TUGAS AKHIR

EVALUASI PERKUATAN LERENG GALIAN DENGAN METODE *MECHANICALLY STABILIZED EARTH* (MSE) *WALL*

(Studi Kasus: Gedung Universitas Islam Negeri Malang Kampus 3)

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

IKA NUR FATMA SHOLIHA LUBIS
22511210

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

2026

TUGAS AKHIR

EVALUASI PERKUATAN LERENG GALIAN DENGAN METODE *MECHANICALLY STABILIZED EARTH* (MSE) *WALL*

(Studi Kasus: Gedung Universitas Islam Negeri Malang Kampus 3)

Disusun oleh

Ika Nur Fatma Sholiha Lubis

22511210

Telah diterima sebagai salah satu pesyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 28 Agustus 2026

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing :
Ir. Muhammad Irfan Marasabessy, S.T., M.T.
NIK : 245110502
Tanggal : 31 Agustus 2026

Penguji I :
Melinda Dwi Rahmawati, S.T., M.Eng.
NIK : 245111202
Tanggal : 29 Agustus 2026

Penguji II :
Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.
NIK : 215111305
Tanggal : 29 Agustus 2025

Mengesahkan
Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana

31/8-26

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian Program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagain laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, Agustus 2026

Yang membuat pernyataan,



Ika Nur Fatma Sholiha Lubis

22511210

KATA PENGANTAR

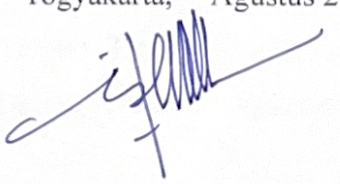
Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir berjudul "Evaluasi Perkuatan Lereng Galian dengan Metode *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* (Studi Kasus: Gedung Universitas Islam Negeri Malang Kampus 3)" dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan studi Strata Satu pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Namun demikian, penyelesaian skripsi ini dapat terwujud atas bimbingan, doa, dan dukungan dari berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati, saya menyampaikan terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Ir. Muhammad Irfan Marasabessy, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran dan keikhlasan telah membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas ilmu, waktu, arahan, dan dukungan sehingga penulis sampai pada titik ini. Semoga segala kebaikan dan ketulusan Bapak mendapat balasan terbaik.
2. Dosen Penguji I, Ibu Melinda Dwi Rahmawati, S.T., M.Eng. yang telah memberikan arahan, kritik, dan saran yang membantu penulis menyempurnakan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Dosen Penguji II, Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. yang telah memberikan arahan, kritik, dan saran yang membantu penulis menyempurnakan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dinia Anggraheni S.T., M.Eng. selaku Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan yang telah memberi banyak ilmu kepada penulis selama menempuh studi di masa perkuliahan.

6. Pintu surgaku dan cinta pertamaku, Mamah dan Ayah. Terima kasih atas segala pengorbanan serta tulusnya kasih sayang yang selalu diberikan. Tiada henti melangitkan doa terbaiknya serta dukungan kepada putrinya dalam berjuang, pasti doamu yang selalu lancarkan segalaku usahaku. Semoga mamah dan ayah sehat selalu, panjang umur, dan bahagia selalu.
7. Kepada adik-adikku, Adinda Rahma Yusriyyah Lubis dan Muhammad Mara Aidil Fadhlan Lubis. Terima kasih atas doa dan dukungan kalian yang luar biasa. Kalian motivasi saya untuk lebih semangat demi hidup yang lebih baik.
8. Teruntuk Aliffiandra Hanung Wijaya, seseorang yang hadir sebagai tempat pulang di tengah lelahnya perjuangan. Terima kasih telah menjadi pendengar bagi setiap keluh kesah, tangan yang selalu membantu, dan hati yang tak pernah lelah menguatkan. *I pray you found that life, i hope the lights loves you back, and i hope the mirror reflect someone you're proud to be.*
9. Sahabat penulis, Marfa Lena Sangkala, Firda Maulidyah Sari, Helga Natura Khalida, Alre, Febri, dan Adan. Terima kasih sudah menjadi bagian dari perjalanan ini. *I hope we heal from things we no longer talk about. I hope we live the life we always dream it about.*
10. Teman-teman KKN unit 329 (Tasha, Kayla, Josa, Wafiq, Dahus, Angga, dan Arung). Terima kasih selalu mendukung dan memberikan semangat.
11. Mas Rohman selaku pembimbing magang yang senantiasa meluangkan waktu untuk membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
12. Snowy, Moyi, Koya, Chicken, Olive, yang selalu menghibur dan menemani penulis. Terima kasih sudah menjadi kebahagiaan sederhana bagi penulis.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan, doa, dan dukungan selama penyusunan Tugas Akhir.

Yogyakarta, Agustus 2026



Ika Nur Fatma Sholiha Lubis

22511210

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR i
TUGAS AKHIR ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR LAMPIRAN xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xv
ABSTRAK xvii
ABSTRACT xviii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Tinjauan Umum 7
2.2 Perkuatan Lereng dengan Dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* 8
2.2.1 Analisis Stabilitas MSE Wall dengan Stone Column di Tol Yogyakarta-Bawen 8
2.2.2 Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Tipe Mechanically Stabilized Earth (MSE) Pada Jalan Layang Bantaian Sumatera Selatan 9
2.2.3 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan MSE Wall pada Kawasan Piket Nol Lumajang 9

2.2.4 *Earth Wall* dengan Tanah Marginal dengan Pengujian Skala Penuh 10
2.2.5 Analisis Kestabilan Lereng Sebagai Pekuatan Desain MSE Pada Ruas Jalan Tol 2 Manado-Bitung STA 9+745 Menggunakan Software Slide V.6.005 10
2.3 Perbandingan dengan Penelitan Terdahulu 11
2.4 Keaslian Penelitian 18
BAB III LANDASAN TEORI 20
3.1 Tanah 20
3.1.1 Parameter Sifat Fisik Tanah 20
3.1.2 Kuat Geser 27
3.2 Lereng 29
3.3 Stabilitas Lereng 30
3.3.1 Analisis Stabilitas Lereng Statik 31
3.3.2 Analisis Stabilitas Lereng Dinamik 31
3.4 Perkuatan Lereng 33
3.4.1 Gravity Wall 33
3.4.2 Cantilever Wall 34
3.4.3 Mechanically Stabilized Earth (MSE) Wall 34
3.4.4 Parameter Pembebanan 36
3.5 *PLAXIS 2D* 37
3.5.1 Model *Hardening Soil* (HS model). 37
3.5.2 Tahapan Pengerjaan 39
BAB IV METODE PENELITIAN 40
4.1 Lokasi Penelitian 40
4.2 Tahapan Penelitian 41
4.3 Data Penelitian 42
4.3.1 Geometri Perkuatan Lereng Eksisting 42
4.3.2 Data Uji Lapangan 43
4.3.3 Data Pembebanan 44
4.4 Bagan Alir Penelitian 44
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 47

5.1 Kondisi Tanah Lereng 47
5.1.1 Penyelidikan Tanah 47
5.1.2 Hasil Pengujian Standar Penetration Test (SPT) 47
5.1.3 Parameter Tanah 49
5.2 Pembebanan 49
5.2.1 Pembebanan Statik 49
5.2.2 Klasifikasi Situs (*Site Class*) dan koefisien Gempa 50
5.3 Perkuatan Lereng Eksisting 51
5.3.1 Gravity wall 51
5.3.2 Cantilever wall 57
5.4 Perkuatan Lereng dengan MSE *Wall* 60
5.4.1 Pemodelan Lereng Tinggi 2 m 61
5.4.2 Pemodelan Lereng Tinggi 5 m 65
5.4.3 Pemodelan Lereng Tinggi 9 m 69
5.5 Evaluasi Hasil dan Perbandingan Perkuatan Lereng 76
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 81
6.1 Kesimpulan 81
6.2 Saran 82
DAFTAR PUSTAKA 84
LAMPIRAN 89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	12
Tabel 2.2	Perbandingan Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu	18
Tabel 3.1	Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah (Hardiyatmo, 2002)	24
Tabel 3.2	Nilai Modulus Elastisitas (Bowles, 1997)	25
Tabel 3.3	Nilai *Poisson Ratio* (Das & Sobhan, 2018)	26
Tabel 3.4	Nilai Sudut Geser Dalam Efektif (Das, 2010)	26
Tabel 3.5	Faktor Keamanan (BSN, 2017)	31
Tabel 3.6	Koefisien Kelas Situs (F_{PGA}) (BSN, 2017)	33
Tabel 3.7	Faktor Keamanan Terhadap Potensi Kegagalan (Deva dkk., 2025)	36
Tabel 3.8	Beban Lalu Lintas Untuk Analisis Stabilitas dan Beban Diluar (Departemen Pekerjaan Umum, 2009)	36
Tabel 5.1	Design Line N-SPT	48
Tabel 5.2	Parameter Tanah (PT Pola Data Consultant ,2023)	49
Tabel 5.3	Kelas Situs (*Site Class*) (PT Pola Data Consultant, 2023)	50
Tabel 5.4	Parameter Gravity Wall	52
Tabel 5.5	Rekapitulasi Nilai SF *Gravity Wall* Ketinggian 2 m	54
Tabel 5.6	Rekapitulasi Nilai SF *Gravity Wall* Ketinggian 5 m	57
Tabel 5.7	Parameter *Cantilever Wall*	57
Tabel 5.8	Rekapitulasi Nilai SF *Cantilever Wall* Ketinggian 9 m	60
Tabel 5.9	Parameter Geotekstil	60
Tabel 5.10	Parameter *Facing* MSE *Wall*	61
Tabel 5.11	Rekapitulasi Hasil Pemodelan MSE *Wall*	73
Tabel 5.12	Perbandingan Nilai *Safety Factor* Dinding Penahan Tanah Konvensional dan MSE *Wall* Kondisi Jangka Pendek	80
Tabel 5.13	Perbandingan Nilai *Safety Factor* Dinding Penahan Tanah Konvensional dan MSE *Wall* Kondisi Jangka Panjang	80
Tabel 5.14	Rekapitulasi Volume Perkuatan Lereng	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1	Lokasi Penelitian	40
Gambar 3.1	Kompnen Penyusun Berat Volume	21
Gambar 3.2	Variasi Faktor Keamanan Terhadap Waktu Untuk Timbunan	28
Gambar 3.3	Variasi Faktor Keamanan Terhadap Waktu Untuk Galian	29
Gambar 3.4	Kelongsoran Lereng Dengan Nilai Koefisien Gempa	32
Gambar 3.5	Peta Percepatan Gempa di Indonesia	33
Gambar 3.6	Komponen *Mechanically Stablized Earth Wall* (MSE) *Wall*	35
Gambar 3.7	Kegagalan Global pada Dinding MSE Wall	35
Gambar 4.1	Peta Lokasi Titik Penyelidikan Tanah	41
Gambar 4. 2	Dinding Perkuatan Eksisting Ketinggian 2 m	42
Gambar 4.3	Dinding Perkuatan Eksisting Ketinggian 5 m	43
Gambar 4.4	Dinding Perkuatan Eksisting Ketinggian 9 m	43
Gambar 4.5	Nilai N-SPT Pada Lokasi Pengeboran	44
Gambar 4.6	Bagan Alir	45
Gambar 5.1	Lokasi Titik Pengeboran	47
Gambar 5.2	*Design line* N-SPT	48
Gambar 5.3	PGA Batuan Dasar	51
Gambar 5.4	*Gravity Wall* 2 m	52
Gambar 5.5	Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Statik (TSA)	53
Gambar 5.6	Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Gempa (TSA)	53
Gambar 5.7	Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Statik (ESA)	53
Gambar 5.8	Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Gempa (ESA)	54
Gambar 5.9	Garvity *Wall* 5 m	55

Gambar 5.10 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Statik (TSA) 55
Gambar 5.11 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Gempa (TSA) 56
Gambar 5.12 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Statik (ESA) 56
Gambar 5.13 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Gempa (ESA) 56
Gambar 5.14 *Cantilever Wall* 9 m 58
Gambar 5.15 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan *Cantilever Wall* pada Kondisi Beban Statik (TSA) 58
Gambar 5.16 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan *Cantilever Wall* pada Kondisi Beban Gempa (TSA) 59
Gambar 5.17 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan *Cantilever Wall* pada Kondisi Beban Statik (ESA) 59
Gambar 5.18 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan *Cantilever Wall* pada Kondisi Beban Gempa (ESA) 59
Gambar 5.19 Pemodelan MSE *Wall* Ketinggian 2 m 61
Gambar 5.20 Tahapan Konstruksi MSE *Wall* Ketinggian 2 m 62
Gambar 5.21 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Statik (TSA) 62
Gambar 5.22 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Gempa (TSA) 63
Gambar 5.23 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Statik (ESA) 63
Gambar 5.24 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Gempa (ESA) 63
Gambar 5.25 Deformasi *Facing* MSE *Wall* Ketinggian 2 m (TSA) 64
Gambar 5.26 Deformasi *Facing* MSE *Wall* Ketinggian 2 m (ESA) 64
Gambar 5.27 Pemodelan MSE *Wall* Ketinggian 5 m 65
Gambar 5.28 Tahapan Konstruksi MSE *Wall* Ketinggian 5 m 66

Gambar 5.29 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Statik (TSA) 66
Gambar 5.30 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Gempa (TSA) 67
Gambar 5.31 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Statik (ESA) 67
Gambar 5.32 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Gempa (ESA) 67
Gambar 5.33 Deformasi *Facing* MSE *Wall* Ketinggian 5 m (TSA) 68
Gambar 5.34 Deformasi *Facing* MSE *Wall* Ketinggian 5 m (ESA) 68
Gambar 5.35 Pemodelan MSE *Wall* Ketinggian 9 m 69
Gambar 5.36 Tahapan Konstruksi MSE *Wall* Ketinggian 9 m 70
Gambar 5.37 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Statik (TSA) 70
Gambar 5.38 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Gempa (TSA) 71
Gambar 5.39 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Statik (ESA) 71
Gambar 5.40 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Gempa (ESA) 71
Gambar 5.41 Deformasi Horizontal Lereng 9 m pada Kondisi TSA 72
Gambar 5.42 Deformasi Horizontal Lereng 9 m pada Kondisi ESA 72
Gambar 5.43 Grafik Nilai *Safety Factor* Perkuatan MSE *Wall* pada Setiap Tahapan Konstruksi Ketinggian 2 m 73
Gambar 5.44 Grafik Nilai *Safety Factor* Perkuatan MSE *Wall* pada Setiap Tahapan Konstruksi Ketinggian 5 m 74
Gambar 5.45 Grafik Nilai *Safety Factor* Perkuatan MSE *Wall* pada Setiap Tahapan Konstruksi Ketinggian 5 m 75
Gambar 5.46 Perbandingan Stabilitas DPT Konvensional dan MSE *Wall* Ketinggian 2 m pada Kondisi TSA 76

Gambar 5.47 Perbandingan Stabilitas DPT Konvensional dan MSE *Wall* Ketinggian 2 m pada Kondisi ESA 77
Gambar 5.48 Perbandingan Stabilitas DPT Konvensional dan MSE *Wall* Ketinggian 5 m pada Kondisi TSA 77
Gambar 5.49 Perbandingan Stabilitas DPT Konvensional dan MSE *Wall* Ketinggian 5 m pada Kondisi ESA 78
Gambar 5.50 Perbandingan Stabilitas DPT Konvensional dan MSE *Wall* Ketinggian 9 m pada Kondisi TSA 79
Gambar 5.51 Perbandingan Stabilitas DPT Konvensional dan MSE *Wall* Ketinggian 9 m pada Kondisi ESA 79

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Permohonan Data 89
Lampiran 2 Data Penyelidikan Tanah 90
Lampiran 3 Parameter Desain 92
Lampiran 4 *Shop Drawing* 93
Lampiran 5 *Time Schedule* 97

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

γb = Berat volume basah (kN/m^3)

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

V = Volume total tanah (m^3)

γd = Berat volume kering (kN/m^3)

Ws = Berat tanah padat (kN)

γsat = Berat volume jenuh (kN/m^3)

γs = Berat volume padat (kN/m^3)

Ws = Berat tanah padat (kN)

Vs = Volume tanah padat (m^3)

Es = Modulus elastisitas

v = *Poisson ratio*

ϕ' = Sudut geser dalam

τ = Kuat geser tanah (kN/m^2)

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

ϕ = Sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek intern (derajat)

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

c’ = Kohesi tanah efektif (kN/m^2)

σ' = Tegangan normal efektif (kN/m^2)

u = Tekanan air pori (kN/m^2)

Kh = koefisien gempa horizontal

PGA = *Peak Ground Acceleration*

FPGA = Faktor koefisien situs untuk PGA

FHWA = Federal Highway Administration

λ = Lambda

E_{50} = Modulus kekakuan pembebanan triaksial 50% (kN/m^2)

Eu^r = Kekakuan *unloading* tiaksial (kN/m^2)

$E_{oe}d$ = Kekakuan eodemeter (kN/m^2)

I = Inersia

Su = *Undrained shear strenght*

f’c = Mutu beton

SF = Faktor keamanan

SNI = Standar Nasional Indonesia

SA = Batuan Keras

SB = Batuan

SC = Tanah keras sangat padat

SD = Tanah sedang

SE = Tanah lunak

SF = Tanah khusus

Gs = Berat jenis butiran tanah

SRM = *Strength Reduction Method*

ABSTRAK

Lereng pada Kawasan Gedung Ar-Rohim Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Kampus 3 memiliki variasi ketinggian dan berpotensi mengalami ketidakstabilan. Pada kondisi eksisting, lereng diperkuat dengan menggunakan dinding penahan tanah konvensional, sehingga dilakukan evaluasi perkuatan menggunakan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* sebagai pembanding.

Metode penelitian dilakukan dengan menganalisis stabilitas lereng pada tiga variasi ketinggian, yaitu 2 m, 5 m, dan 9 m. Pemodelan lereng dan sistem perkuatan dilakukan dengan menggunakan PLAXIS 2D pada kondisi pembebanan statik dan *Pseudostatik*, dengan mempertimbangkan kondisi jangka pendek dan jangka panjang melalui *Total Stress Analysis* (TSA) dan *Effective Stress Analysis* (ESA). Analisis dilakukan pada dinding penahan tanah konvensional dan MSE *Wall.* Nilai *safety factor* (SF) kemudian dibandingkan untuk menilai stabilitas dan efektivitas MSE *Wall.*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dinding penahan tanah konvensional dan MSE *Wall* memenuhi kriteria stabilitas pada seluruh variasi ketinggian dan kondisi pembebanan. MSE *Wall* menjadi alternatif yang layak karena mampu mempertahankan stabilitas dengan SF yang memadai. Selain itu, MSE *Wall* menunjukkan peningkatan efisiensi pada *facing* seiring dengan bertambahnya tinggi lereng, dengan pengurangan volume sebesar 77,8% pada ketinggian 2 m, 90,8% pada ketinggian 5 m, dan 91,6% pada ketinggian 9 m.

Kata kunci: MSE*Wall*, Pekuatan lereng, PLAXIS 2D, Geotekstil, Analisis pseudostatik

ABSTRACT

The slope in the Ar-Rohim Building area at Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang, Campus 3, varies in elevation and is potentially unstable. Under current conditions, the slope is reinforced using conventional retaining walls, therefore, a reinforcement evaluation was conducted using Mechanically Stabilized (MSE) Walls for comparison.

This research method involves analyzing slope stability at three different heights 2 m, 5 m, and 9 m. The slopes and reinforcement systems were modeled using PLAXIS 2D under static and pseudostatic loading conditions, taking into account both short-term and long-term conditions through Total Stress Analysis (TSA) and Effective Stress Analysis (ESA). The analysis was performed on conventional retaining walls and MSE walls. The safety factor (SF) values were then compared to evaluate the stability and effectiveness of the MSE walls.

The results of the study show that both conventional retaining walls and MSE walls meet the stability criteria for all variations in height and load conditions. MSE walls are a viable alternative because they are capable of maintaining stability with an adequate safety factor (SF). In addition, MSE walls demonstrate increased retaining efficiency as slope height increases, with a volume reduction of 77,8% at a height of 2 m, 90,8% at a height of 5 m, and 91,6% at a height of 9 m.

Keywords: *MSE Wall, Slope reinforcement, PLAXIS 2D, Geotextile, Pseudostatic analysis*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lereng merupakan bagian dari permukaan tanah yang berfungsi untuk menghubungkan permukaan tanah yang memiliki elevasi lebih tinggi dengan daerah elevasi yang lebih rendah, serta memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal (Lenita & Leo, 2025). Dalam analisis kestabilan lereng Rajagukguk & Monintja (2014) menuliskan bahwa berdasarkan jenisnya, lereng terbagi menjadi tiga bagian, yaitu lereng alam yang terbentuk akibat adanya proses alamiah seperti lereng pada perbukitan, lereng yang dibuat dalam tanah asli seperti tanah yang dipotong untuk saluran air maupun jalan, serta lereng yang terbuat dari tanah yang dipadatkan seperti bendungan untuk urugan tanah ataupun tanggul.

