan:

w = kadar air (%)

w1 = berat cawan kosong (gr)

w2 = berat cawan + tanah bash (gr)

w3 = berat cawan + tanah kering (gr)

2. Berat volume basah (γb)

Berat volume basah merupakan perbandingan antara berat total tanah yang masih mengandung air dan udara terhadap volume total tanah. Nilai berat volume basah dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.3 berikut.

$$\gamma b = \frac{W}{V}$$

$$\gamma b = \frac{Gs\ \gamma_w\ (1+w)}{1+e} \quad (3.3)$$

Dengan:

γb = Berat volume basah

W = Berat total tanah

V = Volume total tanah

Gs = Berat jenis

γw = Berat volume air

e = Angka pori

3. Berat volume kering (γd)

Berat volume kering merupakan perbandingan antara berat tanah dalam kondisi kering terhadap volume total tanah. Nilai berat volume kering dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.4 berikut.

$$\gamma d = \frac{W_s}{V}$$

$$\gamma d = \frac{Gs+\gamma_w}{1+e} \quad (3.4)$$

Dengan:

γd = Berat volume kering

*Ws* = Berat tanah kering

4. Berat volume padat (γs)

Nilai berat volume tanah padat dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.5 berikut.

$$\gamma s = \frac{W_s}{V_s} \quad (3.5)$$

Dengan:

$V_s$ = Volume total tanah kering

5. Berat jenis

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat volume butiran tanah padat terhadap berat volume air. Nilai berat jenis tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.6 berikut.

$$Gs = \frac{\gamma s}{\gamma w} \quad (3.6)$$

Berat jenis tanah dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1 Berat Jenis Tanah Berbagai Tanah**

| No | Jenis Tanah | Berat Jenis (*Gs*) |
|---|---|---|
| 1 | Kerikil | 2,65 - 2,68 |
| 2 | Pasir | 2,65 - 2,68 |
| 3 | Lanau anorganik | 2,62 - 2,68 |
| 4 | Lanau organik | 2,58 – 2,65 |
| 5 | Lempung anorganik | 2,68 – 2,75 |
| 6 | Humus | 1,37 |
| 7 | Gambut | 1,25 – 1,80 |

(Sumber: Hardiyatmo,2017)

6. Pengujian analisis granuler

Pada pengujian analisis gradasi tanah, metode pengujian dibedakan menjadi dua jenis, yaitu analisis saringan (*sieve analysis*) dan analisis hidrometer (*hydrometer analysis*).

a. Analisis Saringan

Analisis saringan dilakukan untuk mengetahui persentase distribusi ukuran butir tanah yang tertahan pada saringan No. 200. Pengujian ini dilakukan dengan cara menyaring sampel tanah menggunakan beberapa ukuran bukaan saringan yang berbeda.

b. Analisis Hidrometer

Tujuan dilakukan analisis hidrometer ini adalah untuk menentukan persentase ukuran butir tanah yang lolos pada saringan nomer 200. Metode uji ini menggunakan dasar hukum *Stokes* dengan memasukkan reagen kedalam larutan air.

7. Batas-batas konsistensi

Tanah berbutir halus memiliki sifat plastis akibat adanya kandungan mineral lempung di dalamnya. Plastisitas menunjukkan kemampuan tanah untuk mengalami perubahan bentuk tanpa mengalami retak atau hancur pada volume yang relatif tetap. Kondisi fisik tanah pada kadar air tertentu dikenal sebagai konsistensi tanah. Hardyatmo (2018) menjelaskan batas-batas konsistensi tanah berbutir halus melalui pengukuran kadar air yang meliputi batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

a. Batas cair

Batas cair (*liquid limit*) merupakan kadar air pada kondisi peralihan antara keadaan tanah cair dan plastis. Penentuan nilai batas cair dilakukan menggunakan alat *Cassagrande* dengan cara memberikan pukulan pada sampel tanah hingga celah tanah menutup sepanjang 12,7 mm. Nilai batas cair diperoleh pada jumlah pukulan sebanyak 25 kali.

b. Batas plastis

Batas plastis (*plastic limit*) merupakan kadar air pada kondisi peralihan antara tanah dalam keadaan semi padat (*semi solid*) dan plastis. Kondisi tersebut ditandai ketika sampel tanah dapat digulung hingga berdiameter sekitar 3,1 mm dan mulai muncul retakan-retakan pada permukaannya.

c. Batas susut

Batas susut (*shrinkage limit*) merupakan kadar air pada kondisi peralihan antara tanah dalam keadaan padat (*solid*) dan semi padat (*semi solid*). Pada kondisi ini, tanah mulai mengalami perubahan volume akibat penambahan atau pengurangan kadar air. Nilai batas susut dinyatakan pada Persamaan 3.7 berikut.

$$SL = w - \left(\frac{V - V_o}{W_o}\right) x\ 100\% \quad (3.7)$$

Dengan:

SL = batas susut tanah

w = kadar air (%)

V = volume tanah basah (cm)

Vo = volume tanah kering oven ($cm^3$)

Wo = berat tanah kering (gr)

d. Indeks plastisitas

Indeks plastisitas adalah parameter yang menunjukkan kemampuan tanah untuk mengalami deformasi secara plastis saat menerima tekanan. Nilai indeks plastisitas diperoleh dari selisih antara nilai batas cair dan batas plastis sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 3.8 berikut.

$$PI = LL - PL \quad (3.8)$$

Dengan:

PI = indeks plastisitas

LL = batas cair

PL = batas plastis

Berikut adalah pengelompokan macam tanah berdasarkan nilai indeks plastisitas sesuai Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Macam Tanah Berdasarkan Nilai Indeks Plastisitas**

| PI | Sifat | Macam Tanah | Kohesi |
|---|---|---|---|
| 0 | Non plastisitas | Pasir | Non kohesif |
| <7 | Plastisitas rendah | Lanau | Kohesif Sebagian |
| 7-17 | Plastisitas sedang | Lempung berlanau | Kohesif |
| >17 | Plastisitas tinggi | Lempung | Kohesif |

(Sumber: Hardiyatmo, 2017)

8. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas merupakan parameter yang menunjukkan tingkat elastisitas tanah berdasarkan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan yang dihasilkan. Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Perkiraan Modulus Elastisitas (E)**

| **Macam Tanah** | **E (kN/m$^2$)** |
|---|---|
| **Lempung** | |
| Sangat lunak | 300 – 3000 |
| Lunak | 2000 – 4000 |
| Sedang | 4500 – 9000 |
| Keras | 7000 – 20000 |
| Berpasir | 30000 – 42500 |
| **Pasir** | |
| Berlanau | 5000 – 20000 |
| Tidak padat | 10000 – 25000 |
| Padat | 50000 - 100000 |
| **Pasir dan Kerikil** | |
| Padat | 80000 – 200000 |
| Tidak padat | 50000 – 140000 |
| Lanau | 2000 – 20000 |
| Loose | 15000 – 60000 |
| Serpih | 140000 - 1400000 |

(Sumber: Bowles, 1977)

9. *Poisson's ratio*

Besarnya nilai tersebut dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.4 Hubungan Antara Jenis Tanah dan *Poisson's Ratio***

| Jenis Tanah | *Poisson's Ratio* (μ) |
|---|---|
| Lempung jenuh | 0,4 – 0,5 |
| Jenis Tanah | *Poisson's ratio* |
| Lempung tak jenuh | 0,1 – 0,3 |
| Lempung berpasir | 0,2 – 0,3 |
| Lanau | 0,3 – 0,35 |
| Pasir padat | 0,2 – 0,4 |
| Pasir kasar (e = 0,4 – 0,7) | 0,15 |
| Pasir halus (e = 0,4 – 0,7) | 0,25 |
| Batu | 0,1 – 0,4 |
| *Loose* | 0,1 – 0,3 |

(Sumber: Bowles, 1977)

3.1.4 Korelasi Hasil Pengujian Lapangan terhadap Parameter Tanah

Korelasi hasil pengujian lapangan terhadap parameter tanah dilakukan untuk mempermudah proses perencanaan maupun pengawasan dalam memperoleh informasi mengenai hubungan antarparameter geoteknik. Salah satu parameter yang sering digunakan dalam korelasi adalah nilai N-SPT, yang dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan berbagai parameter tanah lainnya.

1. Korelasi N-SPT terhadap kepadatan tanah granular

Nilai N-SPT pada tanah granular dapat digunakan untuk menentukan tingkat kepadatan tanah. Korelasi ini membagi tanah pasir berdasarkan nilai N-SPT menjadi beberapa kondisi, yaitu sangat lepas, lepas, sedang, padat, dan sangat padat. Korelasi tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5 Korelasi N-SPT terhadap Kepadatan Tanah Granular**

| Nilai N | Kepadatan Relatif |
|---|---|
| 0-4 | *Very Loose* |

**Lanjutan Tabel 3.5 Korelasi N-SPT terhadap Kepadatan Tanah Granular**

| | |
|---|---|
| 5-10 | *Loose* |
| 11-30 | *Medium Dense* |
| 31-50 | *Dense* |
| >50 | *Very Dense* |

(Sumber: Bowles, 1997)

2. Korelasi N-SPT terhadap berat isi dan sudut geser dalam

   Pada tanah granular, nilai N-SPT juga dapat digunakan untuk memperkirakan berat isi tanah dan sudut geser dalam. Tanah dengan nilai N-SPT yang lebih besar menunjukkan kondisi yang lebih padat, sehingga umumnya memiliki berat isi dan sudut geser dalam yang lebih besar. Korelasi tersebut ditunjukkan dalam Tabel 3.6 berikut.

**Tabel 3.6 Variasi Korelasi N-SPT dengan Berat Volume Tanah dan Sudut Geser Dalam**

| Nilai N | Kondisi Tanah | $\gamma$ (kN/m$^3$) | $\phi$ ($^o$) |
|---|---|---|---|
| 0-10 | *Loose* | 12-16 | 25-32 |
| 11-30 | *Medium* | 14-18 | 28-36 |
| 31-50 | *Dense* | 16-20 | 30-40 |
| >50 | *Very Dense* | 18-23 | >35 |

(Sumber: Bowles, 1997)

3. Korelasi jenis tanah dengan modulus elastisitas tanah (E)

   Modulus elastisitas tanah merupakan parameter yang menunjukkan kekakuan tanah dalam menerima beban. Nilai E dapat diperkirakan berdasarkan jenis tanah dan tingkat kepadatannya, di mana tanah granular yang lebih padat umumnya memiliki nilai E yang lebih besar. Korelasi tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.8 berikut.

**Tabel 3.7 Variasi Korelasi Jenis Tanah dengan Modulus Elastisitas**

| Jenis Tanah | Modulus Elastisitas ($kN/m^2$) |
|---|---|
| Pasir berlanau | 5.000-20.000 |
| Pasir lepas | 10.000-25.000 |
| Pasir padat | 50.000-100.000 |
| Pasir dan kerikil tidak padat | 50.000-140.000 |
| Pasir dan kerikil padat | 80.000-200.000 |

(Sumber: Bowles, 1968)

4. Korelasi jenis tanah dengan nilai *Angle of Friction* (ϕ)

   Nilai *Angle of Friction* (ϕ) dapat diperkirakan berdasarkan jenis tanah. Parameter ini menunjukkan perbandingan regangan lateral terhadap regangan aksial pada tanah. Pada tanah pasir, nilai *Angle of Friction* umumnya berada pada rentang sekitar $30^o$-$40^o$ tergantung kepadatan dan kandungan butiran halusnya.

**Tabel 3.8 Korelasi Jenis Tanah terhadap *Poisson's Ratio***

| ***Soil Type*** | ***Angle of Friction*** **(º)** |
|---|---|
| *Loose sand* | 25-32 |
| *Medium sand* | 28-36 |
| *Dense sand* | 30-40 |
| *Very dense sand* | >35 |

(Sumber: Bowles, 1997)

5. Kohesi pada tanah granular

   Pada tanah granular seperti pasir dan kerikil, nilai kohesi efektif (c) umumnya sangat kecil atau mendekati nol, terutama apabila tanah dianalisis dalam kondisi *drained*. Hal ini disebabkan karena kuat geser tanah granular terutama berasal dari friksi antarbutir, yang dinyatakan dalam nilai sudut geser dalam (ϕ). Oleh karena itu, dalam analisis stabilitas lereng, nilai kohesi efektif tanah granular sering diambil sebesar 0 kPa. Dengan demikian, korelasi N-SPT pada tanah granular tidak digunakan untuk menentukan nilai kohesi, melainkan digunakan untuk memperkirakan tingkat kepadatan dan sudut geser dalam tanah. Nilai kohesi kecil dapat digunakan sebagai kohesi semu

apabila terdapat kandungan lanau atau sementasi ringan, namun untuk analisis konservatif tanah granular dapat dimodelkan dengan c = 0 kPa.

### 3.1.5 Kuat Geser Tanah

Menurut Hardiyatmo (2018), kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dimiliki tanah terhadap pengaruh desakan maupun tarikan antarbutir tanah. Dalam proses pembebanan, tahanan tanah dipengaruhi oleh dua komponen utama, yaitu kohesi tanah yang bergantung pada jenis serta kepadatan tanah, dan gesekan antarbutir tanah yang nilainya dipengaruhi oleh tegangan normal pada bidang geser. Hubungan tersebut dinyatakan menggunakan persamaan *Coulomb* (1776), yang ditunjukkan pada Persamaan 3.9 berikut.

$$\tau = c + \sigma \, tg\varphi \tag{3.9}$$

Dengan:

$\tau$ = Kuat geser dalam (kN/m$^2$)
c = Kohesi (kN/m$^2$)
$\sigma$ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m$^2$)
$\varphi$ = Sudut geser dalam (derajat)

## 3.2 Lereng

Lereng merupakan permukaan tanah yang memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami akibat proses geologi maupun dibuat manusia untuk keperluan konstruksi tertentu. Dalam bidang teknik sipil, lereng dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

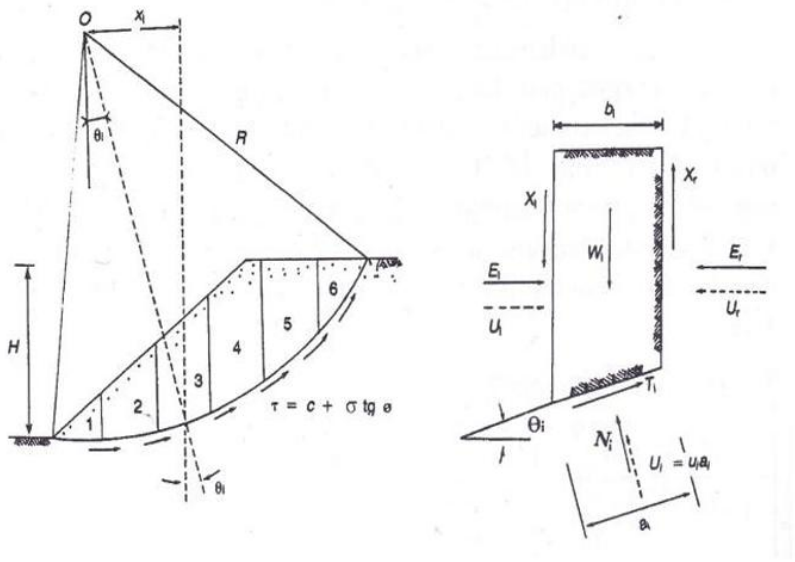
1. Lereng alam, yaitu lereng yang terbentuk secara alami, seperti lereng perbukitan.
2. Lereng buatan dari tanah asli, yaitu lereng hasil galian tanah untuk pembangunan jalan atau saluran irigasi.
3. Lereng timbunan, yaitu lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan, seperti pada tanggul jalan atau bendungan tanah.

Perbedaan elevasi pada dua permukaan tanah akan menimbulkan gaya gravitasi yang mendorong massa tanah bergerak ke bawah. Gaya tersebut dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran pada lereng.

## 3.3 Analisis Stabilitas Lereng

### 3.3.1 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode *Fellenius*

Menurut Hardiyatmo (2018), metode *Fellenius* merupakan metode analisis stabilitas lereng yang membagi massa tanah longsor menjadi beberapa irisan vertikal. Meskipun memiliki tingkat kesalahan yang dipengaruhi oleh faktor keamanan, bidang longsor, dan tekanan air pori, metode ini masih banyak digunakan karena perhitungannya sederhana dan hasilnya cenderung konservatif. Gaya-gaya yang bekerja pada tiap irisan ditunjukkan pada Gambar 3.3.




**Gambar 3.3 Gaya yang Bekerja pada Irisan Vertikal**
(Sumber: Hardiyatmo, 2018)

Dengan:

$X_1$, $X_r$ = Gaya geser efektif di sepanjang irisan

$E_1$, $E_r$ = Gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

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

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

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

$U_i$ = Tekanan air pori di dasar irisan

Pada metode ini, gaya-gaya pada sisi kiri dan kanan tiap irisan diasumsikan memiliki resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Nilai faktor keamanan metode *Fellenius* dinyatakan pada Persamaan 3.10 berikut.

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

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c\ ai + (Wi\ cos\ \Theta i - ui\ ai) tg\varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} Wi\ sin\ \Theta i} \quad (3.10)$$

Dengan:

$F$ = Faktor aman

$c$ = Kohesi tanah (kN/m$^2$)

$\varphi$ = Sudut geser dalam tanah ($^o$)

$\alpha_i$ = Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-i (m)

$W_i$ = Berat irisan tanah ke-i (kN)

$U_i$ = Tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m$^2$)

$\Theta_i$ = Sudut yang didefinisikan dalam gambar (derajat)

### 3.3.2 Program *GeoStudio SLOPE/W*

*GeoStudio* merupakan perangkat lunak geoteknik yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng, aliran rembesan air tanah, serta pemodelan perilaku geoteknik. Perangkat ini terdiri dari beberapa modul, antara lain *Slope/W*, *Seep/W*, *Sigma/W*, *Quake/W*, *Temp/W*, dan *Ctran/W*, yang dapat digunakan secara terpadu untuk menyelesaikan berbagai permasalahan geoteknik yang kompleks. Masing-masing modul memiliki fungsi dan tujuan yang berbeda, yaitu sebagai berikut.

1. *SLOPE/W*

   *SLOPE/W* digunakan untuk mengevaluasi faktor keamanan kestabilan lereng tanah maupun batuan. Program ini dapat digunakan pada kondisi sederhana hingga kompleks dengan menerapkan berbagai metode keseimbangan batas (*limit equilibrium*) pada beragam geometri lereng, kondisi air tanah, sifat

tanah, serta pembebanan terpusat. Selain itu, *Slope/W* juga dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas tanah yang diperkuat dengan geosintetik, *soil nailing*, *anchor*, dan berbagai sistem perkuatan lainnya.

2. *SEEP/W*

   Digunakan untuk menganalisis aliran rembesan air tanah serta permasalahan disipasi tekanan air pori berlebih. Program ini memungkinkan analisis kondisi jenuh maupun tidak jenuh, bergantung pada kondisi geoteknik yang ditinjau secara spesifik.

3. *SIGMA/W*

   Digunakan untuk melakukan analisis tegangan dan regangan pada masalah geoteknik. Program ini memungkinkan pengguna untuk menganalisis berbagai kondisi, mulai dari kasus deformasi yang sederhana hingga permasalahan yang lebih kompleks yang melibatkan konsep tegangan efektif.

4. *TEMP/W*

   Digunakan untuk analisis transfer panas dalam tanah dan pemodelan dampak perubahan suhu terhadap perilaku geoteknik.

5. *CTRANS/W*

Digunakan untuk menganalisis transportasi massa dan panas di dalam tanah, serta memodelkan reaksi kimia dan biologis, termasuk proses degradasi material.

## 3.4 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas diaplikasikan pada permukaan jalan dengan besar beban yang disesuaikan berdasarkan kelas jalan yang digunakan. Hubungan antara kelas jalan dan besarnya beban lalu lintas ditunjukkan pada Tabel 3.11 berikut.

**Tabel 3.9 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas**

| Kelas Jalan | Beban Lalu Lintas (kPa) | Beban di Luar Jalan (kPa) |
|---|---|---|
| I | 15 | 10 |
| II | 12 | 10 |
| III | 12 | 10 |

(Sumber: SNI 8460:2017)

## 3.5 Kriteria Faktor Keamanan

Kriteria faktor keamanan pada analisis stabilitas lereng ditentukan berdasarkan pertimbangan tingkat risiko, konsekuensi kegagalan lereng, serta tingkat ketidakpastian kondisi dalam analisis. Nilai kriteria faktor keamanan tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.12 berikut

**Tabel 3.10 Kriteria Faktor Keamanan**

| Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng | Tingkat ketidakpastian kondisi analisis | |
|---|---|---|
| | Rendah | Tinggi |
| Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif | 1,25 | 1,5 |
| Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif | 1,5 | 2,0 atau lebih |

(Sumber: SNI 8460:2017)

## 3.6 Geotekstil

Geotekstil merupakan material sintetis permeabel yang terbuat dari bahan tekstil polimer, seperti *polyester* atau *polypropylene*. Dalam bidang geoteknik, geotekstil dapat berfungsi sebagai separator, filter, pelindung, maupun perkuatan tanah. Secara umum, geotekstil dibedakan menjadi dua jenis, yaitu geotekstil anyam (*woven*) dan geotekstil tidak anyam (*non-woven*). Geotekstil *woven* dibuat melalui proses anyaman dan umumnya berbahan dasar *polypropylene* (PP). Secara visual, jenis ini menyerupai karung beras. Geotekstil *woven* banyak digunakan sebagai material stabilisasi tanah dasar, khususnya pada tanah lunak, karena memiliki kuat tarik (*tensile strength*) yang lebih tinggi dibandingkan geotekstil *non-woven* (Sari, 2019).

