TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS TANAH TIMBUNAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN *PLAXIS*

(Studi Kasus Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu, Kab Batang Jawa Tengah)

MUH. REZA FADHILA HARDIANSYAH

19511269

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS TANAH TIMBUNAN DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN *PLAXIS*

(Studi Kasus Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu, Kab.Batang, Jawa Tengah)

Disusun Oleh

Muh. Reza Fadhila Hardiansyah
19511269

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

Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Hanindya K., A., S.T., M.T	Anisa Nur Amalina S.T., M.Eng.	Astriana Hardawati S.T., M.Eng.
K: 045110407	NIK:215111305	NIK:165111301

19.09.25

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

22/9/2025

Ir. Ymalia Muntafi, ST., MT., Ph.D.(Eng)..IPM
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir saya yang disusun untuk syarat menyelesaikan program sarjana Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia adalah karya tangan saya sendiri. Adapun beberapa bagian yang dari hasil karya orang lain yang saya kutip dan dicantumkan sumbernya dengan jelas dan tertata sesuai dengan norma, etika penulisan dan juga kaidah karya ilmiah yang ada. Apabila di kemudian hari karya Tugas Akhir saya ditemukan bahwa bukan merupakan karya saya sendiri, saya siap akan sanksi yang ada, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan ketentuannya.

Yogyakarta, September 2025

Yang membuat pernyataan



Muh. Rexa Fadhila H

(19511269)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir dengan judul *"Analisis Stabilitas Tanah Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan PLAXIS"*. Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan studi strata satu pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam proses penyusunan Proposal Tugas Akhir ini, penulis menghadapi berbagai kendala. Namun, berkat doa, dukungan, saran, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis akhirnya dapat menyelesaikan proposal ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Proposal Tugas Akhir, atas bimbingan, saran, nasehat, dan dukungan yang diberikan kepada penulis dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir ini dan selama penulis menjalani masa kuliah,
2. Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji I
3. Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji II
4. Dr. Eng. Yunalia Muntafi, ST., MT., Ph. D.,IPM selaku Ketua program studi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
5. Kedua orangtua, yang selalu memberikan dukungan baik secara material maupun spiritual

Yogyakarta, September 2025

Penulis,

Muh. Reza Hadhila H

19511269

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI v

DAFTAR GAMBAR ix

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR LAMPIRAN xiv

DAFTAR NOTASI xv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan masalah 3

1.3 Tujuan Penelitian 4

1.4 Manfaat Penelitian 4

1.5 Batasan Penelitian 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6

2.1 Tinjauan Umum 6

2.2 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil 6

2.3 Perkuatan Lereng Yang Dianalisa Dengan Geoslope 9

2.4 Analisis lereng dengan progranm Plaxis dan metode Fellenius 9

2.5 Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan 11

BAB III LANDASAN TEORI 15

3.1 Tanah 15

3.1.1 Klasifikasi Tanah 16

3.1.2 Parameter Tanah 22

3.2 Lereng 24

3.3 Faktor faktor terjadinya longsor 25

3.4 Metode Stabilitas Lereng 30

3.4.1 Metode Fellenius 30

3.5 Kuat Geser Tanah 33

3.6 Stabilitas Lereng 35

3.7 Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil 38

3.7.1 Geotekstile 39

3.7.2 Fungsi Geotekstile 41

3.7.3 Prinsip Kerja Geotekstile 44

3.7.4 Perkuatan Lereng Timbunan Menggunakan Geotekstil 46

3.8 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Program Plaxis 51

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Obyek Penelitian 54

4.2 Lokasi Penelitian 54

4.3 Potongan Melintang 55

4.4 Pengumpulan data 60

4.5 Bagan Alir 60

4.6 Parameter Penelitian 63

4.6.1 Beban Lalu Lintas 63

4.6.2 Beban Gempa 63

4.6.3 Data Geotekstile 64

4.6.4 Data Tanah 65

4.6.5 Sondir Test 65

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum Analisis 67

5.1.1 Angka Aman Lereng Eksisting Dengan Metode Fellenius 71

5.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan 74

5.2.1 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Menggunakan Program PLAXIS V.22 78

5.2.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Akibat Akibat Beban timbunan & Gempa 78

5.2.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Akibat Beban Kendaraan 81

5.3 Analisis Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil 85

5.3.1 Stabilitas Internal 87

5.3.2 Stabilitas Eksternal 93

5.3.3 Gaya Tarik Akibat Beban Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil 99

5.3.4 Akibat Beban Timbunan, dan Beban Gempa dengan 103 dengan Geotekstil

5.3.5 Akibat Beban Timbunan, Beban Gempa, dan Lalu Lintas dengan Geotekstil 105

5.4 Pembahasan 108

BAB VI KESIMPULAN 111

6.1 Kesimpulan 111
6.2 Saran 112
DAFTAR PUSTAKA 114
LAMPIRAN 117

DAFTAR GAMBAR

Hal

Gambar 1.1 Lokasi Timbunan Tanah 2

Gambar 1.2 Lokasi Penelitian 3

Gambar 3.1 Diagram Fase tanah 23

Gambar 3.2 Macam macam Kelongsoran 25

Gambar 3.3 Gaya-gaya pada irisan 29

Gambar 3.4 Grafik Mohr dan Coulomb 29

Gambar 3.5 Tumpukan pasir dengan sudut lereng 31

Gambar 3.6 Geotekstil teranyam (Woven) 34

Gambar 3.7 Geotekstil tak teranyam (Non Woven) 39

Gambar 3.8 Geotekstile sebagai perkuatan (reinforcement) 40

Gambar 3.9 Fungsi Geotekstile sebagai perkuatan stabilitas lereng 41

Gambar 3.10 Geotekstile sebagai perkuatan pada tepi lereng 42

Gambar 3.11 Dasar mekanisme perkuatan lereng dengan tanah 42

Gambar 3.12 Diagram distribusi tekanan tanah lateral 43

Gambar 3.13 Struktur lereng yang diperkuat geotekstil berlapis lapis 46

Gambar 4.1 Lokasi Timbunan pada Proyek Pematanagan Lahan KITB 54

Gambar 4.2 Lokasi Titik Penelitian Zone Kapling Blok B-03 55

Gambar 4.3 Tampak Atas lokasi Kavling B03 55

Gambar 4.4 Lay Out Kavling Blok B-03 56

Gambar 4.5 Potongan Melintang (D - D) Kavling Blok B-03 57

Gambar 4.6 Potongan Melintang (E - E) Kavlin Blok B-03 58

Gambar 4.7 Potongan Melintang (F - F) Kavling Blok B-03 59

Gambar 4.8 Bagan Alir Penelitian 61

Gambar 4.9 Bagan Alir Plaxis 62

Gambar 4.10 Peta Zonasi Gempa 64

Gambar 4.11 Lokasi titik penyelidikan tanah pada kavling Blok B-03 67

Gambar 4.12 Hasil Test Sondir pada tanah Kavling Blok B-03 68

Gambar 4.13 Hasil penyelidikan tanah (SPT) pada Kavling Blok B-03 69

Gambar 5. 1 Data Geotekstil 66

Gambar 5. 2 Peta Zonasi Gempa 67

Gambar 5. 3 Penampang Lereng Potongan Melintang Kavling B-03 68

Gambar 5. 4 Permodelan Lereng Dengan Metode Fellenius 69

Gambar 5. 5 Pemodelan Geometri Lereng Tanpa Perkuatan 71

Gambar 5. 6 Deformed Mesh pada Lereng Akibat Beban Timbunan 72

Gambar 5. 7 Total Displacement Pada Lereng Akibat Timbunan & Gempa 73

Gambar 5. 8 Arah Pergerakan Tanah Pada Lereng Dengan Beban Timbunan dan Beban Gempa 73

Gambar 5. 9 Daerah Potensi Longsor 74

Gambar 5. 10 SF Pada Lereng Beban Timbunan 75

Gambar 5. 11 Deformed Mesh 75

Gambar 5. 12 Total Displacement 76

Gambar 5. 13 Arah Pergerakan Tanah 77

Gambar 5. 14 Daerah Potensi Longsor 78

Gambar 5. 15 SF Pada Lereng Dengan Beban Timbunan & Beban Gempa 78

Gambar 5. 16 Deformed Mesh Pada Lereng Tanpa Perkuatan Akibat Beban Sendiri, Beban Gempa dan Beban Lalu lintas 79

Gambar 5. 17 Total Displacement Lereng Akibat Beban Sendiri, Beban Gempa dan Beban Lalu Lintas 80

Gambar 5. 18 Arah Pergerakan Tanah 80

Gambar 5. 19 Daerah Potensi Longsor 81

Gambar 5. 20 Lereng Akibat Beban Sendiri, Gempa & Beban Lalu Lintas 82

Gambar 5. 21 Pembagian Zona 83

Gambar 5. 22 Perletakan Geotekstil 85

Gambar 5. 23 Gaya Yang Bekerja Pada Tanah Miring 86

Gambar 5. 24 Lembar Geotekstil 95

Gambar 5. 25 Pemasangan Geotekstil Tiap Zona 95

Gambar 5. 26 Permodelan Lereng Dengan Geotekstil Pada PLAXIS 96

Gambar 5. 27 Meshing Pada Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil 96

Gambar 5. 28 Meshing Pada Tanah TimbunanDengan Perkuatan Geotekstil 97

Gambar 5. 29 Total Displacement Pada Timbunan Dengan Geotekstil 98

Gambar 5. 30 Arah Pergerakan Tanah Akibat Timbunan Dengan Geotekstil 98

Gambar 5. 31 Daerah Potensi Longsor Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil 99

Gambar 5. 32 SF Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil 99

Gambar 5. 33 Deformed Mesh Pada Lereng Dengan Perkuatan Akibat Beban Timbunan dan Beban Gempa 100

Gambar 5. 34 Total displacement Lereng Dengan Perkuatan Akibat Timbunan Dan Beban Gempa 100

Gambar 5. 35 Arah Pergerakan Tanah Lereng Dengan Perkuatan Akibat Beban Timbunan Dan Beban Gempa 101

Gambar 5. 36 Daerah Potensi Longsor 102

Gambar 5. 37 Daerah Potensi Longsor Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Akibat Beban Timbunan Dan Beban Gempa 102

Gambar 5. 38 Deformed Mesh Lereng Dengan Perkuatan Akibat Beban Sendiri, Gempa Dan Lalu Lintas 103

Gambar 5. 39 Total Displacement Lereng Akibat Timbunan, Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa 103

Gambar 5. 40 Arah Pergerakan Tanah 104

Gambar 5. 41 Daerah Potensi Longsor 105

Gambar 5. 42 SF pada Lereng Akibat Timbunan,Beban Lalu Lintas & Beban Gempa 105

Gambar 5. 43 Grafik SF pada Lereng 107

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian sebelumnya 12

Tabel 3.1 Sistim Klasifikasi AASHTO 19

Tabel 3.2 Sistim Klasifikasi USCS 21

Tabel 3.3 Nilai Kapasitas Dukung Terzaghi 27

Tabel 3.4 Nilai Keamanan Lereng 37

Tabel 3.5 S*afety Faktor* ditinjau berdasarkan keadaan Lereng 38

Tabel 3.6 Safety Faktor ditinjau dari Intensitas Lereng 38

Tabel 3.7 Nilai Interface Tanah Kohesif dengan Geotekstile 44

Tabel 4.1 Beban lalu Lintas 63

Tabel 4.2 Hasil Test Geotekstil 64

Tabel 4.3 Data Tanah pada Kavling B-03 65

Tabel 4.4 Hubungan Kuat Dukung Tanah dengan data sondir (qc) 66

Tabel 5. 1 Parameter Tanah 68

Tabel 5. 2 Hasil Perhitungan Metode Fellenius 70

Tabel 5. 3 Koefisien Daya Dukung Tanah Meyerhoff 84

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Overlapping Geotekstil 91

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Panjang Efektif 92

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Panjang Geotekstil Pada Zona Aktif 92

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Panjang Total Geotekstil 94

Tabel 5. 8 Hasil Rekapitulasi Lereng Dengan Program Plaxis v20 106

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Lokasi Penelitian (Kawasan Industri Terpadu Batang)	120
Lampiran 2	Hasil Test Triaxial Kavling B-03	122
Lampiran 3	Data Triaxial Compression Test	124
Lampiran 4	Laporan Hasil Penyelidikan Tanah	126
Lampiran 5	Hasil Pengujian Geotekstile	131
Lampiran 6	Data hasil sondir test	133
Lampiran 7	Data hasil Cone Penetrometer Test	135
Lampiran 8	Dokumentasi Test Sondir Tanah Blok B-03	139
Lampiran 9	Bobot Penelitian	140

DAFTAR NOTASI

SF = *Safety Factor*

τf = tahanan maksimum geser (kN/m²)

τd = tegangan maksimum geser (kN/m²)

R = jari- jari bidang longsor (m)

n = jumlah irisan

Wi = berat massa tanah irisan (kg/m³)

θi = sudut (°)

φ = sudut gesek tanah (°)

Hi = tinggi tanah ditinjau dari permukaan tanah (m)

Ta = kuat tarik yang diizinkan dari bahan perkuatan (kN/m²)

Ea = gaya aktif tanah (kN)

q = beban merata (kN/m)

Sv = jarak vertikal antar geotekstil (m)

kPa = kilo pascal

Kn = kilo newton

C = kohesi (kN/m²)

$\emptyset$ = sudut geser dalam (°)

qu = kapasitas dukung ijin (kN/m²)

Nc,Nq,Ny = faktor kapasitas dukung tanah

L = panjang geotekstil (m)

Ea = gaya aktif akibat tanah (kN)

E = gaya yang mendorong (kN)

Eq = gaya aktif akibat beban (kN)

Ka = koefisien tanah aktif

σv = tekanan tanah vertikal (kN/m²)

L_R = panjang geotekstil di daerah longsoran aktif (m)

Lc = panjang geotekstil yang bekerja sebagai angker (m)

Zi = tinggi tanah ditinjau dari permukaan tanah (m)

B = koefisien *interface* tanah terhadap geotekstil

σhc = tekanan tanah horizontal (kN/m²)

ABSTRAK

Pada saat ini Ilmu Geoteknik sangat diperlukan terutama pekerjaan pekerjaan yang berhubungan langsung dengan tanah. Contoh yang biasa dijumpai di lapangan adalah pekerjaan timbunan tanah terutama pada pekerjaan pembangunan jalan dan salah satunya adalah stabilitas tanah timbunan kavling pada proyek pematangan lahan kawasan industri terpadu Batang klaster 1 fase 2 tahap 1. Tanah timbunan harus mampu menahan beban dari atas ataupun tekanan dari samping.

Untuk mengatasi permasalahan kestabilan pada lereng timbunan, dilakukan analisis stabilitas lereng baik secara perhitungan manual (Metode Fellenius) maupun dengan bantuan perangkat lunak. Analisis ini mencakup kondisi asli lereng serta kondisi setelah dilakukan perubahan kemiringan dan penambahan timbunan yang diperkuat dengan geotekstil. Seluruh skenario analisis mempertimbangkan beban lalu lintas sebesar 15 kN/m² serta pengaruh beban gempa dengan percepatan horizontal sebesar 0,12 g.

Hasil didapat hasil SF pada lereng tanpa perkuatan geotekstil akibat beban timbunan (beban sendiri) sebesar 1,186 dengan PLAXIS, untuk metode fellenius didapatkan SF 1,184 lalu untuk ditambahkan beban sendiri dan beban gempa didapatkan SF sebesar 1.155, serta untuk lereng tanpa perkuatan akibat beban timbunan (sendiri), beban kendaraan dan beban gempa didapatkan SF sebesar 1,110 .Selanjutnya lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan (beban sendiri) didapatkan sebesar 1,497, akibat beban gempa sebesar 1,374 , serta akibat beban sendiri , beban gempa & lalu lintas didapatkan SF sebesar 1,262.

Kata Kunci : Analisis, PLAXIS, Geotekstil

ABSTRACT

Geotechnical engineering is currently highly sought after, particularly for projects involving direct contact with the soil. A common example is embankment work, particularly in road construction, and the stability of embankment plots in the Batang Cluster 1 Phase 2 Integrated Industrial Estate project. Embankment must be able to withstand both overhead and lateral loads.

To address this issue, slope stability analyses were performed using both manual calculations and application-based software. The analyses considered the slope under its original condition as well as after modification of the slope angle and the addition of geotextile reinforcement. In all cases, the evaluations incorporated a vehicle load of 15 kN/m² and a seismic load of 0.12 g.

The results obtained SF results on slopes without geotextile reinforcement due to embankment load (self-load) of 1.186 with PLAXIS, for the Fellenius method obtained SF 1.184 then to add self-load and earthquake load obtained SF of 1.155, and for slopes without reinforcement due to self-load, vehicle load and earthquake load obtained SF of 1.110. Furthermore, slopes with geotextile reinforcement due to embankment load (self-load) obtained 1.497, due to earthquake load of 1.374, and due to self-load, earthquake & traffic load obtained SF of 1.262.

Keywords : Analisis, PLAXIS, Geotekstil

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada masa sekarang, ilmu geoteknik sangat penting terutama untuk pekerjaan yang berkaitan langsung dengan tanah. Contoh yang sering ditemukan di lapangan adalah pekerjaan pemadatan tanah, terutama pada pembangunan jalan. Salah satu contohnya adalah stabilitas tanah yang dipadatkan pada kavling dalam proyek pematangan lahan kawasan industri terpadu Batang, klaster 1, fase 2, tahap 1. Tanah yang ditimbun harus bisa menahan beban dari atas serta tekanan dari samping. Setiap kali ada pembangunan jalan, pasti terkait langsung dengan jenis, sifat, dan karakteristik tanah yang menentukan seberapa kuat tanah itu bisa mendukung bangunan yang ada di atasnya. Daya dukung tanah merujuk pada kapasitas tanah untuk menahan beban atau tekanan dari bangunan secara aman, tanpa menyebabkan keruntuhan geser atau penurunan yang berlebihan. Kapasitas dukung tanah adalah salah satu aspek krusial dalam perencanaan fondasi serta struktur di atasnya. Nilai kapasitas dukung tanah ditentukan oleh sifat tanah dasar dan dipengaruhi oleh penurunan serta kestabilan tanah.

Seiring dengan perkembangan Ilmu Teknik Sipil dalam hal ini Geoteknik diharapkan dapat memberi jawaban atas kebutuhan daya dukung tanah yang diinginkan sesuai dengan keperluan konstruksi diatas. Untuk mendukung hal tersebut berbagai macam metode mulai dikembangkan. Metode pencampuran bahan material tanah lempung dengan bahan lain merupakan salah satu metode, metode lain adalah dengan perkuatan bahan Geotekstil yang diharapkan juga dapat menambah daya dukung tanah dan menambah stabilitas tanah urugan.

Permukaan tanah tidak selalu merata atau memiliki ketinggian yang konsisten antar tempat, sehingga akan terbentuk suatu lereng. Lereng adalah suatu keadaan topografi yang sering ditemui dalam proyek. Lereng bisa terbentuk secara alami atau dibuat secara sengaja oleh manusia untuk memenuhi berbagai kebutuhan. Sihite, (2021).

Seperti Sebagaimana terjadi pada Proyek Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu Batang Klaster 1 Fase 2 Tahap 1, Kabupaten Batang, Jawa

Tengah, kondisi tanah di lokasi tersebut cukup beragam, dengan dominasi tanah lempung sebagai tanah eksisting di lapangan. Jenis tanah ini perlu mendapatkan perhatian khusus karena memiliki potensi menimbulkan permasalahan berupa penurunan tanah dan kelongsoran. Salah satu alternatif solusi yang dapat diterapkan adalah dengan memberikan perkuatan tanah menggunakan geotekstil, yang diharapkan mampu meminimalkan risiko penurunan serta meningkatkan kestabilan lereng. Dalam proses analisis dan perhitungan, material geotekstil dipertimbangkan sebagai elemen perkuatan utama yang diharapkan efektif dalam mengatasi masalah kelongsoran pada pekerjaan konstruksi jalan (Rizqullah & Yelvi, 2022).

Sepanjang jalur Proyek Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu Batang Klaster 1 Fase 2 Tahap 1, kondisi topografi menunjukkan kontur jalan yang berbelok serta disertai tanjakan. Permukaan lahan yang berbukit menimbulkan potensi terjadinya longsor pada beberapa titik tertentu. Untuk memberikan gambaran visual, pada Gambar 1.1 ditunjukkan lokasi penimbunan tanah, sedangkan Gambar 1.2 memperlihatkan lokasi penelitian berdasarkan hasil peninjauan menggunakan *Google Maps*.



Gambar 1.1 Lokasi Penimbunan Tanah
(Sumber: *Google Earth* dan Laporan Final Proyek)



Gambar 1.2 Lokasi Penelitian
(Sumber: *Google Maps*)

Dalam analisis ini, fokus penelitian diarahkan pada kavling B03 yang mengalami permasalahan stabilitas tanah timbunan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan solusi yang efektif berupa perkuatan tanah dengan material geotekstil. Penggunaan geotekstil diharapkan mampu mengurangi potensi kelongsoran pada lereng timbunan.

Proses perhitungan dan analisis stabilitas dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *PLAXIS*, yang memungkinkan perancangan dilakukan secara lebih efisien. Pemanfaatan *software* ini memberikan beberapa keuntungan, antara lain mempercepat pekerjaan, menghasilkan perhitungan yang lebih akurat, serta memastikan keamanan kondisi tanah baik pada keadaan eksisting maupun setelah diberi perkuatan geotekstil (Chandra, 2021).

1.2 Perumusan masalah

Berdasarkan uraian sebelumnya, perlu dilakukan analisis kestabilan lereng pada tanah di wilayah Batang, Jawa Tengah untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Berapa nilai faktor keamanan (SF) lereng timbunan tanpa perkuatan berdasarkan perhitungan manual Metode Fellenius?

2. Berapa nilai faktor keamanan (SF) lereng timbunan tanpa perkuatan berdasarkan analisis menggunakan *PLAXIS*?
3. Berapa nilai faktor keamanan (SF) lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil berdasarkan analisis *PLAXIS*?
4. Berapa nilai penurunan yang terjadi pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil berdasarkan analisis *PLAXIS*?
5. Berapa nilai total penurunan yang terjadi pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil berdasarkan analisis *PLAXIS*?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis nilai faktor keamanan *(Safety Factor/SF)* pada kondisi lereng eksisting dengan metode perhitungan manual dan menggunakan program *PLAXIS.*
2. Mengetahui nilai faktor keamanan (SF) lereng timbunan tanpa perkuatan dengan menggunakan program *PLAXIS*.
3. Mengetahui nilai faktor keamanan (SF) lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil melalui analisis menggunakan program *PLAXIS.*
4. Menganalisis total penurunan yang terjadi pada lereng timbunan tanpa perkuatan dengan program *PLAXIS.*
5. Menganalisis total penurunan yang terjadi pada lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *PLAXIS.*

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat bagi penulis maupun pembaca, antara lain:

1. Memperluas wawasan dan pengetahuan dalam bidang geoteknik, khususnya mengenai analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil.
2. Memberikan alternatif desain yang efektif dan aman untuk timbunan lereng pada Proyek Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu Batang Klaster 1 Fase 2 Tahap 1.

3. Menambah pemahaman terkait pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak *PLAXIS*, baik pada kondisi eksisting maupun kondisi setelah diberikan perkuatan.
4. Memberikan pengetahuan lebih lanjut mengenai penggunaan geotekstil sebagai salah satu metode perkuatan tanah, serta menyoroti keunggulan dan keterbatasannya dibanding metode perkuatan lain.
5. Menjadi bahan pertimbangan praktis dalam perencanaan kestabilan lereng pada berbagai konfigurasi geometri, baik yang serupa maupun berbeda.
6. Mengimplementasikan ilmu yang diperoleh selama perkuliahan di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, ke dalam karya ilmiah yang aplikatif dan bermanfaat.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian tidak menyimpang dari topik pembahasan, maka ditetapkan batasan penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian hanya difokuskan pada daerah lereng kavling B-03 yang berada di Zona B, Proyek Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu Batang Klaster 1 Fase 2 Tahap 1.
2. Data tanah yang digunakan dalam analisis merupakan hasil uji sondir dan uji CBR di lapangan.
3. Analisis dilakukan dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak *PLAXIS*.
4. Penelitian ini tidak memperhitungkan pengaruh muka air tanah.
5. Material perkuatan yang digunakan adalah geotekstil jenis Woven Kelas 1 dengan kekuatan tarik 70 kN/m.
6. Penelitian ini hanya terbatas pada analisis stabilitas lereng, faktor keamanan *(safety factor)*, dan total penurunan yang terjadi, tanpa membahas gambar teknis, metode pelaksanaan konstruksi, maupun rencana anggaran biaya.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Stabilitas tanah adalah upaya untuk meningkatkan kestabilan dan daya dukung tanah. Apabila tanah di lokasi tersebut sangat gembur atau sangat mudah dimampatkan, atau mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat-sifat tanah yang tidak diinginkan lainnya, maka tanah tersebut harus distabilkan. Bowles (1984)

Tujuan perbaikan tanah adalah untuk mencapai fondasi yang stabil dalam segala kondisi. Berikut adalah metode – metode stabilisasi yang diketahui:

1. Stabilisasi Mekanis

   Stabilisasi mekanis yaitu meningkatkan kekuatan atau daya dukung tanah dengan mengatur gradasi tanah. Proses ini biasanya menggunakan sistem pemadatan. Pemadatan adalah stabilisasi tanah secara mekanis, pemadatan ini bisa dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis peralatan mekanis seperti *roller,* benda berat yang dijatuhkan, peledakan, tekanan statis, dan masih banyak yang lainnya.

2. Stabilisasi Kimiawi

   Stabilisasi tanah secara kimia merupakan penambahan bahan penstabil yang dapat mengubah sifat-sifat tanah yang kurang baik. Biasanya tanah yang digunakan berbutir halus. Bahan yang digunakan untuk menstabilkan tanah disebut *stabilizing agent*.

2.1.1 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil

Arsy (2018) melakukan penelitian yang berjudul "Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode *Fellenius".* Penelitian ini berfokus pada tindakan analisis kestabilan timbunan di sepanjang badan jalan, baik menggunakan atau tidak menggunakan perkuatan geotekstil. Penelitian ini juga bertujuan untuk memahami korelasi antara panjang, jarak vertikal, dan sudut kemiringan geotekstil terhadap faktor keamanan. Ketika tanpa perkuatan dengan metode *fellenius*, hasilnya

menunjukkan angka keamanan SF = 1,786. Sedangkan, saat menggunakan *Geoslope* angka keamanan menjadi SF = 1,957 (tanpa pengaruh gempa), ketika dengan pengaruh gempa angkanya menjadi SF = 1,030. Kemudian, ketika menggunakan metode *Fellenius* secara manual pada variasi panjang geotekstil (10m, 13m, dan 15m), hasil analisis menunjukkan angka sebesar SF = 2,399, 2,347, dan 2,375. Angka keamanan meningkat menjadi SF = 2,497; 2,855 dan 2,947 ketika *Geoslope* tanpa pengaruh gempa, sedangkan menggunakan pengaruh gempa menjadi SF = 1,304; 1,442 dan 1,448. Selanjutnya, menghasilkan angka keamanan masing-masing sebesar SF = 2,646; 2,347 dan 2,059 pada perkuatan metode *Fellenius* secara manual dengan variasi jarak vertikal antar geotekstil (0,3 m, 0,4 m, dan 0,6 m). Ketika *Geoslope* tanpa pengaruh gempa, angka keamanan naik menjadi SF = 2,869; 2,855 dan 2,758. Sedangkan dengan pengaruh gempa menghasilkan SF = 1,436; 1,422 dan 1,405. Terakhir, hasil analisis menghasilkan angka keamanan masing-masing sebesar SF = 2,440; 2,347 dan 2,355 ketika menggunakan perkuatan dengan metode *Fellenius* secara manual pada variasi sudut kemiringan lereng (19°, 25°, dan 29°). Ketika *Geoslope* tanpa pengaruh gempa, angka keamanan meningkat menjadi SF = 2,930; 2,855 dan 2,696. Sedangkan, dengan pengaruh gempa menghasilkan SF = 1,423; 1,422, dan 1,409.

Ma'ruf, (2019) melakukan penelitian yang berjudul "Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Perangkat Lunak Pada Proyek Jalan Tol Kertosono Seksi 1" dengan bantuan program *PLAXIS* 8.6. Adapun tujuan dari penelitiannya adalah agar dapat mengetahui nilai faktor aman (*safety factor*) pada lereng dan penurunan tanah selama 465 hari dengan timbunan badan jalan yang tingginya 3 m, 5 m, dan 9 m yang disertai beberapa variasi pemodelan. Adapun hasil dari penelitian ini adalah pada masa konstruksi kondisi akan aman dan stabil ketika nilai faktor aman sebesar SF = 1,4467 dan ketika masa pasca konstruksi akan menurun menjadi 1,2483 dan kondisi tanah asli *replacement* 1 m dengan perkuatan geotekstil diperoleh nilai faktor aman saat masa konstruksi yaitu SF = 1,7795 dan pada saat masa pasca konstruksi sebesar 1,5627 dengan penurunan 0,174. Timbunan 5 m dengan kondisi tanah asli *replacement* 1 m dan menggunakan perkuatan geotekstil 1 lapis diperoleh nilai faktor aman saat masa konstruksi yaitu

SF = 1,563 dan pada pasca konstruksi sebesar 1,4561 dengan penurunan 1,301 m. Untuk timbunan 9 m dengan kondisi tanah asli *replacement* 1 m dan menggunakan perkuatan geotekstil 2 lapis serta *counterweight* diperoleh nilai faktor aman ketika masa konstruksi yaitu SF = 1,522 dan pada saat pasca konstruksi yaitu 1,4934 dengan penurunan 0,444 m.

Dalam Penelitian Rizqullah & Yelvi (2022) yang berjudul "Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing Seksi 2 STA 6+475 , proyek ini terdapat timbunan di badan jalan yang cukup tinggi yaitu sebesar 7,5 m. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh hasil analisis stabilitas lereng yang sesuai dengan faktor aman (*safety factor*) dan risiko kelongsoran, sehingga untuk melakukan hal tersebut diperlukan perencanaan dengan menggunakan geotekstil jenis *woven*. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis dengan metode *Bishop* menggunakan program *PLAXIS* V.20, dengan tujuan untuk mengetahui perbandingan hasil nilai angka keamanan kondisi tanah asli dengan penambahan perkuatan geotekstil. Sehingga, dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan yaitu ketika menggunakan metode *Bishop* tanpa beban gempa menghasilkan angka yang aman yaitu SF = 1,47 dan dengan program *PLAXIS* V.20 didapatkan nilai aman yaitu 1,201. Sedangkan, hasil analisis ketika menggunakan metode *Bishop* dengan beban gempa menghasilkan 0,18 dengan nilai faktor aman yaitu 0,95. Sementara itu, hasil analisis dengan beban gempa dan program *PLAXIS* V.20 tidak dapat dihitung, sehingga untuk mengatasi hal tersebut dilakukan cara untuk mencari nilai deformasi lateralnya, kemudian diperoleh nilai sebesar 0,505 m. Berdasarkan hasil tersebut, diperlukan penguatan pada lereng kondisi tanah asli karena nilai faktor aman < 1,25. Perkuatan menggunakan geotekstil dibagi menjadi 2 zona yaitu 1,0 m dan 0,5 m. Setelah dianalisis dengan perkuatan geotekstil memperoleh hasil nilai angka aman sebesar 1,880 dimana meningkat sebesar 64% dari kondisi lereng yang dilakukan analisis tanpa perkuatan. Sedangkan nilai deformasi lateral dengan beban gempa didapat sebesar 0,034 m. Sehingga, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai tersebut memenuhi syarat deformasi izin dan perbuatan geotekstil secara efektif dapat menaikkan kestabilan lereng guna mencegah kelongsoran di sekitar lereng.

2.1.2 Perkuatan Lereng Yang Dianalisa Dengan *Geotekstile*

Lingga (2019) melakukan penelitian yang berlokasi di area jalan raya Ponorogo, Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur. Adapun tujuan dari penelitiannya adalah untuk melakukan analisis faktor keamanan lereng dan beberapa komponen lain yang dapat mengubah stabilitas lereng. Sehingga, Pengkajian terhadap kemungkinan terjadinya tanah longsor dalam lereng jalan raya Ponorogo-Trenggalek harus dilakukan baik pada keadaan awal maupun setelah memberikan alternatif perlawanan. Analisis stabilitas lereng menggunakan program getekstile yang dilakukan dengan manual. Hal ini dilakukan berdasarkan kondisi lereng awal, kondisi lereng setelah mendapat bentuk baru, dan kondisi lereng setelah perkuatan geotekstil. Dengan jumlah beban kendaraan 15 kN/m^2, analisis diperoleh hasil *safety factor* sebesar 1,126, faktor keamanan lereng eksisting sebesar 0,564 dan faktor keamanan sebesar 1,1262. Dengan demikian lereng dapat dikatakan labil dan kemungkinan akan terjadi longsor jika kedua nilainya masih dibawah 1,5. Analisa kestabilan lereng dengan Geotekstil Plaxis menunjukkan faktor keamanan sebesar FS = 2,634 untuk geometri lereng baru dengan model geotekstil luas tanpa beban gempa dan faktor keamanan sebesar SF = 1,131 untuk perkuatan geotekstil panjang seragam tanpa beban gempa. Selanjutnya untuk panjang geotekstil perzona yang tidak terkena beban gempa berturut-turut, faktor keamanannya mencapai SF = 2,552; 2,552 dan 2,634. Sedangkan untuk panjang geotekstil perzona yang menerima beban gempa berturut-turut, faktor keamanannya mencapai SF = 1,098; 1,098 dan 1,098.

2.1.3 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Metode *Fellenius* pada Program *PLAXIS*

Judul penelitian Lembang (2021) adalah "Analisis Stabilitas Lereng menggunakan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan studi kasus di Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750". Kondisi lereng pada penelitian ini curam, sehingga akan melakukan pemotongan lereng untuk mencapai elevasi yang direncanakan. Kondisi tanah pada daerah ini terdapat lapisan tanah berbutir halus dan di bagian bawahnya terdapat tanah berpasir. Analisis stabilitas

lereng menggunakan program *PLAXIS* 8.6 dengan metode *Fellenius*. Dalam studinya ia menggunakan sudut kemiringan *eksisting* sebesar 46° dan variasi sudut kemiringan geometri baru sebesar 61°. Dari hasil analisa menggunakan metode *Fellenius* untuk mengubah sudut kemiringan sudut geometri baru sebesar 61° diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 0,9541. Sedangkan analisa dengan sudut kemiringan arus 46° menggunakan *PLAXIS* 8.6 telah terjadi keruntuhan atau tanah longsor dan menggunakan metode *Fellenius* diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 0,9675. Selanjutnya peneliti melakukan analisis menggunakan perkuatan geotekstil *woven* gaya MXW-300. Setelah dilakukan perkuatan dan analisa menggunakan *PLAXIS* 8.6, diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,306 untuk sudut kemiringan *eksisting* 46° dengan penambahan beban struktur, dan SF = 1,3679 dengan penambahan beban gempa. Selain itu, penurunan kemiringan lereng yang terjadi dalam 365 hari adalah 0,0002626 m. Kemudian untuk perubahan sudut kemiringan bentuk baru dengan sudut 61° setelah perkuatan diperoleh faktor keamanan sebesar 1,2913 dengan penambahan beban struktur dan 1,2902 dengan penambahan beban kejut. Hasil penurunan kemiringan lereng yang terjadi selama 365 hari adalah sebesar 0,000408.