Lereng memiliki risiko ketidakstabilan yang tinggi, yang dapat berpotensi berkembang menjadi keruntuhan lereng atau longsor apabila faktor-faktor pemicu ketidakstabilan tersebut tidak terkendali (Aziza & Suhendra, 2022). Kelongsoran tanah sendiri merupakan suatu fenomena alam yang sering terjadi akibat adanya ketidakseimbangan antara tegangan geser dan kekuatan geser massa tanah, baik karena peningkatan beban maupun penurunan kekuatan tanah (Ganda, 2012). Kondisi ini menunjukkan bahwa stabilitas dari lereng dipengaruhi ooleh interaksi antara faktor internal dan faktor eksternal lingkungan. Oleh karena itu, analisis stabilitas lereng menjadi suatu aspek yang sangat krusial dalam rekayasa geoteknik karena berperan penting dalam menjamin keamanan struktur untuk mencegah potensi keruntuhan yang dapat terjadi, baik pada tahap kosntruksi maupun pasca konstruksi (Laksono & Prihatiningsih, 2025).

Penelitian ini difokuskan pada kawasan Gedung Ar-Rohim, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Kampus 3 di Jalan Locari. Lokasi penelitian memiliki topografi berupa lereng dengan ketinggian sekitar 2 sampai 15 meter yang berpotensi mengalami ketidakstabilan dan membahayakan infrastruktur

di sekitarnya. Oleh karena itu, lokasi ini dipilih karena memiliki kondisi lereng yang relevan untuk analisis dan perencanaan penanganan geoteknik.

Untuk menjaga kestabilan lereng, dapat digunakan berbagai metode perkuatan, salah satunya dinding penahan tanah (*retaining wall*) yang berfungsi menahan tekanan lateral tanah akibat berat tanah, beban di atasnya, maupun air hujan (Andriyani dkk., 2019). Struktur ini mampu meningkatkan kestabilan lereng dan mencegah longsor, sehingga banyak digunakan pada daerah dengan tanah labil atau kontur curam, seperti jalan raya, perumahan, dan kawasan perbukitan (Kuningsih dkk., 2018)(Aisah dkk., 2025). Namun, dinding penahan tanah konvensional memiliki kekurangan berupa biaya pembangunan yang relatif tinggi serta kebutuhan perencanaan geoteknik untuk menjamin keamanan terhadap guling, geser, dan keruntuhan pondasi (Kuningsih dkk., 2018). Selain itu, drainase yang kurang baik dapat meningkatkan tekanan air pori di belakang dinding dan memicu deformasi hingga kegagalan struktur (Gazali dkk., 2020). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi perkuatan lereng tersebut.

Struktur penahan tanah yang digunakan sebagai evaluasi dalam penelitian ini adalah *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* dengan perkuatan geosintetik. MSE *Wall* dipilih karena memiliki fleksibilitas dan dapat menjadi alternatif yang lebih efektif dibandingkan dinding penahan tanah konvensional tipe *gravity* dan *cantilever* (Aziza & Suhendra, 2022). Kelebihan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* meliputi kemudahan pengerjaan, kebutuhan alat berat yang lebih kecil, biaya yang efektif, serta penurunan diferensial yang lebih kecil dibandingkan dinding penahan tanah tipe gravitasi (Legrans, 2016). Keunggulan tersebut menjadikannya sesuai untuk diterapkan pada lokasi penelitian yang berada di lingkungan gedung perkuliahan dengan aktivitas tinggi dan tuntutan keamanan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas MSE *Wall* dalam meningkatkan stabilitas lereng melalui perbandingan nilai *safety factor* antara perkuatan eksisting dan MSE *Wall*. Hasil analisis diharapkan dapat menunjukkan tingkat peningkatan keamanan lereng dan menjadi dasar pertimbangan dalam evaluasi perkuatan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijabarkan, maka dapat disimpulkan beberapa rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana nilai *safety factor* (SF) lereng yang diperkuat dinding penahan tanah konvensional pada kondisi statik dan pseudostatik untuk variasi ketinggian lereng 2 m, 5 m, dan 9 m berdasarkan *Total Stress Analysis* (TSA) dan *Effective Stress Analysis* (ESA)?
2. Bagaimana nilai *s afety factor* (SF) lereng dengan perkuatan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* pada kondisi statik dan pseudostati untuk variasi ketinggian lereng 2 m, 5 m, dan 9 m berdasarkan *Total Stress Analysis* (TSA) dan *Effective Stress Analysis* (ESA)?
3. Perbandingan nilai *safety factor* antara kondisi perkuatan dinding penahan tanah konvensional dan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* pada masing-masing variasi ketinggian dan kondisi pembebanan?
4. Pada variasi ketinggian berapa *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* efektif untuk digunakan sebagai alternatif perkuatan berdasarkan kriteria *safety factor* pada kondisi *Total Stress Analysis* (TSA) dan *Effective Stress Analysis* (ESA)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, maka dapat disimpulkan beberapa tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Menganalisis nilai *safety factor* perkuatan lereng pada kondisi eksisting dengan perkuatan dinding penahan tanah konvensional pada variasi ketinggian 2 m, 5 m, dan 9 m pada kodisi *Total Stress Analysis* (TSA) dan *Effective Stress Analysis* (ESA).
2. Menganalisis nilai *safety factor* lereng dengan perkuatan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* pada variasi ketinggian 2 m, 5 m, dan 9 m pada kondisi *Total Stress Analysis* (TSA) dan *Effective Stress Analysis* (ESA).

3. Membandingkan nilai *safety factor* antara dinding penahan tanah konvensional dan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* pada setiap variasi ketinggian dan kondisi pembebanan.
4. Menentukan variasi ketinggian yang efektif untuk penerapan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* sebagai alternatif perkuatan berdasarkan nilai *safety factor* pada kodisi *Total Stress Analysis* (TSA) dan *Effective Stress Analysis* (ESA).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi mengenai tingkat kestabilan lereng berdasarkan nilai *safety factor* pada perkuatan dinding penahan tanah konvensional untuk variasi ketinggian 2 m, 5 m, dan 9 m pada kodisi *Total Stress Analysis* (TSA) dan *Effective Stress Analysis* (ESA).
2. Memberikan informasi mengenai kinerja *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* sebagai alternatif perkuatan lereng berdasarkan nilai *safety factor* pada berbagai variasi ketinggian dan kondisi pembebanan.
3. Memberikan perbandingan kinerja dinding penahan tanah konvensional dan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* berdasarkan nilai *safety factor* pada kodisi *Total Stress Analysis* (TSA) dan *Effective Stress Analysis* (ESA).
4. Memberikan rekomendasi variasi ketinggian lereng yang sesuai untuk penerapan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall.*

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian ini agar proses analisis lebih jelas dan terarah adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini dibatasi pada kawasan Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Kampus 3, dengan titik fokus utama pada Gedung Ar-Rohim.
2. Data yang digunakan dalam analisis kali ini merupakan data sekunder yang tersedia dari PT Pola Data Consultant dan tidak dilakukan penyelidikan tambahan dalam penelitian.

3. Variasi ketinggian lereng yang dianalisis dibatasi pada ketinggian 2 m, 5 m, dan 9 m sebagai representasi kondisi lereng pada lokasi penelitian.
4. Penelitian dibatasi pada evaluasi stabilitas lereng menggunakan dinding penahan tanah konvensional sebagai kondisi eksisting dan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* sebagai evaluasi perkuatan melalui pemodelan PLAXIS 2D tanpa melakukan perhitungan manual.
5. Dinding penahan tanah konvensional diperlakukan sebagai sistem perkuatan eksisting sehingga penelitian tidak mencakup perencanaan ulang, optimasi dimensi, maupun pemeriksaan detail.
6. Evaluasi stabilitas lereng dalam penelitian ini hanya didasarkan pada nilai *safety factor* (SF) global hasil analisis PLAXIS 2D, tanpa melakukan evaluasi tambahan diluar hasil analisis tersebut.
7. Analisis dibatasi pada kondisi *Total Stress Analysis* (TSA) untuk merepresentasikan kondisi jangka pendek dan *Effective Stress Analysis* (ESA) untuk mempresentasikan kondisi jangka panjang.
8. Nilai PGA dalam analisis *Pseudostatik*ditentukan berdasarkan nilai gempa dengan kala ulang 1000 tahun yang diperoleh dari peta deagregasi.
9. Analisis gempa dalam penelitian ini dibatasi pada *Pseudostatik*menggunakan koefisien seismik horizontal (kh), sehingga tidak mempertimbangkan respons dinamik tanah berdasarkan *time history* dan karakteristik frekuensi gempa.
10. Kondisi muka air tanah tidak ditemukan hingga kedalaman penyelidikan tanah berdasarkan data yang tersedia, sehingga pemodelan PLAXIS 2D tidak mempertimbangkan muka air tanah.
11. MSE *Wall* dimodelkan sebagai sistem tanah bertulang dengan geosintetik sebagai elemen perkuatan dalam PLAXIS 2D.
12. Sistem MSE *Wall* dimodelkan dengan menggunakan facing berupa panel precast yang mengacu pada pedoman FHWA .
13. Parameter geosintetik yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada parameter yang diperlukan untuk pemodelan PLAXIS 2D dan mengacu pada katalog produk HIBRITEX.

14. Perbandingan dinding penahan tanah konvensional dan MSE *Wall* dibatasi pada nilai *safety factor* dan deformasi hasil analisis PLAXIS 2D serta tidak mencakup perbandingan biaya, waktu pelaksanaan, dan kebutuhan alat.
15. Penentuan efektivitas MSE *Wall* dibatasi pada pemenuhan kriteria *safety factor* dan deformasi pada variasi ketinggian 2 m, 5 m, dan 9 m , pada saat kondisi TSA dan ESA dengan pembebanan statik dan *Pseudostatik*.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Stabilitas lereng merupakan salah satu aspek penting dalam bidang geoteknik yang berkaitan dengan keseimbangan antara tegangan geser dan kekuatan geser tanah, terutama pada wilayah yang memiliki topgrafi curam dan struktur tanah yang rentan terhadap longsor (Hafidz dkk., 2025). Stabilitas tanah pada lereng dapat terganggu akibat adanya pengaruh beberapa hal, seperti alam, iklim dan aktivitas manusia yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan antara gaya penggerak dan gaya penahan serta faktor lain yang dapat mempengaruhi seperti kemiringan lereng yang terlalu curam, sifat tanah yang tidak memadai, pemadatan yang kurang, pengaruh air tanah dan hujan, serta beban gempa (Nofrizal dkk., 2024). Dalam analisis stabilitas lereng, parameter utama yang digunakan adalah nilai faktor kemanan yang menunjukkan tingkat keamanan suatu lereng terhadap potensi keruntuhan.

Upaya peningkatan stabilitas lereng dapat dilakukan dengan menerapkan struktur penahan tanah dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall*, yang merupakan sistem dinding penahan tanah yang distabilisasi secara mekanis dengan mengombinasikan tanah urug, elemen perkuatan tarik sebagai perkuatan internal untuk menguatkan massa tanah dan menahan tekanan lateral, serta *facing* sebagai elemen penahan pada bagiann depan (FHWA, 2009). Dibandingkan dengan dinding penahan tanah konvensional, *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* dipilih karna lebih ekonmis dan mudah dalam pelaksanaannya (Deva dkk., 2025).

Selain faktor statis, stabilitas lereng juga dipengaruhi oleh beban dinamis seperti gempa, yang dapat menurunkan nilai faktor keamanan akibat adanya gaya inersia tambahan. Pada penelitian ini, pengaruh gempa dianalisis menggunakan pendekatan Pseudostatik yang mengacu pada SNI 8460:2017. Metode Pseudostatikmerupakan pendekatan sederhana dalam analisis stabilitas lereng dengan mensimulasikan beban gempa sebagai gaya inersia horizontal (kh) berdasarkan koefisien gempa yang mengacu pada peta zona gempa Indonesia, di

mana percepatan tersebut mewakili pengaruh gempa terhadap potensi pergerakan massa tanah (Ramdhani dkk., 2016). Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan PLAXIS 2D, yang memungkinkan evaluasi kondisi lereng sebelum dan sesudah diberikan perkuatan secara dua dimensi.

2.2 Perkuatan Lereng dengan Dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall*

2.2.1 Analisis Stabilitas MSE Wall dengan Stone Column di Tol Yogyakarta-Bawen

Panuntun & Nugroho (2026) mengevaluasi stabilitas internal dan eksternal MSE Wall yang diperkuat dengan stone column pada kondisi tanah lunak, serta membandingkan hasil analisis manual dan numerik untuk memperoleh gambaran kinerja struktur yang lebih komprehensif, dengan lokasi penelitian pada Proyek Jalan Tol Yogyakarta–Bawen Seksi 1 STA 73+100–73+175 di Kabupaten Sleman; metode yang digunakan berupa pendekatan kuantitatif dengan data teknis proyek (geometri, parameter tanah, dan spesifikasi perkuatan) yang dianalisis melalui perhitungan manual mengacu SNI 8460:2017 untuk stabilitas internal (tarik dan cabut) dan eksternal (geser, guling, dan daya dukung), serta pemodelan numerik FEM 2D untuk mengevaluasi stabilitas global dan deformasi, termasuk pengaruh beban statis, lalu lintas, dan gempa dengan pendekatan *Pseudostatik*; hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh aspek stabilitas memenuhi kriteria desain dengan faktor keamanan tarik minimum 2,47 (statis) dan 1,70 (gempa), cabut hingga 29,89–20,58, geser 3,66 (statis) dan 2,25 (gempa), guling hingga 17,82 dan 9,93, daya dukung stone column sekitar 3,57, serta stabilitas global FEM sebesar 2,174 (statis) dan 1,53 (gempa), yang mengindikasikan struktur aman dan layak secara teknis, meskipun masih terjadi deformasi atau penurunan tanah sekitar 0,86 m sebagai konsekuensi kondisi tanah lunak

2.2.2 Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Tipe Mechanically Stabilized Earth (MSE) Pada Jalan Layang Bantaian Sumatera Selatan

Ansori & Gofar (2025) mengevaluasi *back analysis* stabilitas internal dan eksternal dinding MSE sekaligus menentukan desain optimum perkuatan geogrid pada Flyover Bantaian, Muara Enim, Sumatera Selatan, dengan metode kuantitatif berbasis data sekunder proyek (*engineering drawing*, borelog, dan laporan desain) yang dianalisis melalui perhitungan analitis sesuai SNI 8460:2017 untuk stabilitas eksternal (geser, guling, daya dukung) dan internal (tarik dan cabut), serta analisis numerik menggunakan SLOPE/W untuk stabilitas global pada kondisi statik dan gempa; hasil menunjukkan seluruh faktor keamanan memenuhi kriteria (misalnya FK geser hingga 3,871, guling 3,65, daya dukung 2,7, dan stabilitas global 1,753 statik serta 1,402 dinamik, dengan FK tarik minimum 1,88 dan cabut 3,10), sehingga struktur dinyatakan aman terhadap semua potensi kegagalan, namun analisis optimasi menunjukkan kebutuhan kekuatan tarik geogrid cukup sebesar 38,79 kN/m lebih rendah dari desain awal 100 kN/m yang mengindikasikan desain eksisting cenderung konservatif dan masih dapat dioptimalkan tanpa mengurangi tingkat keamanan

2.2.3 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan MSE Wall pada Kawasan Piket Nol Lumajang

Deva dkk. (2025) menganalisis stabilitas lereng yang mengalami longsor serta merencanakan perkuatan menggunakan MSE Wall untuk meningkatkan faktor keamanan, dengan lokasi penelitian di Jalan Nasional Piket Nol, Kabupaten Lumajang, khususnya pada KM Turen 59+200 yang merupakan area rawan longsor; metode yang digunakan berupa pendekatan kuantitatif melalui pengumpulan data primer (pengukuran geometri lereng dan dokumentasi lapangan) serta data sekunder (borelog dan uji laboratorium dari BBPJN), yang kemudian dianalisis menggunakan metode Bishop dengan bantuan software GeoStudio Slope/W pada tiga penampang (section A, B, dan C), termasuk mempertimbangkan beban lalu lintas 15 kPa dan beban gempa dengan koefisien horizontal sebesar 0,21745; hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi lereng eksisting pada section C berada dalam kondisi tidak stabil dengan faktor keamanan terendah sebesar 0,592

(halaman 7), namun setelah dilakukan perkuatan MSE Wall setinggi 10 m diperoleh peningkatan signifikan dengan stabilitas internal (pullout minimum 14,435 dan rupture 1,78), stabilitas eksternal (guling 7,44; geser 3,39; daya dukung 3,35), serta stabilitas global sebesar 1,532 tanpa gempa dan 1,266 dengan gempa, sehingga lereng dinyatakan aman dan perkuatan MSE Wall terbukti efektif dalam meningkatkan kestabilan.

2.2.4 *Earth Wall* dengan Tanah Marginal dengan Pengujian Skala Penuh

Tiasundari dkk. (2025) mengevaluasi kinerja MSE Wall dengan timbunan tanah marginal melalui pengujian skala penuh pada model dinding setinggi 3 m, dengan metode eksperimen berupa pembebanan bertahap (10–30 kPa), saturasi 5 hari, serta monitoring gaya tarik, tekanan tanah, dan deformasi menggunakan instrumentasi; hasil menunjukkan gaya tarik perkuatan masih jauh di bawah kapasitas (≈35%), tekanan berkurang dengan kedalaman, namun deformasi dinding meningkat signifikan terutama akibat saturasi hingga melampaui batas SNI, sehingga meskipun secara desain aman, stabilitas sangat dipengaruhi oleh infiltrasi air dan kondisi drainase.

2.2.5 Analisis Kestabilan Lereng Sebagai Pekuatan Desain MSE Pada Ruas Jalan Tol 2 Manado-Bitung STA 9+745 Menggunakan Software Slide V.6.005

Sampouw dkk. (2019) menganalisis kestabilan lereng eksisting serta merancang perkuatan menggunakan dinding MSE (Mechanically Stabilized Earth) untuk meningkatkan keamanan lereng pada ruas Jalan Tol Manado–Bitung STA 9+745 di Provinsi Sulawesi Utara; metode yang digunakan berupa pendekatan kuantitatif dengan pengumpulan data geometri lereng dan parameter tanah dari PT Jaya Konstruksi, yang kemudian dianalisis menggunakan metode keseimbangan batas (limit equilibrium) melalui software Slide V6.005 dengan tiga pendekatan, yaitu Bishop Simplified, Ordinary/Fellenius, dan Janbu Simplified, serta dilanjutkan dengan perencanaan dinding MSE setinggi 12 m dengan panjang perkuatan 0,7He (±8,4 m), jarak vertikal 0,6 m, dan penggunaan geogrid tipe UX 1700–UX 1800 sebagaimana ditunjukkan pada desain di halaman 8–9; hasil penelitian menunjukkan bahwa lereng eksisting sudah dalam kondisi aman dengan faktor keamanan berkisar 1,502–1,529 (halaman 7–8), namun setelah diperkuat dengan

dinding MSE nilai faktor keamanan meningkat menjadi 1,607, sehingga memenuhi kriteria keamanan (>1,3), serta analisis internal menunjukkan sebagian besar jenis geogrid (kecuali UX 1100) memenuhi syarat kestabilan, sehingga desain MSE Wall dinyatakan layak dan efektif sebagai alternatif perkuatan lereng.

2.3 Perbandingan dengan Penelitan Terdahulu

Perbandingan antara penelitian yang akan dilakukan penulis dengan penelitian terdahulu akan disajikan dalam Tabel 2.1 di halaman berikutnya.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	**Penelitian yang Telah Dilakukan**					**Penelitian yang Akan Dilakukan**
Peneliti	Panuntun & Nugroho (2026)	Ansori & Gofar (2025)	Deva dkk. (2025)	Tiasundari dkk. (2025)	Sampouw dkk. (2019)	Lubis (2026)
Judul	Analisis Stabilitas MSE Wall dengan Stone Column di Tol Yogyakarta-Bawen	Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Tipe Mechanically Stabilized Earth (MSE) Pada Jalan Layang Bantaian Sumatera Selatan	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan MSE Wall pada Kawasan Piket Nol Lumajang	*Earth Wall* dengan Tanah Marginal dengan Pengujian Skala Penuh	Analisis Kestabilan Lereng Sebagai Pekuatan Desain MSE Pada Ruas Jalan Tol 2 Manado-Bitung STA 9+745 Menggunakan Software Slide V.6.005	Evaluasi Perkuatan Lereng Galian Dengan Metode *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall*

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	**Penelitian yang Telah Dilakukan**					**Penelitian yang Akan Dilakukan**
Peneliti	Panuntun & Nugroho (2026)	Ansori & Gofar (2025)	Deva dkk. (2025)	Tiasundari dkk. (2025)	Sampouw dkk. (2019)	Lubis (2026)
Tujuan	Mengevaluasi stabilitas internal dan eksternal MSE Wall di atas tanah lunak yang telah diperkuat dengan stone column, serta membandingkan hasil analisis menggunakan dua pendekatan untuk mendapat pemahaman mengenai kinerja struktur.	Menganalisis kembali kestabilan eksternal dan internal dinding MSE pada flyover Bantaian serta menentukan kebutuhan kekuatan Tarik dan tahanan cabut geogrid yang paling efisien namun tetap memenuhi SNI 8460:2017.	Menganalisis stabilitas lereng yang mengalami longsor dengan menentukan nilai faktor keamanan serta merencanakan perkuatan menggunakan MSE Wall sebagai solusi untuk mencegah longsor susulan, sehingga diperoleh kondisi lereng yang stabil dan aman.	Mengevaluasi kinerja MSE Wall yang menggunakan tanah marginal (clayey silt) sebagai material timbunan, serta untuk memahami pengaruh pembebaanan dan kondisi saturasi terhadap deformasi, gaya tarik perkuatan, dan tekanan tanah.	Penelitian ini bertujuan menganalisis kestabilan lereng eksisting serta merancang perkuatan menggunakan dinding MSE untuk meningkatkan faktor keamanan lereng.	Penelitian ini menilai kinerja MSE *Wall* dengan perkuatan geosintetik sebagai perkuatan lereng melalui evaluasi nilai faktor keamanan. .