## 3.7 Penurunan Tanah

Apabila suatu lapisan tanah menerima beban di atasnya, maka partikel tanah akan mengalami penambahan tegangan yang menyebabkan terjadinya penurunan (*settlement*). Penurunan tersebut dapat terjadi akibat deformasi butiran tanah,

keluarnya air atau udara dari rongga pori tanah, dan faktor lainnya. Penurunan tanah yang besar dapat menjadi permasalahan penting dalam pekerjaan konstruksi.

Salah satu jenis penurunan adalah penurunan langsung (*immediate settlement*) atau penurunan elastis yang terjadi akibat deformasi elastis pada tanah kering, lembab, maupun jenuh tanpa perubahan kadar air. Analisis penurunan ini umumnya didasarkan pada teori elastisitas dan terjadi dalam kondisi undrained atau tanpa perubahan volume tanah. Penurunan langsung biasanya berlangsung dalam waktu singkat selama proses konstruksi.

Besarnya penurunan elastis dipengaruhi oleh modulus elastisitas tanah dan besarnya beban yang bekerja di atas tanah. Dalam perhitungannya, parameter yang digunakan antara lain undrained modulus yang dapat diperoleh dari pengujian tanah seperti SPT, sondir (*Dutch Cone Penetration Test*), dan *pressuremeter test*. Persamaan untuk menghitung penurunan langsung ditunjukkan pada Persamaan 3.11 berikut.

$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{p\prime - \Delta p}{Po\prime} \tag{3.11}$$

Dengan:

Si = Penurunan langsung (m)

Δσ = Beban timbunan (kN/m$^2$)

Po = Tegangan vertikal efektif awal pada tanah

H = Tinggi timbunan (m)

C = Angka pemampatan

P = Tegangan efektif tanah

Tegangan tanah yang terjadi merupakan tegangan tanah terbagi merata berbentuk trapezium yang berasal dari timbunan. Dapat dirumuskan dengan Persamaan 3.12 berikut.

$$\Delta\sigma = q \times Ip \tag{3.12}$$

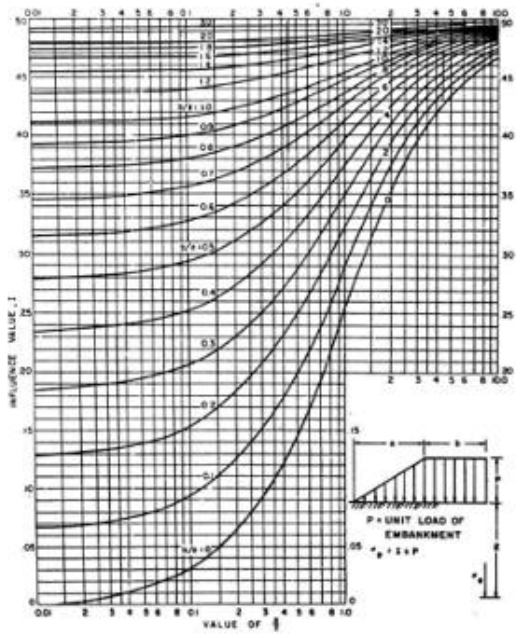
Dengan:

q = Penambahan tegangan (kN/m$^2$)

Δσ = Beban timbunan (kN/m$^2$)

Ip = *non-dimensional influence factor*

*Influence factor* yang digunakan dapat dicari dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.4 berikut.




**Gambar 3.4 Grafik *Influence Factor***
(Sumber: Osterberg, 1957)

Nilai penurunan memiliki Batasan tertentu dalam kriteria penurunannya. Mengacu pada SNI 8640-2017, penurunan izin untuk semua jenis struktur bawah adalah sebesar <15 cm + b/600 (b dalam satuan cm).

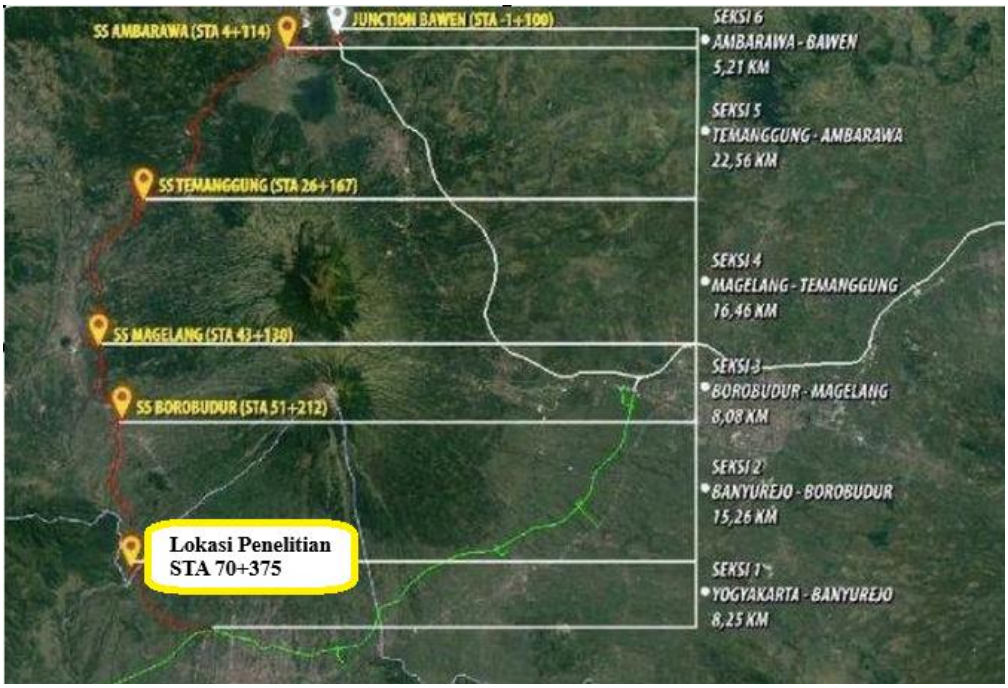
# BAB IV
# METODE PENELITIAN

## 4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan rangkaian proses yang dilakukan peneliti untuk mengumpulkan data serta menganalisis data yang diperoleh. Penelitian ini dilaksanakan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1. Lingkup penelitian mencakup analisis stabilitas lereng pada pekerjaan timbunan serta kondisi lereng timbunan setelah dilakukan perkuatan menggunakan geotekstil. Analisis dilakukan dengan bantuan *software GeoStudio SLOPE/W*, yang menghasilkan nilai faktor keamanan lereng.

## 4.2 Lokasi Studi Kasus

Penelitian ini dilaksanakan pada proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Paket 1 (Seksi 1) di STA 70+375. Peta lokasi Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Paket 1 (Seksi 1) serta detail lokasi beserta penjelasan singkatnya disajikan pada Gambar 4.1




**Gambar 4.1 Lokasi Studi Kasus**
(Sumber: Simpul KPBU Kementrian PUPR, 2024)

## 4.3 Analisis Data

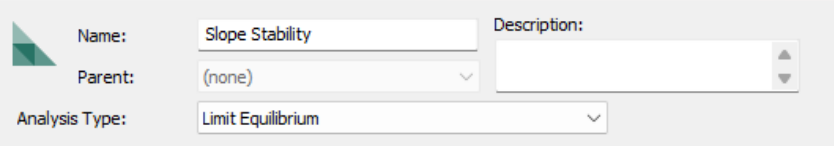
Metode analisis data merupakan tahapan yang dilakukan untuk mempermudah peneliti dalam memahami dan mengolah data yang telah diperoleh. Data-data tersebut selanjutnya dianalisis berdasarkan tahapan pengerjaan penelitian.

## 4.4 Pengoperasian Program *GeoStudio SLOPE/W*

Berikut adalah tahapan pengoperasian program *GeoStudio SLOPE/W*

1. Menentukan *Analysis Type*

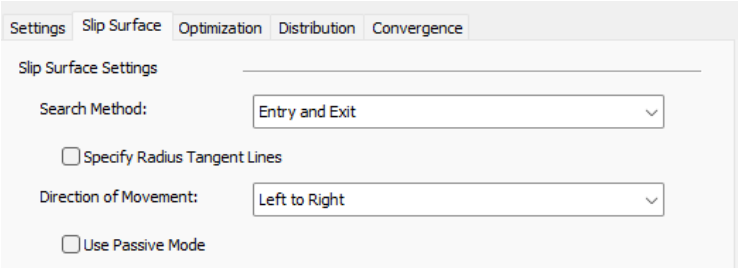
   Langkah awal yang dilakukan adalah memilih tipe analisis stabilitas lereng yang akan digunakan. Pemilihan jenis analisis dilakukan melalui menu *Analysis Type*, kemudian disesuaikan dengan metode analisis yang direncanakan.




**Gambar 4.2 Menentukan *Analysis Type***

2. Menentukan *Slip Surface Option*

   Setelah jenis analisis dipilih, langkah berikutnya adalah mengatur pilihan bidang gelincir atau *Slip Surface Option*. Pengaturan ini digunakan untuk menentukan arah dan bentuk kemungkinan bidang longsor sesuai dengan kondisi lereng di lapangan.

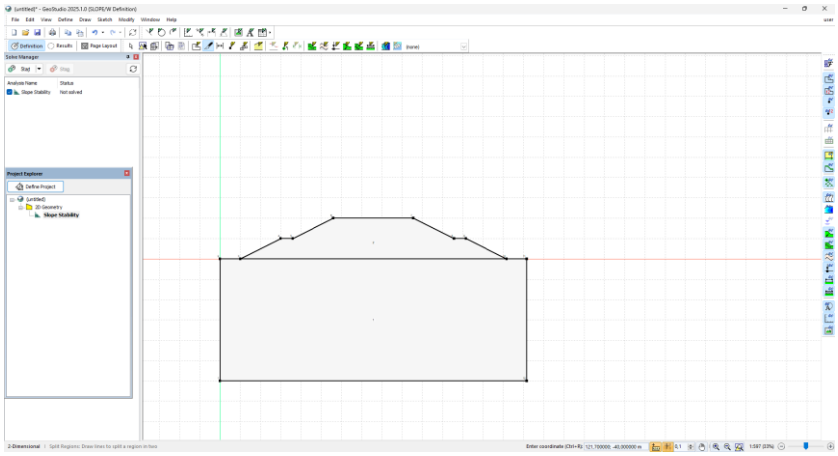



**Gambar 4.3 Menentukan *Slip Surface***

3. Membuat Pemodelan Timbunan

   Sketsa lereng dibuat dengan menggunakan fitur *Sketch Polyline* pada *toolbar*. Penggambaran dilakukan dengan memasukkan koordinat dalam format X;Y

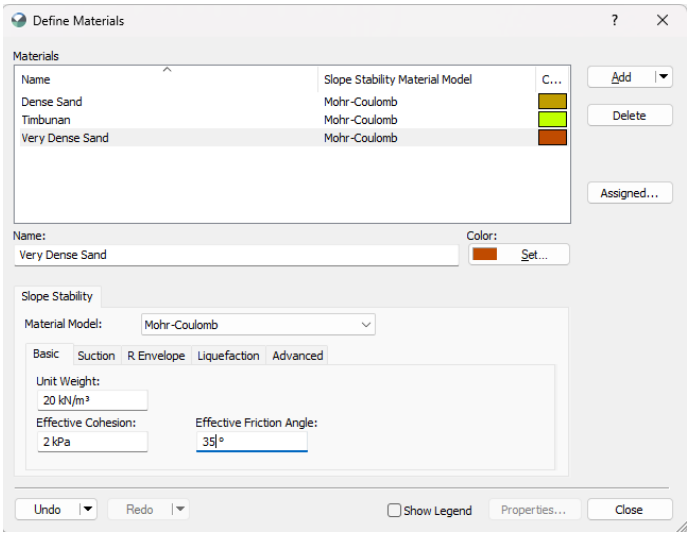
agar bentuk geometri lereng dapat tergambar sesuai dengan data potongan melintang.



**Gambar 4.4 Pemodelan Timbunan**

4. Mendefinisikan Parameter Tanah

Parameter tanah seperti berat isi tanah γ, kohesi c, dan sudut geser dalam ϕ dimasukkan ke dalam program. Sebelum memasukkan parameter, satuan yang digunakan perlu disesuaikan terlebih dahulu. Tahapan input material dilakukan melalui menu *KeyIn*, kemudian memilih *Materials*, menambahkan material baru dengan *Add*, memberi nama material, lalu memilih model material *Mohr-Coulomb*.



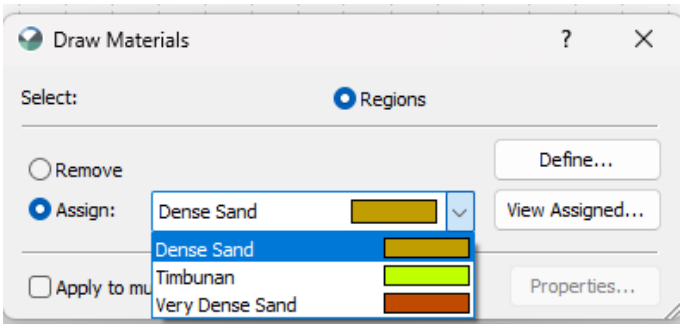

**Gambar 4.5 Mendefinisikan Parameter Tanah**

5. Menggambar Batas Lapis Tanah

Batas antar lapisan tanah digambar berdasarkan koordinat geometri lereng agar hasil pemodelan lebih presisi. Penggambaran dilakukan dengan fitur *Draw Regions* pada *toolbar*, kemudian memasukkan koordinat X;Y atau menggambar langsung menggunakan *mouse* sesuai batas lapisan tanah. Jika menggambar menggunakan *mouse*, klik dilakukan satu per satu dan tidak boleh ditahan.

6. Menentukan Parameter Tanah

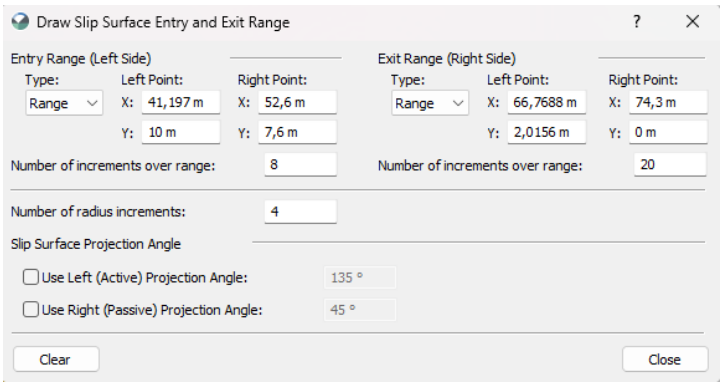
Setelah batas lapisan tanah selesai dibuat, setiap area lapisan diberi material sesuai jenis tanahnya. Proses ini dilakukan melalui fitur *Draw Materials*, kemudian memilih material yang sesuai dengan masing-masing lapisan tanah.



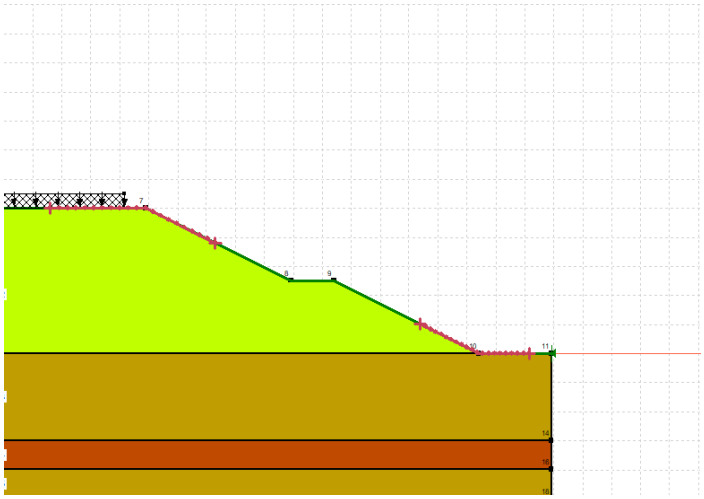

**Gambar 4.6 Memplot Parameter Tanah**

7. Menggambar *Entry and Exit* Bidang Longsor

Untuk menentukan area pencarian bidang longsor, perlu dibuat garis *Entry and Exit*. Langkah ini dilakukan melalui menu *KeyIn*, kemudian memilih *Slip Surface*, lalu menentukan koordinat *entry dan exit* sesuai lokasi bidang longsor yang akan dianalisis.



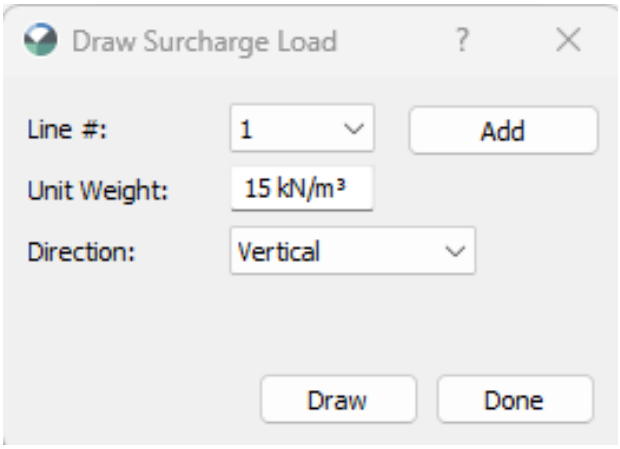

**Gambar 4.7 Menentukan *Entry* dan *Exit***



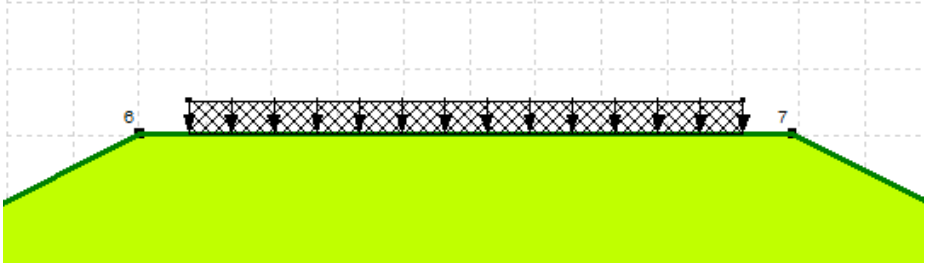
**Gambar 4.8 Setelah Entry dan Exit ditentukan**

8. Menggambar Beban Merata

Beban merata yang bekerja di atas timbunan dimasukkan melalui menu *KeyIn*, kemudian memilih *Surcharge Loads*. Setelah itu, beban ditempatkan pada koordinat yang sesuai dan besar bebannya dimasukkan berdasarkan data yang digunakan.



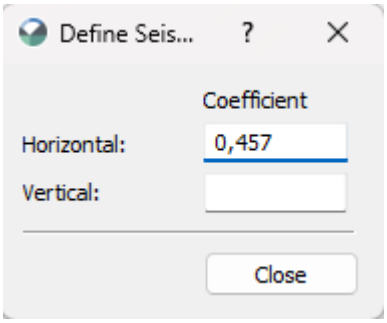

**Gambar 4.9 Memasukkan Nilai Beban Merata**




**Gambar 4.10 Setelah Beban Merata Digambar**

9. Memasukkan Beban Gempa

   Beban gempa dimasukkan dalam bentuk koefisien gempa horizontal dan vertikal sesuai dengan wilayah gempa yang dianalisis. Tahap ini dilakukan melalui menu *Seismic Loads*, kemudian nilai koefisien gempa dimasukkan sesuai kebutuhan analisis.




**Gambar 4.11 Memasukkan Beban Gempa**

10. Menggambar Perkuatan Geotekstil

    Perkuatan geotekstil digambarkan sesuai dengan posisi, panjang, dan data kuat tarik geotekstil yang digunakan. Penggambaran dilakukan dengan memperhatikan koordinat pemasangan agar letak geotekstil sesuai dengan desain perkuatan.

11. Melihat Hasil *Safety Factor*

    Setelah seluruh data geometri, material, beban, gempa, dan perkuatan dimasukkan, analisis dijalankan melalui menu *Start* pada menu *bar*, kemudian memilih *Solve Manager*. Setelah proses selesai, hasil analisis dapat dilihat dalam bentuk nilai *Safety Factor* dan visualisasi bidang longsor.

