TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN LERENG JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL DENGAN METODE PENAMBAHAN TRAP MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS

ANALYSIS OF STABILITY OF ROAD SLOPE USING GEOTEXTILE REINFORCEMENT WITH ADDING EMBANKMENT METHOD USING PLAXIS *PROGRAM*

(Studi Kasus : Proyek Tol Cibitung-Cilincing STA 3+550)

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

Tara Niate Guntara
17511116

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2022

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN LERENG JALAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL DENGAN METODE PENAMBAHAN TRAP MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS

ANALYSIS OF STABILITY OF ROAD SLOPE USING GEOTEXTILE REINFORCEMENT WITH ADDING EMBANKMENT METHOD USING PLAXIS *PROGRAM*

(Studi Kasus : Proyek Tol Cibitung-Cilincing STA 3+550)

Disusun oleh

Tara Niate Guntara

17511116

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk

memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal

Oleh Dosen Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
M. Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng	**Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.**	**Ir. Akhmad Marzuko, M.T.**
NIK : 135111101	**NIK : 215111305**	**NIK : 885110107**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., Eng

NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa 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 sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tugas akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 11 November 2022

Yang membuat pernyataan,



Tara Niate Guntara

(17511116)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr.wb.

Alhamdulillahirabbil'alamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang Berjudul Analisis stabilitas timbunan lereng jalan dengan perkuatan geotekstil dengan metode penambahan variasi trap menggunakan program PLAXIS Pada proyek jalan tol cibitung-cilincing Sta. 3+550. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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

1. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing I tugas akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang diberikan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir maupun selama masa perkuliahan.
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir ini, yang telah sangat membantu dalam membimbing penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih pula atas pemberian kritik, saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik pada kemudian hari.
3. Ibu Yunalia Muntafi. S.T., M.T., Ph.D.Eng. selaku ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia
4. Orang tua tercinta Bapak Guntara Yadi dan Ibu Emmi Shinta dua orang terhebat dalam hidup saya yang tidak hentinya memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan di setiap langkah saya dalam menuntut ilmu.
5. Saudara abang dan adik saya Alvin Syahputra Guntara, Diva Trianta Guntara, Deril Shinfa Guntara, dan Najwa Khairunnisa yang selalu mendukung dan perhatian mengingatkan serta memberi semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Kekasih hati Nuzullul Aghniya yang selalu mendukung dan mengingatkan saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Sahabat – sahabat saya Rama, Bay, Iqron, Ihsan, Rival, Yoga, Mile, Arif dan teman yang selalu ada untuk memberi motivasi, semangat dan dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga penelitian yang telah dilakukan dan disajikan dalam bentuk laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi dunia Teknik Sipil dan dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian – penelitian selanjutnya.

Wassalamu'alaikum wr wb

Yogyakarta, November 2022

Tara Niate Guntara

17511116

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR i
LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR LAMPIRAN xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xv
ABSTRAK xvii
ABSTRACT xviii
BAB I 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
1.6 Studi Kasus 5
BAB II 7
TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Umum 7
2.2 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil 7
2.2.1 Menggunakan Penambahan Trap 7
2.2.2 Tanpa Menggunakan Penambahan Trap 8
2.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil 9

2.4 Perbandingan Penelitian Dengan Penelitian Yang Dilakukan 10
BAB III 13
LANDASAN TEORI 13
3.1 Tanah 13
3.1.1 Pengertian Umum **Error! Bookmark not defined.**
3.1.2 Klasifikasi Tanah 13
3.1.3 Parameter Kuat Geser Tanah 16
3.1.4 Berat Volume Kering 20
3.1.5 Berat Volume Kering Tanah Sempurna 20
3.1.6 Berat Volume Tanah Jenuh 21
3.1.7 Permeabilitas 21
3.1.8 Modulus Elastis Tanah 22
3.1.9 *Poisson's Ratio* 22
3.1.10 Kohesi 23
3.1.11 Sudut Geser Dalam 23
3.1.12 Sudut Dilantasi 24
3.1.13 *Standard Penetration Test* (SPT) 24
3.2 Lereng 26
3.2.1 Pengertian Umum **Error! Bookmark not defined.**
3.2.2 Penyebab Longsor 27
3.2.3 Pengaruh Kelongsoran 27
3.2.4 Jenis Longsor 29
3.2.5 Penanggulangan Kelongsoran Lereng 32
3.3 Analisis Stabilitas Lereng 33
3.3.1 Pengertian Umum **Error! Bookmark not defined.**

3.3.2 Teori Analisis Stabilitas Lereng 34
3.3.3 Metode Analisis Stabilitas Lereng 35
3.4 Perkuatan Tanah Menggunakan Geosintetik 38
3.4.1 Perkuatan Tanah 38
3.4.2 Geosintetik 38
3.4.3 Geotekstil 39
3.4.4 Prinsip Kerja Geotekstil 42
3.4.5 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil 43
3.5 Program PLAXIS 46
BAB IV 52
METODE PENELITIAN 52
4.1 Tinjauan Umum 52
4.2 Data Penelitian 52
4.3 Tahapan Penelitian 53
4.4 Analisis Data 53
4.4.1 Parameter Tanah 53
4.4.2 Geotekstil 54
4.4.3 Beban Perkerasan dan Lalu Lintas 55
4.4.4 Variasi Pemodelan Timbunan 55
4.4.5 Beban Gempa 56
4.5 Pengoperasian Program PLAXIS 57
4.5.1 PLAXIS *Input* 57
4.5.2 PLAXIS *Calculation* 62
4.5.3 PLAXIS *Output* 63
4.6 Bagan Alir Penelitian 63

BAB V 67
ANALISIS DAN PEMBAHASAN 67
5.1 Gambaran Umum Analisis 67
5.1.1 Data Analisis Program PLAXIS 8.6 67
5.2 Lereng Timbunan Tanah Asli 70
5.2.1 Analisis Menggunakan Program PLAXIS 70
5.2.2 Perhitungan Manual Dengan Metode *Fellenius* 76
5.3 Analisis Perhitungan Timbunan Variasi Penambahan Trap 81
5.3.1 Timbunan Dengan Penambahan Variasi 1 Trap 81
5.3.2 Timbunan Dengan Penambahan Variasi 2 Trap 86
5.4 Perhitungan Kebutuhan Geotekstil 90
5.4.1 Data Perhitungan Geotekstil 90
5.4.2 Stabilitas Eksternal 92
5.4.3 Stabilitas Internal 97
5.4.4 Cek Gaya Tarik Tanah-Geotekstil 99
5.5 Analisis Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Dengan Perkuatan 100
5.6 Pembahasan 106
5.6.1 Hasil Analisis Lereng Tanpa Perkuatan 106
5.6.2 Hasil Analisis Lereng Dengan Perkuatan 107
5.6.3 Perbandingan Stabilitas Lereng Asli dengan Variasi Trap 108
BAB VI 110
KESIMPULAN DAN SARAN 110
6.1 Kesimpulan 110
6.2 Saran 111
DAFTAR PUSTAKA 112
LAMPIRAN 114

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian dengan Penelitian yang Dilakukan 11
Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS 15
Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO 16
Tabel 3.3 Nilai Permeabilitas Tanah 21
Tabel 3.4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah 22
Tabel 3.5 Hubungan Antara Jenis Tanah dan *Poisson's Ratio* 22
Tabel 3.6 Nilai Kohesi 23
Tabel 3.7 Nilai Sudut Geser Dalam 23
Tabel 3.8 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng 34
Tabel 3.9 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor 35
Tabel 4.1 Data Parameter Tanah Lereng Timbunan 54
Tabel 4.2 Data Parameter Geotekstil *Woven* UW-250 54
Tabel 4.3 Data Parameter Beban Lalu Lintas 55
Tabel 4.4 Variasi Pemodelan Timbunan Tanpa Perkuatan 55
Tabel 4.5 Variasi Pemodelan Timbunan dengan Perkuatan Tanah 56
Tabel 5.1 Data Parameter Beban Lalu Lintas 68
Tabel 5.2 Parameter Geotekstil *Woven* UW 250 69
Tabel 5.3 Koordinat Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan 71
Tabel 5.4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Metode *Fellenius* 80
Tabel 5.5 Data Geotekstil *Woven* UW-250 91
Tabel 5.6 Koefisien Daya Dukung Tanah 92
Tabel 5.7 Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil 97
Tabel 5.8 Rekapitulasi Nilai Mstage dan Total *Displacement* 102
Tabel 5.9 Rekapitulasi *Safety Factor* Lereng Timbunan Asli dan Variasi Trap 109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA. 3+550 3
Gambar 1.2 Geometri Potongan Melintang Pada STA. 3+550 6
Gambar 3.1 Grafik Klasifikasi Tanah Sistem USCS 14
Gambar 3.2 Kriteria Kegagalan Mohr dan Couloumb 18
Gambar 3.3 Penetrasi Dengan SPT 25
Gambar 3.4 Skema Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) 26
Gambar 3.5 Tampak Lereng Akibat Pengaruh Rangkak *(Creep)* 29
Gambar 3.6 Kelongsoran Lereng 30
Gambar 3.7 Longsoran Translasi 31
Gambar 3.8 Longsoran Rotasi 31
Gambar 3.9 Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Irisan 36
Gambar 3.10 Macam-Macam Bentuk Geosintetik 39
Gambar 3.11 Geotekstil *Woven* 40
Gambar 3.12 Geotekstil *Non Woven* 41
Gambar 3.13 Geotekstil Sebagai Perkuatan *(Reinforcement)* 41
Gambar 3.14 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral 43
Gambar 4.1 Peta Zonasi Gempa 56
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa 57
Gambar 4.3 Kotak Dialog *Create/Open Project* 57
Gambar 4.4 Tab Project dari Jendela General Setting 58
Gambar 4.5 Tab Dimension dari Jendela General Setting 59
Gambar 4.6 Lembar *Tab General* dari Jendela *Material Sets* 60
Gambar 4.7 Lembar *Tab Parameters* dari Jendela *Material Sets* 61
Gambar 4.8 Jaringan Elemen Hingga *(Meshing)* 61
Gambar 4.9 Tegangan Awal Pada Geometri 62
Gambar 4.10 Jendela *Calculations* dengan Lembar *Tab General* 63
Gambar 4.11 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau 63

Gambar 4.12 Bagan Alir Penelitian 65
Gambar 4.13 Bagan Alir Pemodelan Lereng 66
Gambar 5.1 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa Whitter Narrows 69
Gambar 5.2 Geometri Kondisi Lereng Timbunan Tanah Asli 70
Gambar 5.3 Pemodelan Timbunan Lereng 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan 71
Gambar 5.4 *Initial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan Asli Tanpa Perkuatan 72
Gambar 5.5 *Deformed Mesh* Lereng Tanah Asli Tanpa Timbunan 72
Gambar 5.6 *Total Displacement* Tanah Asli 73
Gambar 5.7 *Deformed mesh* Tanah Asli Dengan Tinggi Timbunan 6m 73
Gambar 5.8 (a) Arah Pergerakan Tanah Asli Dengan Tinggi Timbunan 6m 73
Gambar 5.8 (b) *Total Displacement* Tanah Asli Dengan Tinggi Timbunan 6m 74
Gambar 5.9 Nilai M_{stage} Tanah Asli Dengan Tinggi Timbunan 12,5m 75
Gambar 5.10 *Deformed Mesh* Tanah Asli Dengan Tinggi Timbunan 12,5m 75
Gambar 5.11 (a) Arah Pergerakan Tanah Asli Dengan Tinggi Timbunan 12,5m 75
Gambar 5.11 (b) *Total Displacement* Tanah Asli Tinggi Timbunan 12,5 76
Gambar 5.12 Analisis Stabilitas Sta. 3+550 dengan Metode *Fellenius* 77
Gambar 5.13 Lereng Timbunan Dengan Variasi 1 Trap 82
Gambar 5.14 Permodelan Lereng Timbunan Dengan Variasi 1 Trap 82
Gambar 5.15 *Initial Condition* Tanah Asli Dengan Variasi 1 Trap 83
Gambar 5.16 *Deformed Mesh* Lereng Tanah Asli Dengan Timbunan 6m 83
Gambar 5.17 (a) Arah Pergerakan Tanah Asli Dengan Timbunan 6m 83
Gambar 5.17 (b) *Total Displacement* Lereng Tanah Asli dengan Timbunan 6m 84
Gambar 5.18 Nilai M_{stage} Lereng Timbunan Dengan Variasi 1 Trap 84
Gambar 5.19 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Dengan Variasi 1 Trap 85
Gambar 5.20 (a) Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Variasi 1 Trap 85
Gambar 5.20 (b) *Total Displacement* Lereng Timbunan Dengan Variasi 1 Trap 85
Gambar 5.21 Permodelan Lereng Timbunan Dengan Variasi 2 Trap 86
Gambar 5.22 *Initial Condition* Lereng Timbunan Dengan Variasi 2 Trap 86
Gambar 5.23 *Deformed Mesh* Lereng Tanah Asli Dengan Timbunan 4m 87
Gambar 5.24 (a) Arah Pergerakan Tanah Asli Dengan Timbunan 4m 87
Gambar 5.24 (b) *Total Displacement* Lereng Tanah Asli Dengan Timbunan 4m 87

Gambar 5.25 *Deformed Mesh* Lereng Tanah Asli Dengan Timbunan 8m 88
Gambar 5.26 (a) Arah Pergerakan Tanah Asli Dengan Timbunan 8m 88
Gambar 5.26 (b) *Total Displacement* Lereng Tanah Asli Dengan Timbunan 8m 88
Gambar 5.27 Nilai M_{stage} Lereng Timbunan Dengan Variasi 2 Trap 89
Gambar 5.28 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Dengan Variasi 2 Trap 89
Gambar 5.29 (a) Arah Pergerakan Tanah Asli Dengan Variasi 2 Trap 90
Gambar 5.29 (b) *Total Displacement* Lereng Timbunan Dengan Variasi 2 Trap 90
Gambar 5.30 Transfer Gesekan Tanah-Geotekstil 99
Gambar 5.31 Pemodelan Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Perkuatan Geotekstil 101
Gambar 5.32 *Initial Condition* Lereng Variasi 2 Trap Perkuatan Geotekstil 101
Gambar 5.33 *Deformed Mesh* Lereng Tanah Asli Dengan Timbunan 12,5m 102
Gambar 5.34 *Total Displacement* Lereng Asli Dengan Timbunan 12,5m 102
Gambar 5.35 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Akibat Beban Lalu Lintas 103
Gambar 5.36 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa 103
Gambar 5.37 *Total Displacement* Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Akibat Beban Lalu Lintas 103
Gambar 5.38 *Total Displacement* Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa 104
Gambar 5.39 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Akibat Beban Lalu Lintas 104
Gambar 5.40 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa 104
Gambar 5.41 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Tanah Asli Akibat Beban Lalu Lintas 105
Gambar 5.42 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Tanah Asli Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa 105
Gambar 5.43 Penurunan Konsolidasi Maksimum Pada Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Dengan Perkuatan Geotekstil 106

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Geometri Potongan Melintang 115

Lampiran 2 Data Hasil Uji Lab Sampel Tanah 116

Lampiran 3 Data SPT pada Sta 3+550 117

Lampiran 4 Data *Technical Spesification Geotextile Woven* 118

Lampiran 5 Rekapitulasi *Fellenius* pada Timbunan Dengan 1 Trap 119

Lampiran 6 Rekapitulasi *Fellenius* pada Timbunan Dengan 2 Trap 120

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

cm = Centimeter

m = Meter

mm = Milimeter

Cu = *Undrained shear strength*

γb = Berat Volume Tanah (kN/m³)

γ sat = Berat Volume Tanah jenuh (kN/m³)

FK = Faktor Keamanan

N = Newton

kN = Kilo Newton

Mpa = Mega Pascal

% = Persen

D = Diameter (m)

S = Jarak (m)

L = Panjang (m)

SF = *Safety Factor*

τf = Kuat Geser Tanah (kN/m²)

τd = Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh (kN/m²)

m² = Meter persegi

c = Kohesi (kN/m²)

φ = Sudut geser dalam (º)

v = *Poissons ratio*

e = Modulus young (kN/m²)

ψ = Sudut dilatasi (º)

k = Koefisien permeabilitas (cm/sec)

g = Modulus geser (N/m²)

σ = Tegangan normal (kN/m²)

$\sigma'f$ = Tegangan normal efektif saat terjadi keruntuhan (kN/m²)

$\tau'f$ = Tegangan geser efektif saat terjadi keruntuhan (kN/m²)

u = Tekanan air pori (kN/m²)

R = Jari-jari lingkaran bidang longsor (m)

n = Jumlah irisan

W_i = Berat massa tanah irisan ke-$_i$

N_i = Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

θ_i = Sudut yang didefinisikan (^{o})

a_i = Panjang lengkung lingkaran pada irisan

α = Sudut geser singgung masing-masing irisan

N’ = Gaya normal efektif (N)

σ_v = Tegangan normal pada bidang kontak (kN/m²)

T_a = Gaya tarik pada tulangan

Ka = Koefisien tanah aktif

σhc = Tekanan hotizontal rata-rata pada lipatan (kN/m²)

Sv = Jarak tulangan arah vertikal (m)

H = Tinggi lapisan tanah (m)

q = Beban merata (kN/m)

L*O* = Panjang *overlapping* (m)

Zi = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m)

ABSTRAK

Proyek pembangunan Cibitung – Cilincing merupakan bagian dari pemerintah untuk mewujudkan Program Pembangunan Jangka Menengah (RPJMN), dalam rangka mendukung strategi pertumbuhan ekonomi nasional yang berperan penting dalam mendukung efektivitas distribusi dari kawasan industri sekitar dan meningkatkan aksesibilitas dan kapasitas lalu lintas. Pada Cibitung – Cilincing terdapat banyak lereng tanggul, khususnya tanggul pada Sta. 3+550 yang memiliki tinggi 12,5m dengan kemiringan lereng 1V:2H. tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai angka aman (SF), dan nilai konsolidasi.

Analisis stabilitas timbunan dihitung dengan menggunakan metode elemen hingga dan metode *fellenius* akan digunakan untuk mencari faktor keamanan (SF). Penelitian ini menggunakan model lereng asli, lereng dengan perbaikan variasi trap yaitu variasi 1 trap dan variasi 2 trap. Timbunan dengan anyaman Geotekstil UW-250 untuk perkuatan lereng yaitu lereng variasi 2 trap dengan perkuatan geotekstil.

Hasil analisis yang dilakukan pada lereng asli menggunakan program PLAXIS terjadi *collapse*, sehingga untuk mengetahui nilai angka aman menggunakan metode *fellenius* dengan nilai angka aman sebesar 0,762. Pada hasil analisis lereng dengan variasi 1 trap menggunakan program PLAXIS terjadi *collapse* dan lereng dengan variasi 2 trap juga terjadi *collapse*. Hasil analisis lereng variasi 2 trap dengan perkuatan geotekstil mendapatkan nilai faktor keamanan sebesar 2,175 oleh beban lalu lintas dan 1,861 oleh beban lalu lintas serta beban gempa. Nilai konsolidasi untuk lereng variasi 2 trap dengan perkuatan membutuhkan waktu selama 21,7 hari agar mencapai nilai tekanan air minimum. Besar penurunan konsolidasi yang terjadi selama waktu tersebut adalah sebesar 0,421m.

Kata Kunci : Variasi Trap, Geotekstil, *Safety Factor* (SF), Konsolidasi, Plaxis 8.6

ABSTRACT

The Cibitung – Cilincing development project is part of the government's efforts to realize the Medium Term Development Program (RPJMN), in order to support the national economic growth strategy which plays an important role in supporting the effectiveness of the distribution of the surrounding industrial areas and increasing accessibility and traffic capacity. In Cibitung – Cilincing there are many embankment slopes, especially the embankment at Sta. 3+550 which has a height of 12.5m with a slope of 1V:2H. the purpose of this research is to get the value of the safe number (SF), and the value of consolidation.

Embankment stability analysis is calculated using the finite element method and the fellenius method will be used to find the factor of safety (SF). This study uses the original slope model, the slope with improved trap variations, namely variations of 1 trap and variations of 2 traps. Embankment with UW-250 woven geotextile for slope reinforcement, namely the 2 trap slope variation with geotextile reinforcement.

The results of the analysis carried out on the natural slopes using the PLAXIS program resulted in a collapse, so to find out the value of the safe number using the fellenius method with a safe number value of 0.762. In the results of the analysis of the slope with the 1 trap variation using the PLAXIS program, a collapse occurred and the slope with the 2 trap variation also collapsed. The results of the analysis of the slope variation of 2 traps with geotextile reinforcement obtained a safety factor value of 2,175 by traffic loads and 1,861 by traffic loads and earthquake loads. The consolidation value for the 2 trap variation slope with reinforcement takes 21.7 days to reach the minimum water pressure value. The magnitude of the consolidation settlement that occurred during this time was 0.421m.

Keyword : Trap Variation, Geotextile, Safety Factor (SF), Consolidation, Plaxis 8.6

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Jakarta merupakan ibukota dari negara Indonesia dan juga satu-satunya kota yang memiliki status setingkat provinsi. Kota Jakarta ini juga merupakan sebuah kota dimana pusat perekonomian, bisnis, politik, dan kebudayaan beroperasi di kota tersebut. Dengan banyaknya kegiatan dan pekerjaan yang ada di kota Jakarta yang memiliki luas 699,5 km², kota tersebut dapat terbilang padat dengan jumlah penduduk Jakarta tersebut sekitar 10.562.088 jiwa sehingga kota ini disebut sebagai kota metropolitan terbesar bahkan di Jabodetabek.

Dengan jumlah penduduk Jabodetabek itu sendiri sekitar 35 juta jiwa mengakibatkan kepadatan penduduk dan kemacetan lalu lintas pada wilayah tersebut, dikarenakan banyaknya kegiatan yang dilakukan pada wilayah Jabodetabek dan juga banyaknya pendatang dari luar yang masuk ataupun hanya melintasi wilayah tersebut. Maka dari itu, pemerintah berencana ingin membangun jalan tol dari Cibitung hingga Cilincing yang mana jalan tol tersebut akan menjadi bagian dari Jalan Lingkar Luar Jakarta II (JORR II). Rencana ini dilakukan agar nantinya kendaraan dari luar Jakarta yang hanya sekedar ingin melewati Kota Jakarta tidak harus masuk ke dalam kota, melainkan dapat dialihkan ke jalan tol tersebut agar tidak dapat terjadinya lagi kemacetan di Kota Jakarta.

PT. Cibitung Tanjung Priok Tollways (CTP) yang merupakan Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) memiliki tugas untuk melakukan kegiatan konstruksi dan pengelolaan untuk ruas jalan tol Cibitung hingga Cilincing yang secara ekonomis memiliki peran signifikan dalam mendukung efektivitas alur distribusi dari kawasan industri strategis di sekitarnya. Pembangunan ruas jalan tol Cibitung-Cilincing juga merupakan bagian dari Amanah pemerintah dalam rangka merealisasikan Program Pembangunan Jangka Menengah (RPJMN) 2015-2019.

Dalam pembangunan konstruksi khususnya pada konstruksi jalan, sering dijumpai peristiwa kelongsoran lereng yang kebanyakan terjadi pada saat musim

penghujan. Hal ini terjadi akibat peningkatan air pori pada lereng yang berakibat terjadinya penurunan kuat geser tanah dan sudut geser dalam. Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng dapat menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah, dan suatu gerakan akan terjadi kecuali tahanan geser pada setiap permukaan runtuh yang mungkin terjadi lebih besar dari tegangan geser yang bekerja (Bowles, 1991).

Pada kenyataan di lapangan, dibutuhkan suatu metode ataupun cara yang lebih efektif untuk memperbaiki dan memperkuat jenis tanah yang kurang baik pada lereng tersebut. Salah satu perbaikan yang dapat dilakukan yaitu dengan memberikan perkuatan sehingga dapat meningkatkan daya dukung tanah. Untuk mengatasi hal tersebut telah ditemukan suatu lapisan sistetis yang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap proses pelapukan yang diletakkan di atas tanah dasar sebelum dilakukan penimbunan tanah untuk badan jalan yang disebut geotekstil. Geotekstil sebagai suatu terobosan dalam rekayasa perbaikan dan perkuatan tanah yang diharapkan mampu meningkatkan daya dukung tanah. Penelitian ini melakukan analisis stabilitas timbunan tanah menggunakan perkuatan geotekstil dengan program komputer yaitu PLAXIS. Analisis dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya angka aman dan bidang longsor potensial pada tanah agar upaya perkuatan dapat efektif dan ruas jalan tol yang telah dibangun dapat berfungsi secara optimal. Adapun lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1 di bawah ini.



Gambar 1.1 Lokasi Jalan Tol Cibitung – Cilincing STA. 3+550

(Sumber: PT CTP Tollways, 2020)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang diteliti, adapun secara khusus pada penilitian ini dirumuskan sebagai berikut ini.

1. Bagaimana angka aman (SF) stabilitas lereng yang terjadi pada timbunan lereng asli menggunakan program PLAXIS *8.6*?
2. Bagaimana angka aman (SF) stabilitas lereng yang terjadi pada timbunan dengan variasi penambahan trap menggunakan program PLAXIS *8.6*?
3. Bagaimana angka aman (SF) stabilitas lereng dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi pada timbunan dengan variasi penambahan trap dengan perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS *8.6*?
4. Bagaimana perbandingan angka aman (SF) stabilitas lereng yang terjadi antara lereng asli dan lereng yang ditambahkan variasi trap dengan perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS *8.6*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menghitung angka aman (SF) stabilitas lereng yang terjadi pada timbunan lereng asli menggunakan program PLAXIS *8.6*
2. Menghitung angka aman (SF) stabilitas lereng yang terjadi pada timbunan dengan variasi penambahan trap menggunakan program PLAXIS *8.6*
3. Menghitung angka aman (SF) stabilitas lereng dan besar penurunan konsolidasi yang terjadi pada timbunan dengan variasi penambahan trap dengan perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS *8.6*
4. Membandingkan angka aman (SF) stabilitas lereng yang terjadi antara lereng asli dan lereng yang ditambahkan variasi trap dengan perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS *8.6*

1.4 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan mengenai desain tinggi timbunan paling efektif dan aman dengan bahan perkuatan geotekstil pada proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing.
2. Mengenal dan dapat mengoperasikan program PLAXIS dalam menganalisis kestabilan lereng.
3. Menjembatani penelitian-penelitian sejenis sebagai bahan masukan dan inovasi teknologi dalam rekayasa geoteknik yang dapat mempengaruhi perkembangan konstruksi di Indonesia.

1.5 Batasan Penelitian

Permasalahan-permasalahan seperti diatas perlu adanya batasan agar penelitian ini dapat berjalan secara sistematis, Adapun batasan-batasan yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Timbunan lereng pada Jalan Tol Cibitung – Cilincing.
2. Data tanah asli yang digunakan dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing tahun 2020.

3. Penambahan trap adalah bervariasi hingga 2 jenis trap dengan lebar trap 2 m.
4. Perencanaan geosintetik yang digunakan adalah jenis geotekstil yang di tenun *(woven)* produksi PT. Teknindo Geosistem, dengan kuat tarik ultimit 52 kN/m².
5. Metode perhitungan menggunakan program bantu dengan PLAXIS 8.6.
6. Pemodelan timbunan dilakukan setiap 2m.
7. Beban merata yang digunakan adalah beban struktur dan beban lalu lintas standar untuk Jalan Tol dalam peraturan SE PUPR 42/SE/M/2015.
8. Perhitungan penurunan konsolidasi berdasarkan waktu mencapai *minimum pore pressure*.
9. Beban gempa dinamik diperhitungkan sesuai dengan kondisi gempa daerah Bekasi. (SNI-1726,2019)

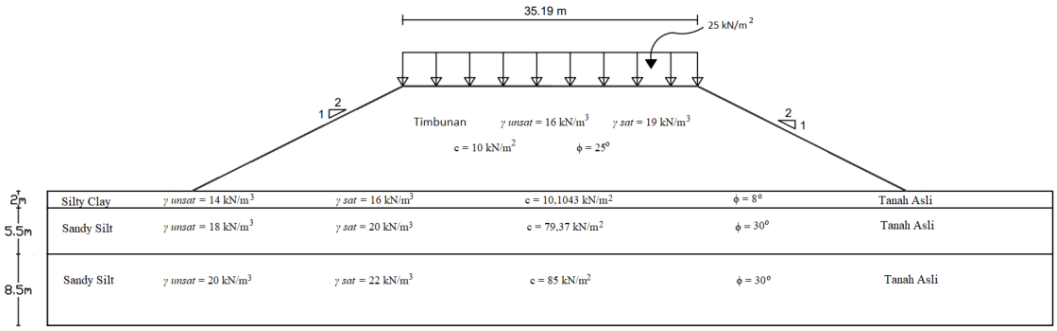
1.6 Studi Kasus

Adapun studi kasus yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi Proyek

   Lokasi penelitian ini dilakukan yaitu pada Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing, Bekasi, Jawa Barat. Denah lokasi pelaksanaan pada STA 3+550 dapat dilihat pada Gambar 1.1 di atas.
2. Potongan Melintang

   Potongan melintang pada lokasi penelitian yaitu STA 3+550 merupakan geometri tanah timbunan yang digunakan. Geometri potongan melintang akan dianalisis dengan variasi penambahan 4 jenis trap. Potongan melintang pada STA 3+550 dapat dilihat pada Gambar 1.2 di bawah ini.



Gambar 1.2 Geometri Potongan Melintang Pada STA. 3+550

3. Data Tanah

   Data tanah yang digunakan yaitu hasil dari uji laboratorium dari sampel tanah untuk desain yang diperoleh dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing. Data tanah yang diambil pada titik BH-25 STA 3+550. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 2.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Beberapa penelitian terdahulu dengan topik penelitian yang sejenis digunakan oleh peneliti sebagai referensi dan bukti keaslian dari penelitian yang dilakukan. Referensi penelitian yang dikutip dikelompokkan menjadi dua bagian. Pada bagian pertama membahas mengenai analisis stabilitas lereng denga perkuatan geotekstil, kemudian pada bagian kedua membahas tentang analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan geotekstil.

2.2 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil

2.2.1 Menggunakan Penambahan Trap

Sekarti (2018) melakukan penelitian mengenai analisis stabiolitas timbunan di jalan Tol Semarang – Solo ruas Salatiga Kartasura. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui nilai faktor keamanan (SF) lereng timbunan dengan variasi penambahan trap berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan program *Slope/W* dengan metode *Fellenius*, *Janbu Simplified* dan *Morgenstren Price*. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan metode *Fellenius*, *Janbu Simplified* dan *Morgenstrens Price* terjadi peningkatan SF berturut-turut sebesar 9,72%, 9,36%, dan 10,8%, sedangkan dengan pengaruh beban gempa sebesar 1,86%, 1,94%, dan 2%. Hasil SD yang paling kritis jika dibandingkan dengan metode mesetimbangan lainnya adalah pada metode *Janbu Simplified*. Beban gempa dapat mempengaruhi kestabilan timbunan secara signifikan dengan rata-rata sebesar 44,4062% menurunkan tingkat kestabilan suatu timbunan.

2.2.2 Tanpa Menggunakan Penambahan Trap

Arsy (2018) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas timbunan pada konstruksi badan jalan dengan perkuatan geotekstil menggunakan metode *Fellenius* pada proyek Jalan Tol Solo – Kertasono STA 4+175. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil analisis stabilitas timbunan pada badan jalan tanpa menggunakan geotekstil, menggunakan perkuatan geotekstil, hubungan antara panjang geotekstil terhadap angka aman, hubungan antara jarak vertikal antar geotekstil terhadap angka aman dan hubungan antara suduh kemiringan lereng terhadap angka aman. Kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut antaranya adalah hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan tanpa menggunakan perkuatan dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,786. Sedangkan hasil analisis stabilitas timbunan jalan menggunakan perkuatan geotekstil dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual pada variasi panjang pertama, kedua dan ketiga dengan panjang geotekstil masing-masing 10m, 13m dan 15m yaitu 2,339, 2,347 dan 2,375. Hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan menggunakan perkuatan geotekstil dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual pada variasi jarak vertikal antar geotekstil pertama, kedua dan ketiga dengan Sv masing-masing 0,3m, 0,4m dan 0,6m yaitu 2,646, 2,347 dan 2,059. Kemudian hasil analisis stabilitas timbunan badan jalan menggunakan perkuatan geotekstil dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual pada variasi sudut kemiringan lereng pertama, kedua dan ketiga dengan sudut masing-masing 19º, 25º dan 29º yaitu 2,440, 2,347 dan 2,355. Sehingga semakin panjang geotekstil yang digunakan, semakin rapat atau semakin kecil jarak vertikal geotekstil, dan semakin kecil sudut kemiringan lereng maka semakin besar nilai faktor keamanan yang dihasilkan.

Kafikanda (2019) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas lereng menggunakan geotekstil dengan program *GEOSLOPE* pada studi kasus di Jalan Tol Balikpapan – Samarinda STA.1+975. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui nilai faktor keamanan (*safety factor*) pada lereng dengan diberikan perkuatan geotekstil. Kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut diantaranya adalah faktor keamanan (SF) dari hasil analaisis menggunakan program *SLOPE/W*

sebesar 1,159 < 1,5 serta faktor keamanan (SF) menggunakan metode *Fellenius* dan hitungan manual pada kondisi asli tanah timbunan 0,95 < 1,5 (tidak aman), sehingga tidak perlu adanya perkuatan. Dari hasil analisa dengan timbunan yang diperkuat dengan perkuatan geotekstil dengan variasi geotekstil panjang per zona dan ditambahkan beban gempa menghasilkan nilai SF sebesar 1,681 dan untuk nilai SF pada lereng yang diperkuat geotekstil tanpa beban gempa sebesar 2,303. Kemudian pada zona 3 dan 2 menghasilkan nilai SF 2,128 dan dengan beban gempa pada zona 3 dan 2 menghasilkan nilai SF sebesar 1,511.