Dari penelitian Hayumi (2021) yaitu dengan Judul "Analisis Stabilitas Timbunan Pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program *PLAXIS* ". Adapun tempat penelitian ini di Jalan Tol Padang – Pekanbaru Seksi 1 menggunakan program *PLAXIS* V2.0 dengan metode *Fellenius*. Ketinggian tanggul berkisar antara 1 m – 8 m dibandingkan dengan tinggi permukaan tanah semula, sehingga penelitian ini juga menggunakan variasi tinggi tanggul masing – masing 4 m, 6 m, dan 8 m, untuk memperkecil kemungkinan terjadinya tanah longsor apabila diketahui hasil faktor keamanannya kemudian dapat diperkuat secara efektif. Hasil analisa menggunakan *PLAXIS* V2.0 pada ketinggian timbunan 4m, 6m dan 8m, dengan tambahan beban lalu lintas dan beban gempa pada saat konstruksi dan setelah keruntuhan. Dengan demikian, analisa tahap konstruksi dan pasca konstruksi dilakukan dengan metode *Fellenius*, dengan tinggi timbunan 4 m, nilai faktor aman SF = 1,893 sedangkan tinggi timbunan 6 m didapat nilai SF = 1,637 dan pada tinggi timbunan 8 m diperoleh SF = 1,622. Kemudian pada proses

pasca konstruksi diperoleh faktor aman SF sebesar 1,651 untuk tinggi timbunan 4 m, untuk tinggi timbunan 6 m diperoleh nilai SF = 1,572 dan pada tinggi timbunan 8 m diperoleh SF sebesar 1,512. Selain itu, analisis keadaan tanah saat ini dengan perkuatan geotekstil menunjukkan penurunan pada timbunan 4 m dalam waktu 88 hari sebesar 0,207 m, penurunan pada timbul 6 m dalam waktu 104 hari dan pada timbunan 8 m tingginya 0,639 m dalam 131 hari.

2.1.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Dilakukan

Perbandingan dari beberapa penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan disajikan dalam Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian Terdahulu							**Penelitian yang Dilakukan**
Peneliti	**Arsy (2018)**	**Ma'ruf (2019)**	**Lingga (2019)**	**Hayumi (2021)**	**Lembang (2021)**	**Rizullah & Yelvi (2022)**	**Reza (2025)**
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode *Fellenius*	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Perangkat Lunak Pada Proyek Jalan Tol SoloKertosono	Analisis Perkuatan Lereng Dengan Geotekstil Menggunakan Program *Geoslope*	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS V20 (Studi kasus: Jalan Tol PadangPekanbaru Seksi 1	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan (Studi kasus di Jalan Tol NgawiKertosono Sta. 132+750)	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil pada Proyek Pembangunan Jalan Tol CibitungCilincing Seksi 2 Sta. 6+475	Analisis Stabilitas Tanah Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan *Plaxis* (Studi Kasus Pekerjaan Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu, Kab. Batang Jawa Tengah)
Tujuan Penelitian	Mengetahui Hasil Analiss Stabilitas Bada Jalan Tanpa Menggunakan Geotekstil, Dengan Perkuatan, Hubungan Antara Panjang	Mengetahui nilai faktor aman (*safety factor*) serta penurunan tanah variasi tinggi timbunan yaitu 3 m, 5 m, dan 9 m menggunakan PLAXIS 8.6 dan	Mengetahui kondisi lereng eksisting sebelum dan sesudah diberi perkuatan geotekstil resiko kelongsorannya.	Analisis ini memiliki tujuan memperoleh nilai faktor aman (*safety factor*) pada massa kontruksi dan pasca konstruksi dengan variasi tinggi timbunan 4 m, 6 m, dan 8 m. Selain itu untuk memperoleh	Mengetahui nilai faktor aman (*safety factor*) dan niai dari penurunan tanah pada lereng asli serta lereng yang mengalami perubahan geometri dengan variasi sudut 46° dan 61° yang diberi perkuatan geotekstil.	Tujuan dari penelitian yaitu untuk mendapatkan hasil analisis stabilitas lereng yang tepat dengan mengetahui nilai faktor aman (*safety factor*) dan nilai penurunan tanah	Mengetahui nilai SF pada lereng tanah timbunan tanpa per-kuatan dgn program Plaxis dan untuk mengetahui nilai SF lereng timbunan dengan perkuatan geotekstile dengan

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	**Arsy (2018)**	**Ma'ruf (2019)**	**Lingga (2019)**	**Hayumi (2021)**	**Lembang (2021)**	**Rizullah & Yelvi (2022)**	**Reza (2025)**
	Geotekstil Terhadap Angka Aman	perhitungan manual		nilai penurunan tanah timbunan yang diberi perkuatan geotekstil		resiko kelongsorannya	program Plaxis, untuk mengetahui total penurunan yang terjadi pada lereng timbunan tanpa perkuatan dan untuk mengetahui penurunan yang terjadi pada lereng timbunan dengan perkuatan geoteks tile dengan metode plaxis
Metode Penelitian	Analisa dan Permodelan mengguna kan Program *Geoslope* Dan Perhitungan Manual Dilakukan Dengan Metode *Fellenius*	Menggunakan metode elemen hingga dan metode irisan dengan bantuan program *PLAXIS* 8.6	Penelitian ini melakukan perbandingan hasil nilai angka keamanan (*safety factor*) kondisi tanah asli dengan diberi perkuatan geotekstil.	Pengumpulan data, pemodelan variasi lereng kemudian dimasukkan ke program *PLAXIS* versi 20 dan dihitung juga dengan metode Fellenius.	Analisis dilakukan dengan pengumpulan data, pemodelan desain lereng dan analisis dilakukan menggunakan metode Fellenius dan bantuan program *PLAXIS* 8.6	Penelitian ini melakukan perbandingan hasil nilai angka keamanan (*safety factor*) kondisi tanah asli dengan.	Analisis dilakukan dengan pengumpulan data dan permodelan lereng timbunan menggunakan program Plaxis V22

Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	**Arsy (2018)**	**Ma'ruf (2019)**	**Lingga (2019)**	**Hayumi (2021)**	**Lembang (2021)**	**Rizullah & Yelvi (2022)**	**Reza (2025)**
Hasil Penelitian	Hasil Analisis Stabilitas Jalan Menggunakan Perkuatan Dengan Metode *Fellenius* Secara Perhitungan Manual Diperoleh (Sf) Sebesar 1,786.	Hasil dari penelitian ini diperoleh kondisi aman dan stabil dimana nilai faktor aman (*safety factor*) lebih besar dari yang disyaratkan 1,25 dengan penurunannya pada masa	Angka aman lereng eksisting tanpa beban gempa sebesar 1,126 dan dengan beban gempa 0,564. Perkuatan geotekstil per zona adalah Angka aman per zona adalah 1,182 untuk gempa dengan gempa dan 2,771 untuk gempa tanpa gempa, masing-masing 1,131 dan 2,634.	Pada masa konstruksi tinggi timbunan 4 m nilai faktor aman (*safety factor*) sebesar 1,893, tinggi timbunan 6 m sebesar 1,637, tinggi timbunan 8 m sebesar 1,622. Pada paska konstruksi inggi timbunan 4 m sebesar 1,651, tinggi timbunan 6 m sebesar 1,572, dan tinggi timbunan 8 m sebesar 1,512.	Lereng asli dengan sudut 46° mengalami kegagalan begitu juga dengan penurunannya. Dalam kondisi lereng asli sudut 46° derajat dengan penggunaan geotekstil dan tanah timbunan setinggi 12,5 m nilai faktor aman (*safety factor*) ebesar 1,3697 akibat beban lalu lintas dan 1,3608 akibat beban lalu lintas dan beban gempa. Lereng geometri baru sudut 61° tanah asli mengalami kegagalan, begitu juga dengan penurunanya	Penelitian ini dianalisis dengan membandingkan hasil faktor aman (*safety factor*), dihitung mengguna kan metode Bishop dan PLAXIS versi 20.	

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah terdiri dari agregat (butiran) mineral kokoh yang tidak terendapkan (terikat secara kimia) satu sama lain dan bahan organik yang terdekomposisi (berpartikel padat), bersama dengan cairan dan gas yang memenuhi ruang kosong di antara partikel kokoh. Das (1995)

Tanah adalah suatu gabungan dari berbagai macam mineral, bahan organik, dan sedimen dengan ikatan antar partikelnya yang relatif longgar dan berada pada lapisan batuan *(bedrock)* di dalam bumi. Keterikatan yang kurang kuat antara partikel diakibatkan oleh karbonat, senyawa anorganik, atau oksida yang terdeposit di antara butir. Ruang di antara partikel dapat berisi udara, air, atau kedua-duanya. Proses fisika dan kimia dapat menyebabkan perubahan batuan asli menjadi tanah. Proses fisika yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel lebih kecil disebabkan oleh faktor-faktor seperti erosi, angin, es, perubahan cuaca atau suhu, serta aktivitas manusia. Pada saat yang sama, oksigen, karbon dioksida, air yang mengandung asam atau alkali dan proses kimia lainnya menyebabkan pembusukan kimia. Tanah yang mengalami pelapukan dan tetap berada pada tempatnya semula disebut tanah sisa (residual), sedangkan tanah yang terbawa arus atau transportasi disebut tanah terangkat Hardiyatmo (2006).

Menurut Dokuchaev (1870) dalam Fauziek dkk (2018), Tanah merupakan lapisan permukaan planet yang berasal dari bahan induk yang telah mengalami proses lebih jauh, akibat perubahan alami di bawah pengaruh air, udara, serta berbagai organisme baik yang masih hidup maupun yang telah tiada. Tingkat perubahan tampak pada komposisi, struktur, serta warna hasil pelapukan. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lain yang berlangsung dekat permukaan bumi akan menghasilkan tanah. Proses pembentukan tanah dari batuan asalnya dapat terjadi secara fisik maupun kimia. Proses fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel lebih kecil disebabkan oleh faktor cuaca, angin, air, dan pengaruh

erosi. Sedangkan proses kimia dapat terjadi dengan oleh pengaruh zat kimia, seperti oksigen dan karbondioksida.

Tanah selalu memiliki peran dalam setiap teknik sipil. Tanah berperan sebagai dasar yang menyangga beban dari sebuah struktur atau material bangunan itu sendiri, seperti tanggul atau bendungan, maupun berfungsi sebagai sumber yang menghasilkan gaya eksternal pada struktur, seperti dinding penahan. Dengan demikian, saat merancang konstruksi, perlu memperhatikan struktur, bentuk, ukuran, dan komposisi mineral tanah, serta karakteristik dan komposisi air tanah. Struktur tanah merupakan karakteristik yang bereaksi terhadap perubahan faktor eksternal seperti beban, kelembaban, suhu, dan elemen lainnya. Secara umum, tanah dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu tanah kohesif dan tanah non kohesif Das (1995)

3.1.1 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah pengelompokan berbagai tipe tanah ke dalam satu kategori tanah yang sesuai dengan ciri dan sifat-sifat tanah tersebut. Ciri-ciri dan karakteristik tanah sangat bervariasi, sehingga ada sistem klasifikasi tanah yang umumnya mengelompokkan tanah ke dalam kategori tertentu.

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu cara untuk mengatur berbagai jenis tanah yang beragam namun memiliki karakteristik yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan penggunaannya. Sistem klasifikasi tanah menawarkan cara yang sederhana untuk merangkum ciri-ciri umum tanah dengan berbagai variasi tanpa menjelaskan secara mendetail. Sebagian besar sistem pengelompokan tanah telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa yang berlandaskan pada karakteristik indeks tanah yang sederhana, seperti kategori jenis tanah berdasarkan ukuran butiran dan plastisitas.

Sistem pengklasifikasian tanah sangat berguna dalam perancangan, seperti konstruksi gedung, jalan, dan jembatan, dengan memberikan arahan melalui metode empiris yang telah ada dari pengalaman sebelumnya. Klasifikasi tanah juga sangat penting dalam penelitian yang lebih mendalam mengenai kondisi tanah dan kebutuhan pengujian untuk menetapkan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah dan sejenisnya

Verhoef (1994) mengelompokkan tanah menjadi 3 kategori, yaitu tanah berbutir kasar (kerikil/pasir), tanah berbutir halus (lempung/lanau), dan tanah campuran. Perbedaan antara tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus dapat dikenali melalui ciri-ciri materialnya. Tanah berbutir halus memiliki sifat kohesif (mendukung satu sama lain), sedangkan tanah berbutir kasar memiliki sifat tidak kohesif (tidak mendukung satu sama lain).

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang sering dipakai: USCS (Uniform Soil Classification System) dan AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Kedua sistem memanfaatkan karakteristik indeks tanah yang sederhana, seperti distribusi ukuran butir, batas cair, dan indeks plastisitas. Klasifikasi Tanah Sistem Seragam pertama kali diajukan oleh Casagrande (1942) dan selanjutnya diperbarui oleh insinyur USBR (Dewan Reklamasi Amerika Serikat). Sistem ini banyak dipakai oleh kelompok organisasi konsultan geoteknik (Hardiyatmo, 2014).

1. Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*)

   Sistem klasifikasi AASHTO *(American Association of State Highway and Transportation Officials)* pertama kali dikenalkan oleh Hoentogler dan Terzaghi, kemudian diambil alih oleh *Bureau of Public Roads*. Sistem ini dirancang untuk tujuan tertentu dan digunakan untuk menilai kualitas tanah sejalan dengan perencanaan timbunan jalan*, subbase, dan subgrade.*

   Berdasarkan sistem ini, lahan dibagi menjadi tujuh kategori utama dari A-1 hingga A-7. Tanah yang termasuk dalam kategori A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah yang memiliki material berbutir dengan kandungan < 35% butiran yang melewati saringan no.200. Klasifikasi tanah yang terdiri atas kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7 adalah material yang terbuat dari tanah lanau dan tanah liat dengan kandungan < 35 % material yang lolos saringan no. 200.

   Dibawah ini ditunjukkan seperti dalam Tabel 3.1 sistim Klasifikasi ASSHTO sebagai berikut :

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

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

Catatan:
Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)
Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5
Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6
Np = nonplastis

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

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

   Menurut USCS (*Unifield Soil Classification System*), tanah diklasifikasikan menjadi tanah berbutir kasar seperti kerikil dengan menggunakan simbol G (*gravel*) dan S (*sand*). Selain itu, disebutkan juga mutu tanahnya, tanah yang baik diberi simbol W (*well graded*) dan tanah yang mutunya rendah diberi lambang P (*poor graded*). Jika kurang dari 50%, maka lolos nomor filter. Jika lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai tanah berbutir halus. Simbol klasifikasi ini adalah M (*silt*) untuk tanah berlanau organik dan C (*clay*) untuk tanah lempung anorganik. Plastisitas juga diberi simbol L (*low plasticity*) untuk tanah dengan plastisitas rendah dan H (*high plasticity*) untuk tanah dengan plastisitas tinggi. Di bawah ini adalah sistem klasifikasi tanah berdasarkan klasifikasi USCS dan ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi USCS

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

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

3.1.2 Parameter Tanah

Analisis kestabilan pada lereng membutuhkan perhatian terhadap beberapa parameter tanah, termasuk berat jenis, kuat geser (kohesi dan sudut gesek dalam), modulus elastis, rasio poisson, sudut dilatansi, serta konduktivitas hidraulik.

1. Berat volume (γ)

   Berat volume tanah terbagi menjadi 3 kondisi, yaitu berat volume tanah jenuh (γsat), berat volume tanah basah (γb), dan berat volume tanah kering (γd). Berat volume tanah jenuh (γsat) adalah perbandingan antara berat butiran tanah yang terendap di dalam air dengan volume total tanah. Berat volume tanah jenuh dapat dihitung menggunakan Persamaan (3.1) sebagai berikut.

$$\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V} \tag{3.1}$$

   Berat volume tanah basah (γb) merupakan perbandingan antara berat butiran tanah (termasuk air dan udara) dengan volume total tanah. Berat volume tanah basah dapat dihitung menggunakan Persamaan (3.2) sebagai berikut.

$$\gamma b = \frac{W}{V} \tag{3.2}$$

   Berat volume tanah kering (γd) adalah rasio antara berat butiran tanah yang padat dengan volume total tanah. Perhitungan berat volume tanah kering dapat dilakukan menggunakan Persamaan (3.3) sebagai berikut.

$$\gamma d = \frac{Ws}{V} \tag{3.3}$$

   dengan:

   γ_{sat} = Berat volume kondisi tanah jenuh (kN/m^3)
   γb = Berat volume kondisi tanah basah (kN/m^3)
   γd = Berat volume kondisi tanah kering (kN/m^3)

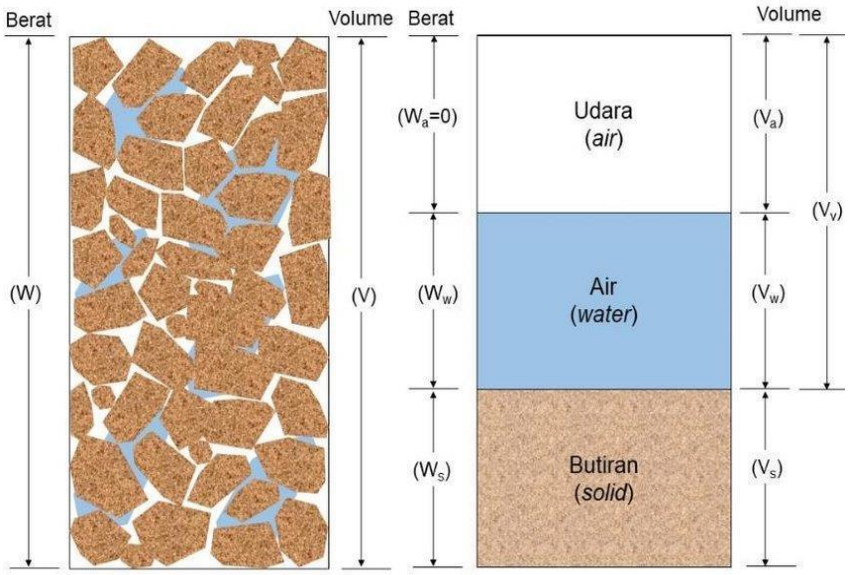
W_{sat} = Berat butiran kondisi tanah jenuh (kN)

W = berat butiran tanah termasuk air dan udara (kN)

W_s = Berat butiran tanah padat (kN)

V = Volume total tanah (m^3)

Menurut Hardiyatmo (2010), tanah merupakan agregat dari mineral, bahan organik, serta endapan yang bersifat relatif lepas dan berada di atas batuan dasar (*bedrock*), yang umumnya tersusun atas dua hingga tiga jenis material. Rongga atau ruang di antara partikel tanah dapat terisi udara maupun fluida lainnya. Pada kondisi kering, tanah hanya terdiri atas dua komponen utama, yaitu butiran tanah dan ruang pori. Apabila tanah berada dalam kondisi jenuh, maka komponen penyusunnya adalah partikel tanah dan air yang mengisi pori-pori. Sementara itu, pada kondisi tidak jenuh, tanah tersusun atas tiga elemen, yakni butiran padat, pori-pori yang berisi udara, serta air dalam pori. Keseluruhan komponen tersebut dapat digambarkan melalui diagram fasa (Gambar 3.1), yang menunjukkan hubungan elemen tanah berdasarkan volume (V) dan berat (W).



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

3.2 Lereng

Lereng adalah kondisi permukaan tanah yang memiliki perbedaan elevasi antararea sehingga membentuk suatu kemiringan. Secara umum, lereng dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan proses terbentuknya, yaitu lereng alami yang terjadi akibat proses geologi dan lingkungan, serta lereng buatan yang dihasilkan melalui aktivitas manusia.

Dalam bidang Teknik Sipil, lereng dapat dibedakan menjadi tiga kategori utama, yaitu:

1. Lereng alami terbentuk melalui proses geologi dan lingkungan secara alamiah, misalnya pada lereng bukit atau pegunungan.
2. Lereng dari tanah asli terbentuk akibat aktivitas manusia, seperti pemotongan tanah untuk pembangunan jalan, struktur bangunan, maupun saluran irigasi.
3. Lereng timbunan merupakan lereng yang dibentuk dari tanah hasil pemadatan, misalnya pada konstruksi tanggul.

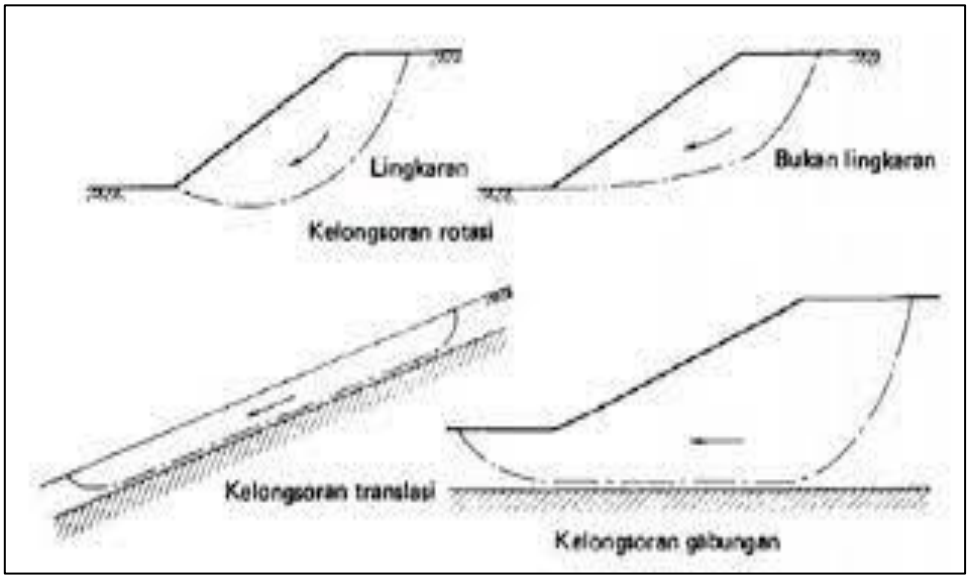
Ketiga jenis lereng tersebut memiliki potensi terjadinya longsor, karena gaya gravitasi menyebabkan massa tanah bergerak dari elevasi yang lebih tinggi menuju elevasi yang lebih rendah pada kondisi tanah yang tidak seragam. Apabila gaya geser yang bekerja pada batas antara massa tanah yang bergerak dengan massa tanah yang stabil melebihi kemampuan lereng untuk menahannya, maka kelongsoran dapat terjadi.

Secara umum, peristiwa kelongsoran dapat dikelompokkan ke dalam tiga kategori utama, yakni sebagai berikut.

1. Kelongsoran rotasi *(rotational slips)* merupakan tipe longsor yang ditandai dengan pergerakan massa tanah pada bidang yang relatif datar. Pada fenomena ini, tanah beserta batuan cenderung bergerak mengikuti bidang gelincir berbentuk cekungan, sehingga pola pergeserannya menyerupai rotasi.
2. Kelongsoran translasi *(translational slips)* merupakan tipe longsor yang paling sering dijumpai, ditandai dengan pergerakan massa tanah maupun

batuan pada bidang gelincir yang umumnya berbentuk datar atau berombak landai.

3. Kelongsoran gabungan *(compound slips)* muncul ketika lapisan tanah yang berdekatan mengalami pergeseran pada kedalaman yang lebih dalam. Jenis kelongsoran ini umumnya terbentuk dari kombinasi gerakan yang melibatkan bagian lengkung serta bidang datar. Gambar 3.2 berikut memperlihatkan berbagai jenis kelongsoran.



Gambar 3.2 Macam Kelongsoran

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

3.3 Faktor- Faktor Terjadinya Longsor

Penting untuk memahami proses dan faktor penyebab tanah longsor, terutama bagi mereka yang tinggal di daerah lereng curam. Meskipun sulit untuk memprediksi kapan bencana ini akan terjadi, pemahaman terhadap faktor-faktor penyebabnya dapat membantu dalam pencegahan tanah longsor. Setiap faktor memiliki cara tersendiri dalam mempengaruhi kestabilan lereng, di antaranya adalah kondisi geologi, topografi, perubahan iklim, perubahan struktur tanah lempung dan lanau, serta pengaruh air terhadap tanah. Berikut adalah perbedaan masing-masing faktor tersebut:

1. Pengaruh Geologi

   Sedimentasi merupakan proses geologi yang berperan dalam pembentukan lapisan kerak bumi, yang pada kondisi tertentu dapat menjadi rentan terhadap longsor. Misalnya, air sering kali berada di bawah setiap lapisan dan terlihat menyerupai aliran sungai. Ketika sungai mengalir menuju laut, ia membawa partikel-partikel halus dalam jumlah tertentu. Banyaknya partikel ini bergantung pada volume serta kecepatan aliran air. Partikel yang terbawa kemudian mengendap di dasar laut dan secara bertahap membentuk lapisan tanah baru. Bergantung pada aliran laut, distribusi endapannya dapat merata atau tidak merata. Akibatnya, tekanan air akan meningkat ketika volume besar air mengalir ke lapisan pasir yang tipis, sementara pengeluaran air menurun. Akibatnya, terjadi longsor. Sebaliknya, jika air mengalir ke dalam lapisan pasir yang tebal dan lapisan itu tidak sepenuhnya jenuh, maka lapisan tersebut dapat berfungsi sebagai saluran pembuangan alami

2. Pengaruh Topografi

   Topografi menggambarkan kondisi permukaan bumi yang mencakup lahan, vegetasi, serta hubungan antara manusia dan lingkungannya. Peristiwa tanah longsor biasanya dipicu oleh bentuk topografi yang curam, sudut lereng yang besar, adanya kandungan air, tambahan beban, serta kepadatan tanah dan batuan. Longsor terjadi ketika gaya dorong dari bagian yang lebih tinggi melebihi kekuatan penahan di bawahnya, sehingga lapisan tanah mengalami pergeseran.

3. Pengaruh Cuaca

   Peningkatan intensitas curah hujan umumnya menyebabkan risiko longsor lebih tinggi pada musim hujan. Sementara itu, pada musim kemarau panjang, air banyak menguap dari permukaan tanah sehingga terbentuk pori-pori atau celah yang menimbulkan retakan. Ketika hujan turun, air akan meresap ke dalam retakan tersebut dan membuat tanah cepat mengembang. Kondisi ini sering diperburuk oleh hujan deras di awal musim hujan, yang menyebabkan tanah menjadi jenuh air dalam waktu singkat. Akibatnya, air yang masuk

melalui retakan dapat terkumpul di bagian bawah lereng dan memicu terjadinya longsor (Subowo, 2003). Selain itu, curah hujan yang tinggi dan berlangsung lama dapat meningkatkan kelembaban tanah. Kondisi tersebut melemahkan kekuatan tanah maupun batuan, sementara intensitas hujan yang terus meningkat berpotensi memicu terbentuknya bidang gelincir yang akhirnya menyebabkan longsor (Suryaatmojo & Seodjoko, 2008).

4. Perubahan Struktur Tanah Lanau

   Kekuatan geser pada tanah lempung maupun lanau cenderung berkurang akibat proses penyerapan air dan penyusutan tanah. Faktor lain yang berperan adalah pertukaran ion, yaitu kondisi ketika ion bebas pada mineral lempung digantikan oleh ion dari mineral lain. Kedua mekanisme ini sering kali bekerja secara bersamaan, sehingga mempercepat penurunan kekuatan geser. Misalnya, tanah lempung akan menjadi lebih halus dan rapuh apabila menyerap air yang mengandung larutan garam. Pada saat yang sama, ion-ion garam dapat menggantikan ion bebas dalam mineral lempung, sehingga terjadi perubahan komposisi ion yang secara langsung memengaruhi sifat kekuatan lempung tersebut.

5. Pengaruh Air Dalam Tanah

   Tekanan air pori merupakan salah satu faktor dominan pemicu terjadinya kelongsoran, karena sebagian besar jenis longsor melibatkan keberadaan air. Pada tanah kohesif, penyerapan air dengan konsentrasi tinggi dapat menyebabkan lapisan menjadi lebih lunak. Kondisi ini berimplikasi pada menurunnya nilai kohesi serta sudut geser dalam lapisan tanah, sehingga kekuatan gesernya ikut berkurang.

   Selanjutnya untuk nilai kapasitas dukung tanah menurut Terzaghi dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut:

Tabel 3.3 Nilai Kapasitas Dukung Terzaghi

ϕ	Nc	Nq	Ny	Φ	Nc	Nq	Ny
0	5.70	1.00	0.00	**26**	27.09	14.21	984
1	6.00	1.10	0.01	**27**	29.24	14.21	11.60
2	6.30	1.22	0.04	**28**	31.61	17.81	15.15
3	6.62	1.35	0.06	**29**	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	**30**	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	**31**	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	**32**	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	**33**	48.09	32.32	31.94
8	8.60	2.21	0.35	**34**	52.64	26.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	**35**	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	**36**	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	**37**	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	**38**	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	**39**	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	**40**	95.66	81.27	115.31
15	12,86	4,45	1,52	**41**	106,81	93,85	140,51
16	13,68	4,92	1,82	**42**	119,67	108,75	171,99
17	14,60	5,45	2,18	**43**	134,58	126,50	211,56
18	15,12	6,04	2,59	**44**	151,95	147,74	261,60
19	16,56	6,70	3,07	**45**	172,28	173,28	325,34
20	17,69	7,44	3,64	**46**	196,22	204,19	407,11
21	18,92	8,26	4,31	**47**	224,55	241,80	512,84
22	20,27	9,19	5,09	**48**	258,28	287,85	650,67
23	21,75	10,23	6,00	**49**	298,71	344,63	831,99
24	23,36	11,40	7,08	**50**	347,50	415,14	1072,80
25	25,13	12,71	8,34				

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

3.4 Metode Stabilitas Lereng

Terdapat berbagai metode yang dapat digunakan dalam analisis stabilitas lereng. Pemilihan metode tersebut umumnya disesuaikan dengan karakteristik tanah serta tingkat kemiringan lereng yang dikaji. Melalui metode yang tepat, peneliti dapat menyederhanakan proses analisis kondisi tanah maupun lereng di lapangan.

3.4.1 Metode Fellenius

Pada analisis stabilitas lereng dengan metode Fellenius, gaya-gaya yang bekerja tegak lurus terhadap bidang longsor saling meniadakan, sehingga gaya pada sisi kanan dan kiri setiap irisan dianggap bernilai nol. Untuk menghitung faktor keamanan lereng (*Safety Factor/SF*), diperlukan sejumlah data dasar, antara lain sebagai berikut:

a. Data geometri lereng, seperti sudut kemiringan, tinggi lereng, dan panjang lereng dari kaki hingga puncak. Informasi ini sangat penting dalam penyusunan penampang lereng
b. Data mekanika tanah
    - sudut geser dalam (∅)
    - isi tanah basah (γwet; g/cm^3 atau kN/m^3 atau ton/m^3)
    - kohesi (c; kg/cm^2 atau kN/m^2 atau ton/m^2)
    - kadar air dalam tanah (ω%).

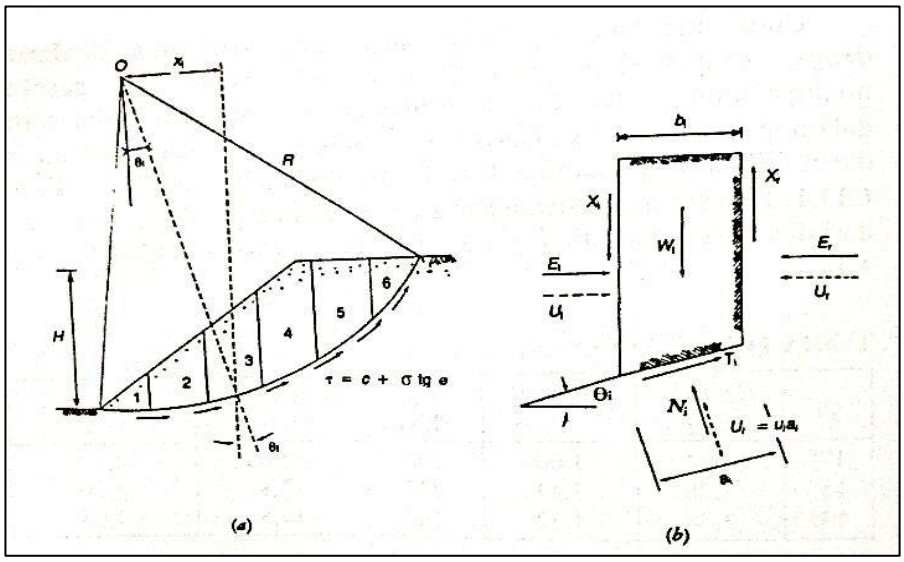
Dengan menggunakan data tersebut, perhitungan faktor keamanan dilakukan melalui Persamaan 3.1 dan 3.2, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3, yang menggambarkan keseimbangan gaya vertikal serta gaya yang bekerja dengan memperhitungkan tekanan air pori pada setiap irisan.

$$Ni + Ui = Wi \cos \theta i \tag{3.1}$$

atau

$$Ni = Wi \cos \theta i \; Ui$$

$$= Wi \cos \theta i - ui\alpha i \tag{3.2}$$



Gambar 3. 3 Gaya-gaya Pada Irisan

(Sumber: Hardiyatmo,2008)

Rumus 3.3 untuk faktor aman diantaranya adalah

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

$$F = \frac{\sum Mr}{\sum Md} \qquad (3.3)$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah R sin θ, menurut Persamaan 3.4, maka,

$$\sum Mr = R \sum_{i-1}^{i=n} (Wi \sin \theta i) R \qquad (3.4)$$

Dimana,

R = jari-jari lingkaran di bidang longsor

n = banyaknya irisan

Wi = berat massa tanah di irisan ke-i

θi = sudut

Persamaan 3.5 menggambarkan momen penahan terhadap potensi yang akan longsor yaitu:

$$\sum Mr = \mathrm{R} \sum_{i=1}^{i=n}(\mathrm{cai} + \mathrm{Ni\ tg}\ \varphi)\mathrm{R} + \sum_{i-1}^{m} Tiyi \quad (3.5)$$

Selanjutnya Faktor Keamanan *(Safety Factor/SF)* dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.6 berikut:

$$\mathrm{SF} = \frac{\mathrm{R} \sum_{i-1}^{i=n}(\mathrm{cai} + \mathrm{Ni\ tg}\ \varphi) + \sum_{i-1}^{m} Tiyi}{\sum_{i=1}^{i=n}(Wi\ sin\ \theta\mathrm{i})\ \mathrm{R}} \quad (3.6)$$

Persamaan 3.6 berlaku untuk kondisi tanah yang belum jenuh serta tidak dipengaruhi oleh muka air tanah. Namun, apabila terdapat tekanan air pori pada lereng, persamaan tersebut kemudian dimodifikasi ke dalam bentuk tegangan efektif dan dinyatakan sebagai Persamaan 3.7.

$$\mathrm{SF} = \frac{\sum_{i-1}^{i=n}(\mathrm{cai} + \mathrm{Wi\ cos}\theta\mathrm{i} - uiai)\ \mathrm{tg}\ \varphi)\mathrm{R} + \sum_{i-1}^{m} Tiyi}{\sum_{i=1}^{i=n}(Wi\ sin\ \theta\mathrm{i})\ \mathrm{R}} \quad (3.7)$$

Dimana,

SF = *Safety Factor*

c = kohesi dalam tanah (kN/m)

ϕ = sudut gesek tanah (°)

$a\mathrm{i}$ = Panjang lengkung lingkaran di irisan ke-i

Wi = berat irisan pada tanah ke-i

ui = tekanan air pori di irisan ke-i

θi = sudut dalam gambar (°)

Metode Fellenius menggunakan pendekatan perhitungan yang lebih teliti sehingga menghasilkan nilai faktor keamanan yang relatif lebih kecil. Variabel-variabel seperti sudut pusat lingkaran dan tekanan air pori dapat memengaruhi tingkat ketelitian hasil perhitungan, dengan potensi kesalahan berkisar antara 5% hingga 40% (Whitman dan Bely, 1969). Stabilitas lereng dapat dianalisis melalui penerapan rumus pada metode ini. Berkat prosedurnya yang sederhana sekaligus

mempertimbangkan aspek keamanan, metode Fellenius banyak digunakan dalam praktik rekayasa geoteknik.