## 4.5 Tahapan Analisis Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahap penelitian sebagai berikut.

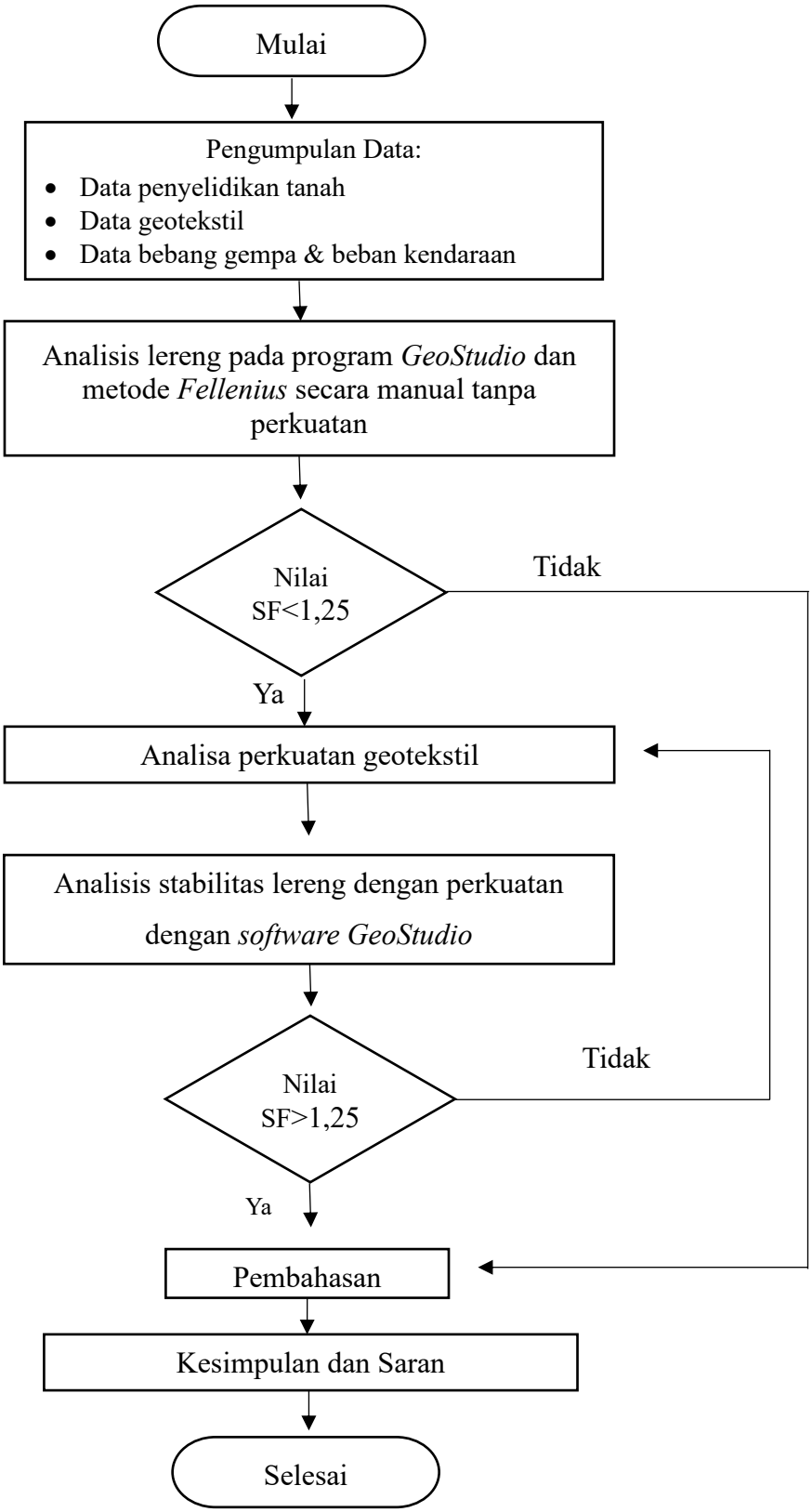
1. Tahap pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data tanah dari hasil uji lapangan dan laboratorium yang diperlukan untuk analisis, berdasarkan Laporan Analisis Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Paket 1 (Seksi 1).
2. Tahap analisis dan pengolahan data mencakup pengolahan seluruh data yang telah diperoleh, baik dari uji lapangan maupun laboratorium, serta dilakukan

pemodelan lereng. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai faktor keamanan secara manual dengan metode *Fellenius* dan dengan bantuan program *GeoStudio SLOPE/W*.

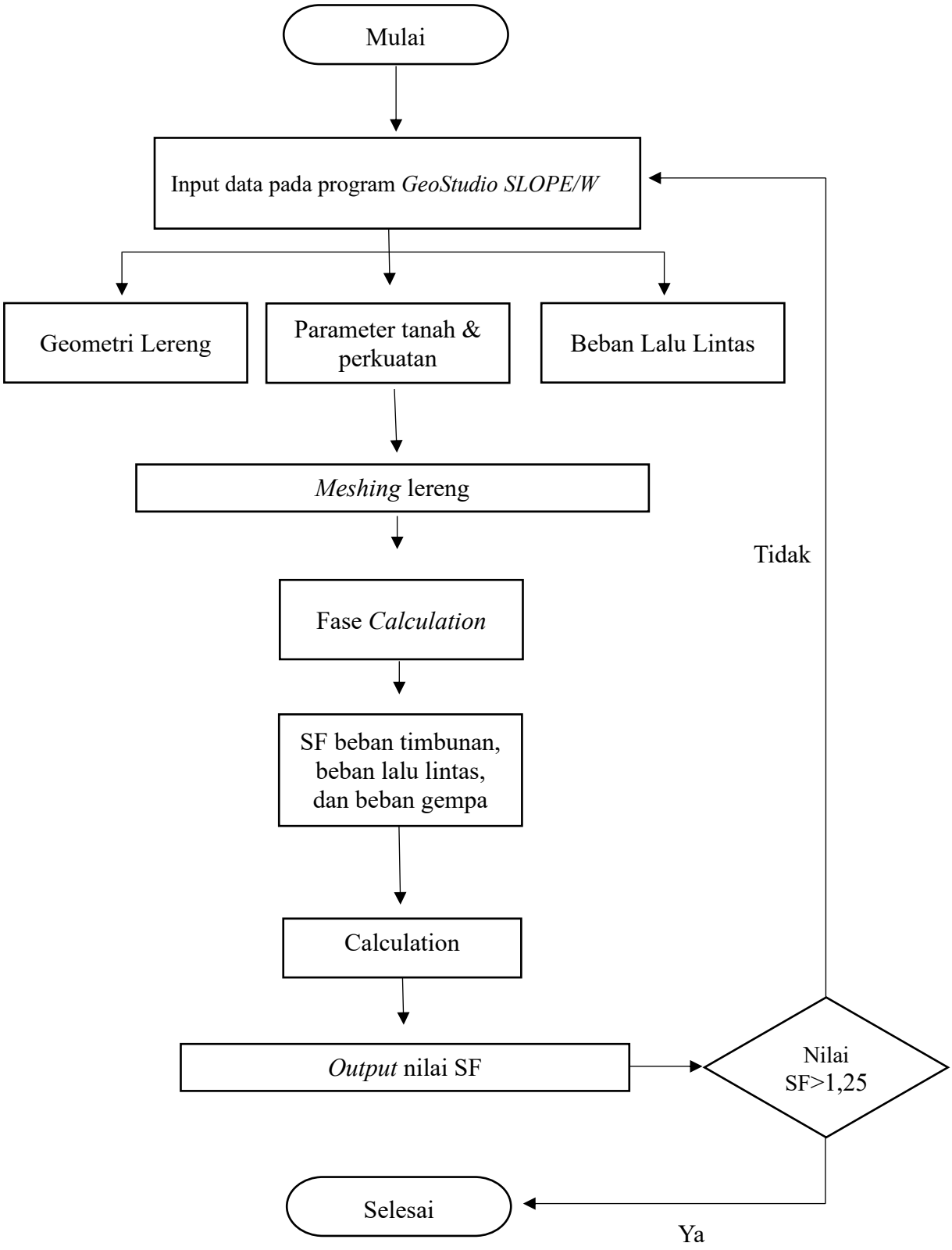
3. Tahap berikutnya adalah pemodelan lereng yang telah diberi perkuatan geotekstil, kemudian dilakukan perhitungan nilai faktor keamanan (SF) menggunakan *GeoStudio Slope/W* untuk dibandingkan dengan kondisi tanpa perkuatan.
4. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan dilakukan dengan menyusun laporan hasil analisis yang telah dilaksanakan. Laporan tersebut memuat solusi terhadap permasalahan yang ditemukan serta kesimpulan berdasarkan hasil perhitungan.

## 4.6 Bagan Alir Penelitian

Adapun langkah penelitian dan Langkah penggunaan *software GeoStudio SLOPE/W* yang akan dilakukan disajikan dalam bentuk bagan alir penelitian dapat dilihat pada gambar 4.12 dan gambar 4.13 berikut.




**Gambar 4.12 Bagan Alir Penelitian**

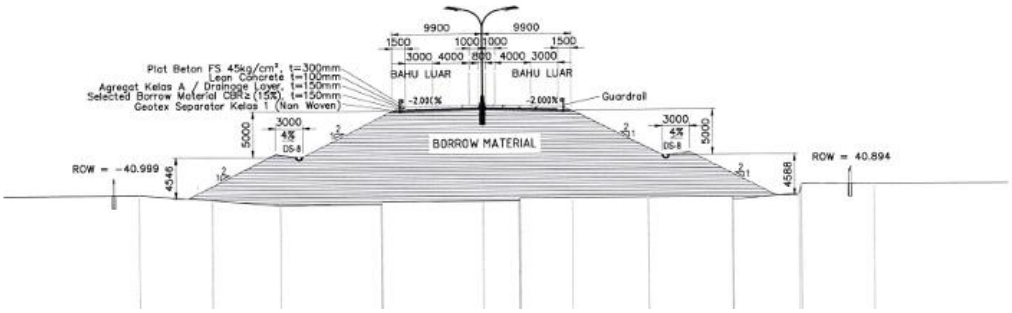



**Gambar 4.13 Bagan Alir Program *GeoStudio SLOPE/W***

# BAB V
# ANALISIS DAN PEMBAHASAN

## 5.1 Gambaran Umum

Analisis stabilitas lereng timbunan pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Fellenius* dan program *GeoStudio SLOPE/W* untuk kondisi lereng asli tanpa perkuatan maupun dengan perkuatan geotekstil pada masa konstruksi. Data yang diperlukan dalam analisis meliputi potongan melintang lereng, pembebanan, beban gempa, dan data geotekstil. Gambar potongan melintang yang digunakan dalam analisis ditunjukkan pada Gambar 5.1 berikut.




**Gambar 5.1 Potongan Melintang Timbunan STA 70+375**

Berdasarkan data *drill hole record* dengan nomor BH-23(1) STA 70+375, lapisan tanah di lokasi penelitian didominasi oleh material granular berupa pasir halus hingga kasar, *gravel, cobble, hingga boulder*. Data hasil uji *Standard Penetration Test* (N-SPT) dan deskripsi lapisan tanah pada borelog digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai parameter tanah yang dibutuhkan untuk menganalisa stabilitas lereng. Penentuan nilai parameter tanah dilakukan melalui korelasi menggunakan tabel korelasi N-SPT terhadap berat jenis tanah yang dikemukakan oleh Bowles (1997). Data nilai *Standard Penetration Test* (N-SPT) yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari pihak Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta–Bawen pada lokasi STA 70+375. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan parameter tanah melalui korelasi. Nilai N-SPT pada setiap kedalaman dapat dilihat pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1 Data N-SPT**

| Kedalaman (m) | Nilai N | Deskripsi |
|---|---|---|
| 2 | 38 | Pasir halus-kasar |
| 4 | 46 | |
| 6 | 41 | |
| 8 | 60 | Boulders densitas padat |
| 10 | 44 | Pasir halus-kasar |
| 12 | 60 | Gravel kasar |
| 14 | 60 | |
| 16 | 60 | |
| 18 | 60 | |
| 20 | 60 | |
| 22 | 31 | Pasir halus kasar |
| 24 | 32 | |
| 26 | 32 | |
| 28 | 33 | |
| 30 | 30 | |

## 5.2 Data Penelitian

Penelitian stabilitas lereng timbunan pada analisis ini memerlukan data lapangan berupa parameter tanah, beban-beban yang bekerja, serta data geotekstil yang digunakan dalam perkuatan lereng.

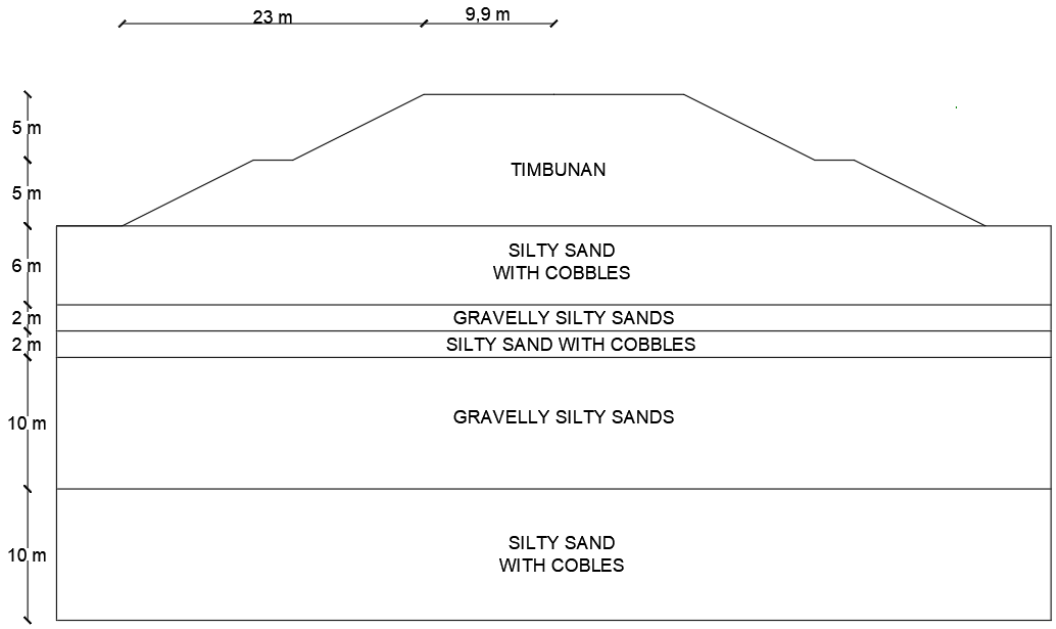
### 5.2.1 Data Parameter Tanah

Nilai parameter tanah pada penelitian ini ditentukan melalui korelasi berdasarkan data N-SPT dan deskripsi borelog menggunakan referensi Bowles (1997). Parameter hasil korelasi tersebut kemudian digunakan sebagai data masukan dalam analisis stabilitas lereng menggunakan metode *Fellenius* dan *software GeoStudio*. Adapun hasil korelasi parameter tanah disajikan pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2 Data Parameter Tanah STA 70+375**

| | Satuan | *Silty Sand with Cobbles* | *Gravelly Silty Sand* | *Silty Sand with Cobbles* | *Gravelly Silty Sand* | *Silty Sand with Cobbles* | Timbunan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| γunsat | $kN/m^3$ | 20 | 22 | 20 | 22 | 20 | 17 |
| γsat | $kN/m^3$ | 22 | 23 | 22 | 23 | 22 | 18 |
| E | $kN/m^2$ | 60000 | 100000 | 60000 | 100000 | 60000 | 2500 |
| *v* | | 0,3 | 0,25 | 0,3 | 0,25 | 0,3 | 0,33 |
| c | $kN/m^2$ | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 10 |
| φ | ° | 30 | 35 | 30 | 35 | 30 | 30 |
| Kedalaman | M | 0-6 | 6-8 | 8-10 | 10-20 | 20-30 | |

Berdasarkan data parameter tanah di atas apabila diplot sesuai dengan lapisan tanahnya akan terlihat seperti Gambar 5.2 berikut




**Gambar 5.2 Lapisan Tanah STA 70+375**

5.2.2 Data Beban

Beban yang bekerja pada lereng timbunan dalam penelitian ini meliputi beban lalu lintas dan beban gempa.

1. Beban lalu lintas

   Beban lalu lintas yang digunakan dalam analisis sebesar 25 $kN/m^2$ karena Jalan Tol Yogyakarta-Bawen termasuk ke dalam kelas jalan arteri primer sesuai Tabel 5.3.

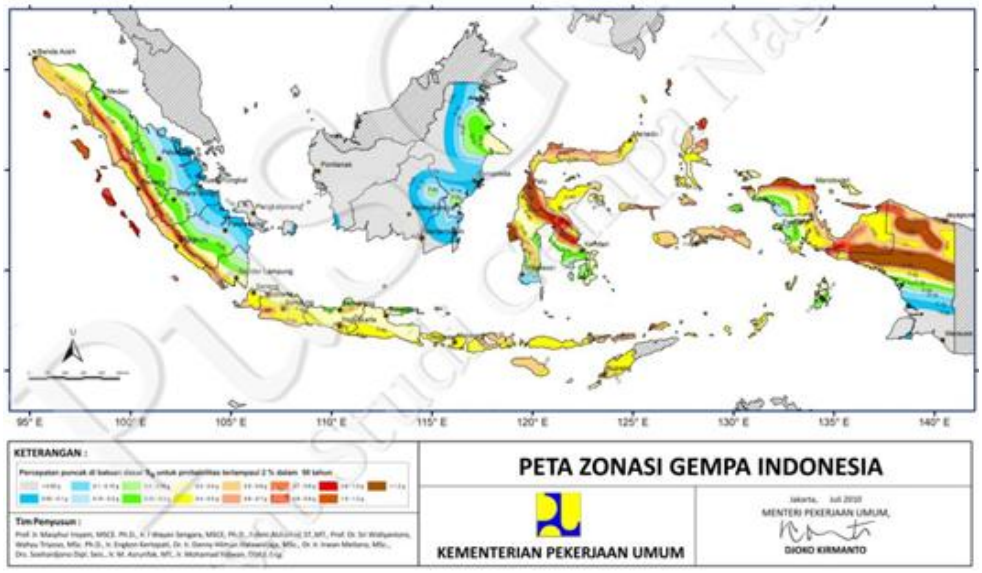
**Tabel 5.3 Beban Lalu Lintas**

| Kelas Jalan | Beban Lalu Lintas (kPa) | Beban di Luar Jalan (kPa) |
|---|---|---|
| I | 15 | 10 |
| II | 12 | 10 |
| III | 12 | 10 |

(Sumber: SNI 8460:2017)

2. Beban gempa

Wilayah Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Paket 1 di Yogyakarta berada pada zona gempa dengan rentang nilai percepatan puncak gempa (*Peak Ground Acceleration*/PGA) sebesar 0,4–0,5g. Untuk mensimulasikan beban gempa secara realistis, penelitian ini menggunakan metode time history yang memerlukan data rekaman getaran gempa asli terhadap waktu. Data yang dipilih untuk merepresentasikan kondisi tersebut adalah rekaman Gempa Whittier Narrows, California tahun 1987. Pemilihan data ini didasarkan pada nilai PGA instrumen gempa tersebut yang mencapai 0,457g, sehingga secara teknis berada tepat di dalam rentang persyaratan zonasi gempa wilayah Yogyakarta (0,4–0,5g). Dalam pemodelan, beban gempa yang digunakan adalah sebesar setengah dari beban gempa asli untuk merepresentasikan kondisi pembebanan dinamis yang bekerja pada lereng, namun tetap mempertahankan karakteristik riwayat percepatan dari rekaman gempa tersebut. Dengan menggunakan data gempa nyata ini, simulasi pada software *GeoStudio SLOPE/W* dapat menggambarkan pengaruh beban dinamis di permukaan tanah secara lebih akurat dibandingkan hanya menggunakan koefisien angka bulat asumsi. Dalam pemodelan, rentang waktu analisis diasumsikan telah mencakup dan melewati kondisi percepatan puncak gempa tersebut.




**Gambar 5.3 Peta Zonasi Gempa Indonesia**
(Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017)

5.2.3 Data Geotekstil

Jenis geotekstil yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng pada Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Paket 1 adalah geotekstil *woven* UW 250 produksi PT Tekindo Geosistem Unggul. Material ini dipilih karena memiliki kuat tarik tinggi dan deformasi yang rendah sehingga efektif digunakan sebagai perkuatan lereng untuk meningkatkan faktor keamanan terhadap potensi longsor. Data geotekstil woven tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.4 berikut.