2.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Geotekstil

Hediyanto (2018) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding kantilever dan *sheetpile* pada Bantaran Sungai Code. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor aman (SF) dari lereng eksisting, perkuatan kantilever dan perkuatan *sheet pile* menggunakan program *Geoslope/w* dan mengetahui pergerakan tanah pada kedua variasi perkuatan tersebut dengan pembanding pada saat terjadi gempa dan no gempa menggunakan program *Sigma/w*. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh faktor aman (SF) lereng eksisting akibat berat sendiri sebesar 1,118 akibat gempa sebesar 0,565. Faktor aman (SF) lereng dengan perkuatan kantilever akibat berat sendiri sebesar 2,639 akibat gempa sebesar 1,789. Faktor aman (SF) lereng dengan perkuatan *sheet pile* kantilever akibat berat sendiri sebesar 2,726 akibat gempa sebesar 1,846. Dari perencanaan dua variasi perkuatan tersebut faktor aman (SF) > 1,5 maka lereng stabil. Diperoleh hasil terbesar pergerakan tanah perkuatan kantilever pada saat non gempa pada potongan A-A sebesar 0,7, potongan B-B sebesar 1,01m dan potongan C-C sebesar 0,1m. Hasil terbesar pergereakan tanah perkuatan *sheet pile* pada saat non gempa pada potongan A-A sebesar 0,44, potongan B-B sebesar 1,03m dan potongan C-C sebesar 0,088m.

Penelitian yang dilakukan oleh Utomo (2019) adalah mengenai analisis stabilitas lereng dengan perkuatan *soil nailing* dengan menggunakan program *Geoslope* pada studi kasus pada bantara Sungai Code, tepatnya di Padukuhan Gemawang, Desa Sinduadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah

Istimewa Yogyakarta. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui faktor keamanan lereng alami berdasarkan analisis kelongsoran metode perhitugan manual *fellenius* dan bishop yang disederhanakan. Kemudian untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan program *geoslope* dan mengetahui nilai faktor keamanan perkuatan *soil nailing* berdasarkan analisis kelongsoran metode perhitungan baji (*wedge).* Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah perhitungan manual metode *fallenius* didapatkan SF = 0,929 < 1,3 (tidak aman) dan metode bishop didapatkan SF = 1,125 < 1,3 (tidak aman). Sedangkan analisis program *geoslope* metode *fallenius* didapatkan SF = 0,933 < 1,3 (tidak aman) dan metode bishop didapatkan SF = 1,125 < 1,3 (tidak aman). Untuk perhitungan perkuatan *soil nailing* metode baji *(wedge).* Pada sudut *nail* 10º didapatkan SF = 1,5391 > 1,3 (aman) dan program *geoslope* didapatkan SF tanpa beban gempa 2,294 > 1,3 (aman) dan SF dengan beban gempa 1,278 > 1,1 (aman). Pada sudut *nail* 20º didapatkan SF – 1,5977 > 3 (aman) dan SF dengan beban gempa 1,503 > 1,3 (aman). Pada sudut *nail* 30º didapatkan SF = 1,6051 > 1,3 (aman) dan unntuk program *geoslope* didapatkan SF tanpa beban gempa = 3,253 > 1,3 (aman) dan SF dengan beban gempa = 1,653 > 1,3 (aman). Dari hasil analisis ditemukan perbedaan nilai SF antara metode baji *(wedge)* dengan program *geoslope,* disebabkan karena metode baji *(wedge)* menggunakan bidang gelincir longsor planar dan *geoslope* menggunakan bidang gelicir longsor lingkaran.

2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan

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

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Sekarti (2018)	Arsy (2018)	Hediyanto (2018)	Kafikanda (2019)	Utomo (2019)	Guntara (2021)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Timbunan di Jalan Tol Semarang – Solo ruas Salatiga Kartasura.	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode *Fellenius* Pada Proyek Jalan Tol Solo – Kertasono STA 4+175.	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Kantilever dan *Sheetpile* pada Bantaran Sungai Code.	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil dengan Program *GEOSLOPE* Pada Studi Kasus di Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta. 1+975.	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing* dengan Menggunakan Program *GEOSLOPE* Pada Studi Kasus Bantaran Sungai Code.	Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Dengan Metode Penambahan Trap Menggunakan PLAXIS Pada Proyek Jalan Tol Cibitung - Cilincing
Tujuan Penelitian	Mengetahui nilai faktor keamanan lereng timbunan dengan variasi penambahan trap berdasarkan analisis kelongsoran menggunakan program *Slope/W*.	Mengetahui hasil analisis stabilitas timbunan pada badan jalan tanpa menggunakan geoteksitil, dengan perkuatan, hubungan antara panjang geotekstil terhadap angka aman.	Mengetahui faktor aman (SF) dari lereng eksisting, perkuatan kantilever dan perkuatan *sheetpile* menggunakan program *Geoslope/W* .	Mengetahui nilai faktor keamanan pada lereng dengan diberikan perkuatan geotekstil dengan program *GEOSLOPE*.	Mengetahui faktor keamanan lereng alami berdasarkan analisis kelongsoran metode perhitungan manual *fallenius* dan Bishop yang disederhanakan.	Mengetahui hubungan analisis lereng dengan variasi penambahan trap tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitan Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Sekarti (2018)	Arsy (2018)	Hediyatmo (2018)	Kafikanda (2019)	Utomo (2019)	Guntara (2021)
Metode Penelitian	Analisa menggunakan pengujian tanah langsung dilaboratorium dan faktor aman dengan program *Slope/W*.	Analisa menggunakan perhitungan manual dengan Metode *Fellenius* dan faktor aman dengan program *GEOSLOPE*.	Analisa menggunakan program *Geoslope* untuk kestabilan lereng dengan perkuatan kantilever dan *Sheet pile*.	Analisa menggunakan *software Geoslope* untuk kestabilan lereng dan perhitungan manul.	Analisa menggunakan program *Geoslope dan* metode *Fellenius* dan Bishop untuk dibandingkan dengan perhitungan manual.	Analisa menggunakan program PLAXIS untuk kestabilan angka aman lereng dan konsolidasi yang terjadi.
Hasil Penelitian	Timbunan dengan variasi geometri penambahan trap tanpa pengaruh beban gempa menggunakan *Fellenius* terjadi peningkatan SF sebesar 9,72%.	Hasil analisis stabilitas jalan menggunakan perkuatan dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual diperoleh nilai (SF) sebesar 1,786.	Faktor aman (SF) lereng dengan perkuatan *Sheet pile* akibat berat sendiri sebesar 2,726 dan akibat beban gempa sebesar 1,846.	Faktor keamanan pada hasil analisis menggunakan program *Slope/W* diperkuat dengan geotekstil dan ditambahkan beban gempa sebesar 2.303.	Faktor aman pada sudut *nail* 10º sebesar 1,5391 dan dengan program *Geoslope* dengan beban gempar sebesar 1,278 > 1,1 (aman).	

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Dalam pandangan ilmu teknik sipil, tanah merupakan himpunan mineral dari berbagai bahan organik dan endapan – endapan yang relatif lepas *(loose),* yang terletak pada bagian atas batuan dasar *(bedrock).* Ikatan antar butiran yang relatif lemah bisa disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap antar partikel-partikel. Ruang diantara parttikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Pada umumnya pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat misalnya, maka tanah ini disebut tanah residual *(residual soil)* dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkat *(transported soil)* (Hardiyatmo, 2010).

3.1.1 Klasifikasi Tanah

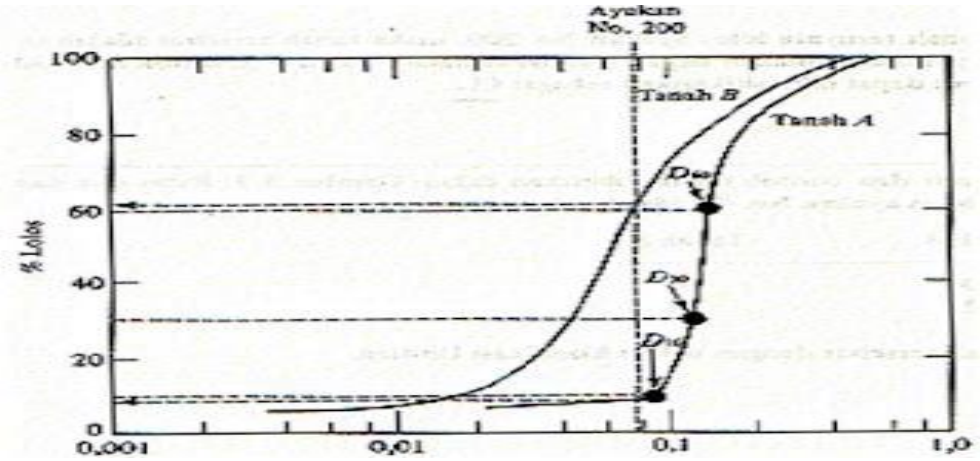
Ketika ingin merencanakan struktur sebuah bangunan gedung, jalan raya ataupun sebagainya, langkah awal yang harus dilakukan merupakan melakukan pemeriksaan kondisi tanah. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui apakah tanah tersebut sudah sesuai dengan klasifikasi yang telah ditentukan. Klasifikasi tanah merupakan penggolongan sistematis dari jenis-jenis tanah yang mempunyai sifat-sifat yang sama dalam kelompok dan sub kelompok yang sesuai dengan pemakaiannya (Das, 1998).

Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem pengaturan dari beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok dan subkelompok sesuai pemakaiannya. Sistem klasifikasi tanah sangat membantu perancangan dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah telah berkembang dan bertujuan agar rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran dan plastisnya.

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umumnya digunakan sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang ada. Sistem tersebut adalah sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS *(Unifed Soil Clasification System)* dan sistem klasifikasi berdasarkan AASHTO *(American Association of State Highway and Transportation Official).*

1. Klasifikasi Tanah Sistem USCS *(Unifed Soil Classification System)*

   Dalam sistem USCS, tanah di klasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200 dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200 seperti pada Gambar 3.1 di bawah. Kemudian klasifikasi tanah menurut sistem USCS dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Grafik Klasifikasi Tanah Sistem USCS

Sumber : Hardiyatmo, 2010

Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS

Prosedur Klasifikasi			Symbol	Nama Jenis	Identifikasi Lab
Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 200 / Ø 0.075 mm)	Kerikil (lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 4 / Ø 4.75 mm	Kerikil Mumi (Tanpa – sedikit butir halus)	GW	Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa / tak ada butiran halus	CU = D60/D10 =1 – 4 CC = D30²/D10 = 1-3
			GP	Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butira halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW
		Kerikil Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butiran halus)	GM	Kerikil berlanau, kerikil mengandung mengandung pasir – lanau bergradasi buruk	Indek Plastisitas kurang dari 7
			GC	Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	Indek Plastisitas lebih dari 7
	Pasir (lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 4 / Ø 4.75 mm)	Pasir Bersih (Tanpa / sedikit biutiran halus)	SW	Pasir bergaradasi baik, Pasir dengan sedikit pasir tanpa butiran halus	CU = D60/D10 ≥ 6 CC = D30²/D10 = 1-3
			SP	Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC SW
		Pasir Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butiran halus)	SM	Pasir berlanau, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk	Indeks Plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25
			SC	Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk	Indeks plastisitas lebih dari 7 Ratioindeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25

Sumber: Hardiyatmo, 2010

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

   Sistem klasifikasi tanah AASHTO pada awalnya diperkenalkan oleh Hoentogler dan Tarzaghi yang akhirnya diambil oleh *Burean Of Public Roads.* Pengklasifikasian sistem ini berdasarkan kriteria ukuran butir dan plastisitas. Maka dalam mengklasifikasikan tanah membutuhkan pengujian analisis saringan.

   Sistem klasifikasi tanah ini dapat membagi tanah ke dalam ke 8 kelompok yang diberi nama dari A-1 sampai A-8. Tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan dapat diberi nama A-8, maka pada revisi terakhir oleh sistem AASHTO dapat diabaikan. Klasifikasi tanah sistem AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO

General Classification	Granular Materials (35% or less passing 0.075 mm)							Silt-Clay Materials (More than 35% passing 0.075 mm)			
Group classification	A-1			A-2							A-7
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
Sieve analysis, percent passing:											
2.00 mm (No. 10)	50 max.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.425 mm (No. 40)	30 max.	50 max.	51 min.	—	—	—	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40):											
Liquid limit	—		—	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel, and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand				Silty soils		Clayey soils	
General rating as subgrade	Excellent to good							Fair to Poor			

*©American Association of State Highway and Transportation Officials, 1978. Used by permission.
†Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30 (see Fig. 3.5).

Sumber: Hardiyatmo, 2010

3.1.2 Parameter Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah merupakan kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi ketika tanah tersebut terbebani. Keruntuhan geser tanah dapat terjadi bukan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut. Hal tersebut terjadi karena adanya gerak relatif antara butir-butir tanah tersebut.

Kuat geser tanah dapat diartikan sebagai gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pemikiran ini, dapat artikan bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

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

Menurut teori Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis kapasitas dukungan tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah (Hardiyatmo, 2010). Hubungan fungsi dari kedua tegangan tersebut antara tegangan normal dan

tegangan geser pada bidang runtuhnya dapat dinyatakan oleh Persamaan 3.1 berikut ini.

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.1)$$

Keterangan :

τ = Tegangan geser (kN/m²)

σ = Tegangan normal (kN/m²).

Nilai kekuatan geser tanah dapat diperlukan untuk menghitung tekanan tanah yang bekerja pada tembok penahan tanah atau untuk menghitung daya dukung tanah. Bila tegangan normal bekerja maka gaya geser bekerja pula pada permukaannya, maka harga τ akan membesar akibat deformasi dan mencapai harga batasnya.

Secara sederhana kekuatan geser tanah dapat dibagi dalam nilai yang tergantung pada tahanan geser antara butir-butir tanah dan kohesi pada permukaan butir-butir tanah itu sendiri. Sesuai dengan penjelasan sebelumnya, tanah dapat dibagi menjadi tanah kohesif dan tanah tidak kohesif. Tanah pasir yang memiliki nilai kohesi (c) = 0 merupakan contoh dari tanah tidak kohesif, sedangkan tanah lempung merupakan contoh dari tanah kohesif. Jika tanah berada pada keadaan tidak jenuh meskipun tanah tersebut tidak kohesif, maka sifat kohesi tersebut terkadang dapat terlihat sebagai tegangan permukaan air yang terdapat dalam pori-pori. Sehingga kekuatan geser tanah dapat berubah-ubah sesuai dengan jenis dan kondisi tanah itu sendiri.

Coulomb (1776) mendefinisikan dengan Persamaan 3.2 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma \, tg \, \varphi \quad (3.2)$$

Keterangan:

τ = Kuat geser tanah (kN/m²)

c = Kohesi tanah (kN/m²)

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

φ = Sudut geser dalam tanah (º)

Kriteria keruntuhan atau kegagalan Mohr dan Couloumb digambarkan dalam bentuk garis lurus. Ketika kedudukan tegangan baru mencapai titip P, keruntuhan tidak akan terjadi. Pada titik Q terjadi keruntuhan karena titik tersebut terletak tepat pada garis kegagalan. Titik R tidak akan dicapai, karena sebelum mencapai titik R tanah sudah terjadi keruntuhan.

Terzaghi (1925) mengubah persamaan Couloumb dalam bentuk efektif karena tanah sangan dipengaruhi oleh tekanan air pori yang bias dilihat pada Persamaan 3.3 dan 3.4 berikut ini.

$$\tau = c' + (\sigma - u) \text{ tg } \varphi' \quad (3.3)$$

Karena, $\sigma' = \sigma - u$, maka

$$\tau = c' + \sigma' \text{ tg } \varphi' \quad (3.4)$$

Keterangan:

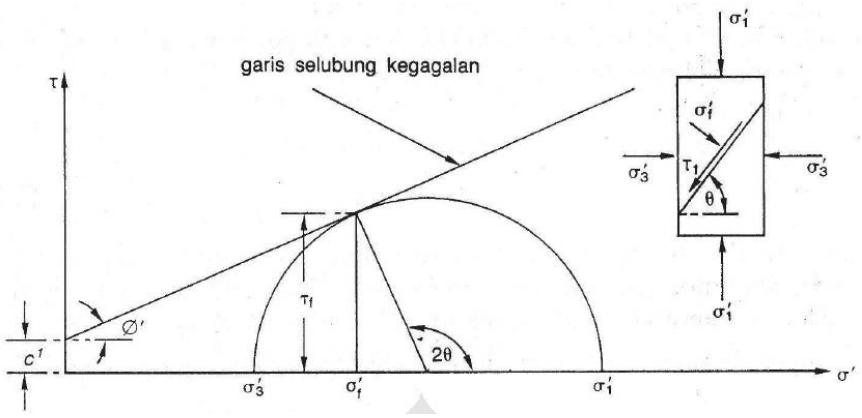
σ' = Tegangan normal efektif (kN/m²)

c' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)

φ' = Sudut gesek dalam tanah efektif (º)

u = Tekanan air pori (kN/m²)

Kuat geser tanah bisa dinyatakan dalam bentuk tegangan efektif σ'_1 dan σ'_3 pada saat keruntuhan terjadi. Lingkaran Mohr terbentuk setengah lingkaran dengan koordinat (τ) dan (σ') dilihatkan dalam Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Kriteria Kegagalan Mohr dan Couloumb

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Dari lingkaran Mohr pada Gambar 3.2 tersebut dapat dilihat bahwa:

c’ = Kohesi (kN/m²)

φ = Sudut gesek dalam efektif (º)

σ_1’ = Tegangan utama mayor efektif (kN/m²)

σ_3’ = Tegangan utama minor efektif (kN/m²)

θ = Sudut keruntuhan (º)

τ'_f = Tegangan geser efektif pada saat terjadi keruntuhan

σ'_f = Tegangan normal efektif pada saat terjadi keruntuhan

Dari lingkaran Mohr hubungan parameter-parameter tersebut dapat digunakan pada Persamaan 3.5, 3.6 dan 3.7 di bawah ini.

$$\tau f' = (\sigma_1' - \sigma_3') \sin 2\theta \quad (3.5)$$

$$\sigma f' = (\sigma_1' - \sigma_3) + (\sigma_1' - \sigma_3') \sin 2\theta \quad (3.6)$$

$$\text{Sin } \varphi = \frac{(\sigma 1' - \sigma 3')/2}{(\sigma 1' + \sigma 3')/2} \quad (3.7)$$

Untuk mempelajari kuat geser tanah, adapun istilah-istilah berikut ini yang sering digunakan, yaitu:

1. Kelebihan tekanan pori merupakan kelebihan tekanan air pori akibat dari tambahan tekanan yang mendadak.
2. Tekanan *overburden* efektif merupakan tekanan akibat beban tanah dan air diatasnya dikurangi tekanan air pori.
3. Tekanan *overburden* merupakan tekanan pada suatu titik didalam tanah akibat dari berat material tanah dan air yang ada diatas titik tersebut.
4. Tekanan prakonsolidasi merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah tersebut.
5. Tekanan *normally consolidated* merupakan tanah dimana tegangan efektif yang membebani pada waktu sekarang adalah nilai tegangan maksimum yang pernah dialaminya.

6. Tekanan *overconsolidated* adalah tanah dimana tegangan efektif yang pernah membebaninya pada waktu lampau lebih besar dari pada tegangan efektif yang bekerja pada waktu sekarang.
7. *Over consolidation ratio* (OCR) merupakan nilai banding antara tekanan prakonsolidasi dengan tekanan *overburden* efektif yang ada sekarang. Jadi jika OCR = 1 tanah dalam kondisi *normally consolidated,* dan jika OCR> 1 tanah dalam kondisi *overconsolidated.*

Parameter kuat geser tanah ditentukan dengan uji laboratorium terhadap sampel tanah asli *(undisturbed),* tanah tersebut diambil dengan hari-hati agar tidak berubah kondisinya (kadar air, susunan butiran), karena hal ini bisa berakibat fatal pada sampel. Ada beberapa cara menentukan kuat geser tanah yaitu sebagai berikut.

1. Uji kuat geser langsung *(direct shear test)*
2. Uji tekan bebas *(unconfined compression test)*
3. Uji triaksial *(tiaxial test)*
4. Uji geser kipas *(vane shear test)*

3.1.3 Berat Volume Kering

Berat volume kering merupakan perbandingan antara berat butiran dengan volume total tanah. Persamaan dari berat volume kering dinyatakan dengan persamaan 3.8 berikut ini.

$$\gamma d = \frac{Ws}{V} \tag{3.8}$$

Keterangan :

γd = Berat Volume Kering

Ws = Berat Butiran

V = Volume Total Tanah

3.1.4 Berat Volume Kering Tanah Sempurna

Berat volume tanah kering sempurna (γ_{unsat}) merupakan berat volume tanah dalam keadaan kering sempurna yang dinyatakan dengan Persamaan 3.9 berikut.

$$\gamma_{unsat} = \frac{\gamma w \,.\, Gs}{1+e} \tag{3.9}$$

Keterangan :

γ_{unsat} = Berat Volume Tanah Kering Sempurna

γ_w = Berat Volume Air

Gs = Berat Jenis Tanah

e = Angka Pori

3.1.5 Berat Volume Tanah Jenuh

Berat volume tanah jenuh (γ_{sat}) merupakan berat volume tanah dalam keadaan jenuh yang dinyatakan dengan Persamaan 3.10 berikut ini.

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma w\ (Gs+e)}{1+e} \quad (3.10)$$

Keterangan :

γ_{sat} = Berat Volume Tanah Jenuh

γ_w = Berat Volume Air

Gs = Berat Jenis Tanah

e = Angka Pori

3.1.6 Permeabilitas

Permeabilitas merupakan sifat bahan berpori yang terjadinya aliran rembesan dari air melewati rongga pori. Air melewati rongga pori dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah. Menurut Das (1993) nilai dari permeabilitas pada jenis-jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Nilai Permeabilitas Tanah

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

(Sumber : Mekanika Tanah 1, 2012)

3.1.7 Modulus Elastis Tanah

Nilai modulus *Young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Nilai modulus elastisitas (Es) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

Jenis Tanah	Es (kg/cm²)
Lempung	
Sangat Lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Keras	70 – 200
Berpasir	300 – 425
Pasir	
Berlanau	50 – 200
Tidak Padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
Pasir dan Kerikil	
Padat	800 – 2000
Tidak Padat	500 – 1400
Lanau	20 – 200
Loses	150 – 600
Cadas	1400 – 14000

(Sumber: Bowles, 1977)

3.1.8 *Poisson's Ratio*

Nilai *Poisson's ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai *Poisson's ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.5 Hubungan Antara Jenis Tanah dan *Poisson's Ratio*

Jenis Tanah	*Poisson's Ratio* (μ)
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
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
Loses	0,1 – 0,3

(Sumber: Bowles, 1977)

3.1.9 Kohesi

Menurut Carter dan Bentley (1991) korelasi nilai-nilai kohesi pada keadaan di lapangan dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3.6 Nilai Kohesi

No	Deskripsi	Kohesi (kPa)
1	*Silty gravels, silty sandy gravels*	0
2	*Clayey gravels, clayey sandy gravels*	20
3	*Silty sands*	22
4	*Silty sands compacted*	20
5	*Clayey sands*	5
6	*Clayey sands compacted*	74
7	*Inorganic silt, silty or clayey fine sands, with slight plasticity*	7
8	*Inorganic clays*	11
9	*Peat and other highl organic soils*	-

(Sumber : Carter dan Bentley, 1991)

3.1.10 Sudut Geser Dalam

Berdasarkan Carter dan Bentley (1991) korelasi nilai-nilai sudut geser lereng yang disarankan pada keadaan asli dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.7 sebagai berikut.

Tabel 3.7 Nilai Sudut Geser Dalam

No	Deskripsi	Sudut Geser Dalam (°)	
		Min	Max
1	*Silty gravels, silty sandy gravels*	30	40
2	*Clayey gravels, clayey sandy gravels*	28	35
3	*Silty sands loose*	27	33
4	*Silty sands dense*	30	34
5	*Clayey sands*	30	34
6	*Clayey sands compacted*	-	31
7	*Inorganic silt, silty or clayey fine sands, with slight plasticity*	27	41
8	*Inorganic clays*	17	31
9	*Peat and other highl organic soils*	-	-

(Sumber : Carter dan Bentley, 1991)

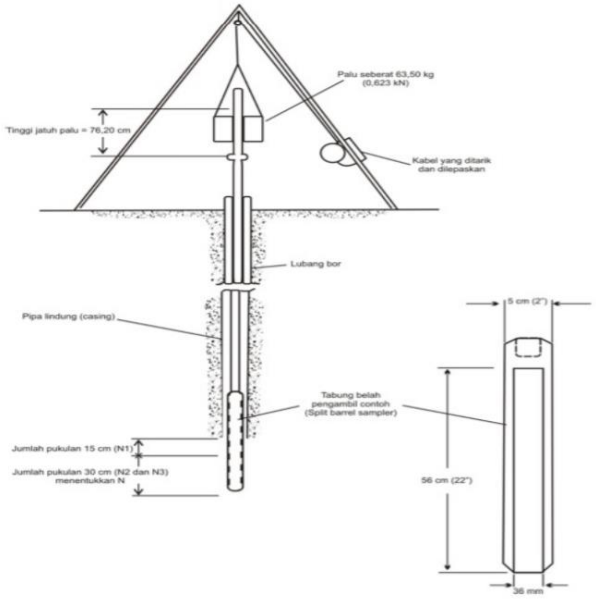
3.1.11 Sudut Dilantasi

Sudut dilantasi tergantung pada kerapatan dan sudut gesernya. Pada umumnya sudut dilantasi yaitu 30º. Pada tanah pasir biasanya sudut dilantasinya 0º. Untuk tanah lain sudut dilantasi dapat dilihat pada Persamaan 3.11 di bawah ini.

$$\Psi = \varphi - 30° \tag{3.11}$$

3.1.12 *Standard Penetration Test* (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) merupakan suatu metode uji yang dilakukan besamaan dengan pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh tanah dengan teknik penumbukan. Uji pada metode *standard penetration test* (SPT) terdiri dari uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah dan disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 m vertikal. Dalam metode sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg dan dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian SPT dapat dibagi dalam tiga tahap pelaksanaan serta berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap pelaksanaan. Pada tahap pertama dilakukan pencatatan sebagai dudukan, sementara jumlah pada pukulan untuk memasukkan tahap kedua dan ketiga dijumlahkan agar memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m). Detail alat pada proses SPT dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



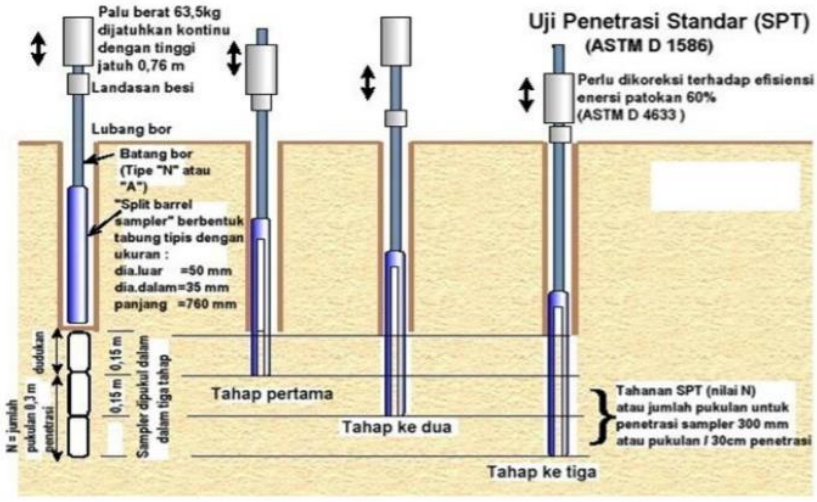
Gambar 3.3 Penetrasi Dengan SPT

(Sumber : SNI 4153-2008)

Standard pada penetrasi ini mentapkan cara uji tanah di lapangan dengan metode *standard penetration test* (SPT) yang bertujuan untuk memperoleh parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan dengan metode ini. Parameter pengujan tersebut diperoleh dari jumlah pukulan terhadap penetrasi konus yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi perlapisan tanah di lapangan yang merupakan bagian dari desain pondasi. Standar yang digunakan ini dapat menguraikan tentang prinsip-prinsip cara uji penetrasi lapangan dengan metode SPT meliputi: sistem perlatan uji penetrasi di lapangan yang terdiri atas perlatan konus dengan metode SPT dan perlengkapan lainnya, persyaratan peralatan pengujian, cara uji, laporan pengujian dan contoh pengujian. Cara uji ini berlaku untuk jenis tanah pada umumnya (SNI 4153, 2008).

Nilai SPT dapat diperoleh dengan contoh cara yang digunakan pada tabung belah standar dipukul sedalam 15 cm (6’’). Kemudian dilanjutkan pada pemukulan tahap kedua sedalam 30 cm (12’’). Jumlah pukulan pada tahap kedua ini yaitu jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tabung belah standar sedalam 30 cm dan didefinisikan sebagai nilai-N. Pengujian yang lebih baik dilakukan dengan

menghitung pukulan pada tiap penembusan pukulan sedalam 7,62 cm 3 inci) atau setiap 15 cm (6 inci). Dengan metode cara ini kedalaman sembarang jenis tanah pada dasar lubang bor dapat ditaksir dan elevasi dimana gangguan dapat terjadi dalam usaha menembus lapisan yang keras seperti batu, dapat tetap dicatat. Hitung jumlah pada pukulan atau tumbukan N pada penetrasi yang pertama, penetrasi 15 cm yang kedua dan ketiga serta catat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm. Jumlah pada pukulan yang dihitung adalah $N_2 + N_3$. Kemudian nilai N_1 tidak diperhitungkan karena masih dalam keadaan kotor hasil dari pengeboran. Jika nilai N lebih besar daripada 50 pukulan, maka hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter. Catat kembali jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan tersebut. Skema pengujian tersebut dan hasil pengujian SPT dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Lampiran L-1.3 berikut ini.



Gambar 3.4 Skema Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)

(Sumber : SNI 4253-2008)

3.2 Lereng

Lereng merupakan suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Lereng atau talud dapat terbentuk secara alami karena dari proses geologi atau juga terbentuk karena dibuat oleh manusia karena tujuan tertentu. Pada suatu tempat dimana terdapat dua permukaan tanah

yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak kearah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor.

3.2.1 Penyebab Longsor

Menurut Hardiyatmo (2010) kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut ini.

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru dan tambahan beban air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenang di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuhan-tumbuhan yang tertiup angin dan lain-lain.
2. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
3. Penggalian atau pemotong tanah pada kaki lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat *(rapid dawdown)* pada bendung, sungai dan lain-lain.
5. Gempa bumi.
6. Kenaikan tekanan tanah lateral oleh air)air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral).
7. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.

3.2.2 Pengaruh Kelongsoran

Berdasarkan Hardiyatmo (2010) ada beberapa hal yang mempengaruhi kelongsoran sebagai berikut ini.

1. Pengaruh Iklim

   Menurut Hardiyatmo (2010) di dekat permukaan tanah, kuat geser tanah berubah dari waktu ke waktu bergantung pada iklim. Beberapa jenis tanah mengambang saat musim hujan, dan menyusut pada musim kemarau. Pada

musim hujan kuat geser tanah ini menjadi sangat rendah di bandingkan dengan musim kemarau. Oleh karena itu, kuat geser tanah yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng harus berdasarkan pada kuat geser tanah yang terendah yaitu pada musim hujan, atau kuat geser pada saat tanah jenuh air.

2. Pengaruh air

   Berdasarkan Hardiyatmo (2010) pengaruh pada aliran air atau rembesan menjadi faktor yang sangat penting dalam stabilitas lereng, namun pengaruh ini sulit diidentifikasi dengan baik. Telah dipelajari bahwa rembesan air yang terjadi di dalam tanah akan menyebabkan gaya rembesan yang sangat berpengaruh pada stabilitas lereng.

   Erosi pada permukaan lereng dapat menyebabkan terkikisnya tanah permukaan yang dapat mengurangi tinggi lereng, sehingga jadi menambah stabilitas lereng. Sebaliknya, erosi yang memotong kaki lereng dapat menambah tinggi lereng dan menjadi mengurangi stabilitas lereng.