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	**Penelitian yang Telah Dilakukan**					**Penelitian yang Akan Dilakukan**
Peneliti	Panuntun & Nugroho (2026)	Ansori & Gofar (2025)	Deva dkk. (2025)	Tiasundari dkk. (2025)	Sampouw dkk. (2019)	Lubis (2026)
Lokasi	Lokasi penelitian berada pada proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Seksi 1, tepatnya pada STA 73+100 hingga STA 73+175, yang terletak di Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.	Lokasi penelitian berada pada Proyek pembangunan jalan layang daerah Bantaian, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan	Penelitian dilakukan pada ruas Jalan Nasional Piket Nol di Kabupaten Lumajang, khususnya di KM Turen 59+200, yang merupakan area rawan longsor dan telah mengalami kejadian longsor dalam periode 2022-2024.	Lokasi penelitian dilakukan melalui model skala penuh (1:1) yang dibuat secara eksperimental, sehingga kondisi yang dianalisis mempresentasikan perilaku nyata struktur tanpa terikat pada lokasi geografis spesifik.	Penelitian dilakukan pada ruas Jalan Tol Manado–Bitung STA 9+745 di Provinsi Sulawesi Utara, pada area lereng timbunan jalan tol.	Lokasi analisis pada penelitian dilakukan pada Gedung perkuliahan Universitas Islam Negeri Malang Kampus 3.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	**Penelitian yang Telah Dilakukan**					**Penelitian yang Akan Dilakukan**
Peneliti	Panuntun & Nugroho (2026)	Ansori & Gofar (2025)	Deva dkk. (2025)	Tiasundari dkk. (2025)	Sampouw dkk. (2019)	Lubis (2026)
Metode	Menggunakan metode limit equilibrium (SNI 8460:2017 dan FEM 2D, termasuk dengan pengaruh gempa.	Menggunakan metode analitis dan numerik berbasis data proyek, mencakup evaluasi stabilitas eksternal, global (*SLOPE*/W), dan internal serta optimasi kekuatan geogrid agar tetap memenuhi standar SNI 8460:2017.	Menggunakan data primer dan sekunder. Kemudian dianalisis menggunakan metode Bishop dengan bantuan Geostudio *Slope*/W, dengan mempertimbangkan beban lalu lintas dan gempa.	Menggunakan eksperimen (*full-scale physical modeling*) dengan membangun MSE *Wall* setinggi 3 m menggunakan tanah marginal dan perkuatan strip geosintetik, kemudian dilaukan pembebanan bertahap serta proses saturasi selama 5 hari.	Metode yang digunakan adalah analisis *limit equilibrium* dengan *software Slide* (Bishop, Fellenius, Janbu) berbasis data geometri dan parameter tanah, serta dilanjutkan desain dinding MSE dengan perkuatan geogrid.	*Finite Element Method* (FEM) dengan *software* PLAXIS 2D, mempertimbangkan beban statik dan beban gempa untuk jangka pendek (TSA) dan jangka panjang (ESA).

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	**Penelitian yang Telah Dilakukan**					**Penelitian yang Akan Dilakukan**
Peneliti	Panuntun & Nugroho (2026)	Ansori & Gofar (2025)	Deva dkk. (2025)	Tiasundari dkk. (2025)	Sampouw dkk. (2019)	Lubis (2026)
Hasil	Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan stone column meningkatkan stabilitas tanah dasar, dengan seluruh factor keamanan internal, eksternal, dan daya dukung memenuhi kriteria, didukung oleh hasil FEM 2D (FS global untuk statis sebesar 2,174;	Hasil analisis menunjukkan bahwa dinding MSE Wall pada flyover Bantaian aman terhadap kegagalan eksternal dan internal pada kondisi statik maupun gempa dengan seluruh faktor keamanan memenuhi SNI 8460:2017, serta melalui optimasi	Hasil menunjukkan bahwa lereng eksisting pada section C memiliki faktor keamanan terendah sebesar 0,592 hingga tidak stabil, namun setelah diperkuat dengan MSE Wall setinggi 10 m, diperoleh peningkatan stabilitas dengan faktor keamanan	Hasil pada penelitian menunjukkan bahwa gaya tarik aksial terbesar terjadi pada perkuayan bagian atas dan meningkat akibat beban serta saturasi namun masih di bawah kapasitas (sekitar 35%), tekanan vertikal menurun dengan kedalaman,	Hasil menunjukkan lereng eksisting sudah stabil (FK ±1,50), dan setelah diperkuat MSE meningkat menjadi 1,607 sehingga memenuhi kriteria aman, dengan sebagian besar jenis geogrid layak digunakan sebagai perkuatan.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa dinding penahan tanah konvensional dan MSE *Wall* memenuhi kriteria stabilitas pada seluruh variasi ketinggian lereng. MSE *Wall* terbukti sebagai alternatif perkuatan yang layak dan efisien,

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	**Penelitian yang Telah Dilakukan**					**Penelitian yang Akan Dilakukan**
Peneliti	Panuntun & Nugroho (2026)	Ansori & Gofar (2025)	Deva dkk. (2025)	Tiasundari dkk. (2025)	Sampouw dkk. (2019)	Lubis (2026)
Hasil	dan untuk gempa 1,53), meski terjadi penurunan sekitas 0,86 m.	diketahui kebutuhan kekuatan Tarik geogrid hanya 38,79 kN/m lebih rendah dari desain awal 100 kN/m sehingga struktur tetap aman namun dapat dibuat lebih efisien	yang diperoleh sebesar 1,532 (tanpa gempa) dan 1,266 (dengan gempa), serta stabilitas internal dan eksternal yang memenuhi persyaratan SNI 8460:2017. MSE Wall terbukti efektif dalam meningkatkan stabilitas lereng.	sementara deformasi dinding meningkat signifikan hingga melampaui batas akibat saturasi, sehingga infiltrasi air menjadi faktor utama yang menurunkan stabilitas dan menuntut sistem drainase yang baik.		dengan efisiensi *facing* sebesar 77,8%–91,6% yang meningkat seiring bertambahnya ketinggian lereng.

2.4 Keaslian Penelitian

Penelitian mengenai stabilitas dan perkuatan lereng telah banyak dilakukan dengan berbagai macam jenis pendekatan analisis dan metode perencanaan yang berbeda. Berdasarkan dengan hasil kajian terhadap studi terdahulu, dapat diketahui bahwa peneitian-penelitian tersebut pada umumnya menitikberatkan pada evaluasi faktor keamanan lereng, variasi parameter tanah, maupun penggunaan sistem perkuatan konvensional. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini secara khusus berfokus pada perancangan evaluasi perkuatan lereng dengan menggunakan sistem *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* yang dikombinasikan dengan material geosintetik sebagai elemen perkuatan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mengenai penerapan MSE *Wall* berbasis geosintetik dalam perencanaan perkuatan lereng. Persamaan dan perbedaan antara penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Perbandingan Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu

No	Persamaan	Perbedaan
1.	Membahas stabilitas lereng dengan menggunakan sistem dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall.*	Penelitian ini berfokus pada evaluasi komparatif antara perkuatan dinding penahan tanah konvensional seperti pada kondisi eksisting, dan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall.*
2.	Menggunakan geosintetik sebagai elemen perkuatan pada *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall.*	Pada penelitian kali ini *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* digunakan sebagai evalusai perkuatan lereng pada kondisi eksisting yang menggunakan DPT konvensional.

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu

No	Persamaan	Perbedaan
3.	Menggunakan data sekunder berupa data tanah, geometri lereng, parameter tanah, dan data teknis proyek sebagai dasar untuk analisis stabilitas lereng dengan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall.*	Penelitian ini difokuskan pada studi kasus lereng eksisting di kawasan Universitas Islam Negeri Malang Kampus 3.
4.	Menganalisis kondisi lereng eksisting yang membutuhkan perkuatan.	Pada lokasi penelitian memiliki kondisi eksisting DPT konvensional yang akan di evaluasi dengan penggunaan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall.*

Dari Tabel 2.2 penelitian ini memiliki kebaruan yang membedakannya dari penelitian terdahulu karena secara khusus berfokus pada evaluasi sistem *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* sebagai perkuatan lereng pada lokasi lereng eksisting di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Dengan memperhitungkan analisis stabilitas lereng dalam kondisi statis dan dinamik.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah adalah lapisan teratas kerak bumi yang terbentuk dari campuran bahan organik dan mineral akibat adanya pengaruh organisme, iklim, proses geologi, dan reaksi kimia, serta berfungsi sebagai media tumbuh tanaman, penyaring alami yang memengaruhi kualitas dan kuantitas air, dan habitat mikroorganisme yang mendaur ulang unsur kimia penting bagi biosfer (Richter & Markewitz, 1995). Ikatan antar partikel tanah pada umumnya bersifat lemah karena adanya zat seperti karbonat, bahan organik, atau oksida di antara butiran, dimana ruang antar butir tersebut dapat terisi oleh air, udara, maupun keduanya (Hardiyatmo, 2002).

Weil & Brady (2017) menjelaskan bahwa klasifikasi tanah berdasarkan pada ukuran partikelnya digunakan untuk membedakan jenis tanah menurut besar butirannya, di mana tanah lempung (*clay*) memiliki ukuran <0,002 mm dan bersifat plastis saat basah, tanah lanau (*silt*) berukuran 0,002-0,05 mm (USDA) atau 0,002-0,075 mm (USCS) dengan sifat kurang plastis dan permeabilitas sedang, tanah pasir (*sand*) berukuran 0,05-2 mm (USDA) atau 0,075-4,75 mm (USCS) yang tidak kohesif dan sangat permeabel, serta kerikil (*gravel*) berukuran >2 mm (USDA) atau 4,75-76,2 mm (USCS) yang bersifat kasar, tidak kohesif, dan sangat permeabel.

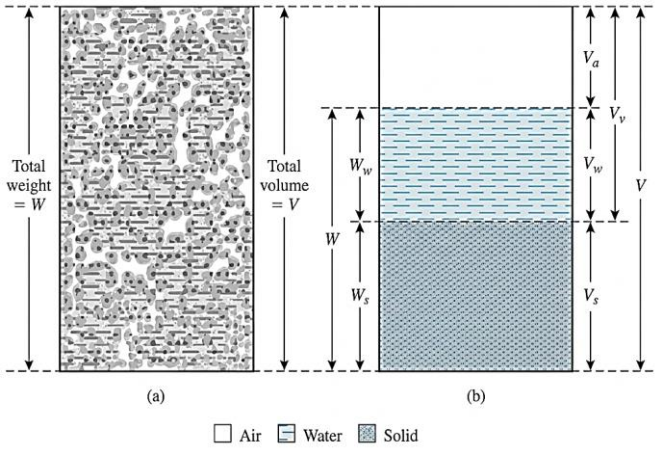
Klasifikasi tanah digunakan untuk memahami karakteristik tanah dalam mendukung perencanaan konstruksi, termasuk penilaian daya dukung, penurunan, dan potensi kegagalan tanah. Selain itu, klasifikasi tanah menjadi dasar dalam pemilihan jenis perkuatan, metode perbaikan tanah, dan desain struktur yang sesuai dengan kondisi lapangan. (Laksono & Prihatiningsih, 2025).

3.1.1 Parameter Sifat Fisik Tanah

1. Berat Volume

   Berat volume tanah (γb) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat total tanah terhadap volume totalnya, yang terdiri dari fase padat, air, dan udara dalam sistem tiga fase tanah (Hardiyatmo, 2002). Secara matematis, besarnya

berat volume dipengaruhi oleh kadar air, angka pori, dan derajat kejenuhan, sebagaimana ditunjukkan dalam hubungan fase tanah (Das, 2010). Komponen penyusun dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Kompnen Penyusun Berat Volume
(Das, 2010)

Berat volume basah (γb) adalah perbandingan antara berat total tanah (W), yang terdiri atas butiran padat dan air pori, terhadap volume totalnya (V), nilai ini merepresentasikan kondisi alami tanah di lapangan karena dipengaruhi kadar air, dan hubungannya dengan berat volume kering (γd) serta kadar air (w) dinyatakan dalam persamaan hubungan fase tanah (Hardiyatmo, 2002). Persamaan 3.1 yang digunakan mengacu pada persamaan dalam buku Mekanika Tanah 1 milik Hardiyatmo (2002) pada halaman selanjutnya.

$$\gamma b = \frac{W}{V} \tag{3.1}$$

dengan,

γb = Berat volume basah (kN/m^3)
W = Berat total tanah meliputi komponen padat, air, dan udara (kN)
V = Volume total tanah (m^3)

Berat volume kering (γd) adalah perbandingan antara berat butiran padat tanah (tanpa air) dan volume total tanah, parameter ini digunakan dalam analisis pemadatan serta evaluasi tingkat kepadatan tanah di lapangan, termasuk dalam uji proctor untuk menentukan berat volume kering maksimum sebagai indikator kepadatan optimum tanah (Hardiyatmo, 2002). Persamaan 3.2 yang digunakan mengacu pada persamaan dalam buku Mekanika Tanah 1 milik Hardiyatmo (2002) sebagai berikut.

$$\gamma d = \frac{Ws}{V} \tag{3.2}$$

dengan,

γd = Berat volume kering (kN/m^3)

Ws = Berat tanah padat (kN)

V = Volume total tanah (m^3)

Berat volume jenuh merupakan berat volume tanah pada kondisi seluruh pori terisi air sepenuhnya (derajat kejenuhan S = 1), sehingga tidak terdapat udara di dalam rongga tanah. Pada keadaan ini, nilai berat volume dinyatakan melalui hubungan antara berat jenis butiran tanah, angka pori, dan berat volume air (Hardiyatmo, 2002). Persamaan 3.3 yang digunakan mengacu pada persamaan dalam buku Mekanika Tanah 1 milik Hardiyatmo (2002) sebagai berikut.

$$\gamma sat = \frac{W(tanah+air)}{V} \tag{3.3}$$

dengan,

γsat = Berat volume jenuh (kN/m^3)

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

V = Volume total tanah (m^3)

Berat volume padat merujuk pada kondisi tanah yang telah dipadatkan hingga mencapai berat volume kering maksimum, yaitu keadaan ketika susunan

partikel menjadi lebih rapat akibat berkurangnya udara dalam pori-pori. Berat tanah yang diperhitungkan adalah komponen padat. Kondisi ini dicapai pada kadar air optimum dalam uji pemadatan (Hardiyatmo, 2002). Persamaan 3.4 yang digunakan engacu pada persamaan dalam buku Mekanika Tanah 1 milik Hardiyatmo (2002) sebagai berikut.

$$\gamma s = \frac{Ws}{Vs} \tag{3.4}$$

dengan,

γs = Berat volume padat (kN/m^3)

Ws = Berat tanah padat (kN)

Vs = Volume tanah padat (m^3)

2. Permeabilitas

Hardiyatmo (2002) menuliskan bahwa permeabilitas adalah sifat tanah berpori yang memungkinkan aliran cairan melalui rongga pori yang saling terhubung dari energi tinggi ke energi lebih rendah. Besarnya aliran dipengaruhi oleh jenis tanah, ukuran dan bentuk butiran, kerapatan, geometri pori, serta temperatur. Tanah yang mudah meloloskan air disebut permeabel, sedangkan yang sangat kecil kemampuan alirnya disebut kedap air. Dalam mekanika tanah, kemampuan ini dinyatakan dengan koefisien permeabilitas (k), yang dapat ditentukan melalui uji *constant head* untuk tanah berbutir kasar dan uji *falling head* untuk tanah berbutir halus.

Nilai k sangat bervariasi tergantung jenis tanah, pasir dan kerikil umumnya memiliki nilai permeabilitas tinggi karena ukuran pori yang besar dan saling terhubung, sedangkan lempung memiliki permeabilitas sangat rendah akibat ukuran pori yang kecil serta pengaruh gaya tarik antar partikel. Konsep permeabilitas sangat penting dalam analisis rembesan, tekanan air pori, serta perencanaan bendungan dan stabilitas tanah. Nilai koefisien permeabilitas berdasarkan jenis tanah disajikan pada Tabel 3.1 pada halaman selanjutnya.

Tabel 3.1 Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah (Hardiyatmo, 2002)

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

3. Modulus Elastisitas (Es)

Modulus elastisitas tanah (Es) merupakan parameter fundamental dalam mekanika tanah yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan dalam satu rentang pembantu tertentu, sehingga mencerminkan tingkat kekakuan tanah terhadap deformasi. Nilai Es menjadi indikator penting dalam menilai respons tanah ketika menerima beban, khususnya dalam kondisi deformasi elastis.

Dalam praktik geoteknik, parameter ini digunakan untuk menganalisis deformasi elastis tanah dan memperkirakan penurunan segera (*immediate settlement*) akibat pembebanan. Analisis umumnya menggunakan pendekatan elastisitas linier, dengan hubungan antara tegangan dan regangan yang dipengaruhi oleh modulus elastisitas tanah dan *poisson ratio*.

poisson ratio berperan dalam menggambarkan hubungan antara regangan lateral dan regangan aksial, sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan respons deformasi tanah dalam arah horizontal dan vertikal akibat pembebanan. Dengan demikian, kedua parameter tersebut diperlukan untuk merepresentasikan respons deformasi tanah terhadap beban serta memperkirakan besarnya perpindahan yang terjadi pada massa tanah. (Bowles, 1997). Untuk pendekatan nilai modulus elastisitas berdasarkan dengan jenis tanahnya dapat dilihat pada Tabel 3.2 pada halaman selanjutnya.

Tabel 3.2 Nilai Modulus Elastisitas (Bowles, 1997)

Jenis tanah	Es (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. *Loess*	15 – 60
4. Pasir	
- Lanau	5 – 20
- Tidak padat	10 – 25
- Padat	50 – 81
5. Pasir dan kerikil	
- Tidak padat	50 – 150
- Padat	100 – 200
6. Material lepas	150 – 5000
7. Lanau	2 – 20

4. *Poisson Ratio* (ν)

Poisson ratio (ν) merupakan parameter elastisitas tanah yang menunjukkan rasio antara regangan lateral dan regangan aksial akibat pembebanan. Parameter ini digunakan bersama modulus elastisitas dalam analisis penurunan elastis pondasi, di mana nilai ν memengaruhi besarnya deformasi melalui faktor dalam persamaan *elastic settlement* (Das, 2010). Nilai *poisson ratio* dapat dilihat pada Tabel 3.3 pada halaman selanjutnya.

Tabel 3.3 Nilai *Poisson Ratio* (Das & Sobhan, 2018)

Jenis Tanah	**ν**
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

5. Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam merupakan parameter kuat geser tanah yang menyatakan besarnya tahanan gesek antar butiran tanah terhadap tegangan geser. Nilai sudut geser dalam menunjukkan kemampuan tanah dalam menahan deformasi geser akibat pembebanan (Das, 2010). Nilai sudut geser dalam efektif dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Nilai Sudut Geser Dalam Efektif (Das, 2010)

Jenis Tanah	**ϕ′**
Pasir : Butiran bulat • Lepas • Sedang • Padat	 27 – 30 30 – 35 35 – 38
Pasir : Buriran bersudut • Lepas • Sedang • Padat	 30 – 35 35 – 40 40 – 45
Kerikil sedikit berpasir	34 – 48
Lanau	26 – 35

6. Kohesi

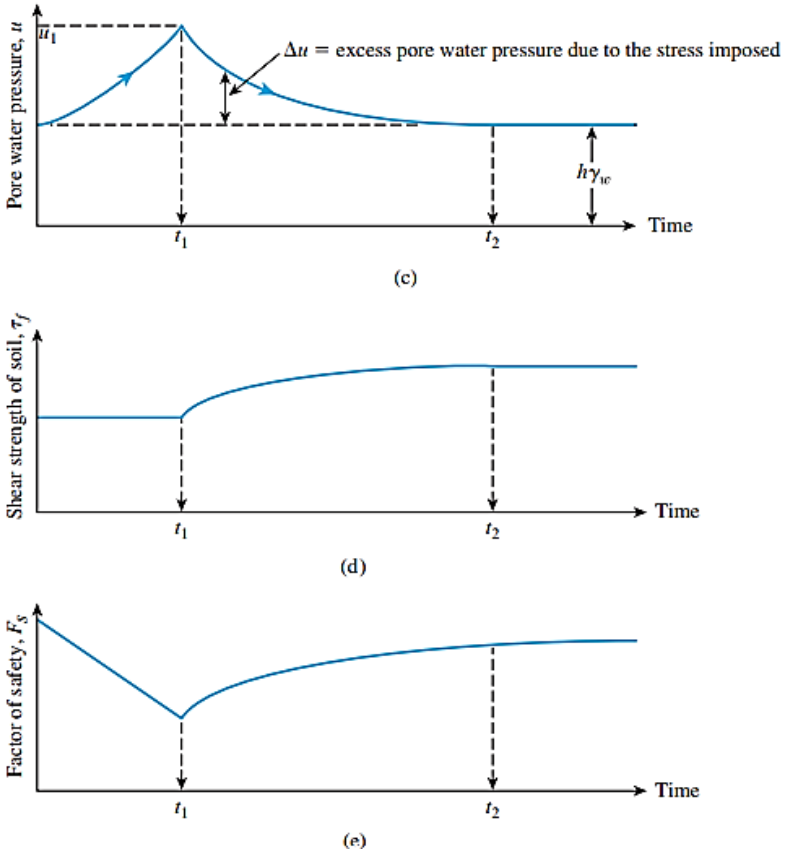
   Menurut Das (2010) dalam teori kuat geser Mohr–Coulomb, kohesi merupakan komponen kekuatan tanah yang tidak dipengaruhi oleh besarnya tegangan normal yang bekerja pada bidang runtuh. Untuk tanah berbutir kasar seperti pasir, nilai kohesi efektif umumnya dianggap nol, sedangkan pada jenis lempung tertentu dapat memiliki nilai yang lebih besar.