**Tabel 5.4 Data Geotekstil**

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

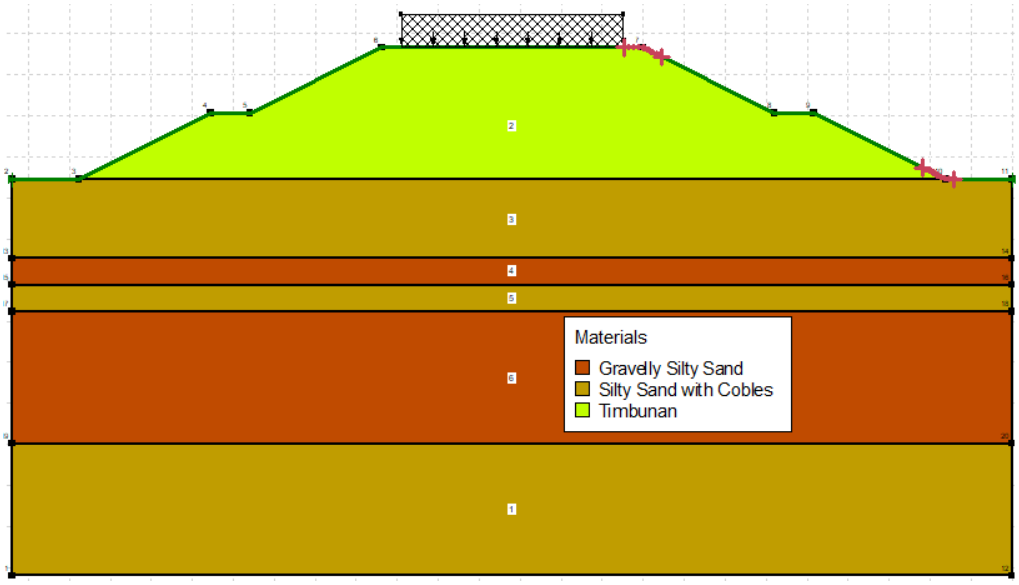
Berdasarkan Tabel 5.4, geotekstil woven UW 250 memiliki kuat tarik umum (ultimate tensile strength) sebesar 52 kN/m dan kuat tarik izin (allowable tensile strength) sebesar 26 kN/m. Perbedaan antara kedua nilai tersebut menunjukkan bahwa dalam perancangan digunakan nilai kuat tarik yang telah mempertimbangkan faktor reduksi sehingga kapasitas geotekstil yang digunakan dalam analisis berada pada kondisi aman. Selain itu, nilai kekakuan normal (axial

stiffness) sebesar 260 kN/m menunjukkan kemampuan geotekstil dalam menahan deformasi akibat gaya tarik, sehingga dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan stabilitas lereng timbunan. Parameter geotekstil tersebut digunakan secara konsisten pada setiap skenario analisis untuk mengevaluasi pengaruh perkuatan terhadap peningkatan stabilitas lereng. Dengan demikian, hasil analisis yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar dalam menilai efektivitas penggunaan geotekstil woven pada lereng timbunan proyek.

## 5.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

### 5.3.1 Analisis Stabilitas Lereng dengan Program *GeoStudio SLOPE/W*

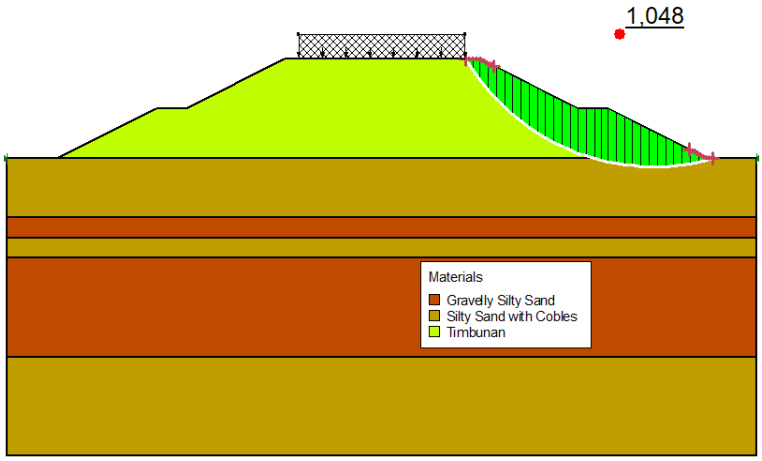
Analisis dilakukan menggunakan program *GeoStudio SLOPE/W 2025*. Tahapan analisis dimulai dengan pemodelan lereng berdasarkan data geometri potongan melintang Jalan Tol Yogyakarta-Bawen STA 70+375, kemudian dilanjutkan dengan memasukkan parameter tanah dan data pendukung lainnya hingga diperoleh nilai faktor keamanan. Pada tahap ini, analisis dilakukan untuk menentukan nilai *safety factor* (SF) dan bentuk bidang longsor pada lereng timbunan tanpa perkuatan.




**Gambar 5.4 Pemodelan Timbunan dengan Program *GeoStudio***

Setelah pemodelan, selanjutnya dilakukan tahap analisis dengan menggunakan program *SLOPE/W Geostudio 2025*. Adapun hasil analisis

menggunakan program *GeoStudio SLOPE/W* pada lereng timbunan sebagai berikut.

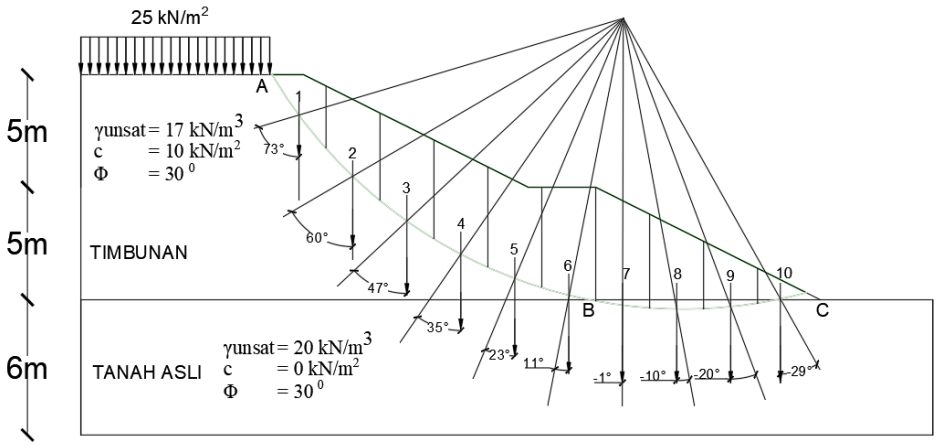



**Gambar 5.5 Hasil Analisis Lereng dengan *Geostudio* Tanpa Perkuatan**

Berdasarkan hasil analisis pada lereng tanpa perkuatan, diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,048. Hasil analisis lereng tanpa perkuatan menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan belum memenuhi persyaratan minimum.

5.3.2 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode *Fellenius*

Dalam analisis ini, penentuan angka aman lereng tanpa perkuatan dilakukan menggunakan perhitungan manual sebagai pembanding terhadap nilai *safety factor* yang diperoleh dari program *GeoStudio SLOPE/W*. Adapun gaya-gaya yang bekerja pada irisan lereng terdapat pada Gambar 5.5 dan disertai dengan contoh perhitungan berikut.




**Gambar 5.6 Pemodelan Timbunan pada Metode *Fellenius***

1. Perhitungan Berat Isian Tanah

   Dalam perhitungan berat tiap irisan, diperlukan data luas masing-masing pias pada setiap lapisan tanah yang kemudian dikalikan dengan berat volume tanah tiap lapisan. Panjang total bidang longsor arah horizontal sebesar 32 m. Luas tiap pias diperoleh dengan bantuan program AutoCAD versi 2021. Pada irisan yang terdapat beban lalu lintas di atasnya, perhitungan berat total irisan juga ditambahkan dengan beban lalu lintas yang bekerja sebagai beban merata di permukaan tanah.

   $W_1$ $= (\gamma \times A_1)$

   $= (17 \times 5{,}62)$

   $= 66{,}827$ kN/m

   Pada irisan yang melewati dua lapisan tanah berbeda, perhitungan berat irisan dilakukan dengan memisahkan luas irisan berdasarkan masing-masing jenis tanah, kemudian setiap luas dikalikan dengan berat volume tanah yang sesuai. Selanjutnya, hasil perhitungan dari kedua lapisan tersebut dijumlahkan untuk memperoleh total berat irisan.

   $W_7$ $= (\gamma$ timbunan x $A_7$ timbunan$) + (\gamma$ tanah asli x $A_7$ tanah asli$)$

   $= (17 \times 10{,}56) + (20 \times 0{,}54)$

   $= 190{,}283$ kN/m

2. Perhitungan Gaya Penggerak Akibat Berat Irisan

   $W_1 \times \sin \alpha$ $= 87{,}812 \times \sin(73)$

   $= 83{,}975$ kN/m

3. Perhitungan Gaya Penggerak

   $W_1 \times \cos \alpha$ $= 87{,}812 \times \cos(73)$

   $= 25{,}674$ kN/m

4. Perhitungan Kontribusi Gaya Normal terhadap Gesekan

   $W_1 \cos \alpha \times \tan\phi$ $= 84{,}678 \times \tan(30)$

   $= 10{,}373$ kN/m

Perhitungan di atas merupakan contoh perhitungan untuk satu pias. Perhitungan lengkap untuk pias 1 hingga pias 10 dalam menentukan nilai faktor keamanan ditunjukkan pada Tabel 5.5 berikut.

**Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Metode Fellenius**

| No pias | A | α | sin α | cos α | $w_n$ | $w_n$ cos α | $w_n$ sin α | $w_n$ cos α *tan$\phi$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^2$ | $^o$ | | | kN/m | | | |
| 1 | 3,931 | 73 | 0,956 | 0,292 | 66,827 | 19,538 | 63,907 | 7,894 |
| 2 | 8,137 | 60 | 0,866 | 0,500 | 138,329 | 69,165 | 119,796 | 27,944 |
| 3 | 10,03 | 47 | 0,731 | 0,682 | 170,51 | 116,288 | 124,703 | 46,983 |
| 4 | 10,691 | 35 | 0,574 | 0,819 | 181,747 | 148,878 | 104,246 | 60,151 |
| 5 | 10,49 | 23 | 0,391 | 0,921 | 178,33 | 164,154 | 69,679 | 66,322 |
| 6 | 11,459 | 11 | 0,191 | 0,982 | 194,803 | 191,224 | 37,170 | 77,259 |
| 7 | 11,098 | -1 | -0,017 | 1,000 | 190,283 | 190,254 | 3,321 | 76,868 |
| 8 | 8,619 | -10 | -0,174 | 0,985 | 149,343 | 147,074 | 25,933 | 59,422 |
| 9 | 5,487 | -20 | -0,342 | 0,940 | 95,343 | 89,593 | 32,609 | 36,198 |
| 10 | 1,713 | -29 | -0,485 | 0,875 | 29,298 | 25,625 | 14,204 | 10,353 |
| | | | | Σ | 1394,813 | 1161,792 | 595,569 | 469,395 |

Dengan mempertimbangkan Panjang jari-jari dan sudut diapit, maka panjang garis AB = 18,1 meter dan BC = 12,1 meter.

Gaya perlawanan terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen kohesi:

Σc.La = (10 x 18,1) + (0 x 12,1) = 181,2 kN/$m^2$

Faktor aman $= \frac{\Sigma c\ La+\Sigma Wn\ \cos\alpha\tan\phi}{\Sigma Wn\ \sin\alpha}$

$= \frac{181,2+469,395}{595,569}$

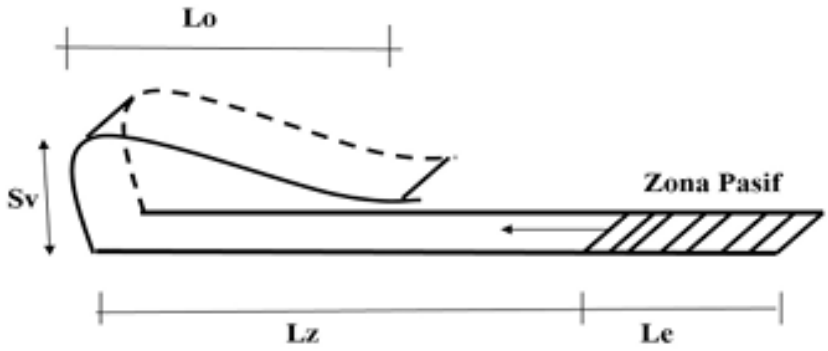
= 1,092 < 1,25 (SNI 8460:2017)

Berdasarkan hasil analisis manual menggunakan metode *Fellenius*, diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,092 pada lereng asli dalam kondisi normal sebelum dilakukan perkuatan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis dan berpotensi mengalami longsor.

## 5.4 Perhitungan dengan Perkuatan Geotekstil

Menurut Hardiyatmo (2008), geotekstil merupakan material lembaran berbahan polimer tekstil yang bersifat permeabel terhadap air dan digunakan pada berbagai pekerjaan teknik sipil yang berhubungan dengan tanah, batuan, maupun material geoteknik lainnya. Geotekstil umumnya terbuat dari polipropilena, poliester, atau polietilena yang diproses menjadi serat atau benang, kemudian dibentuk menjadi geotekstil anyam (*woven*) maupun tidak anyam (*non-woven*).

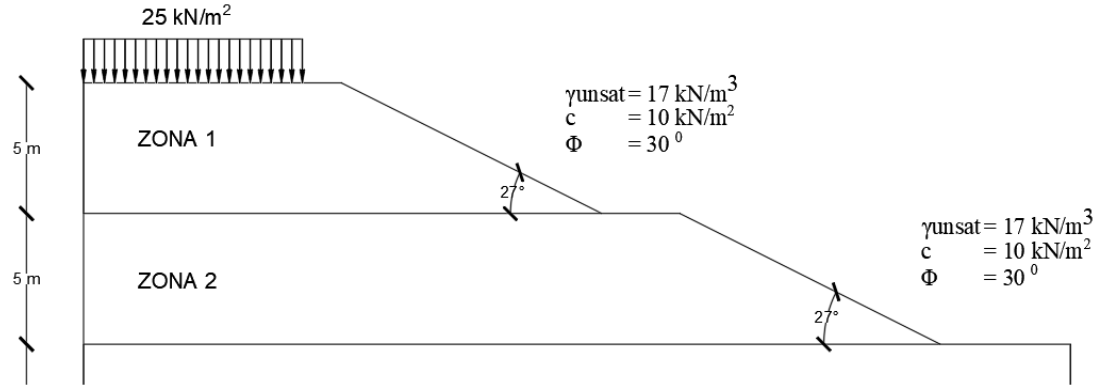
Pada penelitian ini digunakan geotekstil tipe *woven* UW-250 produksi PT Tekindo Geosistem Unggul. Untuk pemasangan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.




**Gambar 5.7 Lembaran Geotekstil**

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009)

Metode analisis yang digunakan adalah zone per zone, yaitu membagi lereng timbunan menjadi dua zona, yaitu zona 1 dan zona 2. Berdasarkan SNI 8460:2017, lereng dengan nilai faktor keamanan (*safety factor*) lebih dari 1,25 dikategorikan relatif stabil atau memiliki potensi longsor yang kecil. Karena bidang longsor berada pada area tanah timbunan, maka pemasangan geotekstil dilakukan pada bagian timbunan tersebut. Dalam perencanaannya, diperlukan analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal agar perkuatan geotekstil mampu menahan gaya-gaya yang bekerja pada lereng.




**Gambar 5.8 Pembagian Zona untuk Perhitungan Geotekstil**

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

1. Tanah Timbunan
   a. Berat Volume Tanah ($\gamma b$) = 17 kN/m$^3$
   b. Kohesi (c) = 10 kN/m$^3$
   c. Sudut Gesek Dalam ($\varphi$) = 30$^o$
   d. Kemiringan Lereng = 27$^o$
   e. H = 10 m
2. Geotekstil
   a. Jenis Geotekstil = Geotekstil woven UW-250
   b. Kuat Tarik Ultimit (Tu) = 52 kN/m
   c. Kuat Tarik Izin (Ta) = 26 kN/m
3. Beban Merata (kendaraan) = 15 kN/m$^2$
   Beban di Luar Jalan = 10 kN/m$^2$
4. Koefisien Daya Dukung Tanah
   Untuk koefisien perhitungan daya dukung tanah bisa dilihat pada Tabel 5.6

**Tabel 5.6 Koefisien Daya Dukung Tanah *Meyerhof* Mekanisme Keruntuhan Geser Lokal**

| $\varphi$ | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ | $\varphi$ | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 | 25,90 |
| 23 | 18,05 | 8,66 | 8,20 | 32 | 35,49 | 23,18 | 30,22 |

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

5.4.1 Stabilitas Eksternal

1. Menentukan Jarak Arah Vertikal antar Lapisan Geotekstil (SV)
   q = 25 kN/m$^2$
   SF = 1,25

c = 10 kN/m$^2$

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

= $\tan^2(45^o-(\frac{30}{2}))$

= 0,333

a. Zona 1

$\sigma hc_1$ = (q x ka) + (ka x $H_1$ x $\gamma$b) – (2 x c x $\sqrt{ka}$)

= (25 x 0,333) + (0,333 x 5 x 17) – (2 x 10 x $\sqrt{0,333}$)

= 21,786 kN/m$^2$

SF = 1,25

$Sv_1$ = $\frac{Ta}{\sigma hc\ 1\ x\ SF} = \frac{26}{21,786\ x1,25}$ = 0,954

Di lapangan dipasang Sv1 = 1 m

Banyaknya lapis geotekstil = 5/1 = 5

Banyaknya lembar yang diambil = 5 lembar

b. Zona 2

$\sigma hc_1$ = (q x ka) + (ka x $H_1$ x $\gamma$b) – (2 x c x $\sqrt{ka}$)

= (25 x 0,333) + (0,333 x 10 x 17) – (2 x 10 x $\sqrt{0,333}$)

= 50,119 kN/m$^2$

SF = d1,25

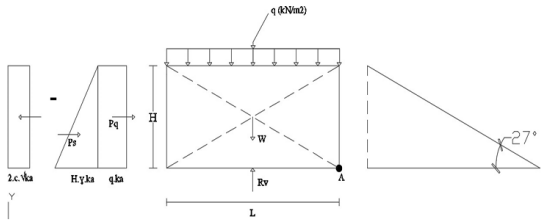
$Sv_2$ = $\frac{Ta}{\sigma hc\ 1\ x\ SF} = \frac{26}{50,119\ x1,25}$ = 0,415

Di lapangan dipasang Sv1 = 0,5 m

Banyaknya lapis geotekstil = 5/0,5 = 10

Banyaknya lembar yang diambil = 10 lembar

2. Menentukan Panjang Geotekstil Berdasarkan Gaya-Gaya yang Bekerja




**Gambar 5.9 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Tanah Miring**

a. Zona 1

1) Eksentrisitas

$$\frac{1}{6}\text{L} \geq = \frac{\left(\text{qKa x}\frac{1}{2}H^2\right)+\left(\frac{1}{2}Ka\ \boldsymbol{\gamma b}\ \boldsymbol{H}^2\text{x}\frac{1}{2}\text{H}\right)-(2\text{c}\sqrt{ka}\ \text{x}\ \frac{1}{2}H^2)}{(\text{H}\boldsymbol{\gamma b})+(qL)}$$

$$\frac{1}{6}\text{L} \geq = \frac{\left(15\ \text{x}\ 0{,}333\ \text{x}\frac{1}{2}5^2\right)+\left(\frac{1}{2}0333\ x\ 17\ x\ 5^2\text{x}\frac{1}{2}5\right)-(2\ 10\sqrt{0{,}333}\ \text{x}\ \frac{1}{2}5^2)}{(5\ \text{x}\ 17)+(15\ x\ L)}$$

$$\frac{1}{6}\text{L} \geq = \frac{36{,}21}{100\text{L}}$$

$100\text{L}^2 \geq 6\ \text{x}\ 36{,}21$

$100\text{L}^2 \geq 217{,}308$

$\text{L}^2 \geq \frac{217{,}308}{100}$

$\text{L}^2 \geq 2{,}173$

$\text{L} \geq \sqrt{2{,}173}$

$\text{L} \geq 1{,}47$ m

Diambil panjang geotekstil = 1,5 m

2) Stabilitas terhadap guling

$$\text{SF} = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} = \frac{Momen\ Penahan}{\text{Momen Dorong}} \geq 1{,}25$$

