TUGAS AKHIR

ANALISIS PERKUATAN LERENG DENGAN *GEOCELL*, GEOTEKSTIL DAN *GEOFOAM* PADA KAWASAN *LEARNING CENTER* KOTA BANDUNG (*ANALYSIS OF SLOPE REINFORCEMENT WITH GEOCELL, GEOTEXTILE AND GEOFOAM IN LEARNING CENTER AREA OF BANDUNG CITY*)



Ahmad Faisal Ferdiansyah
22511229

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL – PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2026

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERKUATAN LERENG DENGAN *GEOCELL*, GEOTEKSTIL DAN *GEOFOAM* PADA KAWASAN *LEARNING CENTER* KOTA BANDUNG (*ANALYSIS OF SLOPE REINFORCEMENT WITH GEOCELL, GEOTEXTILE AND GEOFOAM IN LEARNING CENTER AREA OF BANDUNG CITY*)

Disusun oleh

AHMAD FAISAL FERDIANSYAH

22511229

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

Diuji Pada Tanggal 26 Agustus 2026

Oleh Dewan Penguji

Dosen Pembimbing I:

Anisa Nur Amalina, S. T., M. Eng.
NIK: 215111305

Tanggal : 29 Agustus 2026

Penguji I:
Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.
NIK: 045110407

Tanggal : 29 Agustus 2026

Penguji II:
Melinda Dwi Rahmawati, S.T., M.Eng
NIK : 245111202

Tanggal : 29 Agustus 2026

Mengesahkan,

Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil – Program Sarjana

31/8-26

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir yang disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan program studi Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakulatas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, benar-benar merupakan hasil pekerjaan saya sendiri. Setiap kutipan yang berasal dari karya pihak lain dan digunakan pada bagian tertentu laporan ini telah saya cantumkan sumbernya secara jelas dengen mengikuti norma, kaidah, serta etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa laporan ini, baik seluruhnya maupun sebgian, bukan merupakan hasil pekerjaan saya sendiri atau mengandung unsur plagiasi, maka saya bersedia menanggung segala sanksi yang dijatuhkan, termasuk pembatalan gelar akademik yang telah saya peroleh, sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan



Ahmad Faisal Ferdiansyah

(22511229)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
DAFTAR ISI iv
KATA PENGANTAR vii
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR LAMPIRAN xii
DAFTAR NOTASI xiii
ABSTRAK xvi
ABSTRACT xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat 3
1.5 Batasan Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Perkuatan Lereng dengan *Geocell* dan Geotekstil 4
2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang 5
BAB III LANDASAN TEORI 10
3.1 Tanah 10
3.1.1 Parameter Sifat Tanah 10
3.1.2 Kuat Geser Tanah 15
3.2 Pengujian Lapangan 16
3.2.1 Standard Penetration Test (SPT) 16
3.2.2 Cone Penetration Test (CPT) 18
3.3 Stabilitas Lereng 19

3.3.1 Faktor Penyebab Longsor 19
3.3.2 Angka Aman Terhadap Beban Statis 20
3.3.3 Angka Aman Terhadap Beban Gempa 21
3.3.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Fellenius 21
3.4 Geosintetik 23
3.4.1 Geotekstil 24
3.4.2 Geocell 26
3.5 Geofoam 28
3.6 Reinforced Soil Slope (RSS) 29
3.5.1 Stabilitas internal 30
3.5.2 Stabilitas eksternal dan penurunan 34
3.7 PLAXIS 36
3.8 Beban Jalan 37
BAB IV METODE PENELITIAN 39
4.1 Tinjauan Umum 39
4.2 Lokasi Penelitian 39
4.3 Stratigrafi dan Lapisan Tanah 40
4.4 Alur Penelitian 41
4.5 Metode Pengumpulan Data 46
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 47
5.1 Stratigrafi dan Parameter Tanah 47
5.1.1 Parameter Tanah 48
5.1.2 Data Beban Gempa 49
5.2 Analisis Lereng Eksisting 50
5.2.1 Analisis Stabilitas Global Lereng Eksisting 50
5.2.2 Analisis Lereng Eksisting dengan Metode Fellenius 52
5.2.3 Analisis Lereng Eksisting dengan Beban Lalu Lintas 57
5.3 Perkuatan Lereng dengan *Geocell* 58
5.3.1 Perancangan *Geocell* 58
5.3.2 Analisis Stabilitas Eksternal *Geocell* 62
5.3.3 Analisis Stabilitas *Geocell* Kondisi Gempa 65

5.4 Perkuatan Lereng dengan Geotekstil 66
5.4.1 Perancangan Geotekstil 66
5.4.2 Stabilitas Eksternal Geotekstil 67
5.4.3 Analisis Stabilitas Geotekstil Kondisi Gempa 70
5.5 Perkuatan Alternatif Lereng dengan Geofoam 70
5.5.1 Parameter Input 71
5.5.2 Keruntuhan Global Geofoam 72
5.5.3 Analisis Stabilitas Geofoam Kondisi Gempa 72
5.5.4 Penurunan Tanah Dasar Geofoam 73
5.6 Pembahasan Hasil Analisis 74
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 76
6.1 Kesimpulan 76
6.2 Saran 78
DAFTAR PUSTAKA 80
LAMPIRAN 1 84
LAMPIRAN 2 87
LAMPIRAN 3 89

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan kemudahan yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Analisis Perkuatan Lereng Dengan *Geocell* Dan Geotekstil Pada Kawasan *Learning Center* Kota Bandung. Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan untuk memenuhi salah satu persyaratan akademik dalam menempuh pendidikan strata satu pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Banyak sekali hambatan yang penulis hadapi dalam penyusunan Tugas Akhir ini, namun berkat saran, kritik, serta semangat yang dijadikan sebagai pendorong diberikan oleh berbagai pihak, Alhamdulillah saya bertemu dengan akhir dari Tugas Akhir ini. Berkaitan dengan akhir dari Tugas Akhir ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Anisa Nur Amalina, S. T., M. Eng. selaku Dosen Pembimbing,
2. Ibu Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I,
3. Ibu Melinda Dwi Rahmawati, S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji II,
4. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng. selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil,
5. Kedua orang tua penulis, Bapak Irba Djaja dan Ibu Sri Syafriani, yang tiada henti memberikan dukungan, baik secara materi maupun doa dan dukungan moral, hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan,
6. Saudara-saudara kandung serta keponakan kenponakan penulis yang juga memberikan dukungan moral dan materi sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini,
7. Kepada Erie Dwi Yustitia Putri, terima kasih karena telah menemani penulis dari awal mengerjakan skripsi ini, dari tidur teratur hingga yang penting tidur, terima kasih telah memberikan dukungan yang tiada habisnya,
8. Teman-teman “KKN UNIT 511” yang berisikan Byan, Abdul, Kenia, Cikal, Dani, Albram, Vandi, Faris, Ara, Anya dan Galih, “Pengabdian Capstone”,

teman teman "Humas 22" Terutama Rizkek, "Dapur Ismu" dan Tegar, Habibi serta yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah menemani masa masa awal menjadi mahasiswa hingga masa masa terkahir menjadi mahasiswa,

9. Terima kasih kepada semua pihak yang sempat penulis tanyakan ketika penulis bingung yang tentunya tidak bisa disebutkan satu persatu,
10. Terakhir, terima kasih penulis sampaikan kepada diri sendiri, yang telah bertahan, tetap percaya, dan mau berusaha keras sampai Tugas Akhir ini selesai.

Yogyakarta, 28 Agustus 2026

Penulis,

Ahmad Faisal Ferdiansyah

(22511229)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang 6
Tabel 3.1 Nilai Koefisien Permeabilitas 12
Tabel 3.2 Nilai Modulus Elastisitas 13
Tabel 3.3 Nilai Poisson Ratio 14
Tabel 3.4 Nilai Sudut Geser Dalam Efektif 15
Tabel 3.5 Nilai Faktor Keamanan (FK) Untuk Lereng Tanah 20
Tabel 3.6 Klasifikasi EPS *Geofoam* menurut ASTM D6817 28
Tabel 3.7 Nilai F* dan α 34
Tabel 3.8 Beban Jalan 38
Tabel 5.1 Parameter Tanah titik BH-02 48
Tabel 5.2 Perhitungan Metode *Fellenius* 55
Tabel 5.3 Spesifikasi dan Parameter *Input Geocell* 60
Tabel 5.4 Rekapitulasi Panjang Total *Geocell* Tiap Lapis 62
Tabel 5.5 Spesifikasi Teknik Geotekstil 67
Tabel 5.6 *Patameter Input* Geofoam EPS 22 71
Tabel 5.7 Rekapitulasi Angka Aman Perkuatan 75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah 10
Gambar 3.2 Grafik Korelasi N-SPT dan Cu pada Tanah kohesif 17
Gambar 3.3 Grafik CPT Terhadap *Properties* Tanah 18
Gambar 3.4 Gaya yang Bekerja pada Irisan Vertikal 22
Gambar 3.5 Geotekstil *Woven* 25
Gambar 3.6 Geotekstil *Non Woven* 26
Gambar 3.7 *Geocell* 27
Gambar 3.8 Lereng yang Diperkuat dengan Geosintetik 29
Gambar 3.9 Penentuan Koefisien Gaya, K 31
Gambar 3.10 Penentuan Perbandingan Panjang Perkuatan, L/H’ 31
Gambar 3.11 Simbol dalam Perencanaan Perkuatan Lereng 32
Gambar 4.1 Peta Wilayah Tampak Atas Lokasi Penelitian 40
Gambar 4.2 Kondisi Lereng di Sta. 0+940 40
Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian 43
Gambar 4.4 Bagan Alir Analisis PLAXIS 2D V20 45
Gambar 5.1 Potongan Lereng dan Notasi Material 47
Gambar 5.2 Peta Gempa 49
Gambar 5.3 Stabilitas Global Eksisting Lereng 50
Gambar 5.4 *Safety Factor* Eksisting 51
Gambar 5.5 *Total Displacement* Dengan Beban Gempa 52
Gambar 5.6 Pemodelan Lereng Eksistign dengan Metode *Fellenius* 53
Gambar 5.7 Detail Sudut Irisan Metode *Fellenius* 53
Gambar 5.8 Bidang Gelincir dengan Beban Lalu Lintas 57
Gambar 5.9 Penurunan Lereng Eksisting dengan Beban Lalu Lintas 58
Gambar 5.10 Koefisien Gaya (K) 59
Gambar 5.11 Perbandingan Panjang Perkuatan 59
Gambar 5.12 Lereng Dengan Perkuatan 63
Gambar 5.13 Bidang Longsor Global Perkuatan *Geocell* 64

Gambar 5.14 Pengukuran Ds dan b Daya Dukung Lokal 64
Gambar 5. 15 Analisis Penuruan Lereng dengan Perkuatan *Geocell* 65
Gambar 5.16 *Safety Factor Geocell* Kondisi Gempa 66
Gambar 5.17 Lereng dengan Geotekstil 68
Gambar 5.18 Bidang Longsor dengan Perkuatan Geotekstil 69
Gambar 5.19 Hasil Analisis Penurunan Lereng Geotekstil 69
Gambar 5.20 Bidang Longsor Geotekstil Kondisi Gempa 70
Gambar 5.21 Bidang Longsor Lereng dengan Perkuatan Geofoam 72
Gambar 5.22 Bidang Longsor Kondisi Gempa Perkuatan Geofoam 73
Gambar 5.23 Penurunan Tanah Dasar *Geofoam* 73
Gambar 5.24 Grafik Perbandingan Angka Aman Perkuatan Lereng 74

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Investigasi Lapangan
Lampiran 2 Katalog Geotekstil
Lampiran 3 ASTM D6817

DAFTAR NOTASI

USCS	= *Unified Soil Classification System*
AASHTO	= *American Association of State Highway and Transportation Officials*
SNI	= Standar Nasional Indonesia
BM	= Bina Marga
SPT	= Standard Penetration Test
N-SPT	= Nilai pukulan Standard Penetration Test (pukulan/30 cm)
BH	= Bore hole (titik bor)
MAT	= Muka air tanah (m)
PGA	= *Peak Ground Acceleration* (g)
EPS	= *Expanded Polystyrene*
IPM	= Indeks Pembangunan Manusia
ɣ	= Berat Volume Tanah (kN/m^3)
ɣunsat	= Berat Volume Tanah Tidak jenuh (kN/m^3)
ɣsat	= Berat Volume Tanah Jenuh (kN/m^3)
ɣw	= Berat Volume Air (kN/m^3)
Gs	= Berat Jenis Tanah
E	= Angka Pori
n	= Porositas (%)
S	= Derajat Kejenuhan (%)
w	= Kadar Air (%)
c	= Kohesi Tanah (kN/m^2)
c`	= Kohesi Efektif Tanah (kN/m^2)
cu	= Kohesi *Undrained* Tanah (kN/m^2)
φ	= Sudut Geser Dalam Tanah (°)
φ`	= Sudut Geser Dalam Efektif Tanah (°)
τ	= Kuat Geser Dalam (kN/m^2)
σ	= Tegangan Normal Pada Bidang Runtuh (kN/m^2)
σ`	= Tegangan Normal Efektif (kN/m^2)

u = Tekanan Air Pori (kN/m^2)

E = Modulus Elastisitas Tanah (kN/m^2)

Es = Modulus Elastisitas Tanah dari Korelasi N-SPT (kN/m^2)

v = *Poisson Ratio*

EA = Kekakuan Aksial Geosintetik (kN/m)

FK = angka aman

τf = kuat geser tanah rata – rata (kN/m^2)

τd = tegangan geser rata – rata sepanjang bidang runtuh (kN/m^2)

X_1, X_r = Gaya geser efektif (kN/m)

E_1, E_r = Gaya normal efektif (kN/m)

T_i = Resultan gaya geser efektif (kN/m)

N_i = Resultan gaya normal efektif (kN/m)

U_i, U_r = Tekanan air pori pada kedua sisi irisan (kN/m^2)

U_i = Tekanan air pori pada dasar irisan (kN/m^2)

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

W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN)

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

θ_i = sudut yang didefinisikan (°)

Ts-maks = gaya tarik maksimum yang dibutuhkan per satuan lebar perkuatan (kN/m)

M_D = momen pendorong (kN/m)

R = radius terhadap titik rotasi bidang gelincir (m)

FK_R = angka aman perkuatan yang ditargetkan

FK_U = angka aman perkuatan tanpa perkuatan

K = Koefisien gaya

LT = panjang geosintetik lapisan teratas (m)

LB = panjang geosintetik lapisan terbawah (m)

H’ = tinggi timbunan efektif (m)

Sv = spasi vertikal (m)

Tzona = kuat tarik yang dibutuhkan tiap zona (kN/m)

Hzona = ketinggian zona (m)

Tult	= kuat tarik ultimit geosintetik (kN/m)
Tall	= kuat tarik geosintetik yang diizinkan (kN/m)
RF_{CR}	= faktor reduksi rangkak
RF_{ID}	= faktor reduksi kerusakan saat instalasi
RF_{D}	= faktor reduksi ketahanan terhadap mikroorganisme.
Le	= panjang tertanam di belakang bidang runtuh (m)
Tmax	= kuat tarik di setiap lapis (kN/m)
FKpo	= faktor keamanan cabut
F*	= faktor tahanan cabut
α	= faktor koreksi skala
C	= keliling efektif perkuatan, untuk geogrid dan geotekstil adalah 2
σ'_v	= tegangan vertikal efektif antara tanah dengan geosintetik (kN/m^2)
L	= panjang perkuatan terbawah di tiap lapisan (m)
ϕmin	= sudut geser minimum dari tanah yang diperkuat atau tanah dasar (°)
β	= sudut kemiringan lereng (°)
γr	= berat isi tanah timbunan yang diperkuat (kN/m^3)
γb	= berat isi tanah timbunan yang ditahan (kN/m^3)
ϕb	= sudut geser tanah timbunan yang ditahan (°).
D_s	= tebal tanah lunak di bawah timbunan (m)

ABSTRAK

Kawasan *Learning Center* Kota Bandung dibangun pada lahan berbukit dengan konfigurasi galian dan timbunan, sehingga berpotensi mengalami kegagalan lereng. Wilayah Bandung tersusun atas tanah lempung berkohesi rendah yang sensitif terhadap perubahan kadar air, sementara lokasi penelitian berada relatif dekat dengan sumber gempa aktif. Berdasarkan SNI 8460:2017, lereng permanen disyaratkan memiliki angka aman minimum sebesar 1,5 pada kondisi statis dan 1,1 pada kondisi gempa. Penelitian ini bertujuan mengetahui stratigrafi dan parameter tanah, angka aman lereng eksisting, angka aman perkuatan menggunakan *geocell*, geotekstil dan *geofoam* serta penurunan lereng setelah dilakukan perkuatan.

Data tanah berupa data sekunder hasil N-SPT pada titik BH-02 dengan muka air tanah pada kedalaman 2,80 m. Parameter tanah diperoleh melalui korelasi empiris $c_u = 6N$ dan $E_s = 300(N + 6)$ mengacu pada Bowles (1996). Analisis dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu metode analitis Fellenius menggunakan 15 pias dan metode elemen hingga menggunakan PLAXIS 2D V20 dengan model Mohr-Coulomb. Kondisi gempa ditinjau secara pseudo-statis dengan koefisien gempa horizontal k_h sebesar 0,1385. Perkuatan yang dirancang berupa geocell dan geotekstil woven tipe LP 105 dengan kuat tarik izin 61,03 kN/m, keduanya menggunakan jarak vertikal antarlapis 0,4 m, 11 lapis tulangan, dan panjang tulangan 6,98 m hingga 8,21 m. *Geofoam* EPS 22 dengan berat volume 0,216 kN/m³ sebagai pengganti material timbunan.

Hasil analisis menunjukkan tiga lapisan tanah, yaitu clayey silt dengan N-SPT 6 pada kedalaman 0–7 m, clayey silt dengan N-SPT 30 pada kedalaman 7–10 m, dan silty sand dengan N-SPT 60 pada kedalaman 10–30 m. Lereng eksisting menghasilkan angka aman sebesar 1,010 dengan beban lalu lintas dan 1,200 menurut metode Fellenius, sehingga belum memenuhi syarat minimum 1,5, dan pada kondisi gempa angka aman turun hingga kurang dari 1. Setelah diperkuat, angka aman meningkat menjadi 1,816 pada geocell dan 1,814 pada geotekstil untuk kondisi statis, serta 1,415 dan 1,414 untuk kondisi gempa. Penurunan akibat beban lalu lintas sebesar 0,0049 m pada kondisi eksisting mengecil menjadi 0,00052 m pada geocell, sedangkan geotekstil menghasilkan 0,0049 m, sehingga keduanya memenuhi batas izin 20 mm. *Geofoam* menghasilkan angka aman tertinggi sebesar 2,365 dan 1,852, namun penurunannya sebesar 0,1105 m melampaui batas izin. Geocell dan geotekstil dinyatakan layak digunakan, dengan geocell memberikan pengendalian deformasi yang lebih baik.

Kata Kunci: *stabilitas lereng, geocell, geotekstil, geofoam, PLAXIS 2D, angka aman, penurunan*

ABSTRACT

The Learning Center area of Bandung City is developed on hilly terrain with cut and fill configurations, resulting in a potential slope failure. The Bandung region consists of low-cohesion clay soils that are sensitive to changes in water content, while the study location is situated relatively close to an active seismic source. According to SNI 8460:2017, permanent slopes are required to have a minimum safety factor of 1.5 under static conditions and 1.1 under seismic conditions. This study aims to determine the soil stratigraphy and parameters, the safety factor of the existing slope, the reinforcement using geocell, geotextile and geofoam, as well as the safety factor and settlement of the slope after reinforcement.

The soil data are secondary data from N-SPT results at borehole BH-02 with the groundwater table at a depth of 2.80 m. Soil parameters were obtained through the empirical correlations $c_u = 6N$ and $E_s = 300(N + 6)$ based on Bowles (1996). The analyses were conducted using two approaches, namely the analytical Fellenius method with 15 slices and the finite element method using PLAXIS 2D V20 with the Mohr-Coulomb model. Seismic conditions were evaluated using a pseudo-static approach with a horizontal seismic coefficient k_h of 0.1385. The reinforcements designed consist of geocell and woven geotextile type LP 105 with an allowable tensile strength of 61.03 kN/m, both applying a vertical spacing of 0.4 m, 11 reinforcement layers, and reinforcement lengths of 6.98 m to 8.21 m. EPS 22 geofoam with a unit weight of 0.216 kN/m³ was also evaluated as a replacement for embankment material.

The results indicate three soil layers, namely clayey silt with an N-SPT value of 6 at a depth of 0–7 m, clayey silt with an N-SPT value of 30 at a depth of 7–10 m, and silty sand with an N-SPT value of 60 at a depth of 10–30 m. The existing slope yielded a safety factor of 1.010 with traffic load and 1.200 using the Fellenius method, which does not satisfy the minimum requirement of 1.5, and under seismic conditions the safety factor decreased to less than 1. After reinforcement, the safety factor increased to 1.816 for geocell and 1.814 for geotextile under static conditions, and to 1.415 and 1.414 under seismic conditions. Settlement under traffic loading decreased from 0.0049 m in the existing condition to 0.00052 m with geocell, while geotextile yielded 0.0049 m, both satisfying the allowable limit of 20 mm. Geofoam study produced the highest safety factors of 2.365 and 1.852, but its settlement of 0.1105 m exceeds the allowable limit. Geocell and geotextile are therefore considered feasible, with geocell providing better deformation control.

Keyword: *slope stability, geocell, geotextile, geofoam, PLAXIS 2D, safety factor, settlement*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Bandung sebagai salah satu pendidikan dan pengembangan kawasan urban di Indonesia mengalami pertumbuhan infrastruktur, berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Bandung mengalami kemajuan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) sebesar 0,62% per tahun pada tahun 2020 ke 2024 dari 81,78% menjadi 83,75% (BPS Kota Bandung, 2024). Ketinggian 788 meter di atas permukaan laut dan karakteristik berbukit serta bergelombang menjadi faktor yang harus diperhatikan dalam aspek kestabilan lereng. Permasalahan stabilitas lereng di Bandung dipengaruhi oleh faktor tanah dan cuaca. Wilayah Bandung tersusun atas tanah lempung yang memiliki karakteristik kohesi rendah dan sensitif terhadap perubahan kadar air.

Metode konvensional untuk stabilisasi lereng seperti dinding penahan tanah dari pasangan batu atau beton cor, *sheet pile*, dan *soil nailing* telah banyak diterapkan, salah satu alternatif yang layak digunakan yaitu geosintetik dan *geofoam*. Geosintetik adalah material yang terbuat dari bahan polimer atau sintetik yang berfungsi untuk memperkuat tanah mengendalikan erosi dan perlindungan struktur lereng. Umumnya geosintetik memiliki berbagai macam jenis, akan tetapi pada penelitian ini geosintetik yang akan digunakan adalah geocell dan geotekstil.

Metode Fellenius (*Ordinary Slice Method*) dan metode analisis secara numerik menggunakan PLAXIS akan digunakan pada penelitian kali ini. Berdasarkan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, faktor keamanan (FK) minimum lereng permanen adalah 1,5 untuk kondisi normal dan 1,2 untuk kondisi sementara atau ekstrem, dimana pencapaian FK tersebut harus mempertimbangkan berbagai skenario pembebanan termasuk beban lalu lintas, variasi muka air tanah, dan kondisi material yang paling merugikan (Satriyo dkk., 2024).

Pada proyek di kawasan *Learning Center* Bandung akan dibangun di atas lereng yang memiliki galian dan timbunan. Lereng tersebut memiliki potensi kegagalan lereng sehingga diperlukan analisis desain perkuatan menggunakan geocell dan geotekstil. Melalui penelitian ini akan didapatkan nilai *safety factor* sebelum dan sesudah dilakukan perkuatan tanah menggunakan *geocell*, geotekstil dan *geofoam*. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain perkuatan lereng menggunakan geocell dan geotekstil.

1.2 Rumusan Masalah

Perancangan ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana stratigrafi dan parameter tanah berdasarkan data N-SPT di kawasan *Learning Center* Bandung?
2. Berapa stabilitas lereng eksisting di kawasan *Learning Center* Bandung?
3. Bagaimana konfigurasi perkuatan lereng di kawasan *Learning Center* Bandung menggunakan *geocell*?
4. Bagaimana konfigurasi perkuatan lereng di kawasan *Learning Center* Bandung menggunakan geotekstil?
5. Berapa angka aman lereng pada kawasan *Learning Center* Bandung setelah dilakukan perkuatan lereng dengan *Geofoam*?
6. Berapa angka penurunan pada kawasan Learning Center Bandung setelah dilakukan perkuatan lereng dengan Geocell, Geotekstil dan Geofoam?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Mengetahui kondisi tanah di kawasan *Learning Center* Bandung.
2. Mengetahui berapa stabilitas lereng eksisting di kawasan *Learning Center* Bandung.
3. Mengetahui konfigurasi pekuatan lereng di kawasan *Learning Center* Bandung menggunakan *geocell.*
4. Mengetahui konfigurasi pekuatan lereng di kawasan *Learning Center* Bandung menggunakan geotekstil.

5. Mengetahui angka aman lereng pada kawasan *Learning Center* Bandung setelah dilakukan perkuatan lereng dengan *Geofoam.*
6. Mengetahui angka penurunan pada kawasan *Learning Center* Bandung setelah dilakukan perkuatan lereng dengan *Geocell*, Geotekstil dan *Geofoam.*

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Bagi Penulis

   Penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengalaman bagi penulis dalam analisis studi kasus permasalahan geoteknik.

2. Bagi Masyarakat

   Masyarakat di kawasan *Learning Center* Bandung dan yang berada di sekitarnya dapat merasa lebih aman dari longsoran lereng dengan adanya *geocell* dan geotekstil sebagai perkuatan lerengnya.

1.5 Batasan Penelitian

Penetapan batasan penelitian bertujuan untuk membuat pembahasan lebih jelas serta terfokus. Batasan berikut digunakan dalam proses analisis perkuatan lereng.