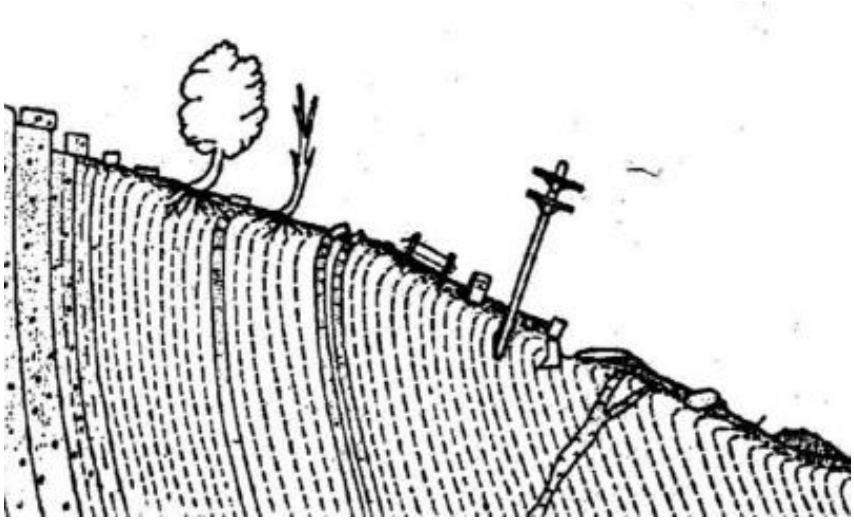
   Jika pada lereng terjadi penurunan muka air mendadak pada saluran atau di dekat lereng, contohnya penurunan muka air mendadak pada saluran atau sungai, maka akan terjadi pengurangan gaya angkat air pada massa tanah dan mendambah beban lereng. Kenaikan beban menyebabkan naiknya tegangan geser, yang jika tahanan geser tanah terlampaui maka akan mengakibatkan longsoran lereng. Hal ini banyak terjadi pada lereng tanah yang berpermeabilitas rendah.

3. Pengaruh Rangkak *(Creep)*

   Menurut Hardiyatmo (2010) di dekat permukaan tanah yang miring, tanah dipengaruhi siklus kembang-susut. Siklus ini dapat terjadi oleh akibat perubahan temperatur, perubahan dari musim kemarau ke musim hujan, dan di daerah dingin dapat diakibatkan oleh pengaruh pembekuan air. Saat tanah mengembang, tanah naik sehingga melawan gaya-gaya gravitasi. Sedangkan saat tanah menyusut, tanah turun dibantu oleh gravitasi. Hasil dari gerakan keduanya adalah gerakan perlahan lereng turun ke arah bawah.

   Ke dalam zona rangkak bervariasi dari beberapa sentimeter sampai beberapa meter dapat begantung pada sifat tanah dan kondisi iklim. Kenampakan

gerakan lereng akibat rangkak *(creep)* diilustrasikan oleh Taylor (1962) dalam Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Tampak Lereng Akibat Pengaruh Rangkak *(Creep)*

(Sumber : Taylor, 1962)

Seperti ditunjukan dalam gambar diatas, rangkak dapat menyebabkan hal-hal sebagai berikut ini.

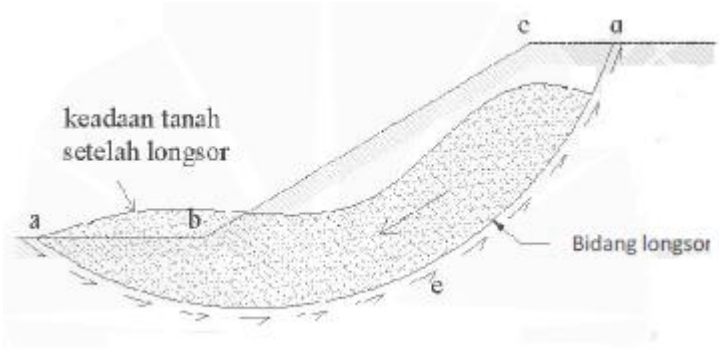
a. Blok batuan bergerak.
b. Pohon-pohon melengkung ke atas.
c. Bagian bawah lereng melengkung dan menarik batuan.
d. Bangunan menara, monumen, dan lain-lain miring.
e. Dinding penahan tanah dan pondasi bergerak dan retak.
f. Jalan raya dan jalan rel keluar dari alurnya.
g. Batu-batu besar menggelinding dan lain.lain.

3.2.3 Jenis Longsor

Longsoran adalah gerakan material pembentuk lereng yang diakibatkan oleh terjadinya kegagalan geser, di sepanjang satu atau lebih bidang longsor yang terjadi. Massa tanah yang bergerak dapat menyatu atau terpecah-pecah menjadi butiran. Perpindahan material total sebelum longsoran bergantung pada besarnya regangan untukmencapai kuat geser pada puncaknya dan pada tebal zona longsornya (Hardiyatmo, 2010).

Gerakan tanah berupa longsor *(landslide)* adalah bencana alam yang sering terjadi dan membahayakan khususnya pada saat musim hujan. Longsor seringkali terjasi akibat adanya pergerakan tanah pada kondisi daerah lereng yang curam, kondisi tanah yang tidak homogen, dan tidak memiliki lekatan antara lapisan pada tanah. Faktor lain yang menyebabkan longsor adalah rembesan, aktifitas geologi seperti patahan lempeng bumi, rekahan dan liniasi. Kondisi lingkungan setempat seperti bentuk dan kemiringan lereng, kekuatan material, kedudukan muka air tanh dan kondisi aliran drainase setempat juga menjadi faktor yang cukup penting untuk menjadi penyebab terjadinya longsor (Verhoef, 1985).

Longsoran dapat dicegah apabila gaya dorong (gaya penyebab longsor) tidak melebihi gaya perlawanan yang berasal dari tahanan geser tanah sepanjanang bidang longsor seperti pada Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Kelongsoran Lereng

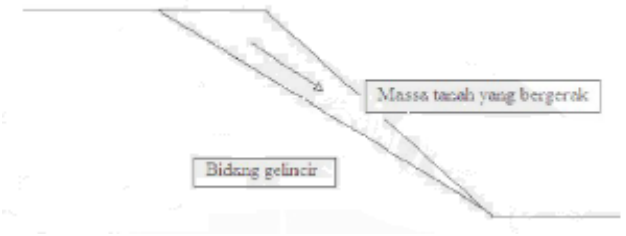
(Sumber: Hardiyatmo 2010)

Berdasarkan Hardiyatmo (2010), longsoran yang sering terjadi selama ini dibagi menjadi beberapa jenis kelongsoran, yaitu :

1. Longsoran Translasi

   Longsorannya ini terjadi karena bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau mengelombang landai. Longsoran translasi adalah gerakan di sepanjang diskontinuitas atau bidang lemah yang secara pendekatan sejajar dengan permukaan lereng, sehingga gerakan tanah secara translasi seperti pada Gambar 3.7. Dalam kondisi tanah lempung, translasi terjadi di sepanjang lapisan tipis pasir atau lanau, khususnya jika

bidang lemah tersebut sejajar dengan lereng yang ada. Longsoran translasi lempung yang mengandung lapisan pasir atau lanau, dapat disebabkan oleh tekanan air pori yang cukup tinggi dalam pasir atau lanau tersebut.

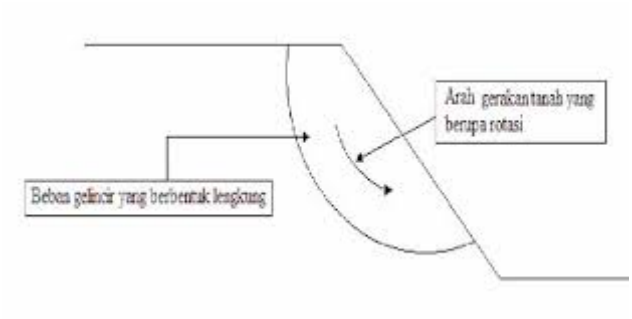


Gambar 3.7 Longsoran Translasi

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

2. Longsoran Rotasi

Longsoran ini dapat terjadi ketika bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung seperti pada Gambar 3.8. Longsoran rotasi mempunya suatu bidang longsor yang melengkung ke atas, dan sering terjadi pada massa tanah yang bergerak dalam satu kesatuan. Longsoran rotasi murni *(shump)* terjadi pada material yang relatif homogen seperti timbunan buatan (tanggul).



Gambar 3.8 Longsoran Rotasi

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

3.2.4 Penanggulangan Kelongsoran Lereng

Penanggulangan kelongsoran lereng sangat pentinng dilakukan agar jika belum terjadi dapat ditanggulangi sedini mungkin sebelum adanya korban atau kerugian, ataupun kelongsoran sudah terjadi dapat diperbaiki dan meminimalisir kerugian yang terjadi kembali. Berikut ini metode penanggulangan kelongsoran yang dapat dilakukan.

1. Melandaikan kemiringan lereng

   Semakin landai lereng, maka semakin kecil laju dan jumlah aliran permukaan dan semakin kecil kemungkinan erosi yang akan terjadi. Jika kemiringan lereng semakin landai, maka jumlah butiran tanah yang terpecik ke bawah oleh air hujan akan semakin sedikit. Hal itu disebabkan karena gaya berat yang mengecil, sejalan dengan semakin miringnya permukaan tanah dari bidang horizontal, sehingga lapisan tanah atas yang tererosi akan semakin sedikit.

2. Dinding penahan tanah

   Dinding penahan tanah dibuat dari pasangan batu, beton atau beton bertulang. Keberhasilan dinding penahan tanah tergantung pada kemampuan menahan geseran dan stabilitas terhadap guling. Selain untuk menahan Gerakan tanah, juga berfungsi melindungi bangunan dari runtuhan. Dinding penahan tanah wahib dipasang drainase dan pipa air, sehingga tidak terjadi tekanan hidrostatis yang benar.

3. Sumuran

   Gorong-gorong beton pracetak dimasukkan ke dalam sumuran yang digalu dengan kedalaman melebihi bidang longsoran. Kemudian gorong-gorong diisi dengan beton tumbuk atau material berbutir tergantung dari kekuatan geser yang dikehendaki. Pelaksanaan penanggulangan tersebut bisa dilakukan sampai dengan kedalaman lereng 15 meter.

4. Tiang pancang

   Pemasangan tiang pancang cocok digunakan untuk mencegah atau menanggulangi kelongsoran yang tidak terlalu dalam, namun tidak cocok untuk jenis tanah yang sensitive karena getaran yang terjadi pada saat

pemancangan dapat menurunkan massa tanah. Tingkat efektifitasnya tergantung pada kemampuan menembus lapisan tanah.

5. Jangkar kabel

   Metode penanggulangan ini dilakukan bila massa batuan yang bergerak berukuran besar.

6. Bronjong

   Bronjong adalah bangunan berupa anyaman kawat yang diisi dengan batu belah. Keuntungan penggunaan bronjong adalah sebagai berikut.

   a. Bronjong memiliki sifat yang tidak kaku sehingga dapat menahan gerak vertikal maupun horizontal,
   b. Jika bronjong runtuh, masih dapat digunakan lagi,
   c. Bronjong bersifat lulus air sehingga tidak menyebabkan terjadinya genangan air permukaan,
   d. Pelaksanaan pemasangannya mudah,
   e. Material mudah didapat,
   f. Biaya lebih ekonomis.

7. Perkuatan geotekstil

   Geotekstil merupakan Teknik pelapisan tanah untuk mencegah terjadinya longsor dan amblesan tanah. Bahan geotekstil memiliki kuat tarik yang tinggi, khususnya jenis geotekstil *woven*. Biaya yang dibutuhkan untuk pemasangan geotekstil ini 40% lebih murah dibandingkan dengan beton dan waktu pengerjaannya juga lebih cepat.

3.3 Analisis Stabilitas Lereng

Pada posisi permukaan tanah yang tidak horizontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya dapat terlampaui, maka akan terjadi suatu kelongsoran lereng. Analisis stabilitas lereng ini tidak begitu mudah, karena terdapat banyak faktor yang mempengaruhi hasil hitungan. Faktor-faktor tersebt

misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anistropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lainnya (Hardiyatmo, 2010).

3.3.1 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Berdasarkan Hardiyatmo (2010) tujuan dari analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng, beberapa gagasan dibuat, yaitu sebagai berikut ini.

1. Kelongsoran lereng terjadi pada sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif.
3. Tanah geser dari massa tanah pada setiap titip sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperlihatkan tergangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsoran.

Faktor keamanan suatu lereng dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng.

Tabel 3.8 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng

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

Sumber : Sosrodarsono, 2003

Tabel 3.9 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor

Nilai Faktor Keamanan	Kemungkinan Longsor
F < 1,07	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
1,07 < F < 1,25	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
F > 1,25	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

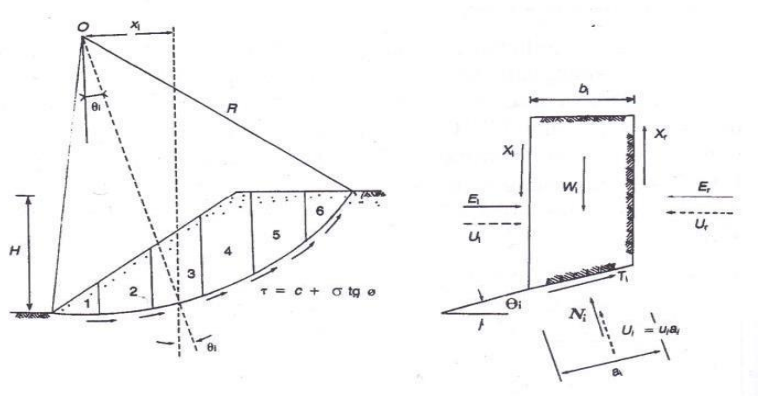
Sumber : Bowles, 1989

3.3.2 Metode Analisis Stabilitas Lereng

Untuk menganalisis stabilitas lereng ini ada beberapa metode, yang sering digunakan diantara lainnya adalah sebagai berikut.

1. Metode *Fellenius*

Metode *Fellenius (Ordinary Method of Slice)* diperkenalkan pertama kali oleh Fellenius (1927, 1936) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan memiliki resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. *Fellenius* mengemukakan metodenya dengan menyatakan asums bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja di tengah-tengah *slice.* Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisannya adalah sama dengan nol, atau biasa juga disebutkan bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan. Gaya yang bekerja dengan metode *fellenius* dapat dilihat pada Gambar 3.9 di bawah ini.



Gambar 3.9 Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Keterangan :

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

Jadi total asumsi yang dibuat oleh metodi ini adalah :

a. Posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan : n
b. Resultan gaya antar irisan sama dengan nol : n – 1

   Total : 2n – 1

Dengan anggapan-anggapan tersebut maka dapat diuji persamaan keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi dan diperoleh suatu nilai Faktor Keamanan. Dengan anggapan seperti ini maka keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya bekerja dapat dilihat pada Persamaan 3.12 dibawah ini:

$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i$

Atau,

$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i$

$= W_i \cos \theta_i - u_i a_i$ (3.12)

Faktor aman didefinisikan sebagai,

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

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

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah R sin θ seperti pada Persamaan 3.13 dibawah:

$$\Sigma\ Md = R\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin\theta_i \qquad (3.13)$$

Keterangan:

R = Jari-jari lingkaran bidang longsor.

n = Jumlah irisan.

W_i = Berat massa tanah irisan ke-*i*.

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

θ_i = Sudut yang didefinisikan.

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah akan longsor adalah seperti Persamaan 3.14 dibawah:

$$\Sigma\ M_r = R\sum_{n=1}^{i=n}(ca_i + N_i\ tg\ \varphi) \qquad (3.14)$$

Maka untuk faktor aman dapat dilihat pada Persamaan 3.15 dibawah ini:

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n}(ca_i + N_i\ tg\ \varphi)}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin\theta_i} \qquad (3.15)$$

Apabila terdapat air pada lereng, maka tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (Md) seperti pada Persamaan 3.16 dibawah, karena resultan gaya akibat tekanan air pori titik pusat lingkaran.

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} ca_i + (W_i \cos\theta_i - u_i\ a_i)\ tg\ \varphi}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin\theta_i} \qquad (3.16)$$

Keterangan:

F = Faktor aman

C = Kohesi tanah (kN/m²)

φ = Sudut gesek dalam tanah (^{o})

a_i = Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-*i* (m)

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

u_i = tekanan air pori pada irisan ke-*i* (kN/m^2)

θ_i = Sudut yang didefinisikan

Apabila ketika terdapat gaya-gaya selain dari berat tanahnya sendiri, seperti bangunan yang ada diatas lereng, maka akibat beban ini diperhitungkan sebagai Md.

3.4 Perkuatan Tanah Menggunakan Geosintetik

3.4.1 Perkuatan Tanah

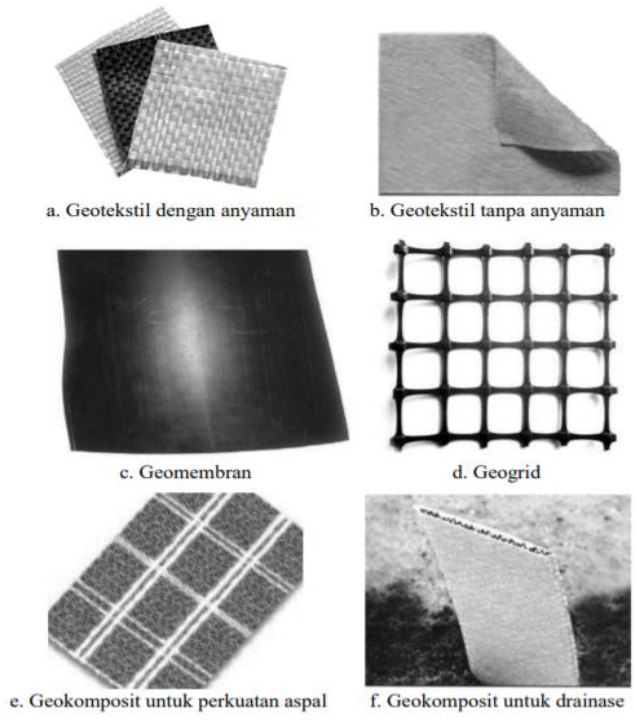
Seorang ahli teknik asal perancis Henri Vidal pada tahun 1966 mengadakan suatu penelitian. Dari hasil penelitannya Henri dapat menyimpulkan bahwa, tumpukan pasir alam yang mempunyai sudut lereng asli tertentu, dapat stabil dengan sudut kemiringan yang lebih besar dan jika diberi material fleksibel yang mampu menahan tarikan di dalam tumpukan pasir tersebut. Dari asumsi Henri Vidal diatas, dapat disimpulkan bahwa tanah pasir alam, akan mengikuti hukum tersebut dan mempunya sudut geser dalam (φ) jika tanah tersebut dibebani dengan tekanan vertikal σv, maka agar tidak terjadi keruntuhan harus diberi tekanan lateral yang besarnya adalah Ka .σv. Adanya pita atau strip akan menimbulkan geseran antara butir-butir pasir dengan pita tersebut, yang berarti timbul suatu gaya tarik pada pita dan hal ini akan menginduksi timbulnya tekanan lateral.

3.4.2 Geosintetik

Pengertian mengenai geosintetik menurut ICI *Fibers* dalam Departemen Pekerjaan Umum (2009) merupakan ”*a synthethic material used in soil (geo) environment”.* Menurut pendapat tersebut dijelaskan bahwa segala macam bahan sintetis yang digunakan pada pekerjaan konstruksi tanah atau geotekni dapat disebut sebagai geosintetik. Hampir sebagian besar geosintetik terbuat dari polimer sintetik seperti polipropilena (PP), poliester (PET) atau polietilena (PE). Material

polimer tersebut sangat tahan terhadap degradasi biologis dan kimiawi. Jenis lain yang jarang digunakan adalah polamida (PA) atau nilan dan serat kaca. Bahan alami (seperti serat kapas, rami) juga dapat digunakan seperti geotekstil, terutama untuk aplikasi yang bersifat sementara.

Geosintetik secara umum dapat dibedakan berdasarkan sifat permeabilitasnya yaitu bahan lolos air *(permeable)* dikenal sebagai geotekstil dan bahan bersifat kedap air *(impermeable)* dikenal sebagai geomembran. Bentuk bahan geotekstil berupa lembaran dengan anyaman *(woven),* tanpa anyaman *(non-woven)* dari kumpulan benang-benang sintetis. Sesuai dengan kebutuhannya di lapangan, bentuk geosintetik semakin bervariasi, misalnya berbentuk *grid,* dan bentuk komposit. Macam-macam bentuk geosintetik dapat diperhatikan pada Gambar 3.10 berikut ini.



Gambar 3.10 Macam-Macam Bentuk Geosintetik

(Sumber : PT. Tetrasa Geosindo, 2005)

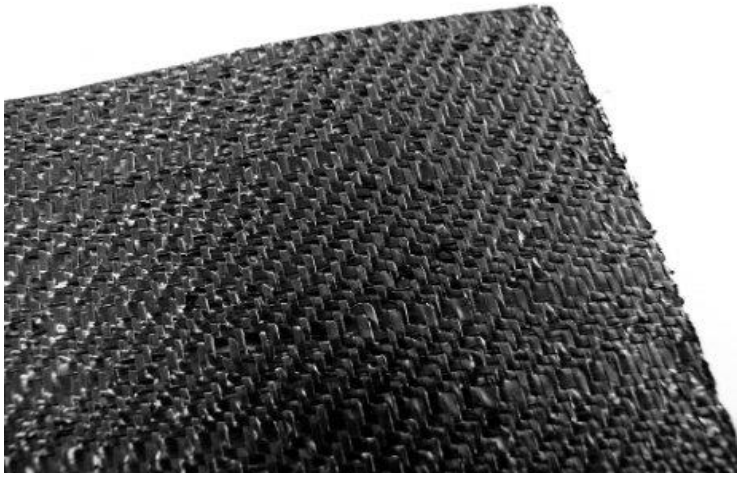
3.4.3 Geotekstil

Geotekstil merupakan salah satu jenis dari geosintetik yang berbahan sintetik dan umumnya lolos terhadap air serta dipasang bersama pondasi, tanah, batuan atau

material geoteknik lainnya. Dalam proses pembuatan geotekstil, elemen pada tekstil kemudian dikombinasikan menjadi struktur tekstil lembaran. Elemn tersebut dapat berupa filamen (serat menerus) berbentuk benang polimer tipis dan panjang atau serabut serat *(stable fiber)* yang berbentuk filamen pendek. Geotekstil dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

1. Geotekstil anyam (*woven*)

   Geotekstil anyam (*woven*) dibuat dengan cara dianyam seperti yang dilihat pada Gambar 3.11, geotekstil jenis ini mempunyai kuat Tarik yang cukup tinggi sehingga pada aplikasinya di lapangan banyak digunakan sebagai lapisan perkuatan dan sebagai lapisan pemisah. Sebagai perkuatan, geotekstil *woven* berfungsi sebagai tulangan pada tanah. Sedangkan sebagai pemisah, geotekstil *woven* berfungsi memisahkan antara tanah lunak dengan tanah keras.



Gambar 3.11 Geotekstil *Woven*

(Sumber: Isparno, 2010)

2. Geotekstil nir-anyam (*non woven*)

   Geotekstil nir-anyam (*non woven*) pembuatannya tidak dengan cara dianyam, tetapi jaringan atau serat-serat pembentukannya dilekatkan atau sama lain dengan cara diikat atau dengan bahan perekat seperti yang dilihat pada Gambar 3.12 di bawah ini.



Gambar 3.12 Geotekstil *Non Woven*

(Sumber: Isparno, 2010)

Berdasarkan Isparmo (2010) fungsi dari geotekstil tediri dari fungsi sebagai bahan pemisah dan fungsi sebagai bahan perkuatan geoteknik sebagai berikut.

1. Fungsinya ialah sebagai perkuatan tanah dikarenakan tanah mempunyai kekuatan untuk menahan tekan, tetapi tidak dapat menahan tarik. Kelemahan terhadap tarik ini yang dipenuhi oleh geotekstil. Geotekstil memiliki kemampuan menahan tarik yang kuat, sehingga fungsi geotekstil pada geoteknik ini sama seperti fungsi tulangan dalam beton. Material ini dapat diletakkan di bawah tanah timbunan yang dibangun diatas tanah lunak, juga dapat digunakan untuk membangun dinding penahan tanah, dan dapat juga digunakan untuk perkuatan bahan susun perkerasan jalan beserta tanah dasarnya seperti pada Gambar 3.13 berikut.



Gambar 3.13 Geotekstil Sebagai Perkuatan *(Reinforcement)*

(Sumber : Isparmo, 2010)

Berdasarkan Hardiyatmo (2010) sifat-sifat tanah menjadi kuat menahan tarik ini merupakan hasi dari adanya interaksi antara tanah dan tulangannya. Dengan gesekan ini, tanah mentransfer gaya-gaya yang bekerja padanya ke tulangan-tulangan. Interaksi tanah dengan geotekstil dipengaruhi oleh *interface.* Nilai *interface* dapat diperoleh dari uji geser dan uji tarik. Beberapa nilai *interface* telah banyak diusulkan oleh beberapa peneliti dan juga turut dicantumkan dalam penawaran teknis produk geotekstil.

3.4.4 Prinsip Kerja Geotekstil

Tegangan geser yang terjadi oleh gesekan pada bidang kontak dinyatakan pada Persamaan 3.17 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma_v \text{ tg } \varphi \qquad (3.17)$$

Keterangan :

τ = Tegangan geser yang bekerja di permukaan bidang kontak antara tulangan dan butiran-butiran tanah (kN/m²).

c = Kohesi (kN/m²).

σ_v = Tegangan normal pada bidang kontak *(interface)* tanah-tulangan (kN/m²).

φ = Sudut gesek antara tanah dan tulangan (º).

Gaya- gaya tarik yang akan bekerja pada geotekstil dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.18 berikut ini.

$$T_a = \tau \, x \, b \, x \, L \, x \, tg \, \varphi \qquad (3.18)$$

Keterangan :

T_a = Gaya tarik pada tulangan (kN/m).

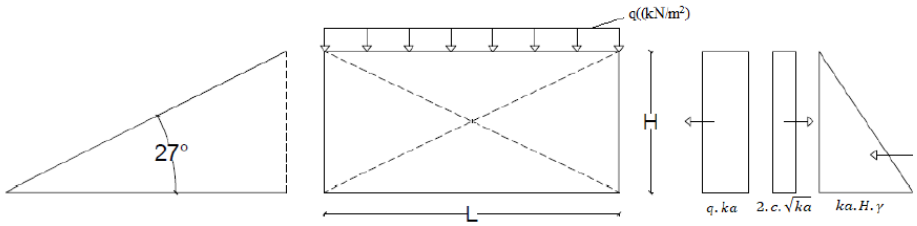
B = Lebar tulangan (m).

L = Panjang tulangan (m).

3.4.5 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil

Perenca

naan untuk perkuatan dengan geotekstil memiliki gaya-gaya stabilitas yang perlu diperhitungkan. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan terdiri dari beberapa analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Stabilitas eksternal terdiri dari stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas, dan kapasitas dukung tanah. Stabilitas internal berupa stabilitas terhadap gaya-gaya dan panjang efektif geotekstil. Adapun diagram distribusi tekanan tanah lateral pada lereng dapat dilihat pada Gambar 3.14 berikut ini.



Gambar 3.14 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral

(Sumber: Purwanto, 2012)

Untuk mendapatkan jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (Sv) dapat dilakukan dengan Persamaan 3.19 sampai dengan Persamaan 3.21 berikut ini.

$$Ka = \tan^2((45^o - (\frac{\varphi}{2})) \quad (3.19)$$

$$\sigma hc = q\ .ka - 2\ .c\ .\sqrt{ka} + ka\ .H\ .\gamma b \quad (3.20)$$

$$Sv = \frac{Ta}{\sigma hc\ .Sf} \quad (3.21)$$

Keterangan:

Ka = Koefisien tanah aktif.

σhc = Tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m²).

q = Beban merata (kN/m²).

SF = Faktor aman.

Sv = Jarak tulangan arah vertikal (m).

γ = Berat volume tanah (kN/m³).

c = Kohesi (kN/m²)

Ta = Kuat tarik geotekstil *allowable.*

1. Stabilitas Eksternal

   a. Stabilitas Terhadap Geser

   Faktor aman terhadap geser dinyatakan pada Persamaan 3.22.

$$SF = \frac{L.(1+\gamma b).\tan\varphi}{(q.ka.H+ka.H^2.\gamma b-2.c.\sqrt{ka.H}} \quad (3.22)$$

   Keterangan:

   SF = Faktor aman.

   φ= Sudut gesek antara tanah dan geotekstil (º).

   L = Panjang geotekstil (m).

   H = Tinggi lapisan tanah (m).

   γb = Berat volume tanah (kN/m³).

   Ka = Koefisien tanah aktif.

   C = Kohesi (kN/m²).

   q= Beban merata (kN/m²).

   b. Stabilitas Terhadap Guling

   Faktor aman terhadap guling dapat dinyatakan pada Persamaan 3.23 berikut ini.

$$SF = \frac{L^2.\left(\frac{1}{2}.q+\frac{1}{2}.\gamma b.H\right)}{\frac{1}{2}.q.ka.H^2+\frac{1}{6}.Ka.H^2.\gamma b-c.\sqrt{Ka}.H^2} \quad (3.23)$$

   Keterangan:

   SF = Faktor aman.

   L = {anjang geotekstil (m).

   H = Tinggi lapisan tanah (m).

   γb = Berat volume tanah (kN/m³).

   c = Kohesi (kN/m²).

   q= Beban merata (kN/m²).

c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Nilai $\frac{1}{6} L$ harus lebih besar dari nilai eksentrisitas yang dinyatakan pada Persamaan 3.24 dan Persamaan 3.25 berikut ini.

$$\frac{1}{6} L \geq e \quad (3.24)$$

$$\frac{1}{6} \geq \frac{\left(\frac{1}{2} .q .ka .H^2 + \frac{1}{6} .ka .H^3 .\gamma b - c .\sqrt{ka} .H^2\right)}{(q .L + \gamma b .H .L)} \quad (3.25)$$

Keterangan:

e = Nilai eksentrisitas tanah (m).

q = Beban merata (kN/m²).

Ka = Koefisien tanah aktif.

H = Tinggi lapisan tanah (m).

c = Kohesi (kN/m²).

L = Panjang geotekstil (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m³)

d. Stabilitas Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Faktor keamanan terhadap kapasitas dukung tanah dinyatakan pada Persamaan 3.26 sampai dengan Persamaan 3.28 berikut ini.

$$SF = \frac{\sigma ult}{qult} \quad (3.26)$$

$$qult = c .Nc + o,5 .L .\gamma b .N\gamma \quad (3.27)$$

$$\sigma ult = c .Nc + q .Nq + 0,5 .L .\gamma b .N\gamma \quad (3.28)$$

2. Stabilitas Internal

a. Panjang Geotekstil *Overlapping*

Panjang geotekstil *overlapping* dapat dinyatakan pada Persamaan 3.29 berikut ini.

$$L0 = \frac{\sigma hc \; x \; Sv \; x \; SF}{2 \; x \; Zi \; x \; \gamma b \; x \tan \varphi} \quad (3.29)$$

Keterangan:

L*0* = Panjang *overlapping* (m).

σhc = Tegangan ultimit (kN/m²).

Sv = Jarak tulangan arah vertikal (m).

Zi = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m³).

SF = Faktor aman.

φ = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil (º).

b. Panjang Efektif Geotekstil

Panjang tulangan di belakang bidang longsor (L*ef*) pada ujung geotekstil dapat dihitung pada Persamaan 3.30 berikut ini.

$$Lef = \frac{SF\ x\ Sv\ x\ Ka\ x\ \gamma b\ x\ Zi}{2\ x\ \gamma b\ x\ Zi\ x \tan\varphi} \geq 0{,}5\text{m} \qquad (3.30)$$

Keterangan:

L*ef* = Panjang efektif geotekstil (m).

Ka = Koefisien tanah aktif .

Sv = Jarak tulangan arah vertikal (m).

Zi = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m).

γb = Berat volume tanah (kN/m³).

SF = Faktor aman.

φ = Sudut gesek antara tanah dan geotekstil (º).

3.5 Penurunan Konsolidasi Tanah

Ketika suatu lapisan tanah diberikan beban di atasnya, maka partikel tanah akan mengalami penambahan tegangan, sehingga pada tanah terjadi penurunan (settlement). Penurunan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan yang lainnya. Salah satu permasalahan utama pada tanah lunak dalam suatu pekerjaan konstruksi adalah penurunan tanah yang sangat besar. Penurunan yang besar tersebut disebabkan oleh penurunan konsolidasi pada tanah ketika tanah dibebani.

3.5.1 Penurunan Konsolidasi Primer

Penambahan beban di atas suatu lapisan tanah jenuh air menyebabkan tekanan air pori meningkat dan mengakibatkan air berusaha mengalir keluar dari pori-pori tanah sehingga volumenya akan berkurang. Penurunan tanah tersebut disebut sebagai penurunan konsolidasi atau penurunan primer. Besar penurunan konsolidasi untuk jenis tanah lunak sangat bergantung pada sejarah geologis tanah. Tanah pada kedalaman tertentu telah mengalami tegangan efektif pra-konsolidasi, yakni tegangan efektif terbesar yang pernah dialami sebelumnya. Tegangan efektif pra-konsolidasi dapat lebih kecil atau sama dengan tegangan overburden efektif saat ini. Normally consolidated merupakan keadaan pada tegangan overburden efektif saat ini merupakan tegangan terbesar (maksimum) yang pernah dialami tanah tersebut. Perhitungan untuk mencari nilai penurunan normally consolidated dapat dilakukan dengan Persamaan 3.31 berikut ini.

$$Sc = H \frac{Cc}{1+eo} \; log \frac{Po+\Delta p}{Po} \tag{3.31}$$

dengan :

Sc = Penurunan primer (m)

Cc = Indeks kompresi tanah

Po = Tekanan overbunden efektif (kN/m^2)

Δp = Perubahan tegangan vertikal (kN/m^2)

eo = Angka pori

H = Tebal lapisan tanah (m)

3.5.2 Parameter Perhitungan Penurunan

Dalam menghitung besarnya penurunan suatu lapisan tanah, maka diperlukan beberapa parameter. Berikut ini parameter-parameter perhitungan penurunan konsolidasi primer sebagai berikut.