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

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

$$\text{SF} = \frac{\left(\text{qKa x}\frac{1}{2}H^2\right)+\left(\frac{1}{2}Ka\ \boldsymbol{\gamma b}\ \boldsymbol{H}^2\text{x}\frac{1}{2}\text{H}\right)-(2\text{c}\sqrt{ka}\ \text{x}\ \frac{1}{2}H^2)}{0{,}5\ \text{x}\ \gamma\text{b x H x L2}}$$

$$\text{SF} = \frac{\left(25\ \text{x}\ 0{,}333\ \text{x}\frac{1}{2}5^2\right)+\left(\frac{1}{2}\ 0{,}333\ x\ 17\ x\ 5^2\text{x}\frac{1}{2}5\right)-(2\ 10\sqrt{0{,}333}\ \text{x}\ \frac{1}{2}5^2)}{0{,}5\ \text{x}\ 17\ \text{x}\ 5\ \text{x L2}}$$

$$\text{SF} = \frac{42{,}5\ L^2}{36{,}21}$$

$$\text{L}^2 = \frac{42{,}5\ x\ 1{,}25}{36{,}21}$$

$$\text{L} = \sqrt{1{,}065}$$

L = 1,032 m

Diambil panjang geotekstil = 1 m

3) Stabilitas terhadap geser

$$\text{SF} = \frac{(\text{L x H x }\gamma\text{b x tan}\delta\text{b})+(\text{q x tan}\delta\text{b x L})}{0{,}5\ x\ H^2\ \text{x ka x }\gamma\text{b})+(\text{q x ka x H})-(2\text{c}\sqrt{ka}\ \text{x}\ \frac{1}{2}\text{H})}$$

Tahanan geser pada dasar perkuatan ($\delta$b = 2/3 x 30$^o$ = 20)

$$SF = \frac{(L \times 5 \times 17 \times \tan 20)+(25 \times \tan 20 \times L)}{0{,}5\ x\ 5^2 \times 0{,}333 \times 17)+(25 \times 0{,}333 \times 5)-(2\ 10\sqrt{0{,}333} \times \frac{1}{2}5)}$$

$$SF = \frac{36{,}397L^2}{38{,}098}$$

$36{,}397L = 38{,}098 \times 1{,}25$

$$L = \frac{38{,}098x\ 1{,}25}{36{,}397}$$

$L = 1{,}308$ m

Diambil panjang geotekstil = 1,5 m

4) Tinjauan terhadap kapasitas dukung pada tanah

Digunakan SF = 1,25

Nc = 30,14

Nγ = 22,40

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

$q_{ult} = c \times Nc + 0{,}5 \times L \times \gamma b \times Ny$

$= 10 \times 30{,}14 + 0{,}5 \times L \times 17 \times 22{,}40$

$= 301{,}4 + 190{,}4\ L$

$$L \leq \frac{(301{,}4 + 190{,}4\ L)\ x\ 1{,}25}{(5 \times 17)+25}$$

$$L \leq \frac{301{,}4 + 190{,}4\ L}{100}$$

$100\ L \leq 301{,}4 + 190{,}4L$

$$L = \frac{301{,}4}{100-190{,}4} = -3{,}334 \text{ m}$$

Dari empat jenis parameter di atas, diambil panjang geotekstil (L) yang terbesar untuk zona 1 yaitu L = 1,5 m

b. Zona 2

1) Eksentrisitas

$$\frac{1}{6}L \geq = \frac{\left(qKa \times \frac{1}{2}H^2\right)+\left(\frac{1}{2}Ka\ \gamma b\ H^2 \times \frac{1}{2}H\right)-(2c\sqrt{ka} \times \frac{1}{2}H^2)}{(H\gamma b)+(qL)}$$

$$\frac{1}{6}L \geq = \frac{\left(15 \times 0{,}333 \times \frac{1}{2}10^2\right)+\left(\frac{1}{2}0{,}333\ x\ 17\ x\ 10^2 \times \frac{1}{2}10\right)-(2\ 10\sqrt{0{,}333} \times \frac{1}{2}10^2)}{(10 \times 17)+(15\ x\ L)}$$

$$\frac{1}{6}L \geq = \frac{617{,}094}{185L}$$

$185L^2 \geq 6 \times 617{,}094$

$185L^2 \geq 3702{,}565$

$L^2 \geq \frac{3702{,}565}{185}$

$L^2 \geq 20{,}013$

$L \geq \sqrt{20{,}013}$

$L \geq 4{,}473$ m

Diambil panjang geotekstil = 4,5 m

2) Stabilitas terhadap guling

$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} = \frac{Momen\ Penahan}{\text{Momen Dorong}} \geq 1{,}25$

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

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

$SF = \frac{\left(qKa \times \frac{1}{2} H^2\right) + \left(\frac{1}{2} Ka\ \gamma b\ H^2 \times \frac{1}{2} H\right) - (2c\sqrt{ka} \times \frac{1}{2} H^2)}{0{,}5 \times \gamma b \times H \times L2}$

$SF = \frac{\left(15 \times 0{,}333 \times \frac{1}{2} 10^2\right) + \left(\frac{1}{2} 0{,}333\ x\ 17\ x\ 10^2 \times \frac{1}{2} 5\right) - (2\ 10\ \sqrt{0{,}333} \times \frac{1}{2} 10^2)}{0{,}5 \times 17 \times 10 \times L2}$

$SF = \frac{85\ L^2}{617{,}094}$

$L^2 = \frac{85\ x\ 1{,}25}{955{,}771}$

$L = \sqrt{9{,}074}$

$L = 3{,}012$ m

Diambil panjang geotekstil = 3 m

3) Stabilitas terhadap geser

$SF = \frac{(L \times H \times \gamma b \times \tan\delta b) + (q \times \tan\delta b \times L)}{0{,}5\ x\ H^2 \times ka \times \gamma b) + (q \times ka \times H) - (2c\sqrt{ka} \times \frac{1}{2} H)}$

Tahanan geser pada dasar perkuatan ($\delta b = 2/3 \times 30^o = 20$)

$SF = \frac{(L \times 10 \times 17 \times \tan 20) + (15 \times \tan 20 \times L)}{0{,}5\ x\ 10^2 \times 0{,}333 \times 17) + (25 \times 0{,}333 \times 10) - (2 \times 10\sqrt{0{,}333} \times \frac{1}{2} 10)}$

$SF = \frac{67{,}334L}{192{,}853}$

$67{,}334L = 192{,}853 \times 1{,}25$

$L = \frac{192{,}853 \times 1{,}25}{67{,}334}$

$L = 3{,}58$ m

Diambil panjang geotekstil = 4 m

4) Tinjauan terhadap kapasitas dukung pada tanah

Digunakan SF = 1,25

Nc = 30,14

Nγ = 22,40

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

$q_{ult}$ = c x Nc + 0,5 x L x γb x Ny

= 10 x 30,14 + 0,5 x L x 17 x 22,40

= 301,4 + 190,4 L

$L \leq \frac{(301{,}4 + 190{,}4\ L)\ x\ 1{,}25}{(10 \times 17) + 25}$

$L \leq \frac{376{,}75 + 238\ L}{185}$

185 L ≤ 376,75+238L

185L –238L ≤ 376,75

-53 ≤ 283

$L \geq \frac{283}{-53}$

L = -7,108 m

Dari empat jenis parameter di atas, diambil panjang geotekstil (L) yang terbesar untuk zona 2 yaitu L = 4,5 m

5.4.2 Stabilitas Internal

1. Panjang Geotekstil *Overlapping*

$Lo = \frac{\sigma hc\ x\ Sv\ x\ SF}{2 \times \gamma b\ Zi\ x\ tan\phi}$

Geotekstil no. 1 pada zona 1

$\sigma hc_1$ = 21,786 kN/m$^2$

SF = 1,25

$Sv_1$ = 1 m

$Z_i$ = 1 m

$Lo = \frac{21{,}786\ x\ 1\ x\ 1{,}25}{2 \times 17\ x\ 1\ x\ tan 3} = 1{,}387$ m

Diambil panjang *overlapping* 1,5 m. rekapitulasi hasil perhitungan Lo tertera pada Tabel 5.7

**Tabel 5.7 Rekapitulasi Panjang Geotekstil *Overlapping***

| Zona | Geotekstil | Sv (m) | Z (m) | Lo (m) | Lo pakai (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| Zona 1 | Geotekstil no 1 | 1 | 1 | 1,387 | 1,5 |
| | Geotekstil no 2 | 1 | 2 | 0,694 | 1 |
| | Geotekstil no 3 | 1 | 3 | 0,462 | 0,5 |
| | Geotekstil no 4 | 1 | 4 | 0,347 | 0,5 |
| | Geotekstil no 5 | 1 | 5 | 0,277 | 0,5 |
| Zona 2 | Geotekstil no 6 | 0,5 | 5,5 | 0,126 | 0,5 |
| | Geotekstil no 7 | 0,5 | 6 | 0,116 | 0,5 |
| | Geotekstil no 8 | 0,5 | 6,5 | 0,107 | 0,5 |
| | Geotekstil no 9 | 0,5 | 7 | 0,099 | 0,5 |
| | Geotekstil no 10 | 0,5 | 7,5 | 0,092 | 0,5 |
| | Geotekstil no 11 | 0,5 | 8 | 0,087 | 0,5 |
| | Geotekstil no 12 | 0,5 | 8,5 | 0,082 | 0,5 |
| | Geotekstil no 13 | 0,5 | 9 | 0,077 | 0,5 |
| | Geotekstil no 14 | 0,5 | 9,5 | 0,073 | 0,5 |
| | Geotekstil no 15 | 0,5 | 10 | 0,069 | 0,5 |

2. Panjang Efektif Geotekstil (Le)

$$Le = \frac{Sf \; x \; Sv \; x \; Ka \; x \; \gamma b \; x \; Zi}{2 \; x \; \gamma b \; Zi \; x \; tan\phi}$$

Geotekstil no. 1 pada zona 1:

$$Le_1 = \frac{1{,}25 \; x \; 1 \; x \; 0{,}333 \; x \; 17 \; x \; 1}{2 \; x \; 17 \; x \; 1 \; x \; tan30} = 0{,}361$$

Karena Le memiliki panjang minimum 1 meter, maka diambil panjang Le = 1 Meter. Rekapitulasi dari perhitungan Le tertera dalam Tabel 5.8

**Tabel 5.8 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil**

| Zona | Geotekstil | Sv (m) | Z (m) | Le (m) | Le pakai (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| Zona 1 | Geotekstil no 1 | 1 | 1 | 0,361 | 1 |
| | Geotekstil no 2 | 1 | 2 | 0,361 | 1 |
| | Geotekstil no 3 | 1 | 3 | 0,361 | 1 |

**Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Panjang Efektif Geotekstil**

| Zona | Geotekstil | Sv (m) | Z (m) | Le (m) | Le pakai (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| Zona 1 | Geotekstil no 4 | 1 | 4 | 0,361 | 1 |
| | Geotekstil no 5 | 1 | 5 | 0,361 | 1 |
| Zona 2 | Geotekstil no 6 | 0,5 | 5,5 | 0,180 | 1 |
| | Geotekstil no 7 | 0,5 | 6 | 0,180 | 1 |
| | Geotekstil no 8 | 0,5 | 6,5 | 0,180 | 1 |
| | Geotekstil no 9 | 0,5 | 7 | 0,180 | 1 |
| | Geotekstil no 10 | 0,5 | 7,5 | 0,180 | 1 |
| | Geotekstil no 11 | 0,5 | 8 | 0,180 | 1 |
| | Geotekstil no 12 | 0,5 | 8,5 | 0,180 | 1 |
| | Geotekstil no 13 | 0,5 | 9 | 0,180 | 1 |
| | Geotekstil no 14 | 0,5 | 9,5 | 0,180 | 1 |
| | Geotekstil no 15 | 0,5 | 10 | 0,180 | 1 |

3. Panjang Geotekstil Pada Zona Aktif

$Lz = (H\text{-}Z_i) \times \tan\left(45^o - \frac{\varphi}{2}\right)$

Geotekstil no. 1 pada zona 1:

$Lz_1 = (5\text{-}1) \times \tan\left(45^o - \frac{30}{2}\right) = 2{,}309$

Diambil panjang geotekstil pada zona aktif = 2,5 m

Rekapitulasi dari perhitungan Lz yang telah dilakukan tertera dalam Tabel 5.9 berikut.

**Tabel 5.9 Rekapitulasi Panjang Geotekstil pada Zona Aktif**

| Zona | Geotekstil | Sv (m) | Z (m) | Lz (m) | Lz pakai (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| Zona 1 | Geotekstil no 1 | 1 | 1 | 2,309 | 2,5 |
| | Geotekstil no 2 | 1 | 2 | 1,732 | 2 |
| | Geotekstil no 3 | 1 | 3 | 1,155 | 1 |
| | Geotekstil no 4 | 1 | 4 | 0,577 | 1 |
| | Geotekstil no 5 | 1 | 5 | 0,000 | 1 |

**Lanjutan Tabel 5.9 Rekapitulasi Panjang Geotekstil pada Zona Aktif**

| Zona | Geotekstil | Sv (m) | Z (m) | Lz (m) | Lz pakai (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| Zona 2 | Geotekstil no 6 | 0,5 | 5,5 | 2,598 | 3 |
| | Geotekstil no 7 | 0,5 | 6 | 2,309 | 3 |
| | Geotekstil no 8 | 0,5 | 6,5 | 2,021 | 2,5 |
| | Geotekstil no 9 | 0,5 | 7 | 1,732 | 2 |
| | Geotekstil no 10 | 0,5 | 7,5 | 1,443 | 2 |
| | Geotekstil no 11 | 0,5 | 8 | 1,155 | 1,5 |
| | Geotekstil no 12 | 0,5 | 8,5 | 0,866 | 1 |
| | Geotekstil no 13 | 0,5 | 9 | 0,577 | 1 |
| | Geotekstil no 14 | 0,5 | 9,5 | 0,289 | 1 |
| | Geotekstil no 15 | 0,5 | 10 | 0,000 | 1 |

4. Panjang Total Geotekstil

L total = $L_o$ + Sv + Le + Lz

Geotekstil no. 1 pada zona 1:

$L_1$ total = 2 + 1 + 1 + 2,5 = 6,5 m

Rekapitulasi dari perhitungan L tertera dalam Tabel 5.10 berikut.

**Tabel 5.10 Rekapitulasi Panjang Total Geotekstil**

| Zona | Geotekstil | Lo (m) | Sv (m) | Le (m) | Lz (m) | Ltotal (m) | Lpakai (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona 1 | Geotekstil no 1 | 1,5 | 1 | 1 | 2,5 | 6 | 3,5 |
| | Geotekstil no 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 5 | 3 |
| | Geotekstil no 3 | 0,5 | 1 | 1 | 1,5 | 4 | 2,5 |
| | Geotekstil no 4 | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 3,5 | 2 |
| | Geotekstil no 5 | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 3,5 | 2 |
| Zona 2 | Geotekstil no 6 | 0,5 | 0,5 | 1 | 3 | 5 | 5 |
| | Geotekstil no 7 | 0,5 | 0,5 | 1 | 3 | 5 | 5 |
| | Geotekstil no 8 | 0,5 | 0,5 | 1 | 2,5 | 4,5 | 4,5 |
| | Geotekstil no 9 | 0,5 | 0,5 | 1 | 2 | 4 | 4 |

**Lanjutan Tabel 5.10 Rekapitulasi Panjang Total Geotekstil**

| Zona | Geotekstil | Lo (m) | Sv (m) | Le (m) | Lz (m) | Ltotal (m) | Lpakai (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona 2 | Geotekstil no 10 | 0,5 | 0,5 | 1 | 2 | 4 | 4 |
| | Geotekstil no 11 | 0,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | 3,5 | 4 |
| | Geotekstil no 12 | 0,5 | 0,5 | 1 | 1 | 3 | 4 |
| | Geotekstil no 13 | 0,5 | 0,5 | 1 | 1 | 3 | 4 |
| | Geotekstil no 14 | 0,5 | 0,5 | 1 | 1 | 3 | 4 |
| | Geotekstil no 15 | 0,5 | 0,5 | 1 | 1 | 3 | 4 |

Untuk mengecek kemampuan geotekstil dalam menahan gaya Tarik, maka diambil nilai dari Sv yang paling besar yaitu pada Zona 1 dan geotekstil no. 1.

1. Tegangan geser yang bekerja pada bidang kontak permukaan dinyatakan sebagai berikut

   a. $\tau_1 = C_1 + \sigma_1 \times tg\ \varphi_1$

   $= 10 + (0,5 \times 1 \times 17 \times \tan 30^o)$

   $= 14,904$ kN/m

   b. $\tau_2 = C_2 + \sigma_2 \times tg\ \varphi_2$

   $= 10 + (0,5 \times 0,5 \times 17 \times \tan 30^o)$

   $= 12,452$ kN/m

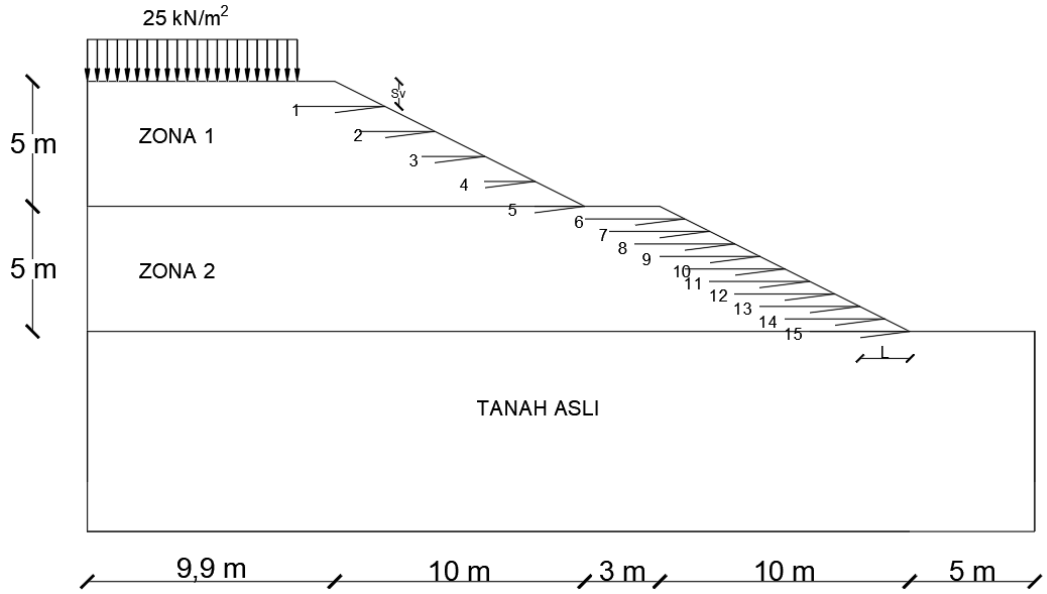
2. Gaya Tarik yang Bekerja Pada Geotekstil

   $T = (\tau_1 + \tau_2)$

   $= 14,904 + 12,452$

   $= 27,356$ kN/m $< 52$ kN/m

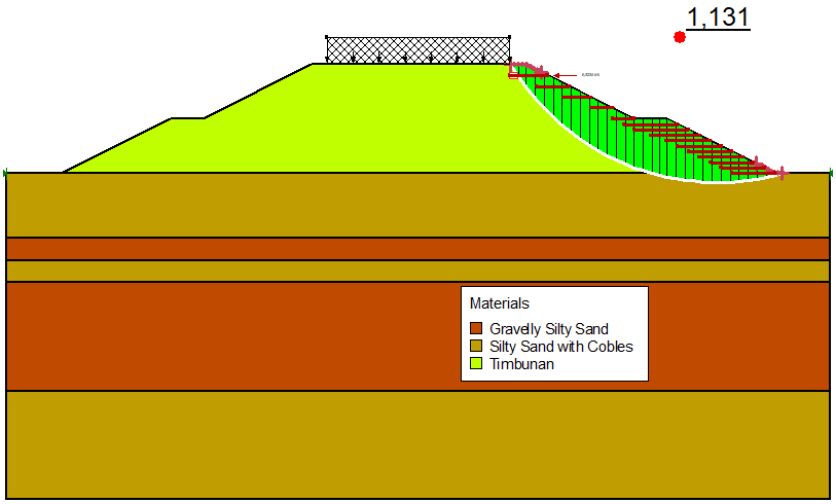
Dari perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa gaya tarik yang berpengaruh pada geotekstil sebesar 27,356 kN/m. Nilai ini masih di bawah kekuatan tarik dari geotekstil yang dipilih untuk digunakan yaitu sebesar 52 kN/m. Metode pemasangan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.




**Gambar 5.10 Pemasangan Geotekstil pada Setiap Zona Timbunan**

5.4.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil

Analisis stabilitas lereng timbunan pada STA 70+375 dengan perkuatan geotekstil dilakukan menggunakan program *GeoStudio SLOPE/W* dengan mempertimbangkan beban timbunan, beban kendaraan, dan beban gempa (*pseudo-static*). Pemodelan menggunakan panjang geotekstil hasil perhitungan perencanaan dengan geometri, parameter tanah, pembebanan, dan metode analisis yang sama seperti kondisi tanpa perkuatan. Hasil pemodelan ditunjukkan pada Gambar 5.12.