3.5 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya yang diberikan oleh butir-butir tanah sebagai respons terhadap tekanan atau tarikan. Kuat geser tanah adalah parameter krusial dalam perencanaan struktur karena memberikan data mengenai ketahanan tanah terhadap tegangan geser. Kuat geser tanah diukur menggunakan dua parameter tanah, yakni:

1. Kohesi (c) yaitu gaya tarik menarik antar partikel
2. Sudut geser dalam (ϕ) yaitu gesekan antar butir tanah

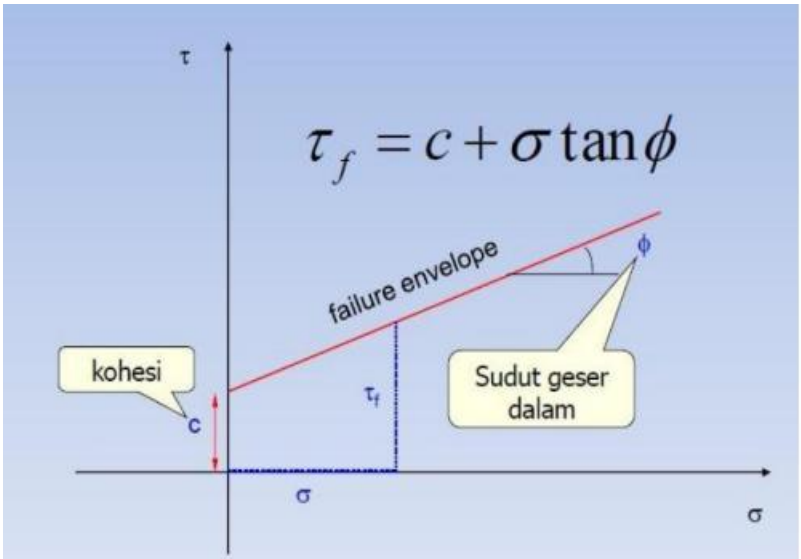
Faktor yang mempengaruhi kuat geser tanah diantaranya :

1. Keadaan tanah seperti angka pori, ukuran dan bentuk butiran tanah
2. Jenis tanah seperti pasir dan lempung
3. Kadar air

(Hardiyatmo, 2002) apabila tanah menerima suatu pembebanan, maka gaya tersebut akan ditahan oleh beberapa komponen, antara lain:

1. Kohesi tanah, yang dipengaruhi oleh kepadatan serta jenis tanah, namun tidak dipengaruhi oleh tegangan normal pada bidang geser.
2. Gaya gesekan antarbutir tanah, yang besarnya sebanding dengan tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.

Selanjutnya, menurut Coulomb (1776), hubungan antara komponen-komponen tersebut dapat dinyatakan dalam suatu persamaan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Grafik Mohr dan Coulumb

(Sumber: Mekanika Tanah Kriteria Keruntuhan Mohr Coulumb)

Rumus :

$$\tau = c + \sigma \text{ tg } \varphi$$

Dimana :

τ = kuat geser tanah (kN/m^2)

c = kohesi (kPA)

σ = tegangan normal (kN/m^{2})

φ = sudut geser tanah (º)

Adapun cara agar menentukan kuat geser tanah, antara lain :

1. Pengujian geser langsung *(direct shear test)*
2. Pengujian triaxial *(triaxial test)*
3. Pengujian tekan bebas

Pengujian-pengujian tersebut dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

3.6 Stabilitas Lereng

Dalam buku Mekanika Tanah 2 edisi ke-5, Hardiyatmo (2014) menjelaskan bahwa gaya gravitasi memiliki kecenderungan mendorong massa tanah ke arah bawah pada permukaan yang miring atau tidak horizontal. Apabila komponen gravitasi tersebut melebihi gaya gesekan yang mampu ditahan oleh tanah pada bidang gelincirnya, maka lereng berpotensi mengalami kelongsoran. Oleh karena itu, analisis kestabilan lereng menjadi hal yang penting dan umum diterapkan dalam perencanaan berbagai jenis konstruksi, seperti jalur kereta api, bandar udara, bendungan, timbunan tanah, saluran, serta bangunan lain yang berada pada lahan berkontur miring. Analisis ini dilakukan untuk menjamin keamanan lereng alami, lereng hasil galian, maupun lereng buatan dari timbunan tanah.

Massa tanah pada permukaan yang miring atau tidak rata cenderung bergerak menuju elevasi yang lebih rendah. Oleh karena itu, analisis kestabilan lereng menjadi salah satu evaluasi penting yang sering digunakan dalam perencanaan konstruksi, misalnya pada timbunan jalan, galian lereng, maupun pembangunan bendungan. Fokus utama dari analisis ini adalah memastikan aspek keamanan pada area yang berpotensi mengalami longsor. Landasan teori yang umum digunakan adalah konsep keseimbangan batas (*general limit equilibrium*), yang memungkinkan perhitungan faktor keamanan (*Safety Factor/SF*) dalam kaitannya dengan gaya runtuh yang memengaruhi kestabilan lereng.

Analisis kestabilan lereng merupakan kajian yang kompleks karena dipengaruhi oleh banyak variabel, seperti perembesan air di dalam tanah, kondisi tanah yang bersifat anisotropis, serta adanya lapisan tanah berstrata. Terzaghi (1950) mengelompokkan penyebab longsoran lereng ke dalam dua faktor utama, yaitu pengaruh internal yang memicu terjadinya kelongsoran, dan pengaruh eksternal yang dapat menimbulkan longsor tanpa adanya perubahan pada kondisi internal, misalnya akibat gempa bumi. Sebagai ilustrasi, kegiatan manusia seperti penggalian tanah yang terlalu dalam atau erosi tebing sungai dapat memperburuk kondisi kemiringan lereng. Faktor eksternal lainnya meliputi elemen-elemen yang meningkatkan tegangan geser tanpa diikuti pergeseran tanah yang signifikan.

Peningkatan tekanan air pori di dalam lereng merupakan salah satu contoh umum dari kondisi tersebut.

Terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk menilai kestabilan lereng. Pangular (1985) mengelompokkan analisis stabilitas lereng ke dalam tiga pendekatan, yaitu metode visual, metode komputasi, dan metode grafik. Tingkat keamanan lereng dapat dinyatakan melalui indikator faktor keamanan yang merefleksikan stabilitasnya. Dalam analisis ini, kuat geser yang dibutuhkan untuk menjaga keseimbangan sepanjang bidang gelincir (τd) dihitung, kemudian dibandingkan dengan kuat geser aktual yang tersedia pada tanah (τ).

Pada kondisi tersebut, faktor keamanan diasumsikan memiliki nilai konstan di sepanjang bidang longsor, yang ditentukan melalui perbandingan antara kuat geser aktual dengan kuat geser yang dibutuhkan. Dengan demikian, proporsi tetap dari kuat geser yang tersedia berperan dalam mencegah terjadinya pergeseran pada setiap titik di sepanjang bidang gelincir.

Analisis stabilitas lereng memiliki tujuan utama untuk memastikan perancangan galian, timbunan, bendungan urugan, serta proyek konstruksi lainnya dapat dilakukan secara aman dan ekonomis. Proses evaluasi ini mencakup identifikasi berbagai faktor yang memengaruhi, seperti kondisi geologi, sifat material, aspek lingkungan, serta pertimbangan ekonomi. Selain itu, analisis ini juga bertujuan memahami karakteristik, skala, serta frekuensi potensi permasalahan lereng yang mungkin muncul selama umur rencana suatu proyek.

Sebelum melakukan analisis kestabilan lereng, pertimbangan aspek geologi perlu diperhatikan. Abramson (1996) menyebutkan bahwa sejumlah faktor geologi yang berpengaruh terhadap stabilitas lereng antara lain struktur geologi, keberadaan diskontinuitas, tekanan dalam tanah, tingkat pelapukan akibat perubahan iklim, riwayat kejadian longsor sebelumnya, serta sifat mineralogi tanah liat.

Tingkat keamanan lereng dapat ditentukan melalui perbandingan antara kuat geser tanah dengan tegangan geser yang bekerja, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 3.8 berikut.

$$SF = \frac{\tau f}{\tau d} \quad (3.8)$$

Dimana,

SF = faktor aman,

τf = tahanan geser maksimum,

τd = tegangan geser maksimum

Das (1994) mendefinisikan faktor keamanan sebagai perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya pendorong. Gaya pendorong, atau yang sering disebut sebagai gaya dorong, merupakan gaya yang menyebabkan terjadinya kelongsoran Duncan (2004). Apabila nilai SF < 1, lereng dikategorikan rawan longsor; jika SF = 1, lereng berada dalam kondisi labil atau kritis; sedangkan SF > 1 menunjukkan lereng dalam keadaan stabil. Berdasarkan teori Mohr-Coulomb (1980), kelongsoran terjadi ketika gaya yang bekerja melebihi kapasitas tahanan geser maksimum (τ) yang dapat dimobilisasi tanah pada bidang longsor.

Nilai faktor keamanan berdasarkan tingkat intensitas kelongsoran tercantum dalam Tabel 3.4, sesuai dengan ketentuan SNI 8460:2017 tentang Faktor Keamanan Stabilitas Lereng.

Tabel 3.4 Nilai Keamanan Lereng

Aspek Biaya serta risiko kegagalan lereng	**Tingkat ketidakpastian kondisi analisis**	
	Rendah[a]	**Tinggi[b]**
Biaya yang diperlukan untuk perbaikan seimbang dengan tambahan biaya desain lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan melebihi biaya tambahan yang diperlukan dalam merancang lereng secara lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih

[a]Tingkat ketidakpastian rendah ditetapkan apabila kondisi geologi dapat dipahami dengan baik, tanah memiliki sifat yang relatif seragam, serta hasil penyelidikan tanah menunjukkan konsistensi, kelengkapan, dan kesesuaian dengan kondisi lapangan. [b]Tingkat ketidakpastian tinggi berlaku ketika kondisi geologi sangat kompleks, karakteristik tanah bervariasi, dan data hasil penyelidikan tanah tidak konsisten maupun kurang dapat dipercaya.

(Sumber: SNI 8460 : 2017)

Tabel 3.5 *Safety Factor* Ditinjau Berdasar Keadaan Lereng

SF	Keadaan Lereng
F < 1,00	Lereng dalam kondisi labil
1,00 < F < 1,20	Kondisi diragukan
1,30 < F < 1,40	Kondisi Memuaskan
1,50 < F < 1,70	Kondisi Stabil

(Sumber: Sosrodarsono, 2003)

Tabel 3.6 *Safety Factor* Ditinjau Dari Intensitas Longsor

SF	Kemungkinan Longsor
F < 1,07	Longsor biasa/sering (labil)
1,07 < F < 1,25	Longsor pernah terjadi (kritis)
F > 1,25	Jarang terjadi (stabil)

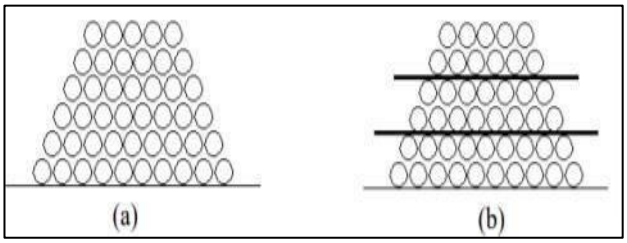
(Sumber: Bowles, 1991)

3.7 Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil

Di beberapa proyek pembangunan, keadaan tanah yang tidak ideal dapat berpengaruh besar jika tidak diatasi dengan cara yang benar oleh para pekerja. Di area tersebut, terdapat berbagai tipe tanah, seperti tanah liat dan gambut, yang memiliki tingkat kompresibilitas yang tinggi. Karakteristik ini dapat berpengaruh terhadap kestabilan tanah dan mengakibatkan penurunan permukaan tanah. Dalam pekerjaan struktural, penambahan beban bangunan dapat menyebabkan tegangan maksimum pada fondasi dasar. Apabila tegangan ultimit tersebut melebihi batas tegangan yang diperbolehkan, tanah dapat ambruk. Karena itu, dalam beberapa

keadaan memerlukan penguatan tanah. Salah satu metode penguatan tanah yang digunakan sekarang, terutama pada tanah yang lemah, adalah pemanfaatan material dengan karakteristik fleksibel tinggi seperti geotekstil.

Seorang ahli teknik asal Prancis, Henri Vidal (1966), melakukan sebuah penelitian. Dari hasil penelitiannya, ia menyimpulkan bahwa tumpukan pasir alam dengan sudut kemiringan alami dapat tetap stabil pada sudut kemiringan yang lebih besar jika ditambahkan material fleksibel yang mampu menahan gaya tarik di dalam tumpukan pasir tersebut. Adapun perbedaan dari tumpukan pasir dan sudut lereng asli dengan tanah yang telah diperkuat dapat dilihat pada Gambar 3.5 sebagai berikut.



Gambar 3.5 (a) Tumpukan pasir dengan sudut lereng asli, (b) Tumpukan pasir dengan lereng yang sudah diperkuat

(Sumber: Hendry Vidal, 2966, dalam Effendi, 2020)

Faktor yang memicu terjadinya keruntuhan atau longsoran tanah adalah pergeseran partikel-partikel tanah. Oleh sebab itu, sangat penting untuk memahami jenis atau tipe kehancuran yang terjadi. Salah satu solusi yang dapat digunakan adalah penguatan tanah, yang diterapkan di lokasi yang mengalami keruntuhan atau longsor dengan memasang bahan penguat tanah, penyangga (soil nailing), dan metode lain. Di samping itu, penguatan tanah juga dapat meningkatkan faktor keselamatan desain, menghindari pergeseran lapisan, serta memperbaiki kinerja timbunan tanah karena penurunan seragam setelah pembangunan.

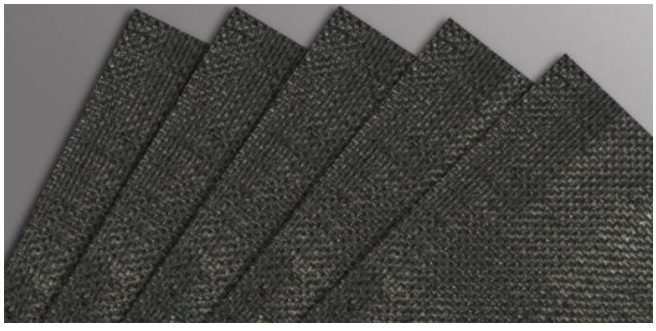
3.7.1 Geotekstil

Geotekstil adalah material sintetis berupa lembaran yang menyerupai tekstil dan memiliki karakteristik permeabilitas yang baik. Lembaran geotekstil terdiri

dari beberapa komponen yang digabungkan, seperti filamen (serat kontinu) yang panjang berbentuk benang, dan serat pendek yang disebut serabut serat (serat stabil). Geotekstil mudah terpengaruh oleh sinar ultraviolet matahari, sehingga dalam produk geotekstil sering disertakan bahan khusus untuk memperkuat ketahanannya. Salah satu aspek krusial dalam pemanfaatan geotekstil adalah daya tariknya. Pemilihan tipe geotekstil berdampak pada kemampuannya dalam berbagai peran, seperti penguatan struktur, pemisahan, dan juga filtrasi atau drainase. Karena itu, sangat penting untuk memilih tipe geotekstil yang benar dan memastikan pemasangannya sesuai prosedur yang ada Fluet (1998). Secara umum, geotekstil dibagi menjadi dua jenis sebagai berikut.

1. Geotekstil Teranyam *(Woven)*

   Geotekstil teranyam (woven) merupakan salah satu tipe geotekstil berupa lembaran yang dibuat dari silt film tape polypropylene, dianyam secara dua arah, yaitu secara vertikal (di bagian atas) dan horizontal (di bagian bawah), seperti yang terlihat pada Gambar 3.7. Permukaan geotekstil yang teranyam memiliki tekstur unik yang memberikan koefisien gesekan (resistensi tarik) yang tinggi, meskipun dipasang pada tanah yang kohesif. Ini berdampak pada panjang penjangkaran geotekstil yang dibutuhkan. Tipe geotekstil ini digunakan untuk memperkuat tanah dasar, terutama pada tanah lembek, dan diterapkan pada proyek reklamasi tanah, jalur kereta, bandara, serta pembangunan jalan, karena bersifat permeabel dan memiliki daya tarik yang lebih besar untuk menjamin keamanan struktur yang maksimal. Gambar 3.6 memperlihatkan contoh geotekstil yang dianyam.

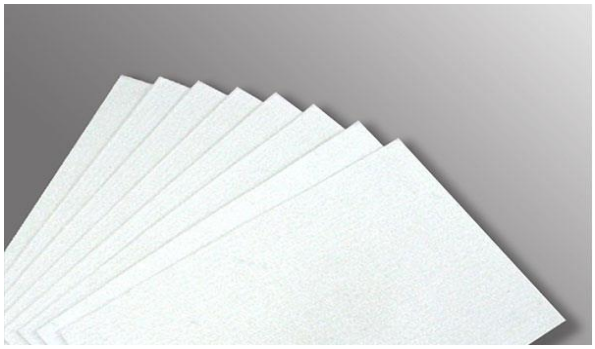


Gambar 3.6 Geotekstil Teranyam *(Woven)*

(Sumber: PT. Teknindo Geotekstil Unggul)

2. Geotekstil Tak Teranyam *(Non Woven)*

   Geotekstil tak teranyam merupakan salah satu produk geotekstil yang tidak dianyam, tetapi terbuat dari bahan *polypropylene* dan *polyester*, diproduksi menggunakan mesin berteknologi tinggi untuk meningkatkan kinerja optimal per satuan berat. Jenis geotekstil ini memiliki ukuran pori yang relatif kecil namun tetap memiliki permeabilitas yang tinggi. Karena memiliki ketahanan mekanik dan hidrolik yang tinggi, geotekstil tak teranyam menjadi pilihan yang baik untuk digunakan sebagai lapisan pemisah dan penyaring. Gambar 3.7 menunjukkan contoh dari geotekstil tak teranyam.



Gambar 3.7 Geotekstil Tak Teranyam *(Non Woven)*

(Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul)

3.7.2 Fungsi Geotekstil

Geotekstil memiliki tiga fungsi utama, yaitu sebagai pemisah, perkuatan tanah, dan filtrasi. Berikut adalah penjelasan mengenai perbedaan dari masing-masing fungsi geotekstil.

1. Geotekstil digunakan sebagai penguat tanah karena pada umumnya, lapisan penguat tanah tidak dapat menahan tegangan tarik. Apabila keadaan ini terjadi, pembangunan geoteknik umumnya menjadi sangat mahal. Sebagai ilustrasi, dalam Gambar 3.8, lereng curam yang terbuat dari tanah alami dengan kohesi yang tinggi mungkin bisa tetap stabil. Tetapi, jika lereng itu terbuat dari tanah urugan, umumnya diperlukan dinding penahan tanah (retaining wall), yang memerlukan waktu lama dan biaya tinggi karena

dimensinya yang besar. Karena itu, geotekstil dimanfaatkan sebagai penguat tanah karena dapat menahan gaya tarik serta gesekan yang terjadi akibat interaksi dengan tanah.

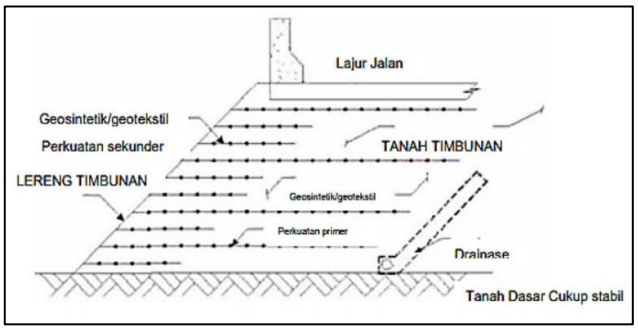


Gambar 3.8 Geotekstil sebagai perkuatan *(Reinforcement)*

(Sumber: Isparmo, 2010)

Selain itu, ada beberapa fungsi geotekstil sebagai perkuatan adalah sebagai berikut.

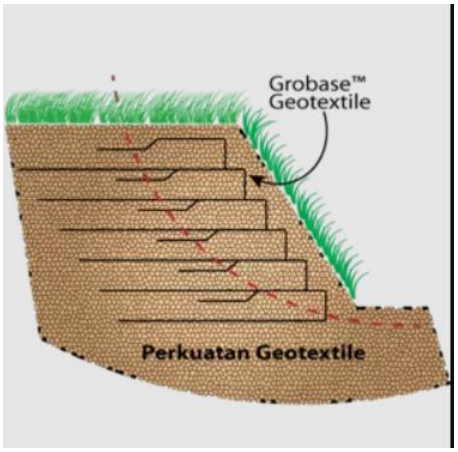
a. Untuk memperkuat stabilitas lereng, apabila diperlukan kemiringan yang lebih curam namun tetap menjaga nilai faktor keamanan, lereng yang diperkuat lebih aman ketimbang lereng yang tidak diperkuat. Apabila sistem drainase memanfaatkan pipa berlubang (pipa perforasi), pipa itu dapat diselimuti dengan material granular dan terhubung ke saluran drainase yang diisi dengan agregat kasar yang ditutupi oleh geotekstil filter ,seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9. Alternatif lain, sistem geokomposit juga dapat digunakan untuk saluran tersebut.



Gambar 3.9 Fungsi geotekstil sebagai perkuatan untuk meningkatkan stabilitas lereng

(Sumber: Elias dkk, 2001)

b. Geotekstil yang dipasang pada tepi lereng timbunan yang sedang dipadatkan berfungsi untuk dukungan lateral selama proses pemadatan. Dengan adanya peningkatan tahanan lateral, kepadatan tanah dapat ditingkatkan dan tekanan lateral pada permukaan lereng dapat dikurangi. Perkuatan di tepi lereng timbunan ini juga memungkinkan penggunaan alat berat secara aman di sepanjang tepi lereng. Pada timbunan dengan tanah kohesif, geosintetik tak teranyam dapat digunakan sejajar dengan perkuatan untuk mengurangi tekanan pori selama pemadatan. Geotekstil sebagai perkuatan ini berperan dalam meningkatkan kepadatan pada tepi atau kaki lereng dan stabilitas permukaan lereng, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 sebagai berikut :



Gambar 3.10 Geotekstil sebagai perkuatan pada tepi lereng

(Sumber: Elias dkk, 2001)

2. Geotekstil Geotekstil berfungsi sebagai filter, sekaligus, geotekstil harus mampu menahan tanah di bagian hilirnya agar butiran tanah tidak masuk ke dalam aliran.
3. Geotekstil berperan sebagai penghalang yang memisahkan lapisan tanah, terutama untuk mencegah terjadinya pencampuran antara lapisan tanah yang berbeda yang bisa menurunkan stabilitas lereng. Pada desain lereng yang diperkuat, geotekstil dipasang pada lapisan tertentu untuk memberikan dukungan ekstra.

Menurut Hardiyatmo (2014), kemampuan tanah untuk menahan gaya tarik dipengaruhi oleh interaksi antara tanah dan geotekstil. Interaksi ini terjadi dengan gesekan, di mana tanah mengirimkan gaya-gaya yang bekerja padanya kepada geotekstil. Tingkat interaksi ini dapat diukur melalui uji geser dan uji tarik. Tabel 3.7 menunjukkan beberapa nilai interface yang diusulkan untuk jenis tanah kohesif yang berinteraksi dengan geotekstil, beserta asumsi dan jenis material yang dianalisis.

Tabel 3.7 Nilai Interface Tanah Kohesif Dengan Geotekstil

Sumber Referensi	**Nilai *Interface***	
	Geotekstil	**Geotekstil *woven***
Suryokekono (2000)	0,67	
	Asumsi praktis di lapangan	
Brinkgreeve (2002)	-	
	Asumsi praktik untuk analisis numeris	
Kamon (2008)	-	0,85
		Polypropylen
Rifa'I (2009)	0,84 – 1,3	0,78 – 0,95
	TS600 – R206	BW250
Mariapan (2011)	-	0,85
		Polypropylen
Produsen Geotekstil (2001)	0,92	0,84
	Geosynthetic Clay (GCL)	

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

3.7.3 Prinsip Kerja Geotekstil

Prinsip kerja Geotekstil ditunjukkan dalam persamaan 3.19 sebagai berikut menunjukkan tegangan geser yang dihasilkan oleh gesekan pada bidang kontak.

$$\tau = C + \sigma_v \, tg\varphi \qquad (3.19)$$

dengan:

τ = Tegangan geser (kN/m^2)

φ = Sudut geser antara tanah dengan geotekstil (°)

σ_v = Tegangan normal yang ada pada bidang kontak (*interface*) tanah-geotekstil (kN/m^2)

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

Kemudian pada Persamaan 3.20 sebagai berikut menunjukkan gaya-gaya tarik yang bekerja pada geotekstil.

$$T_a = \tau \text{ x } b \text{ x } L \text{ x } tg\varphi \qquad (3.20)$$

dengan:

T_a = Gaya tarik pada tulangan (kN/m)

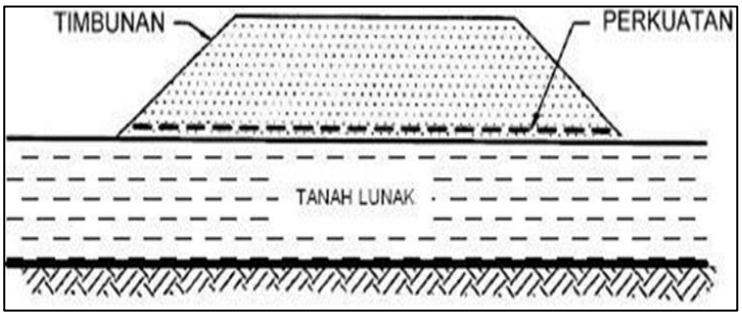
b = Lebar dari tulangan (m)

L = Panjang dari tulangan (m)

Pemanfaatan geotekstil sebagai penguat tanah bertujuan untuk membentuk struktur yang dapat berubah bentuk dengan meningkatkan karakteristik mekanis tanah, sehingga kekuatan tanah dalam mendukung struktur di atasnya menjadi lebih baik. Teknik penguatan tanah menggunakan geotekstil adalah kombinasi antara seni dan sains, yang memanfaatkan pertimbangan teknis serta prinsip mekanika tanah.

Pemanfaatan geotekstil memperbaiki karakteristik mekanis tanah, meningkatkan SF pada lereng, serta menstabilkan lereng dengan sudut curam (<70°). Dalam banyak situasi, lereng tanah yang diperkuat terbentuk dari timbunan yang padat dipadu dengan geotekstil yang dipasang secara horisontal. Saat geotekstil diterapkan pada lereng, komposit tanah tersebut memiliki daya tekan dan tarik yang tinggi, sehingga dapat menahan beban dan deformasi. Di samping itu, geotekstil berperan dalam mempertahankan stabilitas massa tanah dengan memberikan tahanan tarik melalui gesekan (adhesi), penghubungan antar material *(interlocking),* atau penahanan *(confinement).*

Timbunan yang terletak di atas tanah lunak cenderung bergerak ke samping, sehingga menyebabkan adanya tegangan geser di bagian dasar timbunan. Tanah dasar yang empuk harus dapat menahan beban ini agar tidak terjadi keruntuhan. Pemasangan geotekstil dengan kekuatan tarik tinggi di dasar timbunan dapat meningkatkan stabilitasnya. Lihat Gambar 3.11 :

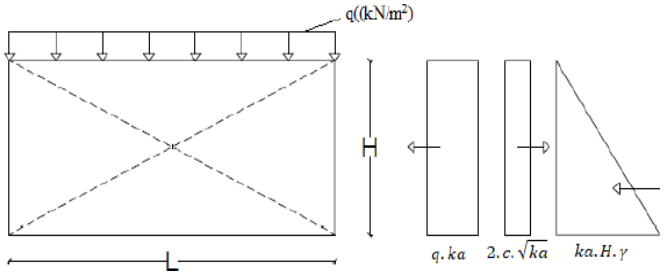


Gambar 3.11 Dasar mekanisme perkuatan lereng dengan tanah
(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

3.7.4 Perkuatan Lereng Timbunan Menggunakan Geotekstil

Lereng yang memiliki stabilitas rendah perlu diperkuat untuk menanggulangi gaya tanah yang dapat menyebabkan erosi dan longsor. Faktor keamanan lereng perlu memenuhi standar yang baik untuk periode pendek dan panjang, meliputi beragam kemungkinan model kejatuhan. Salah satu cara yang umum diterapkan untuk memperkuat lereng adalah dengan memasukkan material seperti geotekstil. Geotekstil berperan dalam memperkuat stabilitas lereng dengan menawarkan dukungan ekstra serta melindungi lereng dari erosi dan tanah longsor.

Penggunaan material tambahan seperti geotekstil akan menghasilkan interaksi dan perilaku mekanis yang berbeda. Dengan demikian, ketika merencanakan pembangunan lahan yang didukung geotekstil, gaya-gaya yang memengaruhi kestabilan struktur harus dipertimbangkan. Kestabilan struktur lereng yang diperkuat terdiri dari dua kategori: kestabilan eksternal dan kestabilan internal. Stabilitas eksternal meliputi stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas, serta kemampuan daya dukung tanah. Di sisi lain, stabilitas internal mencakup ketahanan terhadap gaya internal yang bergantung pada panjang geotekstil (tumpang tindih) dan panjang efektifnya. Gambar 3.12 menunjukkan gaya yang bekerja pada tanah lateral beserta diagram distribusi tekanannya.



Gambar 3.12 Diagram distribusi tekanan tanah lateral

(Sumber : Purwanto,2012)

Untuk melakukan perhitungan jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (Sv) dihitung dengan Persamaan 3.21 hingga Persamaan 3.23 sebagai berikut:

$$Ka = \tan^2\left((45° - \left(\frac{\varphi}{2}\right)\right) \quad (3.21)$$

$$\sigma hc = q \cdot ka - 2.c.\sqrt{ka} + ka.H.\gamma b \quad (3.22)$$

$$Sv = \frac{T_a}{\sigma hc \cdot Sf} \quad (3.23)$$

Sedangkan untuk mencari nilai dari kuat tarik geotekstil *allowable* menggunakan Persamaan 3.24 sebagai berikut.

$$T_{allowable} = \frac{T_{ultimate}}{SF} \quad (3.24)$$

dengan:

ka = Koefisien tanah aktif

σhc = Tekanan horizontal rat-rata yang ada di lipatan (kN/m^2)

q = Beban merata (kN/m^2)

SF = Faktor aman

Sv = Jarak tulangan arah vertikal (m)

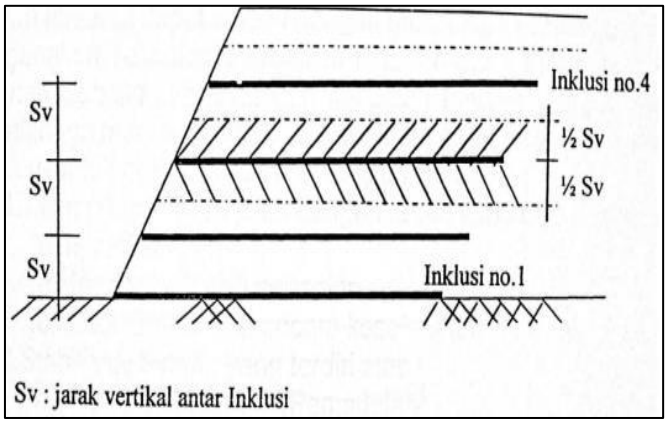
γ = Berat volume tanah (kN/m^3)

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

T_a = Kuat tarik geotekstil allowable (t/m)

H = Tinggi antar lapis geotekstil (m)

Adapun penggambaran jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (Sv) yang dapat dilihat pada Gambar 3.13 sebagai berikut:



Gambar 3.13 Struktur lereng yang diperkuat geotekstil berlapis – lapis

(Sumber: Purwanto, 2012)

Perencanaan panjang total minimum geotekstil diperoleh dari hasil analisis gaya-gaya yang mempengaruhi stabilitas lereng, yang terbagi menjadi dua kategori: stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk menghitung stabilitas eksternal dan internal.

1. Stabilitas *External*
   a. Stabilitas Geser

Berikut rumus untuk menghitung faktor aman stabilitas terhadap geser yang dapat dilihat pada persamaan 3.25

$$SF = \frac{\Sigma P_R}{\Sigma P_D} = \frac{Jumlah\ gaya\ yang\ menahan}{Jumlah\ gaya\ yang\ menggeser} \geq 1{,}5$$

$$SF = \frac{L\ .\ (q+\gamma b)\ .\ \tan\varphi}{(q\ .Ka\ .H + K_a\ .\ H^2\ .\ \gamma b - 2\ .c\ .\sqrt{K_a}\ .H} \quad (3.25)$$

dengan:

φ	=	Sudut geser antara tanah dengan geotekstil (°)
L	=	Panjang geotekstil (m)
γb	=	Berat volume tanah (kN/m^3)
H	=	Tinggi lapisan tanah (m)
K_a	=	Koefisien tanah aktif
c	=	Kohesi (kN/m^3)
q	=	Beban merata (kN/m^3)

b. Stabilitas Terhadap Guling

Berikut adalah rumus untuk menghitung SF stabilitas pada guling yang dapat dilihat pada Persamaan 3.26.

$$SF = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_D} = \frac{Jumlah\ gaya\ yang\ menahan}{Jumlah\ gaya\ yang\ menggeser} \geq 1{,}5$$

$$SF = \frac{L^2\ .\ (\frac{1}{2}.\ q + \frac{1}{2}.\ \gamma b)\ .\ H}{(\frac{1}{2}.\ q\ .Ka\ .H^2 + \frac{1}{6}.\ K_a\ .\ H^2\ .\ \gamma b - \ c\ .\sqrt{K_a}\ .H^2} \quad (3.26)$$

Dimana :

H	=	Tinggi Lapisan Tanah (m)
L	=	Panjang Geotekstil (m)
γb	=	Berat Volume Tanah (kN/m^3

c = Kohesi (kN/m^2)

q = Beban merata (kN/m^2

c. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Stabilitas terhadap eksentrisitas untuk perhitungan dari faktor keamanan diasumsikan nilai $\frac{1}{6}$ L harus lebih besar dari hasil nilai eksentrisitas yang dapat dilihat pada Persamaan 3.27 dan Persamaan 3.28.

$$\frac{1}{6} L \geq e \qquad (3.72)$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{\frac{1}{2} . q . Ka . H^2 + \frac{1}{6} . K_a - H^2 . \gamma b - c\sqrt{K_a} H^2}{(q . L + \gamma b . H . L)} \qquad (3.28)$$

dengan:

e = Nilai eksentrisitas tanah (m)

L = Panjang geotekstil (m)

c = Kohesi (kN/m^2)

γb = Berat volume tanah (kN/m^3)

K_a = Koefisien tanah aktif

H = Tinggi lapisan tanah (m)

q = Beban merata (kN/m^2)

d. Stabilitas Pada Kapasitas Daya Dukung Tanah

Berikut rumus untuk menghitung faktor aman stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah yang dapat dilihat pada Persamaan 3.29 sampai dengan Persamaan 3.31. berikut ini :

$$SF = \frac{\sigma ult}{qult} \geq 1{,}5 \qquad (3.29)$$

$$qult = c . Nc . + 0{,}5L . \gamma b . N\gamma \qquad (3.30)$$

$$\sigma ult = c . Nc . q + Nq + 0{,}5L . \gamma b . N\gamma \qquad (3.31)$$

Nilai L dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.32.

$$L = \leq \frac{\sigma ult}{(H \,.\, \gamma b) + q} \tag{3.32}$$

dengan:

qult = Tegangan ultimit (kN/m^2)

c = Kohesi (kN/m^2)

L = Panjang geotekstil (m)

γb = Berat volume tanah (kN/m^3)

H = Tinggi lapisan tanah (m)

2. Stabilitas *Internal*

Stabilitas internal dapat dihitung, apabila panjang *overlapping* dan panjang efektif geotekstil diketahui.

a. Panjang *Overlapping*

$$L_0 = \frac{\sigma_{hc} \,.\, Sv_i \,.\, SF}{2 \,.\, Z_i \,.\, \gamma b \,.\, \tan\varphi} \geq 1 \tag{3.33}$$

dengan:

L_0 = Panjang geotekstil *overlapping* (m)

σ_{hc} = Tekanan horizontal (kN/m^2)

q = Beban merata (kN/m^2)

Sv_i = Jarak antar tulangan arah vertikal (m)

γb = Berat volume tanah (kN/m^3)

Z_i = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke dalam tanah (m)

φ = Sudut gesek pada tanah dan geotekstil (°)

b. Panjang Efektif Geotekstil

$$L_{ef} = \frac{SF \,.\, Sv_i \,.\, K_a \,.\gamma b}{2 \,.\gamma b \,.\, Z_i \,.\, \tan\varphi} \geq 0{,}5 \text{ m} \tag{3.34}$$

dengan:

L_{ef} = Panjang efektif geotekstil (m)

Sv_1 = Jarak antar tulangan arah vertikal (m)

γb = Berat volume tanah (kN/m^2)

K_a Koefisien tanah aktif

Z_i = Kedalaman tulangan yang ditekuk masuk kedalam tanah (m)

φ = Sudut geser antara tanah dan geotekstil (°)

3.8 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Program *PLAXIS*

PLAXIS V22 merupakan salah satu dari program komputer yang berguna untuk analisis geoteknik. Program *PLAXIS* didasarkan pada metode elemen hingga dua dimensi dan nantinya dapat digunakan untuk analisis deformasi dan stabilitas. Tujuan simulasi situasi lapangan dalam program *PLAXIS* adalah untuk mengintegrasikan tahap pelaksanaan lapangan ke dalam proses kerja program. Usahakan agar fase pelaksanaan di lapangan sedekat mungkin dengan program agar respons yang Anda terima dari program dapat dianggap sebanding dengan keadaan di dunia nyata. Dengan menginput data kemiringan yang sudah dikerjakan ke dalam program *PLAXIS*, program akan memproses data tersebut untuk menilai apakah kemiringan itu membutuhkan penguatan. Program ini juga bisa memanfaatkan geotekstil untuk mengatur nilai faktor aman *(safety factor)* lereng.