1. Data tanah merupakan data sekunder dari kawasan *Learning Center* kota Bandung.
2. Analisis kondisi eksisting lereng dan perencanaan memperhitungkan beban gempa.
3. Anggaran biaya tidak diperhitungkan dalam perencanaan *Geocell* dan Geotekstil.
4. Muka air tanah diasumsikan berada pada elevasi -2,80 meter di bawah permukaan tanah.
5. Data tanah didapatkan dari stratigrafi N-SPT bore hole 2.
6. Koefisien gempa diambil dari situs Aplikasi LINI Direktorat Jendral Bina Marga.
7. Tanah timbunan didasarkan oleh asumsi sebagai tanah berpasir.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkuatan Lereng dengan *Geocell* dan Geotekstil

Pramulandani & Hamdhan (2021), melakukan penelitian untuk menganalisis pengaruh geocell terhadap kestabilan lereng dengan menerapkan variasi jarak vertikal dan panjang geocell. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi geocell dengan jarak vertikal 1 meter dan panjang geocell 6 meter memberikan peningkatan faktor keamanan paling optimal, dengan rata-rata peningkatan sebesar 7% terhadap angka aman lereng tanpa perkuatan.

Fitriansyah dkk (2024), menyelidiki variasi jumlah lapis geocell pada tanah lempung di Kabupaten Kapuas. Penelitian ini mengevaluasi lima konfigurasi berbeda dengan jumlah lapis geocell berkisar dari 1 hingga 7 lapis. Analisis perbandingan antara kedua metode membuktikan bahwa penggunaan 3 lapis geocell secara horizontal merupakan konfigurasi paling efektif. Hasil penenlitian menjelaskan bahwa penambahan jumlah lapis geocell secara bertahap meningkatkan angka aman lereng hingga mencapai titik optimum.

Jin (2025) melakukan pengujian pada kondisi beban seismik dan analisis numerik untuk mendapatkan evaluasi kinerja sesimik dinding penahan geocell di bawah pengaruh percepatan tanah lateral. Pengujian ini menggunakan model di laboratorium untuk mendapatkan validasi hasil analisis numerik yang dilakukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa geocell dapat mengurangi perpindahan lateral struktur hingga 35%, memberikan indikasi bahwa material ini efektif dalam meredam respons dinamis dan meningkatkan stabilitas struktur terhadap beban gempa.

Rumbyarso & Pribadi (2023) melakukan analisis terhadap perkuatan geotekstil pada lereng bertingkat menggunakan metode elemen hingga. Penelitian menggunakan variasi panjang geotekstil 2,10 m; 4,1 m; dan 6,1 m pada lereng dengan ketinggian 10 meter di Bandung Barat. Hasil analisis memberikan pada panjang geotekstil 2,10 meter memberikan faktor keamanan di bawah 1,25 yaitu

masuk ke kategori tidak aman. Sementara panjang 4,1 dan 6,1 meter menghasilkan faktor keamanan di atas 1,25 yang dimana sudah aman menurut SNI 8460:2017.

Maulana dkk. (2024) melakukan peninjauan kebutuhan geotekstil pada timbunan tinggi di atas tanah lunak menggunakan program GEO5. Penelitian ini menggunakan variasi timbunan 10, 15, dan 25 meter di atas lapisan tanah lunak dengan kedalaman 15 meter. dari analisis yang dilakukan memberikan hasil korelasi positif antar peningkatan tinggi timbunan dan jumlah geotekstil yang dibutuhkan. Kuat tarik geotekstil sebesar 50 kN/m digunakan pada setiap variasi, yang memberikan tanda bahwa penentuan kuat tarik merupakan parameter dalam tahap desain awal.

Anggraini dkk. (2024) menggunakan PLAXIS 2D versi 2023 untuk mempelajari penggunaan geofoam EPS 22 sebagai material timbunan ringan pada subgrade tanah lunak. Geofoam dimodelkan sebagai material yang lentur dan tidak porous secara linear. Hasil analisis pada beban 20 kN menunjukkan penurunan sebesar 26,687 mm tanpa geofoam; ini mengecil menjadi 5,989 mm pada ketebalan 20 cm dan 2,944 mm pada ketebalan 30 cm, memenuhi kriteria penurunan 20 mm menurut Panduan Geoteknik 4 tahun 2002. Penulis menggunakan penelitian tersebut sebagai acuan untuk menentukan parameter dan model material geofoam. Namun, kali ini, penulis meneliti stabilitas lereng timbunan pada kondisi statis dan beban gempa daripada penurunan subgrade jalan.

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Perbandingan antara penelitian yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini dengan penelitian-penelitian yang telah disebutkan diatas dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu							**Penelitian Yang dilakukan**
Nama	Pramulandani & Hamdhan (2021)	Fitriansyah dkk. (2024)	Jin (2025)	Rumbyarso & Pribadi (2023)	Maulana dkk. (2024)	Anggraini dkk. (2024)	Ferdiansyah (2025)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geocell Menggunakan Metode Elemen Hingga (PLAXIS 2D)	Analisis Stabilitas Lereng Pada Tanah Lempung Lunak Kabupaten Kapuas Dengan Perkuatan Geocell Menggunakan Program PLAXIS Dan Metode Fellenius	*Large-Scale Shaking Table Test and Numerical Analysis of Seismic Performance of Geocell Retaining Wall*	Penggunaan Program Plaxis Dalam Studi Penelitian Perkuatan Geotekstil pada Kestabilan lereng Buatan	Tinjauan Kebutuhan Geotekstil pada Timbunan Tinggi di atas Tanah Lunak	Pemodelan Numerik Penggunaan *Geofoam* Sebagai Timbunan Pada Subgrade	Analisis Perkuatan Lereng Dengan Geocell dan Geotekstil Pada Kawasan Learning Center Kota Bandung

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu							**Penelitian Yang dilakukan**
Nama	Pramulandani & Hamdhan (2021)	Fitriansyah dkk. (2024)	Jin (2025)	Rumbyarso & Pribadi (2023)	Maulana dkk. (2024)	Anggraini dkk. (2024)	Ferdiansyah (2025)
Tujuan Penelitian	Menganalisis pengaruh geocell terhadap kestabilan lereng dan mengetahui karakteristik pemasangan geocell yang dapat meningkatkan faktor keamanan	Mengetahui variasi jumlah lapis geocell yang paling efektif pada tanah lempung lunak	Mengevaluasi kinerja seismik dinding penahan *geocell* menggunakan *shaking table* dan analisis numerik	Memahami nilai SF lereng dengan perkuatan geotekstil pada lereng bertingkat dengan variasi panjang geotekstil	Meninjau kebutuhan geotekstil pada timbunan tinggi dengan memvariasikan tinggi timbunan di atas tanah lunak	Menganalisis penurunan eksisting dan setelah digunakan *Geofoam* dengan ketebalan 20 cm dan 30 cm	Mengetahui kondisi tanah pada kawasan *Learning Center* serta mengetahui konfigurasi perkuatan *geocell* dan geotekstil

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu							**Penelitian Yang dilakukan**
Nama	Pramulandani & Hamdhan (2021)	Fitriansyah dkk. (2024)	Jin (2025)	Rumbyarso & Pribadi (2023)	Maulana dkk. (2024)	Anggraini dkk. (2024)	Ferdiansyah (2025)
Metode Penelitian	Metode Elemen Hingga (PLAXIS 2D)	Metode Elemen Hingga (PLAXIS) dan Metode Fellenius	*Horizontal Slice Method* (HSM) dan *Strength Reduction Method* (SRM)	FEM (PLAXIS 2D V.8.6)	Program GEO5 (LEM)	FEM (PLAXIS 2D)	Limit Equilibrium Method dan Finite Element Method (PLAXIS)
Hasil Penelitian	Jarak vertikal geocell paling efektif 1 m dengan panjang *geocell* 6 m. semakin rapat pemasangan *geocell*	Geocell 3 lapis secara horizontal dinilai paling efektif. Semakin banyak jumlah lapisan *geocell* meningkatkan angka aman	*Geocell* mengurangi perpindahan lateral hingga 35% dan meningkatkan kapasistas dinding terhadap	Panjang geotekstil 2,10m SF kurang dari1,25. Panjang 4,1m dan 6,1m SF 1,25. Panjang penjangkaran optimal 4,1-6,1m	Korelasi linear positif antara tinggi timbunan dan kebutuhan geotekstil; semakin tinggi timbunan semakin banyak	Penurunan turun dari 26,687 mm menjadi 5,989 mm (tebal 20cm) dan 2,944 mm (tebal 30cm); seluruhnya memenuhi	pada kondisi statis, perkuatan *geocell* menghasilkan angka aman 1,823 dan geotekstil 1,822, keduanya telah melampaui syarat 1,5

Lanjutan Tabel 2.3 Perbandingan Penelitian Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu							**Penelitian Yang dilakukan**
Nama	Pramulandani & Hamdhan (2021)	Fitriansyah dkk. (2024)	Jin (2025)	Rumbyarso & Pribadi (2023)	Maulana dkk. (2024)	Anggraini dkk. (2024)	Ferdiansyah (2025)
Hasil Penelitian	meningkatkan SF rata-rata 7%	Lereng	Beban dinamis	untuk lereng 10m.	lapisan geotekstil diperlukan. Kuat tarik Tult 50 kN/m optimal konsisten untuk semua variasi.	Kriteria < 20 mm	Pada kondisi gempa dengan Kh = 0,1385, angka aman yang diperoleh 1,383 untuk geocell dan 1,377 untuk geotekstil, keduanya memenuhi syarat minimum 1,1.

BAB III
LANDASAN TEORI

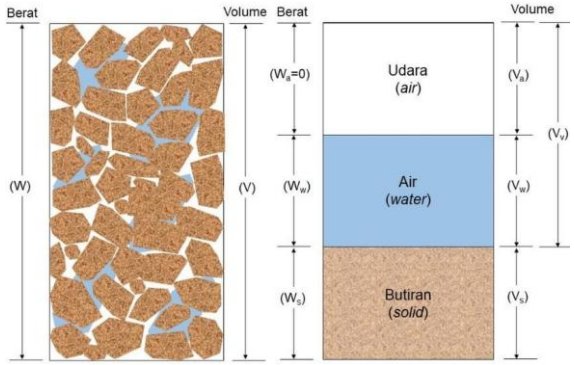
3.1 Tanah

Tanah adalah kumpulan mineral dengan bentuk endapan lepas di atas batuan dasar dan umumnya berasal dari pelapukan batuan organik ataupun vulkanik (Hardiyatmo, 2003). Sifat fisik dan mineral penyusun yang beragam berasal dari proses pelapukan dan jenis batuan. Pelapukan batuan dapat terjadi secara mekanik, kimiawi dan organik. Berikut ini merupakan penjelasan dari parameter sifat fisik tanah.

3.1.1 Parameter Sifat Tanah

1. Berat Volume

   Berat volume tanah dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara nilai berat tanah terhadap volume totalnya. Konsep ini terbagi ke dalam beberapa kategori berdasarkan kondisi kelembapan tanah, didalamnya termasuk berat volume dalam keadaan basah, jenuh, kering, dan padat. Secara alami, tanah disusun oleh 3 tahapan atau komponen utama, yaitu komponen solid atau partikel padat, komponen cair berupa air, dan komponen gas berupa udara. Komponen teserbut diilustrasikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

a. Berat Voluem Basah (γb)

Berat volume basah (γb) merupakan perbandingan berat tanah terhadap volume ruang dalam kondisi alami, yang mencakup semua komponen penyusun tanah yaitu butiran mineral padat, fase air, dan rongga udara. Persamaan dari berat volume basah (γb) dinyatakan pada persamaan 3.1.

$$\gamma_{\mathrm{b}} = \frac{W}{V}$$

$$\gamma_{\mathrm{b}} = \frac{Gs\ \gamma\mathrm{w}(1+\mathrm{w})}{1+e} \tag{3.1}$$

b. Berat Volume Jenuh (γ_{sat})

Berat volume jenuh merupakan perbandingan berat tanah dalam keadaan jenuh dengan volume total. Keadaan tanah jenuh dapat didefinisikan dengan kondisi pori tanah yang terisi penuh oleh air. Persamaan berat volume jenuh (γ_{sat}) dinyatakan pada persamaan 3.2 berikut.

$$\gamma_{\mathrm{sat}} = \frac{\gamma\mathrm{w}\ (Gs+e)}{1+e} \tag{3.2}$$

c. Berat Volume Kering (γ_{d})

Berat volume kering didefinisikan sebagai perbandingan berat butiran (*Ws*) dalam keadaan kering dengan volume total (*V*) . Persamaan berat volume kering 3.3 adalah sebagai berikut.

$$\gamma_{\mathrm{d}} = \frac{Ws}{V}$$

$$\gamma_{\mathrm{d}} = \frac{Gs\ \gamma\mathrm{w}}{1+e} \tag{3.3}$$

d. Berat Volume Padat (γ_{s})

Berat volume padat adalah perbandingan antara butiran padat tanah (*Ws*) dengan volume butiran padat tanah (*Vs*). Persamaan berat volume kering

dinyatakan pada persamaan 3.4 berikut.

$$\gamma_s = \frac{Ws}{Vs} \quad (3.4)$$

dengan:

γ_b = Berat volume basah (kN/m^3)

γ_{sat} = Berat volume jenuh (kN/m^3)

γ_d = Berat volume kering (kN/m^3)

γ_s = Berat volume pada (kN/m^3)

W = Berat total tanah meliputi komponen padat, air, dan udara (kN)

W_s = Berat tanah padat (kN)

V = Volume tanah total (m^3)

V_s = Volume tanah padat (m^3)

2. Permeabilitas (k)

Permeabilitas diartikan sebagai kemampuan tanah dalam meloloskan air dari area bertekanan tinggi ke area bertekanan rendah melalui pori tanah (Das dan Sobhan 2018). Rembesan yang terjadi memberi dampak signifikan bagi keberhasilan pelaksanaan dan struktur kosntruksi. Nilai koefisien permeabilitas dapat diperkirakan berdasarkan klasifikasi tipe tanah yang tersedia pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Nilai Koefisien Permeabilitas

No.	Jenis Tanah	*k* (mm/det)
1	Kerikil	$> 10^{-1}$
2	Kerikil halus/pasir	$10^{-1} – 10^{-3}$
3	Pasir halus, pasir lunak, lanau tidak padat	$10^{-3} – 10^{-5}$
4	Lanau padat, lanau berlempung, lanau tidak murni	$10^{-5} – 10^{-7}$

Lanjutan Tabel 3.1 Nilai Koefisien Permeabilitas

No.	Jenis Tanah	k (mm/det)
5	Lempung	$<10^{-7}$

(sumber: Santosa dkk., 1998)

3. Modulus Elastis (E_s)

Modulus elastisitas didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan dan regangan tanah, yang merepresentasikan karakteristik elastisitas dan tingkat kekakuannya. Estimasi nilai modulus elastisitas berdasarkan tipe tanah dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Nilai Modulus Elastisitas

Jenis Tanah	E_s (MPa)
1. Lempung	
- Sangat Lunak	
- Lunak	5 – 25
- Sedang	15 – 50
- Kasar	50 – 100
- Pasiran	25 – 250
2. Lapisan glasial	
- Tidak padat	10 – 150
- Padat	150 – 720
- Sangat padat	500 – 1440
3. Pasir	
- Lanau	5 – 20
- Tidak padat	10 – 25
- Padat	50 – 81
4. Pasir dan kerikil	
- Tidak padat	50 – 150
- Padat	100 – 200

Lanjutan Tabel 3.2 Nilai Modulus Elastisitas

Jenis Tanah	E_s (MPa)
5. *Loess*	15 – 60
6. Material lepas	150 – 5000
7. Lanau	2 – 20

(Sumber: Bowles, 1996)

4. Poisson Ratio

Poisson ratio adalah nilai perbandingan antara deformasi aksial dengan deformasi lateral yang terjadi pada tanah. Nilai poisson ratio dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Nilai Poisson Ratio

Jenis Tanah	Poisson Ratio (υ)
Pasir lepas	0,2 – 0,4
Pasir sedang	0,25 – 0,4
Pasir padat	0,3 – 0,45
Pasir kelanauan	0,2 – 0,4
Lempung lunak	0,15 – 0,25
Lempung sedang	0,2 – 0,5

(Sumber: Das & Sobhan, 2018)

5. Sudut geser dalam

Sudut geser dalam adalah sudut yang terbentuk dari hubungan tegangan normal dan tegangan geser yang berada dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam adalah sudut yang tercipta dari rekahan pada material ketika menerima tegangan atau gaya yang melebihi batas tegangan gesernya. Makin tinggin nilai sudut geser dalam suatu material, makin besar pula kapasistasnya dalam menaham beban tegangan luar (Haris dkk. 2018). Tabel 3.4 adalah nilai sudut geser efektif berdasarkan jensi tanah dan tingkat kepadatannya.

Tabel 3.4 Nilai Sudut Geser Dalam Efektif

Jenis Tanah	ϕ' (°)
Pasir : Butiran bulat	
- Lepas	27 – 30
- Sedang	30 – 35
- Padat	35 – 38
Pasir : Butiran bersudut	
- Lepas	30 – 35
- Sedang	35 – 40
- Padat	40 – 45
Kerikil sedikit berpasir	34 – 48
Lanau	26 – 35

(Sumber: Das, 2016)

6. Kohesi

Kohesi adalah satuan berat per luas yang menyatakan gaya tarik menarik antar partikel tanah (Haris dkk. 2018). Parameter ini memiliki peran penting dalam menentukan ketahanan tanah terhadap pembebanan tegangan luar. Nilai kohesi dapat ditentukan melalui pengujian laboratorium berupa uji tekan bebas dan uji triaxial. Kohesi efektif (c') terbentuk pada kondisi tegangan efektif yang bekerja.

3.1.2 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah merupakan gaya perlawanan yang dilakukan oleh butiran tanah terhadap desakan atau tarikan (Darwis, 2018). Tegangan geser timbul dari pembebanan pada tanah yang menghasilkan tegangan normal pada bidang runtuh sebagai mekanisme penahanan untuk mempertahankan stabilitas. Persamaan untuk mengetahui kuat geser tanah dinyatakan pada persamaan 3.5 berikut.

$$\tau = c + \sigma \, tg \, \varphi \qquad (3.5)$$

dengan:

τ = Kuat geser dalam (kN/m^2)

c = Kohesi (kN/m^2)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

φ = Sudut geser dalam (º)

3.2 Pengujian Lapangan

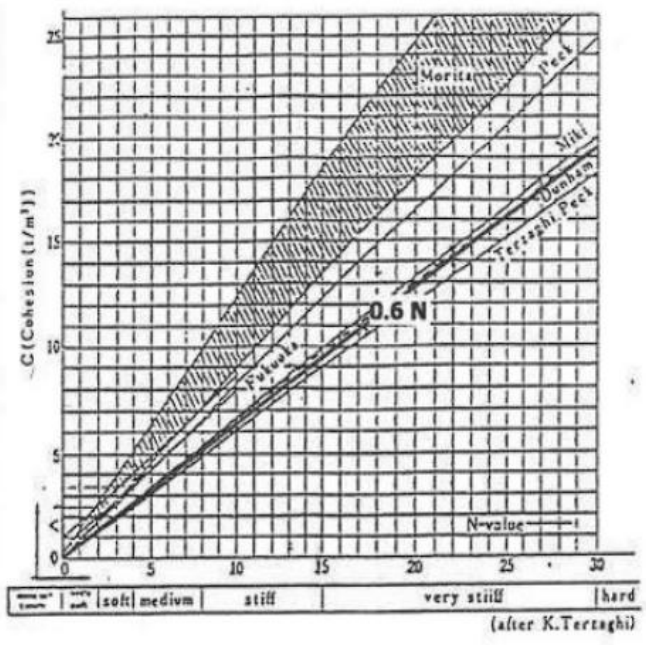
Pengujian lapangan merupakan sebuah kegiatan pengambilan sampel tanah di lapangan yang berfungsi untuk mengetahui klasifikasi material tanah (Look, 2007). Pengujian lapangan yang paling umum dilakukan adalah *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT).

3.2.1 Standard Penetration Test (SPT)

Menurut Bowles (1996), Standard Penetration Test (SPT) adalah metode pengujian penetrasi tanah yang memiliki efisiensi ekonomis tertinggi dan tingkat popularitas paling luas dalam memperoleh data karakteristik lapisan tanah di bawah permukaan. Prinsipi pengujian SPT adalah mermukul tabung bor setiap 15 cm kedalaman dan mencatat jumlah tumbukan yang diberikan. Menurut Warman (2019) parameter fisik tanah dapat diketahui melalui korelasi N-SPT sebagai berikut.

1. Korelasi N-SPT dengan kohesi *undrained* (Cu) pada tanah lempung

   Korelasi antara nilai N-SPT dan kohesi undrained (cu) pada tanah lempung dapat ditentukan menggunakan pendekatan grafik yang dikembangkan oleh Terzaghi dan Peck (1967, dalam Look, 2007), sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Grafik Korelasi N-SPT dan Cu pada Tanah kohesif

(Sumber: Terzaghi & Peck, 1967)

Berdasarkan Gambar 3.2, hubungan antara nilai N-SPT dan cu dinyatakan dalam bentuk perkalian nilai N-SPT dengan suatu faktor pengali. Hubungan tersebut selanjutnya dirumuskan secara matematis pada Persamaan 3.6.

$$Cu = 6\ N \tag{3.6}$$

dengan:

Cu = *Undrained Shear Strength* (kN/m^2)

N = Nilai N-SPT

2. Korelasi N-SPT dengan Modulus Elastis (Es) pada tanah kohesif

Tan dkk. (1991) memberikan pendekatan estimasi modulus elastis tanah kohesif melalui Persamaan 3.7. Persamaan ini berlaku untuk jenis tanah lanau, lempung kelanauan, dan pasir kelanauan.

$$Es = 300\ (N + 6) \tag{3.7}$$

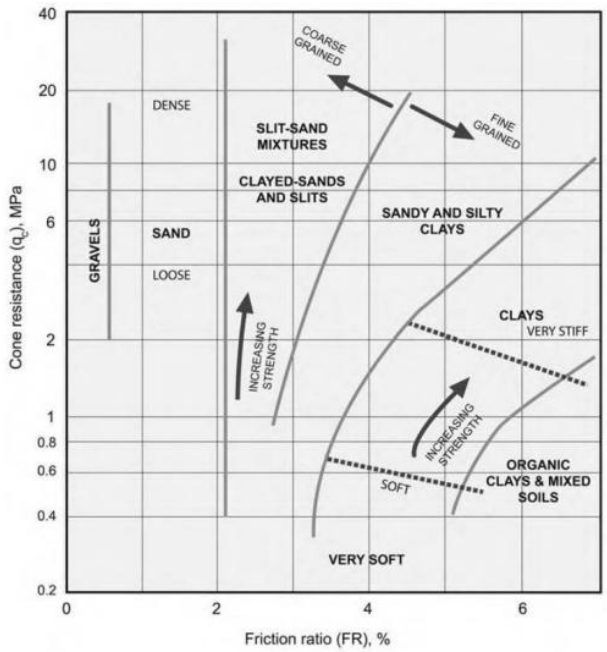
dengan:

Es = Modulus elastisitas (kN/m^2)

N = Nilai N-SPT

3.2.2 Cone Penetration Test (CPT)

Pengujian sondir atau CPT merupakan pengujian yang pengaplikasiannya menggunakan kerucut konus untuk menentukan daya dukung tanah dengan cara menghitung nilai perlawanan penetrasi konus (qc) dan perlawanan lekat (fs) (Tini dkk., 2017). Prosedur pengujian melibatkan penetrasi ujung konus ke dalam tanah dengan menggunakan perangkat dongkrak mekanin yang beroprasi pada kecepatan penetrasi yang diatur dan dikontrol. Schmertmann (1978) menghubungan antara nilai qc dengan fr atau fs pada pengujian konus mekanik guna menentukan klasifikasi tanah.



Gambar 3.3 Grafik CPT Terhadap *Properties* Tanah

(sumber: Schmertmann, 1978)

3.3 Stabilitas Lereng

Lereng diartikan sebagai suatu bidang tanah yang memiliki kemiringan membentuk sudut tertentu terhadap garis horizontal, dapat terbentuk melalui proses alami ataupun buatan manusia (Das & Sobhan, 2018). Secara garis besar, lereng dapat dikategorikan menjadi dua klasifikasi utama, yakni lereng alami dan buatan. Lereng alami merupakan hasil dari proses pembentukan geologis tanpa campur tangan dari manusia, umumnya terletak di daerah topografi bergelombang seperti perbukitan dan pegunungan. Sebaliknya, lereng buatan adalah lereng yang terbentuk melalui kegiatan konstruksi manusia untuk berbagai keperluan infrastruktur. Besaran angka atau *Safety Factor* merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keamanan lereng, dengan persamaan yang diberikan oleh Das dan Sobhan (2018) pada persamaan 3.7.

$$\mathrm{FK} = \frac{\tau \mathrm{f}}{\tau \mathrm{d}} \tag{3.8}$$

dengan:

FK = angka aman

τf = kuat geser tanah rata – rata

τd = tegangan geser rata – rata sepanjang bidang runtuh

3.3.1 Faktor Penyebab Longsor

Hardiyatmo (2006) menjelaskan terkait beberapa faktor yang dapat menyebabkan kelongsoran suatu lereng. Berikut merupakan beberapa faktor penyebab kelongsoran pada lereng

1. Penambahan beban pada lereng. Peningkatran beban pada lereng dapat disebabkan oleh konstruksi struktur tambahan, infiltrasi air ke dalam pori tanah, penggenangan air di permukaan lereng, serta beban dinamis dari vegetasi yang terayun oleh angin dan faktor-faktor lainnya.
2. Penggalian yang menambah kemiringan lereng.