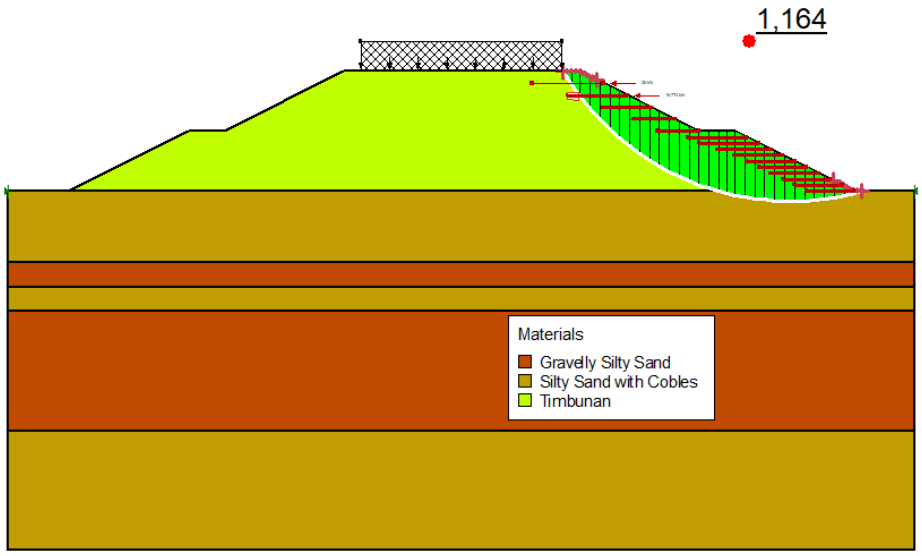



**Gambar 5.11 Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Panjang Geotekstil Berdasarkan Perhitungan Awal**

Berdasarkan hasil pemodelan awal, panjang geotekstil hasil perhitungan menunjukkan nilai SF sebesar 1,131 dan geotekstil belum sepenuhnya memotong atau melintasi bidang gelincir kritis. Kondisi tersebut dapat menyebabkan geotekstil belum tertanam secara memadai pada zona tanah yang relatif stabil. Oleh karena itu, dilakukan analisis lanjutan dengan beberapa variasi panjang pemasangan geotekstil.

1. Variasi 1

   Variasi pertama menggunakan panjang geotekstil sesuai nilai L total hasil perhitungan.

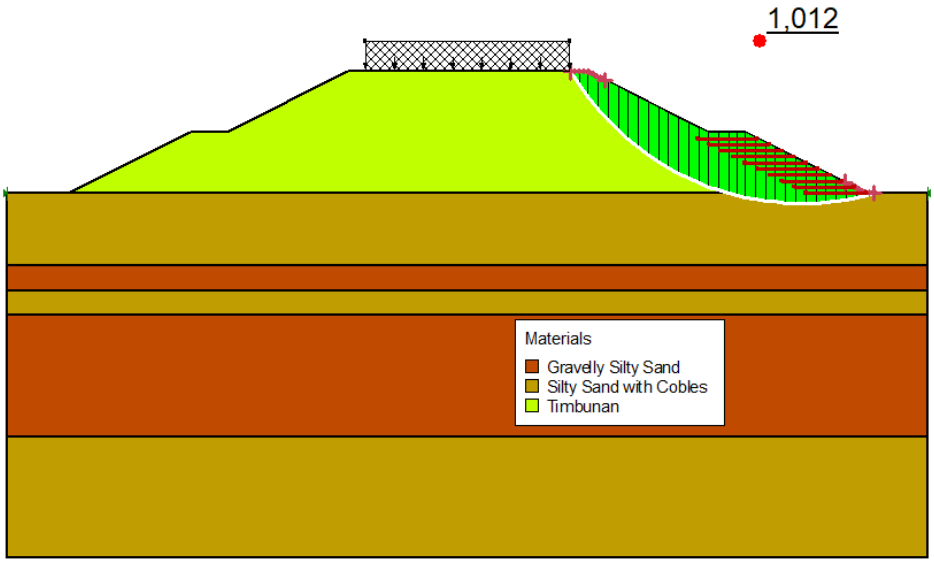



**Gambar 5.12 Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Variasi Panjang Geotekstil sebesar Ltotal**

Berdasarkan Gambar 5.13, hasil pemodelan menunjukkan bahwa geotekstil belum seluruhnya melintasi bidang gelincir kritis. Nilai faktor keamanan yang diperoleh sebesar 1,164. Nilai tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi geotekstil dengan Ltotal belum memenuhi persyaratan faktor keamanan lereng yang ditetapkan.

2. Variasi 2

   Variasi kedua menggunakan geotekstil dengan panjang seragam sebesar 5 m yang hanya dipasang pada Zona 2.

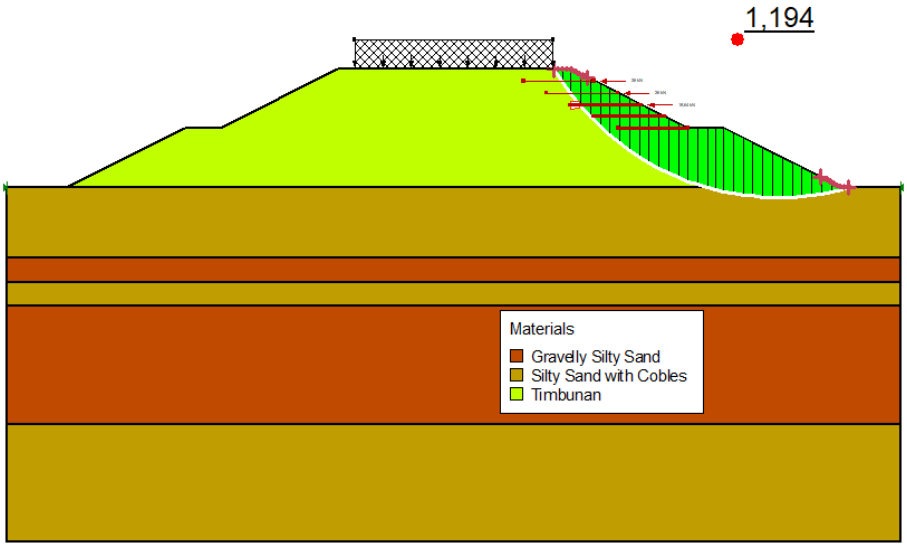



**Gambar 5.13 Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Variasi Panjang Geotekstil 5 m pada Zona 2**

Berdasarkan Gambar 5.14, geotekstil belum melintasi bidang gelincir kritis sehingga menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,012, yang belum memenuhi persyaratan.

3. Variasi 3

Variasi ketiga menggunakan geotekstil dengan panjang seragam sebesar 6,5 m yang hanya dipasang pada Zona 1.

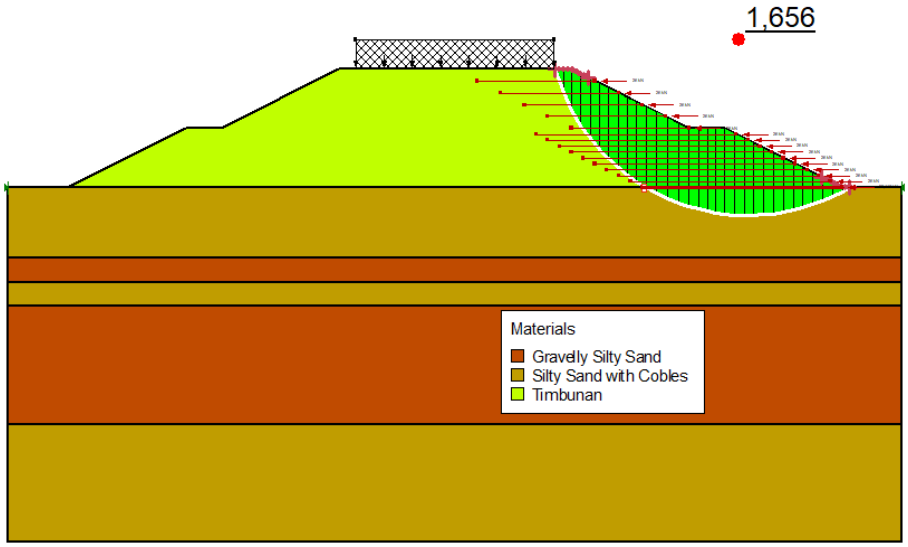



**Gambar 5.14 Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Variasi Panjang Geotekstil 6 m pada Zona 1**

Berdasarkan Gambar 5.16, geotekstil belum melintasi bidang gelincir kritis sehingga menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,194, yang belum memenuhi persyaratan.

4. Variasi 4

Variasi keempat menggunakan geotekstil sepanjang 10 m pada Zona 1 dan 17 m pada Zona 2 atau zona bawah.




**Gambar 5.15 Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Variasi Panjang Geotekstil 10 m pada Zona 1 dan 17m pada Zona 2**

Berdasarkan Gambar 5.17, penggunaan geotekstil sepanjang 10 m pada Zona 1 dan 17 m pada Zona 2 menunjukkan hasil yang lebih efektif dibandingkan variasi sebelumnya. Geotekstil telah melintasi bidang gelincir kritis dan tertanam pada lapisan tanah yang lebih stabil, sehingga mampu memberikan tahanan tambahan terhadap pergerakan massa tanah. Hasil analisis menggunakan program *GeoStudio SLOPE/W* menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 1,656, yang telah memenuhi persyaratan minimum sebesar 1,25 sesuai SNI 8460:2017. Oleh karena itu, konfigurasi tersebut dinilai mampu meningkatkan stabilitas lereng secara efektif. Secara keseluruhan, hasil pemodelan pada Gambar 5.11 hingga Gambar 5.16 menunjukkan bahwa panjang dan posisi pemasangan geotekstil memengaruhi posisi bidang gelincir kritis serta nilai faktor keamanan lereng. Rangkuman hasil analisis untuk setiap variasi pemodelan disajikan pada Tabel 5.11.

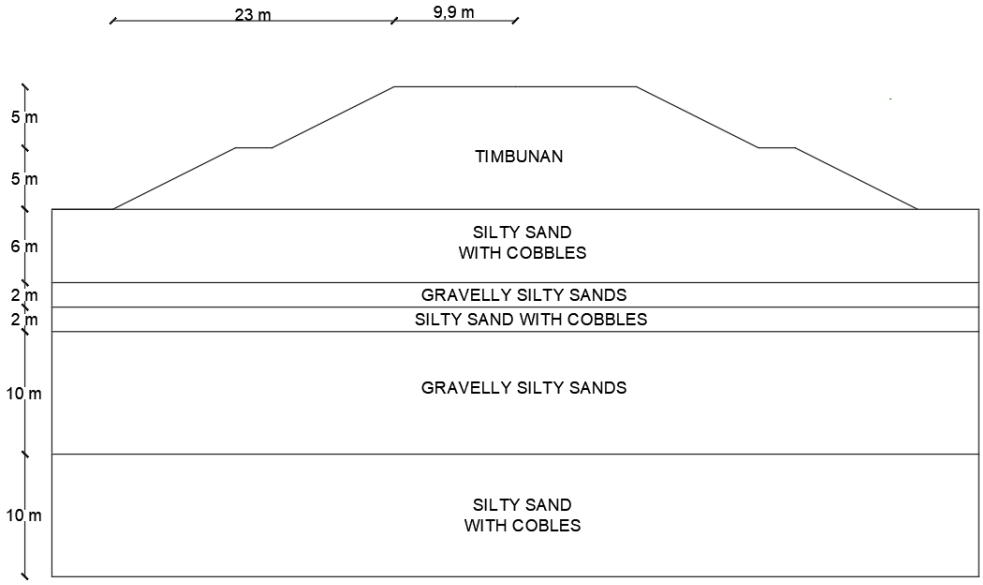
**Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Variasi Perkuatan Geotekstil**

| Variasi | Konfigurasi Geotekstil | Kondisi Terhadap Bidang Gelincir | Nilai SF | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| Perhitungan awal | L pakai | Belum melintasi seluruh bidang gelincir | 1,131 | SF < 1,25 |
| 1 | L total | Belum melintasi seluruh bidang gelincir | 1,164 | SF < 1,25 |
| 2 | 5m pada Zona 2 | Belum melintasi seluruh bidang gelincir | 1,012 | SF < 1,25 |
| 3 | 6,5m pada Zona 1 | Belum melintasi seluruh bidang gelincir | 1,194 | SF < 1,25 |
| 4 | 10m Zona 1, 17m Zona 2 | Sudah melintasi seluruh bidang gelincir | 1,656 | SF ≥ 1,25 |

Berdasarkan Tabel 5.11, variasi 4 dengan geotekstil sepanjang 10 m pada Zona 1 dan 17 m pada Zona 2 memberikan hasil paling efektif. Konfigurasi tersebut telah melintasi seluruh bidang gelincir kritis dan menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 1,656, sehingga memenuhi persyaratan minimum sebesar 1,25. Dengan demikian, variasi 4 dipilih sebagai konfigurasi perkuatan geotekstil yang paling sesuai untuk meningkatkan stabilitas lereng.

## 5.5 Perhitungan Penurunan Tanah

Analisis penurunan tanah pada timbunan STA 70+350 dilakukan secara manual dengan memodelkan timbunan setinggi 10 meter. Geometri timbunan asli yang memiliki teras disederhanakan menjadi bentuk tanpa teras untuk memudahkan perhitungan luas penampang, beban timbunan, dan distribusi tambahan tegangan pada tanah dasar.




**Gambar 5.16 Geometri Lereng Timbunan STA 70+375**

Data penyelidikan tanah yang tersedia berupa nilai N-SPT pada setiap kedalaman. Oleh karena itu, nilai N-SPT rata-rata pada setiap lapisan dikorelasikan menjadi nilai tahanan konus, $q_c$, menggunakan persamaan Meyerhof (1956), yaitu $q_c = 4N$, dengan $q_c$ dalam kg/cm². Nilai $q_c$ hasil korelasi kemudian digunakan untuk menentukan angka pemampatan tanah pada setiap lapisan. Penurunan tiap lapisan dihitung secara terpisah, kemudian dijumlahkan untuk memperoleh total penurunan tanah dasar akibat beban timbunan. Tahapan analisis dan perhitungan penurunan segera dapat dilihat sebagai berikut.

1. Menentukan nilai tahanan konus sondir ($q_c$)

   Nilai tahanan konus sondir ditentukan dari nilai N-SPT rata-rata pada setiap lapisan tanah. Perhitungan dilakukan menggunakan korelasi Meyerhof (1956), yaitu $q_c = 4N$, dengan $q_c$ dalam kg/cm². Nilai N-SPT rata-rata yang digunakan disajikan pada Tabel 5.11.

**Tabel 5.12 Rekapitulasi Tebal Lapisan dan Nilai N-SPT Rata-Rata**

| z (m) | H (m) | N | $q_c$ (kg/cm$^2$) | $\gamma b$ (kN/m$^3$) |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 6 | 41,67 | 166,68 | 18 |
| 8 | 2 | 60 | 240 | 20 |
| 10 | 2 | 44 | 176 | 18 |
| 20 | 10 | 60 | 240 | 20 |
| 30 | 10 | 31,6 | 126,4 | 18 |

Sebagai contoh, perhitungan nilai tahanan konus pada lapisan pertama dengan nilai N-SPT rata-rata sebesar 41,67 dilakukan sebagai berikut:

$q_c$ = 4N

= 4 x 41,67

= 166,68 kg/cm$^2$

2. Tegangan efektif awal di tengah lapisan ($P_o$)

$P_{o1}$ = z x γb

= 6 x 18

= 108 kN/m$^2$

3. Parameter kompresibilitas lapisan

$C_1 = \frac{1{,}5 q_c}{p0'}$ dengan $q_c$ x 98,0665 = 16347,6 kPa

$C_1 = \frac{1{,}5 \text{ x } 16347{,}6}{108}$

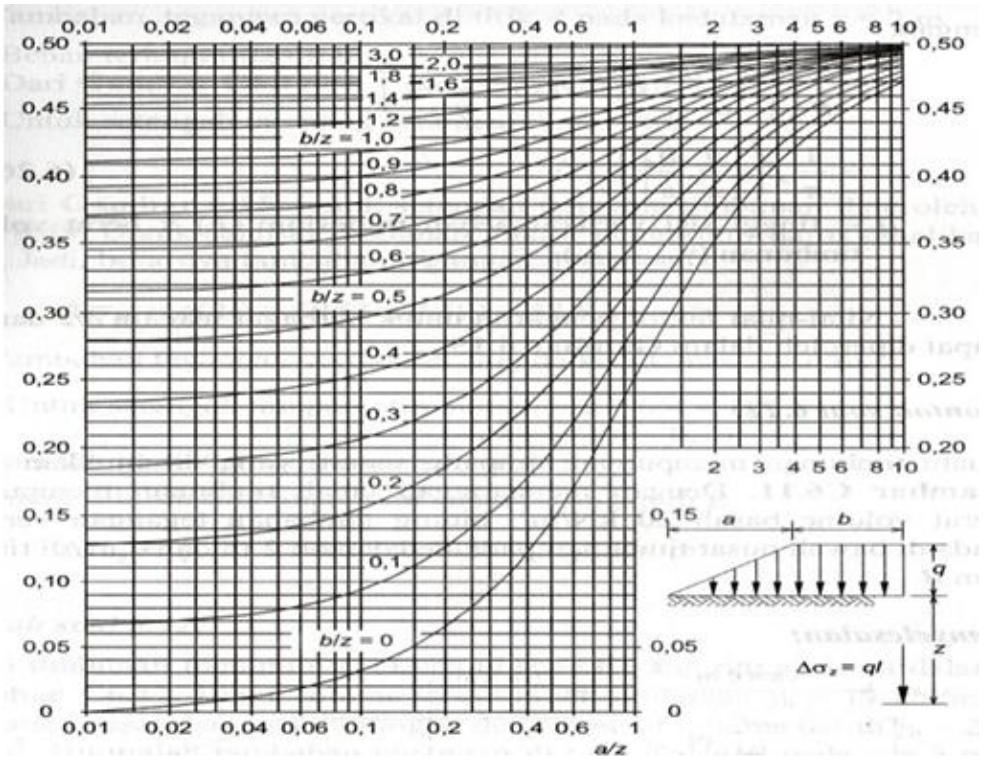
= 227,024

4. Menentukan nilai faktor pengaruh

Berdasarkan Gambar 5.12 di atas diketahui nilai a dan b adalah 23 m dan 9,9 m. Berikut adalah perhitungan untuk menentukan nilai faktor pengaruh.

$\frac{a}{z} = \frac{23}{6}$ = 3,83

$\frac{b}{z} = \frac{9{,}9}{6}$ = 1,65




**Gambar 5.17 Grafik *Influence Factor***
(Sumber: Osterberg, 1957)

Berdasarkan grafik *influence factor*, makan didapatkan *influence factor* pada tanah lapis sebesar 0,49

5. Tambahan tegangan akibat timbunan

$\Delta p_1 = 2qI$

$q = \gamma$ x tinggi timbunan

$= 17 \times 10$

$= 170$ kPa

$\Delta p_1 = 2 \times 170 \times 0{,}49$

$= 166{,}6$ kPa

6. Penurunan segera

$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{p\prime - \Delta p}{Po\prime}$

$= \frac{6}{227{,}024} \ln \frac{108 - 166{,}6}{108}$

$= 0{,}024663$ m

Rekapitulasi hasil analisis penurunan tanah pada lereng timbunan dengan menggunakan perhitungan manual dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

**Tabel 5.13 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tanah**

| z (m) | H (m) | N | $q_c$ (kg/cm$^2$) | γb (kN/m3) | Po' kPa | C | a/z | b/z | I | Δp (kPa) | Si (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-6 | 6 | 41,67 | 166,68 | 18 | 108 | 227,0239 | 3,833 | 1,65 | 0,49 | 166,6 | 0,024663 |
| 6-8 | 2 | 60 | 240 | 20 | 160 | 220,6496 | 2,875 | 1,24 | 0,44 | 149,6 | 0,005983 |
| 8-10 | 2 | 44 | 176 | 18 | 180 | 143,8309 | 2,3 | 0,99 | 0,41 | 139,4 | 0,007974 |
| 10-20 | 10 | 60 | 240 | 20 | 400 | 88,25985 | 1,15 | 0,49 | 0,26 | 88,4 | 0,022623 |
| 20-30 | 10 | 31,6 | 126,4 | 18 | 540 | 34,43224 | 0,767 | 0,33 | 0,19 | 64,6 | 0,032817 |
| | | | | | | | | | | Total | 0,094061 |

Evaluasi penurunan tanah dilakukan untuk mengetahui apakah nilai penurunan hasil analisis masih berada dalam batas yang diizinkan. Hasil analisis penurunan segera berdasarkan hitungan di atas menunjukkan nilai penurunan sebesar 9,4 cm. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan kriteria penurunan izin berdasarkan SNI 8460:2017. Pemeriksaan ini dilakukan untuk memastikan bahwa deformasi vertikal akibat beban timbunan masih memenuhi persyaratan kemampulayanan.