Brinkgreve (2007) mengungkapkan bahwa model Mohr-Coulomb menggunakan E dan μ untuk memperkirakan elastisitas tanah, φ dan c untuk menggambarkan plastisitas tanah, serta sudut muai menunjukkan bahwa ψ adalah model elastis-plastik yang memiliki lima parameter. Pendekatan "tingkat pertama" dalam mengamati sifat-sifat batuan dan tanah dikenal sebagai model Mohr-Coulomb. Model ini disarankan untuk analisis awal mengenai masalah yang dihadapi. Setiap lapisan selanjutnya dimodelkan berdasarkan nilai rata-rata intensitas yang tetap. Dengan demikian, perhitungan dilakukan dengan lebih cepat dan model dibentuk dari perkiraan awal bentuk deformasi. Kelima variabel ini memiliki peran krusial dalam menganalisis isu deformasi dan kestabilan tanah. Tegangan horizontal perlu ditentukan lebih dulu, setelah itu nilai ko dapat ditentukan dengan tepat.

Model Mohr-Coulomb disarankan untuk diterapkan pada fase awal analisis karena kepraktisan dan kecepatan, khususnya saat data tanah yang lengkap tidak dapat diakses. Titik-titik kritis dari model Mohr-Coulomb biasanya menunjukkan nilai yang mirip dengan titik-titik kritis tanah asli di sepanjang permukaan kelongsoran. Karena itu, pemodelan Mohr-Coulomb merupakan opsi yang sesuai untuk analisis kestabilan lereng timbunan. Keunggulan metode elemen hingga jika dibandingkan dengan metode keseimbangan batas (Griffiths & Lane, 1999) adalah sebagai berikut.

1. Tidak menggunakan asumsi mengenai bidang longsor karena longsoran terjadi secara alami melalui zona di dalam tanah di mana kekuatan geser tanah tidak mampu menahan tegangan geser yang ada.
2. Pendekatan elemen hingga tidak memperhitungkan konsep irisan, sehingga tidah ada asumsi tentang gaya-gaya di setiap irisan. Metode ini mempertahankan keseimbangan keseluruhan hingga terjadi kelongsoran.
3. Jika data mengenai kompresibilitas tanah tersedia, metode elemen hingga bisa memberikan penjelasan mengenai perubahan bentuk yang terjadi
4. Metode elemen hingga mampu memantau kegagalan progresif termasuk kegagalan geser secara menyeluruh.

PLAXIS berfungsi dengan mensimulasikan kondisi nyata di lapangan ke dalam program tersebut, menerapkan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam langkah pengerjaan di program. Oleh sebab itu, diharapkan bahwa pelaksanaan di lapangan dapat mendekati kenyataan sehingga respon yang diperoleh dari program dianggap mencerminkan kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan.

Adapun 3 tahapan yang harus dilakukan dalam permodelan PLAXIS ini, diantaranya sebagai berikut.:

1. *Input* Data

   Dalam menganalisis dengan PLAXIS penting membuat permodelan yang sesuai dengan data yang tersedia dilapangan. Dalam tahap ini yaitu memasukan data parameter tanah timbuan dan lapisan-lapisannya yang nantinya akan dianalisis.

2. *Calculation*

   Selanjutnya tahap perhitungan, dilakukan sesuai dengan kebutuhan terhadap model yang dibutuhkan

3. *Output*

   Untuk hasilnya dapat dilihat pada tahap ini, mencakup gambar, angka, kurva *output* yang dihasilkan yaitu angka keamanan.

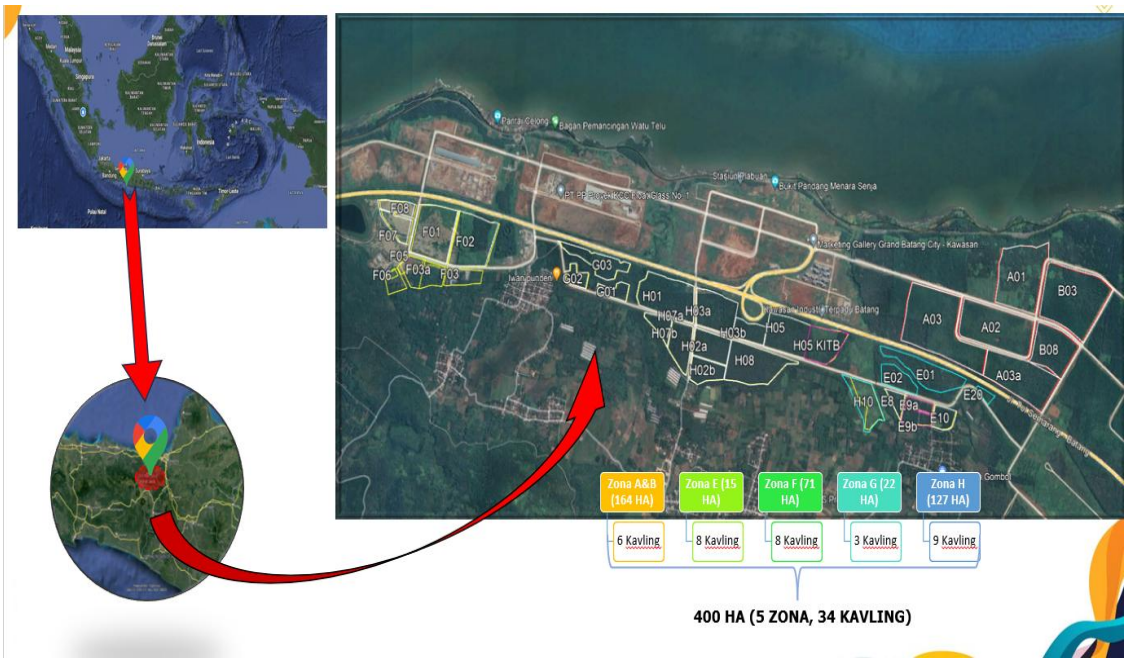
BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini yaitu lereng timbunan yang berada pada Proyek Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu Batang Klaster 1 Fase 2 Tahap 1. Khususnya lereng timbunan pada Kavling Blok B03

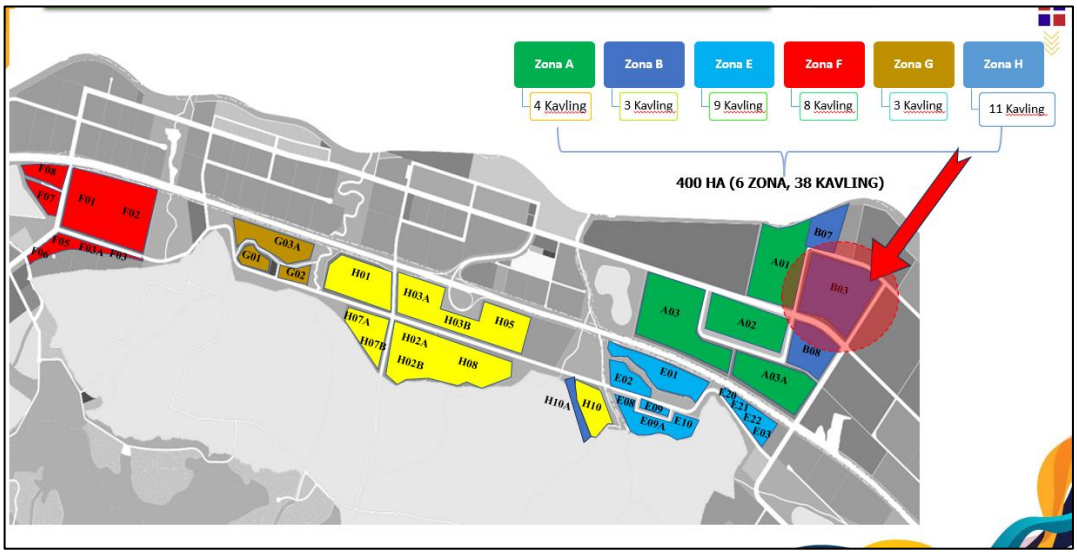
4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi yang dianalisis dalam Proyek Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu Batang Klaster 1 Fase 2 Tahap 1 Kab.Batang Jawa Tengah. Untuk detail lokasi stasiunnya bisa dilihat pada Gambar 4.1 dibawah ini.



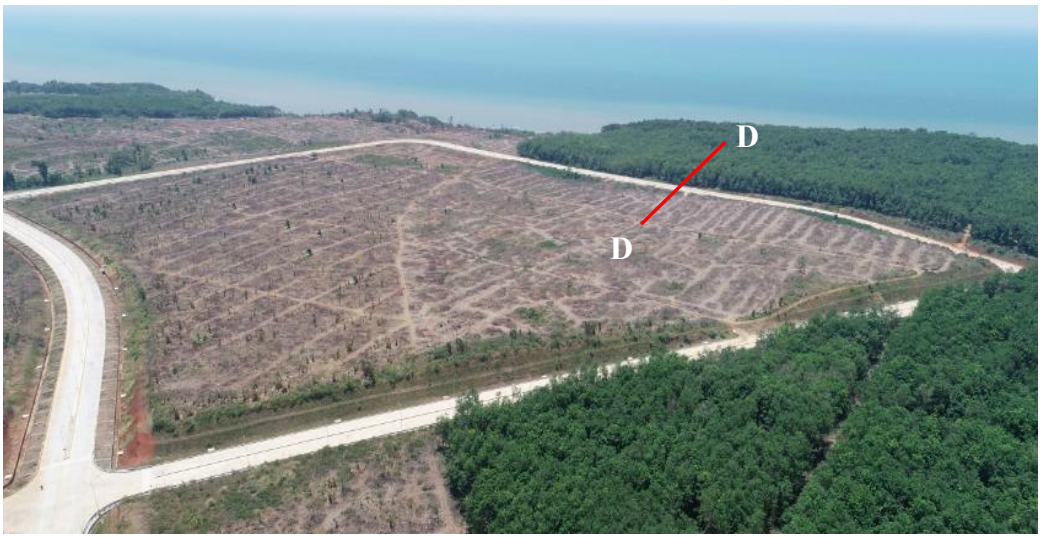
Gambar 4. 1 Lokasi Timbunan Pada Proyek Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu Batang

(Sumber: Data Proyek)



Gambar 4. 2 Lokasi Titik Penelitian Zona Kavling Blok B-03

(Sumber: Data Proyek)



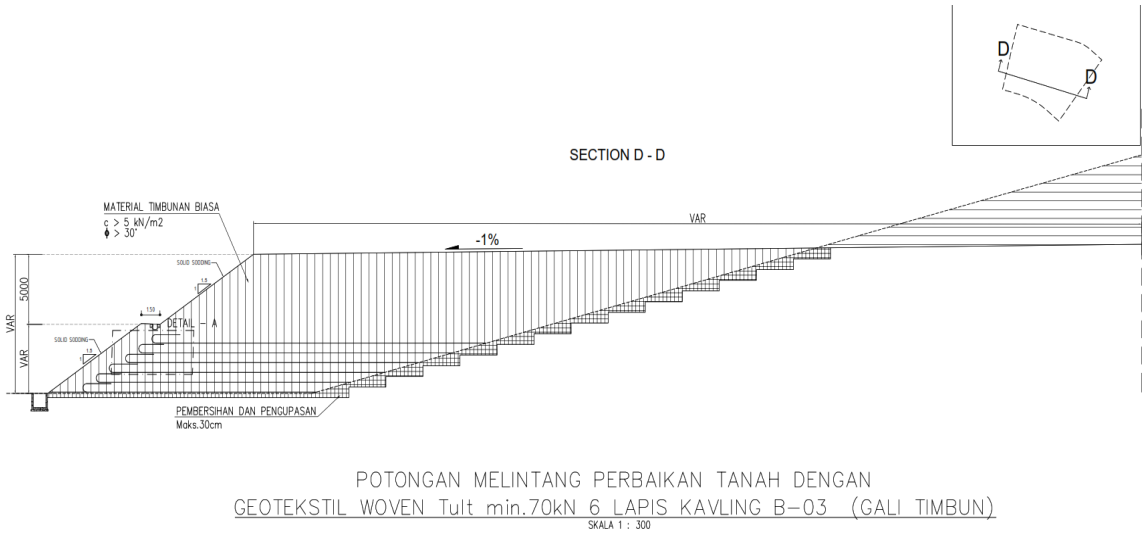
Gambar 4.3 Tampak Atas lokasi Kavling Blok B-03

(Sumber: Data Proyek)

Keterangan : Main Road Kawasan Industri Terpadu Batang ROW 26 (Potongan D – D)

4.3 Potongan Melintang

Potongan Melintang didapatkan dari data proyek, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lay Out Kavling Blok B-03 Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.4 Gambar Potongan Melintang Kavling Blok B-03
(Sumber: Data Proyek)

4.4 Pengumpulan Data

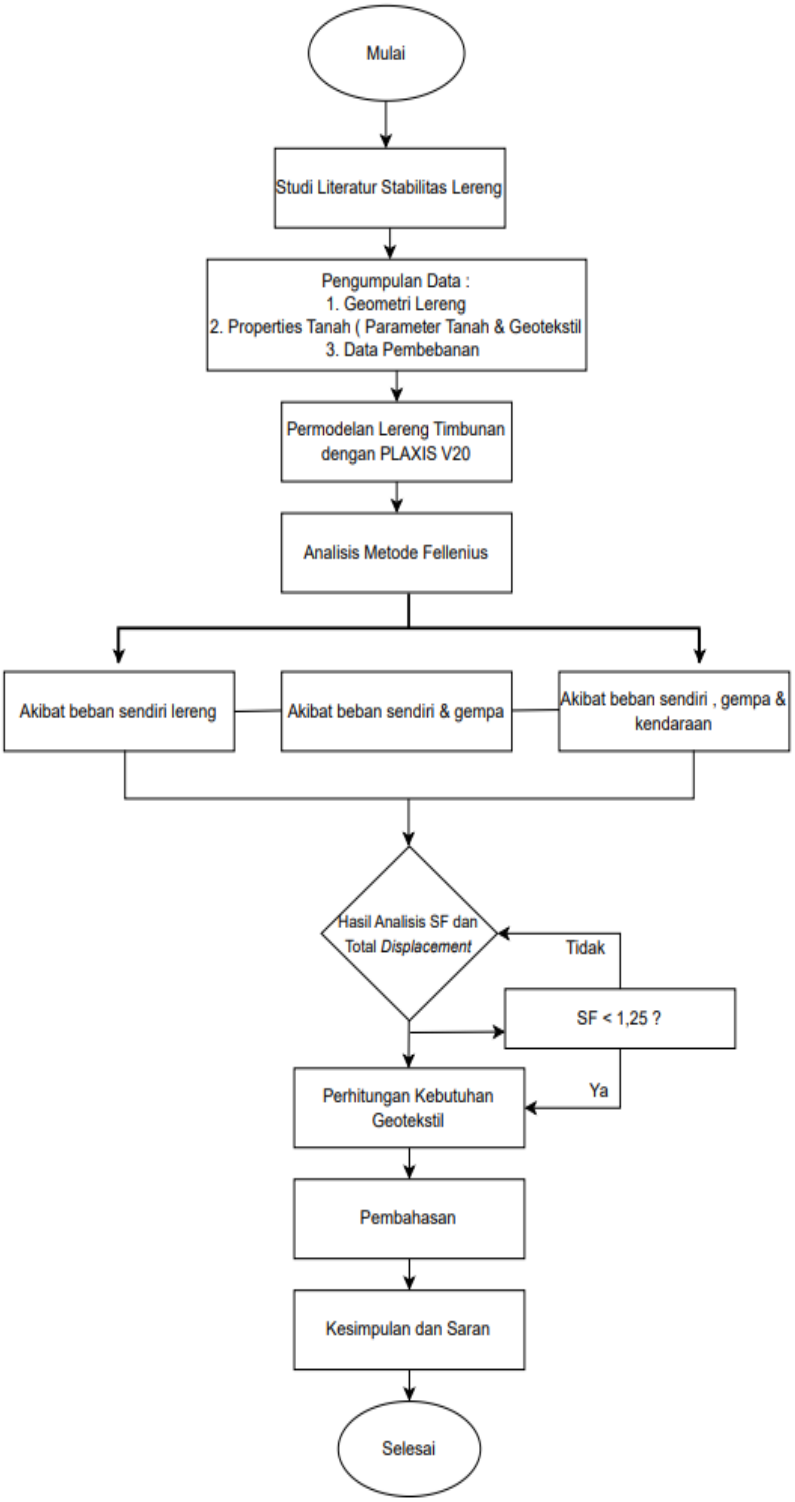
Data sekunder untuk mencapai tujuan dan maksud penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Data penyelidikan tanah (Borlog).
2. Peta kontur lokasi.
3. Peta lokasi potongan melintang.
4. Data lalu lintas
5. Data beban gempa.

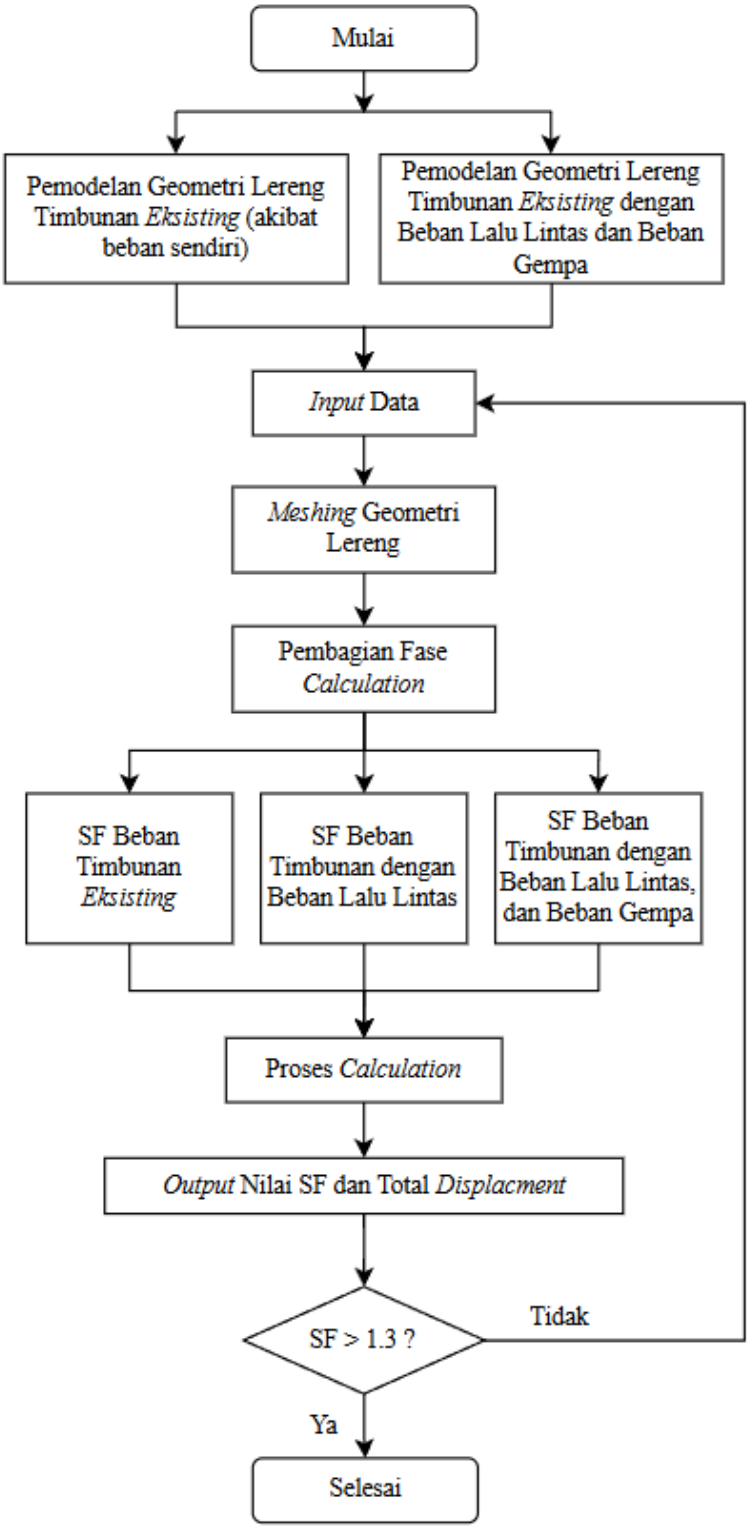
4.5 Bagan Alir

Bagan alir adalah sebuah diagram yang dipakai suatu bentuk simbol untuk menunjukkan bagaimana suatu pekerjaan dijalankan. Dalam urutan ini, kotak menunjukkan langkah-langkah yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas, baik dari awal hingga akhir, dan tanda panah menghubungkan langkah-langkah tersebut secara berurutan.

Gambar 4.5 di bawah ini menunjukkan bagan alir dari penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 4.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.6 Bagan Alir Program PLAXIS

4.6 Parameter Penelitian

Parameter tanah, yang merupakan input penting dalam analisis ini, diperoleh dari data sekunder dari PT. Nindya Karya, PT. Waskita Karya, PT. Bina Nusa Lestari KSO, pada proyek Kawasan Industri Terpadu Batang. Berikut ini adalah parameter-parameter yang diperlukan untuk penelitian.

4.6.1 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas Jalan Kabupaten Batang Provinsi Jawa Tengah, sebesar 15 kN/m^2 sesuai fungsi jalan dan sistem jaringan pada Tabel 4.1 dibawah.

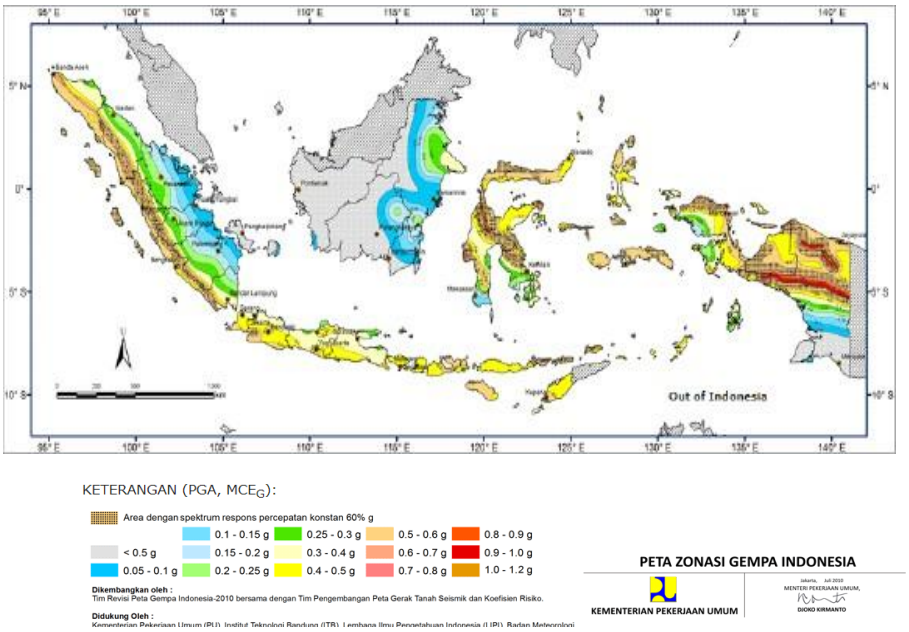
Tabel 4.1 Beban Lalu Lintas

Fungsi	Sistem Jaringan	LHR	Beban Lalu Lintas (kN/m$^{2)}$
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	>10000	15
		<10000	12
Sekunder	Arteri	>20000	15
		<20000	12
	Kolektor	>6000	12
		<6000	10
	Lokal	>500	10
		<500	10

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum,2009)

4.6.2 Beban Gempa

Dalam evaluasi stabilitas lereng, beban gempa adalah salah satu elemen krusial untuk menilai stabilitas lereng tersebut. Gempa bumi dapat menghasilkan gaya inersia yang signifikan pada lereng timbunan, yang dapat berujung pada kegagalan stabilitas jika tidak diperhatikan dengan baik. Di Kabupaten Batang Jawa Tengah memiliki percepatan puncak gempa (PGA) antara 0,2 dan 0,3 g, seperti yang ditunjukkan pada peta zonasi gempa di bawah ini. Beban gempa yang digunakan untuk analisis ini adalah 0,28 g, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 dibawah ini.



Gambar 4.7 Peta Zonasi Gempa
(Sumber: Rsa.ciptakarya.pu.go.id)

4.6.3 Data Geotekstil

Dalam analisis ini, geotekstil yang digunakan adalah jenis woven berjenis MXW-300 memiliki nilai kuat tarik maksimum 70 kN/m, berdasarkan dari data sekunder proyek oleh PT. Nindya Karya, PT. Waskita Karya, PT. Bina Nusa Lestari (KSO). Hasil test terhadap material perkuatan geotekstil ditunjukkan pada Tabel. 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil Test Geotekstile

Test Results :

1. **Tensile Strength & Elongation**
   Test Method: ASTM D4595, gauge length : 100 mm, speed : 50 mm/minuets

Machine Direction (MD)	Result	
	Strength (kN/m)	Elongation (%)
Average	70.9	20.0

Cross Direction (CD)	Result	
	Strength (kN/m)	Elongation (%)
Average	61.0	29.7

(Sumber: Hasil Pengetesan Geotekstile Woven)

4.6.4 Data Tanah

Dalam penelitian ini menggunakan data tanah dari hasil penyelidikan tanah pada Kavling Blok B-03 yang dilakukan oleh PT. Nindya Karya, PT. Waskita Karya, PT. Bina Nusa Lestari (KSO). Data jenis tanah yang dikumpulkan adalah tanah dengan lokasi pengambilan data pada hasil tes Triaxial dan data Hasil Test pemeriksaan CBR Laboratorium seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Data Tanah Pada Kavling B-03

Parameter	Satuan	Medium to stiff Clay
Kohesi (c)	kPA	18,3
Sudut geser dalam (∅)	^{o}	0^{o}
Berat Volume (γb)	kN/m^3	16,4
Berat Isi Kering (γd)	kN/m^3	13,2
Spesific Grafity (Gs)	-	2,6

(Sumber: Data Proyek Laporan Hasil Penyelidikan Tanah,
Laboratorium Mekanika Tanah UNDIP)

Dan untuk data tanah timbunan dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah

Parameter	Berat Volume Tanah	Cu (kN/m^2)	∅ (^{o})
Tanah Pasir	17	5	30

(Sumber : Data Proyek)

4.6.5 Sondir Test

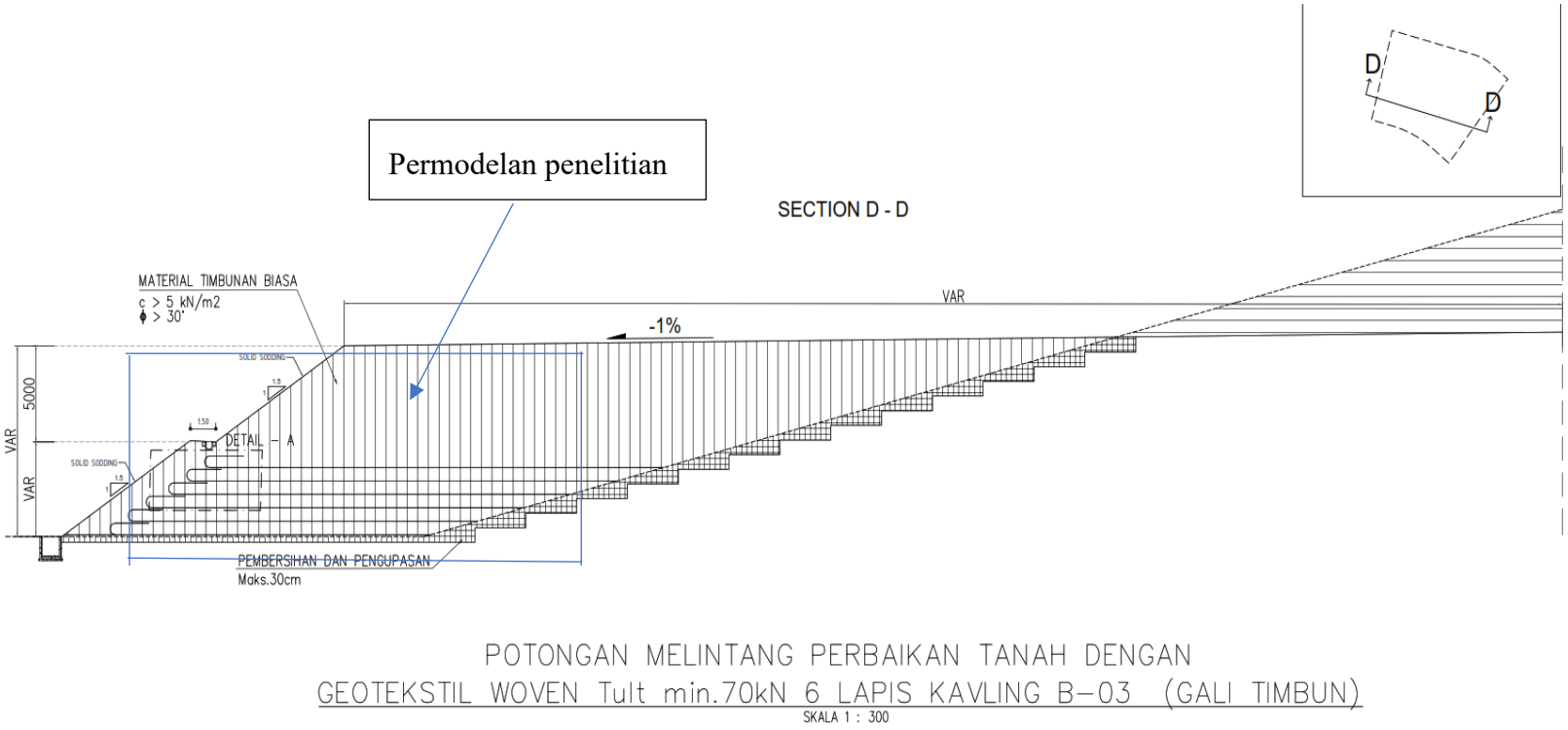
Pelaksanaan sondir test pada Proyek Pematangana Lahan Kawasan Industri Tepadu Batang (KITB) pada Kavling B-03 ini, mengacu pada prosedur ASTM D.3441, dimana perlawanan conus (qc) dan nilai hambatan pelekat lokal atau

side friction (fs) diamati setiap interval kedalam 20 cm dengan kecepatan penetrasi saat pembacaan nilai qc dan fs, diusahakan konstan yaitu kurang lebih 2 cm/detik. Test ini dilaksanakan hingga mencapai kemampuam maksimum alat, yakni nilai tekanan total atau qc = 250 kg/cm² atau hingga mencapai kedalam maksimum di bawah permukaan tanah setempat. Hasil test sondir disajikan berupa diagram atau grafik hubungan antara kedalaman dengan qc, *total friction* dan *friction ratio.* Hubungan kuat dukung tanah dengan data sondir (qc). Penelitian ini menggunakan data hasil test sondir pada penyelidikan tanah pada Kavling Blok B-03 yang dilakukan oleh PT. Nindya Karya, PT. Waskita Karya, PT. Bina Nusa Lestari (KSO). Lokasi Penyelidikan tanah dengan test sondir dapat dilihat pada Gambar 4.11 sedangkan hasil test sondir dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan hasil SPT pada Gambar 4.13 sebagai berikut :



Gambar 4.8 Lokasi Titik Penyelidikan Tanah Pada Kavling Blok B-03

(Sumber: Data Proyek)



Gambar 4.9 Potongan Melintang Perbaikan Tanah B03

(Sumber: Data Proyek)

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum Analisis

Studi kasus yang dilakukan dalam penelitian ini adalah kondisi timbunan pada proyek Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu, Kab. Batang, Jawa Tengah. Analisis ini nantinya dapat diketahui nilai faktor aman (*safety factor*) dan *total displacement* untuk mengetahui potensi terjadinya longsor. Kelongsoran yang terjadi dapat disebabkan karena timbunan sudah tidak mampu lagi menahan gaya-gaya yang terjadi akibat beban pada saat timbunan akan digunakan maupun pada saat timbunan dibuat.

Analisis ini dilaksanakan dengan memanfaatkan program PLAXIS V22 serta secara manual menggunakan metode Fellenius. Dalam analisis perhitungan kebutuhan geotekstil, pemodelan lereng dibagi menjadi zona 1 dan zona 2 untuk memudahkan perhitungan kebutuhan geotekstil. Hasil dari PLAXIS ini bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan *(safety factor)* serta nilai total perpindahan akibat beban dari lereng timbunan yang ada, dengan mempertimbangkan beban kendaraan dan beban gempa, baik dengan geotekstil jenis woven UW-250 maupun tanpa perkuatan geotekstil. Selain itu, untuk memahami dampak penggunaan geotekstil, perlu diketahui apakah material tersebut dapat mencegah kelongsoran pada lereng timbunan tersebut. Diharapkan hasil nilai faktor aman *(safety factor)* dari analisis perkuatan ini dapat membantu mengatasi permasalahan kelongsoran yang terjadi serta menjadi acuan untuk analisis dalam kondisi serupa. Selanjutnya, hasil analisis ini dimasukkan ke dalam pembahasan dan kesimpulan. Adapun data-data yang digunakan pada analisis stabilitas lereng timbunan yang

digunakan pada analisis stabilitas lereng timbunan yang akan di*input* pada program *PLAXIS* V22.

Beban pada lereng tersebut terdiri dari beban kendaraan dan beban gempa. Detail mengenai parameter tanah, jenis beban yang digunakan, jenis geoteksil serta analisis stabilitas lereng yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Data Parameter Tanah

Pada penelitian ini, data parameter tanah yang digunakan berdasarkan Laporan Analisis Geoteknikal Proyek Pematangan Lahan. Adapun detail data parameter tanah tercantum pada Tabel 5.1 dibawah. Data paremeter tanah ini nantinya di*input* ke dalam program PLAXIS V22 dengan kondisi tanah *drained* atau kondisi dimana air dapat mengalir keluar dari tanah dengan bebas dan juga paska kontruksi untuk pembangunan Proyek Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu Batang Klaster 1 Fase 2 Tahap 1 Kab. Batang, Jawa Tengah.

Tabel 5. 1 Parameter Tanah

Parameter	Satuan	Tanah Asli	Tanah Timbunan
Kohesi (c)	kPA	18,3	5
Sudut geser dalam (∅)	^{o}	0^{o}	30^{o}
Berat Volume (γb)	kN/m3	16,4	17
Berat Isi Kering (γd)	kN/m3	13,2	17

2. Data Beban Lalu Lintas Kendaraan

Pada penelitian ini, dalam analisis stabilitas lereng timbunan, yang melintasi bagian atasnya. Beban lalu lintas yang dipakai untuk jalan tersebut adalah sebesar 15 kN/m².

2. Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan berasal dari produksi PT. Nindya Karya, PT. Waskita Karya, Dan PT. Bina Nusa Lestari (KSO) dengan jenis *woven*. Informasi mengenai nilai geotekstil yang digunakan sebagai *input* dalam program PLAXIS V.22 dapat dilihat pada Gambar 5.1 dibawah. Hasil Pengetesan Geotextile Woven Data yang di*iput* berupa data kekakuan normal (EA) sebesar 70 kN/m.



Test Results :

1. **Tensile Strength & Elongation**
   Test Method: ASTM D4595, gauge length : 100 mm, speed : 50 mm/minuets

Machine Direction (MD)	Result	
	Strength (kN/m)	Elongation (%)
Average	70.9	20.0

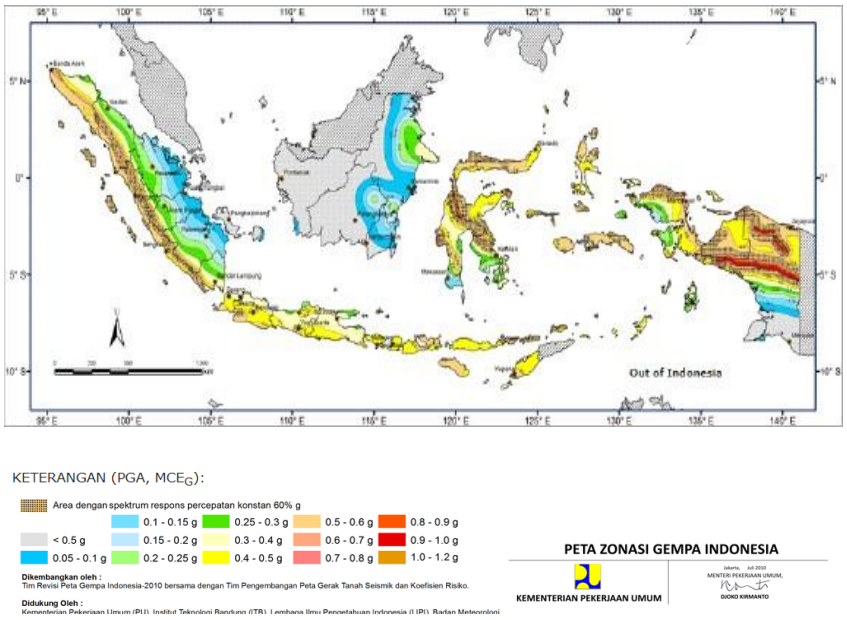
Cross Direction (CD)	Result	
	Strength (kN/m)	Elongation (%)
Average	61.0	29.7

Gambar 5. 1 Data Geotekstil

(Sumber: Hasil Pengetesan Geotekstile Woven)

3. Data Beban Gempa

Percepatan puncak gempa (PGA) di wilayah Batang antara 0,2-0,3g. Informasi mengenai data beban gempa yang sesuai dengan nilai tersebut adalah data gempa yang terjadi di kawasan American Canyon, California pada akhir tahun 2014, dengan percepatan puncak gempa sebesar 0,28 g. Pada *input* beban gempa ke dalam PLAXIS V.22 diambil nilai setengahnya sebesar 0,12 g sesuai dengan acuan pada SNI 8460:2017 mengenai Persyaratan Perancangan Geoteknik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Pada Gambar 5.2 dibawah.

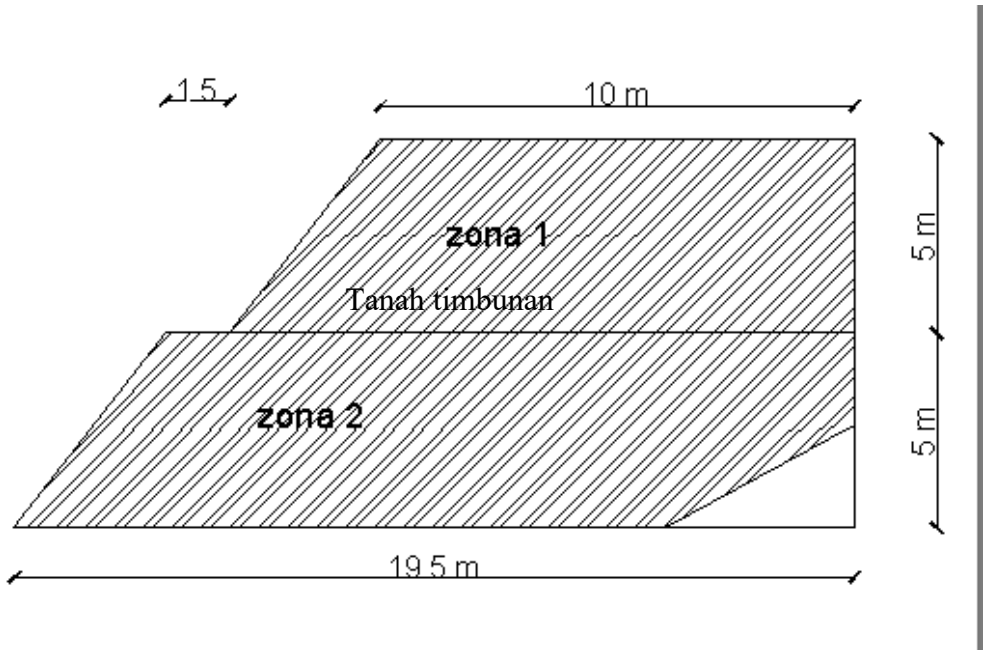


Gambar 5. 2 Peta Zonasi Gempa

(Sumber: SNI-1726, 2019)

4. Desain Timbunan Lereng

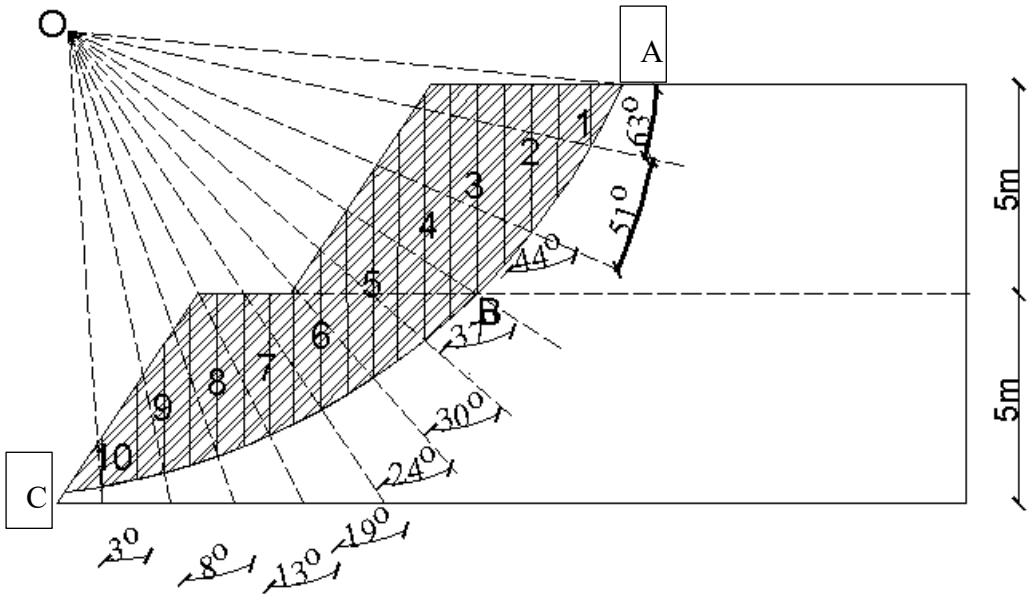
Berikut merupakan desain timbunan lereng dan desain tanah tiap-tiap lapisannya pada kavling B0-3 dari desain geometri lereng timbunan *eksisting*, untuk bagian yang diarsir merupakan tanah timbunan, dapat dilihat pada Gambar 5.3 dibawah.



Gambar 5. 3 Penampang Lereng Potongan Melintang Kavling B-03 (Gali Timbun)

5.1.1 Angka Aman Lereng Eksisting Dengan Metode Fellenius

Untuk menentukan angka SF pada lereng tanpa perkuatan tanah digunakan perhitungan manual sebagai perbandingan dengan hasil angka aman *(safety factor)* yang didapat dari program PLAXIS. Adapun gambar untuk gaya-gaya yang bekerja pada irisan lereng asli terdapat pada Gambar 5.4 serta contoh perhitungannya berikut ini.



Gambar 5. 4 Permodelan Lereng Dengan Metode Fellenius

Berikut langkah-langkah perhitungan stabilitas lereng pada badan jalan tanpa perkuatan menggunakan metode Fellenius secara perhitungan manual adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan berat irisan tanah

$Wi = \gamma$ x Ai

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

Contoh pada irisan 1:

$W1 = \gamma$ x A1 = 17 kN/m^3 x 3,132 = 31,31 kN/m

2. Perhitungan Wi x Sin αi

Contoh pada irisan 1 :

W1 x Sin α1 = 31,31 kN/m x sin (63°) = 27,90 kN/m

3. Perhitungan Wi × cos α

Contoh pada irisan 1 :

W1 x cos α1 = 31,31 kN/m x cos (63º) = 14,21 kN/m

Tabel 5. 2 Hasil Perhitungan Metode Fellenius

No Pias	A (m^2)	α (º)	Sin α	Cos α	Wi (*γ x Ai) (kN/m)*	Wi. cos α	Wi. Sin α	W Cos α*tan *φ*
1	3,132	63	0,8910	0,4540	31,3189	14,218	27,905	0
2	4,356	51	0,7771	0,6293	43,5559	27,410	33,849	0
3	4,243	44	0,6947	0,7193	42,4287	30,520	29,4735	0
4	4,479	37	0,6018	0,7986	44,7942	35,774	26,957	0
5	4,329	30	0,5000	0,8660	43,2906	37,490	21,64	0
6	4,817	24	0,4067	0,9135	48,1740	44,009	19,594	0
7	4,229	19	0,3256	0,9455	42,2908	39,986	13,768	0
8	3,206	13	0,2250	0,9744	32,0635	31,241	7,2127	0
9	1,968	8	0,1392	0,9903	19,6849	19,493	2,7396	0
10	0,656	3	0,0523	0,9986	6,5616	6,5527	0,3434	0
Σ	35,416						**183,48**	**0**

Dengan pertimbangan panjang jari jaridan sudut diapit, maka panjang garis AB = 10,36 meter dan garis BC = 10,225 meter.

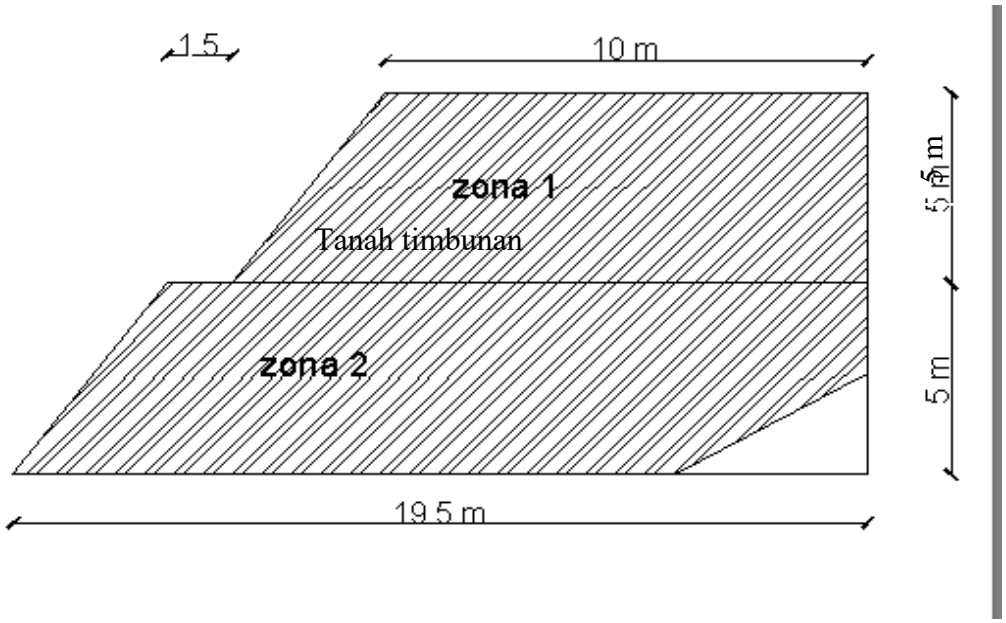
Gaya perlawanan terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen kohesi : Σc.La = (9 x 10,36) + (10 x 10,225) = 175,31 kN/m²

Faktor aman = $\frac{\Sigma C.La + w \cos \alpha.\tan \varphi}{Wi.\text{Sin } \alpha + \Sigma A} = \frac{175,31 + 0}{183,48 + 35,41} = 1,184 < 1,25$

Angka faktor keamanan yang didapatkan melalui analisis manual menggunakan metode Fellenius didapatkan sebesar 1,184 pada lereng asli dengan kondisi normal sebelum direncanakan perkuatan. Hal ini menandakan lereng tersebut dalam keadaan kritis dan rawan untuk terjadi longsor.

5.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan pada Proyek Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu Batang Klaster 1 Fase 2 Tahap 1 diolah menggunakan program PLAXIS versi 22. Adapun model geometri lereng awal dan pemodelan jaringan elemen hingga (*meshing*) dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.

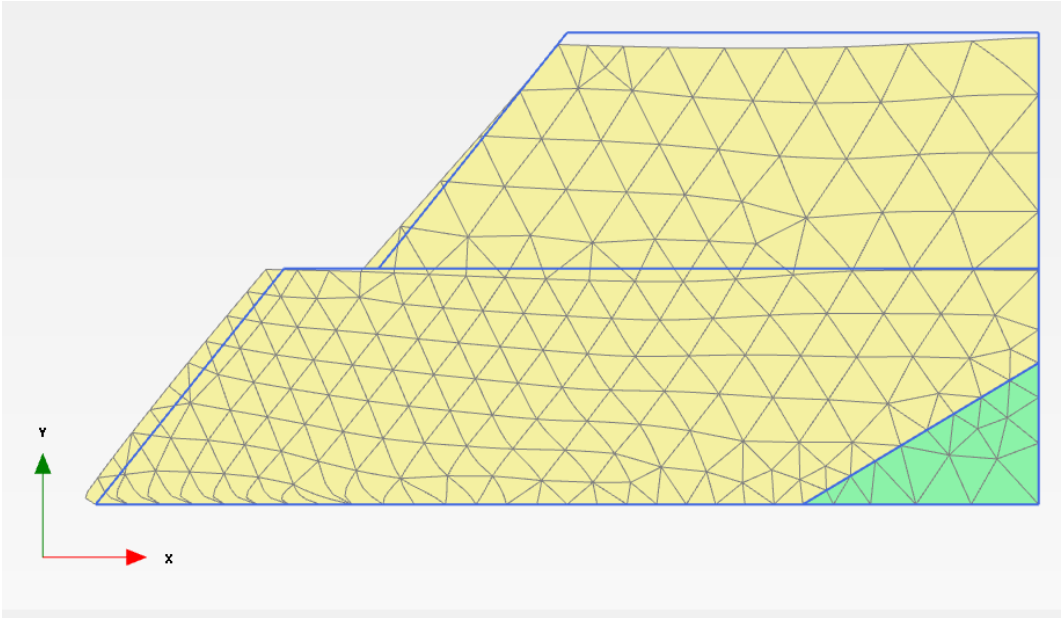


Gambar 5. 5 Pemodelan Geometri Lereng Tanpa Perkuatan

5.2.1 Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Menggunakan Program PLAXIS V.22 Akibat Timbunan (Beban Sendiri)

1. *Deformed Mesh*

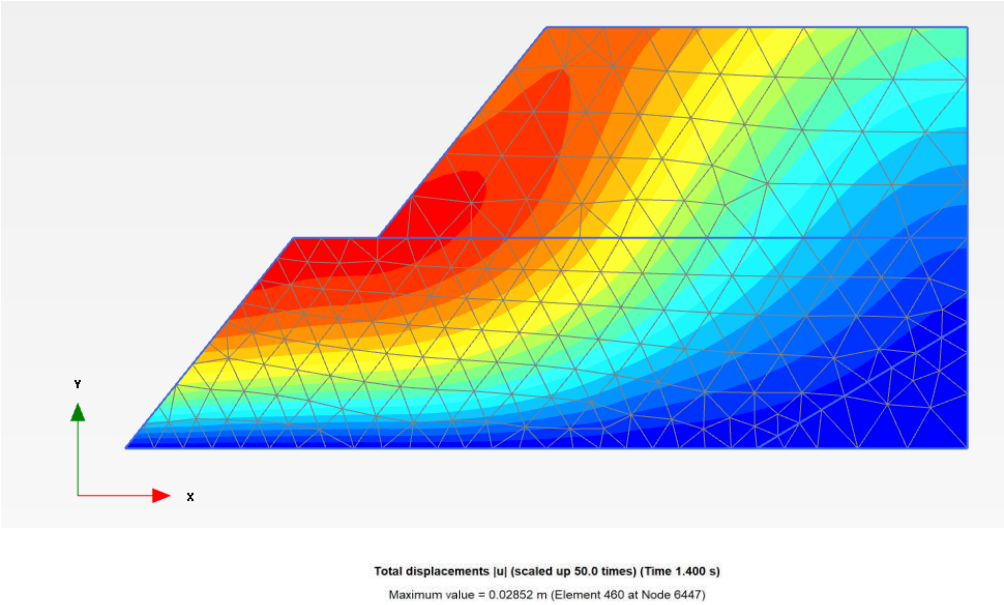
Diartikan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah dan tidak beraturan serta mengalami penurunan yang diakibatkan oleh beban yang bekerja. *Deformed Mesh* pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban sendiri bisa dilihat pada Gambar 5.6 sebagai berikut.



Gambar 5. 6 *Deformed Mesh* pada Lereng Akibat Beban Timbunan

2. *Total Displacement*

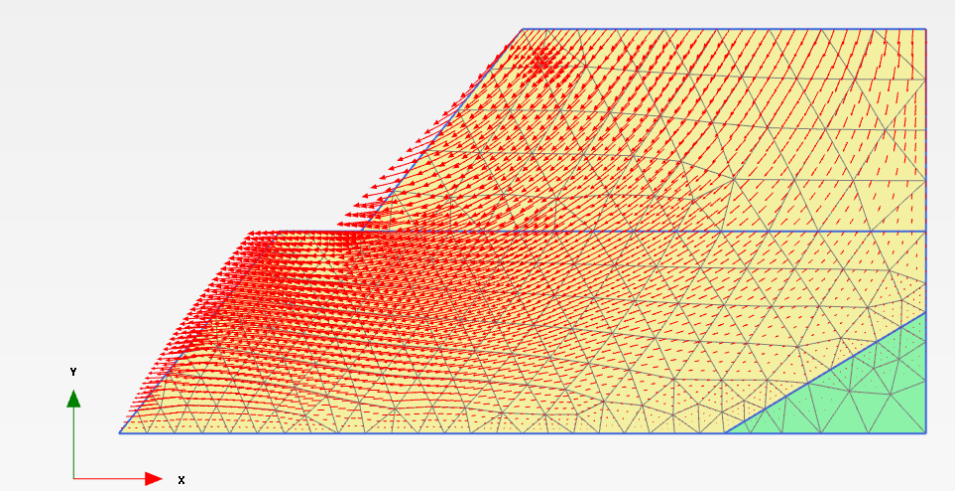
Pada lereng tanpa perkuatan tanah terjadi displacement searah vertikal akibat beban timbunan. Displacement paling besar terjadi di bagian tengah atas yang ditunjukkan dengan warna oranye tua. Ketika di bawah lapisan warna oranye tua memudar menjadi biru tua menandakan nilai displacement mengalami penurunan. Nilai displacement paling besar pada lereng timbunan tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan adalah 0,02852 m yang tertera pada Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5. 7 *Total Displacement* Pada Lereng Akibat Timbunan

3. Arah Pergerakan Tanah

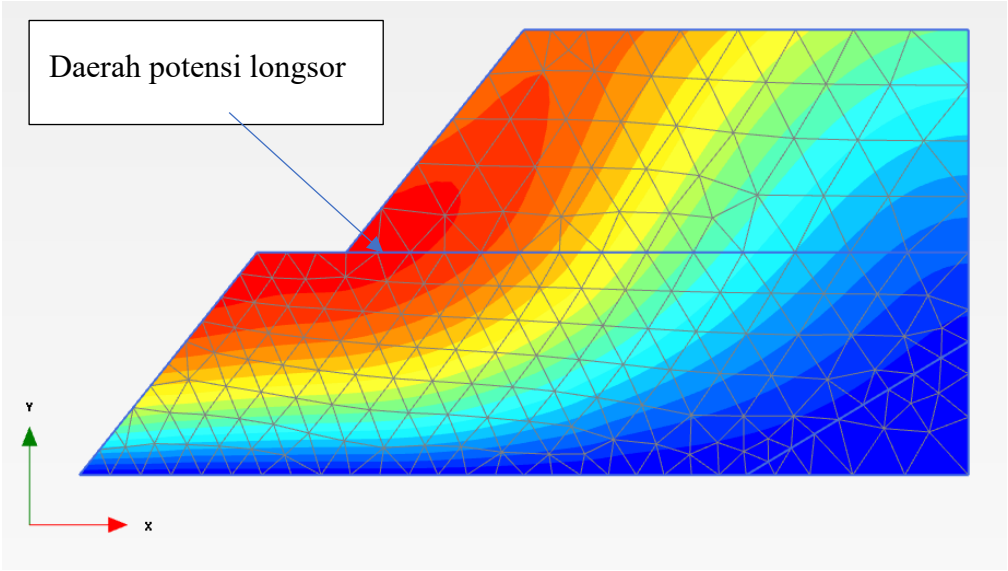
Hasil analisis pergerakan tanah pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan menunjukan bahwa terjadi pergerakan tanah yang dominan bergerak ke arah sebelah kiri. Arah pergerakan tanah tertera pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



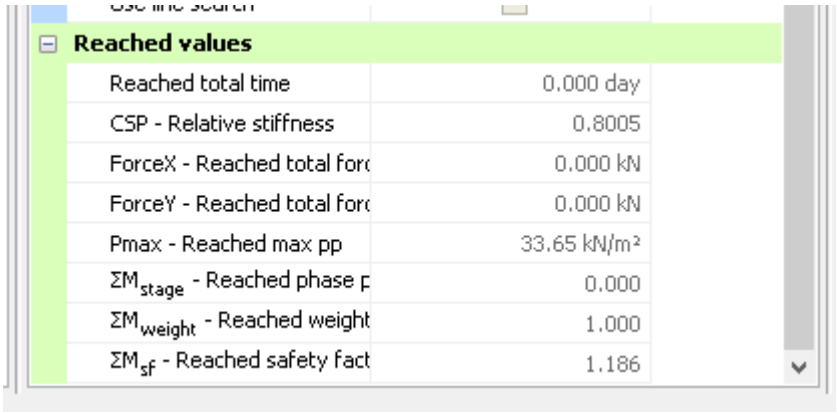
Gambar 5. 8 Arah Pergerakan Tanah Pada Lereng Dengan Beban Timbunan

4. Daerah potensi longsor

Dari analisis program *PLAXIS* bahwa pada lereng tanpa perkuatan tanah dengan beban sendiri, kelongsoran yang akan terjadi adalah nendatan (rotational slide). Longsoran rotasi adalah gerakan massa tanah dan batuan yang terjadi di bidang gelincir cekung, sementara pergerakan blok adalah pergeseran batuan di bidang gelincir datar. Longsoran ini juga dikenal sebagai longsoran translasi blok batu. Dari hasil ini dapat dilihat zona aktif ditandai dengan warna oranye kemerahan sedangkan zona pasif yang ditandai dengan warna biru tua. Besarnya faktor aman dari analisis program *PLAXIS* yang terdapat pada lereng tanpa perkuatan dengan beban timbunan, sebesar 1,186 < 1,25. Hal ini menunjukkan lereng tidak aman sehingga diperlukan perkuatan untuk mencegah terjadinya kelongsoran pada lereng. Perkuatan yang akan dipakai adalah geotekstil dengan perhitungan kebutuhannya yang akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.9 Daerah Potensi Kelongsoran dan Gambar 5.10 untuk SF nya.



Gambar 5. 9 Daerah Potensi Longsor Pada Lereng Akibat Beban Timbunan

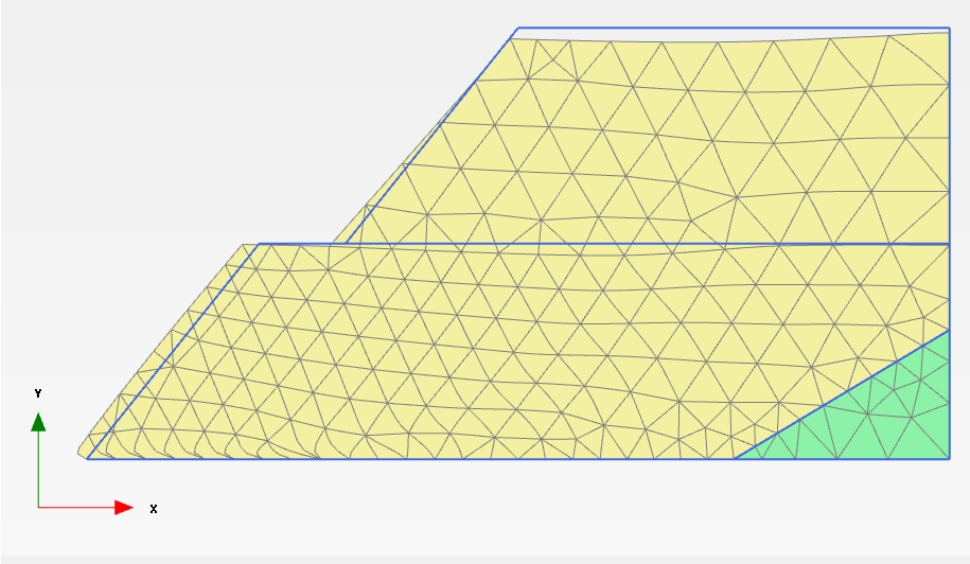


Gambar 5. 10 SF Pada Lereng Akibat Beban Timbunan

5.2.2 Analisis Stabilitas Lereng tanpa Perkuatan Akibat Beban Timbunan & Gempa

1. Deformed Mesh

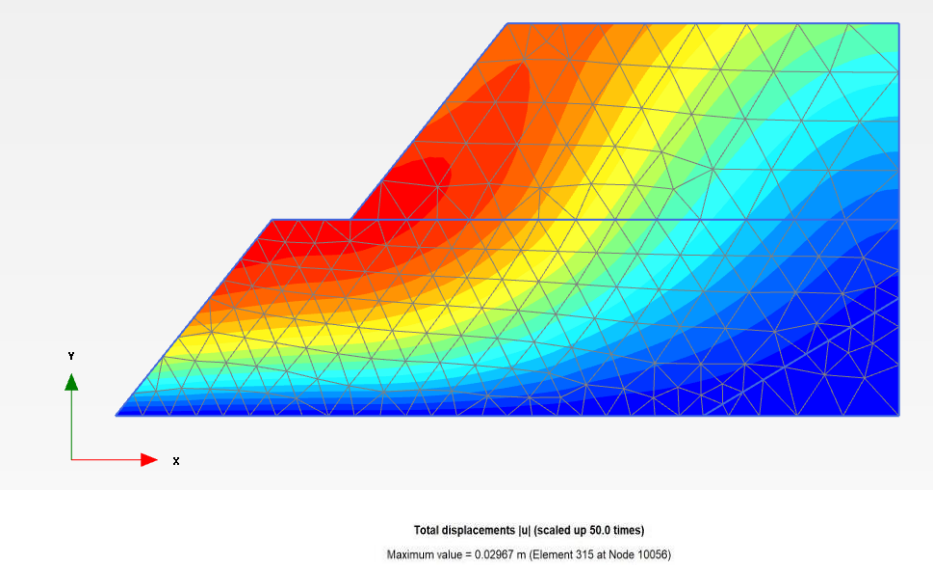
Diartikan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah dan tidak beraturan serta mengalami penurunan yang diakibatkan oleh beban yang bekerja. *Deformed Mesh* pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban sendiri dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



Gambar 5. 11 *Deformed Mesh* Pada Lereng Akibat Beban Timbunan Dan Gempa

2. Total Displacement

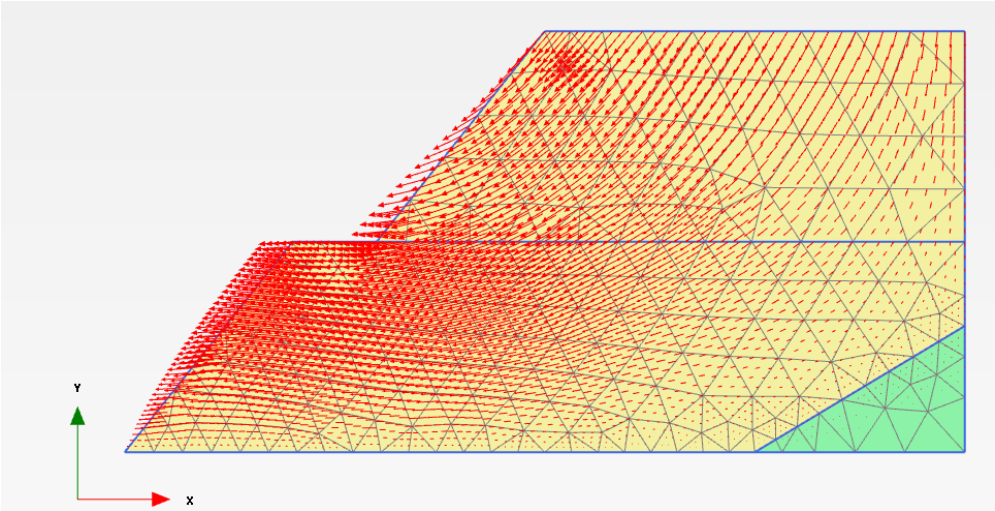
Pada lereng tanpa penguatan, tanah mengalami perpindahan searah vertikal akibat beban timbunan serta beban gempa. Displacement terbesar terjadi di area tengah atas yang ditandai dengan warna oranye gelap. Saat di bawah lapisan warna oranye tua berpadu menjadi biru tua menandakan adanya penurunan nilai displacement. Nilai penggeseran maksimum pada lereng timbunan tanpa penguatan tanah akibat beban timbunan dan beban gempa adalah 0,02967 m seperti yang terlihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5. 12 *Total Displacement* Pada Lereng Akibat Beban Timbunan Dan Gempa

3. Arah Pergerakan Tanah

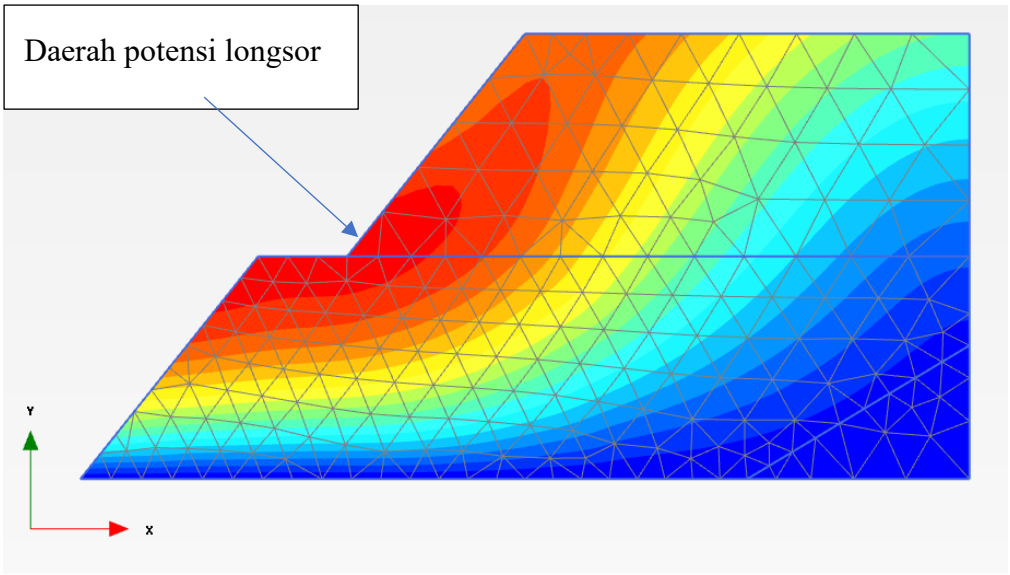
Hasil analisis pergerakan tanah pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan dan beban gempa menunjukan bahwa terjadi pergerakan tanah yang dominan bergerak ke arah sebelah kiri. Arah pergerakan tanah tertera pada Gambar 5.13 sebagai berikut.



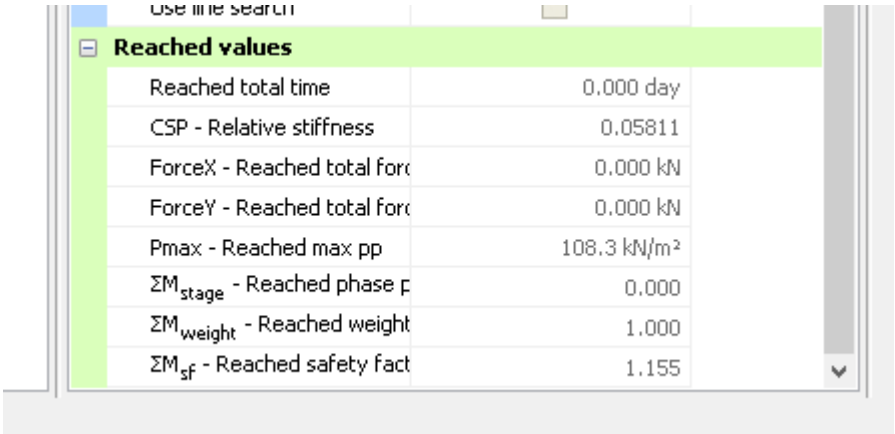
Gambar 5. 13 Arah Pergerakan Tanah Pada Lereng Akibat Beban Timbunan Dan Gempa

4. Daerah Potensi Longsor

Dari analisis program PLAXIS bahwa dalam lereng tanpa perkuatan tanah dengan beban timbunan (sendiri) dan beban gempa kelongsoran yang akan terjadi adalah nendatan *(rotational slide)*. Longsoran rotasi adalah gerakan massa tanah dan batuan yang terjadi di bidang gelincir cekung, sementara pergerakan blok adalah pergeseran batuan di bidang gelincir datar. Longsoran ini juga dikenal sebagai longsoran translasi blok batu. Dari hasil ini bisa dilihat dari zona ditandai dengan warna oranye kemerahan sedangkan zona pasif yang ditandai dengan warna biru tua. Besarnya faktor aman dari analisis program *PLAXIS* yang terdapat pada lereng tanpa perkuatan dengan beban timbunan, beban gempa sebesar 1,155 < 1,25. Hal ini menunjukkan lereng tidak aman sehingga diperlukan perkuatan untuk mencegah terjadinya kelongsoran pada lereng. Perkuatan yang akan dipakai adalah geotekstil dengan perhitungan kebutuhannya yang akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.14 Daerah Potensi Kelongsoran.