1. Indeks kompresi tanah (*Cc*)

Terzaghi dan Peck (1967) dalam Barimbing (2017) menyarankan pemakaian persamaan empiris untuk menghitung indeks pemampatan pada lempung yang

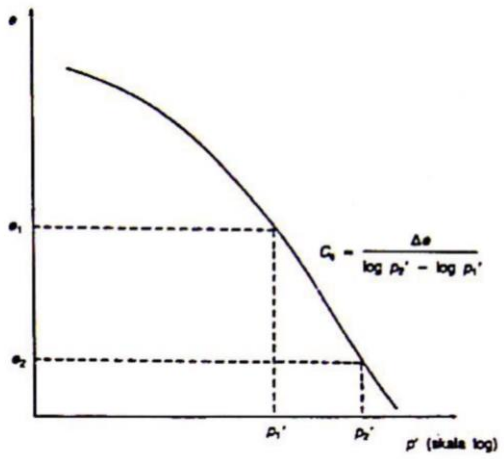
stuktur tanahnya tidak terganggu atau belum rusak (*undistrubed)*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.32 berikut ini

$$Cc = 0{,}009\ (LL - 10) \qquad (3.32)$$

Dengan LL merupakan batas cair *(liquit limit)*. Persamaan ini digunakan untuk tanah lempung anorganik yang mempunyai sensitivitas rendah sampai sedang dengan kesalahan 30% (persamaan ini sebaiknya tidak digunakan ada sensitivitas lebih besar dari 4).

Terzaghi dan Peck juga mengusulkan hubungan yang sama dengan tanah lempung dibentuk kembali *(remolded)* seperti pada Persamaan 3.33 dan gambar hubungan grafik indeks pemampatan Cc dapat dilihat pada Gambar 3.15 berikut ini.

$$Cc = 0{,}007\ (LL - 100) \qquad (3.33)$$



Gambar 3.15 Indeks Pemampatan, *Cc*

(Sumber: Hardiyatmo, 2003)

Beberapa nilai Cc yang didasarkan pada sifat-sifat tanah pada tempat-tempat tertentu yang diberikan oleh Azzous (1976) dapat dilihat pada Persamaan 3.34 sampai 3.37 berikut.

$$Cc = 0{,}01\ w_N \text{ (untuk lempung Chicago)} \qquad (3.34)$$

$$Cc = 0{,}0046\ (LL - 9) \text{ (untuk lempung Brasilia)} \qquad (3.35)$$

$Cc = 0{,}208e_o + 0{,}0083$ (untuk lempung Chicago) (3.36)

$Cc = 0{,}0115\ w_N$ (untuk tanah organik, gambut) (3.37)

Dengan w_N merupakan kadar air asli di lapangan dalam (%) dan e_o merupakan angka pori.

2. Tegangan *Overburden* Efektif (Po)

Winner (2017) dalam Satindra (2018) menyatakan bahwa tegangan *overburden* efektif adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli akibat beban atau lapisan tanah di atas titik tanah asli yang ditinjau. Tegangan *overburden* efektif dapat dihitung dengan Persamaan 3.38 berikut.

$Po = \gamma' x\ H$ (3.38)

Dengan :

Po = Tegangan *overburden* efektif

γ' = Berat volume tanah efektif

H = Tebal lapisan tanah

3. Distribusi tegangan tanah (Δp)

Penambahan tegangan tanah akibat pengaruh beban diatas tanah yang ditinjau dari titik tengah setiap lapis tanah. Perhitungan penambahan tegangan didefinisikan seperti pada Persamaan 3.39 berikut.

$\Delta p = q\ x\ l$ (3.39)

dengan nilai q didefinisikan pada Persamaan 3.40 berikut.

$q = \gamma timbunan\ x\ H$ (3.40)

dengan :

Δp = Perubahan tegangan vertikal

q = Beban timbunan

H = Tebal lapisan tanah

$\gamma timbunan$ = Berat volume tanah timbunan

l = Faktor pengaruh

3.6 Program PLAXIS

PLAXIS merupakan salah satu program *software* komputer yang dapat digunakan untuk mempermudah dalam menganalisis di bidang geoteknik. Program PLAXIS dirancang berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang dapat digunakan secara khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan *(plane-strain)* maupun secara *axisymetric.* Program ini menerapkan model antarmuka grafis yang cukup mudah untuk digunakan, pengguna dapat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukkan perhitungan, keluaran, dan kurva.

Model yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu model Mohr-Coulomb. Model ini merupakan model elastis – plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu E dan μ untuk memodelkan elastisitas tanah, φdan c untuk memodelkan plastisitas tanah, dan ψ sebagai dudut dilatasi. Model Mohr-Coulomb merupakan suatu pendekatan "ordo pertama" dari perilaku tanah atau batuan. Model ini disarankan digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi. Setiap lapisan akan dimodelkan dengan sebuah nilai kekakuan rata-rata yang konstan. Karena kekakuan yang konstan, maka perhitungan cenderung cepat dan dapat diperoleh perkiraan awal dari bentuk deformasi dari model. Di samping kelima parameter dari model tersebut, kondisi tegangan awal dari tanah memegang peranan yang penting dalam hampir seluruh masalah deformasi tanah. Tegangan horizontal awal tanah harus ditentukan terlebih dahulu dengan menentukan nila ko yang tepat (Brinkgreve, 2007).

Kondisi di lapangan yang disimulasikan ke dalam program PLAXIS ini bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program, dengan harapan pelaksanaan di lapangan dapat sedekat mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program

dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan.

Pada tahap analisis menggunakan program PLAXIS terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *Input data*

   Pada tahapan *input data* yang dilakukan ialah pemodelan berupa data geometri dinding penahan tanah dan lereng yang akan dianalisis, material tanah, pembebanan, *meshing*, dan *initial condition.* Sehingga model yang dihasilkan dapat menggambarkan kondisi nyata yang ada di lapangan.

2. *Calculation*

   Ketika telah dilakukan permodelan pada tahap input, tahap berikutnya adalah tahap *calculation.* Pada tahap ini, analisis dilakukan sesuai dengan kebutuhan terhadap model yang telah didefinisikan dalam input data. Terdapat beberapa *type calculation* yang disediakan, yaiut *type plastic, consolidation, phi/c reduction,* dan *dynamic analysis.*

3. *Output*

   Setelah selesai menganalisis, hasil dari analisis pada tahap *calculation* sebelumnya dapat dilihat pada tahap *output.* Hasil analisis pada tahap *output* dapat ditampilkan dalam bentuk angka, gambar, dan kurva. *Output* yang dihasilkan dan akan ditinjau dalam penelitian ini berupa *total displacement,* potensi kelongsoran, *safety factor*, dan *total stresses.*

4. *Curve*

   Selain dapat dilihat dari *output* hasil dari analisis juga dapat berupa *curve*. *Curve* menggambarkan hasil dari semua tahapan perhitungan, dan menampilkan 2 parameter untuk melihat perbandingan dari masing-masing tahap perhitungan. *Curve* yang akan diambil sebagai perbandingan dalam penelitian ini adalah *curve* dari *safety factor* dan *curve vertical displacement.*

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Penelitian dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing Sta 3+550. Penelitian ini meliputi analisis stabilitas lereng dengan kondisi tanah asli dengan penambahan trap bervariasi menggunakan program PLAXIS, kemudian didapatkan *output* berupa nilai *Safety Factor*. Parameter analisis menggunakan variasi ketinggian timbunan lereng, sehingga didapatkan tinggi timbunan yang berpotensi mengalami kelongsoran dan akan diperkuat menggunakan perkuatan dengan geosintetik jenis geotekstil woven. Penggunaan perkuatan geotekstil ini akan dilakukan pada lereng dengan SF< 1,30 yang biasa digunakan dalam perencanaan keamanan lereng pada timbunan jalan tol. Dari analisis tersebut, diharapkan dapat ditentukan kondisi mana yang menghasilkan faktor keaamanan *(safety factor)* yang paling baik, sehingga pada perencanaan kekuatan stabilitas lereng dapat dijadikan sebagai acuan untuk kondisi tanah yang direkomendasikan.

4.2 Data Penelitian

Data penelitian ini merupakan data sekunder Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing. Data sekunder yang diperlukan meliputi :

1. Data tanah, yang meliputi: data tanah uji lapangan dan data tanah uji laboratorium. Data tanah uji lapangan yaitu data dari hasil pengujian *SPT (Standard Penetration Test)* dalam bentuk tabel dan grafik. Data tanah uji laboratorium yaitu data hasil pengujian di laboratorium yang meliputi:
   a. Bera volume tanah (γ)
   b. Kohesi (c), dan
   c. Sudut geser dalam (φ).
2. Data lapisan tanah

3. Data gempa, dan
4. Data lereng.

4.3 Tahapan Penelitian

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

1. Tahap pengumpulan data, dimana tahap ini meliputi tahap pengambilan data tanah (data uji lapangan dan laboratorium) yang dibutuhkan untuk keperluan analisis dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing.
2. Tahap analisis dan pengolahan data , pada tahap ini data yang telah diambil (data uji lapangan dan data laboratorium), kemudian diolah dengan logika dan teori yang berlaku sebagai koreksi (analisis dengan program PLAXIS), selanjutnya dapat ditentukan tindak lanjt dari hasil program PLAXIS.
3. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan, tahap ini akan dilakukan penulisan kedalam laporan yang dimana berisi hasil-hasil yang telah didapatkan dari tahapan analisis, kemudian akan dihasilkan solusi dari masalah-masalah yang timbul dan diambil kesimpulan berdasarkan teori yang ada.

4.4 Analisis Data

Metode analisis data merupakan metode yang digunakan untuk menyederhanakan dan mempermudah dalam memahami data yang diperoleh. Data yang didapatkan kemudian dianalisis berdasarkan tahap pengerjaannya. Adapun data diperoleh sebagai berikut.

4.4.1 Parameter Tanah

Dalam analisis stabilitas lereng, parameter tanah merupakan input yang sangat penting, parameter tanah didapatkan berdasarkan data sekunder dari Laporan Analisa Geoteknikal Proyek Jalan Tol Cibtiung – Cilincing. Adapun input parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Data Parameter Tanah Lereng Timbunan

Nama		***Silty Clay***	***Sandy Silt***	***Sandy Silt***	***Clayey Sand* (Timbunan)**
Model	-	*MC*	*MC*	*MC*	*MC*
Jenis	-	*Drained*	*Drained*	*Drained*	*Undrained*
γ unsat	kN/m^3	14	18	20	16
γ sat	kN/m^3	16	20	22	19
Kx	m/hari	4,500E-05	4,300E-03	4,300E-03	0,1
Ky	m/hari	4,500E-05	4,300E-03	4,300E-03	0,1
E	kN/m^2	4000	20000	24000	11000
v	-	0,25	0,3	0,334	0,3
Kohesi (*c*)	kN/m^2	10,1043	79,37	85	10
Sudut geser (ϕ)	°	8	30	30	25
Sudut dilantasi (ψ)	°	0	0	0	0

Sumber: PT. Carina Griya Mandiri (2017)

4.4.2 Geotekstil

Nilai geotekstil sebagai *input* untuk program PLAXIS yaitu berupa nilai *normal stiffness (EA)* yang dapat dihitung dengan Persamaan 4.1 berikut ini.

$$EA = \frac{Fg}{\Delta l/_l} \quad (4.1)$$

Keterangan:

Fg = Kuat tarik ijin geotekstil (kN/m), dan

$\Delta l/_l$ = Regangan pada geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan produksi dari PT. Tekindo Geosistem. Geotekstil yang digunakan merupakan jenis *woven* atau geotekstil teranyam. Adapun data geotekstil dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Data Parameter Geotekstil *Woven* UW-250

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

Sumber: PT. Teknindo Geosistem

4.4.3 Beban Perkerasan dan Lalu Lintas

Beban perkerasan yang digunakan sebesar 10 kN/m² dari data sekunder, sedangkan untuk beban lalu lintas yang bekerja sebesar 15 kN/m². Beban lalu lintas dapat dilihat berdasarkan fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Data Parameter Beban Lalu Lintas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Sekunder	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

4.4.4 Variasi Pemodelan Timbunan

Variasi pemodelan timbunan yang dilakukan pada penelitian ini ditinjau dari beberapa tipe geometri, penambahan perkuatan dan jenis metode stabilitas kesetimbangan. Berikut ini variasi pemodelan timbunan tanpa perkuatan dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.4 Variasi Pemodelan Timbunan Tanpa Perkuatan

Variasi Beban	Tanpa Beban Gempa (Statis) Dengan Beban Gempa (Dinamis)
Variasi Geometri	Tanpa Trap
	1 Trap
	2 Trap

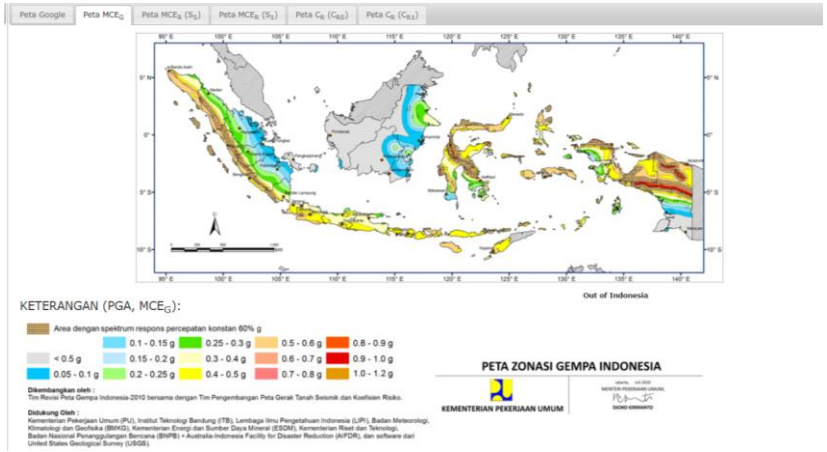
Berikut ini variasi pemodelan timbunan dengan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Variasi Pemodelan Timbunan dengan Perkuatan Tanah

Variasi Beban	Tanpa Beban Gempa (Statis) Dengan Beban Gempa (Dinamis)
Variasi Geometri	Tanpa Trap
	1 Trap
	2 Trap

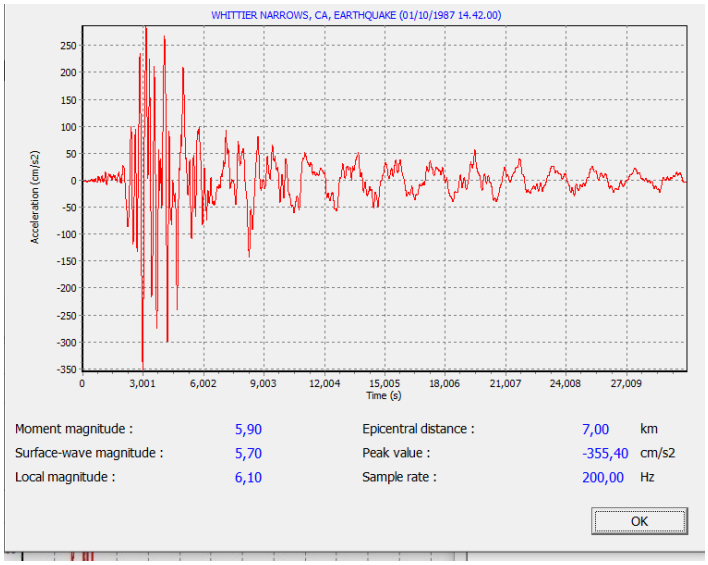
4.4.5 Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan dalam analisa stabilitas lereng ini merupakan beban gempa dinamik. Pada wilayah Bekasi memiliki percepatan puncak gempa (PGA) antara 0,3 – 0,4 g. Data yang sesuai dengan durasi gempa tersebut adalah data pada kawan American Canyon California pada tahun 2014 akhir yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,3938 g. Untuk waktu interval digunakan waktu 3,2 detik, waktu tersebut dianggap sudah melewati percepatan puncak gempa. Peta zonasi serta grafik hubungan antara percepatan gempa dan waktu gempa dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2 berikut ini.



Gambar 4.1 Peta Zonasi Gempa

(Sumber: puskim.pu.go.id, 2018)



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa

(Sumber: usgus.gov, 2018)

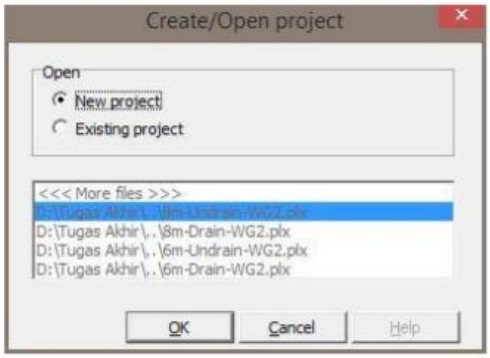
4.5 Pengoperasian Program PLAXIS

Analisis pada penelitian ini menggunakan program PLAXIS dilakukan dengan 3 tahapan, yaiutu PLAXIS *input*, PLAXIS *calculation* dan PLAXIS *Output*.

4.5.1 PLAXIS *Input*

1. Buka Program PLAXIS

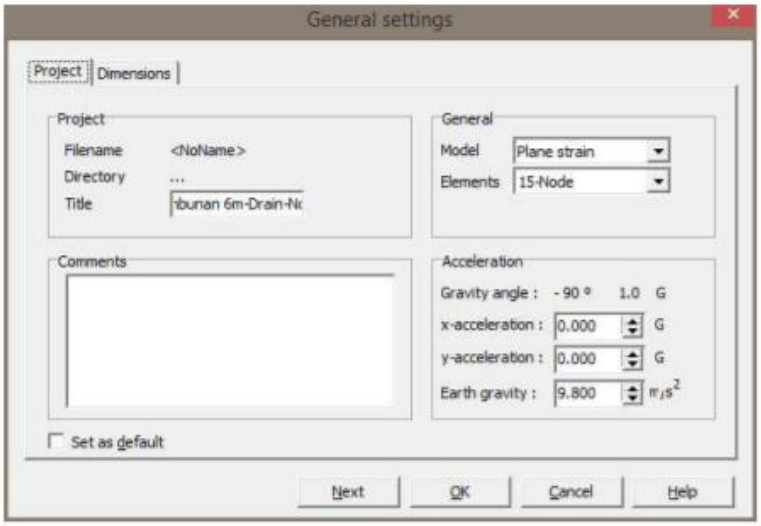
   Operasikan aplikasi PLAXIS dengan klik-ganda pada *icon* program PLAXIS *input.* Kemudian akan muncul kotak dengan pilihan *create/open project*, lalu pilih *new project* dan klik OK untuk membuat pekerjaan baru seperti pada Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3 Kotak Dialog *Create/Open Project*

2. *General Setting*

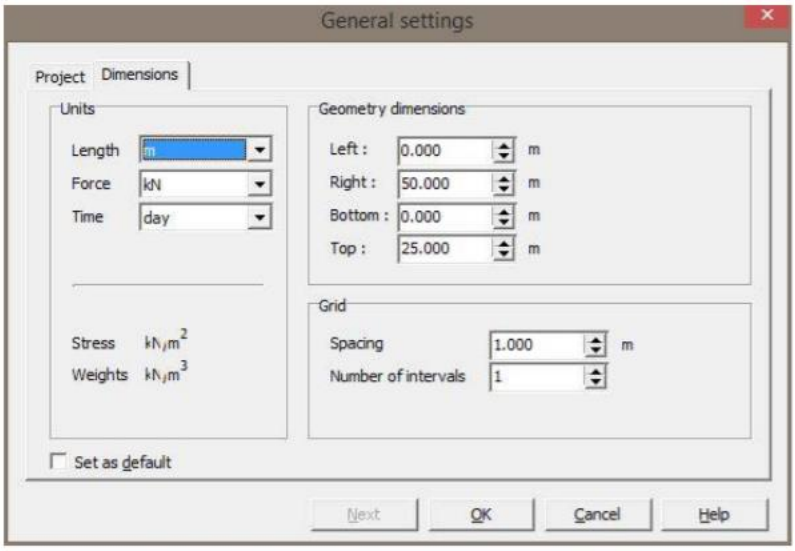
Pada pengaturan global *(general setting)* terdapat dua tab dialog, yaitu tab *project dan dimensions* seperti pada Gambar 4.4 di bawah. Pilihan lembar tab *project,* masukkan nama proyek yang akan dimodelkan pada kotak dialog *title.* Kemudian pilih analisis model *plane strain* (regangan bidang) pada kotak *general* dan pilih jenis elemen dasar *15-Node* untuk analisis dengan menghasilkan tegangan dan beban runtuh yang akurat.



Gambar 4.4 Tab Project dari Jendela General Setting

Dalam pilihan tab *geometry dimensions,* gunakan satuan pra-pilih dalam kotak *unit (Lenght = m, Force = kN, Time = day).* Dalam kotak *geometry dimensions,* ukuran dari bidang gambar harus diinput, saat menginput koordinat teratas dan terbawah dari geometri yang akan dibuat. PLAXIS akan menambahkan sebuah marjin kecil sehingga geometri akan berada pada bidang gambar. Kemudian masukkan 0,0; 50,0; 0,0; 25,0 masing-masing pada kotak isian *left, right, bottom,* dan *top* dalam kotak dialog. Kotak *Grid* beriskan nilai-nilai untuk mengatu spasi *grid*. *Grid* ini akan membentuk matriks titik-titik yang digunakan untuk memasukkan pengambaran tepat pada *grid* yang telah ada saat pembuatan model. Jarak antara titik ditentukan oleh nilai spasi. Kemudian

untuk *specing* masukkan nilai 1,0 dan 1 untuk *number of intervals.* Tampilan tab *geometry dimension* dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah.



Gambar 4.5 Tab Dimension dari Jendela General Setting

3. Pemodelan Geometri

   Dalam penggambaran model geometri dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut ini.

   a.  Pilih opsi *Geometry line* (telah diaktifkan)

   Posisikan kursor pada pusat koordinat. Letakkan kursor pada koordinat 0,0; 0,0 ini sebagai titik awal dalam pengambaran *geometry* setelah itu gambar geometri sesuai koordinat yang sudah ditentukan.

   b.  Klik tombol *standard fixities* pada *toolbar*.

   c.  Klik tombol *Distributed load-load system A* pada *toolbar*.

   Kemudian klik pada titik awal dan titik akhir pada geometri yang menerima beban, lalu klik kanan *mouse* untuk mengakhiri masukan beban merata. Masukkan nilai beban merata (10kN/m^2)

4. *Input* Parameter Material

   Untuk memasukkan data material pada program ini dapat dilakukan dengan menggunakan tombol *material sets* pada *toolbar* atau melalui pilihan yang tersedia dalam menu *materials.* Pilih tombol *material sets* pada *toolbar.*

   a. Klik pilihan (*new*) di sisi bawah dari jendela *material sets.* Sebuah kotak dialog akan muncul dengan tiga buah lembar-tab, yaitu *general, parameters, interface* (Lihat gambar 4.6 dan Gambar 4.7)

   b. Dalam kotak dialog *material sets* dalam lembar-tabs *general*, tuliskan "Silty Firm" dalam kotak *identification.*

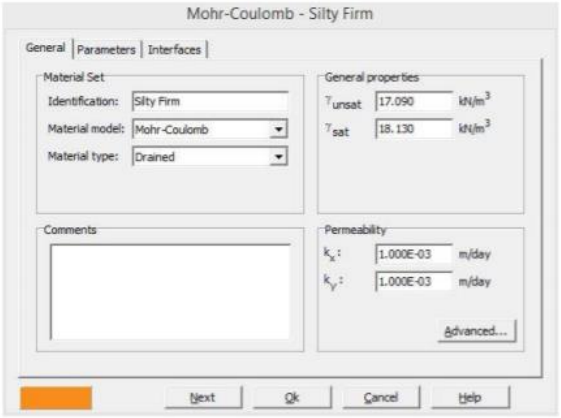
   c. Kemudian pilih *Mohr-coulomb* pada *combo box material model* dan *drained* pada *combo box material type.*

   d. Masukkan nilai yang akan diinput pada *general properties* dan pada kotak *permeability* sesuai dengan sifat material yang digunakan.

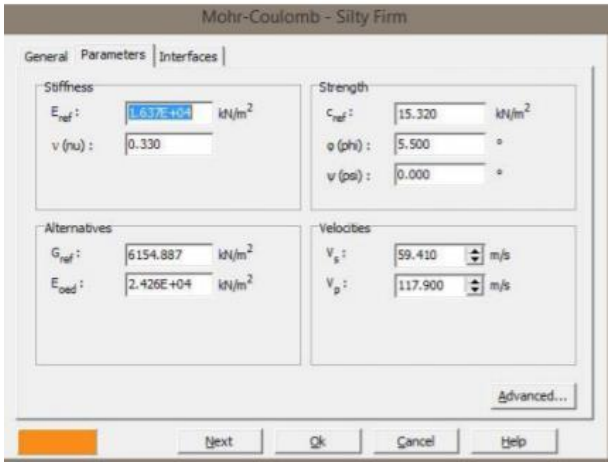
   e. Klik pada tab menu *parameters* ada empat lembar-tab dan masukkan nilai sesuai sifat material yang digunakan. Karena model geometri tidak menggunakan *interface*, maka lembar-tab ketiga dapat dilewati lalu klik OK untuk menyimpan material.

   f. Klik dan seret *(drag)* kumpulan data dari jendela *material sets* ke klaster tanah pada bidang gambar dan lepas di atasnya. Maka material sudah masuk dalam bidang gambar apabila bidang gambar berubah warna.

   g. Kemudian klik tombol OK pada jendela *material sets* untuk menutup basis data.



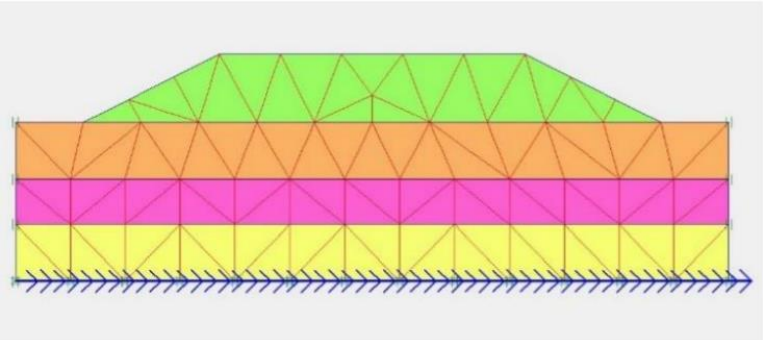
Gambar 4.6 Lembar *Tab General* dari Jendela *Material Sets*



Gambar 4.7 Lembar *Tab Parameters* dari Jendela *Material Sets*

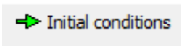
5. *Mesh Generation*

   Klik pilihan *Generate Mesh* pada *toolbar* atau pilih susunan dari menu *mesh.* Setelah penyusunan jaringan elemen maka setelah itu sebuah jendela baru akan terbuka dimana ditunjukkan jaringan elemen hingga yang terbentuk seperti Gambar 4.8. Kemudian klik tombol <perbarui> untuk kembali ke modus masukkan geometri.



Gambar 4.8 Jaringan Elemen Hingga *(Meshing)*

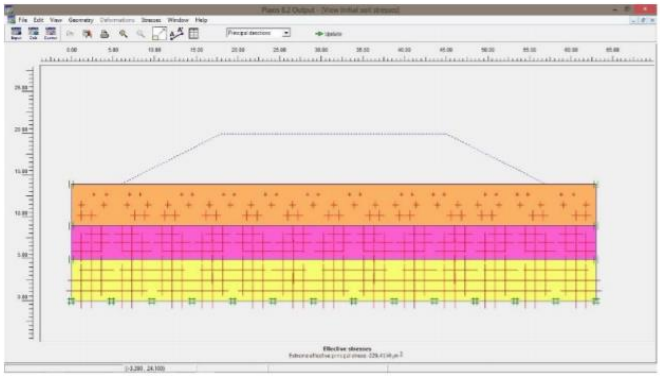
6. *Intial Condition*

   a. Klik tombol *initial conditions* pada *toolbar.* 

   b.  Karena proyek ini tidak mengikuti sertakan tekanan air, maka lanjutkan modus konfigurasi geometri awal dengan mengklik tombol

sebelah kanan dari "*switch"*. Garis freatik secara otomatis akan terletakan pada dasar geometri.

c. Klik pilihan *General intial stresses*  pada *toolbar*. Kotak dialog *Ko-procedure* akan muncul pilih OK seperti pada Gambar 4.9 berikut.



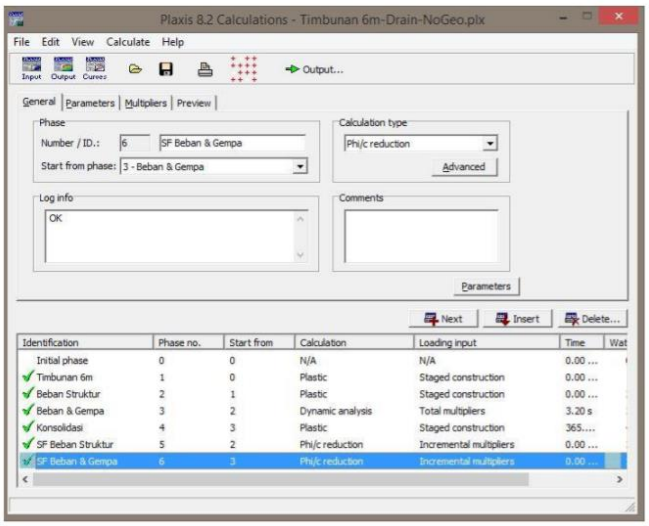
Gambar 4.9 Tegangan Awal Pada Geometri

d.

Kemudian klik *Calculate.*

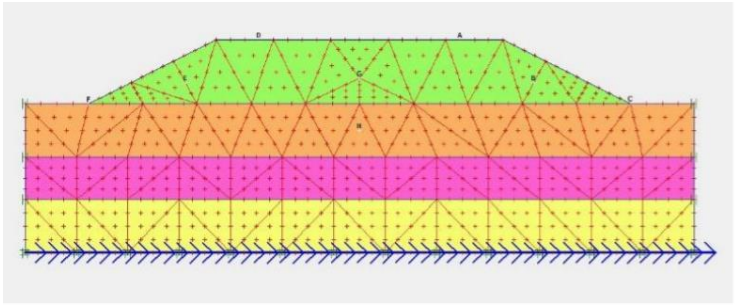
4.5.2 PLAXIS *Calculation*

Pada bagian *calculation* (Gambar 4.10) terdapat empat lembar tab yait *generate, parameters, mltipliers* dan *preview.* Dalam lembar tab *general,* pada *calculation type* dipilih *plastic analysis* yang digunakan untuk mengetahui besar *displacement* dari kondisi yang ditinjau, dipilih *phi/c reduction* untuk mengetahui pengaruh dari akibat gempa sedangkan pada lembar *tab parameters* dipilih *staged contruction* untuk *loading input.*



Gambar 4.10 Jendela *Calculations* dengan Lembar *Tab General*

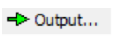
 Langkah berikutnya yaitu menentukan titik yang akan ditinjau untuk mengambarkan dalam tampilan kurva yaitu dengan mengklik tombol *select point for curve* seperti Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.11 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau

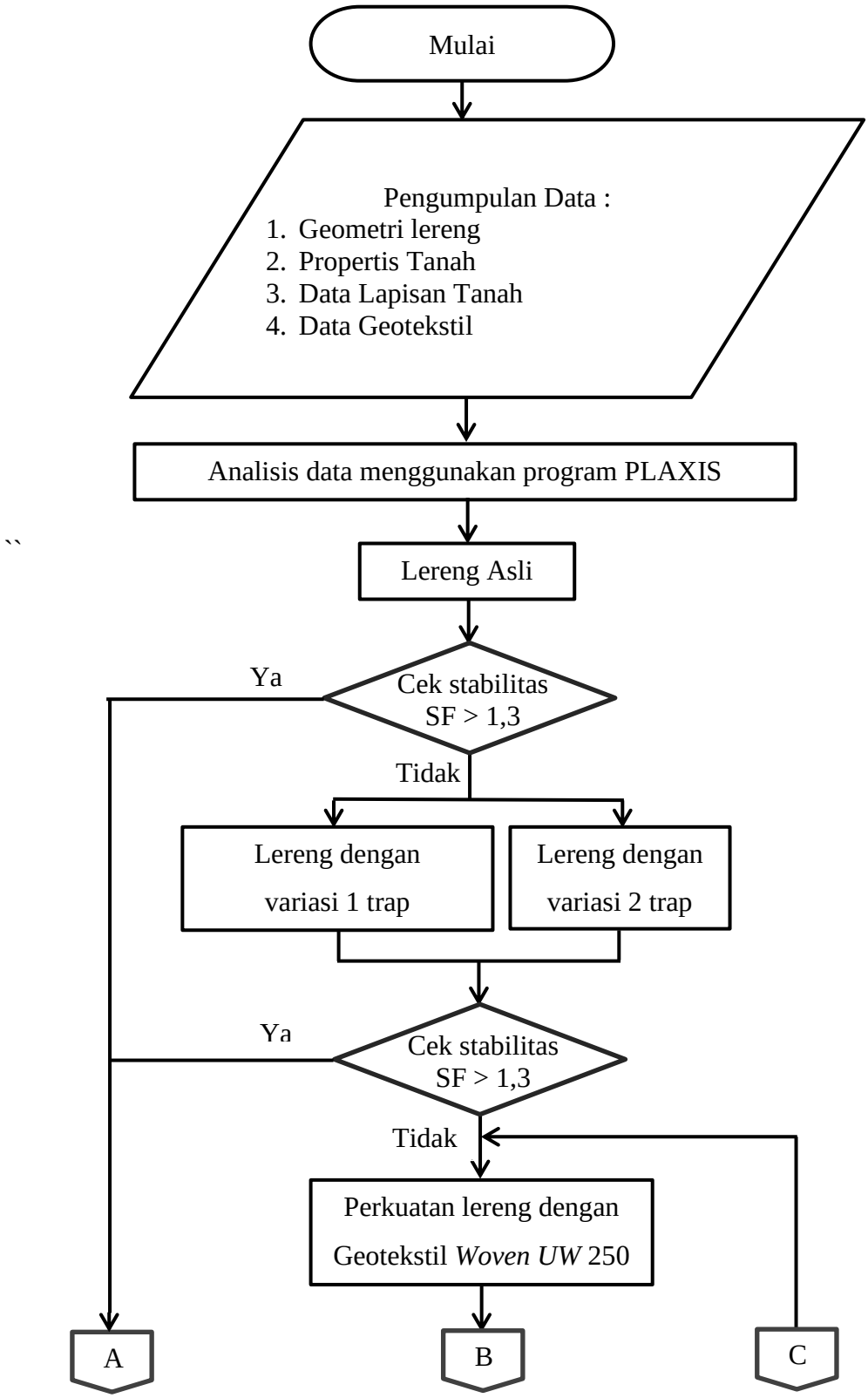
Kemudian langkah berikutnya yaitu klik tombol *calculation* untuk menjalankan analisis perhitungan.