3.1.2 Kuat Geser

Kuat geser tanah merupakan besarnya tegangan geser maksimum yang masih dapat dipikul tanah sebelum terjadi keruntuhan yang besarnya ini dipengaruhi oleh tegangan normal yang bekerja pada bidang geser dan dinyatakan berdasarkan kriteria Mohr–Coulomb sebagai fungsi dari kohesi serta sudut geser dalam tanah. (Hardiyatmo, 2002).

Analisis kuat geser tanah dilakukan berdasarkan kondisi tegangan total dan tegangan efektif. Pemilihan pendekatan bergantung pada karakteristik dan durasi konstruksi. Pada kondisi jangka pendek selama konstruksi, tanah dianggap berada dalam kondisi tidak terdrainase (*undrained*) sehingga digunakan parameter kuat geser tidak terdrainase (Cu) dalam *Total Stress Analysis* (TSA). Sementara itu, pada kondisi jangka panjang setelah tekanan air pori berlebih berkurang, digunakan parameter kuat geser terdrainase dalam *Effective Stress Analysis* (ESA) (Marasabessy, 2025)

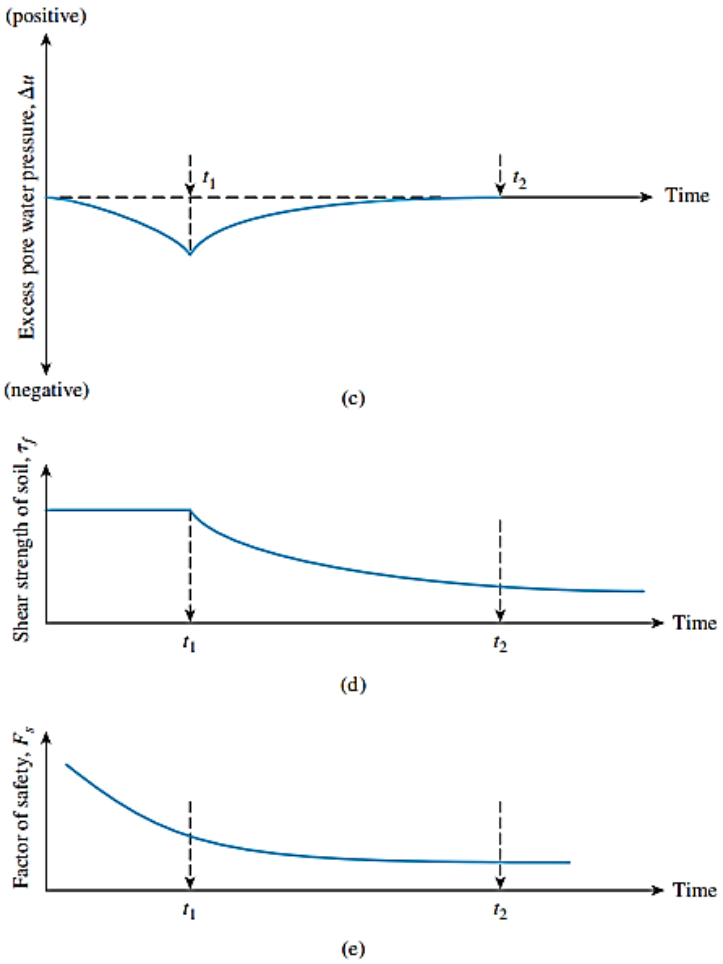
Pada pekerjaan timbunan, penambahan beban dapat menyebabkan tekanan air pori menungkat selama proses konstruksi, hal tersebut dikarenakan air pori belum sempat terdisipasi. Setelah konstruksi selesai, tekanan air pori yang berlebih secara bertahap akan menurun seiring dengan berjalannya waktu pada akhir konstruksi, ketika tekanan air pori masih tinggi , *safety factor* cenderung berada di kondisi minimum. Selanjutnya, seiring disipasi tekanan air pori dan peningkatan kuat geser tanah, nilai *safety factor* secara bertahap meningkat hingga mencapai kondisi yang lebih stabil (Braja M, 2014).Perubahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2 pada halaman selanjutnya.



Gambar 3.2 Variasi Faktor Keamanan Terhadap Waktu Untuk Timbunan (DAS, 2014)

Sedangkan pada pekerjaan penggalian, karena adanya pengurangan beban menyebabkan tekanan air pori menurun terlebih dahulu, kemudian meningkat secara bertahap seiring berjalannya waktu. Perubahan tekanan air pori tersebut juga memengaruhi kuat geser tanah dan perubahan nilai *safety factor* terhadap waktu (Marasabessy, 2025)

Pada akhir pekerjaan penggalian, tekanan air pori yang menurun menyebabkan kuat geser tanah menjadi relatif tinggi, sedangkan setelah tekanan air pori tersebut terdisipasi, kuat geser tanah dan nilai *safety factor* cenderung menurun hingga mencapai kondisi yang lebih kritis. Perubahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3 halaman selanjutnya.



Gambar 3.3 Variasi Faktor Keamanan Terhadap Waktu Untuk Galian (DAS, 2014)

3.2 Lereng

Lereng adalah massa tanah yang memiliki permukaan miring terhadap bidang horizontal, baik terbentuk secara alami maupun akibat kegiatan seperti penggalian dan penimbunan (Ichsani dkk. 2022). Berdasarkan jenisnya lereng dibagi menjadi 2 (dua) yaitu lereng alami dan lereng buatan (Shobari dkk., 2019). Semakin besar tinggi lereng dan semakin curam sudut kemiringannya, maka semakin meningkat pula potensi terjadinya longsor yang diakibatkan karena bertambahnya gaya pendorong yang melampaui kekuatan geser tanah (Oktarizki & Romadhon, 2023). Salah satu akibat yang dapat muncul akibat ketidakstabilan lereng adalah longsor. Peristiwa ini dapat membahayakan keselamatan, merusak infrastruktur, serta

mengganggu aktivitas masyarakat di sekitar lereng. Longsor merupakan pergerakan massa tanah atau batuan menuruni lereng akibat terganggunya keseimbangan antara gaya penggerak dan gaya penahan (Deva dkk., 2025). Pergerakan tersebut dapat berlangsung secara perlahan maupun tiba-tiba, bergantung pada kondisi tanah, kemiringan lereng, dan faktor pemicunya. Dalam bidang geoteknik, longsor dipandang sebagai bentuk kegagalan lereng (*slope failure*) yang dapat menimbulkan kerugian terhadap keselamatan dan infrastruktur (Hardiyatmo, 2003). Dengan demikian, longsor terjadi ketika gaya penggerak yang bekerja pada lereng tidak lagi dapat diimbangi oleh gaya penahan (Noronha dkk., 2019)

Kerawanan longsor pada lereng dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal, Secara internal longsor disebabkan karena kondisi material penyusun lereng menjadi determinan utama yang mengontrol kekuatan dan kestabilannya (Shobari dkk., 2019). Sedangkan menurut Brunsden (1993) dalam Shobari, dkk. 2019), Faktor eksternal yang mempengaruhi kerawanan longsor pada lereng meliputi pelapukan (fisik, kimia, dan biologis) serta erosi, penurunan tanah, pengendapan material, getaran seperti gempa, jatuhan abu vulkanik (tepra), dan perubahan kondisi air. Semua faktor tersebut dapat mengurangi kekuatan tanah dan membuat lereng menjadi lebih mudah longsor. Sedangkan berdasarkan (Hardiyatmo, 2003).

3.3 Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng merupakan kemampuan lereng untuk tetap dalam kondisi seimbang tanpa mengalami kegagalan akibat gaya-gaya yang bekerja (Laksono & Prihatiningsih, 2025). Menurut Zakaria (2011) Stabilitas lereng merupakan kemampuan lereng untuk tetap dalam kondisi seimbang tanpa mengalami kegagalan akibat gaya-gaya yang bekerja (Laksono & Prihatiningsih, 2025). Menurut Zakaria (2011), kestabilan lereng ditentukan oleh perbandingan gaya penahan dan gaya penggerak.Tingkat kestabilan dinyatakan melalui faktor keamanan (*safety factor*) pada Persamaan 3.5 berikut.

$$\text{Fs} = \frac{\Sigma\text{Gaya Penahan}}{\Sigma\text{Gaya Penggerak}} \tag{3.5}$$

Nilai faktor keamanan menurut SNI 8460:2017 yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan potensi tanah longsor dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Faktor Keamanan (BSN, 2017)

Lereng	**Jangka Pendek**	**Jangka Panjang**	**Gempa**
Galian	1,5	1,35	1,1
Timbunan	1,35	1,5	1,1

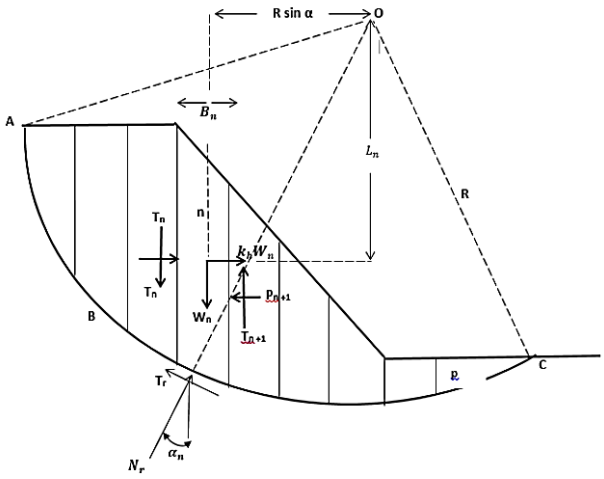
3.3.1 Analisis Stabilitas Lereng Statik

Dalam buku *Rekayasa Gempa Untuk Analisis Struktur dan Geoteknik*, Hardiyatmo (2024) menuliskan bahwa pada kondisi statik, stabilitas lereng dianalisis menggunakan metode keseimbangan batas (*limit equilibrium*), yaitu dengan membandingkan antara kuat geser tanah yang tersedia dan tegangan geser yang bekerja pada bidang longsor potensial. Lereng dinyatakan stabil apabila nilai faktor keamanan yang dihasilkan memenuhi kriteria desain.

3.3.2 Analisis Stabilitas Lereng Dinamik

Dalam buku Rekayasa Gempa, Hardiyatmo (2024) menjelaskan bahwa beban dinamik pada lereng timbul dari adanya percepatan gempa yang menghasilkan gaya inersia dan dapat memicu ketidakstabilan atau deformasi. Analisis dilakukan secara Pseudostatikuntuk menghitung faktor keamanan untuk memperkirakan perpindahan, dengan mempertimbangkan kemungkinan pelemahan kuat geser tanah saat gempa.

Metode Pseudostatik menyederhanakan beban gempa yang bersifat dinamik menjadi beban statik ekuivalen berupa gaya lateral yang bekerja melalui pusat massa dan ke arah luar lereng(Pujianto dkk., 2017). Gaya tersebut digunakan untuk memperhitungkan pengaruh gempa terhadap kestabilan lereng melalui koefisien seismik horizontal. Penerapan beban pseudostatik dapat meningkatkan gaya penggerak pada lereng sehingga nilai faktor keamanan cenderung menurun. Pengaruh beban gempa terhadap kestabilan lereng ditunjukkan pada Gambar 3.4 halaman selanjutnya.

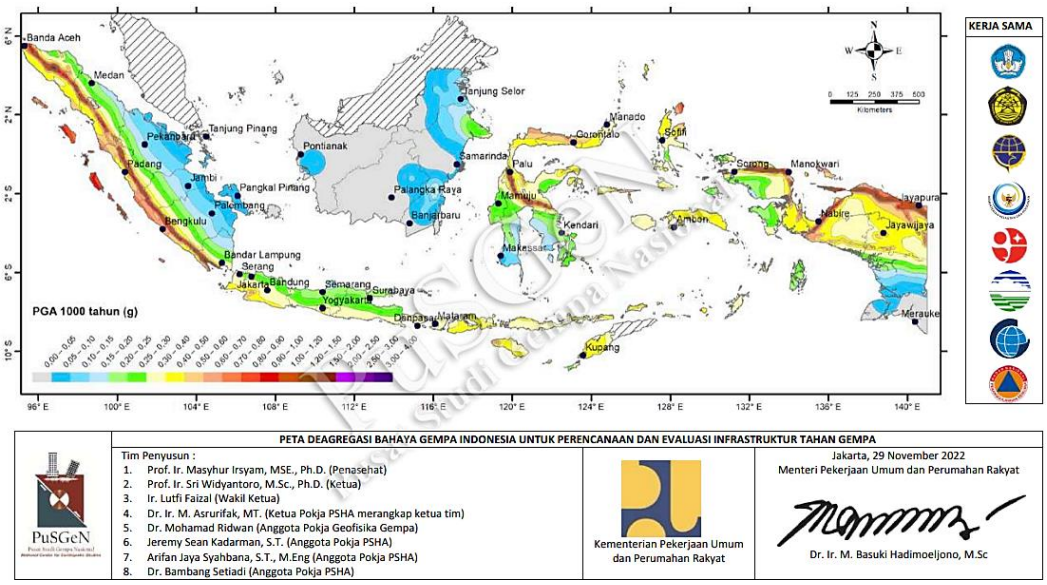


Gambar 3.4 Kelongsoran Lereng Dengan Nilai Koefisien Gempa
(Rekzyanti dkk., 2016)

Dalam analisis stabilitas lereng dengan metode *Pseudostatik*, digunakan koefisien gempa horizontal (Kh) untuk mempresentasikan gaya Pseudostatikyang bekerja pada massa tanah (Shobari dkk., 2019). Menurut analisa Hoek & Bray (1981), nilai koefisien gempa horizontal (Kh) dapat diambil sebesar 50% dari percepatan tanah puncak (PGA), sehingga dapat dituliskan pada persamaan 3.6 berikut.

$$Kh = 50\% \times PGA \quad (3.6)$$

Dimana:
Kh = koefisien gempa horizontal
PGA = percepatan batuan
Untuk mendapatkan nilai percepatan puncak di permukaan tanah diperoleh dengan mengalikan faktor amplifikasi untuk PGA (FPGA) dengan nilai PGA (Shobari dkk., 2019). Nilai PGA yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari peta deagregasi dengan kala ulang 1000 tahun. Nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan pengaruh beban gempa terhadap kestabilan lereng. Penggunaan kala ulang 1000 tahun bertujuan untuk merepresentasikan kondisi gempa rencana dalam analisis. Peta PGA yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.5 halaman selanjutnya.



Gambar 3.5 Peta Percepatan Gempa di Indonesia
(Peta Deagregasi, 2022)

Nilai faktor amplifikasi yang digunakan sebagai faktor pengali untuk memperoleh nilai PGA *surface* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Koefisien Kelas Situs (F_{PGA}) (BSN, 2017)

Kelas Situs	**PGA ≤ 0,1**	**PGA = 0,2**	**PGA = 0,3**	**PGA = 0,4**	**PGA = 0,5**	**PGA ≥ 0,6**
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1
SE	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
SF	SS[(a)]					

3.4 Perkuatan Lereng

3.4.1 Gravity Wall

Dinding penahan tanah tipe *gravity wall* merupakan struktur yang mengandalkan berat sendiri dinding untuk menahan tekanan lateral tanah dan menjaga kestabilan lereng. Berat struktur menghasilkan gaya penahan terhadap kecenderungan dinding

mengalami geser maupun guling akibat tekanan tanah di belakang dinding. SNI 8460:2017 mensyaratkan SF minimum 1,5 untuk stabilitas global pada kondisi statik dan SF > 1,1 pada kondisi gempa/pseudostatik.

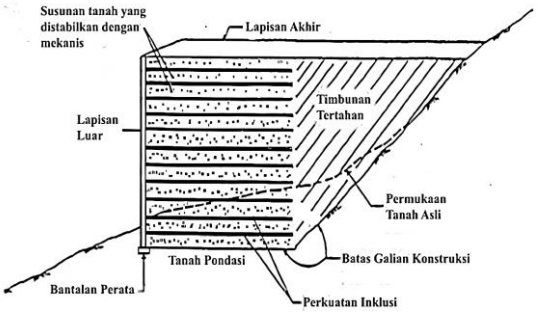
3.4.2 Cantilever Wall

Dinding penahan tanah tipe *cantilever wall* merupakan dinding beton bertulang yang memanfaatkan elemen dinding dan pelat dasar untuk menahan tekanan lateral tanah. Berbeda dengan *gravity wall* yang mengandalkan berat struktur, kestabilan *cantilever wall* diperoleh melalui kombinasi berat dinding, berat tanah di atas heel, serta interaksi antara pelat dasar dan tanah. Berdasarkan SNI 8460:2017, SF minimum stabilitas global adalah 1,5 pada kondisi statik dan >1,1 pada kondisi pseudostatik.

3.4.3 Mechanically Stabilized Earth (MSE) Wall

Hidayat (2021) menjelaskan bahwa *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* merupakan struktur penahan tanah yang bekerja berdasarkan prinsip interaksi antara tanah urug berbutir dan elemen perkuatan internal yang dipasang secara berlapis secara horizontal sehingga membentuk suatu massa tanah komposit yang stabil. Sistem ini memanfaatkan mekanisme friksi dan *interlocking* antara tanah dan material perkuatan seperti *steel strip*, *wire mesh*, geogrid, atau geotekstil untuk mengembangkan gaya tarik yang mampu menahan tekanan lateral tanah, sehingga meningkatkan kuat geser semu dan stabilitas keseluruhan struktur.

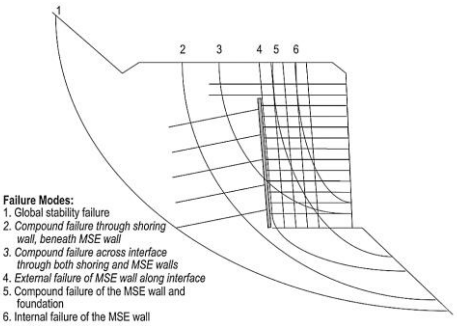
Menurut Deva dkk. (2025) panjang perkuatan untuk *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* umumnya disyaratkan lebih dari 0,7H. Nilai spasi vertikal dapat bervariasi terhadap kedalaman untuk menyesuaikan distribusi tekanan tanah, sehingga kebutuhan perkuatan pada bagian bawah dinding yang menerima beban lebih besar dapat terpenuhi. Komponen perkuatan MSE *Wall* dapat dilihat pada Gambar 3.6 halaman selanjutnya.



Gambar 3.6 Komponen *Mechanically Stablized Earth Wall* (MSE) *Wall* (FHWA, 2009)

Berdasarkan gambar 3.6 dapat dilihat bahwa *Mechanially Stabilized Earth* (MSE) *Wall* merupakan suatu sistem penahan tanah yang tersusun atas tiga komponen utama, yaitu timbunan (*backfill*), elemen perkuatan (*reinforcement*), dan penutup muka (*facing*). Stabilitas ini diperoleh dari interaksi antara tanah dan elemen perkuatan melalui mekanisme gesekan dan tegangan tarik (Aziza & Suhendra, 2022). Struktur ini dipengaruhi oleh karakteristik dari material timbunan yang digunakan, pemilihan material timbunan memegang peran yang penting dalam kinerja MSE *Wall* (Batara & Gofar Nurly, 2024)

Dalam proses pelaksanaan konstruksinya, elemen perkuatan ditempatkan pada setiap lapisan timbunan dan kemudian dipadatkan menggunakan tanah pilihan di bagian belakang dinding untuk mencapai kinerja struktural yang diharapkan (Ratag dkk., 2018). Kegagalan global yang terjadi pada MSE *Wall* dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Kegagalan Global pada Dinding MSE Wall (FHWA, 2009)

Disertakan tabel mengenai faktor keamanan pada Tabel 3.7 Berikut.