Gambar 5. 14 Daerah Potensi Longsor Pada Lereng Akibat Beban Timbunan Dan Gempa



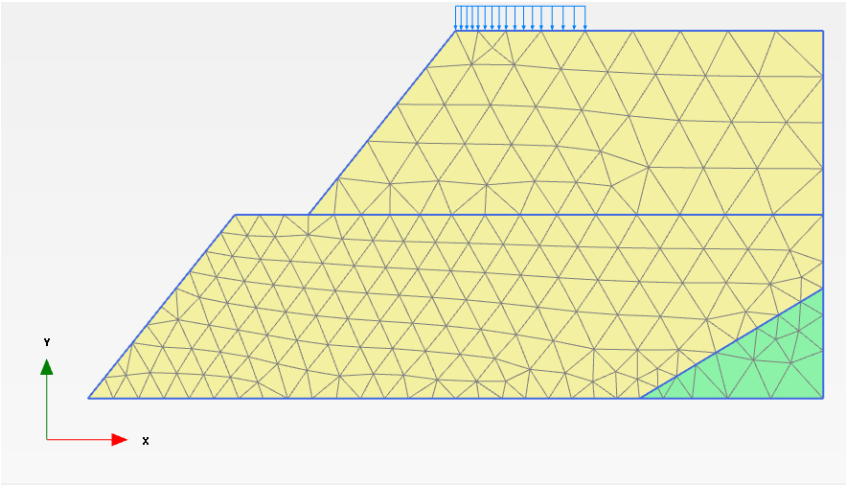
Gambar 5. 15 SF Pada Lereng Dengan Beban Timbunan Dan Beban Gempa

5.2.3 Analisis Stabilitas Lereng tanpa Perkuatan Akibat Beban Kendaraan

1. Deformed Mesh

Diartikan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah dan tidak beraturan serta mengalami penurunan yang diakibatkan oleh beban yang bekerja. *Deformed*

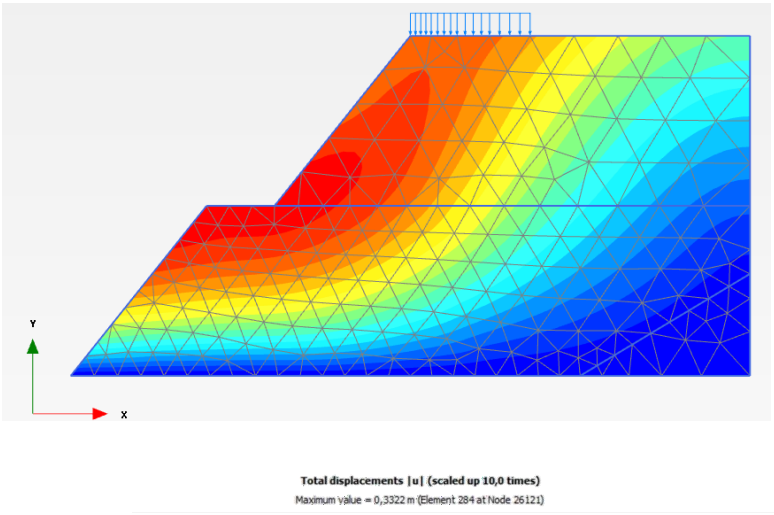
Mesh pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban sendiri, beban gempa dan beban lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 5.16 sebagai berikut.



Gambar 5. 16 Deformed Mesh Pada Lereng Tanpa Perkuatan Akibat Beban Sendiri, Beban Gempa dan Beban Lalu lintas

2. *Total Displacement*

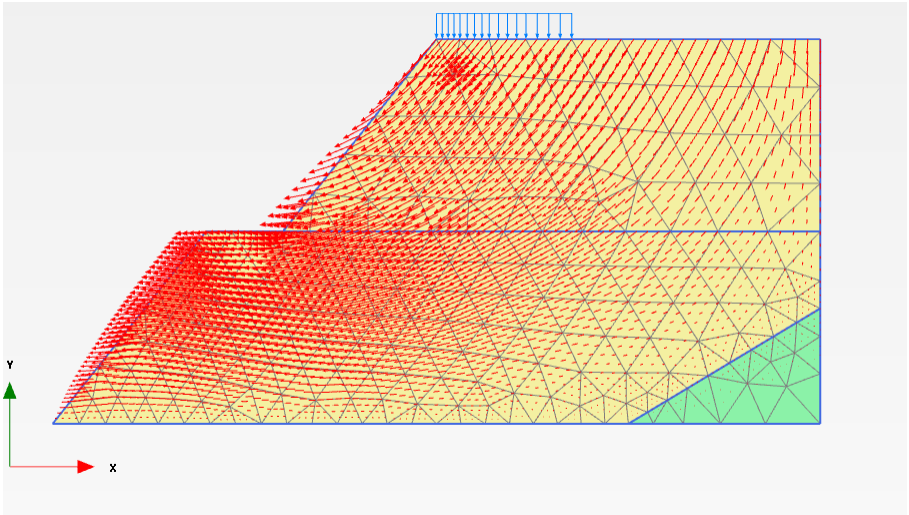
Hasil di lereng tanpa stabilisasi tanah menunjukkan pergeseran vertikal yang disebabkan oleh beban timbunan, beban gempa, dan beban lalu lintas. Pemindahan terbesar terjadi di bagian tengah atas yang ditandai dengan warna oranye gelap. Saat di bawah lapisan warna oranye tua bertransisi menjadi biru tua menandakan nilai displacement mengalami penurunan. *Displacement* maksimum pada lereng timbunan tanpa penguatan tanah akibat beban timbunan, gempa, dan kendaraan adalah 0,0332 m seperti yang terlihat pada Gambar 5.17 berikut



Gambar 5. 17 *Total Displacement* Lereng Akibat Beban Sendiri, Beban Gempa dan Beban Lalu Lintas

3. Arah Pergerakan Tanah

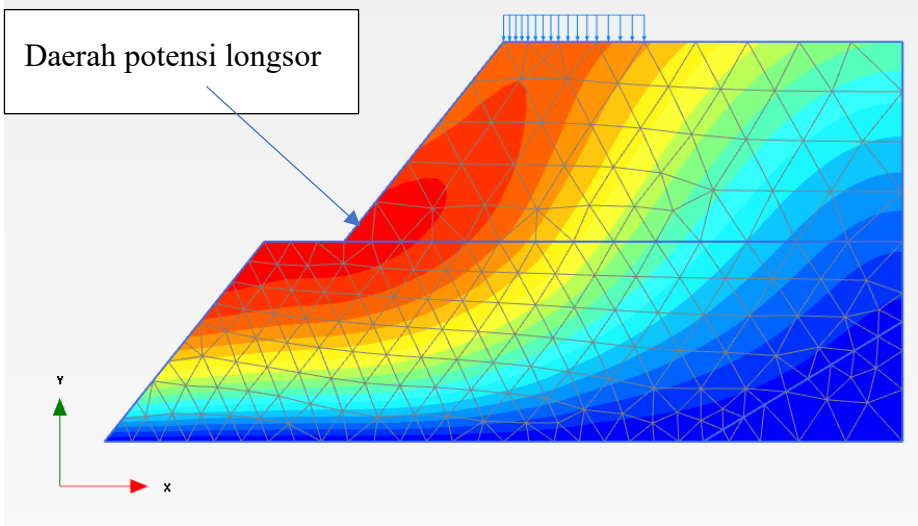
Hasil analisis pergerakan tanah pada lereng tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan dan beban gempa dan beban lalu lintas memperlihatkan bahwa terjadi pergerakan tanah yang dominan bergerak ke arah sebelah kiri. Untuk Arah pergerakan tanah tertera pada Gambar 5.18 sebagai berikut.



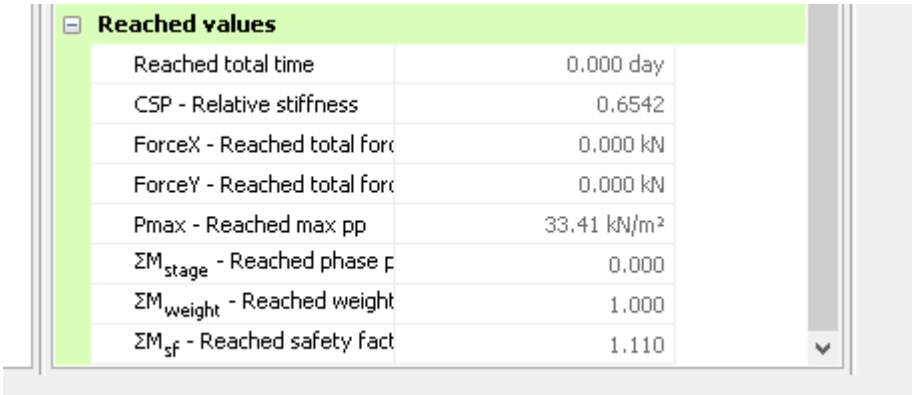
Gambar 5. 18 Arah Pergerakan Tanah Pada Lereng Akibat Beban Timbunan, Beban Gempa Dan Beban Lalu Linats

4. Daerah Potensi Longsor

Dari analisis program *PLAXIS* bahwa pada lereng tanpa perkuatan tanah dengan beban sendiri, beban gempa dan bebam lalu lintas kelongsoran yang akan terjadi adalah nendatan *(rotational slide)*. Longsoran rotasi adalah gerakan massa tanah dan batuan yang terjadi di bidang gelincir cekung, sementara pergerakan blok adalah pergeseran batuan di bidang gelincir datar. Longsoran ini juga dikenal sebagai longsoran translasi blok batu. Dari hasil ini dapat dilihat zona aktif ditandai dengan warna oranye kemerahan sedangkan zona pasif yang ditandai dengan warna biru tua. Besarnya faktor aman dari analisis program *PLAXIS* yang terdapat pada lereng tanpa perkuatan dengan beban timbunan, beban gempa dan beban kendaraan sebesar 1,155 < 1,25. Hal ini menunjukkan lereng tidak aman sehingga diperlukan perkuatan untuk mencegah terjadinya kelongsoran pada lereng. Perkuatan yang akan dipakai adalah geotekstil dengan perhitungan kebutuhannya yang akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.19 Daerah Potensi Kelongsoran, dan untuk SF nya dapat dilihat pada Gambar 5.20 dibawah.



Gambar 5. 19 Daerah Potensi Longsor Akibat Beban Timbunan, Beban Gempa Dan Beban Lalu Lintas



Gambar 5. 20 SF Pada Lereng Akibat Beban Sendiri, Beban Gempa dan Beban Lalu Lintas

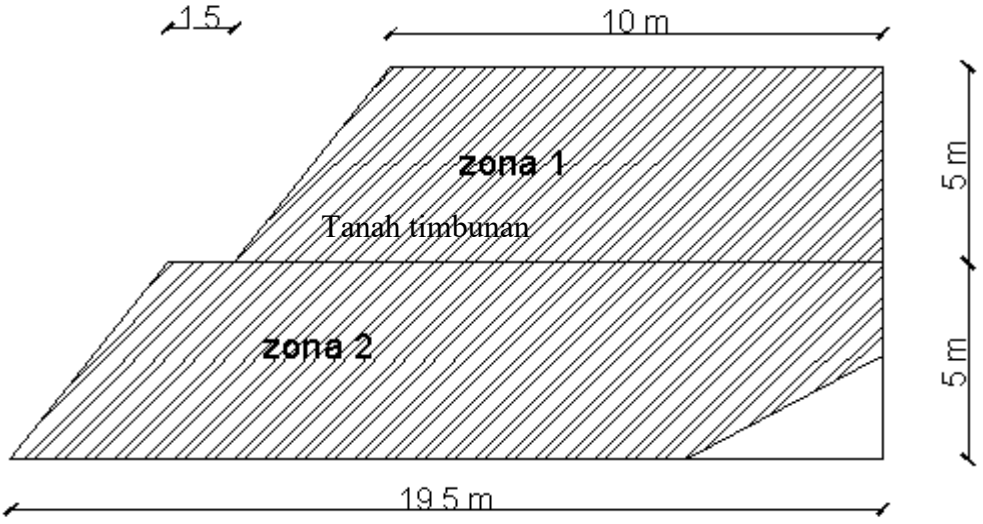
5.3 Analisis Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

Berdasarkan Hardiyatmo (2008), geotekstil adalah bahan lembaran yang terbuat dari polimer tekstil yang memiliki kemampuan permeabel terhadap air dan diterapkan dalam berbagai teknik sipil, seperti interaksi dengan tanah atau batu serta material geoteknik lainnya. Umumnya, geotekstil terbuat dari polipropilena (walaupun ada yang menggunakan poliester atau polietilena), yang diolah menjadi serat atau tali, kemudian dijadikan kain woven (anyaman) atau non-woven (tidak anyaman). Ketika bahan tekstil ini diletakkan di permukaan tanah, maka disebut geotekstil. Tipe geotekstil yang dipakai adalah geotekstil woven UW-250.

Metode yang diterapkan dalam tugas akhir ini adalah pembagian zona, di mana lereng tanah timbunan dibagi menjadi dua zona, yaitu zona 1 dan zona 2. Nilai faktor keamanan (SF) > 1,25 menurut Bowles (1989) diartikan sebagai lereng yang jarang mengalami longsor atau cukup stabil. Untuk menentukan lereng stabil, perlu ditetapkan nilai batas aman yang berbeda dari F=1,25. Karena area longsor berada pada tanah timbunan, geotekstil diletakkan di tanah timbunan.

Untuk merencanakan perkuatan lereng dengan geotekstil stabil terhadap gaya-gaya yang bekerja maka diperlukan analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Untuk pembagian zona dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut, dengan ketentuan untuk lereng dengan tinggi H > 6 meter, bagi lereng kedalam dua zona

(atas bawah) atau tiga zona (atas, tengah dan bawah) dengan ketinggian yang sama, dan gunakan TS- Max terfaktor di tiap tiap zonanya untuk menentukan spasi dan kuat tariknya.



Gambar 5. 21 Pembagian Zona

Berikut data yang diperlukan untuk analisis stabilitas internal dan eksternal

1. Data Tanah Timbunan
    a. Berat Volume Tanah (γb) = 17 kN/m^3
    b. Kohesi (c) = 5 kN/m^3
    c. Sudut Gesek Dalam (φ) = 30^o

2. *Geotekstil*
    a. Jenis Geotekstil = Geotekstil Woven UW-250
    b. Kuat Tarik Ultimit = 70 kN/m
    c. Kuat Tarik Izin = 61 kN/m
3. Beban Merata Kendaraan = 15 kN/m^2
4. Koefisien Daya Dukung Tanah

    Untuk Koefisien dapat dilihat pada Tabel 5.3 dibawah.

Tabel 5. 3 Koefisien Daya Dukung Tanah Meyerhoff

φ	N_c	N_q	N_γ	φ	N_c	N_q	N_γ
15	11,63	4,34	3,06	24	19,32	9,60	9,44
16	11,63	4,34	3,06	25	20,72	10,66	10,88
17	12,34	4,77	3,53	26	22,25	11,85	12,54
18	13,10	5,26	4,07	27	23,94	13,20	14,47
19	13,93	5,80	4,68	28	25,80	14,72	16,72
20	14,83	6,40	5,39	29	27,86	16,44	19,34
21	15,82	7,07	6,20	30	30,14	18,40	22,40
22	16,88	7,82	7,13	31	32,67	20,63	25,90
23	18,05	8,66	8,20	32	35,49	23,18	30,22

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

5.3.1 Stabilitas Eksternal

1. Menentukan Jarak Arah Vertikal antar Lapisan Geotesktil (SV)

Beban merata kendaraan = 12 kN/m^2 digunakan *safety factor* (SF) = 1,5 dan kohesi (c) = 9 kN/m^2.

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

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

$= 0{,}33$

Zona 1

a. Zona 1

$\sigma hc\ 1 = (q \times ka) + (ka \times H_1 \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{ka})$

$= (15 \times 0{,}33) + (0{,}33 \times 5 \times 17) - (2 \times 5 \times \sqrt{0{,}33})$

$= 27{,}52$ kN/m^2

SF = 1,5

Sv1 = $\frac{Ta}{\sigma hc1 \; x \; SF} = \frac{20}{27{,}52 \; x \; 1{,}5}$ = 1,09 (pakai 1 m)

n lapis = 5 x 1 = 5 lapis

b. Zona 2

$\sigma hc\ 1$ = (ka x H2 x yb) – (2 x c x √Ka)

= (0,33 x 5^2 x 17) + (2 x 5 x √0,33)

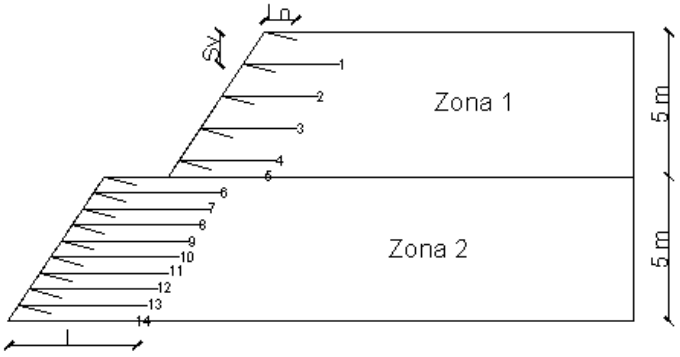
= 43,48 kN/m

SF = 1,5

Sv2 = $\frac{Ta}{\sigma hc1 \; x \; SF} = \frac{20}{43{,}48 \; x \; 1{,}5}$ = 0,3 m dipakai 0,5 m

n lapis = 5 x 0,55 = 9 lapis

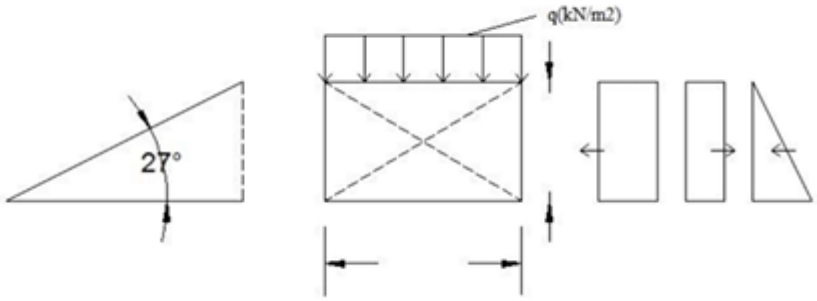
Untuk penggambarannya dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.



Gambar 5. 22 Perletakan Geotekstil

Menentukan panjang geotekstil berdasarkan gaya-gaya yang bekerja panjang geotekstil yang dibutuhkan berdasarkan perhitungan dengan manual dari stabilitas internal dan eksternal, di mana menyesuaikan dengan gaya-gaya yang bekerja pada analisis stabilitas lereng timbunan seperti gaya tarik dan gaya geser.

Menentukan Panjang Geotekstil berdasarkan gaya yang bekerja dapat dilihat pada Gambar 5.23 dibawah.



Gambar 5. 23 Gaya Yang Bekerja Pada Tanah Miring

(Sumber : Purwanto, 2012)

Zona 1 Eksentritas

a. Eksentritas

$$e = \frac{\sum MD}{Rv} = \frac{(Pq\ x\ 1/2H^2)+(Ps\ x\ 1/2x\frac{1}{3}H)-(Pk\ x\ 1/2H)}{(H\ x\ yb\ x\ L)+(q\ x\ L)}$$

Gaya resultan diasumsikan

$$\frac{1}{6}L \geq \frac{(q\ x\ ka\ x\ 1/2\ x\ H^2)+(\frac{1}{3}x\ ka\ x\ yb\ x\ H^2\ x\ \frac{1}{3}x\ H)-(2\ x\ c\ x\ \sqrt{ka})\ x\ 1/2\ x\ H^2)}{(H\ x\ yb\ x\ L)+(q\ x\ L)}$$

$$\frac{1}{6}L \geq \frac{(15\ x\ 0{,}33\ x\ 1/2\ x\ 5^2)+(\frac{1}{3}x\ 0{,}33\ x\ 17\ x\ 5^2\ x\ \frac{1}{3}x\ 5)-(2\ x\ 5\ x\ \sqrt{0{,}33})\ x\ 1/2\ x\ 5^2)}{(5\ x\ 17\ x\ L)+(15\ x\ L)}$$

$$L^2 = \sqrt{2{,}2908}$$

L = 1,513 m (1,5 m)

b. Stabilitas Terhadap Guling

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

$$\Sigma MD = (q\ x\ Ka\ x\ \frac{1}{2}\ x\ H^2) + \left(\frac{1}{2}\ x\ ka\ x\ yb\ x\ H^2\ x\ \frac{1}{3}\ x\ H\right) - (2\ x\ c\ x\ \sqrt{ka})\ x\ 1/\ 2\ x\ H^2)$$

ΣMR = (1/2 x q x L^2) + (0,5 x yb x H x L^2)

SF $= \frac{(0{,}5\ x\ 0{,}33\ x\ L^2\ ) + (0{,}5\ x\ 17\ x\ 5\ x\ L^2)}{(15\ x\ 0{,}33\ x\ 1/2\ x\ 5^2\ ) + (\frac{1}{2}\ x\ 0{,}33\ x\ 17\ x\ 5^2\ x\ \frac{1}{3}\ x\ 5\ ) - (2\ x\ 5\ x\ \sqrt{0{,}33})\ x\ 1/2\ x\ 5^2\ )}$

SF $= \frac{42{,}5\ L^2}{36{,}93}$

L^2 $= \frac{36{,}93\ x\ 1{,}5}{42{,}5}$

L = 1,3 m (diambil 1 m)

c. Stabilitas Terhadap Geser

SF $= \frac{(\text{q x tan}\delta\text{x L}) + (H\ x\ yb\ x\ tan\delta\ x\ L)}{(\text{q .Ka .H}) + (0{,}5\ \text{x Ka x yb x H}^2) - (\ 2\ .\text{c}\ .\sqrt{\text{K}_\text{a}}\ .\text{H})}$

Tahanan geser pada perkuatan (δ = 2/3 x 30^o = 20)

SF $= \frac{(15\ x\ tan20\ x\ L) + (10\ x\ 17\ x\ tan20\ x\ L)}{(15\ x\ 0{,}3\ x\ 5) + (0{,}5\ x\ 0{,}3\ x\ 17\ x\ 5^2) - 2\ x\ 5\ x\ \sqrt{0{,}33}\text{x}\ 5}$

L $= \frac{36{,}43\ x\ 1{,}5}{33{,}10}$ = 1,65 m (dipakai 2 m untuk geotekstil)

d. Tinjauan Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

SF = 1,5

Nc = 30,14

Ny = 22,40

Faktor daya dukung menurut Terzaghi φ = 30^o

Maka didapatkan nilai sebagai berikut.

SF = 1,5

Nc = 30,14

Nq = 18,40

Ny = 22,40

σ ult = c.Nc + q.Nq + 0,5.y . L . Ny

= 30. 30,14 + 15. 18,40 + 0,5. 17. 4. L. 22,40

= (904,2 + 194,8L) x SF

= (904,2 + 194,8 L) x 1,5

= 1808,4 + 389,7L

L $\leq \frac{qult}{H.yb+q}$

$\leq \frac{1808,4+389,7\ L}{100}$

L = 4,5 m (diambil 4 m)

Dari perhitungan diatas diambil Panjang L maks yaitu 4 m

Zona 2

a. Eksentritas

e $= \frac{\sum MD}{Rv} = \frac{(Pq\ x\ 1/2H^2)+(Ps\ x\ 1/2x\frac{1}{3}H)-(Pk\ x\ 1/2H)}{(H\ x\ yb\ x\ L)}$

Gaya resultan diasumsikan

$\frac{1}{6}$ L $\geq \frac{(15\ x\ 0,3\ x\ 1/2\ x\ 10^2\ )+(\frac{1}{3}x\ 0,33\ x\ 17\ x\ 10^2\ x\ \frac{1}{3}x\ 10\ )-(2\ x\ 5\ x\ \sqrt{0,33})\ x\ 1/2\ x\ 10^2\ )}{(10\ x\ 17\ x\ L)}$

$\frac{1}{6}$ L $\geq \frac{288,3}{170L}$

L^2 $= \frac{1724,8}{170}$

L = 3,2 m (dipakai 3,5 m)

b. Stabilitas terhadap guling

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

ΣMD $= (q \text{ x } Ka \text{ x } \frac{1}{2} \text{ x } H^2) + \left(\frac{1}{2}\ x\ ka\ x\ yb\ x\ H^2\ x\ \frac{1}{3}\ x\ H\right) - (2\ x\ c\ x\ \sqrt{ka})\ x\ 1/\ 2\ x\ H^2\ )$

ΣMR $= (1/2 \text{ x } q \text{ x } L^2) + (0{,}5 \text{ x } yb \text{ x } H \text{ x } L^2)$

SF $= \frac{(0{,}5\ x\ 0{,}33\ x\ L^2\ ) + (0{,}5\ x\ 17\ x\ 5\ x\ L^2)}{(15\ x\ 0{,}33\ x\ 1/2\ x\ 10^2\ ) + (\frac{1}{2}\ x\ 0{,}33\ x\ 17\ x\ 5^2\ x\ \frac{1}{3}\ x\ 10\ ) - (2\ x\ 5\ x\ \sqrt{0{,}33})\ x\ 1/2\ x\ 10^2\ )}$

$= \frac{85L^2}{288{,}3}$

$L^2 = \sqrt{5{,}087}$

L = 2,25 m (diambil 2,5 m)

c. Stabilitas terhadap geser

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

SF $= \frac{L.(15 + 17)\ x\ 20}{15\ x\ 0{,}3\ x\ 10 + 0{,}3\ x\ 10^2 x\ 17 - 2\ x\ 10\ x\ \sqrt{0{,}33} x\ 10}$

L $= \frac{143{,}48\ x\ 1{,}5}{51{,}43} = 4{,}18$ m (dipakai 4 m untuk geotekstil)

d. Tinjauan Kapasitas Daya Dukung

Faktor daya dukung menurut Terzaghi $\varphi = 30^o$

Maka didapatkan nilai sebagai berikut.

SF = 1,5

Nc = 30,14

Nq = 18,40

Ny = 22,40

σ ult = c.Nc + q.Nq + 0,5.y . L . Ny

= 30. 30,14 + 15. 18,40 + 0,5. 17. 4. L. 22,40

= (904,2 + 194,8L) x SF

= (904,2 + 194,8 L) x 1,5

= 1808,4 + 389,7L

L $\leq \frac{qult}{H.yb+q}$

$\leq \frac{1808,4+389,7\ L}{185}$

L = 3,4 m

Setelah perhitungan diatas diambil L maks yaitu 4 meter.

5.3.2 Stabilitas Internal

1. Panjang Geotekstil *Overlapping*

   Lo = $\frac{\sigma hc\ x\ Svi\ x\ SF}{2\ x\ yb\ x\ Zi\ x\ tg\ \varphi}$

   Geotekstil no. 1 pada zona 1

   σhc = 27,52

   SF = 1,5

   Sv1 = 1 m

   Zi = 1 m

   Lo = $\frac{27,52\ x\ 1\ x\ 1,5}{2\ x\ 17\ x\ 1\ x\ tg30}$ = 1,6 m

   Diambil Panjang overlapping 2 m. rekapitulasi perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.2 dibawah.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Overlapping Geotekstil

Zona	Geotekstil	Svi (m)	Zi (m)	L_O (m)	L_O pakai (m)
Zona 1	Geotekstil no 1	1	1	1.6003	2
	Geotekstil no 2	1	2	0.80	1
	Geotekstil no 3	1	3	0.5234	1
	Geotekstil no 4	1	4	0.4101	1
	Geotekstil no 5	1	4,5	0.3456	1
Zona 2	Geotekstil no 6	0.5	5	0.3282	1
	Geotekstil no 7	0.5	5.5	0.3074	1
	Geotekstil no 8	0.5	6	0.2918	1
	Geotekstil no 9	0.5	6.5	0.2701	1
	Geotekstil no 10	0.5	7	0.2515	1
	Geotekstil no 11	0.5	7.5	0.2354	1
	Geotekstil no 12	0.5	8	0.2014	1
	Geotekstil no 13	0.5	8.5	0.1889	1
	Geotekstil no 14	0.5	9	0.1779	1

2. Panjang Efektif Geotekstil (Le)

$$Le = \frac{SF\ x\ Svi\ x\ Ka\ x\ yb\ x\ Zi}{2\ x\ yb\ x\ Zi\ x\ tg\varphi}$$

$$= \frac{1{,}5\ x\ 1\ x\ 0{,}3\ x\ 17\ x\ 1}{2\ x\ 17\ x\ 1\ x\ tg30}$$

= 0,46 m (diambil 1 m)

$$Le2 = \frac{SF\ x\ Svi\ x\ Ka\ x\ yb\ x\ Zi}{2\ x\ yb\ x\ Zi\ x\ tg\varphi}$$

$$= \frac{1{,}5\ x\ 1\ x\ 0{,}3\ x\ 17\ x\ 0{,}5}{2\ x\ 17\ x\ 1\ x\ tg30}$$

= 0,23 m (pakai 1 m)

Dikarenakan Le memiliki Panjang minimum yaitu 1 m dalam semua Geotekstil, untuk rekapitulasinya dapat dilihat pada Tabel 5.5 dibawah

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Panjang Efektif

Zona	Geotekstil	Sv_i (m)	Z_i (m)	Le (m)	Le pakai (m)
Zona 1	Geotekstil no 1	1	1	0.46	1
	Geotekstil no 2	1	2	0.46	1
	Geotekstil no 3	1	3	0.46	1
	Geotekstil no 4	1	4	0.46	1
	Geotekstil no 5	1	4.5	0.46	1
Zona 2	Geotekstil no 6	0.5	5	0.23	1
	Geotekstil no 7	0.5	5.5	0.23	1
	Geotekstil no 8	0.5	6	0.23	1
	Geotekstil no 9	0.5	6.5	0.23	1
	Geotekstil no 10	0.5	7	0.23	1
	Geotekstil no 11	0.5	7.5	0.23	1
	Geotekstil no 12	0.5	8	0.23	1
	Geotekstil no 13	0.5	8.5	0.23	1
	Geotekstil no 14	0.5	9	0.23	1

3. Panjang Geotekstil Zona Aktif

   Lz = (H-Zi) . tg ($45^o - \varphi/2$)

   Geotekstil no.1 pada zona 1 : Lz1

   Lz1 = (5-1). tg ($45^o - 30/2$)

   = 2,28 m (diambil 2 m)

   Rekapitulasinya dapat dilihat pada Tabel 5.6 Berikut

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Panjang Geotekstil Pada Zona Aktif

Zona	Geotekstil	Sv_i (m)	Z_i (m)	Lz (m)	Lz pakai (m)
Zona 1	Geotekstil no 1	1	1	2.28	2
	Geotekstil no 2	1	2	1.67	1.5
	Geotekstil no 3	1	3	0.78	1
	Geotekstil no 4	1	4	0.39	1
	Geotekstil no 5	1	4.5	0.00	1

Zona 2	Geotekstil no 6	0.5	5	2.45	2.5
	Geotekstil no 7	0.5	5.5	2.28	2
	Geotekstil no 8	0.5	6	1.76	2
	Geotekstil no 9	0.5	6.5	1.57	1.5
	Geotekstil no 10	0.5	7	1.27	1.5
	Geotekstil no 11	0.5	7.5	0.98	1
	Geotekstil no 12	0.5	8	0.68	1
	Geotekstil no 13	0.5	8.5	0.39	1
	Geotekstil no 14	0.5	9	0.0000	1

Cek gaya tarik yang bekerja pada geotekstil, maka diambil nilai dari Svi yang paling besar yaitu pada zona 1 dan geotekstil no 1

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

a. $\tau 1$ = $C_1 + \sigma_1$ x tgφ_1

= 10 + (1/2 x 1 x 17 x tg 30)

= 17,54 kN/m

$b. \tau 2$ = $C_2 + \sigma_2$ x tgφ_2

= 10 + (1/2 x 0,5 x 17 x tg 30)

= 13,74 kN/m

Gaya tarik yang bekerja pada Geotekstil

T = $(\tau 1 + \tau 2)$

= 17,54 + 13,74

= 31,28 kN/m

Berdasarkan data diatas gaya tarik yang bekerja pada geotekstil sebesar 31,28 kN/m, sedangkan geotekstil yang dipakai sebesar 70 kN/m, maka 70 kN/m > 31,28 kN/m (AMAN).

4. Panjang Total Geotekstil

   L total = Lo + Sv + Le + Lz

   Geotekstil nomor 1 pada zona 1 : L1

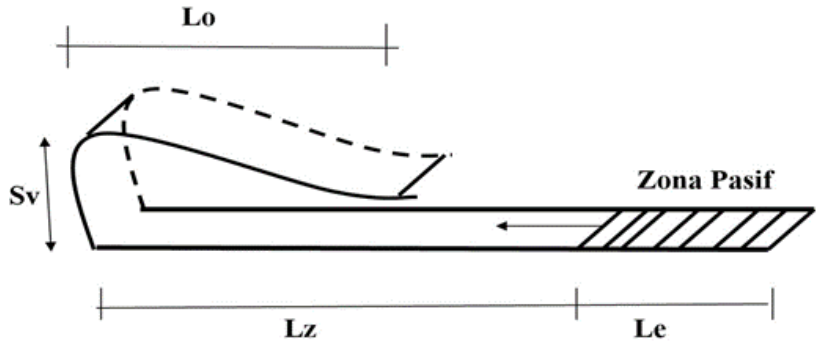
   L1 total = 2 + 1 + 1 + 2 = 6 m

   Rekapitulasi Panjang total geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Panjang Total Geotekstil

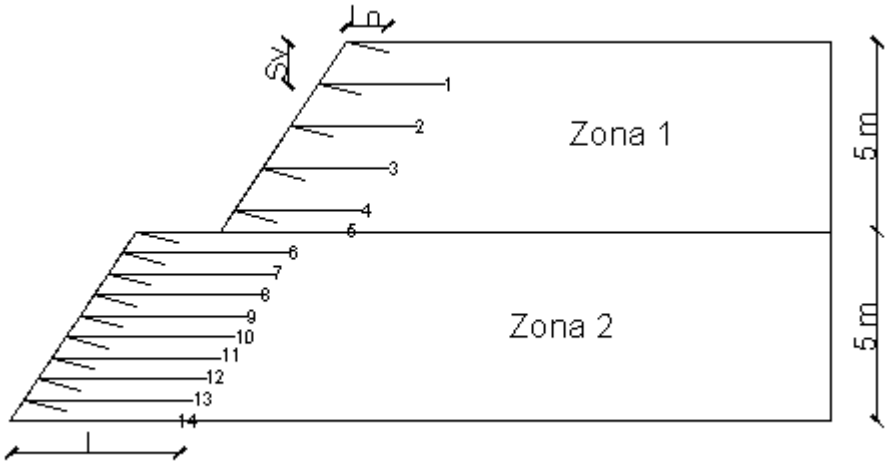
Zona	Geotekstil	Lo (m)	Sv (m)	Le (m)	Lz pakai (m)	L total (m)
Zona 1	Geotekstil no 1	2	1	1	2	6
	Geotekstil no 2	1	1	1	2	4,5
	Geotekstil no 3	1	1	1	1	4
	Geotekstil no 4	1	1	1	1	4
	Geotekstil no 5	1	1	1	1	4
Zona 2	Geotekstil no 6	1	0,5	1	3	5
	Geotekstil no 7	1	0,5	1	2	4,5
	Geotekstil no 8	1	0,5	1	2	4,5
	Geotekstil no 9	1	0,5	1	2	4
	Geotekstil no 10	1	0,5	1	2	4
	Geotekstil no 11	1	0,5	1	1	3,5
	Geotekstil no 12	1	0,5	1	1	3,5
	Geotekstil no 13	1	0,5	1	1	3,5
	Geotekstil no 14	1	0,5	1	1	3,5

Panjang geotekstil overlapping, jarak antar geotekstil, panjang geotekstil pada zona aktif dan zona pasif adalah seperti gambar 5.24 berikut.



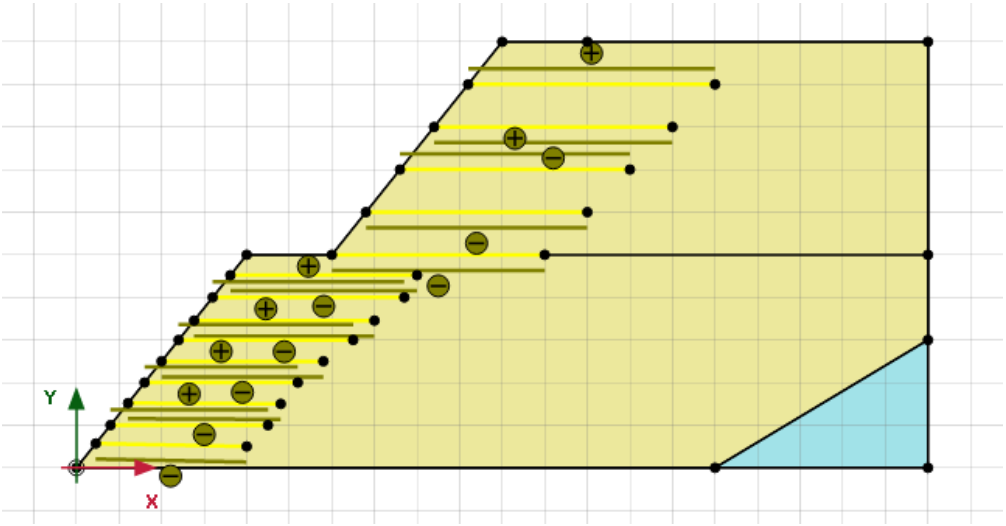
Gambar 5. 24 Lembar Geotekstil

Metode pemasangan geotekstil untuk tiap zona dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut.