3. Penggalian tanah pada kaki lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara tiba - tiba (*Rapid Drawdown*) pada sungai, bendung dan lain – lain
5. Kenaikan tanah lateral oleh air yang mengisi retakan sehingga mendorong tanah ke arah lateral
6. Pengurangan nilai kuat geser tanah yang membentuk lereng yang dipengaruhi oleh peningkatan kandungan kelembaban
7. Gempa bumi.

3.3.2 Angka Aman Terhadap Beban Statis

Beban statis adalah beban yang pergerakannya tidak tentu atau bahkan tidak bergerak sama sekali. Berikut adalah nilai angka aman atau faktor keamanan lereng yang diberikan oleh BSN (2017).

Tabel 3.5 Nilai Faktor Keamanan (FK) Untuk Lereng Tanah

Biaya dan Konsekuensi dari Kegagalan Lereng	**Tingkat Ketidakpastian Kondisi Statis**	
	Rendah[a]	**Tinggi[b]**
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih
[a]Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahammi, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan. [b]Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat komples, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.		

(sumber: BSN, 2017)

3.3.3 Angka Aman Terhadap Beban Gempa

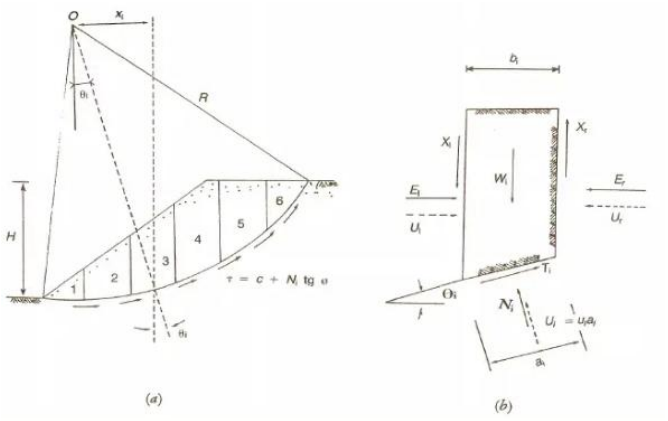
Menurut standar BSN (2017) bahwa dalam evaluasi stabilitas lereng menggunakan metode pseudo-statik, nilai faktor keamanan minimal terhadap beban gempa harus mencapai 1,1 (Fs>1,1), dengan besaran koefisien seismik (kh) yang ditentukan berdasarkan nilai percepatan maksimum yang terjadi di permukaan tanah.

Parameter gempa rencana yang diterapkan untuk evaluasi stabilitas lereng galian dan timbunan ditetapkan berdasarkan kriteria probabilistik, dengan tingkat kemungkinan terlampaui sebesar 2 persen selama umur rencana 50 tahun. Hal ini setara dengan periode pengulangan gempa 2.500 tahun dan didasarkan pada peta hazard gempa yang terdapat dalam Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 12/SE/M/2010 (BSN, 2017).

3.3.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Fellenius

Menurut Hardiyatmo (2003) penggunaan Metode Fellenius cenderung menghasilkan faktor keamanan dengan nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan metode perhitungan yang lebih cermat dan detail. Tingkat kesalahan yang mungkin muncul dapat berkisar 5 hingga 40%, dan besarnya kesalahan ini sangat tergantung pada nilai faktor keamanan yang dihasilkan, sudut pusat lingkaran bidang luncur yang dipilih, dan intensitas tekanan air dalam pori dalam tanah.

Terlepas dari keterbatasannya, metode ini banyak diaplikasikan dalam praktek geoteknik karena keuntungan utamanya adalah dalam hal kemudahan perhitungan dan hasil analisisnya memberikan nilai kemanan yang memadai. Dalam implementasinya, badan tanah yang berpotensi longsor dipecah menjadi beberapa potongan vertikal, dan gaya-gaya yang bereaksi pada tiap potongan tersebut diperlihatkan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Gaya yang Bekerja pada Irisan Vertikal

(Sumber: Hardiyatmo, 2018)

Dengan:

X_1, X_r = Gaya geser efektif

E_1, E_r = Gaya normal efektif

T_i = Resultan gaya geser efektif

N_i = Resultan gaya normal efektif

U_i, U_r = Tekanan air pori pada kedua sisi irisan

U_i = Tekanan air pori pada dasar irisan

Metode analisis ini mengidentifikasi semua gaya-gaya yang timbul pada kedua sisi dari potongan tanah, dengan kondisi bahwa resultan dari gaya-gaya tersebut dalam arah normal terhadap permukaan bidang keruntuhan adalah nol. Pernyataan faktor keamanan untuk metode ini dinyatakan dalam Persamaan 3.9 di bawah ini.

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

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Ca1 + (Wi \cos \theta i - ui\ ai) tg\varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} Wi \sin \theta i} \qquad (3.9)$$

dengan:

FK = Faktor keamanan

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

φ = Sudut gesek dalam tanah (°)

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

W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN)

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

θ_i = sudut yang didefinisikan dalam Gambar 3.4 (°)

3.4 Geosintetik

Geosintetik merupakan sebuah produk yang memiliki bentuk seperti lembaran, terbuat dari bahan polimer lentur yang digunakan dengan tanah, batuan, atau material geoteknik lainnya sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari suatu pekerjaan, struktur atau sistem (ASTM D4439). Bahan – bahan dasar geosintetik terdiri dari elemen – elemen karbon , hidrogen dan terkadang nitrogen serta chloride (PVC). Bahan ini berasal dari pengolahan batubara dan minyak (Fathurrozi, 2011).

Berdasarkan penggunaannya, geosintetik mempunyai spesifikasi yang tahan akan rayap dan sinar ultraviolet. Kinerja geosintetik dipengaruhi oleh berbagai macam faktor yang harus dipertimbangkan dalam perancangan agar pemilihan tipe dilakukan secara tepat. Menurut Fathurrozi (2011) terdapat banyak tipe produk seperti tipe polimer, tipe fiber dan orak mode seperti kain tenun. Jenis geosintetik yang akan dipakai pada penelitian ini adalah Geotekstil dan Geocell.

Pada umumnya geosintetik dapat dikelompokkan berdasarkan ini:

1. Tipe polimer (definisi deskriptif, misalnya polimer dengan kepadatan tinggi, polimer dengan kepadatan rendah),
2. Proses pembuatan (misalnya dianyam, tidak dianyam dan dilubangi dengan jarum, tidak dianyam dan dipanaskan, diperlebar dengan cara ditarik, dijahit, diperkeras dan diperhalus),
3. Tipe geoseintetik primer (misalnya geostekstil, geogrid, geomembran),
4. Tipe elemen (misal tenunan, filamen, untaian, rangka dan rangka yang dilapis), dan
5. Massa per satuan luas (untuk geotekstil, geogrid, geosintetik clat liner, dan geosintetik penahan erosi) dan atau ketebalan (untuk geomembran).

Menurut Murdoko dkk. (2023) geosintetis memiliki beberapa fungsi yang

dapat memenuhi kebutuhan proyek teknik sipil. Beberapa pilihan geosintetis untuk pekerjaan struktur sipil berkaitan dengan fungsi kinerja geosintetis. Berikut adalah beberapa fungsi geosintetis yang digunakan dalam pekerjaan struktur sipil.

1. Perkuatan: penggunaan perilaku tegangan dan regangan material geosintetis untuk memperkuat ataupun memperbaiki sifat mekanis tanah atau material kosntruksi lainnya yang saling berhubungan.
2. Stabilisasi: memperbaiki sifat mekanis material bebutir lepas termasuk satu atau lebih lapisan geosintetis yang mengalami deformasi yang diakibatkan pembebanan dengan cara mengurangi pergerakan material tanah.
3. Pengendali erosi permukaan: penggunaan material geosintetis sebagai pencegah dan membatasi pergerakan tanah atau partikel lain pada permukaan lain seperti lereng.
4. Filtrasi: material ini mencegah pergerakan tanah atau partikel lain yang disebabkan oleh gaya – gaya hidrodinamik yang tidak terkontrol, namun tetap memfasilitasi permeabilitas fluida baik ke arah dalam maupun menembus struktur material geosintetis itu sendiri.
5. Drainase: menampung dan mengalirkan curah hujan, air tanah dan/atau fluida lainnya ke dalam bahan geosintetis.
6. Barrier: penggunaan geosintetis untuk mencegah perpindahan aliran air ataupun zat cair lainnya.
7. Perlindungan: sebagai pencegahan atau pembatasan kerusakan lokal pada elemen atau material tertentu lainnya.
8. Pelepas tekanan: memperlambat pembesaran retakan dengan menyerap tegangan yang timbul dari kerusakan perkerasan.

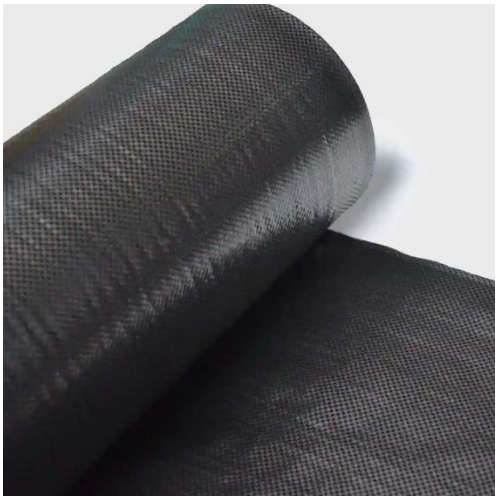
3.4.1 Geotekstil

Geotekstil adalah material lembaran yang, terbuat dari bahan tekstil polimer, dengan karakteristik yang memungkinkan untuk air lewat dengan mudah. Material ini dapat berbentuk nir-anyam (*non woven*), rajutan atau anyaman (*woven*) yang digunakan dalam kontak langsung dengan batu/tanah dan/atau material geoteknik lainnya (Hardiyatmo, 2008).

Material geotekstil merupakan material *thermoplastic* dan juga dapat meloloskan air dengan mudah. Umumnya material geotekstil buatan pabrik dibuat dari bahan – bahan sintetis seperti *polypropylene, polyester, polyethylene, nylon, polyvinylchloride* dan campuran dari bahan-bahan tersebut (Martini dan Al-anshori, 2014).

Geotekstil dibagi berdasarkan metode yang digunakan untuk menggabungkan filamen atau pita menjadi struktur lembaran sebagai berikut:

1. *Woven*, material geosintetis jenis ini dibentuk melalui proses penenunan tradisional dengan struktur mesh, dimana dimensi dan pola distribusi dari jaringan tersebut ditentukan oleh tingkat kerapatan tenunan yang digunakan. Geotekstil anyaman memberikan tegangan tarik dan modulus yang tinggi, resisten terhadap abrasi tetapi memiliki dimensi stabilitas yang kurang baik (Tanasa dkk. 2022) dalam (Murdoko dkk. 2023).



Gambar 3.5 Geotekstil *Woven*

2. *Non Woven*, merupakan geotekstil yang mirip dengan tikar dan dibuat dengan berbagai formulasi dan tata ruang, membrikan regangan dan permeabilitas yang tinggi sehingga dengan fitur ini memiliki kemampuan tahan terhadap kerusakan akibat pemanjangan setempat meskipun kuat tariknya rendah (Tanasa dkk, 2022) dalam (Murdoko dkk. 2023).



Gambar 3.6 Geotekstil *Non Woven*

3.4.2 Geocell

Geocell adalah material yang dalam konteks pelaksanaan kosntruksi sipil, berfungsi sebagai sarana perlindungan terhadap fenomena erosi, penguatan kondisi tanah, pengamanan saluran drainase, dan konsturksi dinding penopang tanah (DPT). *Cellular confinement system* atau geocell yang umumnya diaplikasikan pada saat ini terbentuk dalam bentuk lembaran material geosintetis yang tersusun dari *high density polyethylene* (HDPE) yang membentuk struktur *honeycomb* atau sarang lebah yang diisi dengan pasir, tanah, batu, ataupun beton. Komponen – komponen penyusun dan material pengisi geocell selanjutnya diikat dengan teknik penyambungan *ultrasonic* guna mencapai stabilitas struktur yang optimal. Berdasarkan karakteristik permukaan, geocell terbagi menjadi dua kategori yaitu tipe dengan permukaan mulus (*smooth*) dan tipe dengan permukaan bergerigi (*textured*) (Wijaya dkk. 2023).

Seiring dengan perkembangan teknologi konstruksi, geocell kini juga diaplikasikan untuk meminimalkan perubahan bentuk (deformasi) pada lereng dan struktur dinding penopang tanah. Menurut Mehdipour dkk. (2017) terdapat penurunan signifikan pada deformasi lateral setelah dilakukan pemodelan analitik menggunakan teknik *strength reduction method* (SRM). Fungsi geocell dalam memperkuat suatu lereng dapat diibaratkan seperti elemen struktural plat atau balok yang mampu mempertahankan kestabilan lereng dan mengurangi perubahan bentuk yang terjadi pada permukaan lereng. Keberhasilan penerapan geocell bergantung

pada beberapa faktor, antara lain adalah posisi penempatan geocell pada lereng, kuantitas lapisan geocell yang diinstalasikan, dimensi dan sifat – sifat teknis geocell, serta kondisi geoteknis lereng tempat geocell akan dipasang (Wijaya dkk. 2023).

Fungsi utama geocell adalah menyediakan perkuatan dan pelindungan terhadap tanah agar tidak mengalami longsoran akibat beban yang bekerja dari bagian atas permukaan lereng. Sistem kerja geocell didasarkan pada prinsip penahanan gaya tarik tanah melalui aktivasi resistensi gesekan yang terjadi pada bidang kontak antara geocell dan material tanah. Material yang sesuai untuk pengisian geocell mencakup tanah, pasir, kerikil, beton ready mix, atau material lainnya yang tersedia. Selain fungsi struktural, geocell juga dapat memberikan kontribusi pada aspek visual dan program penghijauan dengan mengisikan tanah ke dalam geocell dan menambahkan vegetasi berupa rumput atau tanaman lainnya. Struktur berlapis dari geocell menghasilkan kekakuan lateral yang signifikan, dan dalam penerapan pada skala yang luas, sistem ini mampu memperkuat struktur tanah melalui gaya tarik internal yang dihasilkan pada setiap elemen jaringan geocell (Wijaya dkk. 2023).



Gambar 3.7 *Geocell*

3.5 Geofoam

Dalam pekerjaan geoteknik, geofoam terdiri dari blok polimer berupa sel tertutup yang dimanfaatkan sebagai material timbunan ringan dalam pekerjaan geoteknik. ASTM International (2020) mendefinisikan geofoam sebagai material polimer berbentuk blok atau lembaran dengan struktur sel kaku yang digunakan dalam aplikasi geoteknik. Berbeda dengan geocell dan geotekstil yang berfungsi untuk meningkatkan kuat tarik pada massa tanah, geofoam bekerja dengan menggantikan sebagian material timbunan, mengurangi beban kerja pada tanah dasar.

Geofoam biasanya dibagi menjadi dua jenis yaitu *expanded polystyrene* (EPS) dan *extruded polystyrene* (XPS). Jenis EPS paling umum untuk digunakan dalam konstruksi timbunan karena lebih mudah didapat, lebih murah, dan memiliki berbagai rentang kepadatan sesuai dengan persyaratan perancangan (Horvath, 1994). ASTM mengatur mutu EPS *geofoam*, membaginya berdasarkan kepadatan minimum dan tahanan tekan pada berbagai tingkat regangan, seperti pada tabel

Tabel 3.6 Klasifikasi EPS *Geofoam* menurut ASTM D6817

Tipe	Kepadatan min. (kg/m^3)	Regangan 1% (kPa)	Regangan 5% (kPa)	Regangan 10% (kPa)
EPS12	11,2	15	135	40
EPS15	14,4	25	55	70
EPS19	18,4	40	90	110
EPS22	21,6	50	115	135
EPS29	28,8	75	170	200
EPS39	38,4	103	241	276
EPS46	45,7	128	300	345

(Sumber: ASTM International, 2019; Foam-Control Geofoam,2019)

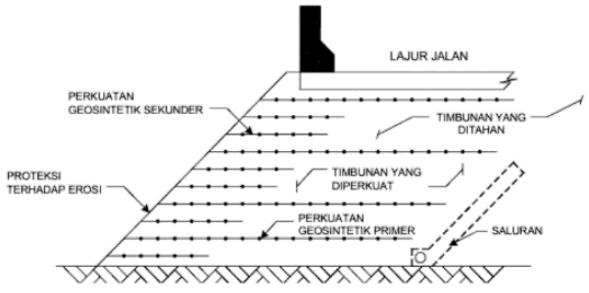
Dalam penamaan tipe, kepadatan nominal material dalam kilogram per meter kubik ditunjukkan. Ketika jumlah tipe lebih besar, kepadatan dan tahanan tekannya

meningkat, tetapi manfaat untuk mengurangi beban menjadi lebih kecil. Untuk perancangan ini, EPS 22 digunakan untuk mengimbangi tahanan tekan yang memadai dan berat volume yang tetap sangat rendah.

3.6 Reinforced Soil Slope (RSS)

Lereng yang mengalami perkuatan merupakan teknik penguatan mekanis yang diterapkan pada permukaan lereng dengan sudut kemiringan muka kurang dari 70° relatif terhadap bidang horizontal (BM, 2009). Implementasi perkuatan pada struktur lereng memberikan kemungkinan untuk meningkatkan besaran sudut kemiringan sambil tetap mempertahankan kondisi keamanan. Berdasarkan literatur BM (2009), metode perkuatan lereng dengan pendekatan mekanis ini menghadirkan beberapa manfaat ekonomis dan teknis, antara lain: pengurangan penggunaan lahan, minimalisasi volume material timbunan, penghematan biaya untuk elemen pembungkus permukaan (facing), serta memfasilitasi penggunaan material timbunan dengan kualitas yang lebih rendah. Pemanfaatan material geosintetik sebagai elemen perkuatan mampu mengurangi fenomena penurunan pada struktur timbunan yang terletak di atas tanah dengan daya dukung rendah (tanah lunak).

Bentuk lereng yang diberikan perkuatan dengan geosintetik adalah lereng timbunan miring dengan tumpukan 1 atau lebih lapis geosintetik yang dipadatkan setiap hamparan setinggi 10 – 20 cm seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.8 Lereng yang Diperkuat dengan Geosintetik

(sumber: Bina Marga, 2009)

Desain dan perancangan lereng yang mengalami perkuatan memerlukan

pemenuhan terhadap tiga aspek stabilitas, yaitu stabilitas internal, stabilitas eksternal, dan stabilitas gabungan. Bina marga (2009) memberikan beberapa kriteria kinerja atau persyaratan stabilitas yang harus dipenuhi oleh lereng yang telah diperkuat dengan menggunakan material geosintetik sebagai berikut.

3.5.1 Stabilitas internal

Stabilitas internal adalah tahanan cabut yang dimiliki lembar geosintetik terhadap tanah yang diperkuat oleh geosintetik. *Safety factor* atau angka aman minimum tahanan cabut disyaratkan sebesar 1,5 untuk tanah berbutir dan 2 untuk tanah kohesif. Angka ini berguna sebagai acuan perencanaan kebutuhan perkuatan geosintetik. Tahapan perhitungan kebutuhan geosintetik disebutkan pada rincian berikut.

1. Cek gaya tarik geosintetik yang dibutuhkan

   Kebutuhan gaya tarik pada perkuatan yang menggunakan geosintetik dihitung dengan Persamaan 3.10.

$$TS - max = (FK_R - FK_U)\frac{MD}{R} \tag{3.10}$$

   Dengan:

   Ts-maks = gaya tarik maksimum yang dibutuhkan per satuan lebar perkuatan (kN/m)

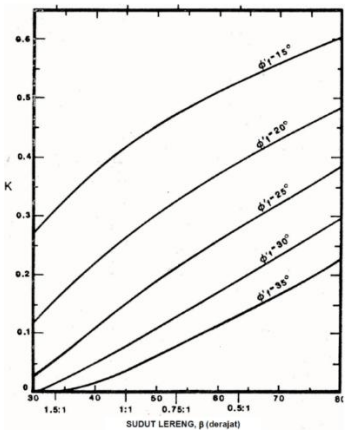
   M_D = momen pendorong (kN/m)

   R = radius terhadap titik rotasi bidang gelincir (m)

   FK_R = angka aman perkuatan yang ditargetkan

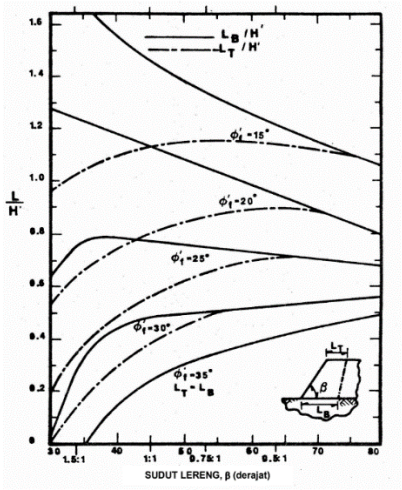
   FK_U = angka aman perkuatan tanpa perkuatan

   Selain menggunakan metode perhitungan melalui Persamaan 3.10, dapat juga menggunakan kurva perencanaan untuk menentukan besarnya perkuatan (Schmertmann dkk. dalam Elias dkk., 2001). Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.



Gambar 3.9 Penentuan Koefisien Gaya, K

(Sumber: Schmertmann dkk dalam Elias dkk, 2001)



Gambar 3.10 Penentuan Perbandingan Panjang Perkuatan, L/H'

(Sumber: Schmertmann dkk dalam Elias dkk, 2001)

Dengan :

K = Koefisien gaya

$\varphi'f = \tan^{-1}\left(\frac{\tan \varphi' f}{FKr}\right)$

LT = panjang geosintetik lapisan teratas (m)

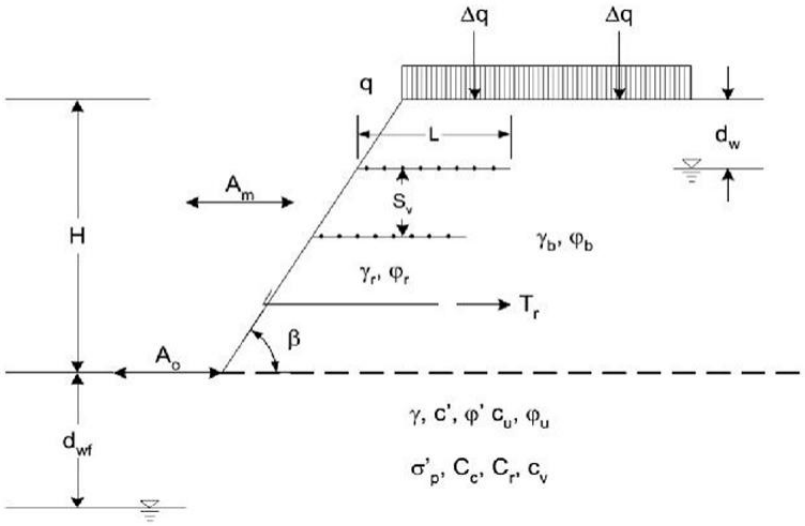
LB = panjang geosintetik lapisan terbawah (m)

H' = tinggi timbunan efektif (m)

a. Distribusi Perkuatan

Untuk lereng yang memiliki ketinggian melebihi 6 m, sistem perkuatan

harus dialokasikan pada dua atau tiga zona dengan interval ketinggian yang sama. Sebaliknya, untuk lereng dengan ketinggian kurang dari 6 m distribusi perkuatan cukup dilakukan pada satu zona saja.



Gambar 3.11 Simbol dalam Perencanaan Perkuatan Lereng

b. Spasi vertikal (Sv)

Penentuan jarak vertikal antar lapisan perkuatan dilakukan berdasarkan besarnya gaya tarik maksimum yang dialami oleh setiap elemen tulangan (Ts). Nilai gaya tarik tersebut kemudian harus memenuhi kapasitas kuat tarik dari material geosintetik yang digunakan. Persamaan 3.11 digunakan untuk menentukan Ts, sedangkan Persamaan 3.12 digunakan untuk menghitung kuat tarik izin.

$$TS = \frac{T_{zona}\ Sv}{H_{zona}} \quad (3.11)$$

$$Tall = \frac{Tult}{RF_{CR} \times RF_{ID} \times RF_{D}} \quad (3.12)$$

Dengan:

Ts = Tmax = kuat tarik di setiap lapis (kN/m)

Sv = spasi vertikal (m)

Tzona = kuat tarik yang dibutuhkan tiap zona (kN/m)

Hzona = ketinggian zona (m)

Tult = kuat tarik ultimit geosintetik (kN/m)

Tall = kuat tarik geosintetik yang diizinkan (kN/m)

RF_{CR} = faktor reduksi rangkak

RF_{ID} = faktor reduksi kerusakan saat instalasi

RF_{D} = faktor reduksi ketahanan terhadap mikroorganisme.

c. Panjang tulangan geosintetik

Dimensi panjang tulangan geosintetik terdiri dari dua komponen utama, yaitu panjang tertanam (Le) dan panjang yang terletak sepanjang zona keruntuhan. Standar teknis yang ditetapkan mewajibkan bahwa panjang Le minimum harus mencapai nilai 1 m (BM, 2009). Persamaan 3.13 digunakan untuk menghitung nilai panjang tertanam tersebut.

$$Le = \frac{T_{max} FK_{po}}{F^{*}.\alpha.\sigma_{v}^{'}.C} \quad (3.13)$$

Dengan:

Le = panjang tertanam di belakang bidang runtuh (m)

Tmax = kuat tarik di setiap lapis (kN/m)

FKpo = faktor keamanan cabut

F* = faktor tahanan cabut

α = faktor koreksi skala

C = keliling efektif perkuatan, untuk geogrid dan geotekstil adalah 2

σ'_v = tegangan vertikal efektif antara tanah dengan geosintetik (kN/m^2)

Tabel 3.6 menunjukkan nilai F* dan α menurut Elias dkk. (2001).