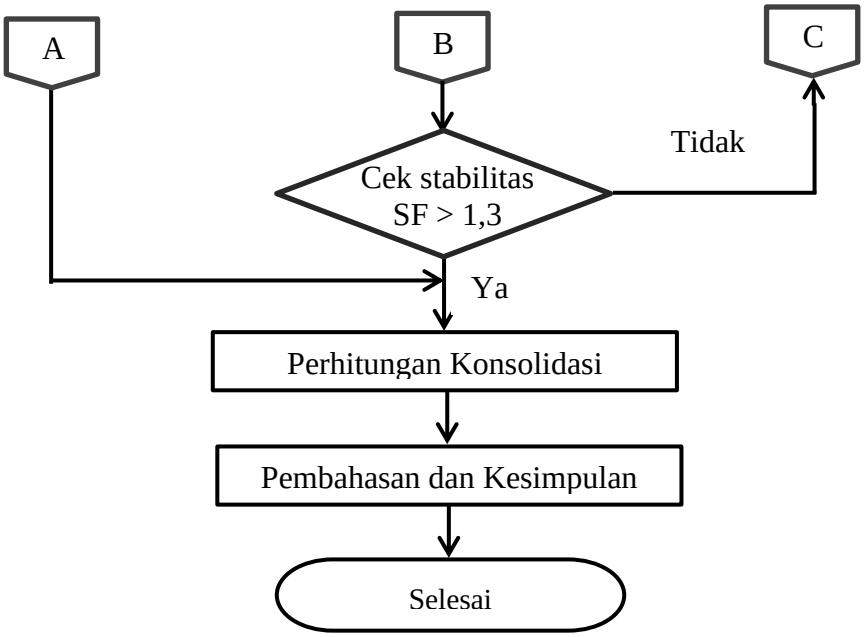
4.5.3 PLAXIS *Output*

Setelah tahap analisis perhitungan selesai, selanjutnya klik tombol *output*  untuk menampilkan hasil dari tahap perhitungan yang telah dilakukan.

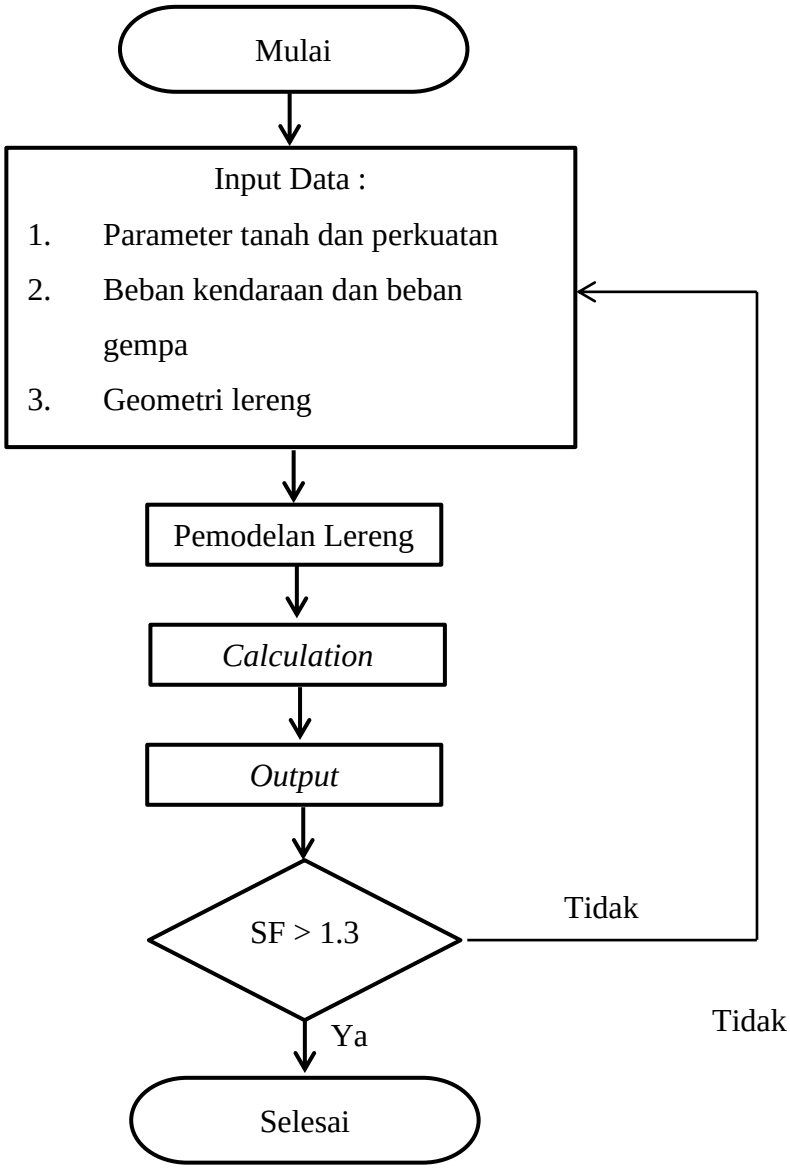
4.6 Bagan Alir Penelitian

Adapun Bagan Alir Penelitian atau *flowchart* penelitian dan Bagan Alir Pemodelan Lereng dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4 berikut ini.


Mulai
Pengumpulan Data :
1. Geometri lereng
2. Propertis Tanah
3. Data Lapisan Tanah
4. Data Geotekstil
Analisis data menggunakan program PLAXIS
Lereng Asli
Ya
Cek stabilitas
SF > 1,3
Tidak
Lereng dengan
variasi 1 trap
Lereng dengan
variasi 2 trap
Ya
Cek stabilitas
SF > 1,3
Tidak
Perkuatan lereng dengan
Geotekstil *Woven UW* 250
A
B
C



Gambar 4.12 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.13 Bagan Alir Pemodelan Lereng

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum Analisis

Kondisi lereng timbunan pada proyek jalan tol Cibitung – Cilincing di Sta 3+550 adalah tempat sebagai tempat studi kasus yang akan dilakukan penelitian ini. Lapisan tanah pada lokasi didominasi oleh tanah lempung dan lanau, dan lapisan tanah yang digunakan sampai lapisan ketiga pada kedalaman 16 meter. Sedangkan tanah yang digunakan untuk timbunan berupa tanah lempung berpasir yang dipadatkan. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kelongsoran pada lereng. Keruntuhan yang terjadi dapat disebabkan karena tanah timbunan sudah tidak mampu menahan gaya-gaya yang terjadi akibat beban pada saat timbunan sudah akan digunakan maupun saat pembuatan.

Analisis dilakukan menggunakan variasi trap mulai dari variasi 2 trap dan variasi 3 trap. Parameter beban yang digunakan adalah beban struktur dari perkerasan jalan dan beban lalu lintas. Pada lereng timbunan dengan angka aman yang belum memenuhi syarat angka aman, maka akan dilakukan perkuatan menggunakan tambahan geotekstil. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis dengan menggunakan perkuatan pada lereng timbunan yang tidak aman, sehingga dapat diketahui apakah tambahan geotekstil mampu menahan kelongsoran yang dapat terjadi dan meningkatkan nilai angka aman dari timbunan lereng jalan.

5.1.1 Data Analisis Program PLAXIS 8.6

Kondisi timbunan lereng sesuai dengan proyek tol Cibitung – Cilincing pada Sta. 3+550. Parameter tanah yang digunakan berdasarkan hasil laboratorium data tanah pada lokasi Sta. 3+550. Berikut adalah parameter tanah, beban-beban yang bekerja, perkuatan lereng yang digunakan, dan kondisi eksisting lereng.

1. Data parameter tanah

Data parameter tanah dapat dilihat dalam Bab IV pada Tabel 4.1.

2. Data beban struktur

Parameter beban yang digunakan pada perhitungan analisis dianggap memiliki beban merata akibat adanya beban struktur dari perkerasan jalan. Beban struktur yang dimasukkan merupakan beban dari perkerasan jalan. Berdasarkan data yang digunakan sebagai perhitungan analisis pada proyek Jalan Tol Cibitung – Cilincing, beban dari struktur lapis perkerasan sebesar 10 kN/m^2.

3. Data beban lalu lintas

Pada bagian *input* dalam program PLAXIS besar beban lalu lintas untuk stabilitas digunakan sebesar 15 kN/m^2, beban tersebut sesuai dengan data beban lalu lintas berdasarkan SE PUPR 42/SE/M/201. Pada klasifikasi jalan tol ini termasuk dalam tipe jalan arteri. Kemudian pada saat kondisi beban yang digunakan adalah dari struktur dan beban lalu lintas, maka digunakan beban sebesar 25 kN/m^2.

Tabel 5.1 Data Parameter Beban Lalu Lintas

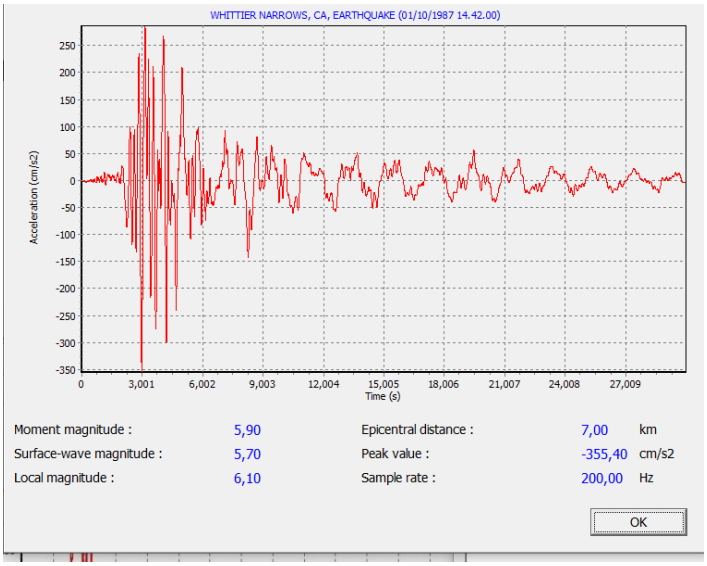
Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Sekunder	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

Sumber: Panduan Geoteknik 4 No. Pt T-10-2002-B (2002)

4. Data beban gempa

Wilayah bekasi memiliki percepatan puncak gempa (PGA) sebesar 0,3 – 0,4g. data gempa yang sesuai dengan nilai tersebut adalah data gempa di kawasan American Canyon California pada tahun 2014 akhir yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,3938 g. waktu interval gempa yang

dimasukkan kedalam PLAXIS diambil sebesar 3,2 detik dengan anggapan telah melewati puncak.



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Percepatan dan Waktu Gempa Whitter Narrows

(Sumber: www.usgs.gov, 2018)

5. Data geotekstil

Geotekstil yang digunakan adalah produksi dari PT. Tekindo Geosistem Unggul dengan jenis *woven* UW 250. Nilai kuat Tarik ijin dan regangannya yang diperoleh dari brosur produksinya, yaitu sebesar 52 kN/m^2 dan 20%. Maka nilai geotekstil yang dijadikan *input* ke dalam program PLAXIS *8.6* dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

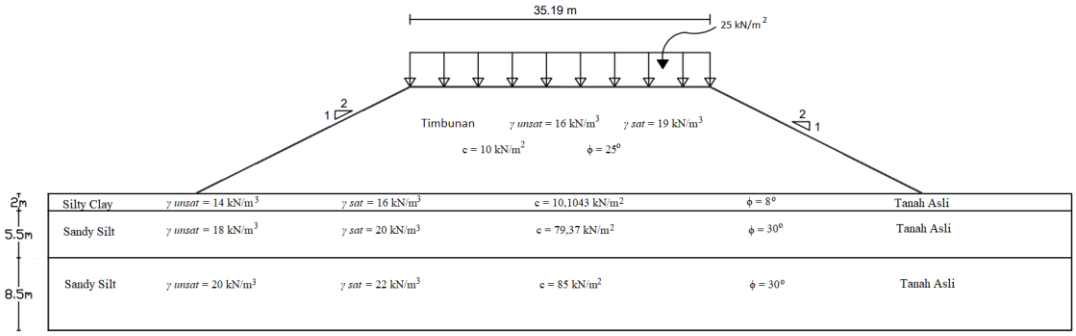
Tabel 5.2 Parameter Geotekstil *Woven* UW 250

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

Sumber: PT. Tekindo Geosistem Unggul (2020)

6. Kondisi Lereng Timbunan Tanah Asli

Timbunan dan data tanah yang sudah didapatkan datanya dapat diilustrasikan menjadi bentuk gambar. Kondisi eksisting timbunan dan jenis tanah asli setiap lapisan dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Geometri Kondisi Lereng Timbunan Tanah Asli

5.2 Lereng Timbunan Tanah Asli

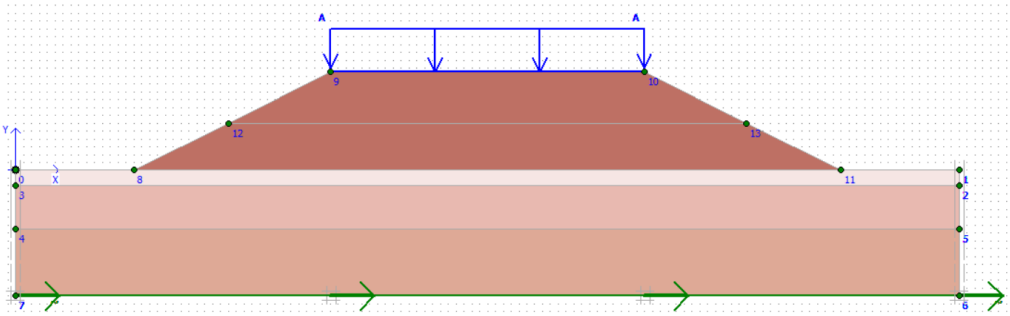
5.2.1 Analisis Menggunakan Program PLAXIS

Hasil analisis dari program PLAXIS 8.6 yang akan ditampilkan pada analisis ini adalah lereng tanah timbunan dengan tinggi 12,5m. Timbunan tanah berada diatas tanah asli yang terdiri dari 3 lapisan tanah dengan kedalaman 16m.

Pemodelan lereng menggunakan tanah asli yang ada pada lokasi proyek, serta pemodelan beban gempa dinamik dan beban merata. Lebar lereng sepanjang 89,87 meter yang akan difungsikan sebagai jalan T2 ol Cibitung – Cilincing Sta. 3+550. Titik koordinat yang akan di input ke dalam PLAXIS 8.6 disajikan pada Tabel 5.3 dan untuk pemodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.3

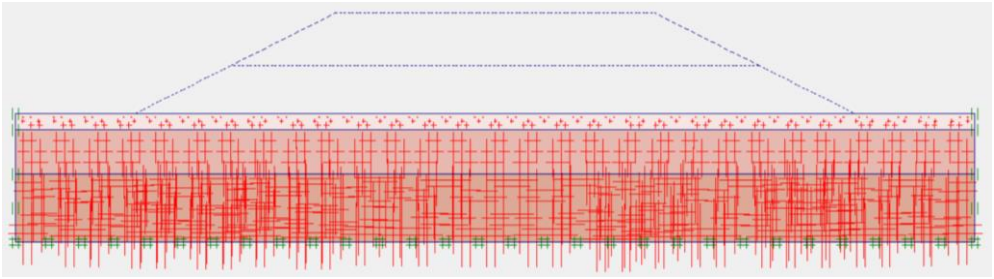
Tabel 5.3 Koordinat Lereng Timbunan 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan

No.	X (m)	Y (m)	No.	X (m)	Y (m)
1	0	0	10	0	-7,5
2	120	0	11	15	0
3	120	-2	12	29,804	7,369
4	0	-2	13	31,804	7,369
5	0	-7,5	14	42,404	12,549
6	120	-7,5	15	77,596	12,549
7	120	-2	16	88,196	7,369
8	120	-16	17	90,196	7,369
9	0	-16	18	104,934	0



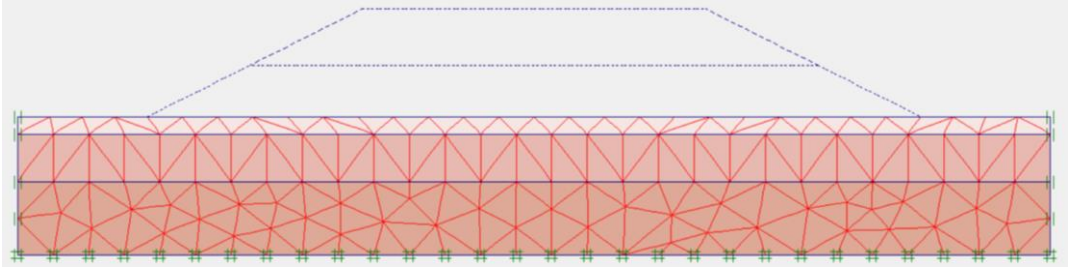
Gambar 5.3 Pemodelan Timbunan Lereng 12,5m Tanah Asli Tanpa Perkuatan

Kondisi Pemodelan timbunan lereng memiliki tinggi timbunan sebesar 12,5m. Tinggi timbunan tersebut dibagi per-6m menjadi dua karena pada saat penimbunan dilakukan secara bertahap. Tanah timbunan bersifat *undrained*. Beban merata yang di *input* sebesar 25 kN/m^2 akibat beban dari struktur perkerasan dan beban lalu lintas pada jalan. Kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*), setelah dilakukan input parameter tanah dan bahan pada pemodelan timbunan lereng. *Initial soil stresses* dan *generate* dilakukan terhadap lapisan tanah asli sebelum penimbunan karena pada dasarnya sebelum melakukan penimbunan, kondisi lapisan tanah asli harus diketahui terlebih dahulu . Hasil *initial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini.



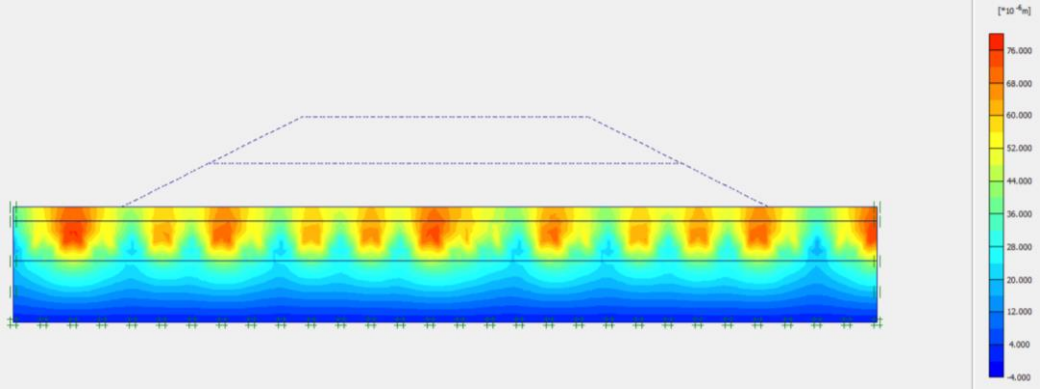
Gambar 5.4 *Initial Soil Stresses* pada Lereng Timbunan Tanah Asli Tanpa Perkuatan

Kemudian untuk analisis selanjut yaitu analisis perhitungan *(calculation)* tanah asli tanpa perkuatan mempunyai lima tahapan. Tahap pertama yaitu analisis tanah asli tanpa berat timbunan. Tahap kedua analisis tanah asli dengan beban timbunan setinggi 6m. Tahap ketiga analisis tanah asli dengan berat timbunan setinggi 12,5m. Tahap keempat yaitu analisis akibat beban struktur perkerasan jalan dan beban lalu lintas. Tahap kelima yaitu analisis akibat beban struktur jalan dan gempa. Tahap keenam yaitu analisis faktor keamanan *(SF)* akibat beban struktur perkerasan jalan dan lalu lintas. Tahap ketujuh yaitu analisis faktor keamanan *(SF)* akibat beban lalu lintas dan gempa. Adapun hasil untuk analisis tanah asli dapat dilihat dalam Gambar 5.5 sebagai berikut.



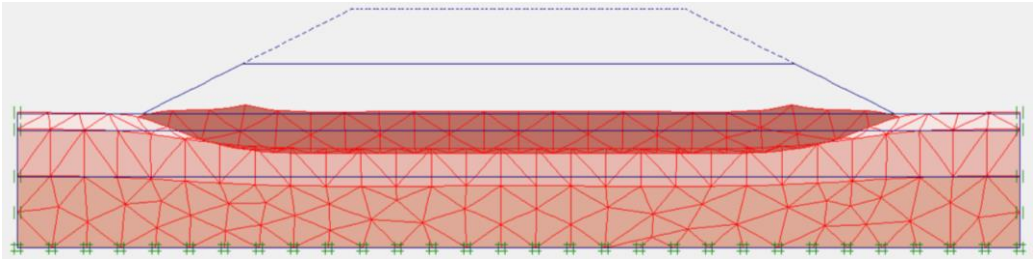
Gambar 5.5 *Deformed Mesh* Lereng Tanah Asli Tanpa Timbunan

Besarnya nilai total *displacement* pada tanah asli sebesar $76{,}33 \times 10^{-6}$ m. Adapun hasil total *displacement* pada tanah asli ini dapat dilihat pada Gambar 5.6.

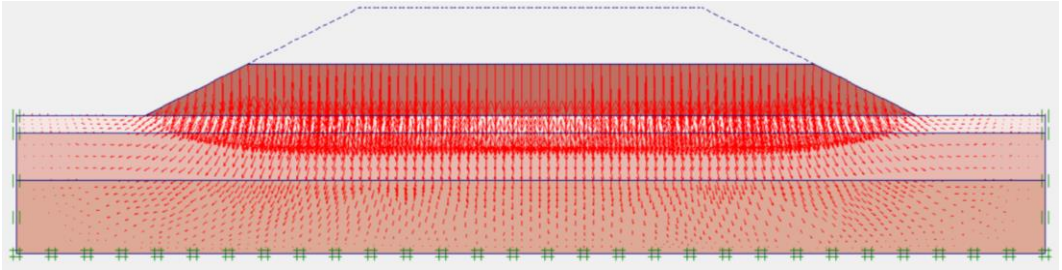


Gambar 5.6 *Total Displacement* Tanah Asli

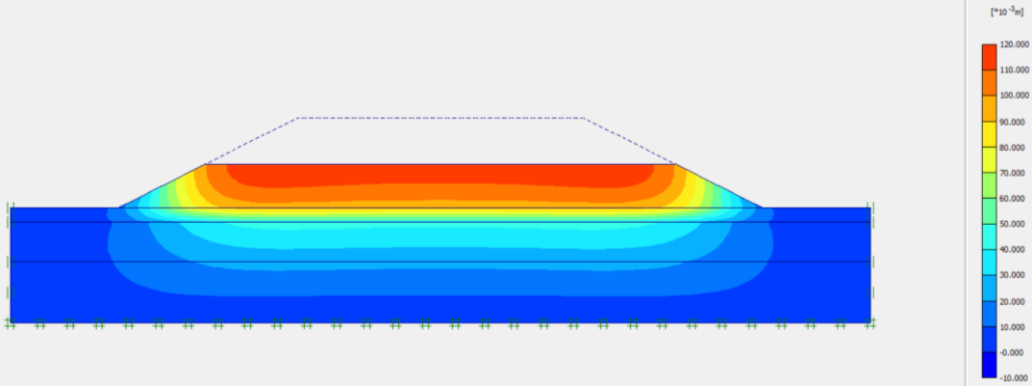
Selanjutnya dalam menganalisis tanah asli dengan beban timbunan setinggi 6m ini, untuk mengetahui lereng ini aman atau tidak dapat dilihat melalui nilai angka M_{stage} yang mana nilai ini menunjukkan nilai angka M_{stage} sebesar 1,0 yang dapat dikatakan aman. Kemudian untuk nilai total *displacement* yang didapatkan sebesar $115{,}98 \times 10^{-3}$ m. Adapun hasil *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan hasil total *displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.8 (a) dan Gambar 5.8 (b).



Gambar 5.7 *Deformed mesh* Tanah Asli Dengan Tinggi Timbunan 6m

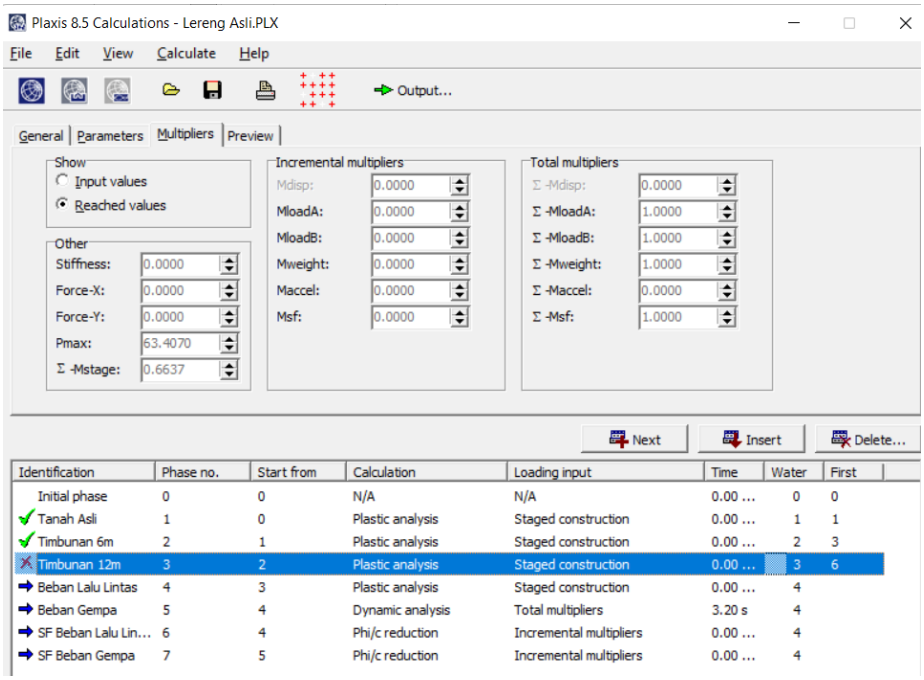


Gambar 5.8 (a) Arah Pergerakan Tanah Asli Dengan Tinggi Timbunan 6m

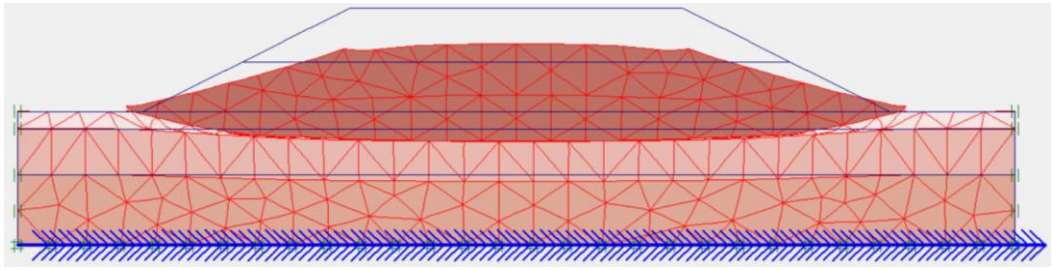


Gambar 5.8 (b) *Total Displacement* Tanah Asli Dengan Tinggi Timbunan 6m

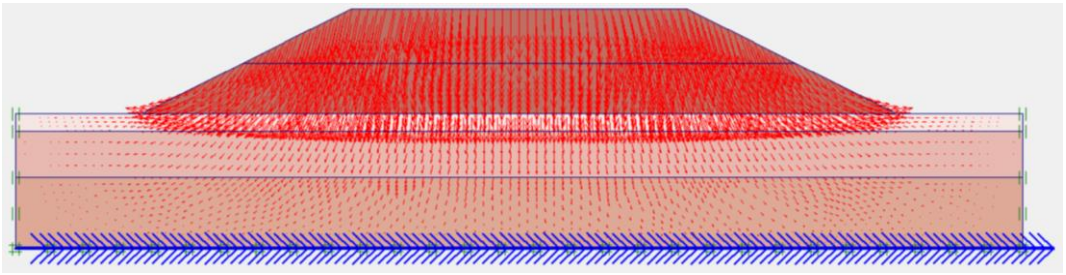
Selanjutnya untuk analisis pada tanah asli dengan tinggi timbunan 12,5m memiliki nilai angka M_{stage} sebesar 0,663 seperti pada Gambar 5.9 di bawah. Nilai tersebut menunjukkan beban yang mampu diterima oleh tanah sebesar 66,3% dari beban timbunan. Kondisi tersebut dapat dikatakan tidak aman atau *collapse* karena tidak dapat mencapai angka 1 untuk nilai M_{stage} tersebut. Kemudian untuk nilai total *displacement* yang didapat sebesar $258{,}88 \times 10^{-3}$ m. Hasil *deformed mesh* pada tanah asli dengan tinggi timbunan 12,5m ini dapat dilihat pada Gambar 5.10 dan hasil total *displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.11 (a) dan Gambar 5.11 (b).



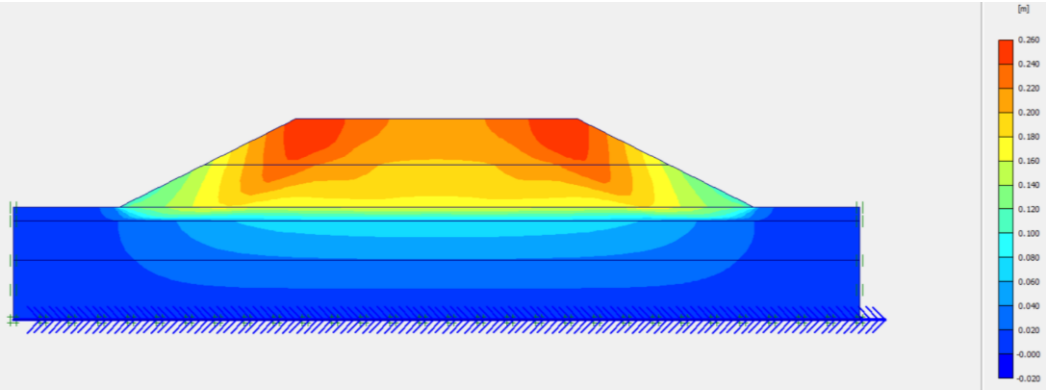
Gambar 5.9 Nilai M_{stage} Tanah Asli Dengan Tinggi Timbunan 12,5m



Gambar 5.10 *Deformed Mesh* Tanah Asli Dengan Tinggi Timbunan 12,5m



Gambar 5.11 (a) Arah Pergerakan Tanah Asli Dengan Tinggi Timbunan 12,5m

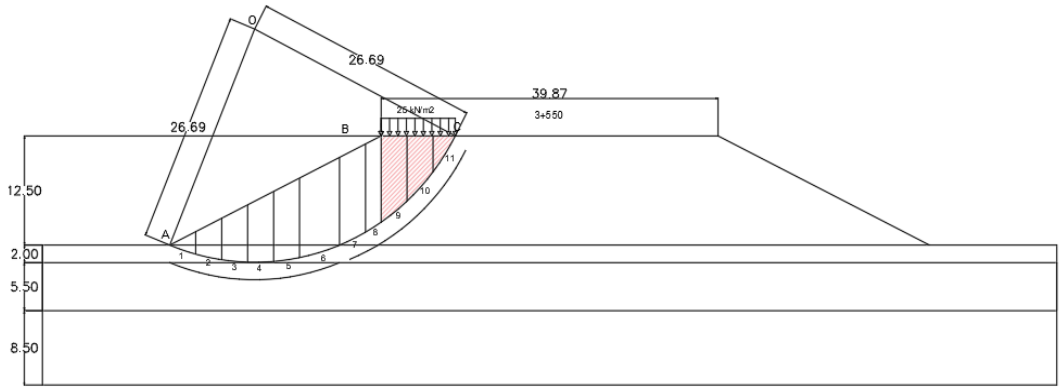


Gambar 5.11 (b) *Total Displacement* Tanah Asli Dengan Tinggi Timbunan 12,5m

Berdasarkan hasil dari ketiga analisis diatas, untuk menganalisis ke tahap perhitungan timbunan dengan beban struktur lalu lintas dan beban gempa tidak dapat dilakukan karena pada analisis tanah asli dengan tinggi timbunan 12,5m terjadi *collapse* sehingga lereng tersebut butuh perbaikan dan perkuatan.