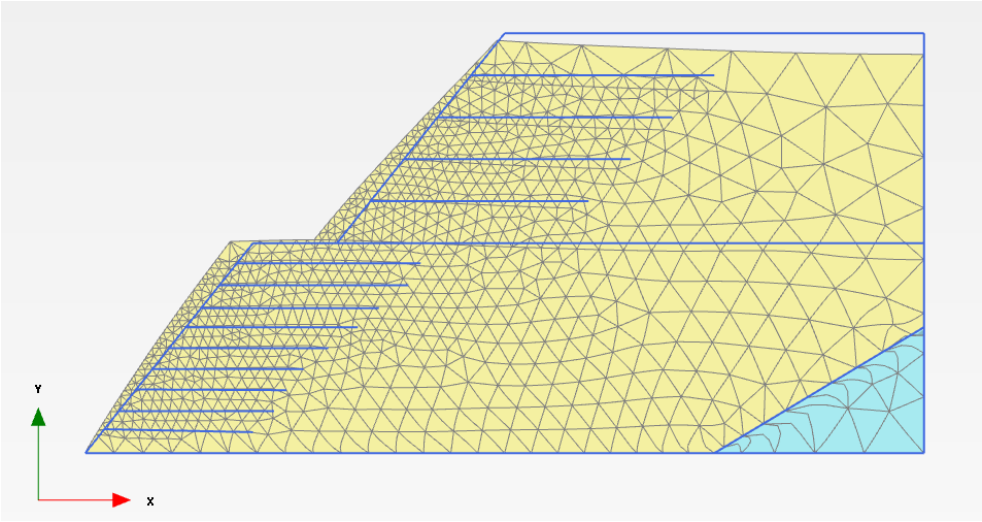
Gambar 5. 25 Pemasangan Geotekstil Tiap Zona

Selanjutnya untuk permodelan dimasukkan dalam Analisis PLAXIS 2D V22 Dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.



Gambar 5. 26 Permodelan Lereng Dengan Geotekstil Pada PLAXIS

Selanjutnya untuk hasil jaringan elemen hingga atau *meshing* pada lereng eksisting dengan timbunan asli dengan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut.

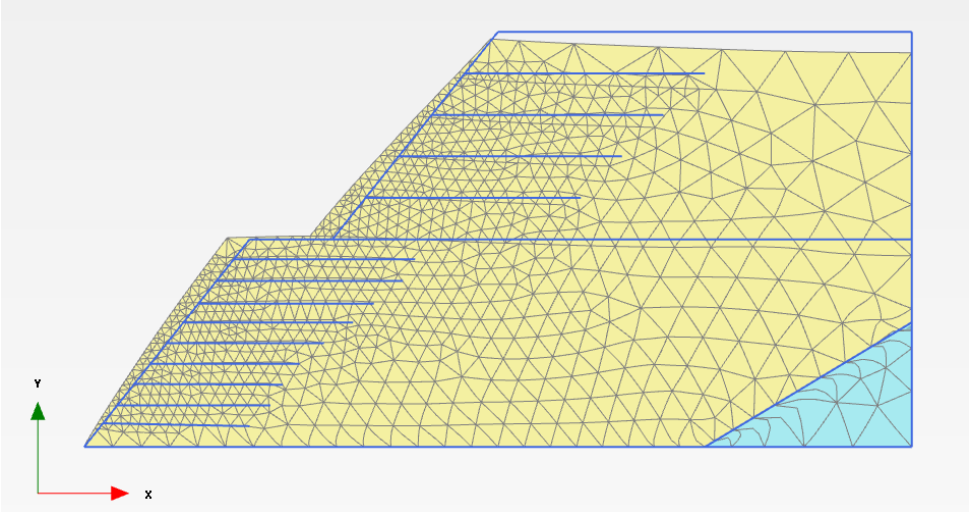


Gambar 5. 27 Meshing Pada Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil

5.3.3 Gaya Tarik Akibat Beban Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

1. *Deformed Mesh*

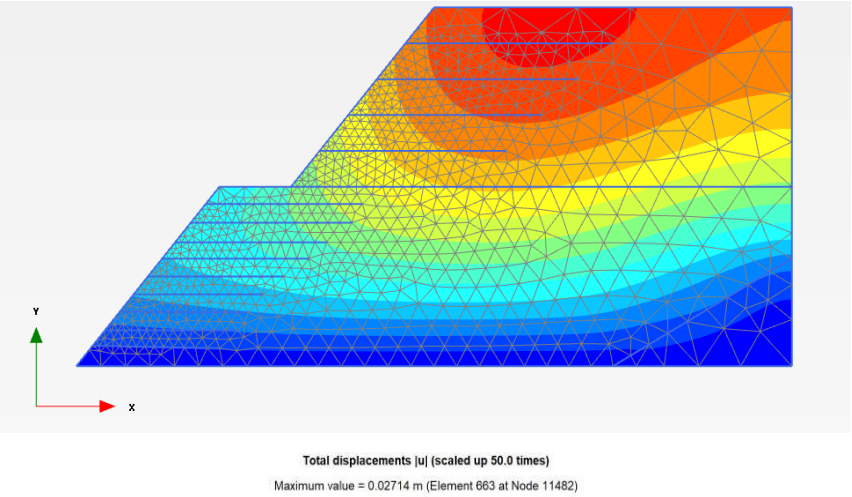
Deformed Mesh diisyaratkan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah dengan tidak beraturan dan mengalami penurunan pada bagian yang kritis akibat pembebanan yang terjadi pada permukaannya. Beban-beban yang bekerja tersebut terdiri dari beban timbunan. Analisis deformed mesh dilakukan dengan menggunakan program *PLAXIS* dan dihasilkan model yang menunjukkan perubahan bentuk pada permukaannya. Deformed Mesh pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan (beban sendiri) dapat dilihat pada Gambar 5.28.



Gambar 5. 28 Meshing Pada Tanah Timbunan (Beban Sendiri) Dengan Perkuatan Geotekstil

2. *Total Displacement*

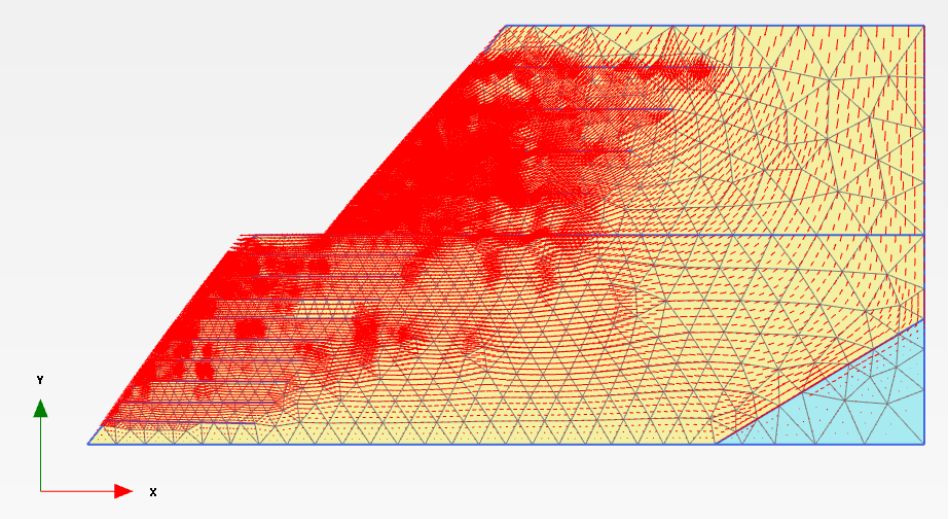
Pada lereng dengan perkuatan geotekstil terjadi displacement searah vertikal akibat beban sendiri (beban timbunan). Displacement paling besar terjadi di bagian tengah atas yang ditandai dengan warna oranye tua. Ketika di bawah lapisan warna oranye tua memudar menjadi biru tua menandakan nilai displacement mengalami penurunan. Nilai *displacement* yaitu 0,02714 m pada lereng timbunan tanpa perkuatan tanah akibat beban timbunan yang tertera pada Gambar 5.29 dibawah ini.



Gambar 5. 29 *Total Displacement* Akibat Beban Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil

3. Arah Pergerakan Tanah

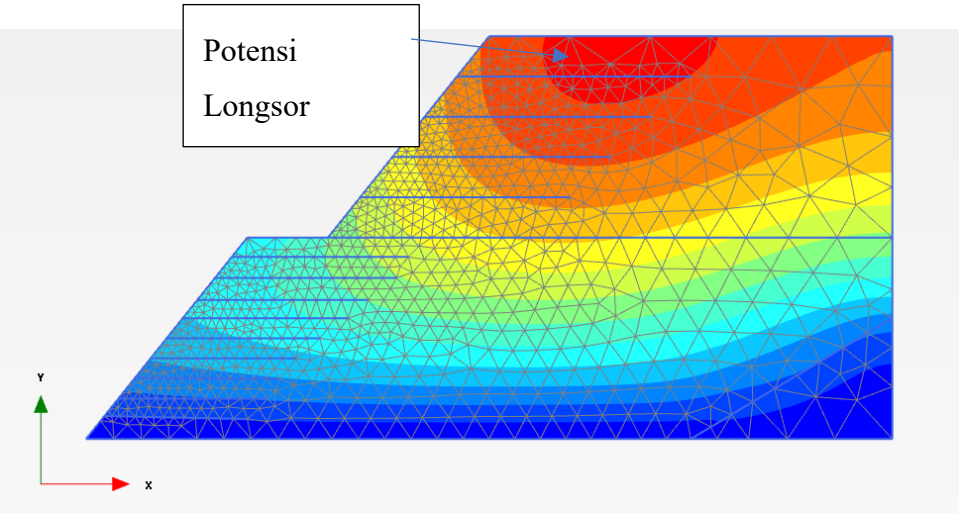
   Hasil analisis pergerakan tanah pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan menunjukan bahwa terjadi pergerakan tanah yang dominan bergerak ke arah sebelah bawah tetapi ada juga pergerakan tanah ke sebelah kiri dari tanah timbunan. Arah pergerakan tanah yang dimaksud tertera pada Gambar 5.30 dibawah ini.



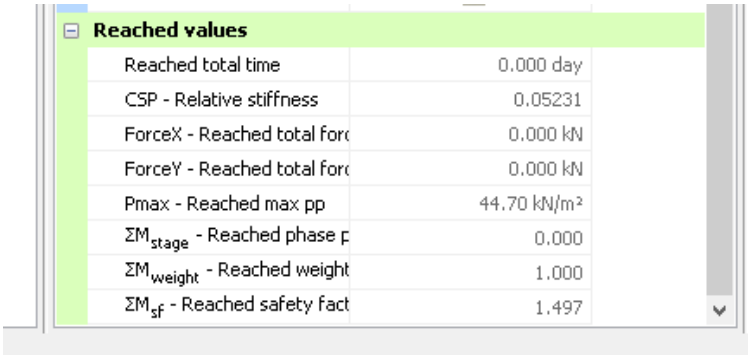
Gambar 5. 30 Arah Pergerakan Tanah Akibat Beban Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil

4. Daerah Potensi Kelongsoran

Dari analisis program *PLAXIS* ditunjukan pada Gambar 5.25 bahwa kelongsoran yang akan terjadi adalah nendatan *(rotational slide)*. Dari hasil ini dapat dilihat zona aktif ditandai dengan warna oranye yang artinya potensi kelongsoran tinggi, sedangkan zona pasif yang ditandai dengan warna biru tua menandakan potensi kelongsoran yang bisa terjadi adalah rendah. Potensi kelongsoran pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban sendiri (beban timbunan) dapat dilihat pada Gambar 5.31. untuk SF nya didapatkan hasil 1,497 untuk lereng dengan perkuatan geotekstil.



Gambar 5. 31 Daerah Potensi Longsor Akibat Beban Timbunan Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil

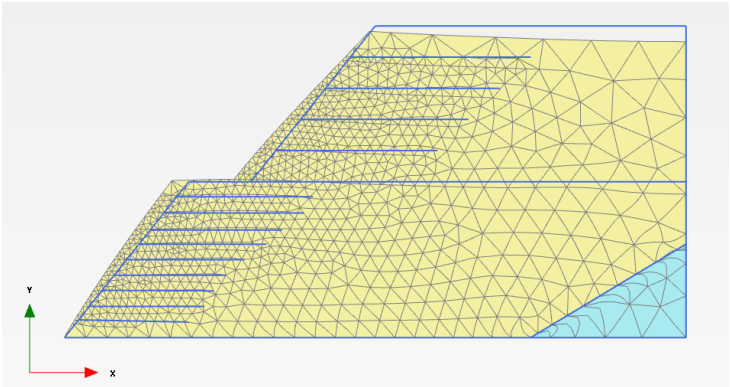


Gambar 5. 32 SF Lereng Akibat Beban Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstil

5.3.4 Akibat Beban Timbunan, dan Beban Gempa dengan Geotekstil

1. *Deformed Mesh*

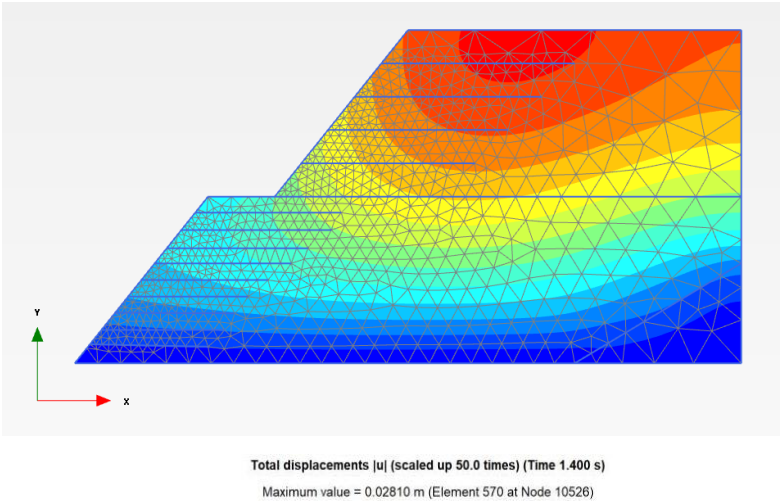
Deformed Mesh pada lereng dengan beban timbunan dan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.33



Gambar 5. 33Deformed Mesh Pada Lereng Dengan Geotekstil Akibat Beban Timbunan dan Beban Gempa

2. *Total Displacement*

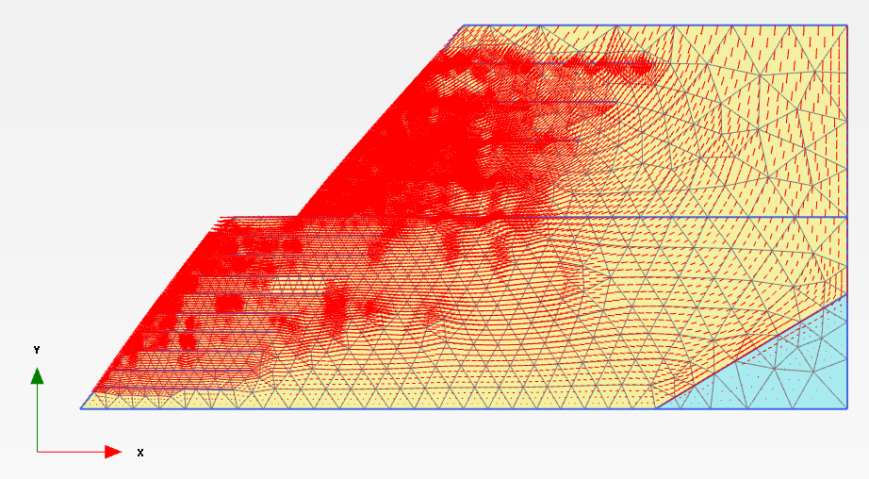
Untuk *total displacement* pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan dan gempa sebesar 0,02810 m dapat dilihat pada Gambar 5.34 dibawah.



Gambar 5. 34 Total displacement Lereng Dengan Geotekstil Akibat Beban Timbunan Dan Beban Gempa

3. Arah Pergerakan Tanah

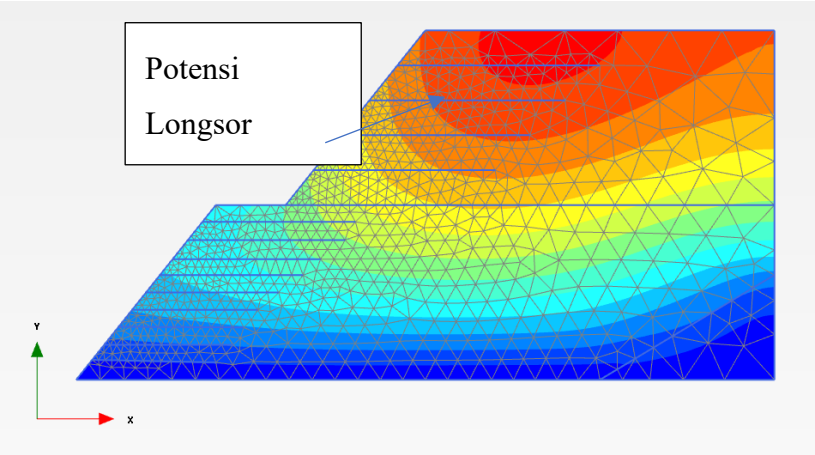
Arah pergerakan tanah lereng dengan perkuatan akibat timbunan dan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.35 dibawah.



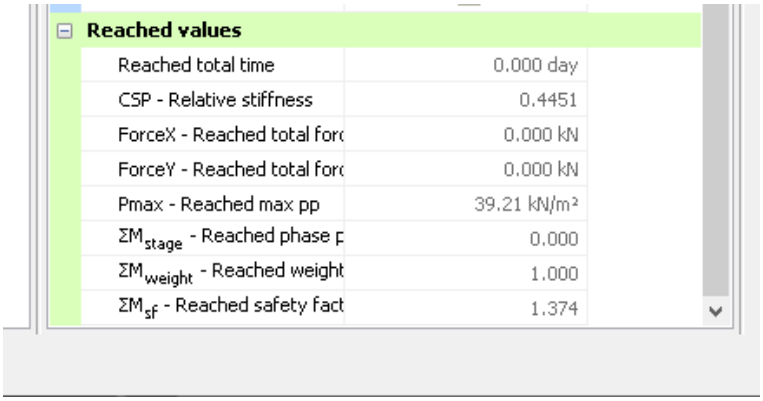
Gambar 5. 35 Arah Pergerakan Tanah Lereng Dengan Geotekstil Akibat Beban Timbunan Dan Beban Gempa

4. Daerah Potensi Longsor

Untuk daerah potensi longsor pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan dan gempa didapat SF sebesar 1,374 untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 5.36 dibawah.



Gambar 5. 36 Daerah Potensi Longsor Pada Lereng Dengan Geotekstil Akibat Beban Timbunan Dan Beban Gempa

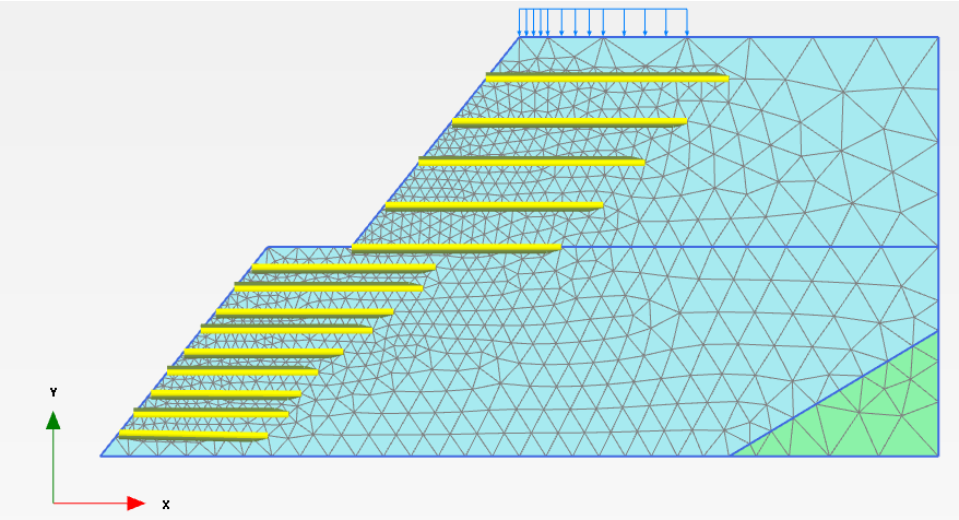


Gambar 5. 37 SF Lereng Dengan Geotekstil Akibat Beban Timbunan Dan Beban Gempa

5.3.5 Akibat Beban Timbunan, Beban Gempa dan Beban Lalu Lintas Dengan Geotekstil

1. Deformed Mesh

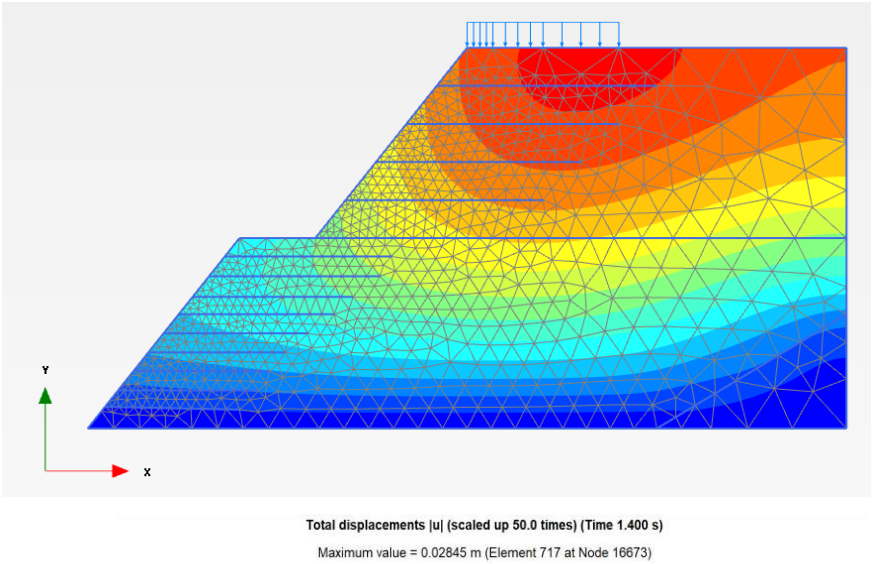
   Deformed Mesh akibat beban timbunan, gempa dan beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.38 dibawah



Gambar 5. 38 Deformed Mesh Lereng Dengan Perkuatan Akibat Beban Timbunan, Beban Gempa Dan Beban Lalu Lintas

2. Total displacement

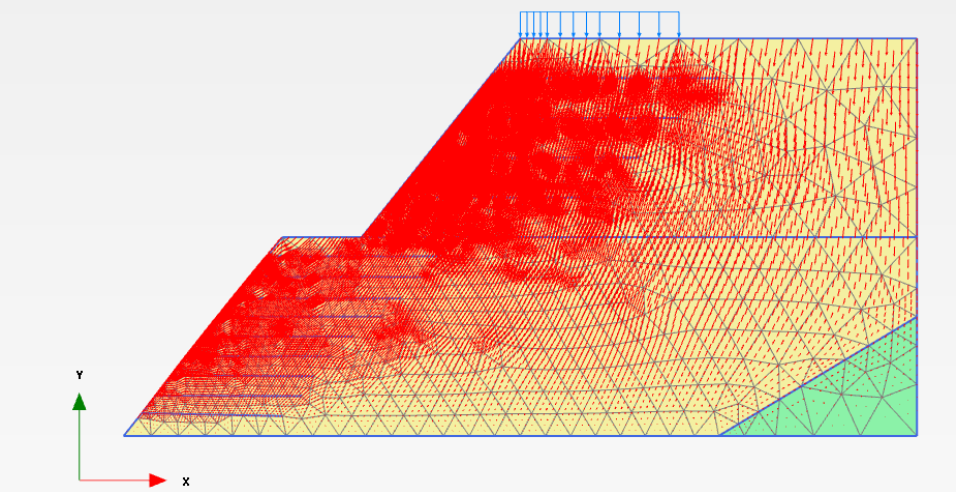
   Total displacement akibat beban timbunan, beban gempa dan beban lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 5.39 berikut, untuk nilainya didapatkan sebesar 0,02845 m.



Gambar 5. 39 Total Displacement Lereng Akibat Beban Timbunan, Beban Lalu Lintas & Beban Gempa

3. Arah pergerakan tanah

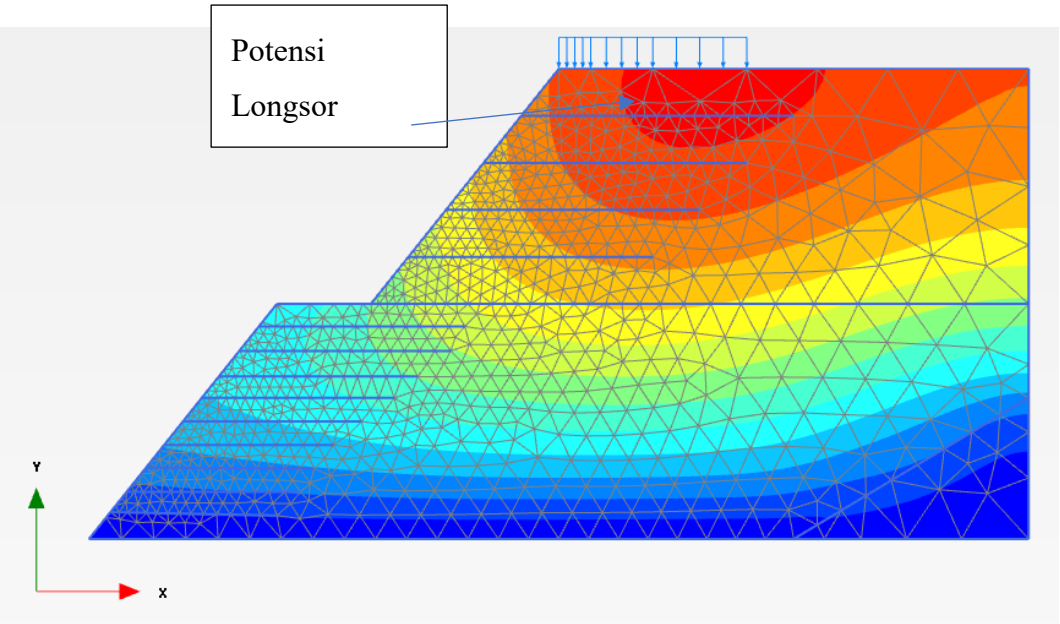
Arah pergerakan tanah lereng dengan perkuatan akibat timbunan, beban gempa dan beban lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 5.40 dibawah.



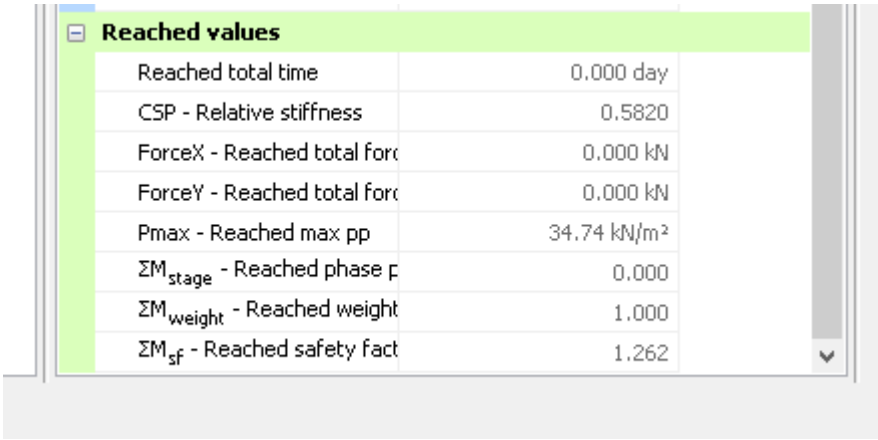
Gambar 5. 40 Arah Pergerakan Tanah Lereng Dengan Geotekstil Akibat Beban Timbunan, Beban Gempa Dan Beban Lalu Lintas

4. Daerah Potensi Longsor

Untuk daerah potensi longsor pada lereng dengan perkuatan geotekstil akibat beban timbunan dan gempa didapat SF sebesar 1,262 untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 5.41 dibawah.



Gambar 5. 41 Daerah Potensi Longsor Lereng Dengan Geotekstil Akibat Beban Timbunan, Beban Gempa Dan Beban Lalu Lintas



Gambar 5. 42 SF pada Lereng Akibat Timbunan, Beban Lalu Lintas & Beban Gempa

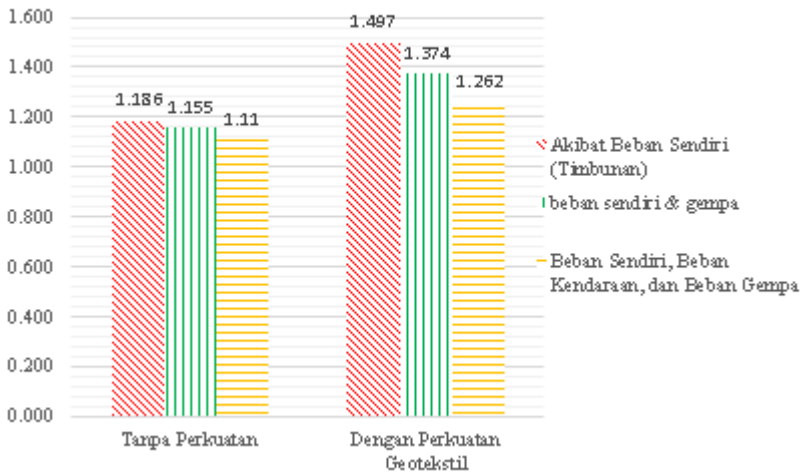
5.4 Pembahasan

Hasil pemodelan dan analisis lereng yang tidak diperkuat dan yang diperkuat dengan geotekstil pada program PLAXIS, menggunakan kombinasi beban timbunan (sendiri), beban kendaraan, serta beban gempa,

menghasilkan rekapitulasi *Safety Factor* dan *Total Displacement* yang tertera dalam tabel 5.8 berikut.

Tabel 5. 8 Hasil Rekapitulasi Lereng Dengan Program Plaxis V22

Analisis		***Total Displacement* (m)**	***Safety Factor***
Lereng Tanpa Perkuatan Tanah	Metode Fellenius		1,184
	Akibat Beban Timbunan (Beban Sendiri	0,02852	1,186
	Akibat Beban Timbunan, dan Beban Gempa	0,02967	1,155
	Akibat Beban Timbunan, Beban Gempa dan Lalu Lintas	0,0333	1,110
Lereng Dengan Perkuatan Tanah Geotekstil			
	Akibat Beban Timbunan (Beban Sendiri)	0,02714	1,497
	Akibat Beban Timbunan, dan Beban Gempa	0,02810	1,374
	Akibat Beban Timbunan, Beban Gempa dan Beban Lalu Lintas	0,02845	1,262



Gambar 5. 43 Grafik SF pada Lereng

Berdasarkan gambar 5.43 faktor keamanan (SF) lereng tanpa perkuatan geotekstil adalah: 1,186 (PLAXIS) dan 1,184 (Metode Fellenius) untuk beban timbunan saja; 1,155 ketika ditambah beban gempa; serta 1,110 saat memikul beban sendiri, beban kendaraan, dan gempa sekaligus. Untuk lereng dengan perkuatan geotekstil, SF tercatat 1,497 (beban timbunan), 1,374 (dengan gempa), dan 1,262 (beban sendiri + gempa + lalu lintas).

Dari hasil tersebut, lereng tanpa perkuatan tidak memenuhi kriteria keselamatan SF ≥ 1,25, sedangkan lereng dengan geotekstil umumnya melampaui batas tersebut, sehingga dikategorikan relatif stabil dengan potensi longsor rendah (Bowles, 1989).

Berdasarkan gambar 5.43 diatas didapat hasil SF pada lereng tanpa perkuatan geotekstil akibat beban timbunan (beban sendiri) sebesar 1,186 dengan *PLAXIS*, untuk metode fellenius didapatkan SF 1,184 lalu untuk ditambahkan beban sendiri dan beban gempa didapatkan SF sebesar 1.155 , serta untuk lereng tanpa perkuatan dengan beban sendiri, beban kendaraan dan beban gempa didapatkan SF sebesar 1,110 .Selanjutnya lereng dengan

perkuatan geotekstil akibat beban timbunan (beban sendiri) didapatkan sebesar 1,497, akibat beban gempa sebesar 1,374, serta akibat beban sendiri, beban gempa & lalu lintas didapatkan SF sebesar 1,262. Hal ini menunjukkan bahwa lereng tanpa perkuatan tidak aman karena lebih kecil dari angka aman yang ditentukan, yaitu 1,25. Dan untuk lereng dengan perkuatan geotekstil didapatkan nilai SF yang lebih besar dari 1,25. Hal tersebut menandakan lereng menjadi relatif stabil dan potensi terjadinya longsor sangat rendah (Bowles, 1989).

BAB VI

KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan analisis stabilitas lereng ini adalah sebagai berikut.

1. Hasil didapatkan setelah melakukan analisis pada lereng tanpa perkuatan dan didapatkan SF dengan Metode Fellenius sebesar 1,184
2. Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan diperoleh hasil diatas didapatkan SF lereng dengan metode *PLAXIS* 2D V22 tanpa perkuatan akibat beban sendiri (beban timbunan) sebesar 1,186 lalu dengan beban timbunan dan beban gempa sebesar 1,155 lalu dengan beban timbunan, beban gempa dan beban lalu lintas sebesar 1,110
3. Hasil analisis stabilitas lereng dengan perkuatan didapatkan hasil SF dengan metode *PLAXIS* 2D V22 dengan Perkuatan akibat beban sendiri (beban timbunan) didapatkan sebesar 1,497 lalu untuk beban timbunan dan beban gempa didapatkan sebesar 1,374 lalu untuk beban timbunan, beban gempa dan beban lalu lintas sebesar 1,262.
4. Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan didapatkan *total displacement* pada lereng tanpa perkuatan akibat beban sendiri (beban timbunan) sebesar 0,02852 lalu dengan beban timbunan dan beban gempa sebesar 0,02967 lalu dengan beban timbunan, beban gempa dan beban lalu lintas sebesar 0,0332.
5. Hasil analisis stabilitas lereng dengan perkuatan diperoleh *total displacement* pada lereng dengan perkuatan akibat beban sendiri (timbunan) didapatkan sebesar 0,02714 lalu untuk beban timbunan dan beban gempa sebesar 0,02810 lalu untuk beban timbunan, beban gempa dan beban lalu lintas sebesar 0,02845.
6. Pengaruh akibat dari perkuatan geotekstil cukup mempengaruhi dari lereng yang kondisi kritis membuat lereng tersebut cukup stabil dan sudah diatas angka aman, nilai faktor keamanan yang didapatkan lebih dari 1,25 sehingga sudah dalam kondisi stabil

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis diatas telah dilakukan analisis dengan metode PLAXIS, program lain seperti *geoslope,* dan perkuatan lain seperti *sheet pile, soil nailing* juga dapat dijadikan alternatif analisis.
2. Dapat ditambahkan RAB dalam analisis perkuatan lereng agar biaya dari perkuatan dapat efisien
3. Penelitian juga masih bisa dikembangkan dengan memodifikasi jenis tanah, perkuatan dan variasi metode yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

Arsy, A. A. (2018). Analisis Stabilitas Timbunan pada Konstruksi Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius (Studi Kasus: Proyek Jalan Tol Solo-Kertosono Sta 4 +175). 6, 104–112.