Tabel 3.7 Nilai F* dan α

Tipe perkuatan	Nilai F*	Nilai α
Geogrid	2/3 tanϕ	0,8
Geotekstil	2/3 tanϕ	0,6

(sumber: Elias dkk, 2001)

Nilai panjang yang telah diperoleh dari perhitungan sebelumnya perlu diverifikasi terhadap tahanan cabut (pull-out resistance) menggunakan formulasi yang ditunjukkan pada Persamaan 3.14 berikut.

$$Fkcabut = \frac{Le \,.\, 2F^* \,.\alpha \,.\, \sigma v}{Tmax} \tag{3.14}$$

Dengan:

Fkcabut = angka aman terhadap cabut (minimal 1,5)

Le = panjang penjangkaran geosintetik (m)

F* = faktor tahanan cabut

α = faktor koreksi skala

Tmax = kuat tarik di setiap lapis (kN/m)

σ'_v = tegangan vertikal efektif antara tanah dengan geosintetik (kN/m^2)

3.5.2 Stabilitas eksternal dan penurunan

1. Tahanan gelincir

Pengecekan stabilitas internal pada sistem perkuatan memerlukan verifikasi bahwa massa tanah di setiap tingkat mampu mencegah mekanisme gelincir sepanjang elemen perkuatan. Kriteria yang harus dipenuhi adalah faktor keamanan gelincir tidak boleh kurang dari 1,3. Persamaan 3.15 digunakan untuk mengevaluasi stabilitas terhadap kondisi gelincir tersebut.

$$(W + Pa \sin\phi_b) \tan\phi_{min} = FK\ Pa \cos\phi_b \tag{3.15}$$

Dengan:

$$W = ½ L^2 \gamma r (\tan\beta) \text{ , untuk } L \leq H \quad (3.16)$$

$$W = [LH - \frac{H^2}{2 \tan\beta}] \gamma r \text{ , untuk } L > H \quad (3.17)$$

$$Pa = ½ \gamma b H^2 Ka \quad (3.18)$$

Dengan penjelasan:

L = panjang perkuatan terbawah di tiap lapisan (m)

H = tinggi lereng (m)

FK = faktor keamanan terhadap gelincir (≥ 1,3)

Pa = tekanan tanah aktif (kN)

Ka = koefisien tekanan tanah aktif

ϕmin = sudut geser minimum dari tanah yang diperkuat atau tanah dasar

β = sudut kemiringan lereng (°)

γr = berat isi tanah timbunan yang diperkuat (kN/m^3)

γb = berat isi tanah timbunan yang ditahan (kN/m^3)

ϕb = sudut geser tanah timbunan yang ditahan (°).

a. Keruntuhan global

   Untuk mengevaluasi perilaku keruntuhan pada tingkat global, dapat diaplikasikan pendekatan metode elemen hingga dengan dukungan perangkat lunak PLAXIS yang telah teruji. Dalam hal persyaratan keselamatan, faktor keamanan minimum yang harus dipenuhi untuk memastikan stabilitas global adalah 1,3 atau lebih tinggi (≥ 1,3).

b. Keruntuhan daya dukung lokal (peremasan)

   Evaluasi faktor keamanan terhadap fenomena peremasan harus dilakukan ketika tebal deposit tanah lunak (soft soil layer) di bawah timbunan bernilai kurang dari panjang lereng yang ada. Kriteria keselamatan minimum yang dipersyaratkan adalah faktor keamanan sebesar 1,3 atau lebih. Metode perhitungan faktor keamanan ini didasarkan pada Persamaan 3.16 yang disajikan berikut.

$$FK_{peremasan} = \frac{2\ C_u}{\gamma\ D_s\ tan\beta} + \frac{4{,}14\ C_u}{H\gamma} \geq 1{,}3 \quad (3.19)$$

Dengan:

cu = kohesi tak terdrainase (kN/m^2)

γ = berat isi tanah timbunan (kN/m^3)

D_s = tebal tanah lunak di bawah timbunan (m)

β = sudut kemiringan lereng (°)

H = tinggi timbunan (m)

c. Penurunan

Nilai penurunan tanah diperoleh melalui proses analisis stabilitas global dengan memanfaatkan perangkat lunak PLAXIS sebagai platform simulasi. Output yang menjadi fokus pengamatan adalah nilai total displacement, yang didefinisikan sebagai pergeseran komposit massa tanah dalam dua arah koordinat—direksional horizontal (sumbu x) dan direksional vertikal (sumbu y)—yang diinduksi oleh gaya beban yang tersuperposisi pada struktur tanah.

3.7 PLAXIS

PLAXIS adalah suatu aplikasi perangkat lunak yang didasarkan pada implementasi teknik analisis elemen hingga untuk solusi numerik dalam bidang geoteknik. Proses pengembangan perangkat lunak ini dimulai pada tahun 1987 di Delft University of Technology (Universitas Teknik Delft) berdasarkan inisiatif dari divisi pemerintah Belanda yang mengurus pekerjaan-pekerjaan teknik sipil dan konservasi sumber daya air. Program PLAXIS dimanfaatkan untuk mengevaluasi kondisi stabilitas global pada lereng. Analisis stabilitas global dipilih untuk memperoleh nilai faktor keamanan lereng secara keseluruhan, mengingat program PLAXIS memiliki keterbatasan dalam menampilkan nilai faktor keamanan guling dan geser secara individual (terpisah) (Prasetyo dkk. 2017) .

Pemodelan yang digunakan yaitu Mohr-Coulomb. Model Mohr-Coulomb adalah model elastis-plastis yang terdiri dari 7 parameter yaitu *Young Modulus (E)*, *Poisson's Ratio* (v), Sudut Geser (φ), Kohesi (c), γsat, γunsat dan kx,y (Sompie dkk.

2018). Model Mohr-Coulomb dapat diperyimbangkan sebagai pendekatan yang sesuai untuk tahap awal analisis permasalahan geoteknik, mengingat sifatnya yang sederhana, kecepatan proses komputasi, dan fleksibilitas dalam menangani situasi dengan ketersediaan data tanah yang terbatas. Pencapaian nilai-nilai titik kritis dari simulasi Mohr-Coulomb menunjukkan kesesuaian yang signifikan dengan nilai titik kritis kondisi tanah asli di sepanjang permukaan bidang kelongsoran. Pemodelan Mohr-Coulomb lebih sederhana karena hanya melibatkan nilai *material properties* dari batuan itu sendiri (Siswanda dan Riswandi, 2024) . Oleh karena itu pemodelan Mohr-Coulomb sangat cocok untuk menganalisa stabilitas lereng.

Penerapan analisis elemen hingga dalam pemodelan stabilitas lereng memberikan beberapa keuntungan teknis yang signifikan dibandingkan dengan pendekatan konvensional. Merujuk pada Griffiths dan Lane (1999), poin-poin utama yang menjadi keunggulan metode ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak diperlukan asumsi awal terhadap bentuk atau lokasi permukaan bidang gelincir, karena geometri keruntuhan akan terbentuk secara otomatis selama proses analisis.
2. Dalam pendekatan elemen hingga, konsep irisan tidak diaplikasikan, sehingga menghilangkan kebutuhan akan asumsi mengenai distribusi gaya geser pada permukaan bidang gelincir. Sistem tetap dalam kondisi keseimbangan hingga mencapai titik keruntuhan (failure).
3. Ketersediaan informasi kompresibilitas tanah memungkinkan analisis elemen hingga untuk menghasilkan keluaran (output) yang komprehensif mengenai pola deformasi dan perpindahan yang terjadi dalam kondisi pembebanan statis.

3.8 Beban Jalan

Lereng yang pada bagian atasnya difungsikan sebagai akses jalan menerima beban tambahan berupa beban lalu lintas, sehingga beban tersebut harus diperhitungkan dalam analisis stabilitas. Merujuk pada SNI 8460:2017, besaran beban jalan yang digunakan dalam perancangan disajikan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Beban Jalan

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

(Sumber: SNI 8460:2017)

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Perancangan perkuatan lereng dirancang sebagai upaya penambahan perkuatan tanah pada lereng. Perancangan ini dilakukan dengan menganalisis kestabilan lereng pada dua jenis perkuatan lereng, yaitu *geocell* dan geotekstil. Analisis stabilitas akan dilakukan dengan 2 metode, yaitu metode elemen hingga (FEM) dengan perangkat PLAXIS 2D untuk analisis stabilitas global serta pengecekan penurunan dan metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) dengan pendekatan Fellenius (*Ordinary Method of Slices*) sebagai metode pembanding untuk analisis stabilitas global. Perancangan kedua perkuatan menggunakan acuan yang berlaku, yaitu SNI 8460 tahun 2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik dan peraturan BM 2009 tentang Perencanaa dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik. Hasil yang akan diperoleh dari penelitian adalah perbandingan angka aman dari lereng yang diperkuat oleh *geocell* dan geotekstil. Angka aman harus memenuhi syarat minimal angka aman di setiap tinjauan stabilitas yang dianalisis. Analisis pada perancangan adalah kondisi paling dekat dengan lokasi pengeboran dan lokasi lereng, yaitu elevasi muka air tanah pada elevasi -2,80m.

4.2 Lokasi Penelitian

Objek penelitian ini merupakan infrastruktur lereng timbunan yang membutuhkan perkuatan di proyek Kawasan Learning Center BTN Dago milik PT Brantas Abipraya yang terletak di Jalan Bukit Pakar Timur, Desa Ciburial, Kecamatan Cimenyan, Kabupaten Bandung. Secara topografi, wilayah ini terletak pada wilayah perbukitan dan didominasi oleh jenis tanah lempung serta lanau, yang dimana tanah lempung dan lanau memiliki karateristik rentan terhadap pelunakan dan kehilangan kekuatan geser ketika mengalami kejenuhan akibat air hujan. Lokasi penelitian secara rinci dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut ini.

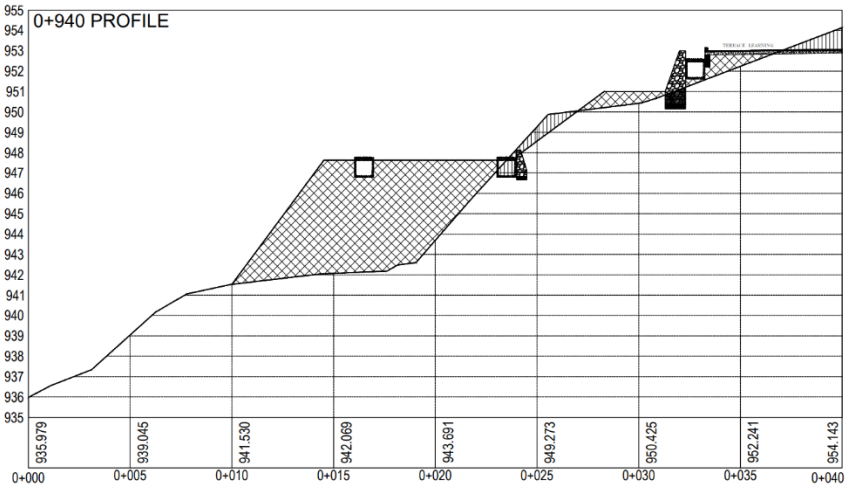


Gambar 4.1 Peta Wilayah Tampak Atas Lokasi Penelitian

(Sumber: Google Earth 2023)

4.3 Stratigrafi dan Lapisan Tanah

Dari penyelidikan tanah diperoleh parameter tanah dan gambar struktur potongan timbunan lereng yang dapat dilihat pada gambar 4.2 sebagai berikut.

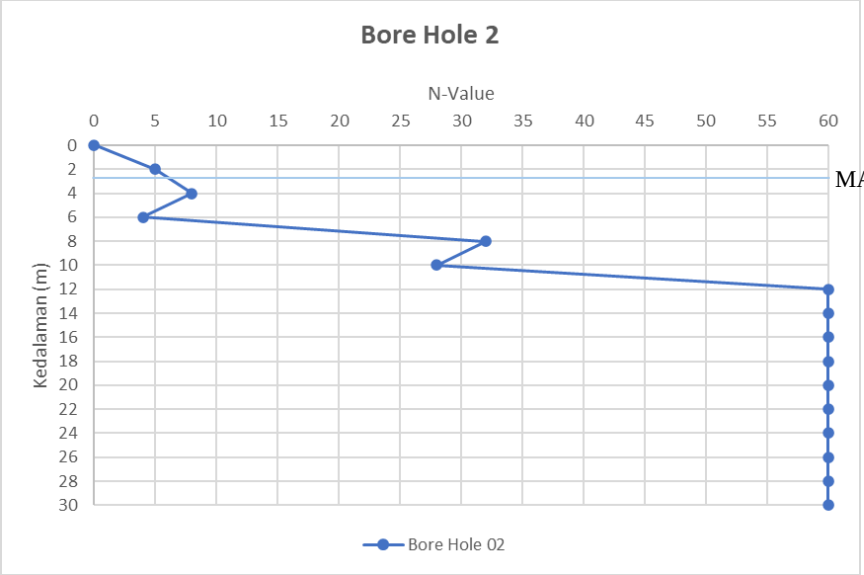


Gambar 4.2 Kondisi Lereng di Sta. 0+940

(Sumber: PT Brantas Abipraya, 2025)

Pada lokasi proyek Kawasan *Learning Center* Bandung didapatkan parameter

tanah sebagai berikut.



Gambar 4.3 Stratigrafi Bore Hole 02



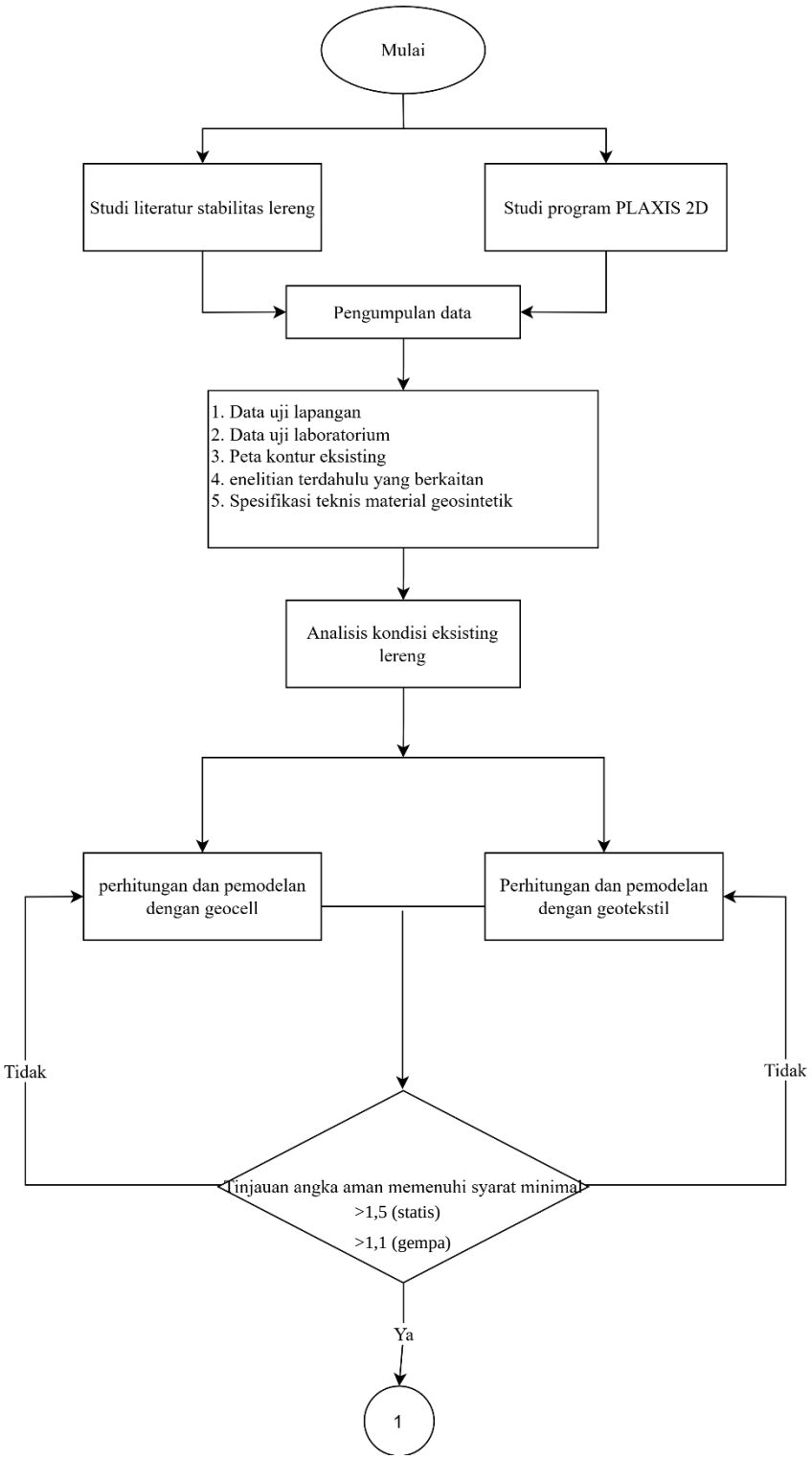
Gambar 4.4 Titik lokasi Bore Hole 02

(Sumber: Google Earth 2023)

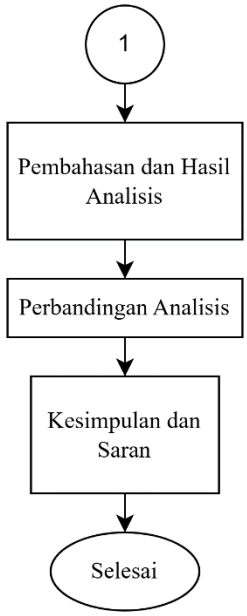
4.4 Alur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur mengenai stabilitas lereng dan studi program PLAXIS 2D. Kemudian dilakukan pengumpulan data sekunder, yang

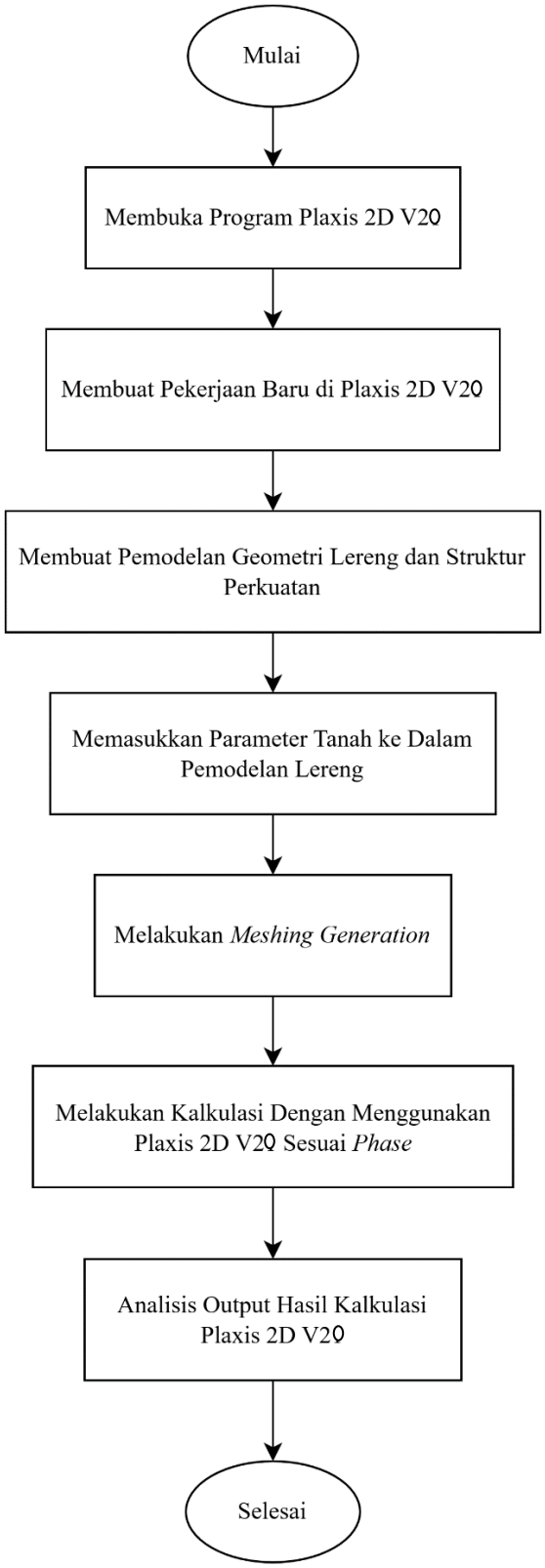
mencakup data uji lapangan, laboratorium, peta kontur eksisting, peta zona gempa dan penelitian terdahulu. Berdasarkan data yang telah diperoleh, dilakukan analisis terhadap kondisi awal lereng menggunakan metode fellenius dan program PLAXIS 2D V20. Nilai faktor keamanan (*safety factor*) yang didapat dari analisis kemudian dievaluasi berdasarkan ketentuan SNI 8460:2017, baik untuk stabilitas internal maupun stabilitas global. Apabila nilai faktor keamanan belum memenuhi standar ketentuan yang sudah ditetapkan, dilakukan simulasi ulang dengan menambahkan perkuatan geocell dan geotekstil. Analisis akan terus diulang menggunakan 2 metode tersebut hingga memperoleh nilai faktor keamanan yang sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan. Hasil analisis kedua alternatif perkuatan dibandingkan dan mengambil kesimpulan



Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.4 Bagan Alir Analisis PLAXIS 2D V20

4.5 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data sekunder. Data sekunder ini berisikan data tanah dan peta kontur eksisting yang didapatkan dari Laporan Hasil Tanah Proyek Kawasan Learning Center BTN Dago, Jalan Bukit Pakar Timur, Desa Ciburial, Kecamatan Cimenyan, Kabupaten Bandung serta data lainnya yang berkaitan. Berikut data tanah yang digunakan dalam analisis.

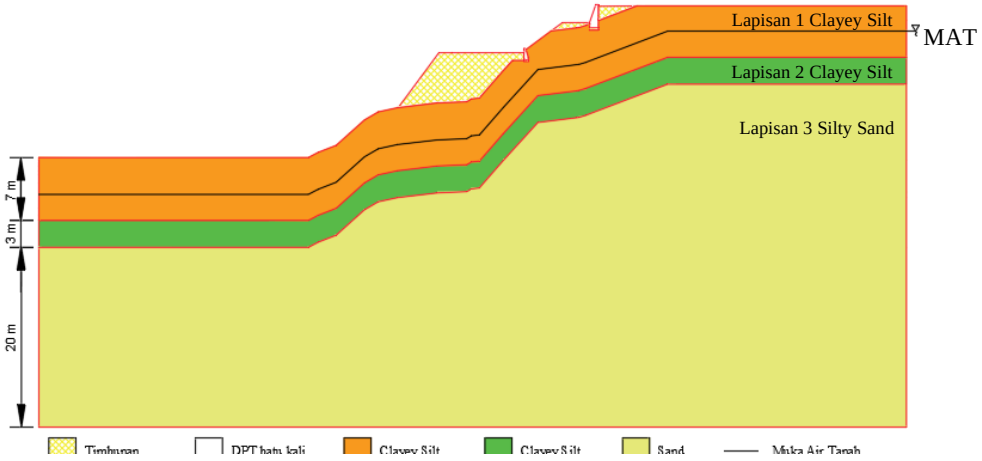
1. Hasil Pengujian SPT (*Standard Penetration Test*).
2. Uji laboratorium sampel tanah termasuk sifat fisik dan mekanis tanah
3. *Shop drawing* infrastruktur lereng timbunan di kawasan Learning Center BTN Dago, Kabupaten Bandung.

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Stratigrafi dan Parameter Tanah

Susunan lapisan tanah pada suatu potongan tinjauan digambarkan melalui stratigrafi tanah, yang memuat informasi jenis material pada setiap kedalaman. Penentuan batas antarlapisan diperoleh dengan menggabungkan hasil pengujian di lapangan berupa *Standard Penetration Test* (SPT) dan hasil pengujian laboratorium terhadap sampel tanah, sehingga profil tanah pada lokasi tinjauan dapat ditetapkan. Profil inilah yang selanjutnya menjadi dasar dalam membangun geometri lapisan tanah pada pemodelan lereng menggunakan PLAXIS 2D.

Geometri potongan lereng yang dianalisis mengacu pada *as-built drawing* yang diperoleh dari PT Brantas Abipraya. Dokumen tersebut digunakan untuk menetapkan dimensi lereng eksisting, meliputi tinggi, kemiringan, dan batas antarlapisan material, sehingga geometri model yang dibuat sesuai dengan kondisi di lapangan. Geometri inilah yang selanjutnya menjadi dasar dalam pemodelan lereng, baik pada kondisi eksisting maupun pada kondisi setelah diberi perkuatan *geocell* dan geotekstil. Potongan lereng beserta notasi material yang digunakan dalam pemodelan ditampilkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Potongan Lereng dan Notasi Material

5.1.1 Parameter Tanah

Parameter tanah ditetapkan untuk setiap lapisan sesuai jenis materialnya, dengan mengacu pada hasil penyelidikan tanah pada titik BH-02. Selain ketiga lapisan tanah asli tersebut, pada potongan lereng yang ditinjau juga terdapat material timbunan. Dua parameter di antaranya diperoleh melalui pendekatan korelasi terhadap nilai N-SPT, yaitu kohesi (c′) dan modulus elastisitas (E′). Nilai c′ dihitung menggunakan Persamaan 3.6, sedangkan nilai E′ dihitung menggunakan Persamaan 3.7. Sementara itu, nilai sudut geser dalam (φ′) ditetapkan berdasarkan tabel korelasi sesuai jenis tanahnya. Contoh penerapan kedua persamaan tersebut pada Lapisan 1 diuraikan sebagai berikut.

1. Kedalaman 0 – 7 m
   a. Nilai c′

      c′ = 6 x N

      = 6 x 6

      = 36 kN/m^2

   b. Nilai Es

      Es = 300 (N + 6)

      = 300 (6 + 6)

      = 3600 kN/m^2

Tabel 5.1 menunjukkan profil tanah titik BH-02 dengan parameter yang telah ditetapkan melalui pendekatan korelasi.