Tabel 3.7 Faktor Keamanan Terhadap Potensi Kegagalan (Deva dkk., 2025)

No	**Potensi Kegagalan**	**Faktor Keamanan Minimum**	**Persyaratan Lain**	**Langkah Perbaikan Jika FK Tidak Terpenuhi**
1	Gaya lateral pada dasar	1,5	-	Perpanjang L
2	Momen guling	2 (guling)	$e \leq L/6$	Perpanjang L
3	Daya dukung	2,5	-	Perbaiki tanah pondasi atau perdalam Dm
4	Stabilitas global	1,3	-	Perpanjang L atau perbaiki tanah pondasi
5	Tarik perkuatan (*pullout*)	1,5	-	Perpanjang L
6	Putus perkuatan (rupture)	1,5	-	Atur spasi vertikal perkuatan (sv)

3.4.4 Parameter Pembebanan

Dalam BSN (2017) dituliskan bahwa evaluasi stabilitas lereng harus memasukkan pengaruh berbagai jenis pembebanan, yaitu beban mati, beban hidup, serta beban gempa apabila relevan terhadap kondisi lokasi. Parameter untuk pembebanan statik yang akan digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Beban Lalu Lintas Untuk Analisis Stabilitas dan Beban Diluar (Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

Kelas Jalan	Beban lalu lintas (kPa)	Beban diluar jalan (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

3.5 *PLAXIS 2D*

PLAXIS 2D merupakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang digunakan untuk menganalisis deformasi dan stabilitas geoteknik dalam perencanaan teknik sipil. Program ini memungkinkan permodelan kondisi tanah yang kompleks melalui input parameter tanah secara sistematis, serta menghasilkan output perhitungan yang detail dan terintegrasi secara otomatis (Plaxis 2D, 2011). *PLAXIS 2D* menggunakan pendekatan 2D dalam pemodelannya, dengan dua jenis pemodelan utama, yaitu *plane strain* dan *axisymmetric*. Model *plane strain* digunakan untuk menganalisis kondisi geometri yang diasumsikan memanjang secara kontinu tegak lurus terhadap bidang penampang tinjauan. Sementara model *axisymmetric* digunakan untuk menganalisis struktur dengan geometri berbentuk silinder atau simetris terhadap sumbu tertentu.

Dalam PLAXIS 2D, perilaku tanah dapat dimodelkan menggunakan berbagai jenis model dengan tingkat ketelitian yang berbeda, mulai dari model yang sederhana hingga model yang kompleks. Pemilihan model tanah menjadi aspek yang sangat penting karena berpengaruh pada hasil analisis yang diperoleh, terutama pada deformasi, penurunan, dan respons tanah akibat adanya pembebanan. Sehingga harus menyesuaikan dengan kondisi lapangan agar dapat merepresentasikan perilaku tanah secara lebih akurat.

PLAXIS 2D menyediakan berbagai model konstitutif lanjutan untuk merepresentasikan perilaku tanah secara lebih realistis. Hal ini disebabkan karena model elastis linier yang mengikuti Hukum Hooke, dengan dua parameter utama yaitu *modulus young* (E) dan *poisson rasio* (μ), memiliki keterbatasan dalam menggambarkan perilaku tanah yang bersifat nonlinier. Dalam penelitian ini, model Hardening Soil digunakan dalam tahapan analisis untuk merepresentasikan perilaku tegangan–regangan tanah secara lebih realistis.

3.5.1 Model *Hardening Soil* (HS model).

Model *Hardening Soil* (HS model) merupakan model lanjutan yang digunakan untuk merepresentasikan berbagai perilaku tanah dan batuan (Apriyani dkk., 2016). Berbeda dengan *Mohr-Coulomb* model (MC model) yang menggunakan pendekatan elastoplastis sederhana berdasarkan sudut

geser dalam, HS model menerapkan hubungan hiperbolik tegangan–regangan untuk menggambarkan perilaku tanah yang bersifat nonlinier Model *Hardening Soil* (HS) digunakan untuk merepresentasikan perilaku tanah dengan mempertimbangkan pengaruh tingkat tegangan terhadap kekakuan dan deformasi tanah. Model ini menggunakan tiga parameter kekakuan utama, yaitu E50ref, Eoedref, dan Eurref, yang masing-masing merepresentasikan kekakuan pembebanan triaksial, pembebanan oedometer, dan *unloading–reloading*. Selain itu, model HS mempertimbangkan pengaruh tegangan terhadap modulus kekakuan, di mana kekakuan tanah meningkat seiring bertambahnya tekanan, serta kondisi awal tanah seperti tingkat prakonsolidasi yang memengaruhi perilaku deformasi (Pitaloka & Hamdhan, 2024).

Parameter input model HS meliputi γunsat dan γsat sebagai berat isi tanah, c′, φ′, dan ψ sebagai parameter kuat geser, serta E50ref, Eoedref, dan Eurref sebagai parameter kekakuan. Parameter tersebut idealnya diperoleh melalui pengujian laboratorium, yaitu berat isi dari uji berat volume, c′ dan φ′ dari uji *triaxial* atau *direct shear*, E50ref dari uji *triaxial*, Eoedref dari uji oedometer, dan Eurref dari pengujian *unloading–reloading*. Apabila pengujian tersebut tidak tersedia, parameter dapat ditentukan melalui korelasi empiris berdasarkan data penyelidikan tanah, seperti N-SPT atau CPT. Parameter lainnya meliputi m sebagai eksponen ketergantungan kekakuan terhadap tegangan, νur sebagai rasio Poisson pada kondisi *unloading–reloading*, pref sebagai tegangan referensi yang umumnya ditetapkan sebesar 100 kPa, K_{0}^{nc} sebagai koefisien tekanan tanah pada kondisi normally consolidated, serta Rf sebagai failure ratio. Parameter-parameter tersebut dapat ditentukan berdasarkan hasil pengujian, korelasi empiris, maupun nilai rekomendasi sesuai karakteristik tanah dan kebutuhan pemodelan.

3.5.2 Tahapan Pengerjaan

1. *Input* data

   Pada tahap awal dilakukan pemoodelan dalam aplikasi yang mempresentasikan kondisi lapangan, dengan memasukkan data parameter tiap lapisan, beban yang bekerja, serta kedalaman muka air tanah.

2. *Calculattion*

   Setelah seluruh data input dimasukkan ke dalam model, langkah selannjutnya adalah menjalankan proses perhitungan pada Plaxis untuk menganalisis respons tanah terhadap kondisi yang dimdelkan. Proses ini dilakukan melalui tahapan kalkulasi berbasis metode elemen hingga guna memperoleh hasil berupa deformasi, distribusi tegangan, dan faktor keamanan.

3. *Output*

   Setelah kalkulasi selesai, Plaxis akan menampilkan output hasil dari analisis dalam berbagai bentuk, seperti dat anumerik, visual kontur, serta kurva hasil perhitungan. Output tersebut mencakup deformasi, distribusi tegangan, regangan, dan faktor keamanan yang digunakan untuk mengevaluasi perilaku tanah dan stabilitas model.

4. *Curve*

   Plaxis dapat digunakan untuk menampilkan hubungan antara variabel dalam bentuk kurva, seperti hubungan antara beban dan perpindahan, serta hubungan tegangan dan regangan.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada kawasan gedung perkuliahan Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Kampus 3 yang beralamat lengkap di Jalan Locari, Tlekung, Kecamatan Junrejo, Kota Batu, Jawa Timur. Lokasi ini dipilih karena berada pada area fasilitas pendidikan yang memerlukan perencanaan yang sesuai dengan kondisi tanah setempat, sehingga memerlukan analisis geoteknik untuk memastikan keamanan dan kestabilan konstruksi yang akan dibangun. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian

(Google, 2026)

Penyelidikan tanah terfokus pada area Gedung Ar-Rohim dengan melakukan enam (6) titik pengeboran SPT (BH-03, BH-04, BH-05, BH-06, BH-08, dan BH-09) dengan kedalaman pengeboran masing-masing 30 meter guna memperoleh profil dan parameter tanah. Sebaran titik *borehole* tersebut digunakan untuk merepresentasikan kondisi tanah di area studi dan menjadi dasar dalam analisis stabilitas serta perencanaan perkuatan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Peta Lokasi Titik Penyelidikan Tanah
(PT Pola Data Consultant, 2023)

4.2 Tahapan Penelitian

Dalam proses penelitian ini dibagi dalam beberapa tahapan yang sistematis, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Tahapan pengumpulan data

   Pada tahap ini diperlukan pengumpulan data sekunder yang menjadi dasar analisis dalam penelitian, meliputi data hasil uji SPT dari enam titik pengeboran (*borehole*), yaitu BH-03, BH-04, BH-05, BH-06, BH-08, Dan BH-09, yang digunakan untuk memperoleh prodil serta karakteristik tanah di lokasi studi. Selain itu, dikumpulan pula data pendukung lainnya seperti parameter pembebanan seperti beban kegempaan berupa nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan beban statik. Sehingga keseluruhan data tersebut dapat digunakan dalam analisis stabilitas dan perencanaan perkuatan lereng.

2. Tahapan analisis dan pemodelan

   Data hasil penyelidikan tanah, geometri lereng, dan perkuatan eksisting digunakan sebagai dasar pemodelan untuk perkuatan lereng eksisting dengan dinding penahan tanah konvensional dan perkuatan dengan MSE *Wall*

menggunakan PLAXIS 2D. Pemodelan dilakukan pada kondisi pembebanan statik dan pembebanan gempa (*Pseudostatik*).

3. Tahapan penulisan dan penarikan Kesimpulan

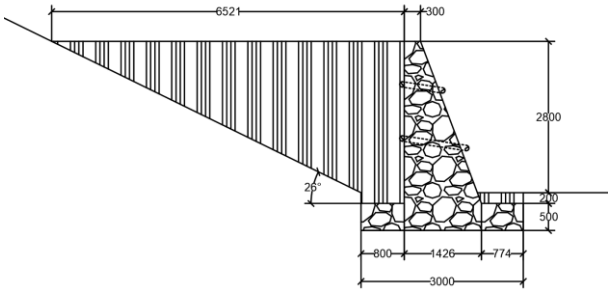
   Tahapan ini mencakup penyususnan Laporan Tugas Akhir berdasarkan seluruh hasil pengolahan dan analisis data yang dilakukan, dengan sistematika penulisan yang runtut mulai dari latar belakang, tinjauan pustaka, metodologi, hasil analisis, hingga pembahasan, sehingga diperoleh kesimpulan yang komprehensif mengenai kondisi stabilitas lereng pada wilayah penelitian, sekaligus disertai evalusi serta rekomendasi teknis yang dapat menjadi acuan dalam perencanaan dan penanganan perkuatan lereng dilapangan.

4.3 Data Penelitian

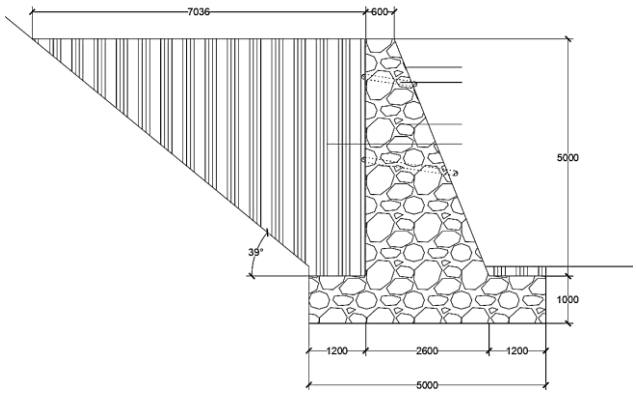
Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari PT Pola Data Consultant sebagai dasar dalam analisis kondisi lereng di lokasi penelitian yang selanjutnya digunakan sebagai input dalam pemodelan PLAXIS 2D.

4.3.1 Geometri Perkuatan Lereng Eksisting

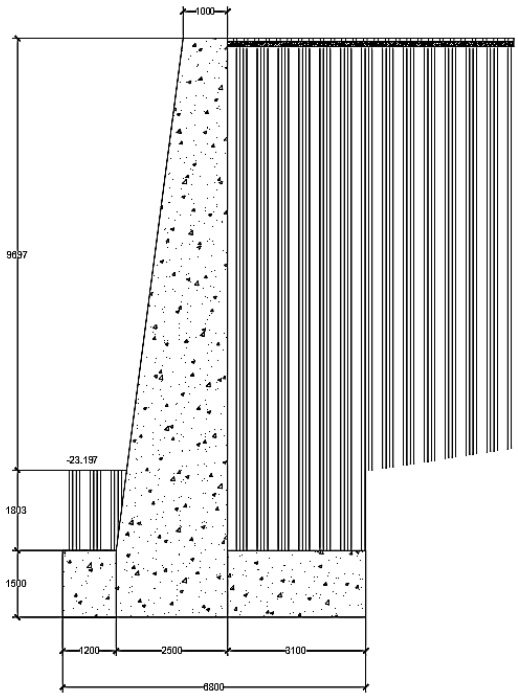
Pada lokasi eksisting lereng sudah di perkuat dengan perkuatan gravity wall pada ketinggian 2 m, 5 m, dan 9m. Geometri lereng yang akan dianalisis merupakan data sekunder, sehingga tidak dilakukan pemodelan ulang geometri. Geometri perkuatan dapat dilihat pada Gambar 4.2 sampai 4.4 berikut.



Gambar 4. 2 Dinding Perkuatan Eksisting Ketinggian 2 m
(PT Pola Data Consultant, 2023)



Gambar 4.3 Dinding Perkuatan Eksisting Ketinggian 5 m
(PT Pola Data Consultant, 2023)

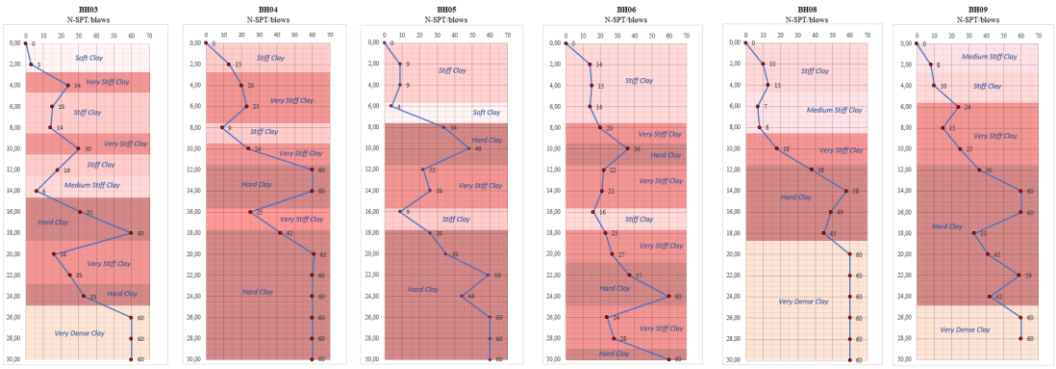


Gambar 4.4 Dinding Perkuatan Eksisting Ketinggian 9 m
(PT Pola Data Consultant, 2023)

4.3.2 Data Uji Lapangan

Hasil pengujian SPT dapat digunakan sebagai dasar penentuan parameter tanah, di mana pengujian lapangan dilakukan dengan metode SPT pada enam titik

pengeboran (*borehole*), yaitu BH-03, BH-04, BH-05, BH-06, BH-08, dan BH-09 sesuai dengan Gambar 4.5 berikut.



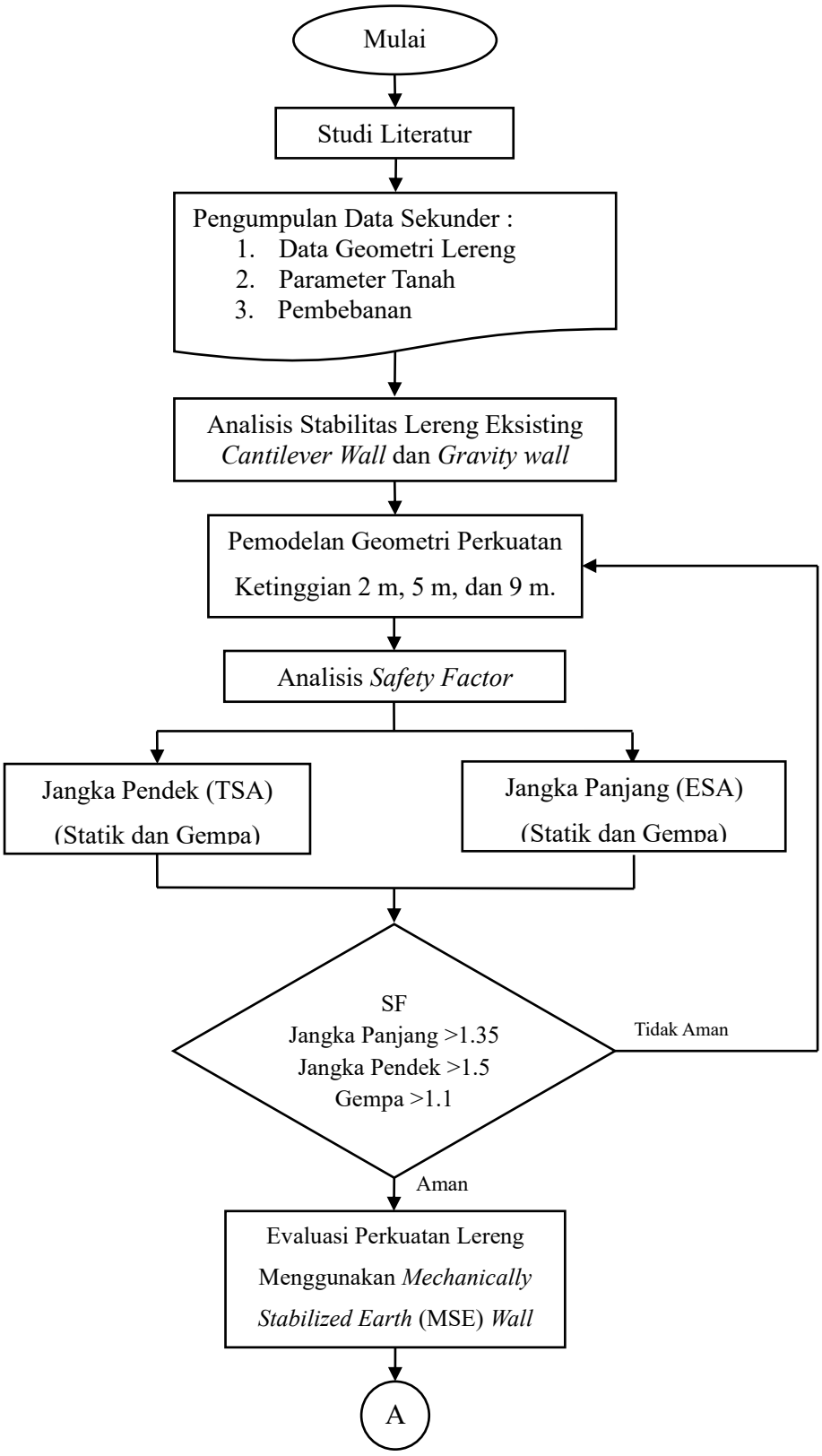
Gambar 4.5 Nilai N-SPT Pada Lokasi Pengeboran
(Sumber: PT Pola Data Consultant, 2023)

4.3.3 Data Pembebanan

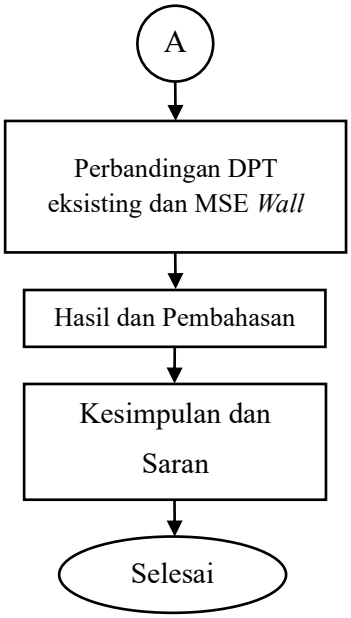
Sesuai dengan SNI 8460:2017 pada analisis kali ini memperhitungkan beban-beban yang bekerja, baik beban sendiri tanah, beban tambahan seperti lalu lintas atau beban struktur di atasnya, maupun beban gempa, sehingga perilaku lereng dapat direpresentasikan secara realistis dalam perhitungan. Analisis ini menjadi penting untuk meningkatkan akurasi dan kinerja desain perencanaan, sekaligus mengidentifikasi potensi bidang gelincir dan mekanisme kegagalan.

4.4 Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui tahapan yang sistematis, mulai dari identifikasi masalah hingga penarikan kesimpulan. Untuk memperjelas alur penelitian, disusun bagan alir yang bertujuan untuk memudahkan pelaksanaan serta membantu pembaca untuk memahami tahapan metodologi secara runtut dan logis. Diagram alir tersebut disajikan pada halaman selanjutnya.