5.2.2 Perhitungan Manual Dengan Metode *Fellenius*

Analisis dengan program PLAXIS 8.6 pada tanah asli dengan tinggi timbunan 12,5m tidak menunjukkan nilai angka aman sesuai syarat aman pada timbunan lereng jalan, maka digunakan perhitungan manual dengan metode *fellenius* untuk membandingkan dan mengkonfirmasi nilai angka aman lereng tersebut. Dari program PLAXIS didapatkan garis potensi kelongsoran pada Gambar 5.12. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa garis potensi kelongsorannya terbentuk hingga kaki lereng dengan R (jari-jari) 26,69 m yang didapatkan dari program *Geoslope* dan pada perhitungan ini akan dibagi menjadi 11 pias irisan. Gambar potongan tiap pias pada lereng dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Analisis Stabilitas Sta. 3+550 dengan Metode *Fellenius*

Bidang longsor pada perhitungan ini akan dibagi menjadi 11 irisan. Panjang total dari bidang longsor arah horizontal adalah 26,69 m, maka di setiap piasnya akan mempunyai panjang horizontal 26,69/11 = 2,42 m. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan stabilitas lereng menggunakan metode *fellenius.*

1. Mengukur panjang bidang longsor yang terjadi pada setiap pias (L). Rekapitulasi bidang longsor untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5.5.
2. Perhitungan berat irisan tanah

   $W_i = \gamma \; x \; A_i$

   Untuk irisan yang terdapat beban diatasnya, maka berat dari irisan dapat diperhitungkan dengan rumus berikut.

   $W_i = (\gamma \; x \; A_i) + (q \; x \; L)$

   Dimana nilai q merupakan besarnya beban jalan (kN/m^2) dan nilai L merupakan lebar irisan yang terkena beban (m).

   Kemudian di bawah ini merupakan contoh perhitungan mencari berat irisan tanah dari irisan 1 dan irisan 11 untuk badan jalan tanpa perkuatan. Untuk hasil perhitungan berat irisan 1 sampai 11 dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

   $W_1 = \gamma \; x \; A_1 = ((14 \; x \; 1{,}695) + (16 \; x \; 2{,}356))$ = 61,426 kN

   $W_{11} = (\gamma \; x \; A_1) + (q \; x \; L) = (16 \; x \; 5{,}782) + (25 \; x \; 2{,}63) = 92577{,}75$ kN
3. Mengukur besar sudut (α) dan radians setiap pias irisan pada bidang longsor. Rekapitulasi besar sudut pada bidang longsor untuk setiap pias irisan dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Rad_1 = $\alpha\ x\ \frac{\pi}{180}$

= -19 x $\frac{\pi}{180}$

= -0,33161

Rad_{11} = $\alpha\ x\ \frac{\pi}{180}$

= 57 x $\frac{\pi}{180}$

= 0,994838

4. Menghitung nilai W sin α untuk setiap pias.

   Pias 1 = W x sin α

   = 61,426 x sin (-19)

   = -19,998 kN/m

   Pias 11 = W x sin α

   = 92577,75 x sin (57)

   = 77,587 kN/m

   Rekapitulasi hasil perhitungan W sin α untuk setiap pias dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

5. Menghitung nilai W cos α untuk setiap pias.

   Pias 1 = W x cos α

   = 61,426 x cos (-19)

   = 58,079 kN/m

   Pias 11 = W x cos α

   = 92577,75 x cos (57)

   = 50,385 kN/m

   Rekapitulasi hasil perhitungan W cos α untuk setiap pias arisan dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Berdasarkan hasil pengukuran dari geometri timbunan yang ada didapatkan panjang garis lengkung pada tanah lapis 1 (A-B) sebesar 20,6 m, dan panjang garis lengkung pada tanah lapis 2 (B-C) sebesar 19,05 m. Setelah panjang garis lengkung diketahui, maka dilanjutkan dengan menghitung nilai tahanan kelongsoran yang dikerahkan oleh komponen kohesi adalah sebagai berikut.

$\sum ciai$ = (10 x 19,05) + (10,1043 x 20,6)

= 398,64858 kN/m

Nilai tahanan longsoran oleh komponen gesekan pada kedua lapisan adalah sebagai berikut.

$W_i \cos\theta - Ui\ x \tan\varphi$ = (1974,389 x tan(25)) + (1164,915 x tan(8)

= 1084,391 kN/m

Pada lereng timbunan jalan terdapat beban merata yang dihasilkan dari beban lalu lintas dan beban perkerasan sebesar 25 kN/m^2. Maka gaya yang dihasilkan dari beban merata tersebut diperhitungkan sebagai gaya yang menggerakan tanah. Perhitungan gaya tersebut adalah sebgai berikut.

Pq = (q x A)

= (25 x 8,77)

= 219,25 kN

Rekapitulasi dari hasil perhitungan manual tanpa nilai muka air tanah dengan metode Fellenius dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Metode *Fellenius*

No Irisan	Soil Layer	Area (m^2)	Weight Wi (kN)	θ (°)	Radian	Wi.cos θ (kN)	Wi.sin θ (kN)	Wi.cos θi - Ui (kN)
1	1	2,356	37,696	-19	-0,33161	58,079	-19,998	58,079
	2	1,695	23,730					
2	1	7,069	113,104	-12	-0,20944	168,914	-35,903	168,914
	2	4,256	59,584					
3	1	11,781	188,496	-5	-0,08727	266,633	-23,327	266,633
	2	5,654	79,156					
4	1	16,494	263,904	2	0,034907	263,826	9,213	263,826
	2	5,95	83,3					
5	1	21,206	339,296	8	0,139626	407,461	57,264	407,461
	2	5,155	72,170					
6	1	41,976	671,616	17	0,296706	692,676	211,772	692,676
	2	3,765	52,710					
7	1	31,040	496,640	26	0,453786	446,377	217,712	446,377
8	1	18,429	294,864	32	0,558505	250,058	156,254	250,058
9	1	26,793	428,688	38	0,663225	337,810	263,926	337,810
10	1	18,061	288,976	47	0,820305	197,081	211,343	197,081
11	1	5,782	92,512	57	0,994838	50,385	77,587	50,385
TOTAL						3139,305	1125,845	

6. Menghitung nilai *safety factor* (SF) pada Sta. 3+550

   Nilai *safety factor* atau angka keamanan pada lereng timbunan asli dengan perhitungan manual menggunakan Metode *Fellenius* adalah sebagai berikut.

$$SF = \frac{(\sum ciai) + ((Wi \cos\theta - Ui)\ x \tan\ \varphi)}{(Wi \sin\alpha) + (Beban\ x\ Luas)}$$

$$= \frac{(398{,}64858 + 1084{,}391)}{(1125{,}845 + 219{,}25)}$$

$$= 0{,}762$$

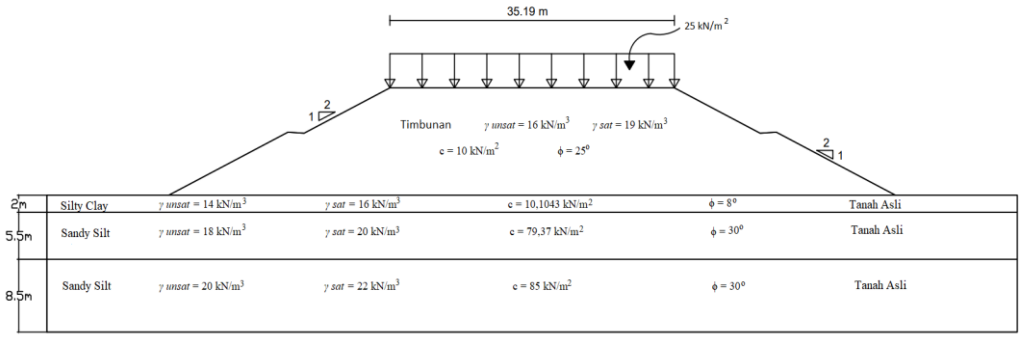
Nilai faktor keamanan yang dihasilkan badan jalan tanpa perkuatan dengan metode *Fellenius* secara perhitungan manual, dimana tidak memperhitungkan pengaruh beban gempa yaitu sebesar 0,762. Hasil tersebut sama-sama menunjukkan tidak aman dengan analisis menggunakan program PLAXIS. Jadi untuk timbunan lereng tanah asli ini membutuhkan perbaikan dan perkuatan.

5.3 Analisis Perhitungan Timbunan Dengan Variasi Penambahan Trap

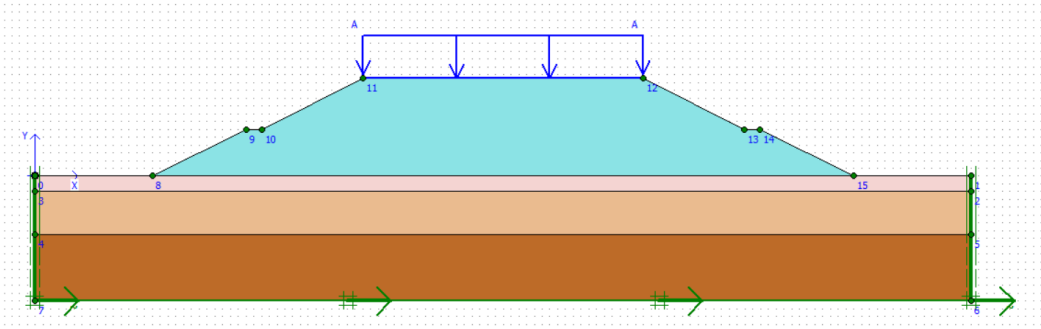
Analisis stabilitas timbunan pada sub bagian ini adalah variasi penambahan trap pada timbunan hingga 2 trap sebagai berikut.

5.3.1 Timbunan Dengan Penambahan Variasi 1 Trap

Timbunan dengan penambahan variasi 1 trap merupakan salah satu metode perbaikan dalam perhitungan lereng timbunan agar lereng tanah asli ini dapat dikatakan aman. Permodelan timbunan variasi 1 trap ini menggunakan tinggi timbunan 12,5m dan tinggi trap yang dimodelkan adalah 6m dari muka tanah asli. Adapun permodelan timbunan dengan variasi 1 trap ini dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan Gambar 5.14 berikut.

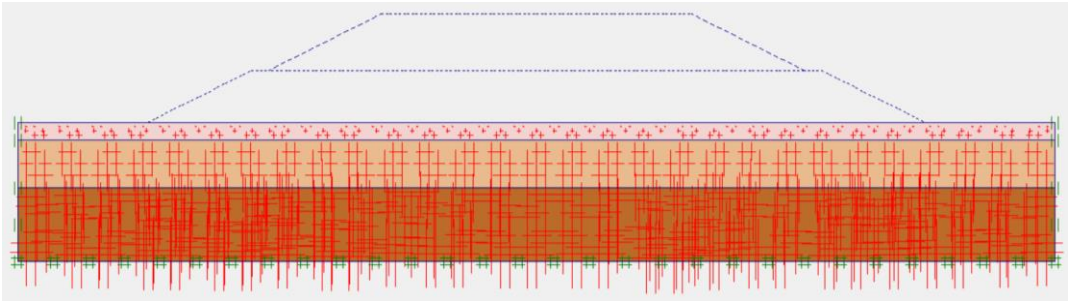


Gambar 5.13 Lereng Timbunan Dengan Variasi 1 Trap



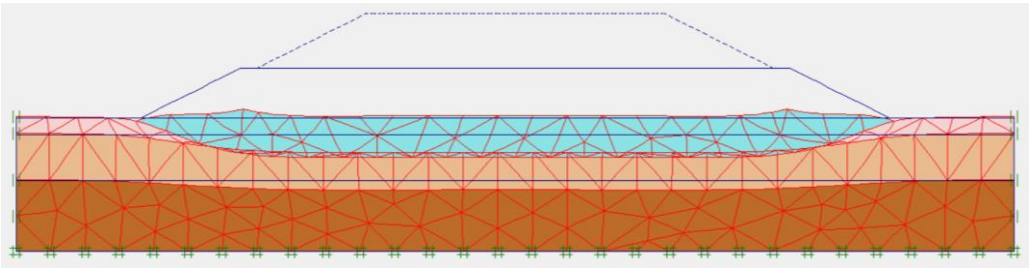
Gambar 5.14 Permodelan Lereng Timbunan Dengan Variasi 1 Trap

Pada tahap selanjutnya ini sedikit berbeda dengan sebelumnya, hanya saja pada permodelan ini tidak perlu menganalisis lagi lapisan tanah asli nya karena kondisi lapisan tanah asli yang akan dipakai itu akan sama untuk permodelan variasi lainnya. Untuk tahap pertama yang harus dianalisis terlebih dahulu adalah tanah asli dengan timbunan setinggi 6m. tahap kedua analisis tanah asli dengan tinggi timbunan 12,5m. Kemudian untuk tahapan analisis perhitungan dengan beban struktur lalu lintas dan beban gempa sama dengan tahapan di permodelan sebelumnya. *Initial soil condition* dapat dilihat pada Gambar 5.15 sebagai berikut.

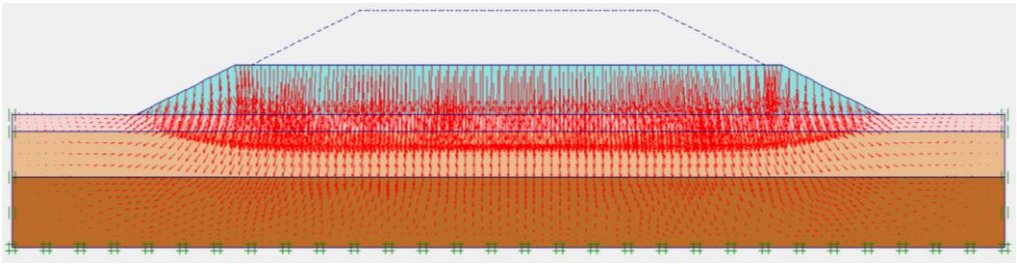


Gambar 5.15 *Initial Condition* Tanah Asli Dengan Variasi 1 Trap

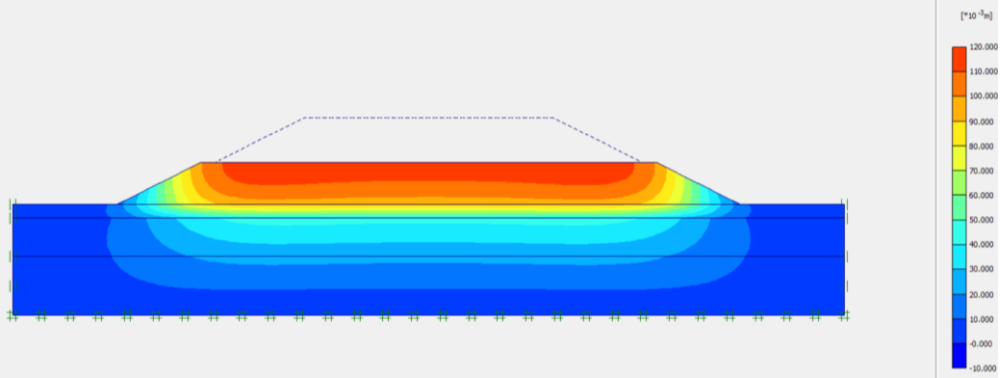
Pada analisis tanah asli dengan timbunan 6m memiliki nilai M_{stage} sebesar 1,0 yang mana dapat dikatakan aman. Selanjutnya untuk nilai total *displacement* yang didapat sebesar $115{,}98 \times 10^{-3}$ m. Hasil *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.16 dan hasil total *displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.17 (a) dan Gambar 5.17 (b).



Gambar 5.16 *Deformed Mesh* Lereng Tanah Asli Dengan Timbunan 6m

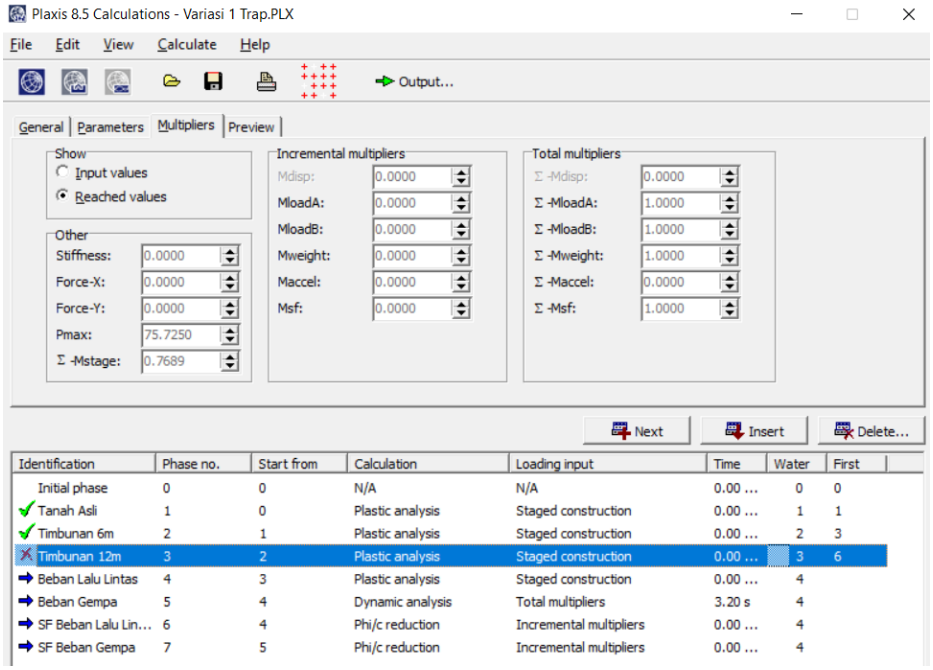


Gambar 5.17 (a) Arah Pergerakan Tanah Asli Dengan Timbunan 6m

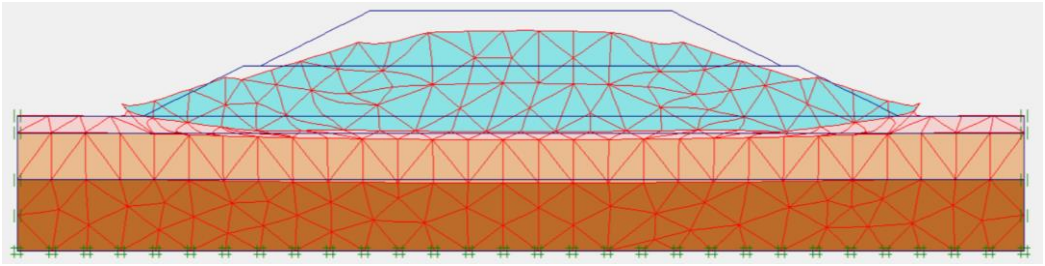


Gambar 5.17 (b) *Total Displacement* Lereng Tanah Asli dengan Timbunan 6m

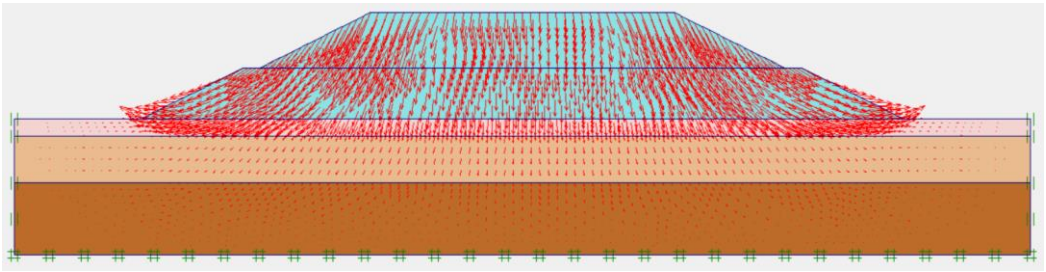
Selanjutnya untuk analisis lereng timbunan dengan variasi 1 trap memiliki nilai M_{stage} sebesar 0,768 seperti pada Gambar 5.18 di bawah, yang mana angka ini menjelaskan terjadinya *collapse.* Kemudian untuk nilai total *displacement* yang didapat sebesar 427,34x10^{-3} m. Hasil *deformed mesh* ini dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan hasil total *displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.20 (a) dan Gambar 5.20 (b).



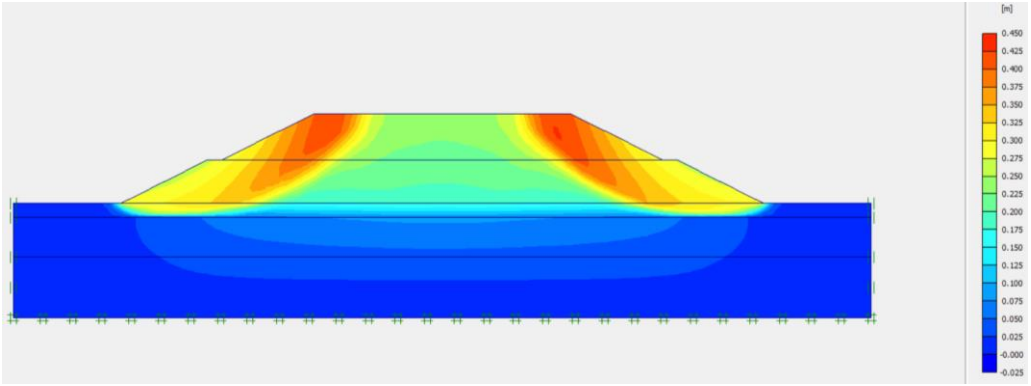
Gambar 5.18 Nilai M_{stage} Lereng Timbunan Dengan Variasi 1 Trap



Gambar 5.19 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Dengan Variasi 1 Trap



Gambar 5.20 (a) Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Dengan Variasi 1 Trap

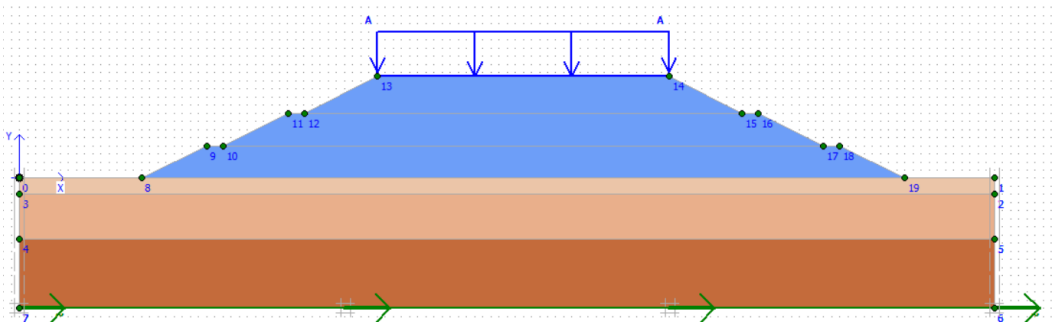


Gambar 5.20 (b) *Total Displacement* Lereng Timbunan Dengan Variasi 1 Trap

Dari hasil diatas, untuk menganalisis ke tahap perhitungan beban tidak dapat dilakukan karena pada lereng tanah timbunan dengan variasi 1 trap terdapat terjadinya *collapse* atau tidak aman. Namun, dengan perhitungan *fellenius* didapatkan nilai SF sebesar 0,84 yang mana perhitungan ini dapat dilihat pada Lampiran 5. Maka dari itu lereng timbunan dengan variasi 1 trap ini butuh perbaikan.

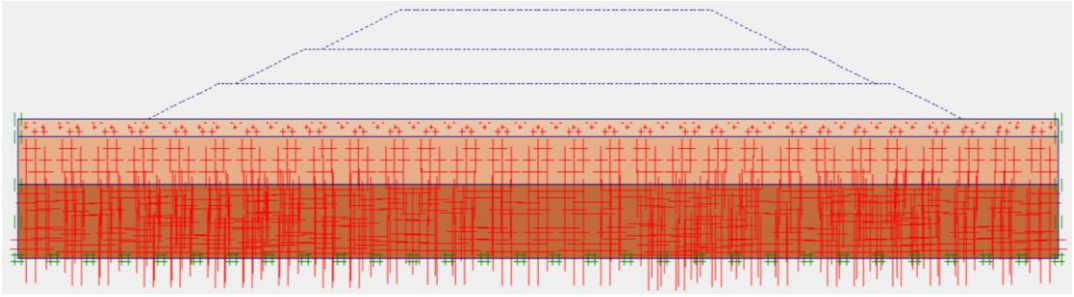
5.3.2 Timbunan Dengan Penambahan Variasi 2 Trap

Timbunan dengan penambahan variasi 2 trap merupakan sebuah perbaikan yang dibuat untuk meningkatkan stabilitas lereng timbunan agar lereng timbunan ini menjadi aman. Timbunan dengan variasi 2 trap ini menggunakan tinggi timbunan 12,5m dan untuk tinggi trap yang dimodelkan adalah 4m untuk trap pertama dan 8m untuk trap kedua dari tinggi muka tanah asli. Adapun permodelan timbunan dengan variasi 2 trap ini dapat dilihat pada Gambar 5.21.



Gambar 5.21 Permodelan Lereng Timbunan Dengan Variasi 2 Trap

Pada perhitungan tahap selanjutnya ini sama dengan bagian sebelumnya. Kemudian untuk tahap perhitungan analisis dengan penambahan beban struktur lalu lintas dan beban gempa sama seperti yang sudah dijelaskan pada permodelan sebelumnya. Untuk *initial soil condition* lereng timbunan dengan variasi 2 trap ini dapat dilihat pada Gambar 5.22 sebagai berikut.

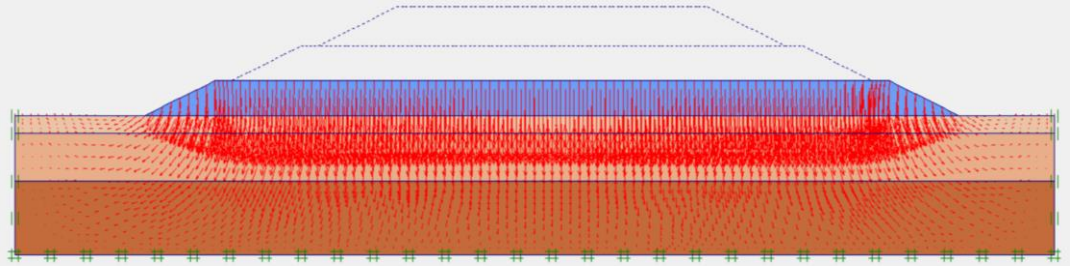


Gambar 5.22 *Initial Condition* Lereng Timbunan Dengan Variasi 2 Trap

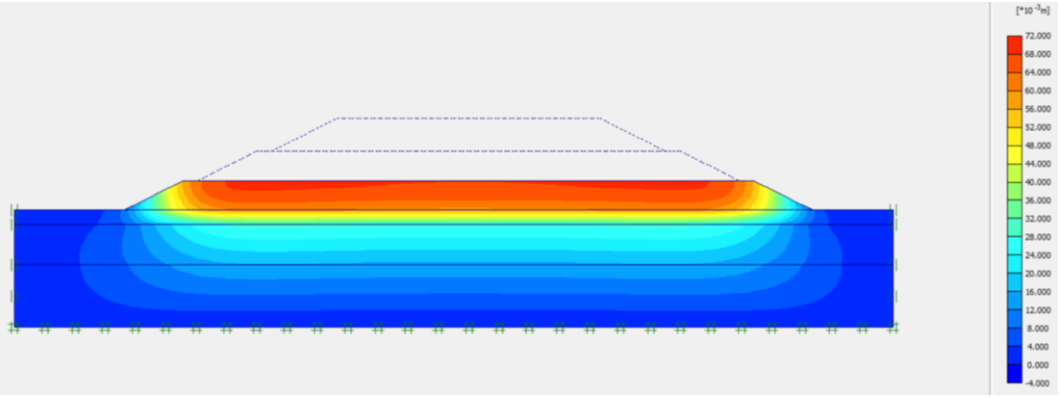
Pada timbunan dengan tinggi 4m memiliki nilai angka M_{stage} sebesar 1,0 dan untuk nilai total *displacement* didapatkan sebesar 69,16x10^{-3} m. Untuk hasil *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.23 dan hasil total *displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.24 (a) dan Gambar 5.24 (b)



Gambar 5.23 *Deformed Mesh* Lereng Tanah Asli Dengan Timbunan 4m



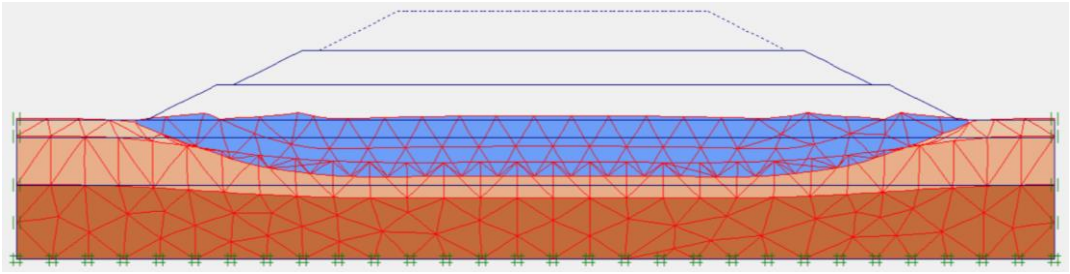
Gambar 5.24 (a) Arah Pergerakan Tanah Asli Dengan Timbunan 4m



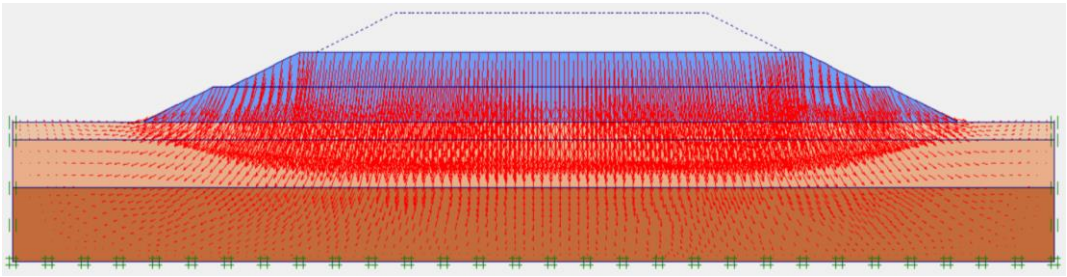
Gambar 5.24 (b) *Total Displacement* Lereng Tanah Asli Dengan Timbunan 4m

Selanjutnya untuk analisis lereng tanah asli dengan timbunan 8m memiliki nilai M_{stage} sebesar 1,0 dan nilai total *displacement* yang didapat sebesar

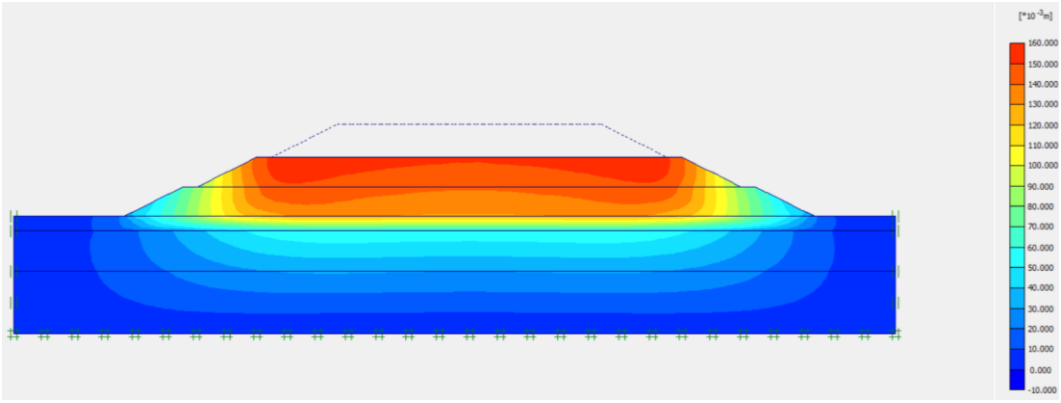
157,42x10^{-3} m. Hasil *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.25 dan hasil total *displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.26 (a) dan Gambar 5.26 (b).