Tabel 5.1 Parameter Tanah titik BH-02

Kedalaman (m)	**Data Lapangan**	**Jenis Tanah**	**N-SPT**	**γ_{unsat} (kN/m3)**	**γ_{sat} (kN/m3)**	**Es (kN/m^2)**	***Direct shear test***	
							c′ (kN/m2)	**φ (°)**
-	Tanah Timbunan	Timbunan pilihan	-	15,64	15,88	2100	8,73	26
0 – 7	BH – 02	*Clayey Silt*	6	16,36	16,49	3600	36	27
7 – 10	BH – 02	Clayey Silt	30	15,04	15,57	10800	180	27

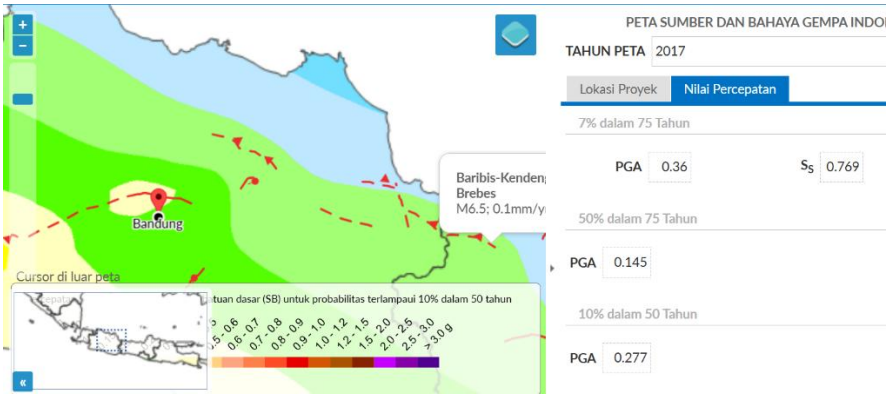
Lanjutan Tabel 5.1 Parameter Tanah titik BH-02

Kedalaman (m)	Data Lapangan	Jenis Tanah	N-SPT	γ_{unsat} (kN/m3)	γ_{sat} (kN/m3)	Es (kN/m^2)	*Direct shear test*	
							c′ (kN/m2)	φ (°)
10 – 30	BH – 02	Sand	60	20,8	20,97	19800	360	**42**

Perilaku tanah pada pemodelan PLAXIS 2D didekati menggunakan model konstitutif *Mohr-Coulomb*. Penentuan tipe drainase disesuaikan dengan jenis material pada setiap lapisan, yaitu tipe *drained* untuk lapisan pasir, sedangkan tipe *undrained A* diterapkan pada lapisan tanah berbutir halus dan material timbunan.

5.1.2 Data Beban Gempa

Beban gempa diperhitungkan karena lokasi penelitian berada di Kota Bandung, Jawa Barat, yang tergolong rawan gempa dan dekat dengan Sesar Lembang. Gempa dimodelkan pada PLAXIS 2D V20 dengan pendekatan pseudo-statis, yaitu gaya gempa bekerja tetap pada massa tanah selama analisis. Nilai percepatan puncak wilayah Kota Bandung sebesar 0,277 g diperoleh dari Aplikasi LINI Direktorat Jenderal Bina Marga. Percepatan tersebut selanjutnya dikonversi menjadi koefisien gempa horizontal (kh) sebesar setengah nilai percepatan puncak, yaitu kh = 0,277/2 = 0,1385, mengacu pada pendekatan yang dikemukakan Hynes-Griffin dan Franklin (1984) untuk analisis pseudo-statis.



Gambar 5.2 Peta Gempa

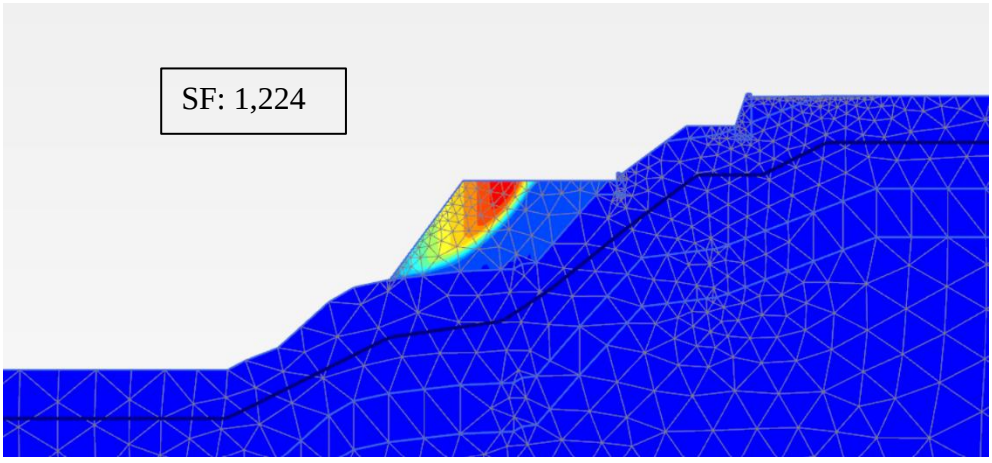
(Sumber: Situs Aplikasi Lini)

5.2 Analisis Lereng Eksisting

5.2.1 Analisis Stabilitas Global Lereng Eksisting

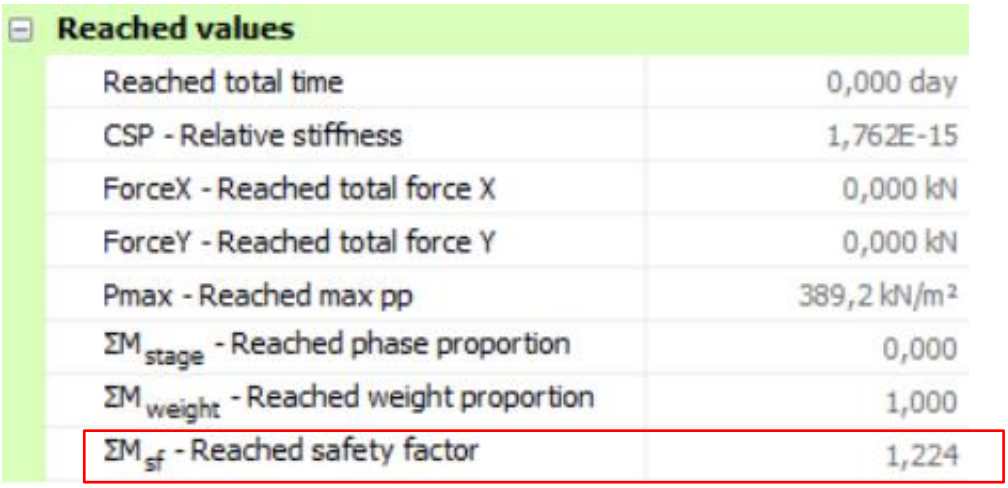
Analisis stabilitas global dilakukan untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng pada kondisi eksisting, yaitu sebelum diberi perkuatan. Melalui analisis ini diperoleh angka aman (*safety factor*) kondisi awal lereng yang selanjutnya dijadikan acuan dalam menilai tingkat kerentanan lereng terhadap potensi kelongsoran. Peninjauan dilakukan pada dua kondisi muka air tanah, yaitu kondisi kering dan kondisi dengan muka air tanah (MAT) pada kedalaman 2,8 m dari permukaan lereng. Selain kedua kondisi tersebut, pengaruh beban gempa juga ditinjau untuk mengetahui perubahan angka aman lereng ketika gaya inersia gempa bekerja bersamaan dengan keberadaan muka air tanah. Keseluruhan analisis dilakukan secara numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D V20.

Analisis pada kondisi muka air tanah (MAT) sedalam 2,8 m dari permukaan lereng dilakukan untuk mengetahui pengaruh keberadaan air tanah terhadap stabilitas lereng. Kedalaman tersebut mengacu pada catatan muka air tanah yang teramati saat pengeboran pada titik BH-02. Keberadaan air tanah menyebabkan tekanan air pori meningkat sehingga tegangan efektif pada massa tanah menurun. Penurunan tegangan efektif ini mengurangi tahanan geser yang tersedia, sehingga angka aman lereng berpotensi menjadi lebih kecil dibandingkan kondisi kering. Hasil analisis stabilitas global lereng eksisting pada kondisi tersebut ditampilkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Stabilitas Global Eksisting Lereng

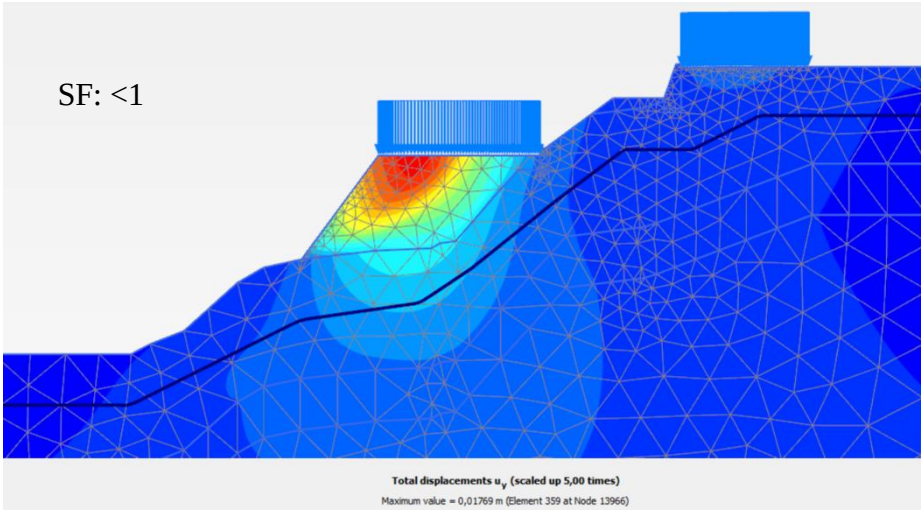
Hasil pemodelan lereng eksisting menggunakan PLAXIS 2D V20 pada kondisi MAT 2,80 m di bawah permukaan tanpa memperhitungkan beban gempa dan beban lalu lintas menghasilkan angka aman sebesar 1,224. Angka aman sebesar 1,224 tergolong sangat rendah karena hampir menyentuh kondisi keseimbangan batas (SF = 1), yang berarti gaya penahan pada lereng hanya sedikit lebih besar daripada gaya pendorongnya. Nilai ini juga belum memenuhi angka aman minimum sebesar 1,5 untuk lereng permanen pada kondisi statis sebagaimana disyaratkan pada Tabel 3.5, sehingga lereng eksisting dikategorikan tidak aman dan memerlukan perkuatan. Hasil perhitungan angka aman tersebut ditampilkan pada Gambar 5.4.



Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	1,762E-15
ForceX - Reached total force X	0,000 kN
ForceY - Reached total force Y	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	389,2 kN/m²
ΣM_{stage} - Reached phase proportion	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight proportion	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	1,224

Gambar 5.4 *Safety Factor* Eksisting

Analisis dilanjutkan dengan memperhitungkan beban gempa menggunakan pendekatan pseudo-statis, yaitu gempa dimodelkan sebagai gaya inersia tambahan yang bekerja pada massa tanah. Analisis ini bertujuan mengetahui perubahan angka aman lereng akibat bekerjanya gempa bersama keberadaan muka air tanah sebagai kondisi pembebanan paling kritis. Pola perpindahan total lereng disajikan pada Gambar 5.5.

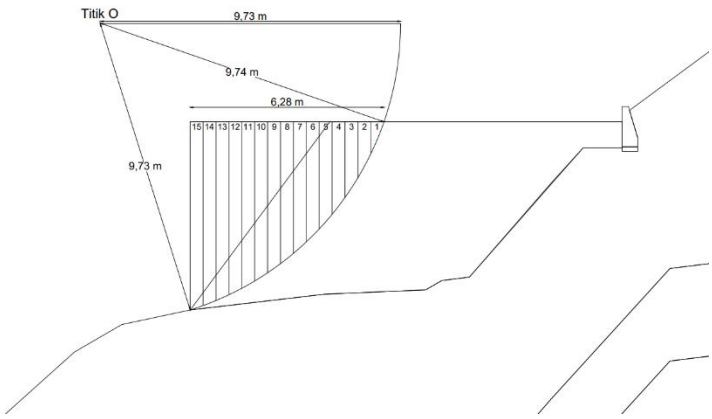


Gambar 5.5 *Total Displacement* Dengan Beban Gempa

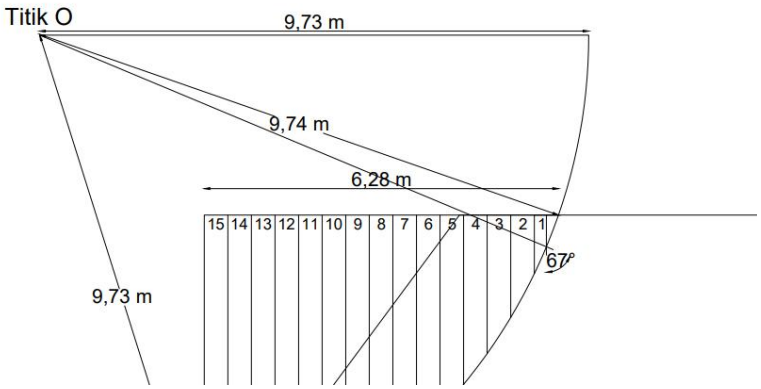
Hasil analisis pada kondisi dengan beban gempa menunjukkan bahwa lereng mengalami keruntuhan, dengan angka aman yang diperoleh kurang dari 1. Kondisi ini menandakan gaya pendorong pada lereng telah melampaui gaya penahannya, sehingga lereng eksisting tidak mampu menahan beban gempa. Perpindahan terbesar hasil analisis mencapai 0,0177 m dan terkonsentrasi pada zona keruntuhan lereng. Berdasarkan hasil tersebut, lereng eksisting memerlukan perkuatan agar angka amannya memenuhi persyaratan pada kondisi beban gempa.

5.2.2 Analisis Lereng Eksisting dengan Metode Fellenius

Selain analisis numerik, stabilitas lereng eksisting juga dihitung secara analitis menggunakan metode Fellenius (*ordinary method of slices*) sebagai pembanding terhadap hasil PLAXIS 2D. Metode ini membagi massa tanah di atas bidang gelincir menjadi sejumlah irisan, kemudian menghitung angka aman berdasarkan kesetimbangan momen pada masing-masing irisan. Pemodelan lereng eksisting dengan metode Fellenius ditampilkan pada Gambar 5.6, sedangkan rincian sudut tiap irisan disajikan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.6 Pemodelan Lereng Eksistign dengan Metode *Fellenius*



Gambar 5.7 Detail Sudut Irisan Metode *Fellenius*

Bidang gelincir pada penelitian ini dibagi menjadi 15 irisan (pias). Panjang bidang gelincir yang terproyeksi ke arah horizontal adalah 6,28 m, sehingga setiap irisan memiliki lebar sebesar 6,28/15 = 0,419 m. Sudut kemiringan tiap irisan (α) ditentukan sebagai sudut antara dasar irisan terhadap bidang horizontal, yang diperoleh secara geometris dari kedudukan pusat lingkaran gelincir (titik O) terhadap masing-masing irisan. Contoh perhitungan angka aman lereng eksisting dengan metode Fellenius diuraikan sebagai berikut.

1. Perhitungan irisan ke-1 dengan Metode *Fellenius*
   a. Berat irisan tanah (W)

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

= 15,64 x 0,23

W_1 = 3,66 kN/m

b. Perhitungan radians

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

$= 67° \times \frac{3,14}{180}$

Rad_1 = 1,17

c. Perhitungan Sin α

Sin α_1 = Sin (Rad_1)

= Sin (1,17)

Sin α_1 =0,92

d. Perhitungan Cos α

Cos α_1 = Cos (Rad_1)

= Cos (1,17)

Cos α_1 = 0,39

e. Perhitungan Δ Ln (m)

Δ Ln = Panjang pias / Cos α_1

= 0,419/0,39

Δ Ln = 1,07 m

f. Perhitungan W x Sin α

W1 x Sin α = 3,66 kN/m x 0,92

= 3,37 kN/m

g. Perhitungan W x Cos α

W x Cos α = 3,66 kN/m x 0,39

= 1,43 kN/m

Rekapitulasi perhitungan untuk seluruh irisan ditampilkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Perhitungan Metode *Fellenius*

Pias No	Luas Irisan	Berat (Wn)	Sudut Irisan (αn)	Radians	Sin αn	Cos αn	Panjang Bidang Gelincir (Δ Ln)	Wn Sin αn	Wn Cos αn
	m²	(kN/m)	(°)				(m)	(kN/m)	(kN/m)
1	0,23	3,66	67	1,17	0,92	0,39	1,07	3,37	1,43
2	0,60	9,38	62	1,08	0,88	0,47	0,89	8,29	4,41
3	0,90	14,08	57	0,99	0,84	0,54	0,77	11,81	7,67
4	1,14	17,83	53	0,93	0,80	0,60	0,70	14,24	10,73
5	1,28	19,94	49	0,86	0,75	0,66	0,64	15,05	13,08
6	1,23	19,24	45	0,79	0,71	0,71	0,59	13,60	13,60
7	1,16	18,14	42	0,73	0,67	0,74	0,56	12,14	13,48
8	1,07	16,73	38	0,66	0,62	0,79	0,53	10,30	13,19
9	0,97	15,11	35	0,61	0,57	0,82	0,51	8,67	12,38
10	0,85	13,26	32	0,56	0,53	0,85	0,49	7,03	11,25
11	0,72	11,21	30	0,52	0,50	0,87	0,48	5,61	9,71

Lanjutan Tabel 5.2 Perhitungan Metode *Fellenius*

Pias No	Luas Irisan	Berat (Wn)	Sudut Irisan (αn)	Radians	Sin αn	Cos αn	Panjang Bidang Gelincir (Δ Ln)	Wn Sin αn	Wn Cos αn
	m²	(kN/m)	(°)				(m)	(kN/m)	(kN/m)
12	0,58	8,99	27	0,47	0,45	0,89	0,47	4,08	8,01
13	0,42	6,62	24	0,42	0,41	0,91	0,46	2,69	6,04
14	0,26	4,07	21	0,37	0,36	0,93	0,45	1,46	3,80
15	0,09	1,39	19	0,33	0,33	0,95	0,44	0,45	1,32
						Total ∑	9,060	118,78	130,09

Nilai *safety factor* lereng dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$SF = \frac{\sum (cl + (W \cos \alpha) \tan \varphi}{\sum W \sin \alpha}$$

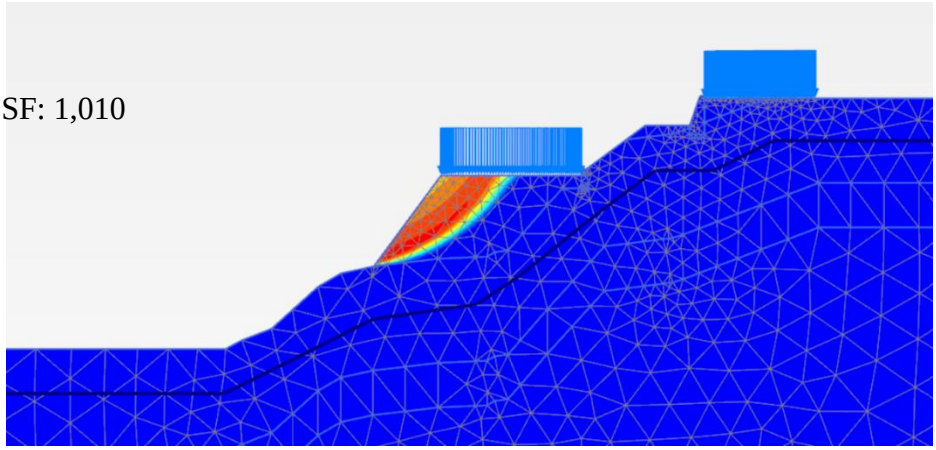
$$SF = \frac{(8{,}73 \times 9{,}06 + (130{,}09) \tan 0{,}45}{118{,}78}$$

$$SF = 1{,}200$$

Perhitungan metode Fellenius menghasilkan angka aman lereng eksisting sebesar 1,200 tanpa beban lalu lintas. Nilai ini belum mencapai angka aman minimum 1,5, sehingga lereng eksisting tergolong tidak aman.

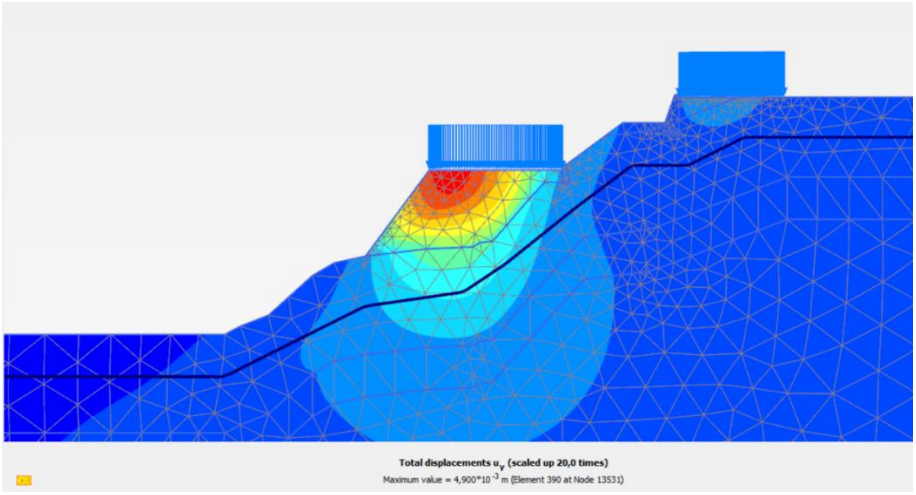
5.2.3 Analisis Lereng Eksisting dengan Beban Lalu Lintas

Lereng eksisting dianalasis dengan beban lalu lintas untuk mengetahui berapa angka aman yang dihasilkan melalu analisis lereng dengan menggunakan beban lalu lintas. Beban lalu lintas yang digunakan adalah 22 kN. Gambar 5.8 berikut adalah hasil dari analisis tersebut



Gambar 5.8 Bidang Gelincir dengan Beban Lalu Lintas

Dari hasil analisis tersebut didapatkan angka aman lereng 1,010 yang dimana angka tersebut belum memenuhi standar yaitu >1,5 sehingga lereng tersebut tidak memenuhi standar yang berlaku. Didapatkan nilai penurunan tanah sebesar 0,0049 m. Gambar 5.9 adalah gambar penurunan lereng tersebut.



Gambar 5.9 Penurunan Lereng Eksisting dengan Beban Lalu Lintas

5.3 Perkuatan Lereng dengan *Geocell*

5.3.1 Perancangan *Geocell*

Perhitungan kebutuhan *geocell* pada perkuatan lereng ditinjau berdasarkan stabilitas internal, yaitu kemampuan lembar perkuatan menahan gaya cabut dari tanah yang diperkuat. Rincian perhitungan kebutuhan geosintetik diuraikan sebagai berikut.

1. Gaya tarik *geocell* yang dibutuhkan

   Besarnya gaya tarik perkuatan ditentukan menggunakan pendekatan grafik yang dikembangkan Schmertmann dkk. dalam Elias dkk. (2001). Pembacaan grafik memerlukan nilai sudut geser dalam ekivalen (φ′*f*) dan tinggi timbunan efektif (H′), sehingga kedua parameter tersebut dihitung terlebih dahulu sebagaimana diuraikan berikut. Dari grafik tersebut diperoleh koefisien gaya (K) dan perbandingan panjang perkuatan antara lapisan teratas dengan lapisan terbawah, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.10 dan Gambar 5.11.

   $\varphi'f = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\varphi r}{FKR}\right)$

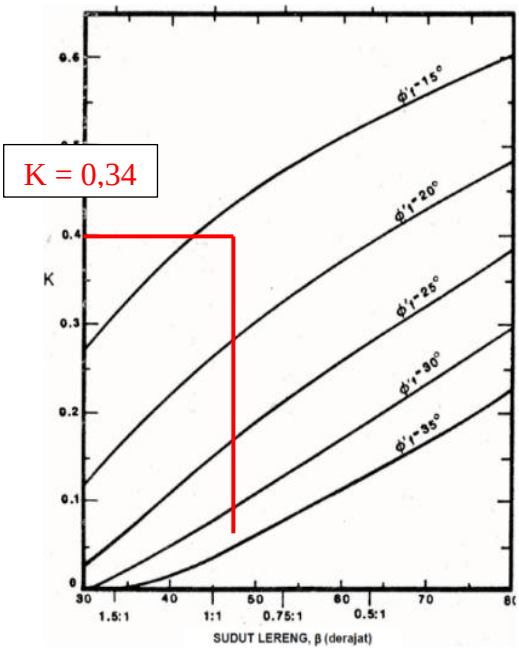
   $= \tan^{-1}\left(\frac{\tan 26°}{1{,}5}\right)$

   $= 18{,}012°$

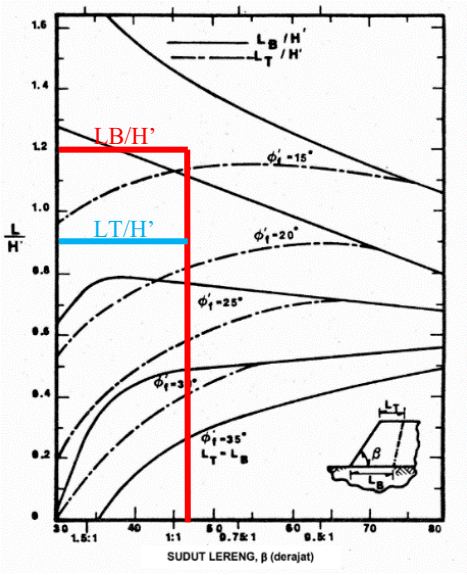
   $H' = H + \frac{q}{\gamma}$

$= 6 + \frac{22}{15,64}$

= 7,5 m



Gambar 5.10 Koefisien Gaya (K)



Gambar 5.11 Perbandingan Panjang Perkuatan

Berdasarkan grafik yang tertera pada gambar 5.8 dan 5.9 didapatkan hasil berikut ini.