Gambar 4.6 Bagan Alir



Lanjutan Gambar 4.6 Bagan Alir

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Kondisi Tanah Lereng

Kondisi tanah merupakan faktor utama yang memengaruhi perilaku lereng dan nilai faktor keamanan pada kondisi statik maupun gempa baik untuk jangka pendek (TSA) dan jangka panjang (ESA). Pada penelitian ini, kondisi tanah diperoleh dari data sekunder laporan *Review Slope Stability* Galian Timbunan UIN Malang Kampus 3 yang disusun oleh PT Pola Data Consultant (2023) dan jurnal penelitian pendukung.

5.1.1 Penyelidikan Tanah

Berdasarkan laporan penyelidikan tanah, investigasi dilakukan pada beberapa titik *borehole* yang tersebar dikawasan pembangunan Kampus 3 UIN Malang. Setiap titik *borehole* menghasilkan data bor log nilai N-SPT pada setiap kedalaman. Lokasi pengeboran ditunjukkan pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Lokasi Titik Pengeboran

(PDC, 2023)

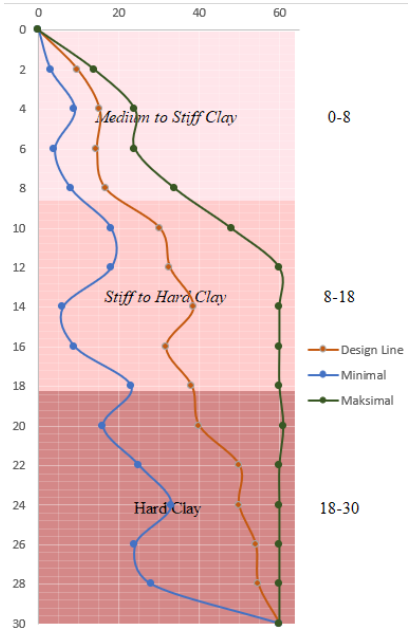
5.1.2 Hasil Pengujian Standar Penetration Test (SPT)

Berdasarkan data penyelidikan tanah, nilai N-SPT cenderung meningkat seiring bertambahnya kedalaman, sedangkan selama pengeboran tidak ditemukan muka air tanah. Nilai N-SPT dari seluruh titik *borehole* kemudian dikelompokkan

berdasarkan interval kedalaman, lalu dihitung nilai minimum, maksimum, dan rata-ratanya. Nilai rata-rata digunakan sebagai N-SPT representatif untuk membentuk *design line* yang menggambarkan profil N-SPT tanah di lokasi penelitian, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.2 berikut.

Tabel 5.1 Design Line N-SPT

Depth	Deskrisi	N-SPT/ Blows						Design Line		
(m)	Borlog	BH3	BH4	BH5	BH6	BH8	BH9	Min	Max	Avg
2	Lempung	3	13	9	14	10	8	3	14	10
4	Lempung	24	20	9	15	13	10	9	24	15
6	Lempung	15	23	4	14	7	24	4	24	15
8	Lempung	14	9	34	20	8	15	8	34	17
10	Lempung	30	24	48	36	18	25	18	48	30
12	Lempung	18	60	22	22	38	36	18	60	33
14	Lempung	6	60	26	21	58	60	6	60	39
16	Lempung	31	25	9	16	49	60	9	60	32
18	Lempung	60	42	26	23	45	33	23	60	38
20	Lempung	16	61	35	27	60	41	16	61	40
22	Lempung	25	60	59	37	60	59	25	60	50
24	Lempung	33	60	44	60	60	42	33	60	50
26	Pasir	60	60	60	24	60	60	24	60	54
28	Pasir	60	60	60	28	60	60	28	60	55
30	Pasir	60	60	60	60	60	60	60	30	60



Gambar 5.2 *Design line* N-SPT

(PT Pola Data Consultant, 2023)

Berdasarkan hasil interpretasi design line, lokasi penelitian tersusun atas tiga lapisan tanah utama. Lapisan pertama berupa *medium to stiff clay* pada kedalaman sekitar 0-8 m dengan nilai rata-rata N-SPT sebesar 14, diikuti lapisan kedua berupa *stiff to hard clay* pada kedalaman 8-18 m dengan nilai rata-rata N-SPT sebesar 34, dan lapisan ketiga berupa *hard clay* pada kedalaman 18-30 m dengan nilai rata-rata N-SPT sebesar 51. Peningkatan nilai N-SPT seiring bertambahnya kedalaman menunjukkan bahwa konsistensi dan kekuatan tanah semakin meningkat.

5.1.3 Parameter Tanah

Parameter yang digunakan meliputi kedalaman lapisan, nilai rata-rata N-SPT, kuat geser tak terdrainasi (*Su*), modulus elastisitas (*Eu*), sudut geser dalam efektif (ϕ′), kohesi efektif (c′), modulus elastisitas (*E′*), modulus oedometrik (*Eoed′*), dan modulus bongkar-muat (*Eur′*). Rekapitulasi parameter yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 5.2 Parameter Tanah berikut.

Tabel 5.2 Parameter Tanah (PT Pola Data Consultant ,2023)

Soil layer	Model	Depth		N-SPT Avg	Ysat	Yunsat	Su (6N)	Eu	Phi'	c'	E'	Eoed'	Eur'
		m	m					kPa	°	kPa	kPa	kPa	kPa
Timbunan					18	17			34	1	60000	60000	180000
Medium to Stiff Clay	HS	0	8	14	20	17	83.75	83750	25	8.375	67000	67000	201000
Stiff to Hard Clay	HS	8	18	34	20	18	205.4	205400	25	20.54	164320	164320	492960
Hard Clay	HS	18	30	51	21	19	308.5	308500	25	30.85	246800	246800	740400

5.2 Pembebanan

Pembebana yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beban statik dan beban gempa *Pseudostatik*. Kedua jenis pembebanan tersebut diterapkan dalam pemodelan lereng untuk mengevaluasi kondisi stabilitas lereng pada kondisi normal maupun akibat pengaruh beban gempa.

5.2.1 Pembebanan Statik

Mengacu pada Tabe Tabel 3.8 Beban Lalu Lintas Untuk Analisis Stabilitas dan Beban Diluar (Departemen Pekerjaan Umum, 2009), lokasi penelitian diklasifikasikan sebagai jalan kelas 3 dengan lalu lintas ringan. Sesuai kondisi

kawasan kampus yang didominasi kendaraan ringan dan kendaraan operasional terbatas, beban lalu lintas yang digunakan adalah 12 kPa.

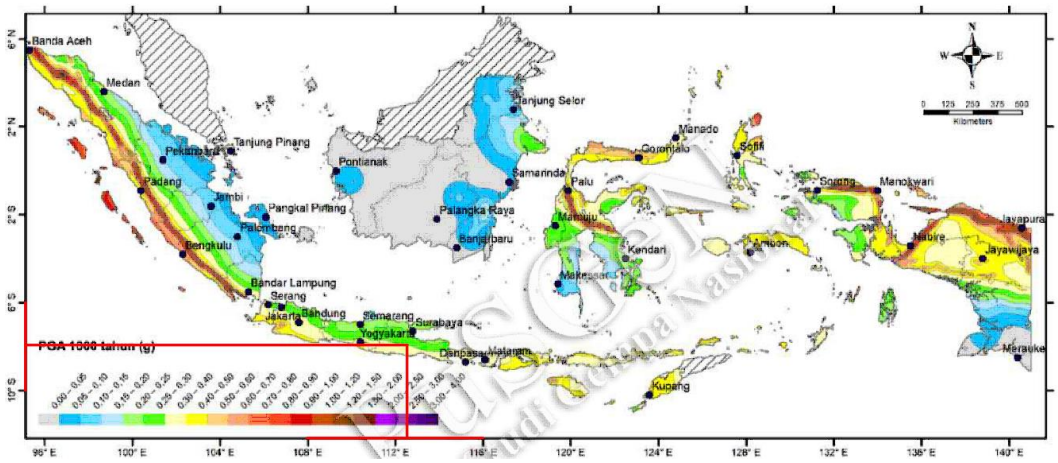
5.2.2 Klasifikasi Situs (*Site Class*) dan koefisien Gempa

Penentuan kelas situs bertujuan memperoleh faktor amplifikasi gempa yang sesuai dengan karakteristik tanah di lokasi penelitian. Klasifikasi dilakukan berdasarkan nilai rata-rata N-SPT hingga kedalaman 30 m yang diolah menggunakan *design line* N-SPT untuk memperoleh nilai minimum dan rata-rata pada setiap interval kedalaman. Hasil klasifikasi situs disajikan pada Tabel 5.3 berikut

Tabel 5.3 Kelas Situs (*Site Class*) (PT Pola Data Consultant, 2023)

(m)	Borlog	BH3	BH4	BH5	BH6	BH8	BH9
2	Lempung	3	13	9	14	10	8
4	Lempung	24	20	9	15	13	10
6	Lempung	15	23	4	14	7	24
8	Lempung	14	9	34	20	8	15
10	Lempung	30	24	48	36	18	25
12	Lempung	18	60	22	22	38	36
14	Lempung	6	60	26	21	58	60
16	Lempung	31	25	9	16	49	60
18	Lempung	60	42	26	23	45	33
20	Lempung	16	61	35	27	60	41
22	Lempung	25	60	59	37	60	59
24	Lempung	33	60	44	60	60	42
26	Pasir	60	60	60	24	60	60
28	Pasir	60	60	60	28	60	60
30	Pasir	60	60	60	60	60	60
N-Average		14.99	28.84	17.16	22.69	21.85	25.87
Type		SE	SD	SD	SD	SD	SD

Berdasarkan hasil klasifikasi, lokasi penelitian termasuk kelas situs SD (tanah sedang) sesuai SNI 1726:2019. Selanjutnya, parameter gempa ditentukan berupa nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) pada batuan dasar yang diperoleh dari Peta Deagregasi Pusat Studi Gempa Nasional, dapat dilihat pada Gambar 5.3 halaman selanjutnya.



Gambar 5.3 PGA Batuan Dasar

(Peta Deagregasi, 2022)

Data gempa pada lokasi penelitian di Malang memiliki nilai PGA pada batuan dasar (PGA *bedrock*) yang diperoleh dari peta deagregasi pada Gambar 5.3 sebesar 0,30 g. Nilai tersebut kemudian dikalikan dengan faktor amplifikasi percepatan tanah (FPGA) sebesar 1,3 sesuai kelas situs yang tercantum pada Tabel 3.6 Koefisien Kelas Situs (FPGA) (BSN, 2017), sehingga diperoleh PGA permukaan (PGA *surface*) sebesar 0,39 g. Selanjutnya, nilai PGA *surface* digunakan untuk menentukan koefisien percepatan horizontal Pseudostatik(kh) sebesar 50% dari PGA *surface*, sehingga diperoleh nilai kh sebesarr 0,195 g yang selanjutnya akan digunakan dalam analisis stabilitas lereng pada kondisi pembebanan gempa *Pseudostatik*.

5.3 Perkuatan Lereng Eksisting

Pada kondisi eksisting, lereng di lokasi penelitian diperkuat dengan *gravity wall* dan *cantilever wall*. Evaluasi kestabilan kedua perkuatan dilakukan melalui pemodelan PLAXIS 2D untuk memperoleh nilai *safety factor* (SF), dengan geometri dan dimensi perkuatan mengacu pada gambar perencanaan eksisting serta parameter tanah berdasarkan hasil penyelidikan geoteknik.

5.3.1 Gravity wall

Pada penelitian ini, kinerja *gravity wall* dievaluasi melalui pemodelan menggunakan PLAXIS 2D dengan tujuan mengetahui nilai *safety factor*. Pada

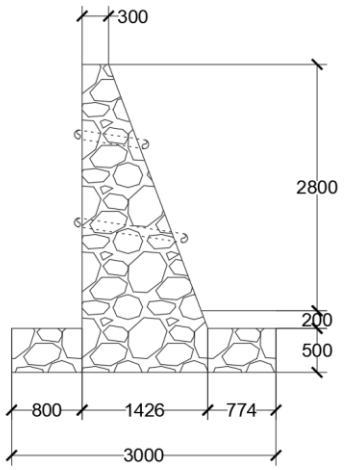
kondisi eksisting, lereng yang diperkuat dengan *gravity wall* adalah lereng dengan ketinggian 2 m dan 5 m. Parameter yang digunakan pada perkuatan *gravity wall* disajikan pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Parameter Gravity Wall

Parameter Input Gravity Wall (PLAXIS 2D)		
Yunsat	22	kN/m^3
Eref	2574000	kN/m^2
Soil Model	Linear Elastic (Non Porous)	

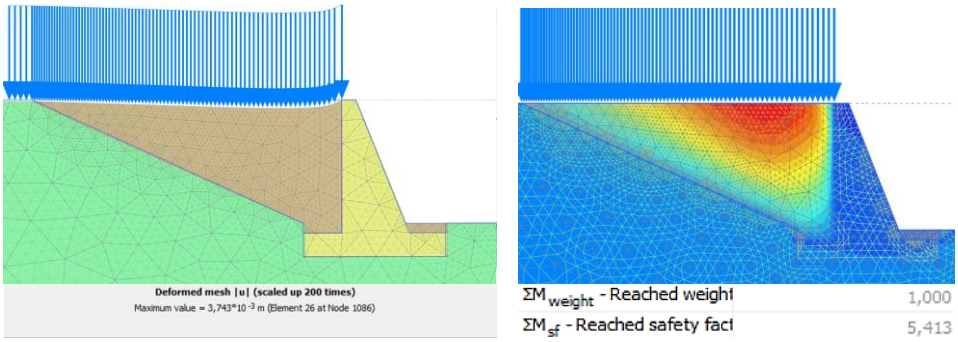
1. Lereng Tinggi 2 m

   Pada kondisi eksisting, pemodelan lereng yang diperkuat dengan *gravity wall* pada ketinggian 2 m, geometri lereng dapat dilihat pada Gambar 5.4 Berikut.

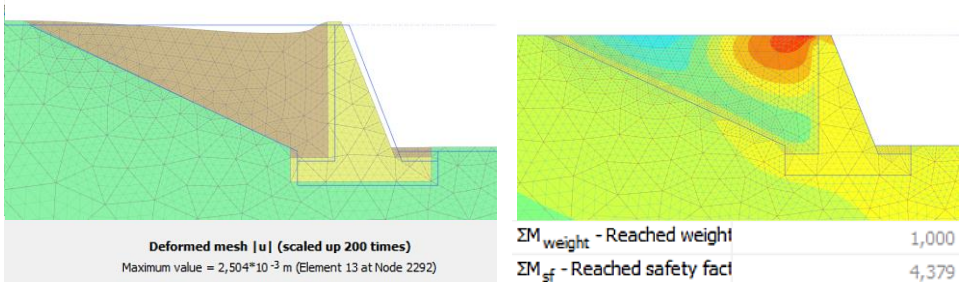


Gambar 5.4 *Gravity Wall* 2 m
(PT Pola Data Consultant)

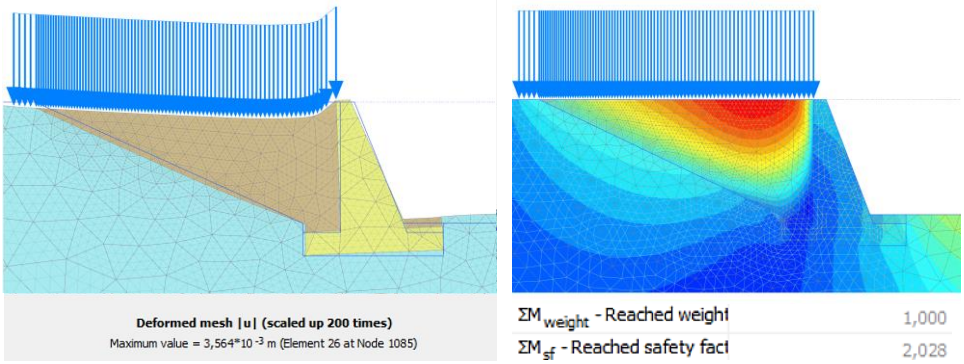
Dengan geometri seperti pada gambar diatas, dilakukan pemodelan pada PLAXIS 2D untuk mengetahui berapa nilai *safety factor* yang dipreroleh dari perkuatan lereng terserbut. Hasil pemodelan dan analisis yang dilakukan untuk lereng dengan ketinggian 2 m dapat dilihat pada Gambar 5.5 sampai 5.8 halaman selanjutnya.



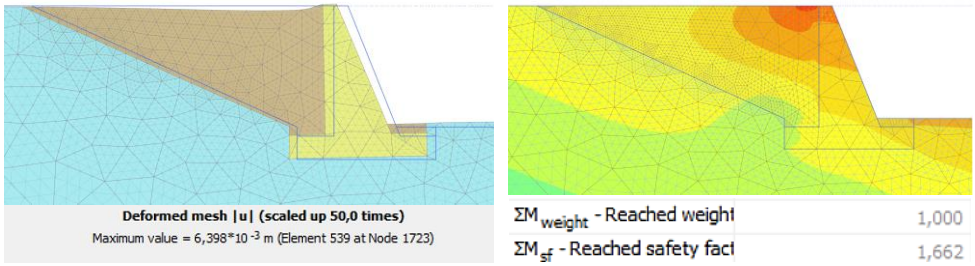
Gambar 5.5 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Statik (TSA)



Gambar 5.6 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Gempa (TSA)



Gambar 5.7 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Statik (ESA)



Gambar 5.8 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Gempa (ESA)

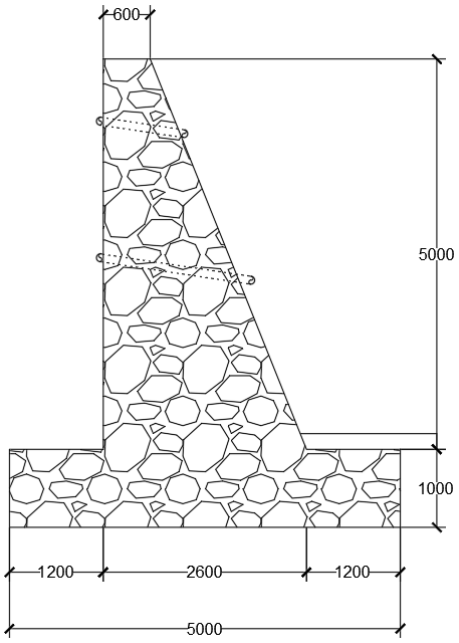
Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 5.5 sampai dengan Gambar 5.8, nilai *safety factor* (SF) pada kondisi jangka pendek (TSA) sebesar 5,413 untuk pembebanan statik dan 4,379 untuk pembebanan *Pseudostatik*. Sementara itu, pada kondisi jangka panjang (ESA) diperoleh nilai SF sebesar 2,028 pada pembebanan statik dan 1,662 pada pembebanan *Pseudostatik*. Untuk mempermudah, nilai *safety factor* untuk lereng eksisting dengan perkuatan *gravity wall* ketinggian 2 m disajikan dalam bentuk rekapitulasi pada Tabel 5.5 Berikut.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Nilai SF *Gravity Wall* Ketinggian 2 m

Jangka Pendek (TSA)		Jangka Pendek (TSA)	
Statik	Gempa	Statik	Gempa
SF Izin (1,5)	SF Izin (1,1)	SF Izin (1,35)	SF Izin (1,1)
5,413	4,379	2,028	1,662
Aman	Aman	Aman	Aman

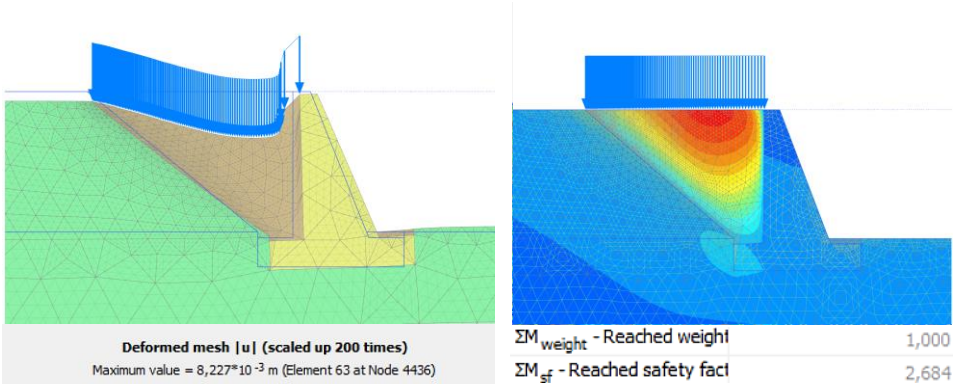
2. Lereng Tinggi 5 m

Selanjutnya untuk pemodelan lereng yang diperkuat dengan *gravity wall* pada ketinggian 5 m dapat dilihat pada Gambar 5.9 halaman selanjutnya.