Gambar 5.25 *Deformed Mesh* Lereng Tanah Asli Dengan Timbunan 8m



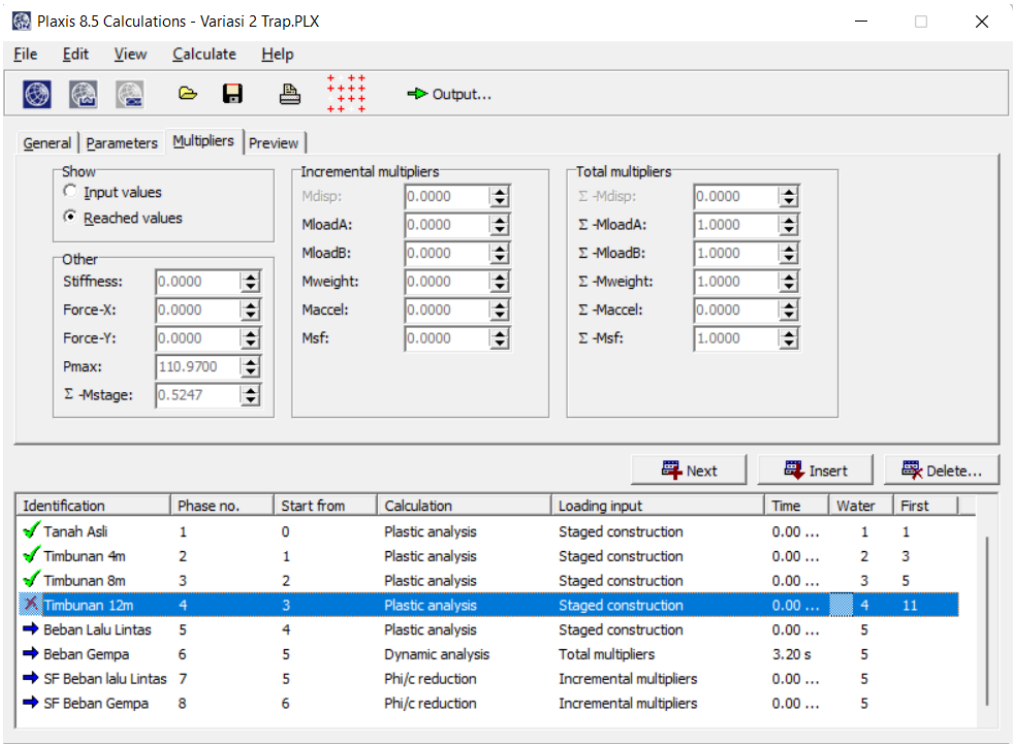
Gambar 5.26 (a) Arah Pergerakan Tanah Asli Dengan Timbunan 8m



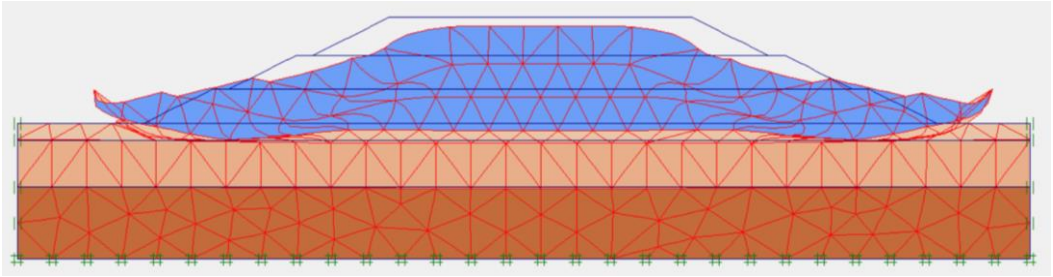
Gambar 5.26 (b) *Total Displacement* Lereng Tanah Asli Dengan Timbunan 8m

Selanjutnya analisis lereng timbunan dengan variasi 2 trap memiliki nilai M_{stage} sebesar 0,524 seperti pada Gambar 5.27 di bawah. Angka ini menunjukkan lereng timbunan tidak aman atau *collapse*. Untuk nilai total

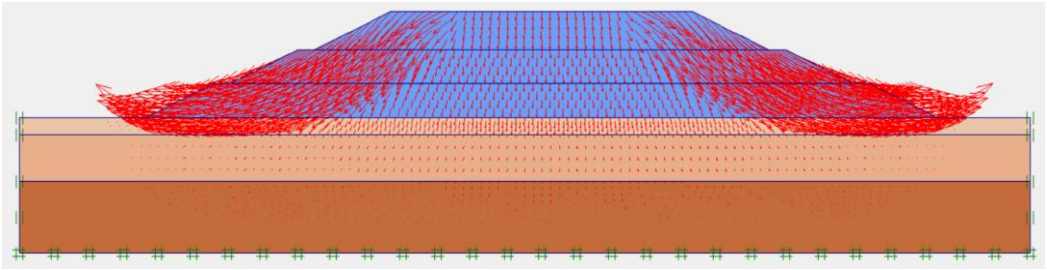
displacement didapatkan sebesar 1,54m. Hasil dari *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.28 dan hasil total *displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.29 (a) dan Gambar 5.29 (b).



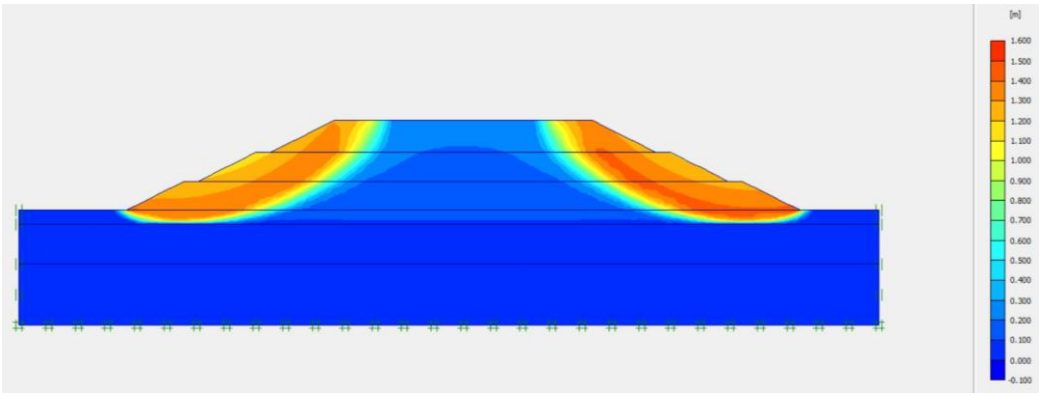
Gambar 5.27 Nilai M_{stage} Lereng Timbunan Dengan Variasi 2 Trap



Gambar 5.28 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Dengan Variasi 2 Trap



Gambar 5.29 (a) Arah Pergerakan Tanah Asli Dengan Variasi 2 Trap



Gambar 5.29 (b) *Total Displacement* Lereng Timbunan Dengan Variasi 2 Trap

Berdasarkan dari hasil analisis diatas, untuk melanjutkan ke tahap perhitungan beban lalu lintas dan beban gempa tidak dapat dilakukan karena dari permodelan lereng timbunan dengan variasi 2 trap terjadi *collapse*. Namun dengan perhitungan *fellenius* dapat diketahui nilai SF tersebut sebesar 0,85 yang mana perhitungan ini dapat dilihat pada Lampiran 6. Oleh karena itu, lereng ini perlu adanya perbaikan dan penambahan perkuatan.

5.4 Perhitungan Kebutuhan Geotekstil

5.4.1 Data Perhitungan Geotekstil

1. Parameter Tanah Timbunan

   Parameter tanah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.1 diatas

2. Data Geotekstil

   Pada analisis perhitungan ini menggunakan jenis geotekstil *woven* yang digunakan sebagai perkuatan pada timbunan tanah. Data geotekstil yang

digunakan berasal dari produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan jenis geotekstil yang digunaan adalah *woven UW*-250. Nilai kuat tarik pada geotekstil yang digunakan sebesar 52 kN/m dan nilai regangannya yang digunakan adalah sebesar 20%. Data geotekstil yang akan diinput kedalam aplikasi PLAXIS yaitu berupa nilai *normal stiffness* (EA) yang dihitung sebagai berikut.

$$EA = \frac{Fg}{\Delta l / l}$$
$$= \frac{52}{0{,}2}$$
$$= 260 \text{ kN/m}$$

Perhitungan kuat tarik *allowable* geotekstil sebagai berikut dengan angka aman SF = 2.

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{SF_{geo}}$$
$$= \frac{52}{2}$$
$$= 26 \text{ kN/}m^2$$

Data parameter geotekstil yang digunakan sebagai perhitungan dan *input* kedalam program PLAXIS dapat dilihat Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Data Geotekstil *Woven* UW-250

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tarik Ultimit	T_{ult}	52	kN/m
Regangan	ε	20	%
Kekakuan normal	*EA*	260	kN/m
Kuat tarik *allowable*	T_{all}	26	kN/m

Sumber: PT. Tekindo Geosistem Unggul (2020)

3. Koefisien daya dukung tanah

Pada analisis perhitungan kebutuhan geotekstil dibutuhkan data koefisien daya dukung tanah. Data koefisien daya dukung tanah pada penelitian ini menggunakan data yang didapatkan dari departemen pekerjaan umum (2009).

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

Tabel 5.6 Koefisien Daya Dukung Tanah

φ	N_c	N_q	N_γ	φ	N_c	N_q	N_γ
10	8,85	2,47	1,22	26	22,25	11,85	12,54
11	8,80	2,71	1,44	27	23,94	13,20	14,47
12	9,28	2,97	1,69	28	25,80	14,72	16,72
13	9,81	3,26	1,97	29	27,86	16,44	19,34
14	10,37	3,59	2,29	30	30,14	18,40	22,40
15	10,98	3,94	2,65	31	32,67	20,63	25,90
16	11,63	4,34	3,06	32	35,49	23,18	30,22
17	12,34	4,77	3,53	33	38,64	26,09	35,19
18	13,10	5,26	4,07	34	42,16	29,44	41,06
19	13,93	5,80	4,68	35	46,12	33,30	48,03
20	14,83	6,40	5,39	36	50,59	37,75	56,31
21	15,82	7,07	6,20	37	55,63	42,92	66,19
22	16,88	7,82	7,13	38	61,35	48,93	78,03
23	18,05	8,66	8,20	39	37,87	55,96	92,25
24	19,32	9,60	9,44	40	75,31	64,20	109,41
25	20,72	10,66	10,8	41	83,86	73,90	130,22

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

5.4.2 Stabilitas Eksternal

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

   Perhitungan koefisien aktif tanah sebagai berikut.

$$Ka = \tan\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$Ka = \tan\left(45 - \frac{25}{2}\right)$$

$$= 0{,}40586$$

   a. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 2m

$$\sigma hc = (q\ x\ Ka) + (Ka\ x\ H\ x\ \gamma b) - (2\ x\ c\ x\ \sqrt{Ka})$$

$$= (25 \text{ x } 0{,}40586) + (0{,}40586 \text{ x } 2 \text{ x } 16) - (2 \text{ x } 10 \text{ x } \sqrt{0{,}40586})$$

$$= 10{,}3925 \text{ kN/}m^2$$

$SV = \frac{T_{all}}{\sigma hc \; x \; SF}$

$= \frac{26}{10{,}3925 \; x \; 1{,}5}$

= 1,668 m (dipakai 1m)

Banyak lapis geotekstil = 2m / 1m = 2 lapis (dipakai 1 lapis)

Pada penelitian untuk timbunan lereng 2m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

b. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 4m

$\sigma hc = (q \; x \; Ka) + (Ka \; x \; H \; x \; \gamma b) - (2 \; x \; c \; x \; \sqrt{Ka})$

= (25 x 0,40586) + (0,40586 x 4 x 16) – (2 x 10 x $\sqrt{0{,}40586}$)

= 23,38 kN/m^2

$SV = \frac{T_{all}}{\sigma hc \; x \; SF}$

$= \frac{26}{23{,}38 \; x \; 1{,}5}$

= 0,741 m (dipakai 0,5m)

Banyak lapis geotekstil = 2m / 0,5m = 4 lapis (dipakai 1 lapis)

Pada penelitian untuk timbunan lereng 4m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

c. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 6m

$\sigma hc = (q \; x \; Ka) + (Ka \; x \; H \; x \; \gamma b) - (2 \; x \; c \; x \; \sqrt{Ka})$

= (25 x 0,40586) + (0,40586 x 6 x 16) – (2 x 10 x $\sqrt{0{,}40586}$)

= 36,3675 kN/m^2

$SV = \frac{T_{all}}{\sigma hc \; x \; SF}$

$= \frac{26}{36{,}3675 \; x \; 1{,}5}$

= 0,477 m (dipakai 0,5m)

Banyak lapis geotekstil = 2m / 0,5m = 4 lapis (dipakai 1 lapis)

Pada penelitian untuk timbunan lereng 6m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

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

$$\sigma hc = (q\ x\ Ka) + (Ka\ x\ H\ x\ \gamma b) - (2\ x\ c\ x\ \sqrt{Ka})$$

= (25 x 0,40586) + (0,40586 x 8 x 16) – (2 x 10 x $\sqrt{0,40586}$)

= 49,355 kN/m^2

$$SV = \frac{T_{all}}{\sigma hc\ x\ SF}$$

$$= \frac{26}{49{,}355\ x\ 1{,}5}$$

= 0,351 m (dipakai 0,5m)

Banyak lapis geotekstil = 2m / 0,5m = 4 lapis (dipakai 1 lapis)

Pada penelitian untuk timbunan lereng 8m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

e. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 10m

$$\sigma hc = (q\ x\ Ka) + (Ka\ x\ H\ x\ \gamma b) - (2\ x\ c\ x\ \sqrt{Ka})$$

= (25 x 0,40586) + (0,40586 x 10 x 16) – (2 x 10 x $\sqrt{0,40586}$)

= 62,342 kN/m^2

$$SV = \frac{T_{all}}{\sigma hc\ x\ SF}$$

$$= \frac{26}{62{,}342\ x\ 1{,}5}$$

= 0,278 m (dipakai 0,5m)

Banyak lapis geotekstil = 2m / 0,5m = 4 lapis (dipakai 1 lapis)

Pada penelitian untuk timbunan lereng 10m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

f. Jarak arah vertikal minimum lapis geotekstil (SV) timbunan 12,5m

$$\sigma hc = (q\ x\ Ka) + (Ka\ x\ H\ x\ \gamma b) - (2\ x\ c\ x\ \sqrt{Ka})$$

= (25 x 0,40586) + (0,40586 x 12,5 x 16) – (2 x 10 x $\sqrt{0,40586}$)

= 78,577 kN/m^2

$SV = \frac{T_{all}}{\sigma hc \; x \; SF}$

$= \frac{26}{78,577 \; x \; 1,5}$

= 0,221 m (dipakai 0,5m)

Banyak lapis geotekstil = 2m / 0,5m = 4 lapis (dipakai 1 lapis)

Pada penelitian untuk timbunan lereng 12,5m akan digunakan geotekstil sebanyak 1 lapis.

2. Menentukan panjang geotekstil

a. Stabilitas terhadap guling

$SF = \frac{\sum MR}{\sum MD} = \frac{Momen\ Menahan}{Momen\ Menggulingkan} \geq 1,5$

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

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

$SF = \frac{\left(\frac{1}{2} x \; 25 \; x \; L^2\right)+\left(\frac{1}{2} x \; 16 \; x \; 12,5 \; x \; L^2\right)}{(25 \; x \; 0,4058 \; x \; 12,5^2)+\left(\frac{1}{2} x \; 0,4058 \; x \; 16 \; x \; 12,5^2 \; x \frac{1}{3} x \; 12,5\right)-\left(2 \; x \; 10 \; x \; \sqrt{0,4058} \; x \frac{1}{2} x \; 12,5^2\right)}$

$SF = \left(\frac{112,5 \; x \; L^2}{1911,12}\right)$

$L^2 = \frac{1911,12 \; x \; 1,5}{112,5}$ = 25,4816 m

L = 5,04793 m

Panjang geotekstil untuk menahan guling pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 5 m.

b. Stabilitas terhadap geser

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

Tahanan geser pada dasar perkuatan ($\delta = {}^{2}/_{3} \; x \; 25 = 16,667$)

$SF = \frac{(25 \; x \tan(16,667) x \; L)+ (12,5 \; x \; 16 \; x \tan(16,667) x \; L)}{(25 \; x \; 0,4058 \; x \; 12,5)+(0,5 \; x \; 0,4058 \; x \; 16 \; x \; 12,5^2)-(2 \; x \; 10 \; x \; \sqrt{0,4058} \; x \; 12,5)}$

$SF = \frac{67,3606 \; x \; L}{474,886}$

L $= \frac{474{,}886\ x\ 1{,}5}{67{,}3606} = 10{,}5749$ m

Panjang geotekstil untuk menahan geser pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 11 m.

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

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

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

$\frac{L}{6} \geq \frac{1911{,}12}{(12{,}5\ x\ 16\ x\ L)+(25\ x\ L)}$

$\frac{L}{6} \geq \frac{1911{,}12}{225\ x\ L}$

$L^2 = 50{,}9631\ m$

L = 7,13885 m

Panjang geotekstil untuk menahan eksentrisitas pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 7 m.

d. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

Nc = 20,72

Nγ = 10,8

$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{(H\ x\ \gamma b) + q}$

$\sigma_{ult} = [(c\ x\ Nc)+(0{,}5\ x\ L\ x\ \gamma b\ x\ N\gamma)]\ x\ SF$

$\sigma_{ult} = [(10\ x\ 20{,}72)+(0{,}5\ x\ L\ x\ 16\ x\ 10\ x\ 10{,}8)]\ x\ 1{,}5$

$\sigma_{ult} = 310{,}8+(129{,}6\ x\ L)$

$L \leq \frac{310{,}8+(129{,}6\ x\ L)}{(12{,}5\ x\ 16)+25}$

$225{,}8\ L \leq 310{,}8 + (129{,}6\ x\ L)$

$L = \frac{310{,}8}{225{,}8-129{,}6}$

L = 3,23077 m

Panjang geotekstil untuk menahan daya dukung tanah pada timbunan tanah yang diambil sepanjang 3 m.

Dari keempat jenis parameter stabilitas lereng tanah diatas, panjang geotekstil yang digunakan secara minimum sebesar 11 m. Untuk panjang kebutuhan geotekstil lereng dengan tinggi timbunan yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Kebutuhan Panjang Geotekstil

Tinggi Timbunan (H)	Stabilitas Guling	Stabilitas Geser	Stabalitas Eksentrisitas	Stabilitas Daya Dukung Tanah	Panjang Minimum (L)
2 m	0,427	0,685	0,604	-4,28	1
4 m	1,278	2,340	1,808	-7,655	3
6 m	2,153	4,195	3,045	-36,1	5
8 m	3,039	6,125	4,298	13,282	7
10 m	3,930	8,091	5,558	5,610	9
12,5 m	5,047	10,57	7,138	3,230	11

5.4.3 Stabilitas Internal

1. Panjang *overlapping* geotekstil
   a. Timbunan 2m

$$Lo = \frac{\sigma hc \; x \; SV \; x \; SF}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Lo = \frac{10{,}393 \; x \; 1 \; x \; 1{,}5}{2 \; x \; 16 \; x \; 2 \; x \; \tan 25} = 0{,}522 \text{ m (dipakai 1m)}$$

   b. Timbunan 4m

$$Lo = \frac{\sigma hc \; x \; SV \; x \; SF}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Lo = \frac{10{,}393 \; x \; 0{,}5 \; x \; 1{,}5}{2 \; x \; 16 \; x \; 4 \; x \; \tan 25} = 0{,}293 \text{ m (dipakai 1m)}$$

   c. Timbunan 6m

$$Lo = \frac{\sigma hc \; x \; SV \; x \; SF}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Lo = \frac{10{,}393 \; x \; 0{,}5 \; x \; 1{,}5}{2 \; x \; 16 \; x \; 6 \; x \; \tan 25} = 0{,}3046 \text{ m (dipakai 1m)}$$

   d. Timbunan 8m

$$Lo = \frac{\sigma hc \; x \; SV \; x \; SF}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Lo = \frac{10{,}393 \; x \; 0{,}5 \; x \; 1{,}5}{2 \; x \; 16 \; x \; 8 \; x \; \tan 25} = 0{,}3100 \text{ m (dipakai 1m)}$$

   e. Timbunan 10m

$$Lo = \frac{\sigma hc \; x \; SV \; x \; SF}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Lo = \frac{10{,}393 \; x \; 0{,}5 \; x \; 1{,}5}{2 \; x \; 16 \; x \; 10 \; x \; \tan 25} = 0{,}3133 \text{ m (dipakai 1m)}$$

f. Timbunan 12,5m

$$Lo = \frac{\sigma hc \; x \; SV \; x \; SF}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Lo = \frac{10{,}393 \; x \; 0{,}5 \; x \; 1{,}5}{2 \; x \; 16 \; x \; 12{,}5 \; x \; \tan 25} = 0{,}3160 \text{ m (dipakai 1m)}$$

2. Panjang efektif geotekstil

a. Timbunan 2m

$$Le = \frac{SF \; x \; SV \; x \; Ka \; x \; \gamma b \; x \; H}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Le = \frac{1{,}5 \; x \; 1 \; x \; 0{,}4058 \; x \; 16 \; x \; 2}{2 \; x \; 16 \; x \; 2 \; x \tan 25} = 0{,}6 \; m$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

b. Timbunan 4m

$$Le = \frac{SF \; x \; SV \; x \; Ka \; x \; \gamma b \; x \; H}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Le = \frac{1{,}5 \; x \; 0{,}5 \; x \; 0{,}4058 \; x \; 16 \; x \; 4}{2 \; x \; 16 \; x \; 4 \; x \tan 25} = 0{,}33 \; m$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

c. Timbunan 6m

$$Le = \frac{SF \; x \; SV \; x \; Ka \; x \; \gamma b \; x \; H}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Le = \frac{1{,}5 \; x \; 0{,}5 \; x \; 0{,}4058 \; x \; 16 \; x \; 6}{2 \; x \; 16 \; x \; 4 \; x \tan 25} = 0{,}33 \; m$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

d. Timbunan 8m

$$Le = \frac{SF \; x \; SV \; x \; Ka \; x \; \gamma b \; x \; H}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Le = \frac{1{,}5 \; x \; 0{,}5 \; x \; 0{,}4058 \; x \; 16 \; x \; 8}{2 \; x \; 16 \; x \; 4 \; x \tan 25} = 0{,}33 \; m$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

e. Timbunan 10m

$$Le = \frac{SF \; x \; SV \; x \; Ka \; x \; \gamma b \; x \; H}{2 \; x \; \gamma b \; x \; H \; x \tan \varphi}$$

$$Le = \frac{1{,}5 \; x \; 0{,}5 \; x \; 0{,}4058 \; x \; 16 \; x \; 10}{2 \; x \; 16 \; x \; 4 \; x \tan 25} = 0{,}33 \; m$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

f. Timbunan 12,5m

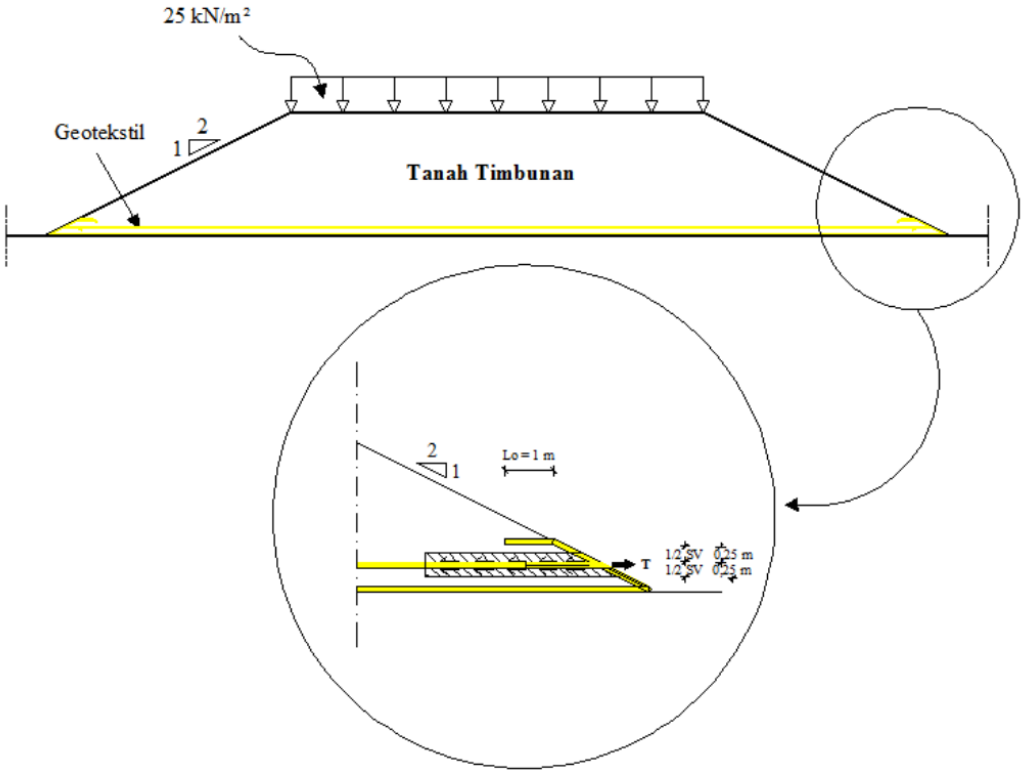
$$Le = \frac{SF\ x\ SV\ x\ Ka\ x\ \gamma b\ x\ H}{2\ x\ \gamma b\ x\ H\ x \tan \varphi}$$

$$Le = \frac{1{,}5\ x\ 0{,}5\ x\ 0{,}4058\ x\ 16\ x\ 12{,}5}{2\ x\ 16\ x\ 4\ x \tan 25} = 0{,}33\ m$$

Panjang efektif yang digunakan adalah 0,5 m.

5.4.4 Cek Gaya Tarik Tanah-Geotekstil

Untuk memastikan apakah geotekstil yang digunakan mampu menahan gaya tarik yang terjadi dengan nilai SV 0,5 m, maka dilakukan perhitungan tegangan geser yang bekerja. Untuk gambar transfer gesekan tanah-geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut.



Gambar 5.30 Transfer Gesekan Tanah-Geotekstil

Ketika geotekstil menerima beban dari atas (tanah) maka geotekstil akan menegang dan mentransfer tegangan tersebut ke daerah pasif. Sehingga geotekstil harus mampu menahan gaya tarik yang bekerja padanya. Oleh karena itu keperluan

perencanaan jenis geotekstil yang mampu menahan gaya tarik tersebut, maka diperlukan pengecekan terhadap gaya tarik. Gaya tarik yang bekerja pada geotekstil dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

$$T = \tan\varphi \; x \; 2 \; x \; \sigma_n \; x \; b \; x \; L$$

$$= \tan(25) \; x \; 2 \; x \; \left(\frac{1}{2} \; x \; 0{,}5 \; x \; 16\right) \; x \; 1 \; x \; 11$$

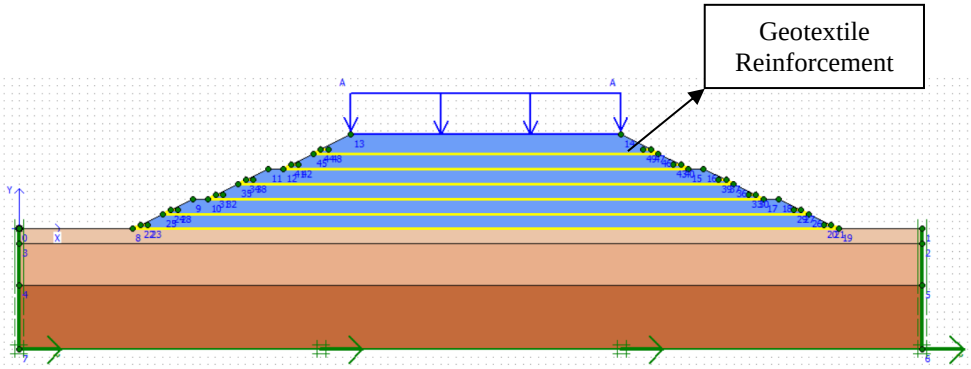
$$= 41{,}035 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan gaya tarik yang bekerja diatas pada geotekstil sebesar 41,035 kN, sedangkan jenis geotekstil yang digunakan memiliki kuat tarik sebesar 52 kN/m. Maka kekuatan geotekstil kuat menahan gaya tarik yang akan bekerja karena 52 kN/m > 41,035 kN (aman).

5.5 Analisis Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Dengan Perkuatan

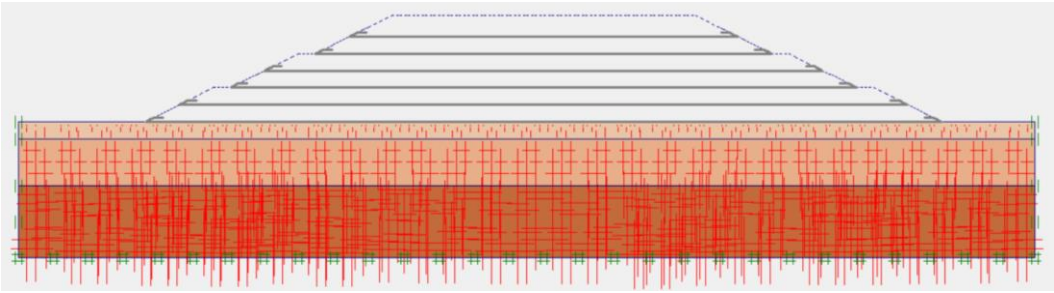
Dari hasil perhitungan pada analisis yang telah dilakukan dengan timbunan lereng tanah asli tanpa adanya perkuatan, maka ditemukan timbunan lereng yang masih belum memenuhi kriteria angka aman. Maka dari itu perlu dilakukan kembali analisis timbunan lereng tanah asli dengan tambahan perkuatan geotekstil dengan analisis kondisi geometri yang sama dan sesuai dengan perhitungan kebutuhan geotekstil.

Pemodelan geometri lereng timbunan tanah asli yang dipakai untuk dianalisis dengan perkuatan geotekstil adalah lereng timbunan dengan variasi 2 trap. Hal ini dikarenakan permodelan lereng timbunan tanah asli dan lereng timbunan dengan variasi 1 trap terjadi *collapse* sehingga hanya lereng timbunan dengan variasi 2 trap saja yang perlu dilakukan perbaikan agar lereng tersebut menjadi aman. Pemasangan geotekstil secara mendatar dengan SV 0,5m dan panjang overlapping 1m. Untuk panjang total dari geotekstil dipasang pada tiap ketinggian 2 meter timbunan, dengan asumsi panjang tersebut telah mencapai panjang total minimum dari perhitungan kebutuhan geotekstil. Permodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut.



Gambar 5.31 Pemodelan Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Dengan Perkuatan Geotekstil

Pada tahap pertama yang harus dilakukan adalah menganalisis tanah asli dengan berat timbunan setinggi 2m yang kemudian ditambahkan tiap tinggi 2m timbunannya sampai perhitungan lereng tanah asli dengan timbunan setinggi 12,5m. Kemudian untuk tahap kedua adalah analisis perhitungan akibat beban lalu lintas dan beban gempa pada timbunan. Tahap ketiga adalah perhitungan faktor keamanan akibat pembebanan yang diberikan sebelumnya. Kemudian tahap selanjutnya adalah perhitungan konsolidasi tanah. Adapun *initial soil condition* dapat dilihat pada Gambar 5.32 berikut.

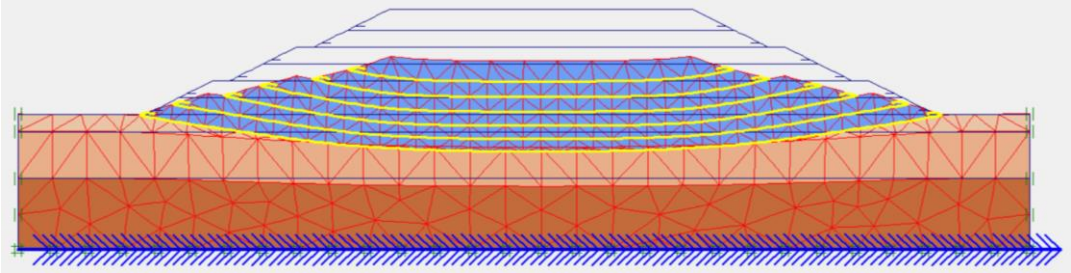


Gambar 5.32 *Initial Condition* Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Dengan Perkuatan Geotekstil

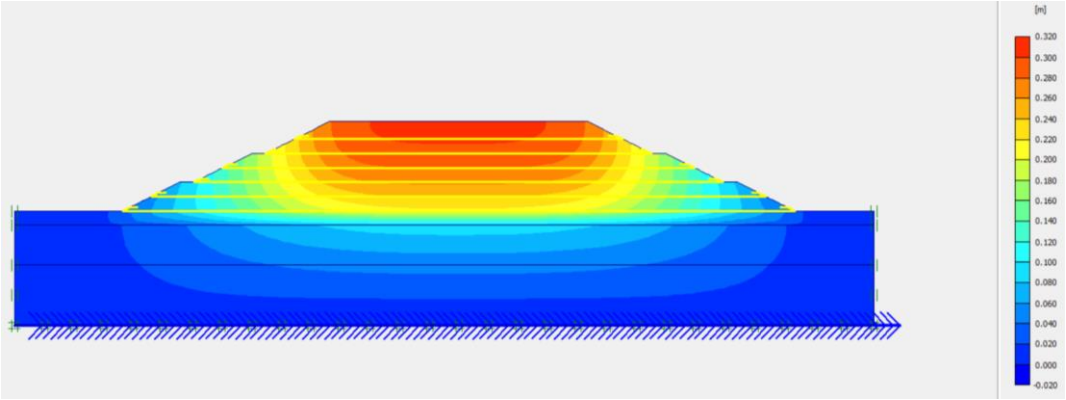
Hasil dari analisis tanah asli dengan tinggi timbunan 2m hingga 12,5m memiliki hasil M_{stage} yang aman yaitu 1,0. Nilai total *displacement* yang didapat dari tiap tinggi timbunan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.8 di bawah. Kemudian untuk hasil analisis pada lereng tanah asli dengan berat timbunan 12,5m dapat dilihat pada Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 berikut.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Nilai Mstage dan Total *Displacement*

Tinggi Timbunan	Nilai Mstage	Total *Displacement* (m)
Timbunan 2m	1,0	$33{,}43 \times 10^{-3}$
Timbunan 4m	1,0	$74{,}98 \times 10^{-3}$
Timbunan 6m	1,0	$121{,}33 \times 10^{-3}$
Timbunan 8m	1,0	$172{,}35 \times 10^{-3}$
Timbunan 10m	1,0	$228{,}23 \times 10^{-3}$
Timbunan 12,5m	1,0	$306{,}67 \times 10^{-3}$

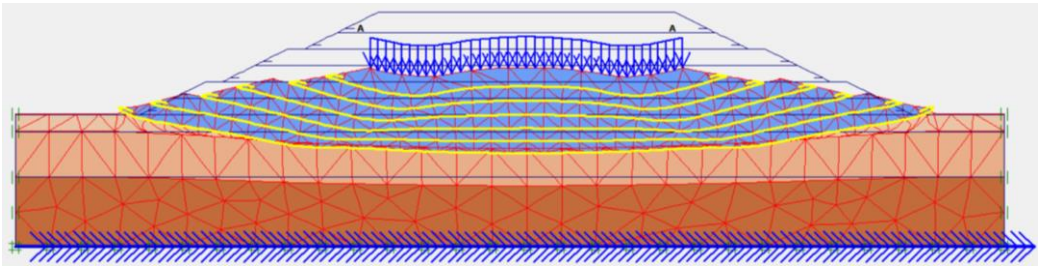


Gambar 5.33 *Deformed Mesh* Lereng Tanah Asli Dengan Timbunan 12,5m

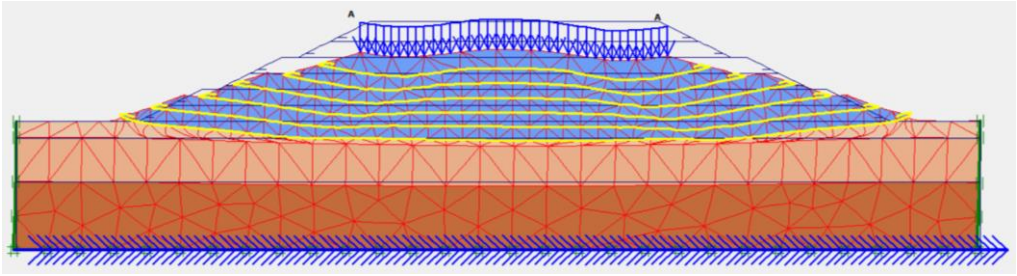


Gambar 5.34 *Total Displacement* Lereng Tanah Asli Dengan Timbunan 12,5m

Selanjutnya pada tahap perhitungan beban struktur lalu lintas dan beban gempa. Hal ini dapat dilakukan karena dalam tahapan menganalisis lereng timbunan tidak terdapat adanya lereng timbunan yang *collapse*. Untuk hasil analisis nya dapat dilihat pada Gambar 5.35 dan Gambar 5.36 berikut.