Bowles, J. E. (1984). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah: Mekanika Tanah.* Erlangga, Jakarta.

Chandra, A. A. (2021). Analisis Stabilitas Lereng Pada Ruas Jalan Abe-Arso Sta 3+700 Dengan Perkuatan Geotekstil. Crane: *Civil Engineering Research Journal, 2(2), 50–60.* https://doi.org/10.34010/crane.v2i2.5236

Hardiyatmo, H. C. (2014). *Tanah Ekspansif Permasalahan dan Penanganan.* Yogyakarta : Gadjah Mada University Press. https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=968512

Hayumi, L. (2021). *Analisis Stabilitas Timbunan Pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS.* Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. dspace.uii.ac.id

Lembang, L. D. (2021). *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan studi kasus di Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750.* Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. dspace.uii.ac.id

Lingga, A. (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope.* Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Loga, M. R. (2018). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Metode Perhitungan Fellenius dan Taylor Serta Program Geoslope.* Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Ma'ruf, F. N. (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga Pada Proyek Tol SoloKertosono Seksi 3. Yogyakarta.*

Rizqullah, P. G., & Yelvi, Y. (2022). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung - Cilincing Seksi 2 STA 6+475). Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil, 19(2), 145–156.* https://doi.org/10.30630/jirs.v19i2.836

Sihite, M. A. (2021). *Analisis Stabilitas Lereng Pada Jalan Karolangkat Desa Telagah KM : 2+575 Dengan Menggunakan Metode Fellenius.* Universitas Darma Agung, Medan, 10, 76–82.

Loga, M. r (2018). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Metode Perhitungan Fellenius dan Taylor Serta Program Geoslope.* Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Nizar, S. i (2020). *Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Menggunakan Perkuatan Geotekstil Dengan Program PLAXIS 8.6 Serta Metode Fellenius.* Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Pangular, D. (1985). Petunjuk Penyelidikan dan Penanggulangan Gerakan Tanah. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum.

Pradhana, R. (2018). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil. Daerah Istimewa Yogyakarta: Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jeti*s.

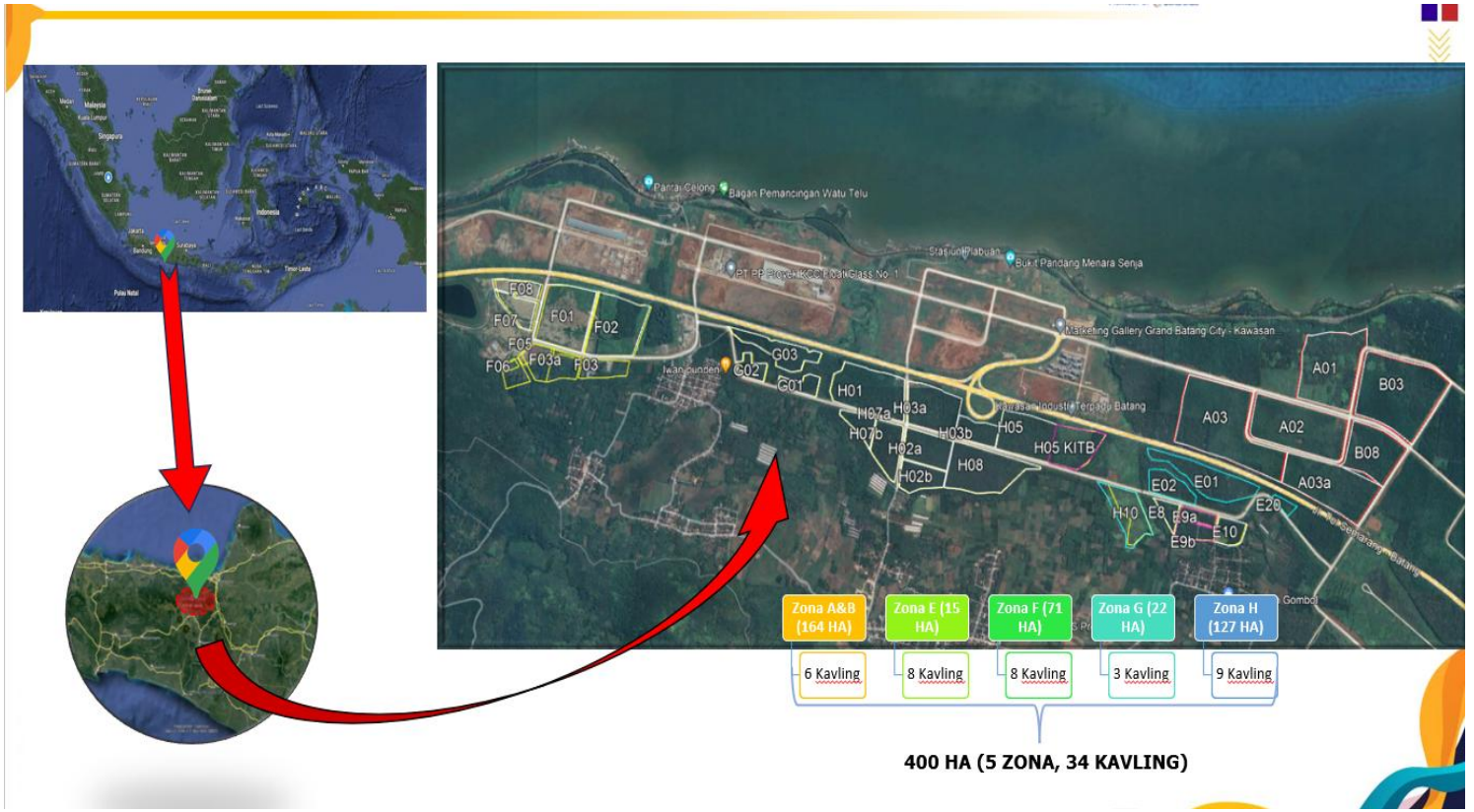
Waruwu, R. R., Telaumbanua, A. A., & Endayanti, M. (2023). *Analisis Stabilitas Lereng Di Desa Padang Mas Kecamatan Kabanjahe Kabupaten Karo 102 Menggunakan Metode Fellenius.* Universitas Darma Agung, Medan, 11, 252–263.

Whitman R.V and Bailey W.A, (1969), *Use of Computers for Slope Stability Analysis, J. Soil Mech. Found. Div.*

Wicaksono, S. (2016). *Prototipe Rock Mass Bonding Untuk Lokasi Longsoran Batuan. Pusjatan.*

LAMPIRAN

Lampiran 1 Lokasi Penelitian (Kawasan Industri Terpadu Batang)



Lampiran 2 Hasil Test Triaxial Kavling Blok B-03

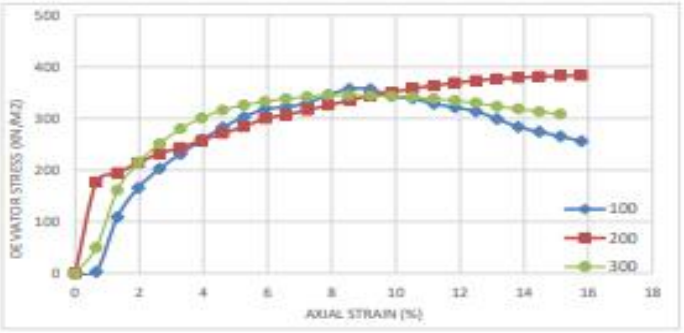
Laboratorium Mekanika Tanah
Fakultas Teknik Jurusan Sipil
Universitas Diponegoro
Semarang

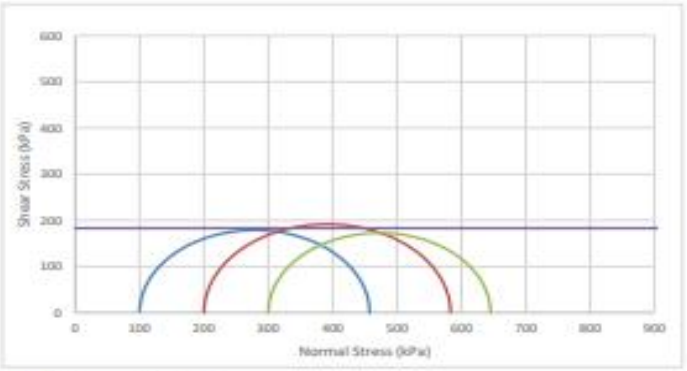
TRIAXIAL COMPRESSION TEST
UNCONSOLIDATED - UNDRAINED

Project	Pekerjaan Pematangan Lahan Kawasan Industri Terpadu Batang Klaster 1 Fase 2	Operator	Rochmat Suhari	
		Report By	Rochmat Suhari	
Loc.	Batang, Jawa Tengah	Ring Calibration	0.0115	*kN/div*
		Disp Calibration		
Sample	B 03	Shearing Vel	0.24	*mm/minute*
Date	5/06/2024	Sample	undistrub	

Sample Properties:

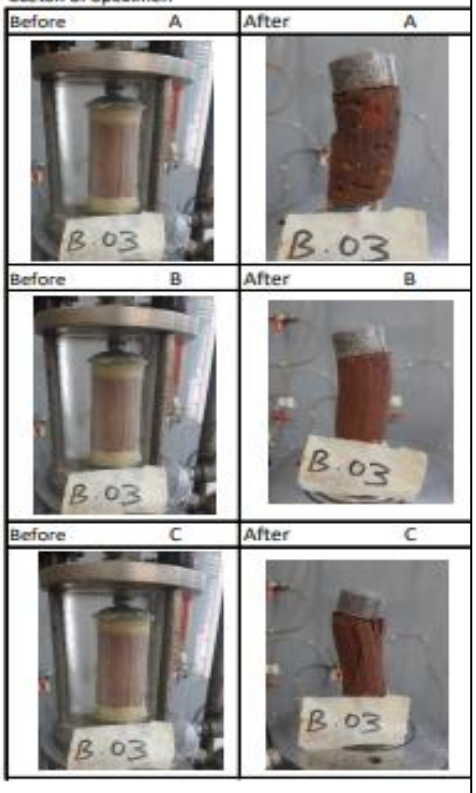
Sample Code	A		B		C	
Diameter	38	*mm*	38	*mm*	38	*mm*
Length (Ho)	76	*mm*	76	*mm*	76	*mm*
Area (Ao)	1133.54	mm^2	1133.54	mm^2	1133.54	mm^2
Volume	86149.04	mm^3	86149.04	mm^3	86149.04	mm^3
Initial Weight	142.08	*gram*	152.38	*gram*	155.5	*gram*
Dry Weight	110.99	*gram*	111.47	*gram*	117.47	*gram*
Wet Density	16.18	kN/m^3	17.35	kN/m^3	17.71	kN/m^3
Water Content	28.01	%	36.70	%	32.37	%





Nilai *Cu* = 183 *Kpa*
Nilai ϕ = 0 *Degrees*

Scetch of Specimen



Lampiran 3 Hasil Pengujian Geotekstile Woven

QI-23/12/0716

Qualis

Test Results :

1. **Tensile Strength & Elongation**

   Test Method: ASTM D4595, gauge length : 100 mm, speed : 50 mm/minuets

Machine Direction (MD)	Result	
	Strength (kN/m)	Elongation (%)
Average	70.9	20.0

Cross Direction (CD)	Result	
	Strength (kN/m)	Elongation (%)
Average	61.0	29.7

Lampiran 4 Hasil Pengujian Geotekstile Woven

Kementerian Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA
BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK
Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT - INDONESIA
Telp. 022 - 2504088, 2510682, 2504828, 2507626 Fax. 022 – 2502077
Website : www.b4t.go.id Email : b4t@b4t.go.id

Laporan No. : **9-28-19-00326** Tanggal : **16 September 2022**

Komoditi : **GEOTEXTILE WOVEN.** Merek/Tipe : **MXW-300**

HASIL PENGUJIAN

NO.	JENIS UJI	SATUAN	METODE UJI ASTM	HASIL UJI
1.	Ketebalan (Thickness)	mm	D 5199 - 12	1,10 – 1,15
2.	Ukuran pori-pori (*Apparent opening size/AOS)*	µm	D 4751 – 16	AOS ≤ 45
3.	Kuat tarik (*Tensile strength*)		D 4595 – 05	
	- arah panjang	kN/m		71,88
	- arah lebar	kN/m		**77,55**
4.	Regang putus (*Elongation at break*)		D 4595 – 05	
	- arah panjang	%		16,00
	- arah lebar	%		18,33
5.	Kuat tarik pegang (*Grab tensile strength*)		D 4632 – 13	
	- arah panjang	N		2174,55
	- arah lebar	N		2007,78
6.	Regang putus pegang (*Grab elongation at break*)		D 4632 – 13	
	- arah panjang	%		15,00
	- arah lebar	%		25,33
7.	Kuat sobek trapesium (*Trapezoidal tear strength*)		D 4533 – 11	
	- arah panjang	N		616,07
	- arah lebar	N		691,93
8.	Ketahanan tusuk CBR (*CBR puncture resistance*)	N	D 6241 – 14	8157,02
9.	Permeabilitas air filter (*water filter permeability*) dengan *water pressure head* 50 mm:		D 4491 – 14	
	- permitivitas (*permittivity*)	1/s		0,066
	- permeabilitas (*permeability*)	mm/s		0,074
	- laju aliran (*flow velocity*)	m/s		3,548

FOTO CONTOH PRODUK



GEOTEXTILE WOVEN

Lampiran 5 Data Hasil Sondir

PPK KAWASAN INDUSTRI BATANG I | KONSULTAN SUPERVISI | PENYEDIA JASA

Site Name	:	Elevasi	:
Site ID	:	Tanggal	: 11-12-2023
Alamat	: BLOK B-07	dikerjakan	: TEAM QC

Data Sondir

Kedalaman (m)	Cr (kg/cm²)	Cr + Fs (kg/cm²)	qc (kg/cm²)	Kedalaman (m)	Cr (kg/cm²)	Cr + Fs (kg/cm²)	qc (kg/cm²)
0,00	0	0		**10,00**			
0,20	5	10		10,20			
0,40	20	30		10,40			
0,60	25	35		10,60			
0,80	45	55		10,80			
1,00	30	40		**11,00**			
1,20	25	35		11,20			
1,40	30	40		11,40			
1,60	25	35		11,60			
1,80	30	40		11,80			
2,00	30	40		**12,00**			
2,20	20	30		12,20			
2,40	25	35		12,40			
2,60	20	30		12,60			
2,80	20	30		12,80			
3,00	15	25		**13,00**			
3,20	15	25		13,20			
3,40	15	25		13,40			
3,60	25	35		13,60			
3,80	25	35		13,80			
4,00	25	35		**14,00**			
4,20	35	45		14,20			
4,40	25	35		14,40			
4,60	30	40		14,60			
4,80	35	45		14,80			
5,00	25	35		**15,00**			
5,20	25	35		15,20			
5,40	30	40		15,40			
5,60	35	45		15,60			
5,80	90	100		15,80			
6,00	40	50		**16,00**			
6,20	70	80		16,20			
6,40				16,40			
6,60				16,60			
6,80				16,80			
7,00				**17,00**			
7,20				17,20			
7,40				17,40			
7,60				17,60			
7,80				17,80			
8,00				**18,00**			
8,20				18,20			
8,40				18,40			
8,60				18,60			
8,80				18,80			
9,00				**19,00**			
9,20				19,20			
9,40				19,40			
9,60				19,60			
9,80				19,80			
				20,00			

PPK KITB I

A. Mut Solch

PT. TMM - Engineering K50.

(Mora Winda K.)

PT. WSKT - BNI K

(M. Kiswam)

PPK KAWASAN INDUSTRI BATANG I	KONSULTAN SUPERVISI	PENYEDIA JASA
BALAI BESAR PELAKSANAAN JALAN NASIONAL JAWA TENGAH - DI YOGYAKARTA		

Site Name	:	Elevasi	:
Site ID	:	Tanggal	: 11-12-2023
Alamat	: BLOK B-03	dikerjakan	: TEAM QC

Data Sondir

Kedalaman (m)	Cr (kg/cm²)	Cr + Fs (kg/cm²)	qc (kg/cm²)	Kedalaman (m)	Cr (kg/cm²)	Cr + Fs (kg/cm²)	qc (kg/cm²)
0,00	0	0		**10,00**			
0,20	5	10		10,20			
0,40	6	12		10,40			
0,60	35	40		10,60			
0,80	30	35		10,80			
1,00	25	30		**11,00**			
1,20	29	34		11,20			
1,40	20	25		11,40			
1,60	25	36		11,60			
1,80	20	25		11,80			
2,00	25	29		**12,00**			
2,20	15	20		12,20			
2,40	20	25		12,40			
2,60	25	30		12,60			
2,80	40	45		12,80			
3,00	35	40		**13,00**			
3,20	45	50		13,20			
3,40	30	35		13,40			
3,60	20	26		13,60			
3,80	20	25		13,80			
4,00	25	30		**14,00**			
4,20	30	35		14,20			
4,40	35	40		14,40			
4,60	35	40		14,60			
4,80	20	25		14,80			
5,00	25	30		**15,00**			
5,20	25	33		15,20			
5,40	20	26		15,40			
5,60	25	36		15,60			
5,80	30	35		15,80			
6,00	35	40		**16,00**			
6,20	40	46		16,20			
6,40	40	45		16,40			
6,60	30	35		16,60			
6,80	29	34		16,80			
7,00	40	45		**17,00**			
7,20	50	55		17,20			
7,40	40	45		17,40			
7,60	45	50		17,60			
7,80	35	40		17,80			
8,00	55	60		**18,00**			
8,20	40	55		18,20			
8,40	40	50		18,40			
8,60	30	40		18,60			
8,80	30	40		18,80			
9,00	55	65		**19,00**			
9,20				19,20			
9,40				19,40			
9,60				19,60			
9,80				19,80			
				20,00			

PPK KITB I

A. Nur Sa CEVA

PT. Jaya - Enterprise 1980.

(Reza Dian S.)

PT NK-Laskar - Bnk. Kso

(Riky Bambang)

Lampiran 6 Data Hasil Cone Penetrometer Test

PEMILIK	KONSULTAN	KONTRAKTOR	CONE PENETROMETER TEST
	PT. Jasa Mitra Manunggal - PT Eskapindo Metra KSO	NKSOYA WASKITA	DUTCH CONE TEST

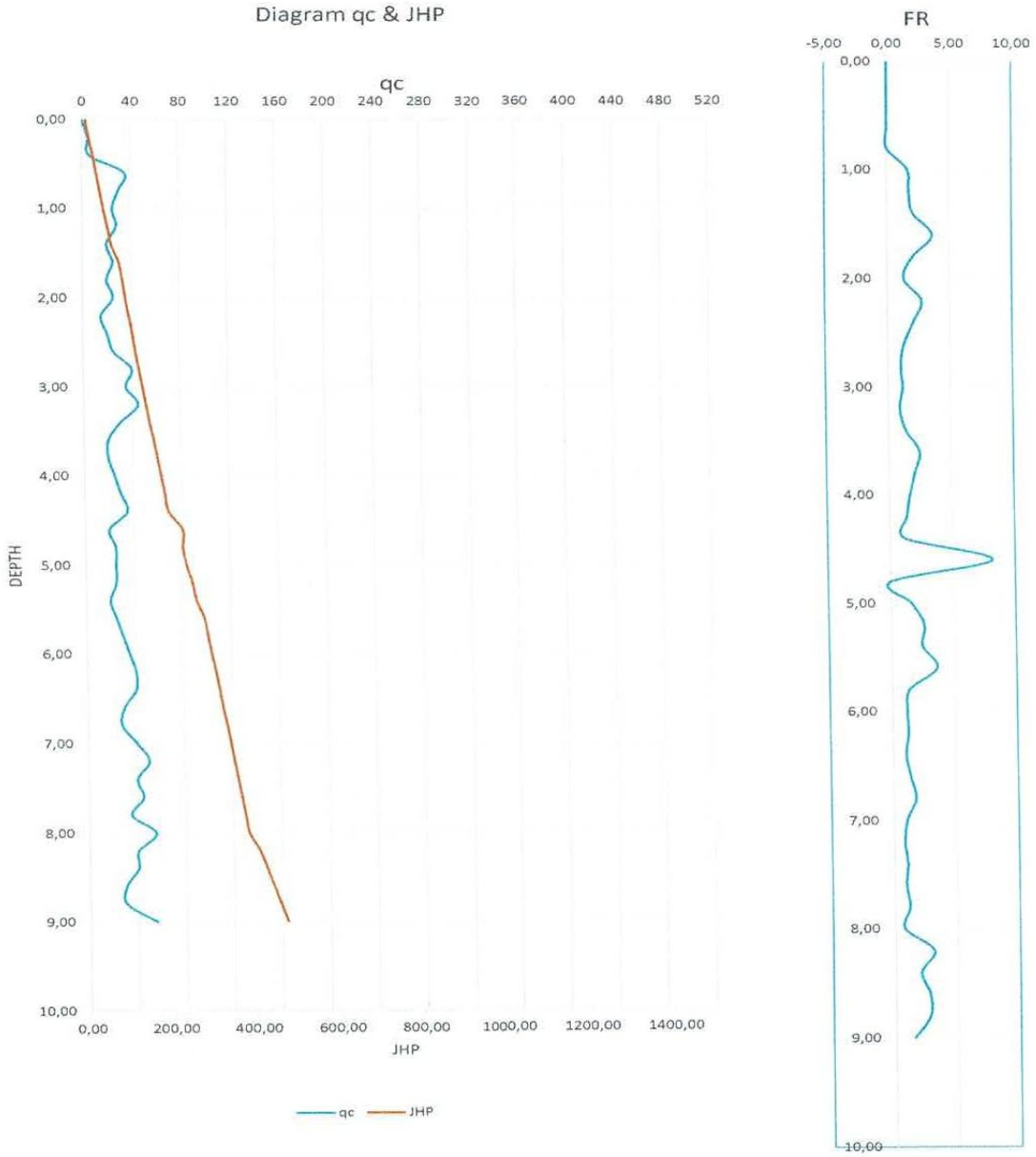
PROJECT	:	PEMATANGAN LAHAN KIT-B KLASTER 1 FASE 2 TAHAP 1	Apl (Plunger Area):	10,174 cm2
LOCATION	:	BLOK B-03	Ac (Conus base area):	10,174 cm2
SONDIR NO.	:	TITIK 1	Asel:	124,344 cm2
SITE ID	:	S0.11.65		
KOORDINAT	:			
DATE &STARTING TIME	:	11-Dec-23		

Depth	Manometer Reading		Kw	qc	Lf	Lf x 20cm	JHP	FR
	Cw	Tw						
A	B	C	D	E	F	G	H	I
			(Tw-Cw)	$Apl/Ac \times C$	$((Tw-Cw))/Asel \times Apl$		$\sum_{-}(i=(Lf \times 20cm))^{\wedge}$	$Lf/qc \times 100$
0,00	0	5	5	0	0,41	8,18	8,18	0,00
0,20	5	10	5	5	0,41	8,18	16,36	0,00
0,40	6	12	6	6	0,49	9,82	26,18	0,00
0,60	35	40	5	35	0,41	8,18	34,36	0,00
0,80	30	35	5	30	0,41	8,18	42,55	0,00
1,00	25	30	5	25	0,41	8,18	50,73	1,64
1,20	28	34	6	28	0,49	9,82	60,55	1,75
1,40	20	25	5	20	0,41	8,18	68,73	2,05
1,60	25	36	11	25	0,90	18,00	86,73	3,60
1,80	20	25	5	20	0,41	8,18	94,91	2,05
2,00	25	29	4	25	0,33	6,55	101,46	1,31
2,20	15	20	5	15	0,41	8,18	109,64	2,73
2,40	20	25	5	20	0,41	8,18	117,82	2,05
2,60	25	29	4	25	0,33	6,55	124,37	1,31
2,80	40	45	5	40	0,41	8,18	132,55	1,02
3,00	35	40	5	35	0,41	8,18	140,73	1,17
3,20	45	50	5	45	0,41	8,18	148,91	0,91
3,40	30	35	5	30	0,41	8,18	157,10	1,36
3,60	20	26	6	20	0,49	9,82	166,92	2,45
3,80	20	25	5	20	0,41	8,18	175,10	2,05
4,00	25	30	5	25	0,41	8,18	183,28	1,64
4,20	30	35	5	30	0,41	8,18	191,46	1,36
4,40	35	40	5	35	0,41	8,18	199,64	1,17
4,60	20	40	20	20	1,64	32,73	232,37	8,18
4,80	25	25	0	25	0,00	0,00	232,37	0,00
5,00	25	30	5	25	0,41	8,18	240,55	1,64
5,20	25	33	8	25	0,65	13,09	253,65	2,62
5,40	20	26	6	20	0,49	9,82	263,46	2,45
5,60	25	36	11	25	0,90	18,00	281,47	3,60
5,80	30	35	5	30	0,41	8,18	289,65	1,36
6,00	35	40	5	35	0,41	8,18	297,83	1,17
6,20	40	46	6	40	0,49	9,82	307,65	1,23
6,40	40	45	5	40	0,41	8,18	315,83	1,02
6,60	30	35	5	30	0,41	8,18	324,01	1,36
6,80	28	34	6	28	0,49	9,82	333,83	1,75
7,00	40	45	5	40	0,41	8,18	342,01	1,02
7,20	50	55	5	50	0,41	8,18	350,20	0,82
7,40	40	45	5	40	0,41	8,18	358,38	1,02
7,60	45	50	5	45	0,41	8,18	366,56	0,91
7,80	35	40	5	35	0,41	8,18	374,74	1,17
8,00	55	60	5	55	0,41	8,18	382,92	0,74
8,20	40	55	15	40	1,23	24,55	407,47	3,07
8,40	40	50	10	40	0,82	16,36	423,83	2,05
8,60	30	40	10	30	0,82	16,36	440,20	2,73
8,80	30	40	10	30	0,82	16,36	456,56	2,73
9,00	55	65	10	55	0,82	16,36	472,93	1,49
9,20								
9,40								
9,60								
9,80								

Diketahui Oleh :	Diperiksa dan Disetujui Oleh :	Dibuat dan Diajukan Oleh :
PPK Kawasan Industri Batang I	PT. Jasa Mitra Manunggal - PT Eskapindo Matra KSO	PT. NK - WSKT - BNI KSO
(A-N SOLOSIH)	( )	(M. HISYAM)

PEMILIK	KONSULTAN	KONTRAKTOR	CONE PENETROMETER TEST
	PT. Jasa Mitra Manunggal - PT Eskapindo Matra KSO		DUTCH CONE TEST

PROJECT	:	PEMATANGAN LAHAN KIT-B KLASTER 1 FASE 2 TAHAP 1	Apl (Plunger Area):	10,174 cm2
LOCATION	:	BLOK B-03	Ac (Conus base area):	10,174 cm2
SONDIR NO.	:	TITIK 1	Asel:	124,344 cm2
SITE ID	:	S0.11.65		
KOORDINAT	:			
DATE &STARTING TIME	:	11-Dec-23		



Diketahui Oleh :
PPK Kawasan Industri Batang I

(S. NUR SOLEH)

Diperiksa dan Disetujui Oleh :
PT. Jasa Mitra Manunggal - PT Eskapindo Matra KSO

( )

Dibuat dan Diajukan Oleh :
PT. NK - WSKT - BNL KSO

(M. HISYAM)

PEMILIK	KONSULTAN	KONTRAKTOR	CONE PENETROMETER TEST
BALAI BESAR PELAKSANAAN JALAN NASIONAL JAWA TENGAH - DI. YOGYAKARTA SATUAN KERJA PELAKSANAAN JALAN NASIONAL WILAYAH I PROVINSI JAWA TENGAH PPK KAWASAN INDUSTRI BATANG I	PT. Jasa Mitra Manunggal - PT Eskapindo Matra KSO	NINDYA WASKITA	DUTCH CONE TEST

PROJECT	:	PEMATANGAN LAHAN KIT-B KLASTER 1 FASE 2 TAHAP 1	Apl (Plunger Area):	10,174 cm2
LOCATION	:	BLOK B-03	Ac (Conus base area):	10,174 cm2
SONDIR NO.	:	TITIK 2	Asel:	124,344 cm2
SITE ID	:	S0.11.65		
KOORDINAT	:			
DATE &STARTING TIME	:	11-Dec-23		

Depth	Manometer Reading		Kw	qc	Lf	Lf x 20cm	JHP	FR
	Cw	Tw						
A	B	C	D	E	F	G	H	I
			(Tw-Cw)	$Apl/Ac \times C$	$((Tw-Cw))/Asel \times Apl$		$\sum_{}(i=(Lf \times 20cm))^{}$	$Lf/qc \times 100$
0,00	0	5	5	0	0,41	8,18	8,18	0,00
0,20	5	10	5	5	0,41	8,18	16,36	0,00
0,40	20	30	10	20	0,82	16,36	32,73	0,00
0,60	25	35	10	25	0,82	16,36	49,09	0,00
0,80	45	55	10	45	0,82	16,36	65,46	0,00
1,00	30	40	10	30	0,82	16,36	81,82	2,73
1,20	25	35	10	25	0,82	16,36	98,19	3,27
1,40	30	40	10	30	0,82	16,36	114,55	2,73
1,60	25	35	10	25	0,82	16,36	130,91	3,27
1,80	30	40	10	30	0,82	16,36	147,28	2,73
2,00	30	40	10	30	0,82	16,36	163,64	2,73
2,20	20	30	10	20	0,82	16,36	180,01	4,09
2,40	25	35	10	25	0,82	16,36	196,37	3,27
2,60	20	30	10	20	0,82	16,36	212,74	4,09
2,80	20	30	10	20	0,82	16,36	229,10	4,09
3,00	15	25	10	15	0,82	16,36	245,46	5,45
3,20	15	25	10	15	0,82	16,36	261,83	5,45
3,40	15	25	10	15	0,82	16,36	278,19	5,45
3,60	25	35	10	25	0,82	16,36	294,56	3,27
3,80	25	35	10	25	0,82	16,36	310,92	3,27
4,00	25	35	10	25	0,82	16,36	327,29	3,27
4,20	35	45	10	35	0,82	16,36	343,65	2,34
4,40	25	35	10	25	0,82	16,36	360,01	3,27
4,60	30	40	10	30	0,82	16,36	376,38	2,73
4,80	35	45	10	35	0,82	16,36	392,74	2,34
5,00	25	35	10	25	0,82	16,36	409,11	3,27
5,20	25	35	10	25	0,82	16,36	425,47	3,27
5,40	30	40	10	30	0,82	16,36	441,84	2,73
5,60	35	45	10	35	0,82	16,36	458,20	2,34
5,80	90	100	10	90	0,82	16,36	474,56	0,91
6,00	40	50	10	40	0,82	16,36	490,93	2,05
6,20	70	80	10	70	0,82	16,36	507,29	1,17
6,40								
6,60								
6,80								
7,00								
7,20								
7,40								
7,60								
7,80								
8,00								
8,20								
8,40								
8,60								
8,80								
9,00								
9,20								
9,40								
9,60								
9,80								
10,00								

Diketahui Oleh :
PPK Kawasan Industri Batang I

A. NUR SOLEH

Diperiksa dan Disetujui Oleh :
PT. Jasa Mitra Manunggal - PT Eskapindo Matra KSO

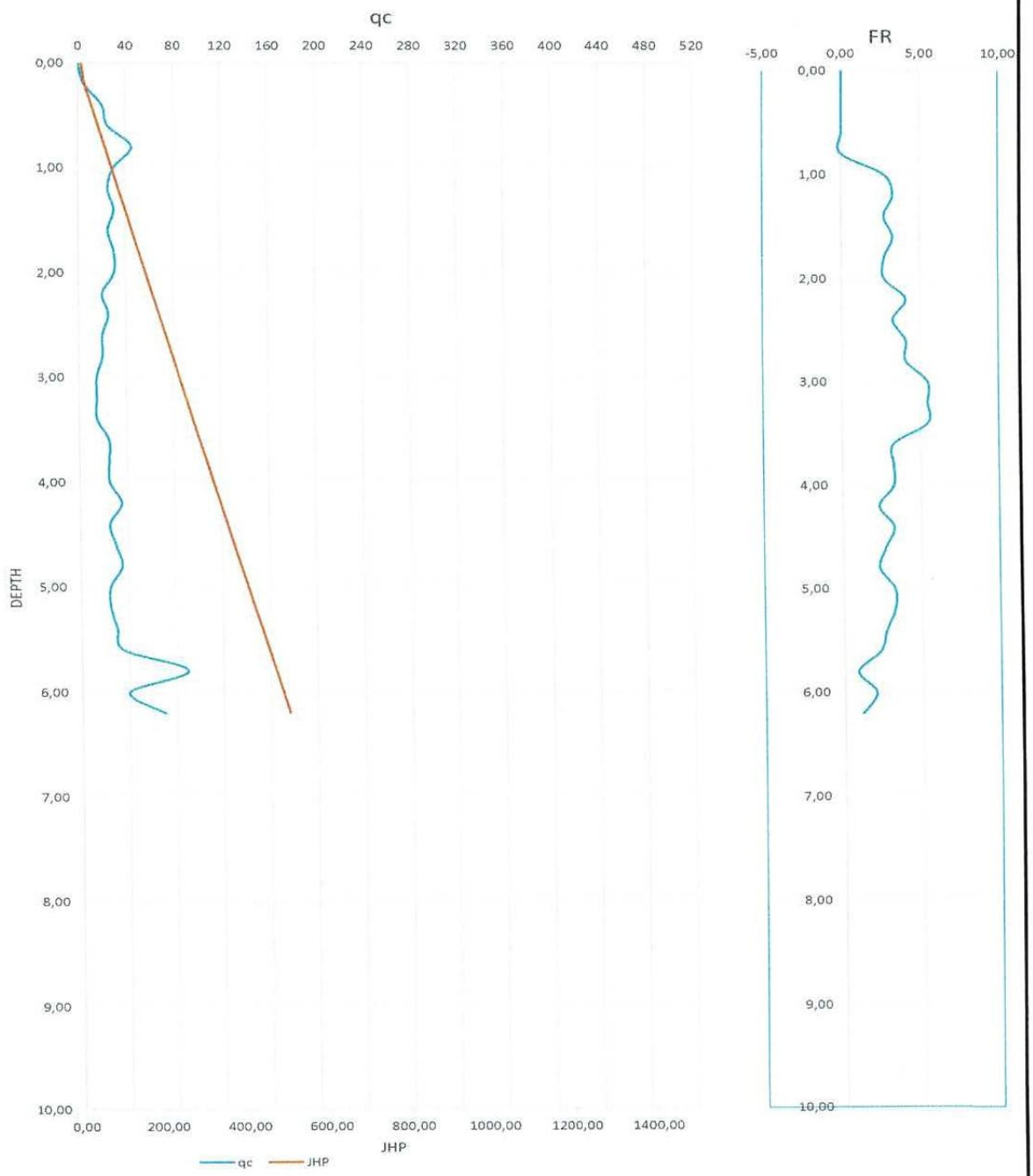
Dibuat dan Diajukan Oleh :
PT. NK - WSKT - BML KSO

M HISYAM

PEMILIK	KONSULTAN	KONTRAKTOR	CONE PENETROMETER TEST
	PT. Jasa Mitra Manunggal - PT Eskapindo Matra KSO		DUTCH CONE TEST

PROJECT	:	PEMATANGAN LAHAN KIT-B KLASTER 1 FASE 2 TAHAP 1	Apl (Plunger Area):	10,174 cm2
LOCATION	:	BLOK B-03	Ac (Conus base area):	10,174 cm2
SONDIR NO.	:	TITIK 2	Asel:	124,344 cm2
SITE ID	:	S0.11.65		
KOORDINAT	:			
DATE &STARTING TIME	:	11-Dec-23		

Diagram qc & JHP



Diketahui Oleh :
PPK Kawasan Industri Batang I

(A. NUR SOLEH)

Diperiksa dan Disetujui Oleh :
PT. Jasa Mitra Manunggal - PT Eskapindo Matra KSO

(.....)

Dibuat dan Diajukan Oleh :
PT. NK - WSKT - BNI KSO

(M. HISYAM)