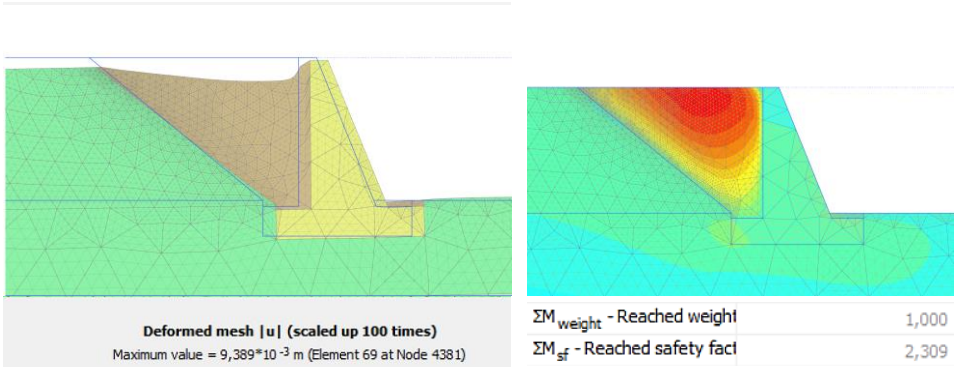


Gambar 5.9 Garvity *Wall* 5 m
(Sumber: PT Pola Data Consultant)

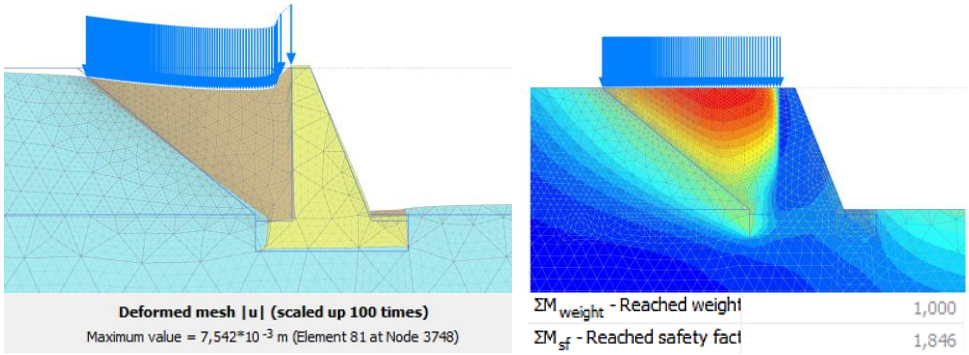
Dengan geometri seperti pada gambar sebelumnya, dilakukan pemodelan pada PLAXIS 2D untuk mengetahui berapa nilai *safety factor* yang dipreroleh dari perkuatan lereng terserbut. Hasil pemodelan dan analisis yang dilakukan untuk lereng dengan ketinggian 5 m dapat dilihat pada Gambar 5.10 Sampai 5.13 berikut.



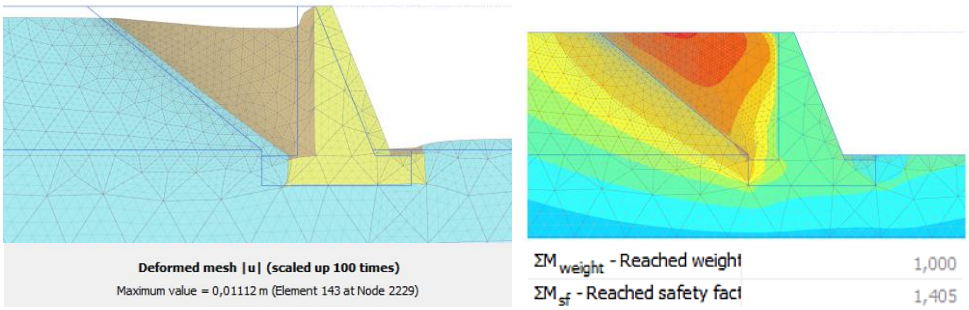
Gambar 5.10 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Statik (TSA)



Gambar 5.11 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Gempa (TSA)



Gambar 5.12 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Statik (ESA)



Gambar 5.13 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan *Gravity Wall* pada Kondisi Beban Gempa (ESA)

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 5.10 sampai dengan Gambar 5.13, nilai *safety factor* (SF) pada kondisi jangka pendek (TSA) sebesar 2,684, untuk pembebanan statik dan 2,309 untuk pembebanan *Pseudostatik*. Sementara itu, pada kondisi jangka panjang (ESA) diperoleh nilai SF sebesar 1,846 pada pembebanan statik dan 1,405 pada pembebanan *Pseudostatik*. Untuk mempermudah, nilai *safety factor* untuk lereng eksisting dengan perkuatan *gravity wall* ketinggian 5 m disajikan dalam bentuk rekapitulasi pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai SF *Gravity Wall* Ketinggian 5 m

Jangka Pendek (TSA)		**Jangka Panjang (ESA)**	
Statik	Gempa	Statik	Gempa
SF Izin (1,5)	SF Izin (1,1)	SF Izin (1,35)	SF Izin (1,1)
2,684	2,309	1,846	1,405
Aman	Aman	Aman	Aman

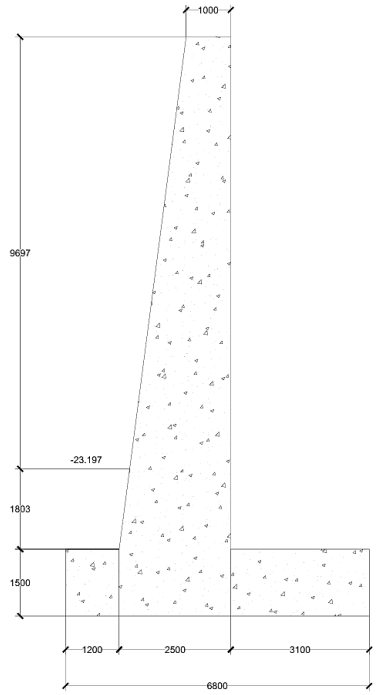
5.3.2 Cantilever wall

Pada lokasi penelitian, lereng dengan ketinggian 9 m diperkuat menggunakan *cantilever wall*. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan geometri lereng dan konfigurasi perkuatan yang disesuaikan dengan kondisi desain eksisting di lapangan. Parameter yang digunakan pada perkuatan *gravity wall* disajikan pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Parameter *Cantilever Wall*

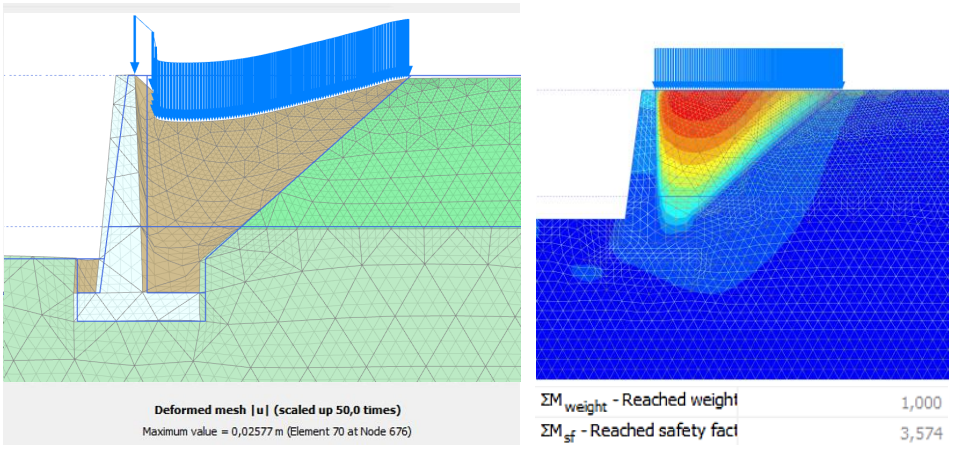
Parameter Input Gravity Wall (PLAXIS 2D)		
Yunsat	22	kN/m^3
Eref	2574000	kN/m^2
Soil Model	Linear Elastic (Non Porous)	

Untuk geometri pemodelan dapat dilihat pada Gambar 5.14 halaman selanjutnya.

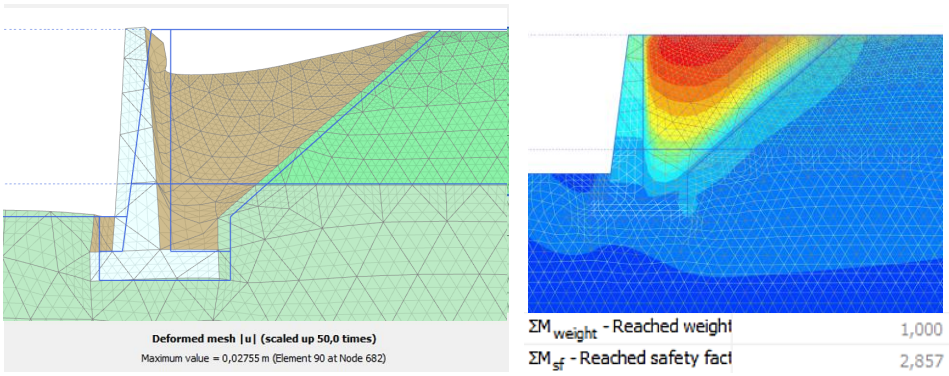


Gambar 5.14 *Cantilever Wall* 9 m
(PT Pola Data Consultant, 2023)

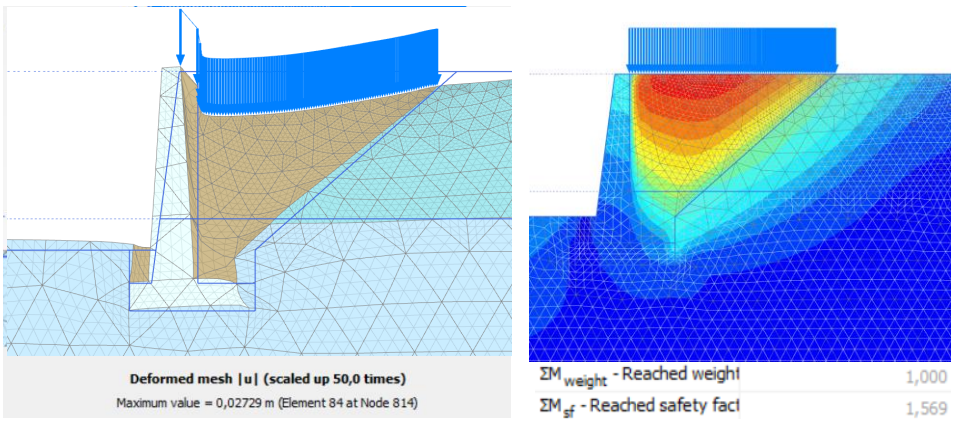
Dengan geometri seperti pada gambar sebelumnya, dilakukan pemodelan pada PLAXIS 2D untuk mengetahui berapa nilai *safety factor* yang dipreroleh dari perkuatan lereng terserbut. Hasil pemodelan dan analisis yang dilakukan untuk lereng dengan ketinggian 2 m dapat dilihat pada Gambar 5.15 Sampai 5.18 berikut.



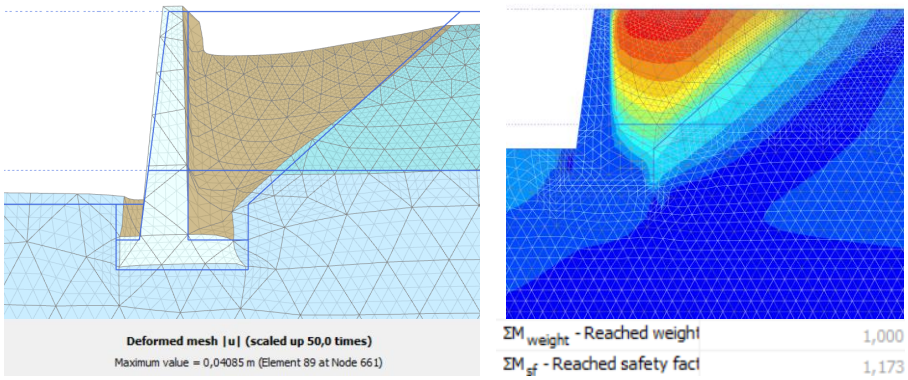
Gambar 5.15 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan *Cantilever Wall* pada Kondisi Beban Statik (TSA)



Gambar 5.16 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan *Cantilever Wall* pada Kondisi Beban Gempa (TSA)



Gambar 5.17 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan *Cantilever Wall* pada Kondisi Beban Statik (ESA)



Gambar 5.18 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan *Cantilever Wall* pada Kondisi Beban Gempa (ESA)

Berdasarkan hasil analisis Gambar 5.15 sampai Gambar 5.18, nilai safety factor (SF) lereng eksisting dengan *cantilever* setinggi 9 m pada kondisi TSA sebesar 3,574 (statik) dan 2,857 (*Pseudostatik*), sedangkan pada kondisi ESA sebesar 1,569 (statik) dan 1,173 (*Pseudostatik*). Untuk mempermudah, nilai *safety factor* untuk lereng eksisting dengan perkuatan *cantilever* ketinggian 9 m disajikan dalam bentuk rekapitulasi pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Nilai SF *Cantilever Wall* Ketinggian 9 m

Jangka Pendek (TSA)		Jangka Panjang (ESA)	
Statik	Gempa	Statik	Gempa
SF Izin (1,5)	SF Izin (1,1)	SF Izin (1,35)	SF Izin (1,1)
3,574	2,857	1,569	1,173
Aman	Aman	Aman	Aman

5.4 Perkuatan Lereng dengan MSE *Wall*

Penelitian ini selanjutnya mengevaluasi alternatif perkuatan lereng menggunakan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall* pada tiga variasi ketinggian, yaitu 2 m, 5 m, dan 9 m. Parameter tanah mengacu pada Tabel 5.2, sedangkan geotekstil sebagai material perkuatan menggunakan parameter dari katalog HIBRITEX yang disajikan pada Tabel 5.9. Pemodelan dilakukan untuk mengevaluasi faktor keamanan (*safety factor*) pada setiap variasi ketinggian lereng.

Tabel 5.9 Parameter Geotekstil

Keterangan	**Kuat Tarik**	**EA1 (kN/m)**	**EA2 (kN/m)**	**Np1**	**Np2**
Geotekstil	105	1050	150	61,58	8,8
Geotekstil	205	2050	150	120,235	8,8

Parameter *facing* yang digunakan dalam pemodelan MSE *Wall* disesuaikan dengan perkuatan yang direncanakan. Adapun parameter *facing* yang digunakan dalam analisis disajikan pada Tabel 5.10 halaman selanjutnya.

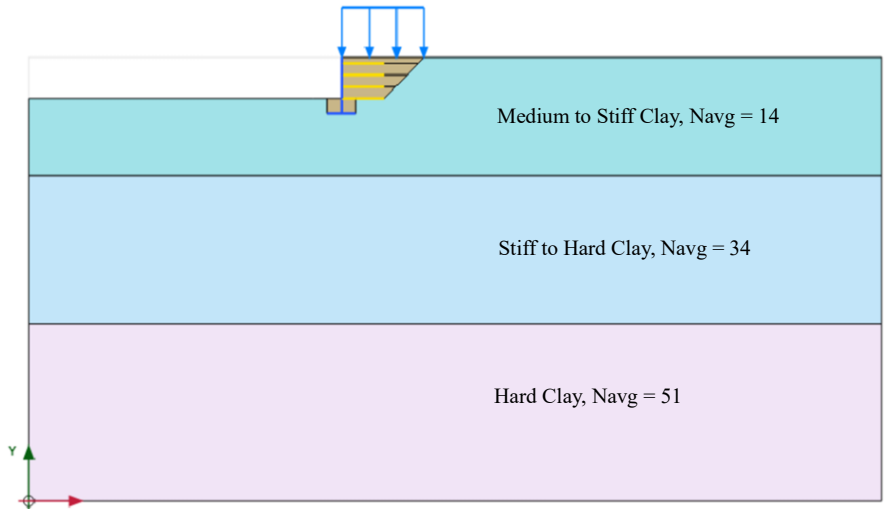
Tabel 5.10 Parameter *Facing* MSE *Wall*

***Concrete* panel**		
D (m)	0,20	0.15
E (kN/m2)	24647007	24647007
EA (kN/m)	4929401	3697051
EI (kN m2/m)	16431	6931

Analisis dilakukan untuk kondisi pembebanan secara bertahap untuk kondisi jangka pendek dan jangka panjang, beban layan dan kondisi saat gempa. Nilai faktor keamanan lereng diperoleh menggunakan metode *Strenght Reduction Method* (SRM) yang tersedia pada PLAXIS 2D melalui analisis *safety.*

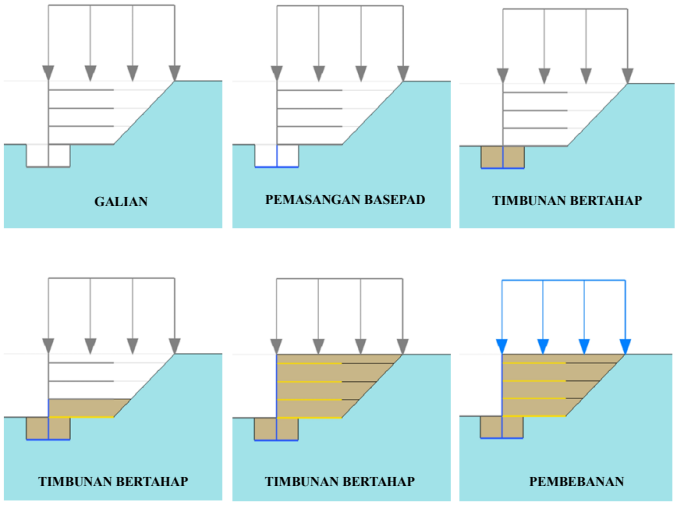
5.4.1 Pemodelan Lereng Tinggi 2 m

Pada pemodelan lereng dengan ketinggian 2 m digunakan *vertical spacing* (Sv) sejauh 0.8 m. Panjang geotekstil yang digunakan pada pemodelan sepanjang 3 m. Nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan minimum panjang lapisan geotektstil yaitu 0,7H. Lembaran geotekstil yang dipakai pada ketinggian 2 m adalah geotekstil dengan kuat tarik 105 dan tebal *facing* sebesar 0.15 m. Berikut disajikan pemodelan MSE *Wall* untuk ketinggian 2 m pada Gambar 5.19 berikut.



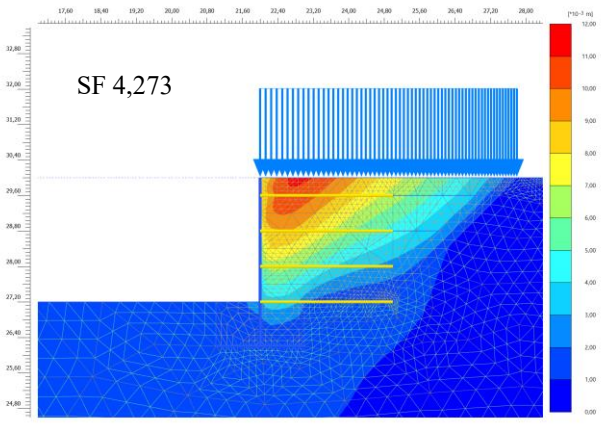
Gambar 5.19 Pemodelan MSE *Wall* Ketinggian 2 m

Setelah itu dilanjutkan dengan penyusunan tahapan konstruksi untuk mempresentasikan proses pelaksanaan MSE *Wall* secara bertahap seperti pada Gambar 5.20 berikut.

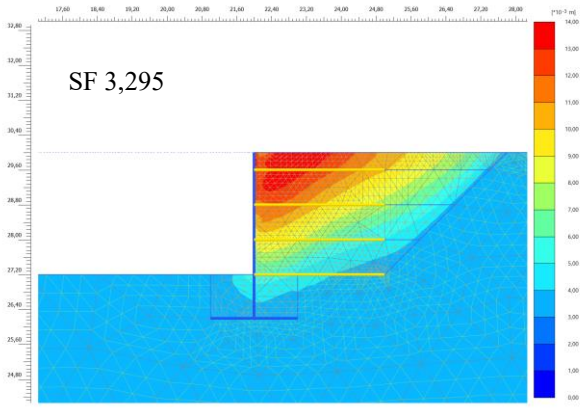


Gambar 5.20 Tahapan Konstruksi MSE *Wall* Ketinggian 2 m

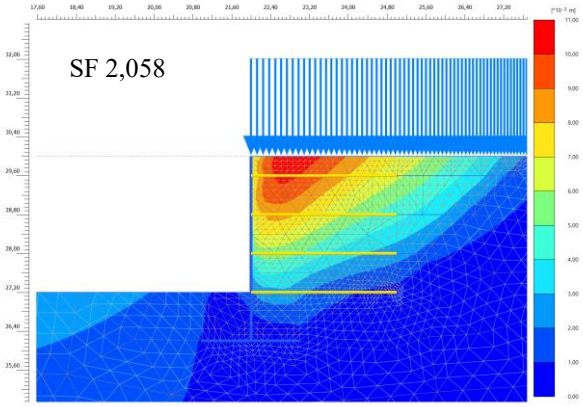
Setelah seluruh tahapan konstruksi selesai, model selanjutnya digunakan untuk memperoleh nilai *safety factor* baik pada kondisi pembebanan statik maupun pada kondisi pembebanan gempa untuk jangka pendek (TSA) dan jangka panjang (ESA). Untuk hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 5.21 sampai Gambar 5.24 berikut.