K = 0,34

LB/H' = 1,2

LT/H' = 0,9

TS max = $0,5 . K . \gamma . H'^2$

$= 0,5 . 0,34 . 15,64 . (7,5)^2$

= 149,8 kN/m

Jadi lereng tersebut membutuhkan gaya tarik geosintetik total sebesar 149,8 kN/m.

2. Kuat tarik setiap lapisan

Dengan tinggi lereng kurang atau sama dengan 6 meter, perkuatan hanya didistribusikan dalam 1 zona. Berikut adalah penentuan jumlah lapisan berdasarkan spasi vertikal (sv).

Sv = H_{lereng} / sv

= 6 / 0,4

= 15,25 lapis

= 11 lapis

Geosintetik yang digunakan adalah *Geocell*. Diambil dari Fitriansyah,dkk (2024) berikut adalah parameter geocell yang digunakan dalam analisis.

Tabel 5.3 Spesifikasi dan Parameter *Input Geocell*

Jenis *Geocell*	P Izin (kN/m)	*Elongation* (%)	EA (kN/m)
HDPE Strips	18	12	150

(sumber: Fitransyah dkk, 2024)

Kuat tarik setiap lapisan *Geocell* didapat dari perhitungan sebagai berikut.

Ts = $\frac{\text{Ts max}}{\text{n lapis}}$

= $\frac{149,8}{11}$

= 13,62 kN/m < 18 kN/m (memenuhi)

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan bahwa kuat tarik *Geocell* lebih besar dari kuat tarik izin yang bekerja pada setiap lapisannya. *Geocell* dengan spesifikasi dan parameter ini dapat digunakan dalam analisis ini.

3. Panjang penulangan *Geocell*

Panjang tulangan *Geocell* pada lapisan terbawah dan teratas diperkirakan melalui pembacaan grafik pada gambar 5.9 sebagai berikut.

LB = 1,2 x 7,5

= 9 m

LT = 0,9 x 7,5

= 6,75 m

Dimensi tersebut akan dijadikan acuan sebagai pembanding dalam penentuan panjang setiap lapis perkuatan yang disesuaikan dengan bidang longsor. Penyesuaian selanjutnya tetap diperlukan dengan meninjau letak bidang gelincir dan panjang pengangkuran *Geocell* di belakang zona longsor. Hasil yang didapat dari analisis tanpa perkuatan, bidang longsor terpanjang mencapai 2,77 m, sehingga panjang tersebut dipakai sebagai dasar perhitungan berikut.

$\sigma'_{vi} = h \cdot \gamma$

$= 4,5 \times 15,64$

$= 70,38\ kN/m^2$

$Le = \frac{T_{max} FK_{po}}{F^* . \alpha . \sigma'_v . C}$

$= \frac{13,62 \times 1,5}{1,6 \times 0,48 \times 70,38 \times 2}$

$= 0,2\ m$

$= 4,7\ m$

$Ltotal = 2,77 + 4,7$

$= 7,47\ m$

Cek FK Cabut

$FKcabut = \frac{Le \cdot 2F^* \cdot \alpha \cdot \sigma v}{Tmax}$

$= \frac{4,7 \times 2 \times 1,6 \times 0,48 \times 70,38}{13,62}$

= 37,90

FKcabut ≥ FKcabut min

37,60 ≥ 1,5… OK

Perhitungan panjang total untuk lapisan lainnya dilakukan dengan metode yang serupa sesuai dengan tinggi tanah pada tiap lapisan. Rekapitulasi beserta nilai tahanan cabutnya ditampilkan pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Panjang Total *Geocell* Tiap Lapis

Lapis Tulangan	σ'_{vi} (kN/m^2)	Le (m)	Panjang Total (m)	SF Cabut	Cek (SF ≥1,5)
1	95,404	4,3	6,98	47,01	OK
2	89,148	4,4	7,12	44,95	OK
3	82,892	4,5	7,26	42,74	OK
4	76,636	4,6	7,37	40,40	OK
5	70,38	4,7	7,47	37,90	OK
6	64,124	4,9	7,62	35,78	OK
7	57,868	5,0	7,75	33,35	OK
8	51,612	5,2	7,85	30,75	OK
9	45,356	5,4	7,97	28,07	OK
10	39,1	5,6	8,06	25,09	OK
11	32,844	5,9	8,21	22,21	OK

5.3.2 Analisis Stabilitas Eksternal *Geocell*

Analisis stabilitas eksternal ini mencakup tinjauan terhadap tahanan gelincir, daya dukung lokal (peremasan), keruntuhan global, dan penurunan. Perhitungan beserta hasil analisisnya diuraikan sebagai betikut.

1. Tahanan Gelincir

   Lapisan terbawah dan terpanjang adalah lapisan *Geocell* yang diperhitungkan. Pada perancangan ini lapisan pertama adalah lapisan terbawah dan terpanjang. Persamaan yang digunakan adalah persamaan 3.14 hingga 3.18 sebagai berikut.

L = 5,9 m

H = 6 m

Pa = ½ γb H^2 Ka

= ½ x 15,64 x 6^2 x 0,4

= 112,608 kN

W = ½ L^2 γr (tanβ) , untuk L ≤ H

= ½ x $5,9^2$ x 15,64 x (tan 47°)

= 299,436 kN

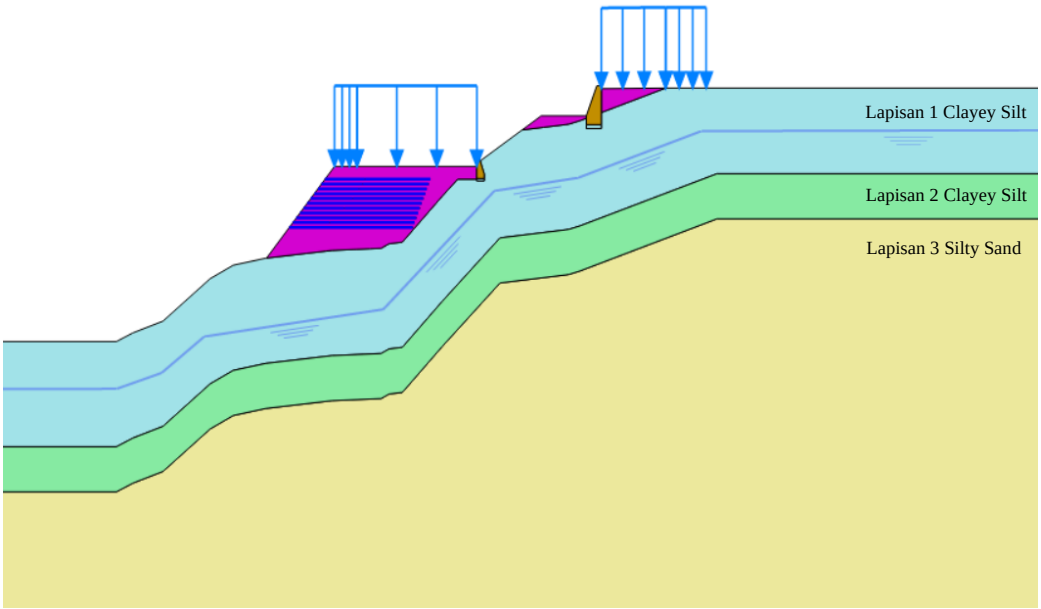
FK = $\frac{(299,436 + 112,608 \times \sin 26°) \tan 26°}{112,608 \times \cos 26°}$

= 3,2 > 1,3 (pada setiap lapisan)

Tinjauan terhadap tahanan gelincir menghasilkan angka aman sebesar 3,2 sedangkan batas minimum yang disyaratkan hanya 1,3. Dengan slisih itu, desain *Geocell* yang digunakan sudah memenuhi persyaratan keamanan terhadap gelincir.

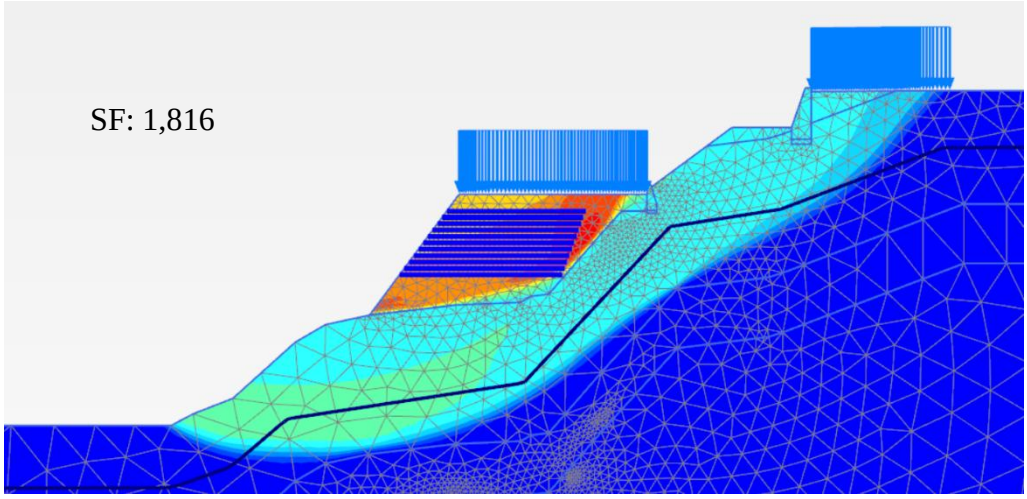
2. Keruntuhan Global

Pemodelan lereng dengan perkuatan *Geocell* dimodelkan pada PLAXIS 2D. Gambar 5.12 merupakan gambar lerengnya.



Gambar 5.12 Lereng Dengan Perkuatan

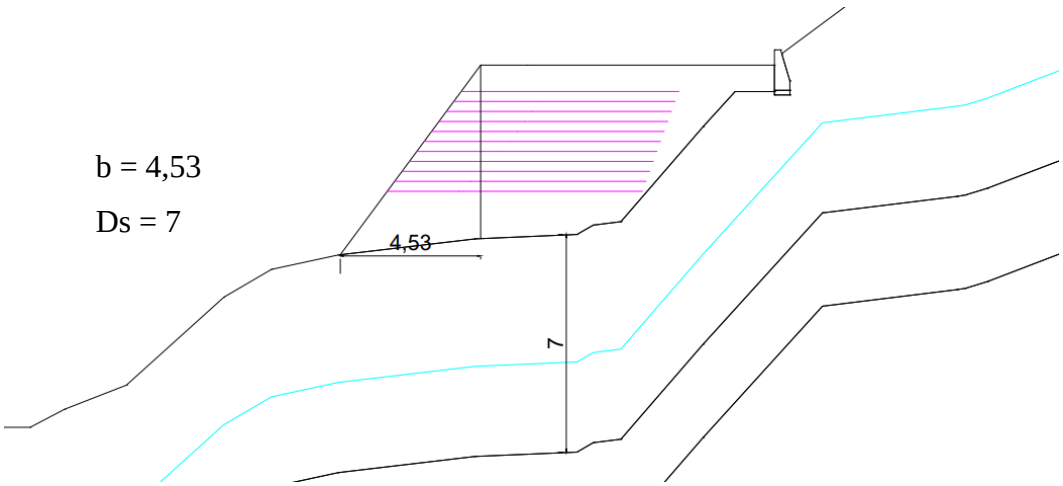
Angka aman terhadap keruntuhan global didapatkan dari hasil pemodelan 1,816 dan sudah berada di atas batas minimum yaitu >1,5. Bidang longsor hasil dari analisis ditunjukkan pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Bidang Longsor Global Perkuatan *Geocell*

3. Daya dukung lokal (peremasan)

Pengukuran ketebalan tanah lunak di bawa lereng (Ds) dan lebar lereng (b) perlu dilakukan untuk mengetahui apakah dibutuhkan analisis peremasan atau tidak. Hasil pengukuran tertera pada Gambar 5.14 di bawah ini.

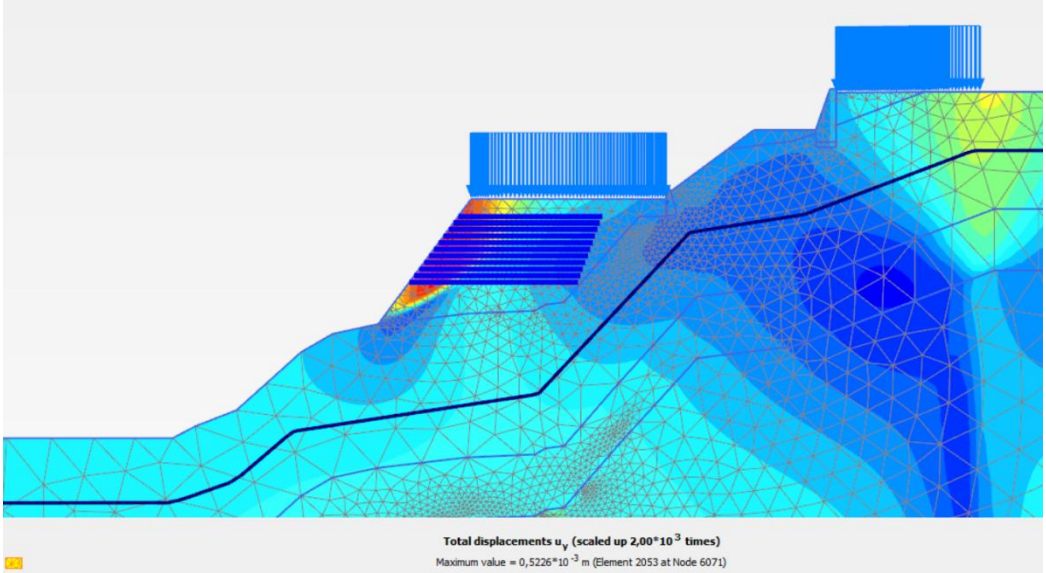


Gambar 5.14 Pengukuran Ds dan b Daya Dukung Lokal

Tebal tanah lunak di bawah lereng (Ds) dari Gambar 5.12 tidak kurang dari lebar lereng (b). Oleh karena itu, tidak perlu dilakukan analisis daya dukung lokal.

4. Perununan tanah dasar.

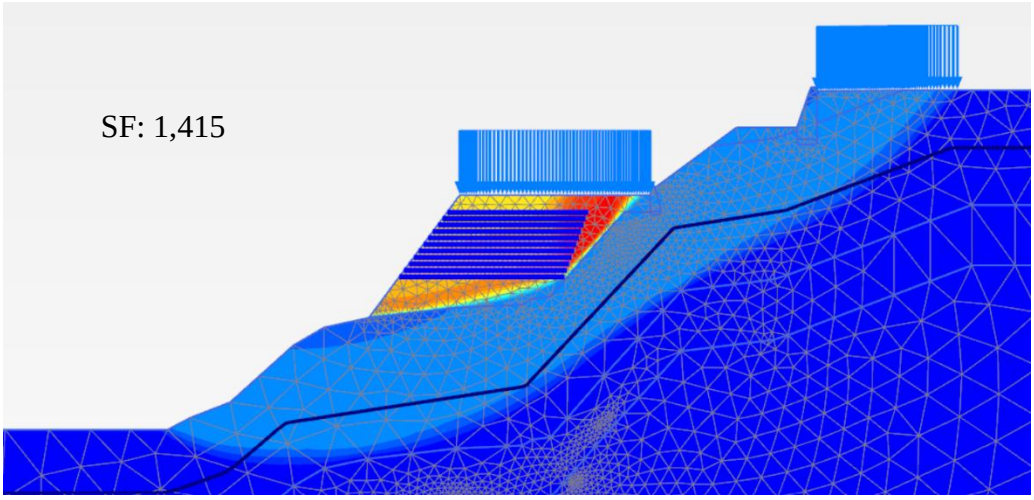
Penurunan tanah dasar terbesar berdasarkan pemodelan PLAXIS 2D adalah tanah timbunan sebesar 0,00052 m. Berikut adalah hasil penurunan dari pemodelan PLAXIS 2D pada Gambar 5.15.



Gambar 5. 15 Analisis Penuruan Lereng dengan Perkuatan *Geocell*

5.3.3 Analisis Stabilitas *Geocell* Kondisi Gempa

Konfigrasi *geocell* yang sudah aman pada kondisi statis selanjutnya diuji dengan beban gempa. Tinjauan ini penting karena lokasi penelitian berada di Kota Bandung yang dekat dengan Sesar Lembang sehingga lereng berpotensi menerima guncangan gempa. Beban gempa dimodelkan dengan cara pesudo-statis, yaitu gempa diwakili oleh gaya statis ekuivalen agar bisa dihitung bersamaan dengan beben lainnya. Koefisien gempa horizontal yang dipakai adalah k_h = 0,1385, diperoleh dari setengah nilai percepatan puncak 0,277 g berdasarkan Aplikasi LINI dan mengacu pada pendekatan Hynes-Griffin dan Franklin (1984).



Gambar 5.16 *Safety Factor Geocell* Kondisi Gempa

Hasil analisis menunjukkan angka aman sebesar 1,415. Nilai ini memenuhi pesyaratan SNI 8460:2017 untuk kondisi gempa, yaitu angka aman minimal 1,1. Penambahan *geocell* mampu meningkatkan kestabilan lereng meskipun sudah diberi beban gempa.

5.4 Perkuatan Lereng dengan Geotekstil

Selain *geocell*, perkuatan lereng juga direncanakan menggunakan geotekstil sebagai pembanding. Kedua material sama-sama bekerja dengan memberikan tahanan tarik pada massa tanah, sehingga tahapan perancangan mengikuti prosedur yang telah diuraikan pada subbab 5.3. perbedaannya terletak pada spesifikasi material dan faktor reduksi. Oleh karena itu, pada subbab ini pembahasan difokuskan pada data material geotekstil, hasil perhitungan, serta hasil pemodelan, tanpa mengulangi penurunan rumus yang telah disajikan sebelumnya

5.4.1 Perancangan Geotekstil

Geoteksil yang digunakan dalam perancangan ini adalah geotkstil woven tipe LP 105 dengan kuat tarik ultimit sebesar 105 kN/m. Nilai tersebut tidak dapat langsung digunakan dalam analisis dikarenakan kekuatan geotekstil akan menurun selama masa layan, sehingga perlu direduksi terhadap pengaruh rangkak (RF_{CR}), kerusakan saat pemasangan (RF_{ID}), dan degradasi kimia maupun biologis (RD_{D}). Besar faktor reduksi yang digunakan mengacu pada spesifikasi pabrikan dan

disajikan pada Tabel 5.5. Setelah direduksi, diperoleh kuat tarik izin geotekstil sebesar 61,03 kN/m yang selanjutnya dipakai sebagai batas kemampuan tulangan dalam menahan gaya tarik pada setiap lapis.

Tabel 5.5 Spesifikasi Teknik Geotekstil

Unit	LP 105
Tult (kN/m)	105
RF_{CR}	1,55
RF_{ID}	1
RF_{D}	1,11

(Sumber: Catalog Hibritex)

Kuat tarik ijin adalah sebagai berikut.

$$\text{Tall} = \frac{\text{Tult}}{\text{RFCR} \times \text{RFID} \times \text{RFD}}$$

$$= \frac{105}{1{,}55 \times 1 \times 1{,}11}$$

$$= 61{,}03 \text{ kN/m}$$

Kuat tarik dari setiap lapisan geotekstil adalah.

TS = 13,62 kN/m < 61,03 kN/m (memenuhi)

Berdasarkan kuat tarik izin tersebut, jarak vertikal antarlapis geotekstil ditetapkan sebesar 0,4 m sehingga dibutuhkan 11 lapis tulangan untuk lereng dengan tinggi 6 m. Panjang tulangan tiap lapis ditentukan dengan meninjau posisi bidang gelincir serta kebutuhan panjang pengangkuran di luar zona longsor, dan hasilnya berkisar 6,98 m hingga 8,21 m. Rekapitulasi panjang total untuk setiap lapisan disajikan pada tabel 5.4. Seluruh lapis menunjukkan gaya tarik yang masih berada di bawah kuat tarik izin geotekstil, sehingga spesifikasi dan konfigurasi tersebut layak digunakan pada analisis selanjutnya.

5.4.2 Stabilitas Eksternal Geotekstil

Stabilitas eksternal pada perkuatan geotekstil ditinjau terhadap tahanan

gelincir, daya dukung lokal (peremasan), keruntuhan global, dan penurunan. Persamaan serta tahapan perhitungan yang digunakan sama dengan yang telah diuraikan pada subbab 5.3.2, sehingga pada subbab ini hanya disajikan data masukan dan hasil analisisnya. Perbedaan hasil yang muncul disebabkan oleh perbedaan panjang tulangan dan kofigurasi lapis geotekstil terhadap *geocell.*

1. Tahanan gelincir

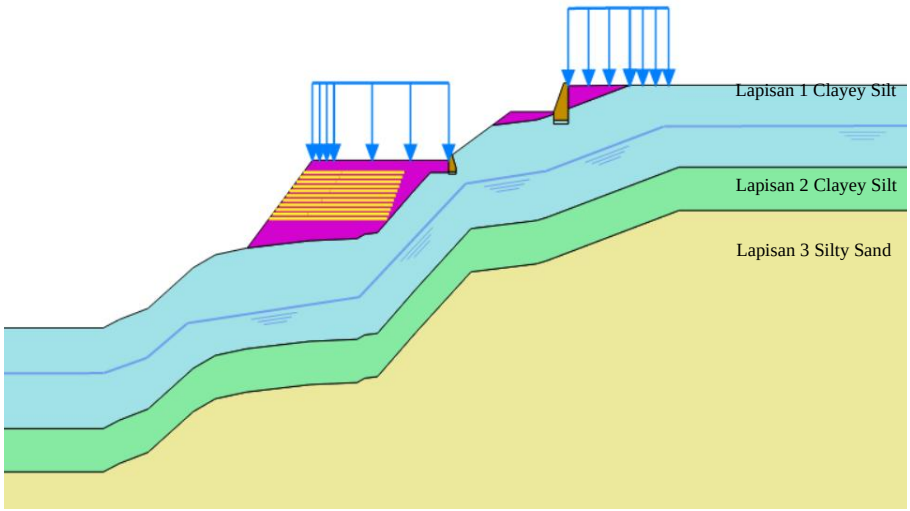
   Tinjauan tahanan gelincir dilakukan pada massa tanah yang diperkuat dengan panjang tulangan L = 5,9 m dan tinggi lereng H = 6 m. sudut geser dalam efektif yang dipakai pada bidang gelincir sebesar 26°, yaitu nilai terkecil antara timbunan dan tanah dasar. Hasil perhitungan memberikan angka aman sebesar 3,2, sehingga memenuhi batas minimum 1,3.

2. Daya dukung lokal (Peremasan)

   Pengecekan terhadap peremasan tidak dilakukan karena tebal lapisan tanah lunak lebih kecil dari tebal lapisan tanah dasar.

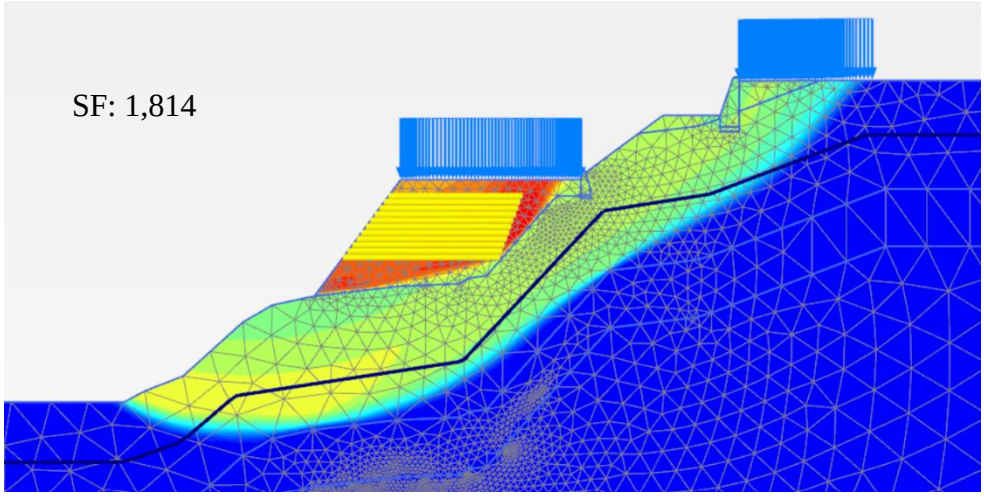
3. Keruntuhan global

   Lereng dengan geotekstil dimodelkan dengan PLAXIS 2D. Berikut merupakan gambar lerengnya.



Gambar 5.17 Lereng dengan Geotekstil

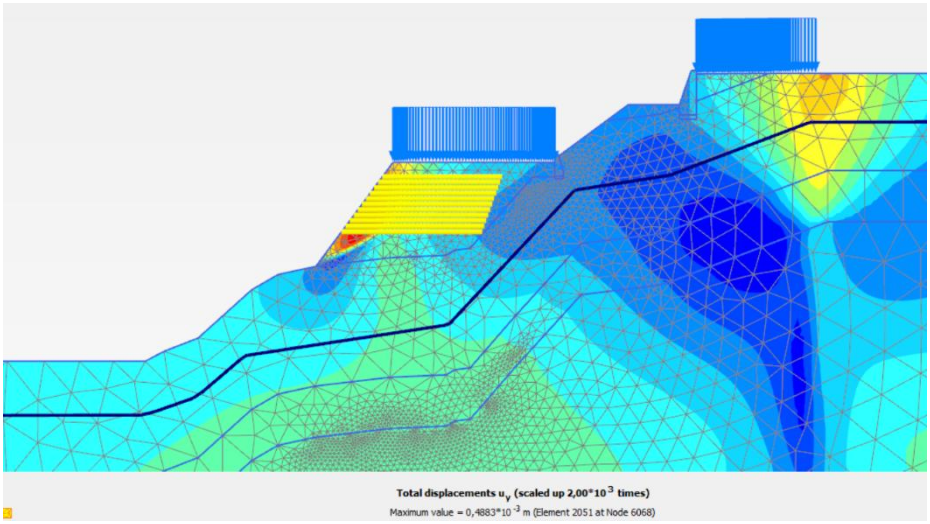
Setelah dilakukan analisis pada pemodelan tersebut, didapatkan hasil angka aman sebesar 1,814. Angka tersebut sudah memenuhi syarat keruntuhan global yaitu >1,5 jadi bisa dikatakan aman. Gambar 5.18 adalah bidang longsor yang didapatkan dari hasil analisis.