$S = 9{,}4$ cm

$S_{izin} = 15 \text{ cm} + \frac{b}{600}$

$= 15 \text{ cm} + \frac{6580}{600}$

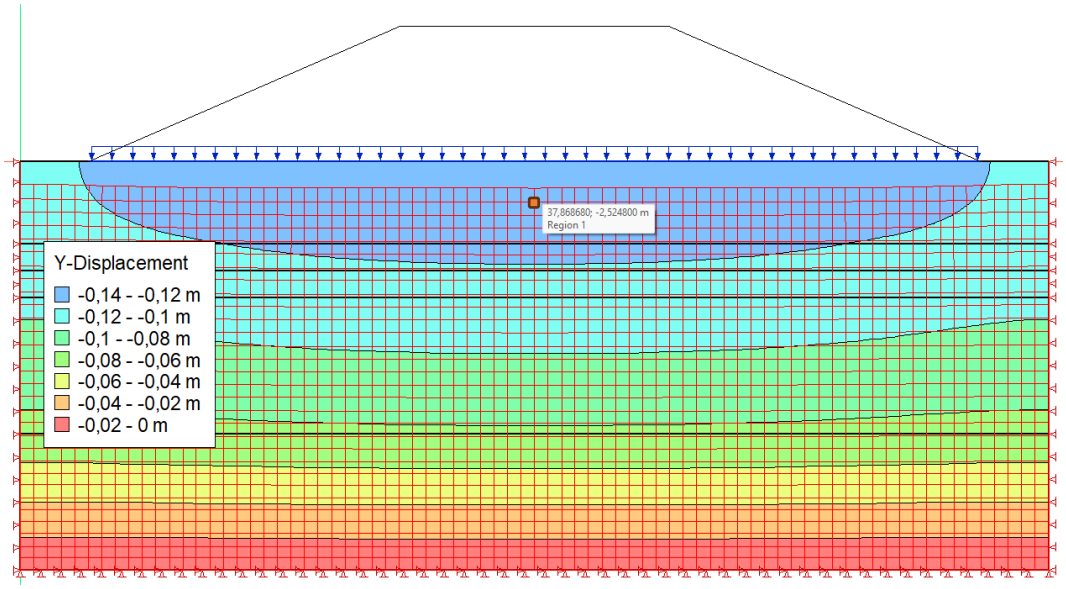
$= 15 + 10{,}97$

$= 25{,}97$ cm

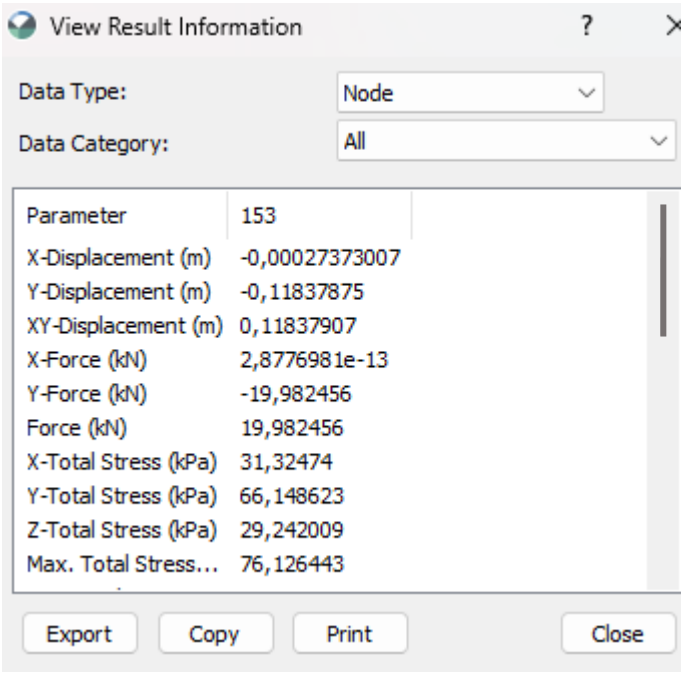
$S_{hasil} < S_{izin}$

$9{,}4 \text{ cm} < 25{,}97 \text{ cm}$

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa $S_{hasil} < S_{izin}$, yaitu 9,4 cm < 25,97 cm. Oleh karena itu, penurunan segera yang terjadi akibat beban timbunan masih dapat diterima karena tidak melebihi batas penurunan izin berdasarkan SNI 8460:2017.




**Gambar 5.18 Hasil deformasi tanah akibat beban timbunan menggunakan *SIGMA/W***




**Gambar 5.19 *View Result Information* pada Analisis Deformasi *GeoStudio SIGMA/W***

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *SIGMA/W*, hasil pembacaan pada titik tinjauan, diperoleh nilai Y-Displacement sebesar -0,11837875 m. Tanda negatif menunjukkan bahwa tanah mengalami pergerakan ke arah bawah. Dengan

demikian, nilai tersebut dapat diartikan sebagai penurunan tanah sebesar 11,84 cm. Titik yang ditinjau berada pada koordinat X = 37,9 m dan Y = -2 m.

**Tabel 5.14 Hasil Pembacaan Deformasi Vertikal dari *SIGMA/W***

| Titik Tinjauan | Node 153 |
|---|---|
| Koordinat X | 37,9 m |
| Koordinat Y | -2 m |
| X-Displacement | -0,000274 m |
| Y-Displacement | -0,118379 m |
| Penurunan tanah | 11,84 cm |

Hasil perhitungan manual menunjukkan bahwa penurunan tanah yang terjadi sebesar 9,40 cm. Sementara itu, hasil analisis menggunakan *SIGMA/W* pada titik tinjauan menunjukkan penurunan sebesar 11,84 cm.

$S_{Sigma/W}$ = 11,84 cm

$S_{Sigma/W} < S_{izin}$

11,84 cm < 25,97 cm

Berdasarkan hasil analisis tersebut, nilai penurunan tanah dari pemodelan numerik masih berada di bawah batas penurunan izin. Oleh karena itu, penurunan tanah yang terjadi akibat beban timbunan masih dapat dikategorikan aman dan memenuhi kriteria yang ditetapkan.

## 5.6 Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, stabilitas lereng timbunan pada STA 70+375 Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen dianalisis melalui beberapa tahapan. Tahapan tersebut meliputi analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan menggunakan metode *Fellenius*, analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan menggunakan program *GeoStudio SLOPE/W*, perhitungan kebutuhan geotekstil, analisis stabilitas lereng setelah diberi perkuatan geotekstil, serta analisis penurunan tanah segera. Pembahasan ini bertujuan untuk menilai kondisi keamanan lereng berdasarkan hasil perhitungan yang telah diperoleh.

### 5.6.1 Analisa Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengetahui tingkat keamanan lereng terhadap potensi kelongsoran. Pada kondisi tanpa perkuatan, hasil perhitungan manual menggunakan metode Fellenius menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 1,092. Nilai tersebut masih lebih kecil daripada faktor keamanan minimum yang digunakan, yaitu 1,25. Hasil ini menunjukkan bahwa lereng pada kondisi awal belum memenuhi persyaratan keamanan dan membutuhkan perkuatan.

Analisis menggunakan GeoStudio SLOPE/W pada kondisi tanpa perkuatan dan tanpa beban gempa menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 1,048. Nilai ini relatif mendekati hasil perhitungan manual, sehingga menunjukkan kesesuaian antara metode manual dan pemodelan numerik dalam menggambarkan kondisi lereng eksisting yang belum stabil. Ketika beban gempa turut diperhitungkan pada kondisi tanpa perkuatan, nilai faktor keamanan menurun menjadi 1,012. Penurunan ini menunjukkan bahwa beban gempa memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan stabilitas lereng, sehingga kondisi lereng menjadi semakin kritis apabila tidak segera diberi perkuatan.

Analisis selanjutnya dilakukan dengan konfigurasi geotekstil menggunakan L pakai, yaitu panjang Lz+Le hasil kontrol stabilitas internal, dan diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,131. Nilai tersebut meningkat dibandingkan kondisi tanpa perkuatan, namun geotekstil pada konfigurasi ini belum melintasi seluruh bidang gelincir kritis secara optimal, sehingga nilai faktor keamanan yang dihasilkan masih berada di bawah 1,25

Pada variasi pertama, panjang geotekstil menggunakan L total (Lpakai ditambah panjang overlap Lo dan Sv), sehingga nilai faktor keamanan meningkat menjadi 1,164. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan panjang lipatan geotekstil di muka lereng turut memberi kontribusi terhadap tahanan tarik tambahan. Meskipun demikian, geotekstil pada konfigurasi ini masih belum sepenuhnya memotong bidang gelincir kritis, sehingga syarat faktor keamanan minimum sebesar 1,25 belum tercapai.

Pada variasi kedua, panjang geotekstil pada Zona 2 ditetapkan sebesar 5 meter dan menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,012. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan variasi pertama karena panjang geotekstil pada Zona 2 diperpendek sehingga belum menjangkau seluruh bidang gelincir kritis pada zona tersebut. Pada variasi ketiga, panjang geotekstil pada Zona 1 ditetapkan sebesar 6,5 meter dan menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,194. Peningkatan ini menunjukkan adanya tambahan gaya penahan dari perpanjangan geotekstil pada zona atas, tetapi konfigurasi ini juga belum memenuhi faktor keamanan minimum sebesar 1,25 karena geotekstil belum melintasi seluruh bidang gelincir kritis.

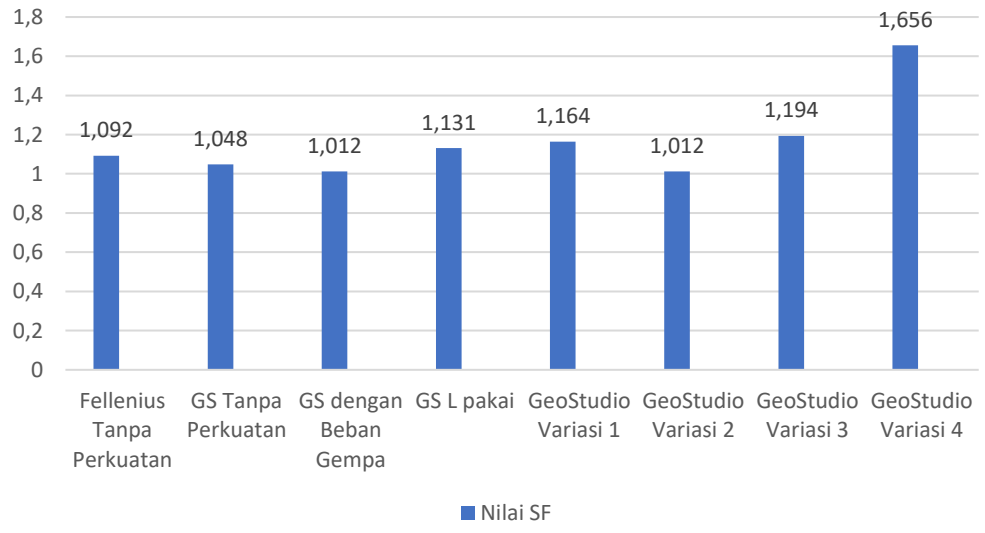
Pada variasi keempat, panjang geotekstil ditetapkan sebesar 10 meter pada Zona 1 dan 17 meter pada Zona 2. Konfigurasi tersebut telah melintasi seluruh bidang gelincir kritis. Hasil analisis menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 1,656, yang lebih besar daripada faktor keamanan minimum sebesar 1,25. Dengan demikian, variasi keempat memenuhi persyaratan stabilitas lereng.

Hasil analisis menunjukkan bahwa panjang dan posisi geotekstil terhadap bidang gelincir memberikan pengaruh besar terhadap peningkatan faktor keamanan. Penambahan panjang geotekstil tidak selalu meningkatkan faktor keamanan apabila geotekstil belum melintasi bidang gelincir kritis dan belum memiliki panjang penjangkaran yang memadai di zona pasif, sebagaimana terlihat pada variasi kedua yang justru menghasilkan penurunan nilai faktor keamanan. Konfigurasi geotekstil sepanjang 10 meter pada Zona 1 dan 17 meter pada Zona 2 memberikan hasil paling efektif karena mampu memotong seluruh bidang gelincir dan meningkatkan gaya penahan lereng secara signifikan.

Secara keseluruhan, nilai faktor keamanan meningkat dari 1,048 pada kondisi tanpa perkuatan menjadi 1,656 pada variasi keempat. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan geotekstil dengan panjang dan konfigurasi yang tepat efektif meningkatkan stabilitas lereng pada STA 70+375 Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen. Rekapitulasi hasil analisis stabilitas lereng disajikan pada Tabel 5.15.

**Tabel 5.15 Hasil Analisis Stabilitas Lereng**

| No. | Metode/Variasi | Keterangan | Nilai SF | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Perhitungan manual | Tanpa perkuatan dan tanpa beban gempa | 1,092 | SF < 1,25 |
| 2 | *GeoStudio* | Tanpa perkuatan dan tanpa beban gempa | 1,048 | SF < 1,25 |
| 3 | *GeoStudio* | Tanpa perkuatan dengan beban gempa | 1,012 | SF < 1,25 |
| 4 | *GeoStudio* | L pakai | 1,131 | SF < 1,25 |
| 5 | *GeoStudio* variasi 1 | L total | 1,164 | SF < 1,25 |
| 6 | *GeoStudio* variasi 2 | 5 m pada Zona 2 | 1,012 | SF < 1,25 |
| 7 | *GeoStudio* variasi 3 | 6,5 m pada Zona 1 | 1,194 | SF < 1,25 |
| 8 | *GeoStudio* variasi 4 | 10m Zona 1 dan 17 m Zona 2 | 1,656 | SF > 1,25 |




**Gambar 5.20 Perbandingan Nilai *Safety Factor* (SF) Berdasarkan Metode Analisis dan Variasi Perkuatan Geotekstil**

5.6.2 Penurunan Tanah

Analisis penurunan tanah dilakukan untuk mengetahui besarnya penurunan segera pada tanah dasar akibat beban timbunan setinggi 10 m. Jenis penurunan ini dipilih karena lapisan tanah pada lokasi penelitian didominasi oleh tanah granular, yaitu *silty sand with cobbles* dan *gravelly silty sand*. Tanah granular memiliki

permeabilitas relatif tinggi, sehingga deformasi akibat pembebanan diperkirakan terjadi segera atau dalam waktu relatif singkat setelah beban timbunan bekerja.

Perhitungan dilakukan secara manual dengan membagi tanah dasar menjadi lima lapisan berdasarkan hasil penyelidikan tanah. Geometri timbunan asli yang memiliki teras disederhanakan menjadi bentuk tanpa teras untuk memudahkan perhitungan luas penampang, beban timbunan, dan distribusi tambahan tegangan pada tanah dasar. Penyederhanaan tersebut menghasilkan luas penampang timbunan yang lebih besar dibandingkan kondisi aktual, sehingga hasil perhitungan cenderung lebih konservatif.

Data penyelidikan tanah yang tersedia berupa nilai N-SPT pada setiap kedalaman. Nilai N-SPT rata-rata pada setiap lapisan kemudian dikorelasikan menjadi nilai tahanan konus, ($q_c$), menggunakan persamaan Meyerhof (1956), yaitu ($q_c = 4N$), dengan ($q_c$) dalam kg/cm². Nilai ($q_c$) selanjutnya digunakan untuk menentukan parameter kompresibilitas tanah. Besarnya tambahan tegangan pada setiap lapisan dihitung berdasarkan beban timbunan dan nilai *influence factor* yang diperoleh dari perbandingan geometri timbunan terhadap kedalaman lapisan. Penurunan setiap lapisan dihitung secara terpisah, kemudian dijumlahkan untuk memperoleh penurunan total tanah dasar.

Berdasarkan hasil perhitungan, penurunan pada lapisan 0 sampai 6 m sebesar 0,024663 cm, lapisan 6 sampai 8 m sebesar 0,005983 m, lapisan 8 sampai 10 m sebesar 0,007974 m, lapisan 10 sampai 20 m sebesar 0,022623 m, dan lapisan 20 sampai 30 m sebesar 0,032817 m. Hasil penjumlahan seluruh lapisan menghasilkan total penurunan segera sebesar 0,094061 m atau 9,4 cm.

Nilai penurunan terbesar terjadi pada lapisan 20 sampai 30 m, yaitu sebesar 0,032817 cm. Hal ini dipengaruhi oleh ketebalan lapisan yang lebih besar dan nilai N-SPT rata-rata yang lebih rendah dibandingkan beberapa lapisan di atasnya, sehingga parameter kompresibilitasnya lebih besar. Meskipun tambahan tegangan semakin berkurang terhadap kedalaman, ketebalan dan karakteristik lapisan tetap memberikan pengaruh terhadap besarnya penurunan.

Selain perhitungan manual, analisis penurunan tanah juga dilakukan menggunakan *SIGMA/W* pada *GeoStudio*. Analisis ini bertujuan untuk melihat

deformasi tanah akibat beban timbunan secara numerik. Berdasarkan hasil analisis, deformasi tanah paling besar terjadi pada arah vertikal, terutama di bawah area timbunan. Hasil pembacaan pada titik tinjauan menunjukkan nilai *Y-Displacement* sebesar -0,11837875 m. Tanda negatif menunjukkan bahwa tanah mengalami pergerakan ke arah bawah. Dengan demikian, nilai tersebut dapat diartikan sebagai penurunan tanah sebesar 11,84 cm.

Hasil analisis manual menunjukkan penurunan sebesar 9,4 cm, sedangkan hasil analisis menggunakan *SIGMA/W* menunjukkan penurunan sebesar 11,84 cm. Perbedaan nilai ini masih wajar karena perhitungan manual menggunakan pendekatan sederhana berdasarkan pembagian lapisan tanah dan faktor pengaruh tegangan. Sementara itu, *SIGMA/W* menghitung deformasi tanah dengan metode elemen hingga yang mempertimbangkan geometri model, kondisi batas, distribusi beban, serta nilai kekakuan pada setiap lapisan tanah. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa S hasil < S izin, yaitu 9,4 cm < 25,97 cm untuk perhitungan manual dan 11,84 cm < 25,97 cm. Oleh karena itu, penurunan segera yang terjadi akibat beban timbunan masih dapat diterima karena tidak melebihi batas penurunan izin berdasarkan SNI 8460:2017.

# BAB VI
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng dan penurunan tanah pada STA 70+375 Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil klasifikasi tanah menggunakan korelasi nilai N-SPT menurut Bowles (1997), kondisi tanah pada STA 70+375 tersusun atas lapisan *Silty Sand with Cobbles* pada kedalaman 0–6 m, *Gravelly Silty Sand* pada kedalaman 6–8 m, *Silty Sand with Cobbles* pada kedalaman 8–10 m, *Gravelly Silty Sand* pada kedalaman 10–20 m, dan *Silty Sand with Cobbles* pada kedalaman 20–30 m. Hasil klasifikasi tersebut menunjukkan bahwa tanah didominasi oleh material granular berkepadatan padat hingga sangat padat dan digunakan sebagai dasar penentuan parameter geoteknik dalam analisis stabilitas lereng.
2. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng timbunan *existing* pada STA 70+375 menggunakan metode *Fellenius* dan *software GeoStudio SLOPE/W* dalam kondisi tanpa beban gempa, diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,092 untuk metode *Fellenius* dan 1,048 untuk hasil yang menggunakan *software GeoStudio SLOPE/W*. Nilai tersebut juga lebih kecil daripada faktor keamanan minimum sebesar 1,25. Hasil ini menunjukkan bahwa kondisi lereng timbunan *existing* belum aman terhadap potensi kelongsoran. Nilai faktor keamanan dari *GeoStudio SLOPE/W* lebih kecil dibandingkan hasil metode *Fellenius* karena analisis *software* mempertimbangkan pencarian bidang gelincir secara lebih luas.
3. Perencanaan perkuatan geotekstil dilakukan dengan menentukan kebutuhan panjang dan kuat tarik geotekstil pada lereng timbunan. Berdasarkan hasil perencanaan, digunakan geotekstil woven UW-250 dengan kuat tarik ultimit sebesar 52 kN/m dan kuat tarik izin sebesar 26 kN/m. Gaya tarik yang bekerja

pada geotekstil sebesar 27,356 kN/m. Nilai tersebut masih lebih kecil daripada kuat tarik ultimit geotekstil, sehingga geotekstil mampu memberikan kontribusi perkuatan terhadap lereng. Namun, nilai gaya tarik tersebut perlu dikontrol kembali terhadap kuat tarik izin karena sedikit lebih besar daripada 26 kN/m.