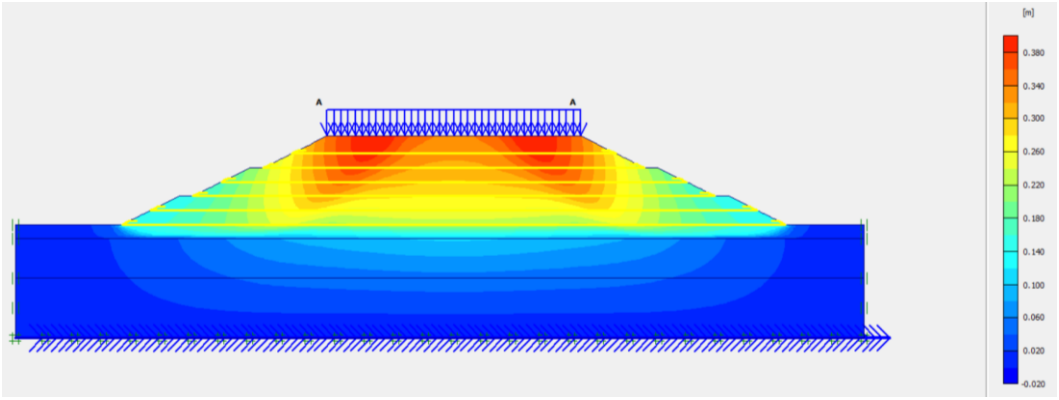


Gambar 5.35 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Akibat Beban Lalu Lintas

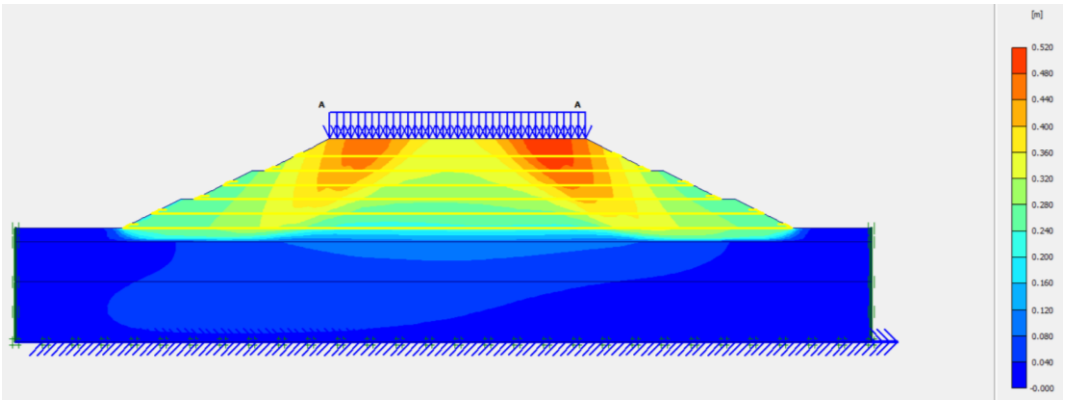


Gambar 5.36 *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa

Nilai total *displacement* yang diperoleh akibat beban struktur dan lalu lintas adalah sebesar 396,86x10^{-3} m dan akibat beban struktur lalu lintas dan beban gempa diperoleh sebesar 503,95x10^{-3} m. Adapun hasil untuk total *displacement* ini dapat dilihat pada Gambar 5.37 dan Gambar 5.38.

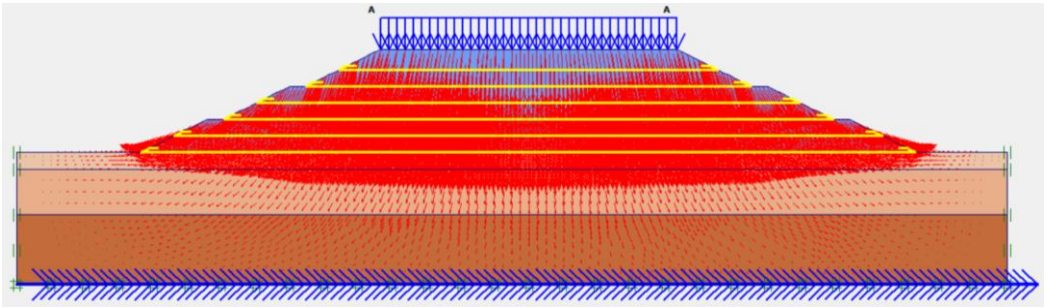


Gambar 5.37 *Total Displacement* Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Akibat Beban Lalu Lintas

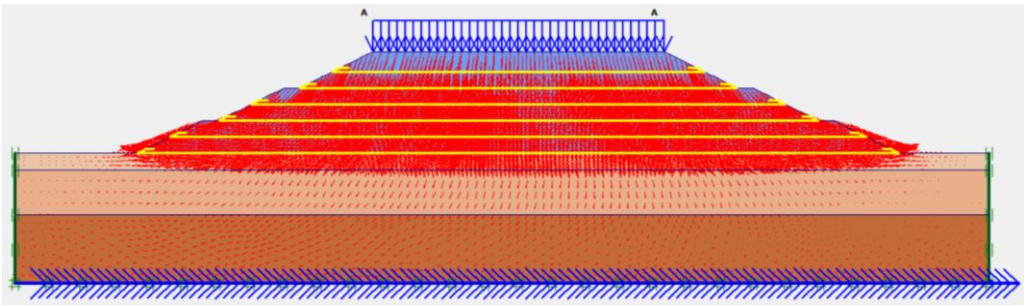


Gambar 5.38 *Total Displacement* Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa

Kemudian arah pergerakan tanah yang terjadi pada lereng timbunan variasi 2 trap akibat beban lalu lintas dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.39 dan Gambar 5.40 berikut.

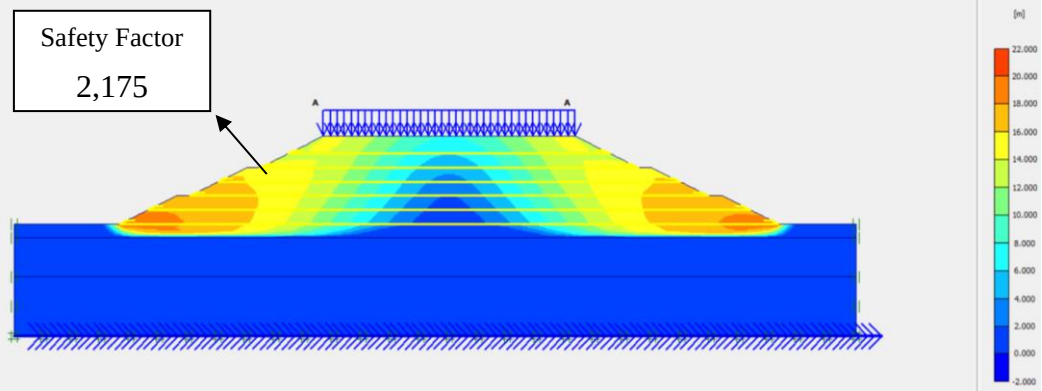


Gambar 5.39 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Akibat Beban Lalu Lintas

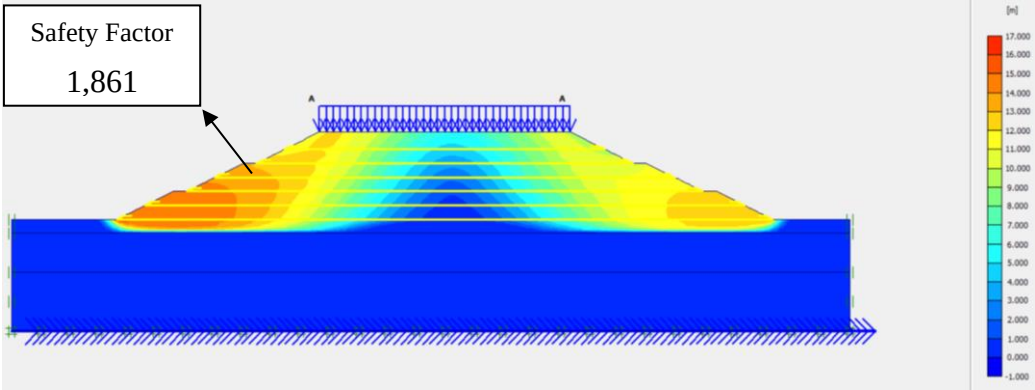


Gambar 5.40 Arah Pergerakan Tanah Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa

Terjadinya potensi kelongsoran akibat beban lalu lintas dan beban gempa yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.41 dan Gambar 5.42 berikut.



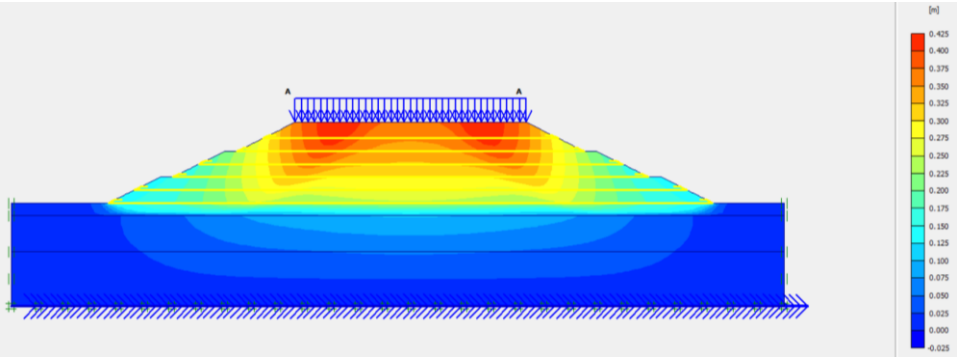
Gambar 5.41 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Tanah Asli Akibat Beban Lalu Lintas



Gambar 5.42 Potensi Kelongsoran Lereng Timbunan Tanah Asli Akibat Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa

Hasil nilai angka aman dari lereng timbunan dengan variasi 2 trap didapatkan untuk hasil analisis akibat beban lalu lintas sebesar 2,175 sedangkan nilai angka aman akibat beban lalu lintas dan gempa sebesar 1,861. Pada perhitungan konsolidasi, dilakukan perhitungan untuk mengetahui lamanya waktu mencapai *minimum pore water pressure* dan penurunan yang terjadi pada waktu tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng dengan variasi

2 trap dan perkuatan geotekstil membutuhkan waktu 21,7 hari untuk mencapai tekanan air minimum atau derajat konsolidasi mendekati 100%. Penurunan maksimum yang terjadi pada konsolidasi tersebut sebesar 0,421 m. Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 5.43 di bawah.



Gambar 5.43 Penurunan Konsolidasi Maksimum Pada Lereng Timbunan Variasi 2 Trap Dengan Perkuatan Geotekstil

5.6 Pembahasan

5.6.1 Hasil Analisis Lereng Tanpa Perkuatan

Penelitian mengenai analisis stabilitas lereng timbunan jalan pada proyek tol Cibitung – Cilincing ini dilakukan untuk mengetahui nilai angka aman pada lereng timbunan jalan tersebut. Perhitungan analisis dilakukan dengan bantuan program PLAXIS 8.6 dengan variasi penambahan trap yaitu 1 trap dan 2 trap dengan tinggi timbunan sebesar 12,5m. Parameter yang dimasukkan pada analisis ini merupakan beban merata akibat beban struktur jalan dan beban lalu lintas kendaraan, serta beban gempa yang sesuai dengan zonasi gempa pada daerah Bekasi.

Berdasarkan hasil dari analisis perhitungan diatas, pada timbunan lereng asli tidak dapat dikatakan aman karena dalam perhitungan lereng asli dengan tinggi timbunan 12,5m terjadi *collapse*. Maka dari itu, perlu dilakukan perhitungan manual dengan metode *fellenius* yang menghasilkan nilai angka aman 0,762 dan membuktikan bahwa hasil tersebut lebih kecil dari syarat aman yang artinya sudah tidak aman. Selanjutnya pada timbunan variasi 1 trap mendapatkan hasil yang tidak aman karena dalam perhitungannya terjadi *collapse* pada analisis timbunan variasi 1 trap sebelum diberi beban struktur dan lalu lintas. Namun, dengan perhitungan

fellenius didapatkan nilai angka aman 0,84. Sedangkan pada timbunan variasi 2 trap juga mendapatkan hasil yang sama yaitu terjadi *collapse* pada perhitungan timbunan variasi 2 trap sebelum diberi beban struktur jalan dan lalu lintas. Dengan adanya perhitungan *fellenius* dapat diketahui bahwa nilai angka yang didapat sebesar 0,858.

Berdasarkan hasil tersebut, lereng timbunan belum memenuhi syarat aman untuk spesifikasi jalan tol, maka dari itu harus diberi perkuatan yang dapat menambah kekuatan pada tanah timbunan sehingga lereng timbunan dapat difungsikan sebagai jalan tol pada proyek Cibitung – Cilincing. Lereng timbunan yang perlu diberi perkuatan adalah lereng timbunan dengan variasi 2 trap karena dengan anggapan metode variasi 2 trap ini merupakan metode perkuatan yang lebih kuat dari variasi 1 trap, maka hanya perlu timbunan dengan variasi 2 trap saja yang harus diberi perbaikan dan perkuatan tambahan.

5.6.2 Hasil Analisis Lereng Dengan Perkuatan

Pada penelitian ini untuk mengatasi permasalahan pada lereng timbunan yang tidak aman atau terjadi *collapse*, maka digunakan perkuatan menggunakan bahan geosintetik jenis geotekstil *woven* UW-250 yang diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul. Kekuatan tarik ultimit yang dimiliki geotekstil jenis ini sebesar 52 kN/m^2 dengan regangan 20%. Sebelum dilakukan analisis lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil, maka perlu dilakukan perhitungan berapa jumlah kebutuhan geoteksil yang akan digunakan. Pemasangan geotekstil dipasang sebanyak 1 lapis untuk tiap 2 meter dari tinggi timbunan secara mendatar kemudian ditutup dengan tanah timbunan yang dipadatkan. Bagian luar geotekstil ditekuk kedalam (*overlapping*) yang berfungsi sebagai permukaan dinding penahan.

Hasil dari analisis lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil menghasilkan angka aman yang sudah lebih besar dari syarat angka aman yang ditentukan untuk spesifikasi jalan tol. Angka aman untuk lereng timbunan variasi 2 trap dengan perkuatan geotekstil sudah melebihi dari hasil yang disyaratkan dengan angka aman 2,175 untuk beban lalu lintas dan 1,861 untuk beban lalu lintas serta beban gempa.

Selain menganalisis angka aman, pada penelitian ini juga menganalisis nilai konsolidasi yang terjadi pada lereng. Konsolidasi merupakan penurunan yang terjadi akibat adanya beban pada lereng dan keluarnya air melalui pori tanah selama waktu tertentu. Jadi untuk perhitungan ini untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai tekanan air minimum atau derajat konsolidasi mendekati 100% dan memperhitungkan besar penurunan konsolidasi maksimum pada waktu tersebut. Hasil yang didapatkan untuk perhitungan konsolidasi pada lereng timbunan variasi 2 trap dengan perkuatan geotekstil ini adalah dibutuhkan waktu selama 21,7 hari untuk mencapai nilai tekanan air minimum. Kemudian besar penurunan konsolidasi pada waktu tersebut adalah sebesar 0,421m.

5.6.3 Perbandingan Stabilitas Lereng Asli dengan Variasi Trap

Hasil analisis menggunakan bantuan program PLAXIS 8.6 memiliki hasil bahwa perbandingan stabilitas lereng dengan variasi penambahan trap, semakin sedikit trap yang digunakan maka semakin besar juga potensi terjadinya kelongsoran pada lereng timbunan tersebut. Oleh karena itu penelitian kali ini menggunakan tambahan variasi trap dengan geotekstil.

Pada studi kasus penelitian ini terdapat lereng timbunan yang belum aman dengan ketinggian timbunan sebesar 12,5m sehingga perlu diberi penambahan trap dan perkuatan oleh geotekstil. Akan tetapi timbunan dengan variasi trap memiliki nilai angka aman yang belum memenuhi syarat. Seperti pada timbunan variasi penambahan 1 trap dan variasi penambahan 2 trap.

Perkuatan geotekstil yang digunakan berfungsi untuk meningkatkan nilai angka aman lereng dengan variasi timbunan yang belum aman. Pada lereng timbunan variasi 2 trap dengan perkuatan juga didapatkan hasil bahwa timbunan asli dengan tinggi 12,5m sudah mencapai batas aman yang diperbolehkan untuk difungsikan sebagai jalan tol, karena nilai aman lereng pada lereng timbunan 12,5m sudah hampir senilai dengan angka aman yang disyaratkan. Hasil rekapitulasi angka aman dapat dilihat pada Tabel 5.9 di bawah ini.

Tabel 5.9 Rekapitulasi *Safety Factor* Lereng Timbunan Asli dan Variasi Trap

Variasi Timbunan	SF Timbunan		SF (Metode *Fellenius*)	Total Displacement (m)		Penurunan konsolidasi Selama 21,7 hari (m)
	Beban Lalu Lintas	Beban Lalu lintas dan Gempa		Beban Lalu Lintas	Beban Lalu lintas dan Gempa	
Timbunan Tanpa Perkuatan Geotekstil						
Timbunan Lereng Asli	*Collapse*	*Collapse*	0,762	-	-	-
Timbunan Variasi 1 Trap	*Collapse*	*Collapse*	0,84	-	-	-
Timbunan Variasi 2 Trap	*Collapse*	*Collapse*	0,858	-	-	-
Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil						
Timbunan Variasi 2 Trap	2,175	1,861	-	$396{,}86 \times 10^{-3}$	$503{,}95 \times 10^{-3}$	0,421m

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil analisis faktor keamanan timbunan lereng asli memiliki nilai M_{stage} sebesar 0,663 pada analisis lereng dengan tinggi timbunan 12,5m dan tidak memenuhi syarat angka aman (SF).
2. Hasil analisis faktor keamanan timbunan variasi penambahan trap memiliki nilai M_{stage} sebesar 0,768 pada timbunan dengan variasi 1 trap dan 0,524 pada timbunan dengan variasi 2 trap pada analisis lereng dengan tinggi timbunan 12,5m dan tidak memenuhi syarat angka aman (SF).
3. Hasil analisis faktor keamanan timbunan variasi penambahan 2 trap dengan perkuatan geotekstil akibat beban lalu lintas adalah 2,175, kemudian hasil faktor keamanan akibat beban lalu lintas dan beban gempa adalah 1,861. Sedangkan nilai tekanan air minimum dibutuhkan waktu selama 21,7 hari dan besar nilai penurunan konsolidasi maksimum pada waktu tersebut sebesar 0,421 m.
4. Perbandingan angka aman (SF) antara timbunan lereng asli dan timbunan variasi trap dengan perkuatan geotekstil adalah timbunan lereng asli memiliki nilai M_{stage} sebesar 0,663 pada saat analisis lereng tanah asli dengan timbunan 12,5m sehingga lereng tersebut terjadi *collapse*, sedangkan untuk lereng timbunan variasi 2 trap dengan perkuatan geotekstil memiliki angka aman sebesar 2,175 akibat beban lalu lintas dan 1,861 akibat beban lalu lintas dan beban gempa. Nilai penurunan konsolidasi yang dihasilkan untuk lereng tanah asli tidak dianalisis karena pada lereng tanah asli terjadi *collapse*, sedangkan nilai konsolidasi yang didapatkan untuk lereng timbunan variasi 2

trap dengan perkuatan geotekstil selama 21,7 hari agar tekanan air pada pori tanah keluar hingga 90%.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil studi kasus dari penilitian yang telah dilakukan, maka dapat disampaikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Parameter tanah lereng timbunan dapat dilakukan analisis dengan menggunakan variasi jenis tanah dengan variasi nilai berat jenis tanah (γb), kohesi (c), atau kuat geser tanah (φ), untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter tanah pada stabilitas lereng.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan penambahan *replacement* lainnya seperti Dinding Penahan Tanah (DPT), *sheet pile*, atau *bored pile*.
3. Bagi peneliti yang akan melakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan bahan alternatif untuk menambah kestabilan tanah, seperti bahan kimia dengan tanah pada timbunan yang ada ditambah dengan bahan kimia seperti kapur, semen dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

1726:2019, S. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. In *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.

Arsy, Aisyah. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius (Study Kasus: Proyek Jalan Tol Solo-Kertasono STA 4+175). dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.

Bowles, J.E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Terjemahan. Erlangga. Jakarta.

Das, B.M. (1988). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis).* Edisi Pertama. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Das, B.M. (1995). *Mekanika Tanah I*. Erlangga. Jakarta.

Hardiyatmo, H.C. (1994). Mekanika Tanah 2. Edisi Pertama. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Hardiyatmo, H.C. (1996). Mekanika Tanah I. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Hardiyatmo, H.C. (2002). Mekanika Tanah I. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. (2006). Mekanika Tanah I. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. (2008). *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya.* Edisi Pertama. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. (2010). *Mekanika Tanah 1*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H. C. (2003). Mekanika Tanah II. Edisi Ke III Gadjah Mada University Press. Yogyakarta

Hardiyatmo, H.C. (2011). *Analisis dan Perancangan Fondasi I.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hediyanto, Rizaldi. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Kantilever dan *Sheetpile* Pada Bantaran Sungai Code. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.

Isparmo, 2010. Geotextile Woven, Definisi dan Fungsi. (http://geotextile.web.id//geotextile-woven-definisi-dan-fungsi.html. Diakses 15 November 2020)

Kafilanda, D.W. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil Dengan Program *Geoslope* Studi Kasus Jalan Tol Balikpapan-Samarinda, Pada Sta. 1+975. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Purwanto, Edy. (2012). *Hand Out Mata Kuliah Perkuatan Tanah.* Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

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

PUSKIM. 2014. Peta Zonasi Gempa. (http://puskim.pu.go.id/peta-zonasi-gempa/). Diakses 17 November 2020.

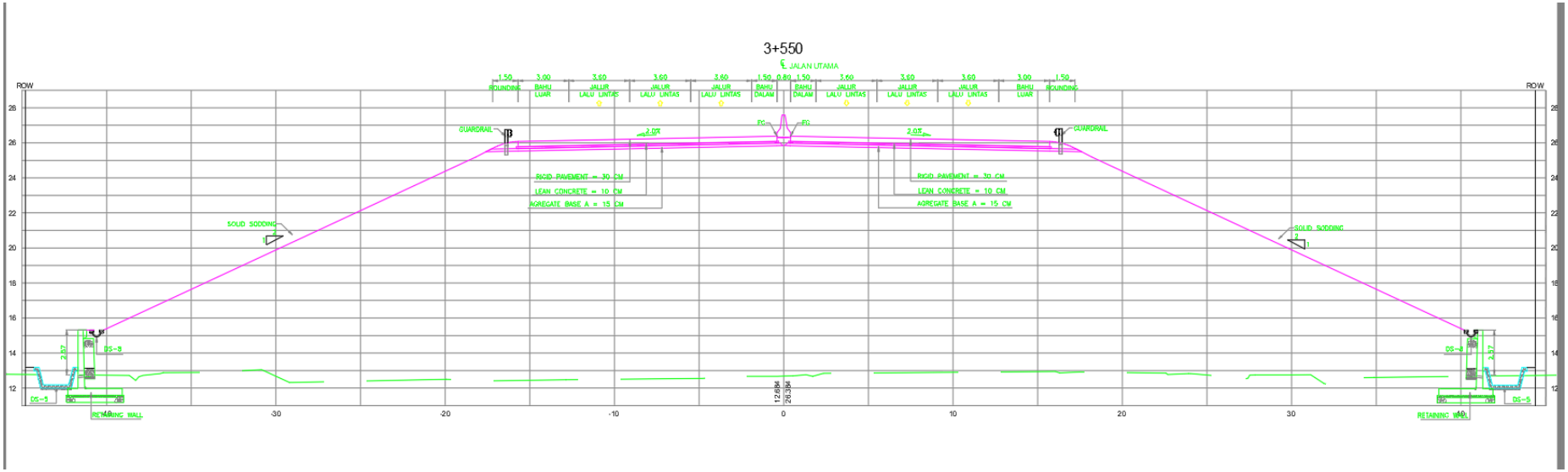
Sekarti, D.N.A. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan di Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Salatiga Kartasura. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.

Sosrodarsono, et. al. (2000). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT Pradnya Paramitha, Jakarta.

Utomo, B.P. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing* Dengan Menggunakan Program *Geoslope* Pada Bantaran Sungai Code. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Geometri Potongan Melintang



Gambar L-1.1 Geometri Potongan Melintang

Lampiran 2 Data Hasil Uji Lab Sampel Tanah

DATA LABORATORIUM DAN QUARRY

PROYEK JALAN TOLL CIBITUNG – CILICING SEKSI 1

Persero
PT. BINA KARYA
Consulting & Development Partner

DATA LABORATORIUM

No	Depth	STA	Borlog	LL	PL	PI	Clay	Activity	Ysat	c	Ø
	m			%	%	%	%		kN/m3	kN/m2	degree
1	2	3+400	BH-27	81.72	31.62	50.1	49	1.022	16.71	21	15
2	2	3+550	BH-25	79.9	37.71	42.19	50	0.844	16.3	10.3	8
3	2	3+550	BH-26	80.5	31.94	48.56	52	0.934	16.36	10.9	8
4	2	7+500	BH-28	81.18	31.88	49.3	52	0.948	16.73	19.7	15
5	4	7+500	BH-28	81.54	31.9	49.64	50	0.993	16.81	21.9	16
6	6	7+500	BH-28	81.41	31.82	49.59	48	1.033	16.86	23.7	18

Persero
PT. BINA KARYA
Consulting & Development Partner

Gambar L-2.1 Data Hasil Uji Lab Sampel Tanah

Lampiran 3 Data SPT pada Sta 3+550

PT. CARINA GRIYA MANDIRI
ENGINEERING & MANAGEMENT CONSLUTANT
Jl. Pahlawan Revolusi No. 2A Jakarta 13430. Telp.021-8613824. Mail : pt_cg_mandiri@yahoo.com
ENGINEERING DESIGN
SOIL INVESTIGATION
SUPERVISION
MINING EXPLORATION
SURVEY / MAPPING

PROJECT : RENCANA PEMBANGUNAN JALAN TOL LINGKAR LUAR JAKARTA II, RUAS CIBITUNG - CILINCING
LOCATION : BUP WANAJAYA (STA. 3+550 - TITIK 2)
BORING NO : BH-25
ELEVATION : 0,00 m (MTS) SHEET NO : 1

DATE	DEPTH (m)	BORING PROFILE	STANDARD PENETRATION TEST N = Number of Blows P = Penetration (cm) N	N/P	N/P	N/P	Remark	qu POCKET PENETRO METER	CORE RECOVERY %	LITHOLOGIC DESCRIPTION
15 Sept 17			0 10 20 30 40 50 60							Kordinat : X = 732127 Y = 9307817
	± 0.00									Lempung lanauan, merah
										Contoh : I (- 1,50 ÷ - 2,00) m
	- 2.00			12 / 15	14 / 15	17 / 15	N = 31			SPT : 1 (- 2,00 ÷ - 2,45) m Lanau pasiran membatu, coklat
			MAT : - 5,00 M	17 / 15	20 / 15	23 / 15	N = 43			SPT : 2 (- 4,00 ÷ - 4,45) m Lanau pasiran membatu, coklat
				19 / 15	23 / 15	26 / 15	N = 49			SPT : 3 (- 6,00 ÷ - 6,45) m Lanau pasiran membatu, coklat
	- 7.50			18 / 15	22 / 15	25 / 15	N = 47			SPT : 4 (- 8,00 ÷ - 8,45) m Lanau pasiran, abu-abu
				20 / 15	26 / 15	29 / 15	N = 55			SPT : 5 (- 10,00 ÷ - 10,45) m Lanau pasiran, abu-abu
				25 / 15	30 / 10	-	N > 60			SPT : 6 (- 12,00 ÷ - 12,25) m Lanau pasiran, abu-abu

Gambar L-3.1 Data SPT pada Sta 3+550

Lampiran 4 Data *Technical Spesification Geotextile Woven*

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 Strenght (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 Strenght (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 Strenght (Wrab/Weft)	N	ASTM D 4533-91	615/615	700/700	800/800
Hydraulic Properties					
Pore Size O_{95}	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 Lenght	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.

Gambar L-4.1 Data Technical Spesification Geotextile Woven

Lampiran 5 Rekapitulasi Perhitungan *Fellenius* pada Lereng Timbunan Dengan Penambahan 1 Trap

Tabel L-5.1 Rekapitulasi Perhitungan *Fellenius* pada Lereng Timbunan Dengan Penambahan 1 Trap

No Irisan	Soil Layer	Area (m^2)	Weight Wi (kN)	θ (°)	Radian	Wi.cos θ (kN)	Wi.sin θ (kN)	Wi.cos θi - Ui (kN)
1	1	2,250	36	-19	-0,33161	55,522	-19,118	55,522
	2	1,623	22,722					
2	1	6,750	108	-12	-0,20944	161,717	-34,374	161,717
	2	4,095	57,33					
3	1	11,250	180	-5	-0,08727	255,729	-22,373	255,729
	2	5,479	76,706					
4	1	15,750	252	1	0,017453	333,597	5,822	333,597
	2	5,832	81,648					
5	1	18,250	292	7	0,122173	361,650	44,405	361,650
	2	5,169	72,366					
6	1	21,750	348	14	0,244346	384,691	95,914	384,691
	2	3,462	48,468					
7	1	26,075	417,2	21	0,366519	400,154	153,605	400,154
	2	0,816	11,424					
8	1	27,320	437,12	28	0,488692	385,954	205,215	385,954
9	1	26,266	420,256	35	0,610865	344,253	241,048	344,253
10	1	21,045	336,72	44	0,767945	296,166	286,004	296,166
11	1	11,281	180,496	55	0,959931	157,587	225,058	157,587
TOTAL						3137,024	1181,209	
SF						0,84		

Lampiran 6 Rekapitulasi Perhitungan *Fellenius* pada Lereng Timbunan Dengan Penambahan 2 Trap

Tabel L-6.1 Rekapitulasi Perhitungan *Fellenius* pada Lereng Timbunan Dengan Penambahan 2 Trap

No Irisan	Soil Layer	Area (m^2)	Weight Wi (kN)	θ (°)	Radian	Wi.cos θ (kN)	Wi.sin θ (kN)	Wi.cos θi - Ui (kN)
1	1	2,250	36	-19	-0,33161	55,522	-19,118	45,303
	2	1,623	22,722					
2	1	6,750	108	-12	-0,20944	161,717	-34,374	198,231
	2	4,095	57,33					
3	1	11,00	176	-5	-0,08727	251,744	-22,024	232,764
	2	5,479	76,706					
4	1	13,00	208	1	0,017453	289,603	5,055	319,406
	2	5,832	81,648					
5	1	17,250	276	7	0,122173	345,769	42,455	352,749
	2	5,169	72,366					
6	1	21,750	348	14	0,244346	384,691	95,914	251,271
	2	3,462	48,468					
7	1	16,00	256	20	0,349066	251,270	91,454	384,691
	2	0,814	11,396					
8	1	24,326	389,216	25	0,436332	352,749	164,489	345,769
9	1	23,803	380,848	33	0,575959	319,406	207,424	289,603
10	1	21,539	344,624	41	0,715585	232,746	226,093	251,744
11	1	14,587	233,392	50	0,872665	198,230	236,241	161,717
12	1	2,732	43,712	59	1,029744	45,303	75,398	55,522
TOTAL						2888,754	1069,011	
SF						0,858		