Gambar 5.18 Bidang Longsor dengan Perkuatan Geotekstil

4. Penurunan tanah dasar

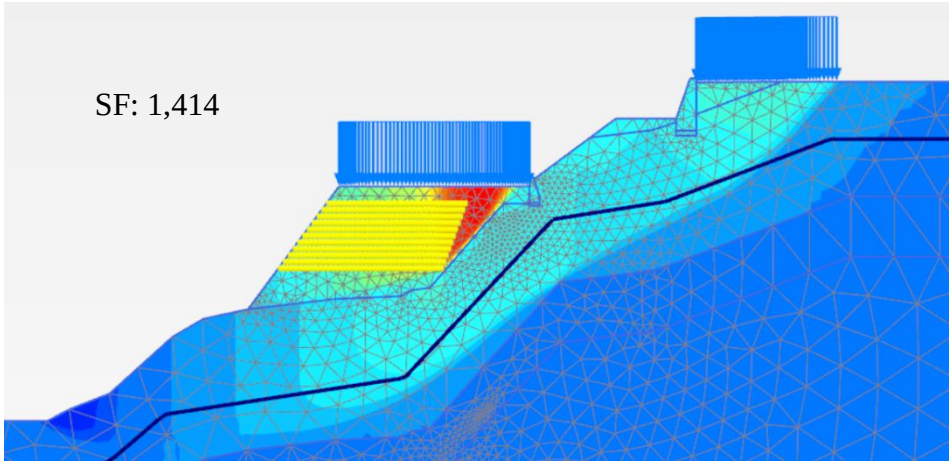
Penurunan tanah dasar yang didapatkan dari hasil pemodelan PLAXIS 2D pada tanah timbunan adalah sebesar 0,0049 m. Analisis yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5.19 dibawah ini.



Gambar 5.19 Hasil Analisis Penurunan Lereng Geotekstil

5.4.3 Analisis Stabilitas Geotekstil Kondisi Gempa

Kondisi gempa ditinjau dengan pendekatan pseudo-statis dengan menambahkan beban gempa arah horizontal pada model yang sudah diberi perkuatan geotekstil. Koefisien gempa yang dipakai sebesar k_h = 0,1385, diperoleh dari setengah nilai PGA sebesar 0,277 g mengikuti pendekatan Hynes-Griffin dan Franklin (1984). Nilai ini sengaja dibuat sama dengan analisis *geocell* agar perbandingan kedua jenis perkuatan berada pada kondisi pembebanan yang identik. Bidang longsor hasil analisis kondisi gempa ditampilkan pada gambar 5.20.



Gambar 5.20 Bidang Longsor Geotekstil Kondisi Gempa

Hasil analisis menunjukkan angka aman sebesar 1,414. Angka aman tersebut memenuhi syarat minimum sebesar 1,1 untuk kondisi gempa berdasarkan SNI 8460:2017. Penurunan angka aman dari kondisi statis sebesar 1,814 menjadi 1,414 pada kondisi gempa merupakan hal yang wajar, karena beban inersi gempa menambah gaya pendorong pada massa tanah tanpa menambah tahanan gesernya.

5.5 Perkuatan Alternatif Lereng dengan Geofoam

Selain perkuatan dengan *geocell* dan geotekstil, dilakukan analisis menggunakan geofoam sebagai alternatif penanganan lereng. Analisis ini berada di luar lingkup rumusan masalah dan bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai pendekatan penangan yang berbeda dari dua material sebelumnya,

sehingga hasilnya tidak digunakan sebagai dasar kesimpulan utama perancangan.

Perbedaan mendasar terletak pada mekanisme kerjanya. *Geocell* dan geotekstil meningkatkan kestabilan lereng dengan menambah tahanan tarik pada massa tanah, sedangkan geofoam bekerja dengan cara mengurangi beban yang harus ditahan. Material ini memiliki berat volume yang sangat rendah, sehingga penggantian sebagian tanah timbunan dengan geofoam akan menurunkan gaya pendorong pada bidang gelincir tanpa mengubah tahanan geser tanah dasarnya.

5.5.1 Parameter Input

Geofoam yang digunakan dalam analisis ini adalah *expanded polystyrene* tipe 22. Geofoam direncanakan menggantikan 100% tanah pada zona timbunan.

Geofoam dimodelkan sebagai material dengan perilaku *linear elastic*. Tipe drainase yang dipilih adalah *Undrained C* karena material ini bersifat tertutup terhadap aliran air. Parameter yang dimasukkan mencakup berat volume, modulus elastisitas, poisson ratio, kohesi, dan sudut geser dalam. Nilai-nilai tersebut diperoleh dari ASTM D6817 dalam Anggraini dkk. (2024) dan ditampilkan pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 *Patameter Input* Geofoam EPS 22

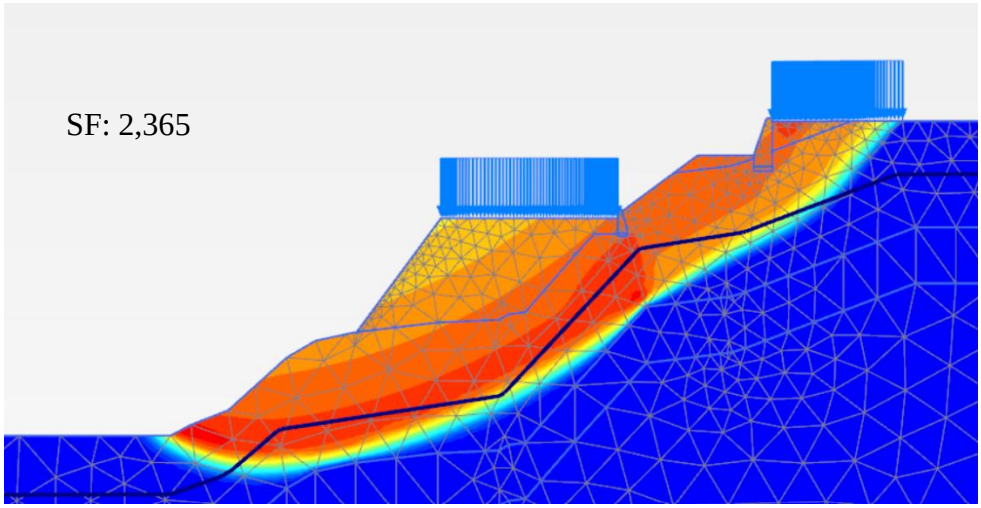
Jenis Material	Geofoam EPS 22
Material Model	*Linear Elastic*
Tipe Drainase	*Non-Porous*
γb (kN/m³)	0,216
e	-
Eu (kN/m²)	5000
Vu	0,2
Su	-

(Sumber: ASTM D6817 dalam Anggraini dkk. (2024))

Berat volume geofoam sebesar 0,216 kN/m^3 jauh lebih rendah dibandingkan tanah timbunan pilihan yang memiliki berat volume 15,56 kN/m^3 pada kondisi tak jenuh.

5.5.2 Keruntuhan Global Geofoam

Geometri lereng, muka air tanah pada kedalaman 2,8 m, serta parameter tanah dasar dipertahankan sama seperti pemodelan sebelumnya, sehingga satu-satunya variabel yang berubah adalah material pada zona timbunan. Bidang longsor hasil analisis ditampilkan pada Gambar 5.21

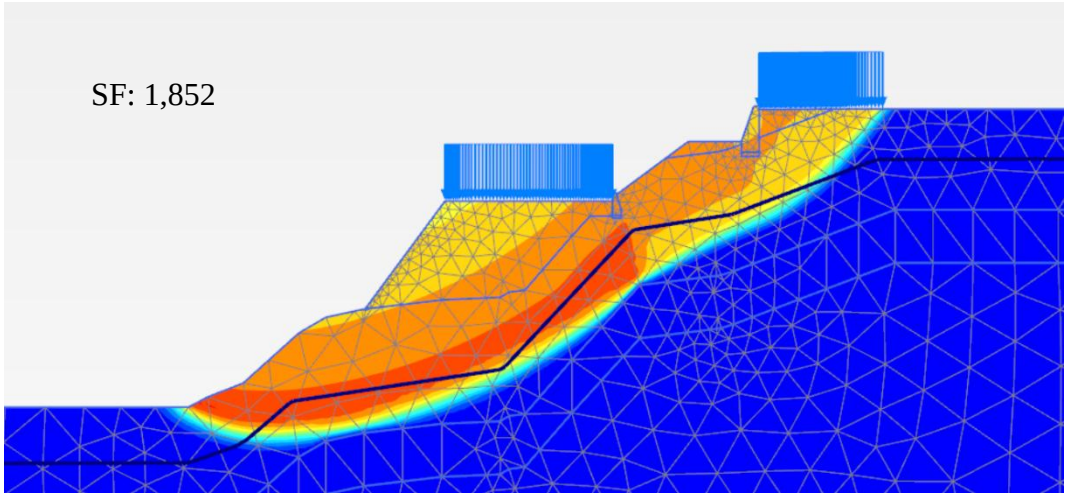


Gambar 5.21 Bidang Longsor Lereng dengan Perkuatan Geofoam

Hasil analisis memberikan angka aman sebesar 2,365, meningkat dari kondisi eksisting yang hanya sebesar 1,010. Angka tersebut memenuhi batas minimun 1,5 untuk kondisi statis SNI 8460:2017.

5.5.3 Analisis Stabilitas Geofoam Kondisi Gempa

Kondisi gempa pada perkuatan geofoam ditinjau sama dengan kondisi gempa pada perkuatan *Geocell* dan Geotekstil. Berikut adalah bidang longsor perkuatan geofoam, ditunjukka pada Gambar 5.22.

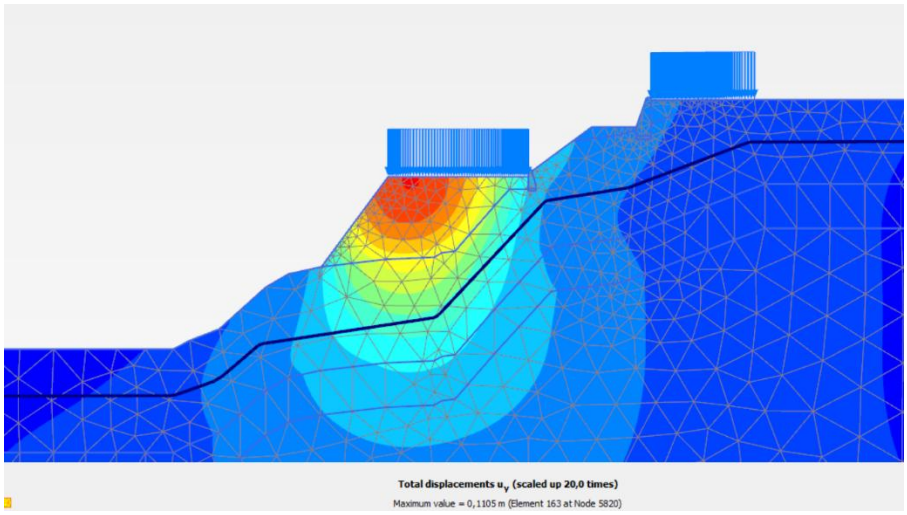


Gambar 5.22 Bidang Longsor Kondisi Gempa Perkuatan Geofoam

Hasil analisis memberikan angka aman sebesar 1,852. Angka aman tersebut sudah memenuhi syarat minimum 1,1 untuk kondisi gempa berdasarkan SNI 8460:2017.

5.5.4 Penurunan Tanah Dasar Geofoam

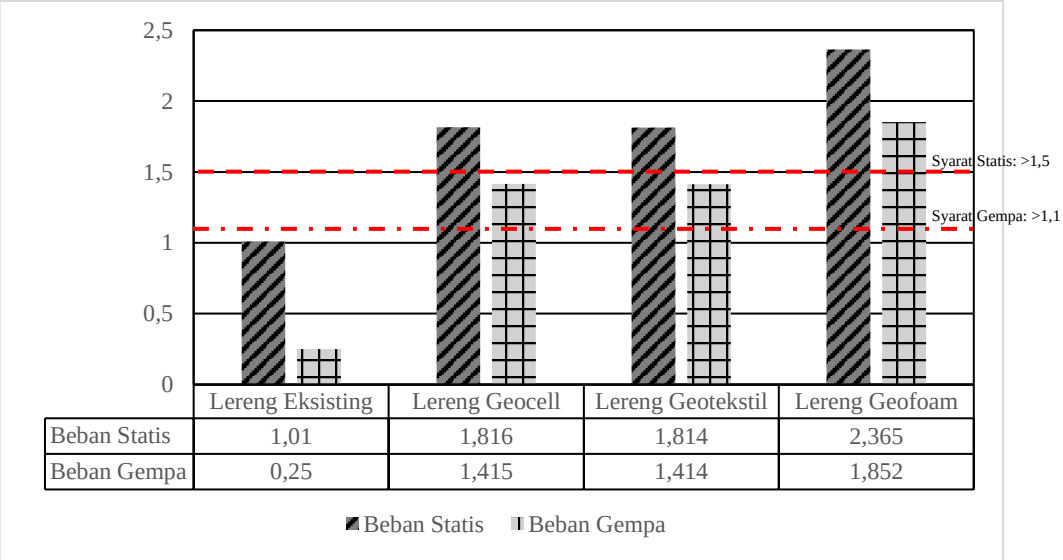
Gambar 5.23 di bawah ini menunjukkan analisis yang dilakukan, yang menunjukkan penurunan tanah dasar sebesar 0,1105 m dari hasil pemodelan PLAXIS 2D pada tanah timbunan.



Gambar 5.23 Penurunan Tanah Dasar *Geofoam*

5.6 Pembahasan Hasil Analisis

Hasil analisis lereng dengan 3 perkuatan berbeda memberikan pengaruh yang cukup signifikan. Hasil analasisi ini memperlihatkan bahwa perbedaan parameter dan jenis perkuatan berpengaruh langsung terhadap kestabilan lereng. Perbedaan kuat tarik izin antara *geocell* dan geotekstil menjadi pembeda dalam analisis kestabilan lereng. Pada kondisi eksisting, angka aman lereng hanya sebesar 1,010 sehingga belum memenuhi batas minimum 1,5 untuk lereng permanen kondisi statis dan lereng dikategorikan tidak aman. Perbandingan angka aman antara kondisi diperkuat *geocell*, geotekstil dan geofoam serta kondisi gempa ditampilkan pada Gambar 5.24 sebagai berikut.



	Lereng Eksisting	Lereng Geocell	Lereng Geotekstil	Lereng Geofoam
Beban Statis	1,01	1,816	1,814	2,365
Beban Gempa	0,25	1,415	1,414	1,852

Gambar 5.24 Grafik Perbandingan Angka Aman Perkuatan Lereng

Seluruh perkuatan yang dirancang baik *geocell*, geotekstil, maupun geofoam, menghasilkan angka aman yang telah melapaui batas minimum yang disyaratkan SNI 8460:2017 untuk kondisi statis dan kondisi gempa ketentuan BM (2009) untuk tinjauan stabilitas eksternal dan internal. Rangkuman angka aman dari lereng eksisting hingga ketiga tinjauan tersebut disajikan pada Tabel 5.7. Penyajian dalam satu tabel dimaksudkan agar perbedaan kinerja tiap perkuatan pada setiap tinjauan dapat dibandingkan secara langsung. Dari rangkuman tersebut terlihat bahwa

peningkatan angka aman terjadi pada seluruh tinjauan, sehingga tidak ada satu pun kriteria keamanan yang masih berada di bawah persyaratan.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Angka Aman Perkuatan

	Angka Aman Syarat	Eksisting	*Geocell*	Geotekstil	Geofoam
Stabilitas internal (tahanan cabut)	1,5	-	2,000	2,000	-
Stabilitas Global	1,5	1,010	1,816	1,814	2,365
Stabilitas Kondisi Gempa	1,1	< 1	1,415	1,414	1,852

Perkuatan geocell dan geotekstil sama-sama menaikkan angka aman lereng dari 1,010 pada kondisi eksisting menjadi 1,816 dan 1,814, sementara geofoam menghasilkan nilai tertinggi, yaitu 2,365. Selisih tersebut wajar karena ketiga material memperbaiki kestabilan lereng dengan cara yang berbeda yaitu geocell dan geotekstil menambah tahanan tarik serta menyebarkan tegangan pada massa tanah, sedangkan geofoam justru memperkecil beban timbunan yang bekerja pada lereng. Karena mekanisme dan persyaratan analisisnya tidak sama, perbandingan angka aman ketiga alternatif perlu dilakukan dengan tetap memperhatikan kriteria minimum yang berlaku pada masing-masing metode.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari rumusan masalah pada lereng timbunan di kawasan *Learning Center* Kota Bandung adalaha sebagai berikut.

1. Stratigrafi dan parameter tanah berdasarkan data N-SPT. Hasil interpretasi data N-SPT pada titik BH-02 menunjukkan bahwa lapisan tanah di lokasi penelitian terdiri atas tiga lapisan. Lapisan pertama pada kedalaman 0-7m berupa *clayey silt* dengan nilai N-SPT 6, lapisan kedua pada kedalaman 7-10 m berupa *clayey silt* dengan nilai N-SPT 30, dan lapisan ketiga pada kedalaman 10-30 m berupa *silty sand* dengan nilai N-SPT 60. Berdasarkan klasifikasi USCS, ketiga lapisan tersebut tergolong tanah berbutir halus hingga pasir kelanauan. Parameter tanah diperoleh melalui korelasi empiris terhadap nilai N-SPT, yaitu kuat geser tak terdrainase menggunakan hubungan Cu = 6N dan modulus elastisitas menggunakan hubungan Es = 300 (N + 6) mengacu pada Bowless (1996), sedangkan parameter tanah timbunan pilihan memiliki parameter c` = 8,73 kPa dan φ′ = 26°. Nilai muka air tanah teramati pada kedalaman 2,80 m dari permukaan.
2. Stabilitas lereng eksisting. Analisis numerik menggunakan PLAXIS 2D V20 pada kondisi muka air tanah 2,80 m menghasilkan angka aman sebesar 1,010 menggunakan beban lalu lintas dan 1,224 tanpa beban lalu lintas, sedangkan perhitungan analitis metode Fellenius dengan 15 pias menghasilkan angka aman sebesar 1,200. Selisih kedua metode tersebut hanya sekitar 2%, sehingga hasil pemodelan numerik dinilai terverifikasi oleh perhitungan analitis. Kedua nilai tersebut belum memenuhi angka aman minimum sebesar 1,5 untuk lereng permanen kondisi statis menurut SNI 8460:2017. Pada kondisi gempa horizontal Kh = 0,1385, angka aman turun hingga kurang dari 1 yang menunjukkan bahwa lereng eksisting mengalami keruntuhan dan memerlukan perkuatan.

3. Konfigurasi perkuatan lereng menggunakan *geocell*. Konfigurasi *geocell* hasil perancangan menggunakan jarak vertikal antar lapis Sv sebesar 0,4 m dengan jumlah 11 lapis tulangan dan panjang tulangan 6,98 hingga 8,21 m. tinjauan tahanan keruntuhan global menghasilkan angka aman sebsar 1,816 terhadap syarat minimum 1,5 menurut BM (2009), sedangkan tinjauan daya dukung lokal (peremasan) tidak perlu dilakukan karena tebal lapisan tanah lunak di bawah lereng lebih besar daripada lebar lereng. Untuk analisis dengan beban gempa didapatkan SF sebesar 1,415 dengan perkuatan *geocell* yang dimana sudah memenuhi standar yaitu >1,1.
4. Konfigurasi perkuatan lereng menggunakan geotekstil. Perkuatan menggunakan geotekstil *woven* tipe LP 105 dengan kuat tarik ultimit 105 kN/m menghasilkan kuat tarik izin sebear 61.03 kN/m setelah memperhitungkan faktor reduksi rangkak, kerusakan pemasangan, dan degradasi. Konfigurasi hasil perancangan berupa jarak vertikal antarlapis 0,4 m dengan 11 lapis tulangan dan panjang tulangan berkisar 6,98 m hingga 8,21 m. Tinjauan keruntuhan global menghasilkan angka aman terbesar 1,814 terhadap syarat minimum 1,5 dan tinjauan daya dukung lokal tidak perlu dilakukan dengan alasan yang sama seperti pada perkuatan *geocell*, sehingga konfigurasi tersebut dinyatakan memenuhi persyaratan. Analisis lereng yang diperkuat dengan geotekstil menunjukkan angka aman sebesar 1,414, lereng ini dinyatakan aman karena memenuhi persyaratan minimal yaitu >1,1.
5. Perkuatan menggunakan geofoam EPS 22 dengan berat volume 0,216 kN/m^3 sebagai pengganti material timbunan menghasilkan angka aman 2,365 pada kondisi statis dan 1,852 pada kondisi gempa. Nilai tersebut tertinggi di antara ketiga alterfnatif karena geofoam bekerja dengan mengurangi beban timbunan, bukan menambah tahanan tarik pada massa tanah.
6. Hasil tinjauan penurunan pada kondisi pembebanan lalu lintas menunjukkan bahwa penerapan perkuatan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap besarnya deformasi yang terjadi. Pada kondisi lereng eksisting, penurunan maksimum yang terjadi sebesar 0,0049 m atau 4,90 mm. Setelah dilakukan perkuatan, alternatif geocell menghasilkan penurunan terkecil yaitu sebesar

0,00052 m atau 0,52 mm, sedangkan alternatif geotekstil menghasilkan penurunan sebesar 0,0049 m atau 4,90 mm, dan alternatif geofoam menghasilkan penurunan terbesar yaitu sebesar 0,1105 m atau 110,50 mm. Apabila dibandingkan dengan batas penurunan izin sebesar 20 mm sebagaimana ditetapkan dalam Panduan Geoteknik 4 tahun 2002, alternatif geocell dan geotekstil memenuhi kriteria kelayanan tersebut, sementara alternatif geofoam tidak memenuhi karena penurunannya melampaui batas izin. Alternatif geocell memberikan kinerja deformasi paling baik dengan penurunan yang hanya sekitar sebelas persen dari penurunan pada kondisi eksisting, yang menunjukkan bahwa mekanisme kekangan lateral pada struktur selnya efektif membatasi pergerakan material timbunan. Adapun geotekstil menghasilkan penurunan yang setara dengan kondisi eksisting, sehingga peningkatan yang diberikannya lebih dominan pada aspek stabilitas dibandingkan pada pengendalian deformasi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tinjauan penurunan akibat beban lalu lintas memberikan hasil yang tidak selalu sejalan dengan tinjauan angka aman, sehingga kedua kriteria tersebut perlu ditinjau secara bersamaan dalam pemilihan alternatif perkuatan.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penulisan Tugas Akhir ini sebagai berikut.

1. Pemilihan jenis perkuatan disesuaikan dengan sasaran penanganan. Karena angka aman geocell sebesar 1,816 dan geotekstil sebesar 1,814 pada kondisi statis nyaris sama, pemilihan jenis perkuatan di lapangan sebaiknya tidak hanya didasarkan pada angka aman. Geocell lebih disarankan apabila prioritasnya adalah pengendalian penurunan, tahanan gelincir, dan kekakuan permukaan lereng, mengingat penurunan yang dihasilkan hanya sebesar 0,00052 m atau sekitar sebelas persen dari penurunan pada kondisi eksisting. Adapun geotekstil lebih disarankan apabila prioritasnya adalah kemudahan pelaksanaan dan ketersediaan material di sekitar lokasi pekerjaan, karena

penurunan yang dihasilkannya sebesar 0,0049 m atau setara dengan kondisi eksisting.

2. Pengaruh muka air tanah dan sistem drainase perlu ditinjau lebih lanjut. Mengingat penurunan tegangan efektif akibat naiknya muka air tanah sangat memengaruhi angka aman lereng, disarankan dilakukan analisis pada beberapa variasi kedudukan muka air tanah, termasuk kondisi hujan ekstrem, serta perencanaan drainase lereng agar tekanan air pori dapat dikendalikan selama masa layan.
3. Kajian geofoam dapat dilanjutkan sebagai penelitian tersendiri. Geofoam menghasilkan angka aman tertinggi, yaitu 2,365 pada kondisi statis dan 1,852 pada kondisi gempa. Penurunan yang dihasilkannya sebesar 0,1105 m masih melampaui batas izin sebesar 20 mm. Penelitian selanjutnya disarankan meninjau geofoam secara khusus, termasuk variasi tebal dan tipe EPS, kriteria angka aman yang berlaku untuk material ringan, serta perilaku jangka panjangnya terhadap rangkak dan penyerapan air.
4. Perlu tinjauan aspek pelaksanaan dan biaya. Penelitian ini terbatas pada aspek stabilitas dan deformasi. Agar hasilnya lebih aplikatif bagi pihak pelaksana, disarankan dilakukan perbandingan kebutuhan material, metode pemasangan, waktu pelaksanaan, serta rencana anggaran biaya dari masing-masing alternatif perkuatan.

DAFTAR PUSTAKA

Anggraini, M., Pratikso & Maizir, H. (2024). Pemodelan numerik penggunaan geofoam sebagai timbunan pada *subgrade*. *Jurnal Sainstek*, 12(2), 285–293. https://doi.org/10.35583/js.v12i2.281

ASTM International. (2020). Standard terminology for geosynthetics (ASTM D4439-20). West Conshohocken, PA: ASTM International.

Badan Pusat Statistik Kota Bandung. (2024). *Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Kota Bandung tahun 2024* (Berita Resmi Statistik No. 21/12/Th. VII). Bandung: BPS Kota Bandung.