4. Penggunaan geotekstil memberikan pengaruh terhadap peningkatan faktor keamanan lereng timbunan. Hasil analisis *GeoStudio SLOPE/W* menunjukkan bahwa beberapa variasi awal panjang geotekstil belum memenuhi faktor keamanan minimum karena geotekstil belum melintasi seluruh bidang gelincir kritis. Konfigurasi geotekstil sepanjang 10 m pada Zona 1 dan 17 m pada Zona 2 menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,656. Nilai tersebut lebih besar daripada faktor keamanan minimum sebesar 1,25, sehingga konfigurasi ini dipilih sebagai perkuatan yang memenuhi persyaratan stabilitas lereng.
5. Berdasarkan hasil analisis penurunan segera tanah dasar akibat beban timbunan setinggi 10 m, diperoleh total penurunan dari perhitungan manual sebesar 0,094061 m atau 9,4 cm. Hasil analisis numerik menggunakan *SIGMA/W* menunjukkan nilai *Y-Displacement* sebesar -0,11837875 m, sehingga penurunan tanah yang terjadi sebesar 11,84 cm. Perbedaan nilai tersebut terjadi karena perhitungan manual menggunakan pendekatan sederhana, sedangkan *SIGMA/W* menggunakan metode elemen hingga yang mempertimbangkan geometri, kondisi batas, distribusi beban, dan kekakuan tiap lapisan tanah. Kedua hasil tersebut masih lebih kecil daripada batas penurunan izin berdasarkan SNI 8460:2017, yaitu 25,97 cm, sehingga penurunan tanah akibat beban timbunan masih memenuhi persyaratan.

## 6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan data tanah yang lebih lengkap, seperti data laboratorium, data muka air tanah, dan parameter kuat

geser dari beberapa titik penyelidikan tanah. Data yang lebih lengkap dapat meningkatkan ketelitian hasil analisis stabilitas lereng.

2. Analisis stabilitas lereng sebaiknya tidak hanya dilakukan dengan metode *Fellenius* dan *GeoStudio SLOPE/W*, tetapi juga dapat dibandingkan dengan metode lain seperti *Bishop, Janbu, Morgenstern-Price*, atau metode elemen hingga. Perbandingan beberapa metode dapat memberikan hasil evaluasi yang lebih menyeluruh.
3. Penelitian selanjutnya perlu mempertimbangkan kondisi muka air tanah dan tekanan air pori. Pada kondisi lapangan, keberadaan air dapat menurunkan kuat geser tanah dan memengaruhi nilai faktor keamanan lereng.
4. Analisis penurunan tanah dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan penurunan konsolidasi, terutama apabila pada lokasi penelitian ditemukan lapisan tanah lempung atau tanah lunak. Dengan demikian, hasil analisis penurunan dapat menggambarkan kondisi jangka pendek dan jangka panjang.

# DAFTAR PUSTAKA


Afdhal. T. 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*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Badan Standardisasi Nasional. 2017. SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik. Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional. 2013. SNI 3420-2016. Metode Uji kuat Geser Langsung Tanah Tidak Terkonsolidasi dan Tidak Terdrainase.

Bowles, J. E. 1968**.** *Foundation Analysis and Design*. *McGraw-Hill*. New York.

Bowles, J.E. 1977. *Foundation Analysis and Design. McGraw-Hill 3rd ed*. New York.

Bowles, J.E. 1977. *Foundation Analysis and Design. McGraw-Hill 5th ed*. New York.

Bowles, J.E. 1989. *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. McGraw-Hill. New York.

California Department of Conservation. 1987. *Strong-Motion Records from the Whittier Narrows, California Earthquake of October 1, 1987*. Division of Mines and Geology. Sacramento.

Das, B.M. 2016. *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning. Boston.

Dinas Pekerjaan Umum. 2009. Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik. Jakarta.

Dinas Pekerjaan Umum. 2009. Pedoman Konstruksi Bangunan. Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geotekstil. Jakarta.

Direktorat Jenderal Bina Marga. 2002. Panduan Geoteknik 4: Desain dan Konstruksi Timbunan di Atas Tanah Lunak. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. Jakarta.

Direktorat Jenderal Bina Marga. 2009. Pedoman Konstruksi Bangunan: Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geotekstil No. 003/BM/2009. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta

Dhaneswara. R. 2024. *Analisis Stabilitas Lereng Ramp Jalan Tol dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan GeoSlope*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

GEO-SLOPE International Ltd. 2012. *Stability Modeling with SLOPE/W: An Engineering Methodology*. Calgary.

Hardiyatmo, H.C. 2006. *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. 2008. *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya: Perancangan dan Aplikasi*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. 2017. *Mekanika Tanah 1*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. 2018. *Mekanika Tanah 2*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Pusat Studi Gempa Nasional. Jakarta.

Koerner, R.M. 2012. *Designing with Geosynthetics*. Xlibris Corporation. Bloomington.

Lembang, L.D. 2022. *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Meyerhof, G. G. 1956. *Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils*. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 82(1), 1–19.

Nadhif, F.M. 2023. *Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Menggunakan Perkuatan Geotekstil dengan Software GeoStudio*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Osterberg, J. O. 1957. *Influence Values for Vertical Stresses in a Semi-Infinite Mass Due to an Embankment Load*. Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1, 393–394. London.

PT. Teknindo Geosistem Unggul. Tanpa Tahun. *Technical Specification Geotextile Woven*. Surabaya.

Rachman, M. 2024. *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas dan Metode Elemen Hingga*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

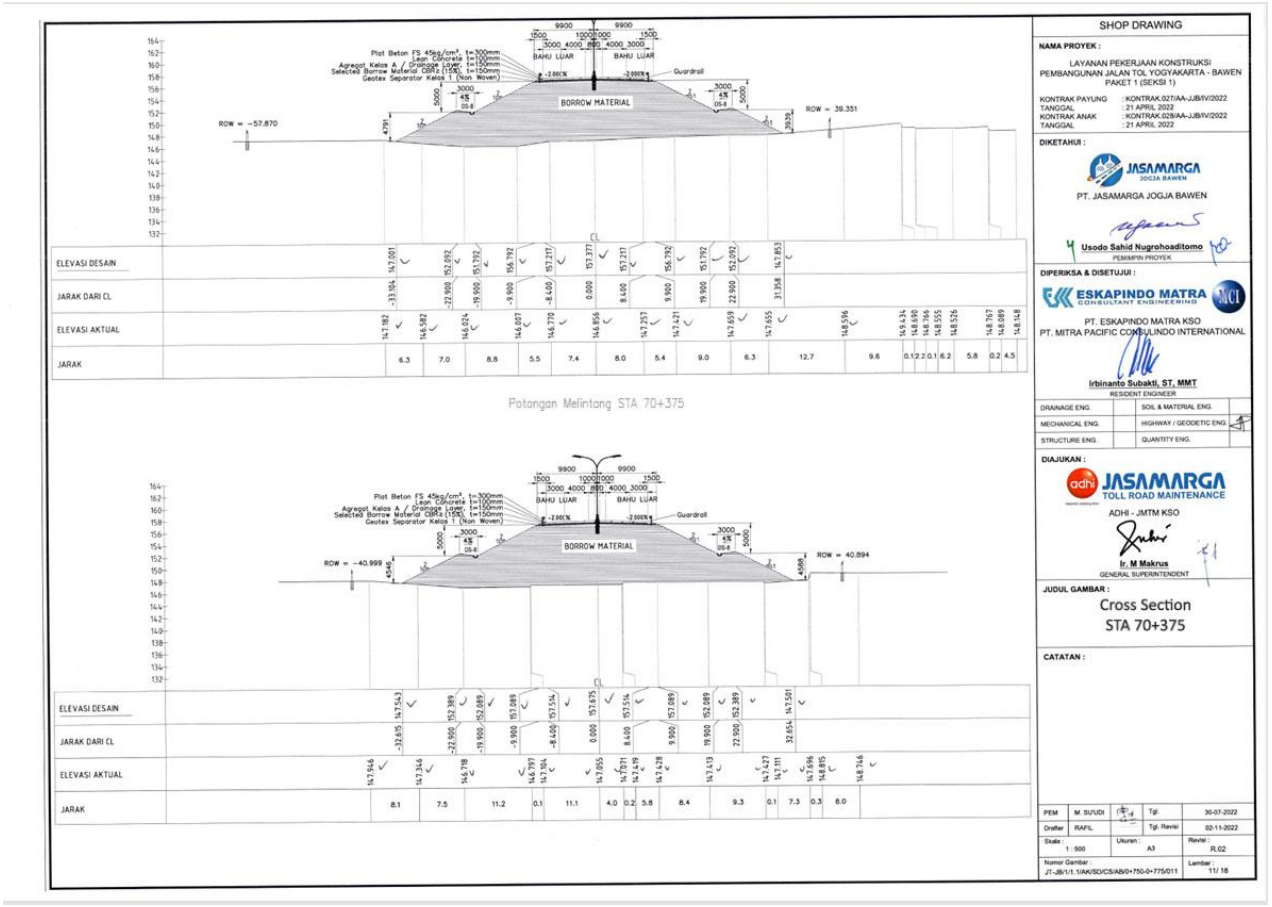
Simpul KPBU Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2024. Informasi Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.

Susangunap, D.A.D. 2021. *Analisis Stabilitas Lereng Badan Jalan dengan Timbunan Bertahap dan Menggunakan Perkuatan Geotekstil*. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

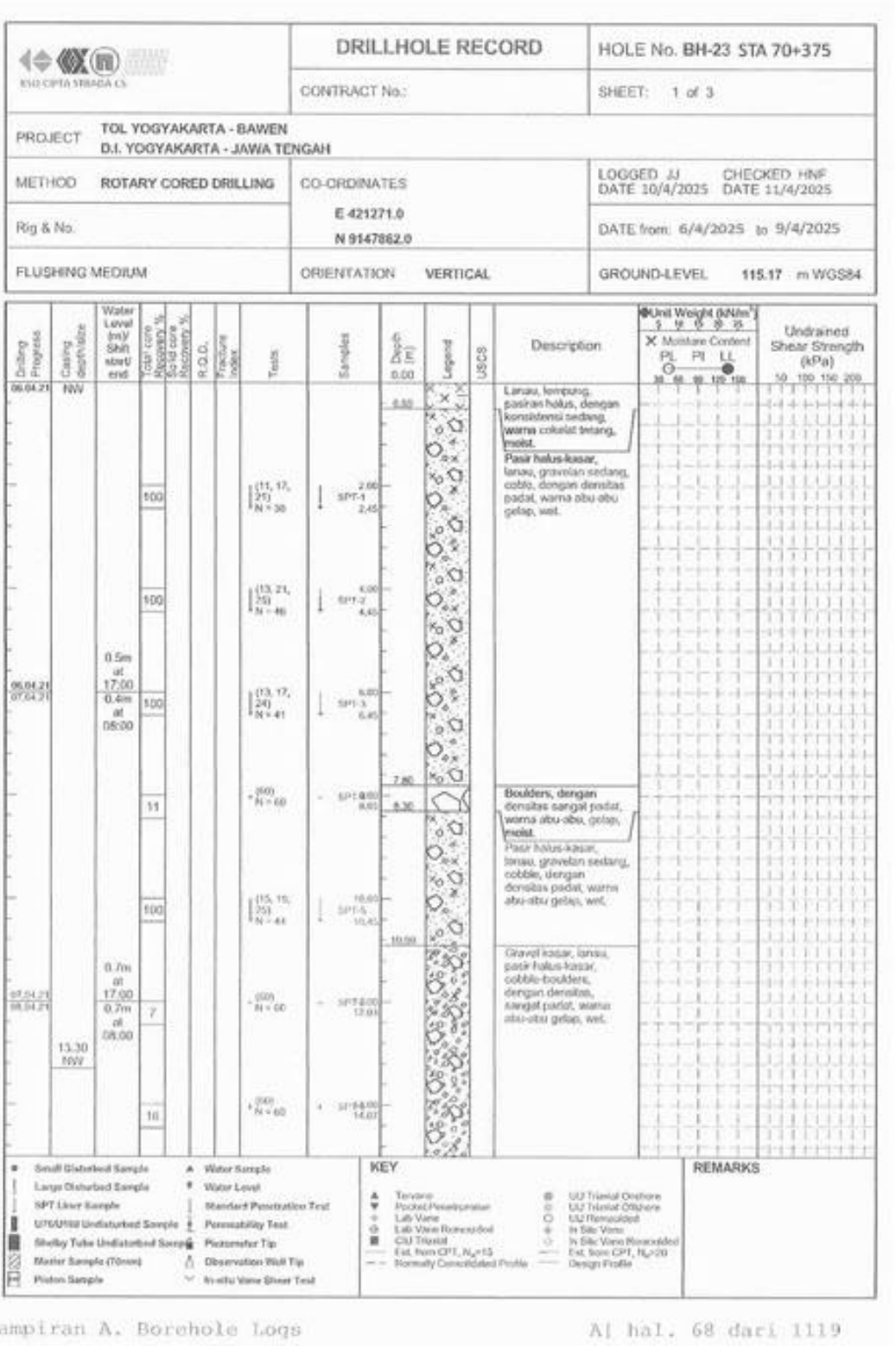
Terzaghi, K. 1950. *Mechanism of Landslides. Dalam Paige, S. (Ed.). Application of Geology to Engineering Practice*. Geological Society of America. New York.

# LAMPIRAN

**Lampiran 1 *Shop Drawing* Potongan Melintang STA 70+375**



**Lampiran 2 Data Borelog BH-23 Proyek Pembangunan Tol Yogyakarta-Bawen STA 70+375**



KSO CIPTA STRADA CS

**DRILLHOLE RECORD**

HOLE No. **BH-23** STA 70+375

CONTRACT No.:

SHEET: 2 of 3

PROJECT: **TOL YOGYAKARTA - BAWEN**
**D.I. YOGYAKARTA - JAWA TENGAH**

METHOD: **ROTARY CORED DRILLING**

CO-ORDINATES
**E 421271.0**
**N 9147862.0**

LOGGED JJ DATE 10/4/2025
CHECKED HNF DATE 11/4/2025

Rig & No.

DATE from: 6/4/2025 to 9/4/2025

FLUSHING MEDIUM

ORIENTATION: **VERTICAL**

GROUND-LEVEL **115.17** m WGS84

| Drilling Progress | Casing depth/size | Water Level (m)/ Shift start/ end | Tot. core Recovery % | Solid core Recovery % | R.Q.D. | Fracture Index | Tests | Samples | Depth (m) | Legend | USCS | Description | Unit Weight (kN/m³) / Moisture Content PL PI LL | Undrained Shear Strength (kPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | 15.00 | | | Gravel kasar, lanau, pasir halus-kasar, cobble-boulders, dengan densitas, sangat padat, warna abu-abu gelap, wet. *(continued)* | | |
| | | | 18 | | | | (50) N = 60 | SPT-10 16.88 | | | | | | |
| | | | 11 | | | | (50) N = 66 | SPT-9 18.05 | | | | | | |
| | | | 16 | | | | (50) N = 66 | SPT-10 20.07 | 20.50 | | | | | |
| 08.04.25 | | 0.9m at 17.00 | | | | | | | | | | Pasir halus-kasar, lanau, gravelan sedang, dengan densitas padat, warna abu-abu gelap, wet. | | |
| 09.04.25 | | 0.7m at 08.00 | 100 | | | | (11, 14, 17) N = 31 | 22.00 SPT-11 22.45 | | | | | | |
| | | | 100 | | | | (10, 13, 19) N = 32 | 24.00 SPT-12 24.45 | | | | | | |
| | | | 100 | | | | (12, 14, 18) N = 32 | 26.00 SPT-13 26.45 | | | | | | |
| | | | 100 | | | | (12, 15, 18) N = 33 | 28.00 SPT-14 28.45 | | | | | | |
| | | 0.3m | | | | | | | | | | | | |

- Small Disturbed Sample
- Large Disturbed Sample
- SPT Liner Sample
- U76/U100 Undisturbed Sample
- Shelby Tube Undisturbed Sample
- Mazier Sample (70mm)
- Piston Sample
- Water Sample
- Water Level
- Standard Penetration Test
- Permeability Test
- Piezometer Tip
- Observation Well Tip
- In-situ Vane Shear Test

KEY

- Tonvane
- Pocket Penetrometer
- Lab Vane
- Lab Vane Remoulded
- CIU Triaxial
- Est. from CPT, $N_{kt}$=15
- Normally Consolidated Profile
- UU Triaxial Onshore
- UU Triaxial Offshore
- UU Remoulded
- In Situ Vane
- In Situ Vane Remoulded
- Est. from CPT, $N_{kt}$=20
- Design Profile

REMARKS

| KSO CIPTA STRADA CS | DRILLHOLE RECORD | HOLE No. **BH-23** STA 70+375 |
|---|---|---|
| | CONTRACT No.: | SHEET: 3 of 3 |
| PROJECT | **TOL YOGYAKARTA - BAWEN**<br>**D.I. YOGYAKARTA - JAWA TENGAH** | |
| METHOD **ROTARY CORED DRILLING** | CO-ORDINATES | LOGGED JJ CHECKED HNF<br>DATE 10/4/2025 DATE 11/4/2025 |
| Rig & No. | **E 421271.0**<br>**N 9147862.0** | DATE from: 6/4/2025 to 9/4/2025 |
| FLUSHING MEDIUM | ORIENTATION **VERTICAL** | GROUND-LEVEL **115.17** 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/m³) / Moisture Content PL PI LL | Undrained Shear Strength (kPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 09.04.25 | | at 17:00 | 100 | | | | (9, 11, 19) N = 30 | SPT-15 30.00 30.45 | 30.00 30.45 | | | Hole Terminated at 30.45 m ROTARY CORED DRILLING | 0 10 15 20 25 / 30 60 90 120 150 | 50 100 150 200 |

| | |
|---|---|
| Small Disturbed Sample | Water Sample |
| Large Disturbed Sample | Water Level |
| SPT Liner Sample | Standard Penetration Test |
| U76/U100 Undisturbed Sample | Permeability Test |
| Shelby Tube Undisturbed Sample | Piezometer Tip |
| Mazier Sample (76mm) | Observation Well Tip |
| Piston Sample | In-situ Vane Shear Test |

**KEY**

| | |
|---|---|
| Torvane | UU Triaxial Onshore |
| Pocket Penetrometer | UU Triaxial Offshore |
| Lab Vane | UU Remoulded |
| Lab Vane Remoulded | In Situ Vane |
| CU Triaxial | In Situ Vane Remoulded |
| Est. from CPT, $N_{kt}$=15 | Est. from CPT, $N_{kt}$=20 |
| Normally Consolidated Profile | Design Profile |

**REMARKS**

**Lampiran 3 Spesifikasi Geotekstil PT. Teknindo Geosistem Unggul**

# UnggulTex

**POLYPROPYLENE WOVEN GEOTEXTILES**

## TECHNICAL SPESIFICATIONS

| PROPERTIES | UNIT | TEST METHOD | UW - 150 | UW - 200 | UW - 250 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Physical Properties** | | | | | |
| Mass | $g/m^2$ | ASTM D 5261-92 | 150 | 200 | 250 |
| Thickness | mm | ASTM D 5199-91 | 0.5 | 0.6 | 0.7 |
| Colour | - | - | Black | Black | Black |
| **Mechanical Properties** | | | | | |
| Strip Tensile Strength (Wrab/Weft) | kN/m | ASTM D 4595-94 | 37/35 | 42/39 | 52/52 |
| Elongation at Max. Load (Wrab/Weft) | % | ASTM D 4595-94 | 19/18 | 20/20 | 20/20 |
| Grap Tensile Strength (Wrab/Weft) | N | ASTM D 4632-91 | 1210/1200 | 1600/1600 | 1750/1750 |
| Elongation at Max. Load (Wrab/Weft) | % | ASTM D 4632-91 | 14/13 | 22/22 | 22/22 |
| Trapezoidal Tear Strength (Wrab/Weft) | N | ASTM D 4533-91 | 615/615 | 700/700 | 800/800 |
| **Hydraulic Properties** | | | | | |
| Pore Size $O_{90}$ | µm | ASTM D 4751-95 | 320 | 275 | 250 |
| Water Permeability | $l/m^2/sec$ | 100 mm water head | 28 | 16 | 7.5 |
| **Environmental Properties** | | | | | |
| Effect of soil Alkalinity | - | - | nil | nil | nil |
| Effect of soil Acidity | - | - | nil | nil | nil |
| Effect of Bacteria | - | - | nil | nil | nil |
| Effect of U.V. Light | - | - | Stabilized | Stabilized | Stabilized |
| **Packaging** | | | | | |
| Roll Length | m | - | 150 - 200 | 150 - 200 | 150 - 200 |
| Roll Width | m | - | 3 - 4 | 3 - 4 | 3 - 4 |
| Roll Area | $m^2$ | - | 640 - 760 | 640 - 760 | 640 - 760 |
| Roll Diameter (Approx) | m | - | 0.4 - 0.5 | 0.4 - 0.5 | 0.4 - 0.5 |
| Roll Weight (Approx) | kg | - | 96 - 114 | 128 - 152 | 160 - 190 |

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

**Distributed by :**

**PT. TEKNINDO GEOSISTEM UNGGUL**
Wisma SIER Building, 1st Floor, Jl. Rungkut Industri Raya 10, Surabaya 60293
Tel. 031-8475062 Fax. 031-8475063
Email : info@geosistem.co.id
Website : www.geosistem.co.id

GEOSISTEM