BM. (2009). Perencanaan dan pelaksanaan dinding penahan tanah yang diperkuat geosintetik. Jakarta: Direktorat Bina Teknik, Direktorat Jenderal Bina Marga.

Bowles, J. E. (1996). Foundation analysis and design (5th ed.). New York: McGraw-Hill.

BSN. (2017). SNI 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Darwis. (2018). Dasar-dasar mekanika tanah. Diperoleh dari https://www.researchgate.net/publication/386480701

Das, B. M. & Sobhan, K. (2018). Principles of geotechnical engineering (9th ed.). Boston, MA: Cengage Learning.

Elias, V., Christopher, B. R. & Berg, R. R. (2001). *Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes: Design and construction guidelines* (Publication No. FHWA-NHI-00-043). Washington, DC: National Highway Institute, Federal Highway Administration.

Fathurrozi. (2011). APLIKASI GEOSINTETIK DALAM REKAYASA GEOTEKNIK PADA BANGUNAN SIPIL. *Intekna*, *11*(1), 6–12.

Fitriansyah, M., Kurniawan, K., Anggarini, E. & I. M. (2024). Analisis stabilitas lereng pada tanah lempung lunak Kabupaten Kapuas dengan perkuatan geocell menggunakan program PLAXIS dan metode Fellenius. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2024.

Foam-Control Geofoam. (2019). *ASTM D6817 and ASTM C578: Physical*

properties of Foam-Control geofoam (Lembar data teknis GF12-1-01/19). Diperoleh dari https://www.geofoam.com

Griffiths, D. V. & Lane, P. A. (1999). Slope stability analysis by finite elements. Géotechnique, 49(3), 387–403. https://doi.org/10.1680/geot.1999.49.3.387

Hardiyatmo, H. C. (2003). Mekanika tanah 2. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. (2006). Penanganan tanah longsor dan erosi. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. (2008). Geosintetik untuk rekayasa jalan raya: Perancangan dan aplikasi. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. (2010). Mekanika tanah 1 (Ed. 7). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. (2018). Mekanika tanah 2 (Ed. 6). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Haris, V. T., Lubis, F. & Winayati, W. (2018). Cohesion Value and Soil Shear Angle at South Gate Access of Lancang Kuning University. *SIKLUS: Jurnal Teknik Sipil*, *4*(2), 123–130.

Horvath, J. S. (1994). Expanded polystyrene (EPS) geofoam: An introduction to material behavior. Geotextiles and Geomembranes, 13(4), 263–280. https://doi.org/10.1016/0266-1144(94)90048-5

Hynes-Griffin, M. E. & Franklin, A. G. (1984). Rationalizing the seismic coefficient method (Miscellaneous Paper GL-84-13). Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.

Jin, F. (2025). Large-scale shaking table test and numerical analysis of seismic performance of geocell retaining wall. *Frontiers in Earth Science*, *13*(July), 1–17. https://doi.org/10.3389/feart.2025.1607359

Look, B. G. (2007). Handbook of geotechnical investigation and design tables. London: Taylor & Francis.

Martini & Al-anshori, F. (2014). *DAYA DUKUNG TANAH GAMBUT Study on the Influence of the Number and Width of the Geotextile Reinforcement to the Bearing Capacity of Peat Soil*.

Maulana, A. F., Sebastian, E. & Firmansyah, Y. K. (2024). Tinjauan kebutuhan geotextile pada timbunan tinggi di atas tanah lunak. Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik, 4(1), 58–66. https://doi.org/10.55606/juprit.v4i1.4657

Mehdipour, I., Ghazavi, M. & Ziaie Moayed, R. (2017). Stability analysis of geocell-reinforced slopes using the limit equilibrium horizontal slice method. International Journal of Geomechanics, 17(9). https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000935

Murdoko, B., Kustiani, I. & Waluyo, S. (2023). Penggunaan Geotextile Non Woven Pada Perencanaan Teknis dan Peningkatan Jalan Penumangan. *Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)*, *3*(2). https://doi.org/10.23960/snip.v3i2.438

Pramulandani, A. & Hamdhan, I. N. (2021). Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geocell Menggunakan Metode Elemen Hingga (PLAXIS 2D). *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, *6*(2), 86. https://doi.org/10.26760/rekaracana.v6i2.86

Prasetyo, I., Setiawan, B. & Dananjaya, R. H. (2017). Analisis stabilitas lereng bertingkat dengan perkuatan geotekstil menggunakan metode elemen hingga. e-Jurnal Matriks Teknik Sipil, 5(3), 922–926.

Rumbyarso, Y. P. A. & Pribadi, G. (2023). Penggunaan program PLAXIS dalam studi penelitian perkuatan geotextile pada kestabilan lereng buatan. Jurnal Sipil Krisna, 9(1), 22–26.

Santosa, B., Suprapto, H. & Suryadi, H. S. (1998). Dasar mekanika tanah. Jakarta: Gunadarma.

Satriyo, N. A., Mulyono, A., Wibawa, S., Yuliyanti, A., Sari, A. M., Putra, M. H. Z. & Arfiyansyah, K. (2024). The review of the geological disaster of Bandung Basin subsurface: perspective from geological approach. *Geology, Ecology, and Landscapes*, *9*(3), 933–951. https://doi.org/10.1080/24749508.2024.2359781

Schmertmann, J. H. (1978). *Cone penetration test performance and design friction ratio profile of cone data*. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/958

Siswanda, F. M. & Riswandi, H. (2024). Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan

Mohr-Coulomb dan Generalized Hoek-Brown pada Tambang Terbuka Batubara, Desa Tegalrejo dan sekitarnya, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatra Selatan. *Jurnal Ilmiah Geologi Pangea Vol. 11 No. 1*, *11*(1), 79–93.

Tan, C. K., Duncan, J. M., Rojiani, K. B. & Barker, R. M. (1991). Engineering Manual for Shallow Foundations. In *Report 343*.

Terzaghi, K. & Peck, R. B. (1967). Soil mechanics in engineering practice (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Tini, Tohari, A. & Mimin, I. (2017). Analisis potensi likuifaksi akibat gempa bumi menggunakan metode SPT (Standard Penetration Test) dan CPT (Cone Penetration Test) di Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Wahana Fisika, 2(1), 8–27.

Warman, R. S. (2019). Kumpulan korelasi parameter geoteknik dan fondasi. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Wijaya, H., Sandjaja S, G. & Prihatiningsih, A. (2023). PENGGUNAAN GEOCELL UNTUK STABILISASI DAN PERLINDUNGAN EROSI PADA LERENG. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, *Volume 6*.

LAMPIRAN 1

PUTRA DWI MANDIRI

Engineering Consultant

SUMMARY OF LABORATORIUM

PROJECT : GEDUNG BTN DAGO

LOCATION : JL. BUKIT PAKAR TIMUR, KEL. CIBURIAL, KEC. CIMENYAN, KAB. BANDUNG

Borehole	No.	Depth	Sample Type	Soil Description	USCS	Index Properties															Engineering Properties															
						Water Content	Bulk Density	Dry Density	Specific Gravity	Initial Void Ratio	Porosity	Degree of Saturation	Atterberg Limit				Grain Size				Consolidation			Triaxial CU				Triaxial UU		UCT	
													LL	PL	IP	LI	Clay	Silt	Sand	Gravel	Pc	Cc	Cr	Ccu	ØCU	cCU'	ØCU'	c_{uu}	$\emptyset_{uu}$	Cu	Sv
		(m)				%	gr/cm³	gr/cm³	-	-	%	%	-	-	-	-	%	%	%	%	kg/cm²	-	-	kg/cm2	°	kg/cm2	°	kg/cm²	°	kg/cm²	
BH - 01	1	1.50 - 2.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	62.70	1.59	0.98	2.74	1.81	0.64	95.00	68	59.76	8.24	0.357	25	55	17	0	2.25	0.51	0.12	0.45	18.7	0.42	22.6	-	-	-	-
	2	3.50 - 4.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	64.48	1.57	0.95	2.71	1.85	0.65	95.00	71	59.37	11.63	0.439	28	56	16	0	2.40	0.53	0.12	0.22	21	0.16	26.9	-	-	-	-
	3	5.50 - 6.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	66.14	1.50	0.90	2.71	2.01	0.67	90.00	84	62.75	21.25	0.160	15	40	42	1	1.30	0.64	0.25	0.07	27.5	0.01	38.8	-	-	-	-
	4	7.50 - 8.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	59.59	1.58	0.99	2.63	1.66	0.62	94.00	66	55.48	10.52	0.391	22	40	31	7	2.60	0.66	0.24	-	-	-	-	0.41	10.2	-	-
	5	9.50 - 10.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	58.06	1.57	0.99	2.62	1.65	0.62	93.00	65	55.87	9.13	0.239	21	35	36	8	2.75	0.67	0.21	-	-	-	-	0.44	7.4	-	-
BH - 02	1	1.50 - 2.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	54.17	1.64	1.06	2.65	1.49	0.60	96.00	67	48.21	18.79	0.317	56	22	21	1	4.05	0.54	0.09	0.04	27.4	0.02	38.1	-	-	-	-
	2	5.50 - 6.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	51.02	1.69	1.12	2.66	1.37	0.58	98.00	64	43.87	20.13	0.355	42	35	23	0	4.05	0.56	0.08	0.24	21	0.21	28.9	-	-	-	-
	3	7.50 - 8.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	68.44	1.52	0.90	2.74	2.05	0.67	92.00	74	61.09	12.71	0.570	21	51	28	0	4.40	0.50	0.12	-	-	-	-	0.07	26.56	-	-
	4	9.50 - 10.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	63.31	1.55	0.95	2.74	1.88	0.65	92.00	76	58.91	17.09	0.257	21	53	26	0	3.00	0.39	0.12	-	-	-	-	0.11	23.74	-	-
BH - 03	1	1.50 - 2.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	49.88	1.69	1.13	2.73	1.43	0.59	95.00	59	42.92	16.08	0.433	60	25	15	0	4.10	0.59	0.12	0.11	23.8	0.04	32	-	-	-	-
	2	3.50 - 4.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	52.24	1.50	0.99	2.75	1.78	0.64	80.00	62	45.56	16.44	0.407	54	32	15	0	4.00	0.61	0.13	0.32	19.3	0.24	29.1	-	-	-	-
	3	5.50 - 6.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	60.57	1.54	0.96	2.60	1.72	0.63	92.00	64	55.61	8.39	0.591	24	39	37	0	4.60	0.40	0.06	-	-	-	-	0.37	17.22	-	-
	4	7.50 - 8.00	DS	Lanauan Elastis	MH	54.45	-	-	2.67	-	-	-	62	50.55	11.45	0.340	25	48	26	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BH - 04	1	1.50 - 2.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	55.80	1.60	1.03	2.68	1.62	0.62	93.00	60	52.46	7.54	0.444	17	41	42	0	2.20	0.37	0.09	0.1	26	0.06	33.9	-	-	-	-
	2	3.50 - 4.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	58.06	1.56	0.99	2.68	1.71	0.63	91.00	64	54.45	9.55	0.379	28	40	32	0	2.60	0.82	0.18	0.17	20	0.16	26.4	-	-	-	-
	3	5.50 - 6.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	60.79	1.53	0.95	2.61	1.74	0.64	91.00	74	56.01	17.99	0.265	32	40	28	0	2.80	0.75	0.17	-	-	-	-	0.1	24.22	-	-
	4	11.50 - 12.00	DS	Lanauan Elastis	MH	56.58	-	-	2.66	-	-	-	76	52.37	23.63	0.178	30	44	26	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BH - 05	1	1.50 - 2.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	70.59	1.41	0.83	2.69	2.24	0.69	85.00	94	64.11	29.89	0.217	19	50	31	0	1.75	0.59	0.17	-	-	-	-	-	-	0.37	1.06
	2	3.50 - 4.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	67.69	1.49	0.89	2.71	2.06	0.67	89.00	103	63.60	39.40	0.104	18	52	29	1	2.90	0.42	0.06	0.15	28	0.11	38.8	-	-	-	-
	3	5.50 - 6.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	53.91	1.62	1.05	2.69	1.56	0.61	93.00	64	47.49	16.51	0.389	44	33	21	2	2.20	0.39	0.06	0.3	16.4	0.23	23.8	-	-	-	-
	4	7.50 - 8.00	DS	Lanauan Elastis	MH	48.82	-	-	2.68	-	-	-	66	43.67	22.33	0.231	41	40	18	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BH - 06	1	1.50 - 2.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	97.85	1.41	0.71	2.74	2.84	0.74	95.00	132	92.98	39.02	0.125	41	55	4	0	1.30	0.86	0.28	0.15	6.84	0.08	9.65	-	-	-	-
	2	5.50 - 6.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	94.19	1.42	0.73	2.74	2.74	0.73	94.00	114	91.93	22.07	0.102	41	55	4	0	1.60	0.93	0.25	0.21	3.43	0.22	3.43	-	-	-	-
	3	7.50 - 8.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	63.75	1.61	0.98	2.68	1.74	0.63	97.00	76	52.59	23.41	0.477	46	50	4	0	2.75	0.58	0.07	0.2	11.31	0.16	15.64	-	-	-	-
	4	9.50 - 10.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	67.57	1.54	0.92	2.74	1.98	0.66	94.00	70	57.70	12.30	0.803	33	47	20	0	2.60	0.62	0.08	-	-	-	-	0.42	11.3	-	-
	5	11.50 - 12.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	54.96	1.55	1.00	2.74	1.73	0.63	87.00	77	45.37	31.63	0.303	56	39	5	0	2.00	0.51	0.14	-	-	-	-	0.42	12.4	-	-
BH - 07	1	1.50 - 2.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	49.27	1.66	1.11	2.73	1.45	0.59	93.00	75	44.52	30.48	0.156	56	36	8	0	2.80	0.30	0.09	0.17	7.41	0.16	10.76	-	-	-	-
	2	3.50 - 4.00	UDS	Lanauan Elastis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07	7.41	0.07	9.65	-	-	-	-
	3	5.50 - 6.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	46.16	1.60	1.09	2.64	1.42	0.59	86.00	80	43.77	36.23	0.066	14	81	5	0	1.60	0.58	0.27	-	-	-	-	0.14	32.21	-	-
	4	7.50 - 8.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	44.74	1.69	1.17	2.66	1.28	0.56	93.00	82	39.87	42.13	0.116	39	55	6	0	1.20	0.57	0.25	-	-	-	-	0.18	29.68	-	-
	5	9.50 - 10.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	74.02	1.48	0.85	2.68	2.15	0.68	92.00	82	64.41	17.39	0.541	63	35	2	0	1.50	0.53	0.25	-	-	-	-	0.42	15.64	-	-
	6	11.50 - 12.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	77.80	1.48	0.83	2.70	2.24	0.69	94.00	80	69.04	10.96	0.799	53	47	10	0	2.80	0.83	0.16	-	-	-	-	0.52	11.3	-	-
BH - 08	1	3.50 - 4.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	54.59	1.66	1.08	2.75	1.56	0.61	96.00	59	52.24	6.76	0.349	43	39	14	4	2.30	0.39	0.09	0.07	11.31	0.06	16.7	-	-	-	-
	2	5.50 - 6.00	UDS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	7.41	0.13	9.65	-	-	-	-
	3	7.50 - 8.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	41.42	1.52	0.87	2.60	1.97	0.66	97.00	72	71.10	20.90	0.159	25	55	20	0	2.10	0.55	0.09	-	-	-	-	0.65	1.14	-	-
	4	9.50 - 10.00	UDS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.44	12.4	-	-
	5	11.50 - 12.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	75.44	1.49	0.85	2.62	2.10	0.68	94.00	90	70.84	19.16	0.240	35	57	8	0	2.30	0.62	0.08	-	-	-	-	0.5	14.03	-	-
	6	13.50 - 14.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	70.84	1.47	0.86	2.61	2.04	0.67	91.00	72	68.46	3.54	0.673	48	35	17	0	1.70	0.75	0.39	-	-	-	-	0.7	11.3	-	-
	7	15.50 - 16.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	70.30	1.56	0.92	2.65	1.89	0.65	98.00	77	65.80	11.20	0.402	40	46	14	0	1.30	0.63	0.26	-	-	-	-	0.72	10.2	-	-
BH - 09	1	1.50 - 2.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	50.22	1.62	1.08	2.62	1.44	0.59	92.00	84	48.61	35.39	0.045	51	42	7	0	1.50	0.35	0.09	0.1	12.41	0.18	10.76	-	-	-	-
	2	3.50 - 4.00	UDS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.40	0.33	0.10	0.24	2.29	0.29	6.84	-	-	-	-
	3	5.50 - 6.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	71.27	1.49	0.87	2.70	2.10	0.68	92.00	90	59.56	30.44	0.385	62	33	5	0	3.50	0.88	0.18	-	-	-	-	0.47	6.27	-	-
	4	7.50 - 8.00	UDS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.42	9.64	-	-
	5	9.50 - 10.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	70.70	1.52	0.89	2.68	2.01	0.67	94.00	90	56.95	33.05	0.416	45	48	7	0	2.90	0.80	0.17	-	-	-	-	0.48	6.27	-	-
	6	11.50 - 12.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	75.88	1.52	0.86	2.59	2.00	0.67	98.00	77	68.49	8.51	0.869	36	44	20	0	0.80	0.34	0.21	-	-	-	-	0.18	19.29	-	-
BH - 10	1	1.50 - 2.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	57.40	1.58	1.00	2.63	1.62	0.62	93.00	82	55.21	26.79	0.082	16	80	4	0	4.20	0.75	0.18	0.1	6.28	0.09	7.97	-	-	-	-
	2	3.50 - 4.00	UDS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.40	0.51	0.19	0.1	12.41	0.18	10.76	-	-	-	-
	3	5.50 - 6.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	60.43	1.58	0.99	2.64	1.68	0.63	95.00	82	56.16	25.84	0.165	37	61	2	0	1.75	0.40	0.09	-	-	-	-	0.43	7.4	-	-
	4	7.50 - 8.00	UDS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.80	0.59	0.13	-	-	-	-	0.45	8.53	-	-
	5	9.50 - 10.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	91.95	1.43	0.74	2.62	2.52	0.72	95.00	93	82.83	10.17	0.897	47	44	9	0	1.40	0.41	0.10	-	-	-	-	0.51	4.57	-	-
	6	11.50 - 12.00	UDS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.47	7.4	-	-
	7	15.50 - 16.00	UDS	Lanauan Elastis	MH	47.43	1.54	1.05	2.75	1.63	0.62	80.00	65	44.75	20.25	0.132	46	30	24	0	2.90	2.23	0.42	-	-	-	-	0.17	14.57	-	-

BORING LOG

BH-02

START DATE	: 24 MARET 2024
FINISH DATE	: 27 MARET 2024
BORE DEPTH	: 30 M
CORE DIA.	: 7.30 CM
ELEVATION	: 933.04
GWL	: -
HAMMER TYPE	: AUTOMATIC DROP HAMMER
COORDINATE	: X: 324894.215 Y:741160.516

ENGINEER : RY
DRILLER : TT

Notes :
: Undisturbed Sample
: Disturbed Sample
: Standard Penetration Test

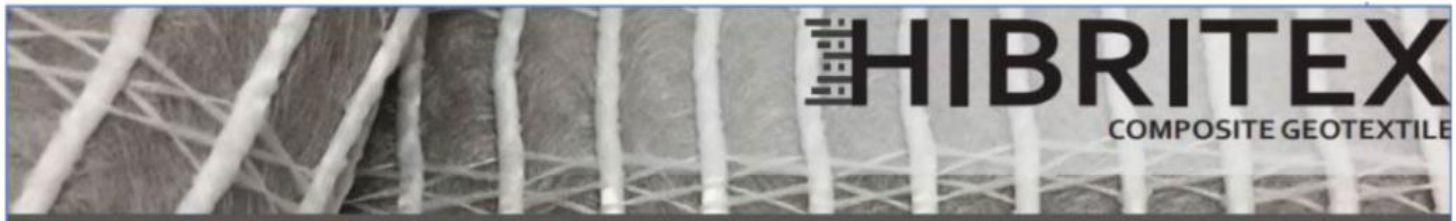
PROJECT NO. : R-SI-PDM
PROJECT : GEDUNG BTN DAGO
LOCATION : JL. BUKIT PAKAR TIMUR, KEB. BANDUNG, JAWA BARAT

Date Of Boring	Water Level	Depth (m)	Soil Description	Sampling Depth (m)	Sample	N_1	N_2	N_3	N	Type	C/Cu kg/cm²	ϕ/ϕ' (°)	q_u kg/cm²	Wn	Density (ton/m³)	Gs	e	LL	PL	LI	Clay	Silt	Sand	Gravel
20 MARET 2024	▼	0	Clayey silt, brown, medium stiff consistency	0.50																				
		1		1.50																				
		2		2.50		2	2	3	5	CU	0.04 0.02	27.4 38.9	-	54.17	1.64	2.64	1.49	67	48.21	0.317	56	22	21	1
		3		3.50																				
		4		4.50		2	4	4	8															
		5		5.50																				
		6		6.50		1	1	3	4	CU	0.24 0.21	21 28.9	-	51.02	1.69	2.66	1.37	64	43.87	0.355	42	35	23	0
		7	Clayey silt, brown, very stiff to hard consistency	7.50																				
		8		8.50		7	12	20	32	UU	0.07	26.56	-	68.44	1.52	2.74	2.05	74	61.09	0.570	21	51	28	0
		9		9.50																				
		10		10.50		6	10	18	28	UU	0.11	23.74	-	63.31	1.55	2.74	1.88	76	58.91	0.257	21	53	26	0
21 MARET 2024		11	Sand, grayish brown	11.50																				
		12	Sand insert gravel, grayish brown, very dense relative density	12.50		24	40	35	60															
		13		13.50																				
		14		14.50		19	34	45	60															
		15		15.50																				
		16		16.50		21	40	42	60															
		17	Sand, grayish brown, very dense relative density	17.50																				
		18		18.50		17	26	35	60															
		19		19.50																				
		20		20.50		15	24	31	60															
22 MARET 2024		21	Silty sand insert gravel, grayish brown very dense relative density	21.50																				
		22		22.50		22	40	35	60															
		23	Silty sand insert gravel, grayish brown	23.50																				
		24	Gravel insert sand, black, very dense relative density	24.50		45	30	30	60															
		25	Gravel insert sand, black	25.50																				
		26		26.50		21	30	40	60															
		27		27.50																				
		28	Sand, grayish brown, very dense relative density	28.50		17	22	31	53															
		29		29.50																				
		30				20	29	34	60															

Symbol :
: Clay
: Silt
: Sand
: Gravel
: Silty clay
: Clayey silt
: Silty sand
: Sand silt

PT. PUTRA DWI MANDIRI

LAMPIRAN 2



HIBRITEX MATERIAL PROPERTY		UNIT	LP 55	LP 75	LP 105	LP 155	LP 205	LP 55/55	LP 75/75	LP 105/105
Property										
Characteristic short term tensile strength (ISO 10319)	MD	kN/m	55	75	105	155	205	55	75	105
Characteristic short term tensile strength (ISO 10319)	CD	kN/m	15	15	15	15	15	55	75	105
Strain at short term strength	MD	%	10	10	10	10	10	10	10	10
Partial factor - creep rupture at 120 years design life			1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
Creep limited strength at 120 years design life		kN/m	35.5	48.4	67.7	100.0	132.3	35.5	48.4	67.7
Partial factor - construction damage in clay, silt or sand			1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00
Partial factor - environmental effects soil environment, pH < 11 at 120 years design life			1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10

LAMPIRAN 3

FOAM-CONTROL GEOFOAM™

ASTM D6817 AND ASTM C578

This table outlines a few key physical properties of Foam-Control Geofoam in accordance with ASTM D6817, "Standard Specification for Rigid Cellular Polystyrene Geofoam" compared to Foam-Control insulation in accordance with ASTM C578, "Standard Specification for Rigid, Cellular Polystyrene Thermal Insulation".

Product		GEOFOAM 12	GEOFOAM 15	GEOFOAM 19	GEOFOAM 22	GEOFOAM 29	GEOFOAM 39	GEOFOAM 46	FOAM CONTROL 50	FOAM CONTROL 100	FOAM CONTROL 130	FOAM CONTROL 150	FOAM CONTROL 250	FOAM CONTROL 400	FOAM CONTROL 600
ASTM D6817[1] Compliance, Type		EPS12	EPS15	EPS19	EPS22	EPS29	EPS39	EPS46							
ASTM C578[2] Compliance, Type									XI	I	VIII	II	IX	XIV	XV
Density[1,2], min., ASTM C303	lb/ft³ (kg/m³)	0.70 (11)	0.90 (15)	1.15 (18)	1.35 (22)	1.80 (29)	2.40 (38)	2.85 (46)	0.70 (12)	0.90 (15)	1.15 (18)	1.35 (22)	1.80 (29)	2.40 (38)	3.0 (48)
Compressive Resistance @1% deformation[1], min., ASTM D1621	psi (kPa)	2.2 (15)	3.6 (25)	5.8 (40)	7.3 (50)	10.9 (75)	15.0 (103)	18.6 (128)							
Compressive Strength @10%[2], min., ASTM D1621	psi (kPa)								5 (35)	10 (69)	13 (90)	15 (104)	25 (173)	40 (276)	60 (414)
R-value[2], Thermal Resistance, per inch, ASTM C518	°F·ft²·h/Btu (°K·m²/W)								3.2 (0.56)	3.9 (0.68)	3.9 (0.69)	4.2 (0.73)	4.4 (0.77)	4.4 (0.77)	4.5 (0.78)
Flexural Strength[1,2], min. ASTM C203	psi (kPa)	10 (69)	25 (172)	30 (207)	35 (240)	50 (345)	60 (414)	75 (517)	10 (69)	25 (173)	30 (208)	35 (242)	50 (345)	60 (414)	75 (517)
Oxygen Index[1,2], min.	vol. %	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

[1] Please refer to ASTM D6817 specification for complete information.
[2] Please refer to ASTM C578 specification for complete information.

GF12-1-01/19