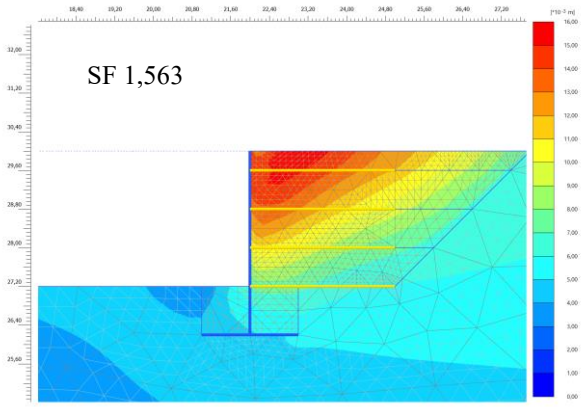
Gambar 5.21 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Statik (TSA)



Gambar 5.22 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Gempa (TSA)

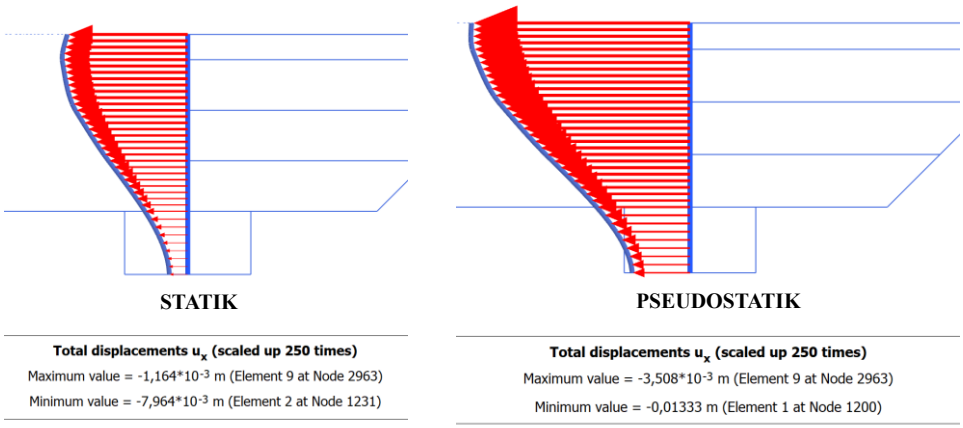


Gambar 5.23 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Statik (ESA)

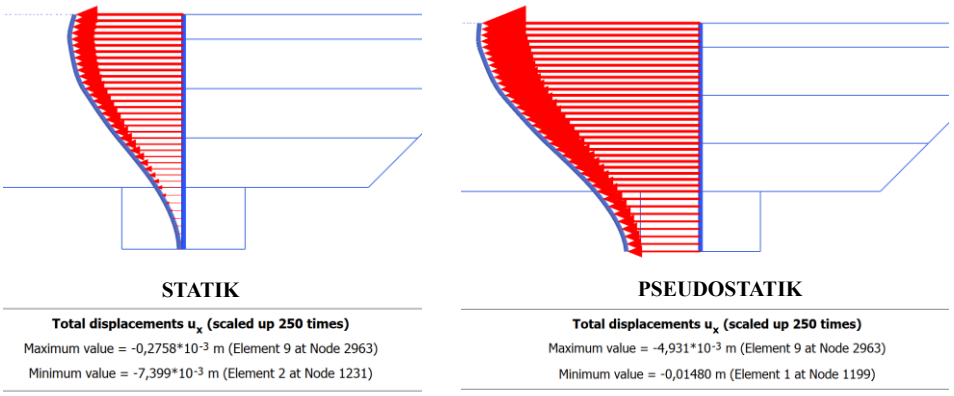


Gambar 5.24 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 2 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Gempa (ESA)

Berdasarkan hasil analisis yang ditampilakan pada Gambar 5.21 Sampai Gambar 5.24, diperoleh nilai *safety factor* pada saat kondisi beban statik jangka pendek (TSA) sebesar 4,573, untuk kondisi beban gempa jangka pendek (TSA) sebesar 3,295, dan pada saat kondisi beban statik jangka panjang (ESA) nilai *safety factor* yang diperoleh sebesar 2,058, dan untuk beban gempa jagka panjang (ESA) sebesar 1,563. Untuk deformasi yang terjadi pada facing perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26 berikut.



Gambar 5.25 Deformasi *Facing* MSE *Wall* Ketinggian 2 m (TSA)



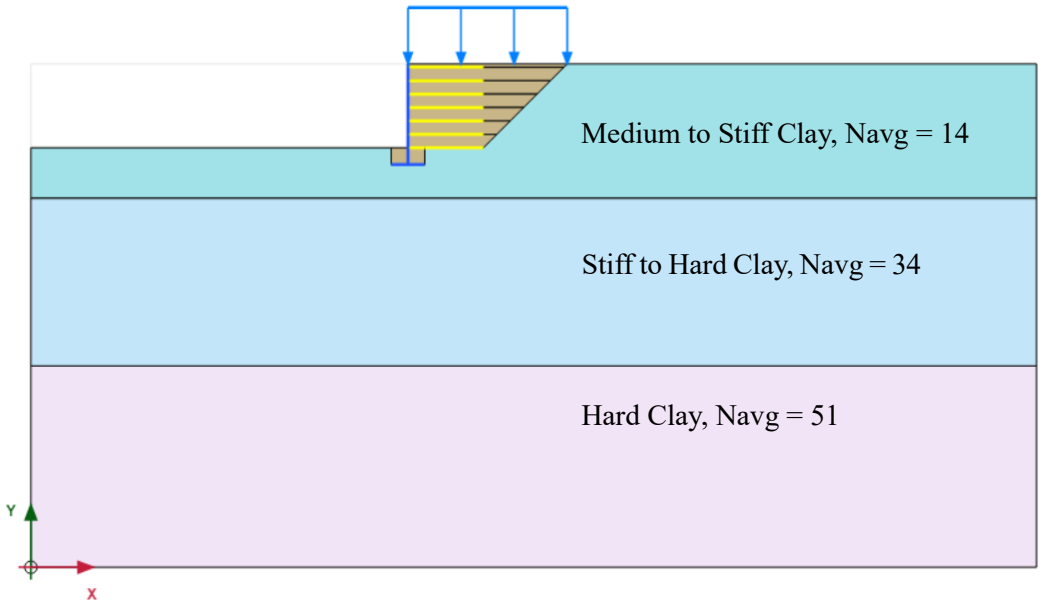
Gambar 5.26 Deformasi *Facing* MSE *Wall* Ketinggian 2 m (ESA)

Berdasarkan hasil analisis Gambar 5.25 Dan Gambar 5.26 deformasi maksimum pada *facing* MSE *Wall* sebesar 0,796 cm pada kondisi statik dan 1,333 cm pada kondisi Pseudostatikuntuk jangka pendek (TSA). Pada jangka panjang (ESA),

deformasi maksimum untuk kondisi statik didapat sebesar 0,739 cm dan untuk kondisi Pseudostatiksebesar 1,480 cm. Nilai deformasi pada seluruh kondisi tersebut masih berada dalam batas aman.

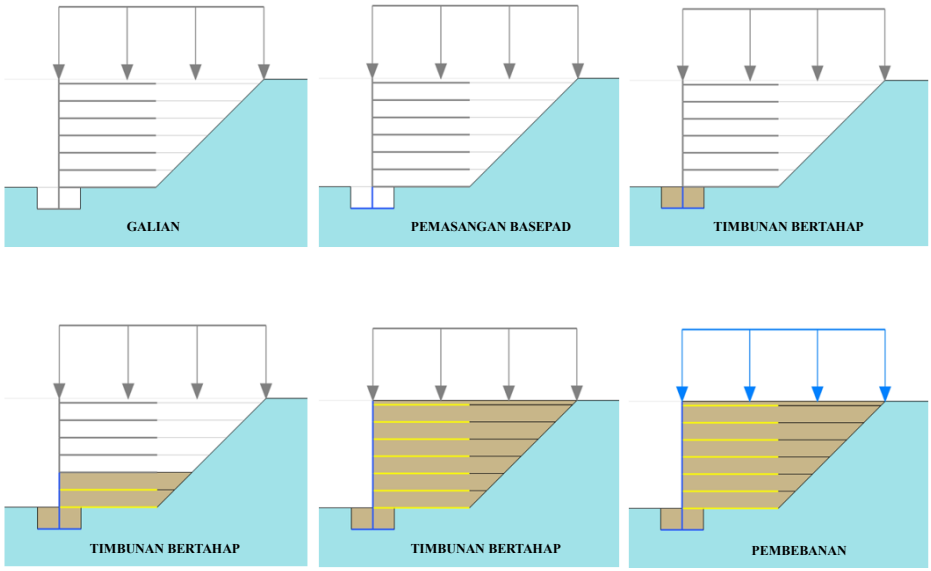
5.4.2 Pemodelan Lereng Tinggi 5 m

Pada pemodelan lereng dengan ketinggian 5 m digunakan *vertical spacing* (Sv) 0.8 m. Panjang geotekstil yang digunakan pada pemodelan sepanjang 4,5 m. Nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan minimum panjang lapisan geotektstil yaitu 0,7H. Lembaran geotekstil yang dipakai pada ketinggian 5 m adalah geotekstil dengan kuat tarik 105 dengan tebal *facing* setebal 0.15 m. Berikut disajikan pemodelan MSE *Wall* untuk ketinggian 5 m pada Gambar 5.27 berikut.



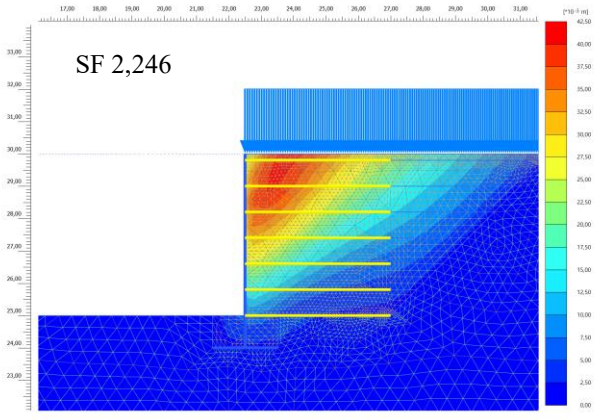
Gambar 5.27 Pemodelan MSE *Wall* Ketinggian 5 m

Setelah itu dilanjutkan dengan penyusunan tahapan konstruksi untuk mempresentasikan proses pelaksanaan MSE *Wall* secara bertahap seperti pada Gambar 5.28 pada halaman selanjutnya.

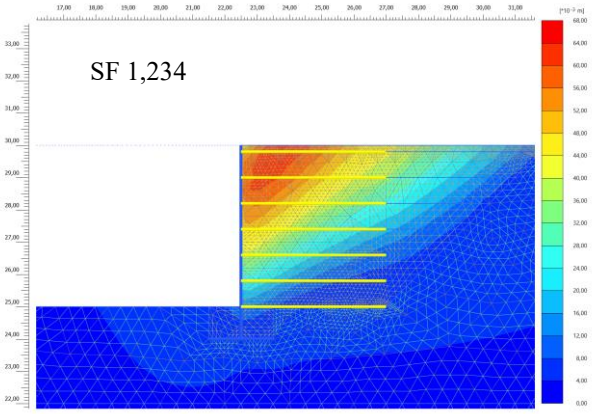


Gambar 5.28 Tahapan Konstruksi MSE *Wall* Ketinggian 5 m

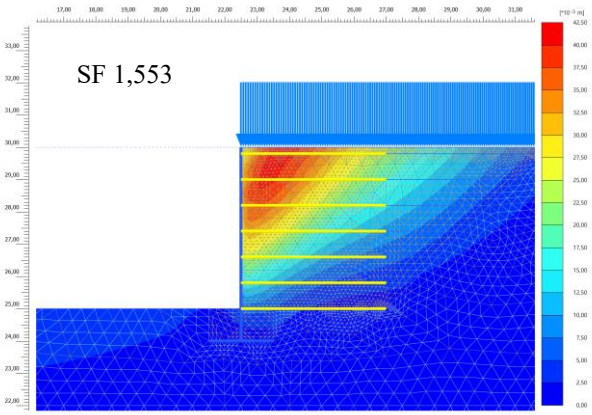
Setelah seluruh tahapan konstruksi selesai, model selanjutnya digunakan untuk memperoleh nilai SF baik pada kondisi pembebanan statik maupun pada kondisi pembebanan gempa untuk jangka pendek (TSA) dan jangka panjang (ESA). Penyusunan tahapan konstruksi ini diperlukan agar pengaruh proses pembangunan terhadap perilaku tanah dan sistem perkuatan dapat diperhitungkan dalam analisis. Untuk hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 5.29 sampai Gambar 5.32 berikut.



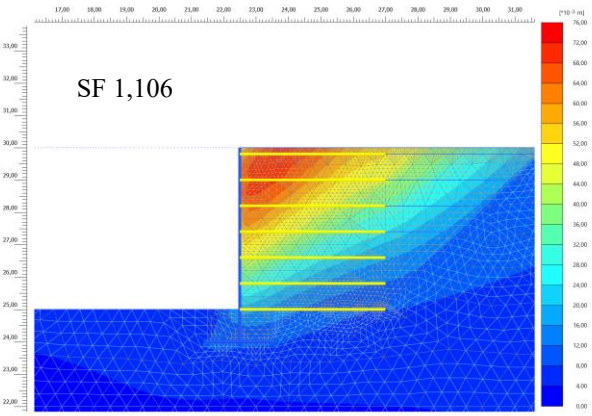
Gambar 5.29 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Statik (TSA)



Gambar 5.30 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Gempa (TSA)

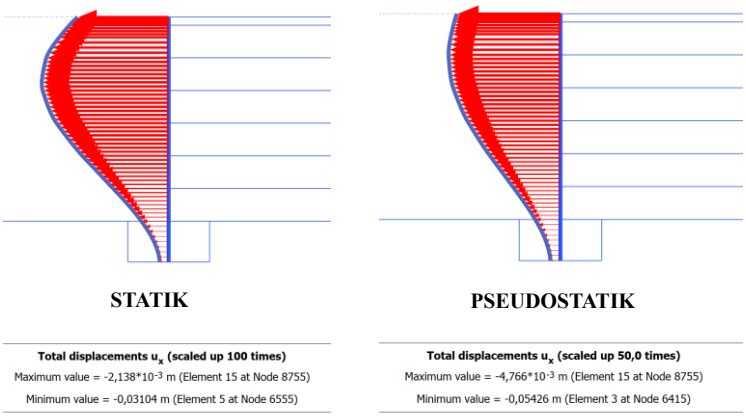


Gambar 5.31 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Statik (ESA)

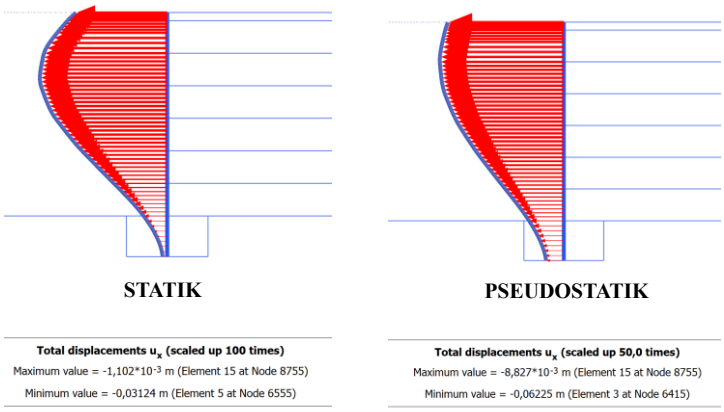


Gambar 5.32 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 5 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Gempa (ESA)

Berdasarkan hasil analisis yang ditampilakan pada Gambar 5.29 Sampai Gambar 5.32, diperoleh nilai *safety factor* pada saat kondisi beban statik jangka pendek (TSA) sebesar 2,496, untuk kondisi beban gempa jangka pendek (TSA) sebesar 1,234, dan pada saat kondisi beban statik jangka panjang (ESA) nilai *safety factor* yang diperoleh sebesar 1,553, dan untuk beban gempa jagka panjang (ESA) sebesar 1,106. Untuk deformasi yang terjadi pada facing perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 berikut.



Gambar 5.33 Deformasi *Facing* MSE *Wall* Ketinggian 5 m (TSA)



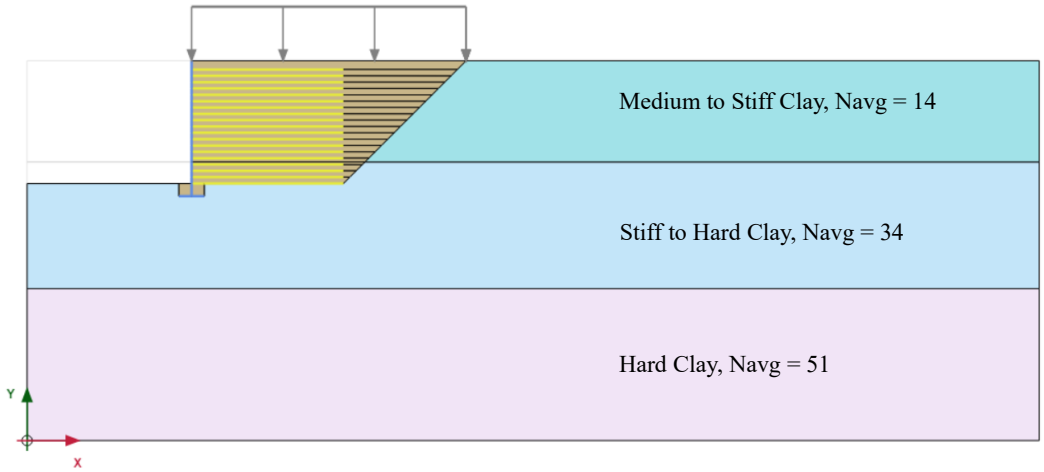
Gambar 5.34 Deformasi *Facing* MSE *Wall* Ketinggian 5 m (ESA)

Berdasarkan hasil analisis Gambar 5.33 Dan Gambar 5.34 deformasi maksimum pada *facing* MSE *Wall* sebesar 3,104 cm pada kondisi statik dan 5,426 cm pada kondisi Pseudostatikuntuk jangka pendek (TSA). Pada jangka panjang (ESA),

deformasi maksimum untuk kondisi statik didapat sebesar 3,124 cm dan untuk kondisi Pseudostatiksebesar 6,225 cm. Nilai deformasi pada seluruh kondisi tersebut masih berada dalam batas aman.

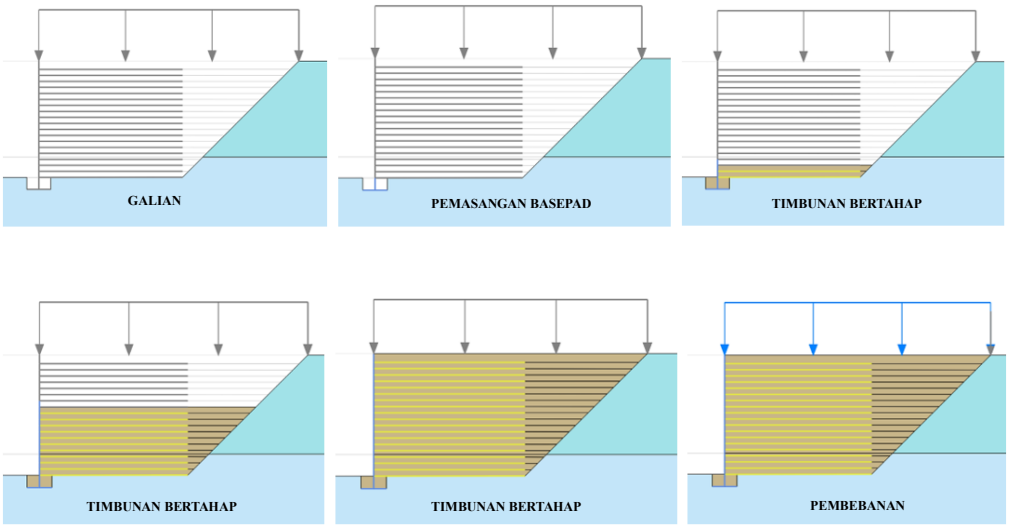
5.4.3 Pemodelan Lereng Tinggi 9 m

Pada pemodelan lereng dengan ketinggian 9 m digunakan *vertical spacing* (Sv) sejauh 0.5 m. Panjang geotekstil yang digunakan pada pemodelan sepanjang 12 m. Nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan minimun panjang lapisan geotektstil yaitu 0,7H. Lembaran geotekstil yang dipakai pada ketinggian 9 m adalah geotekstil dengan kuat tarik 205 dengan jumlah lapisan sebanyak 19 dan tebal *facing* sebesar 0.20 m. Berikut disajikan pemodelan MSE *Wall* untuk ketinggian 9 m pada Gambar 5.35 berikut.



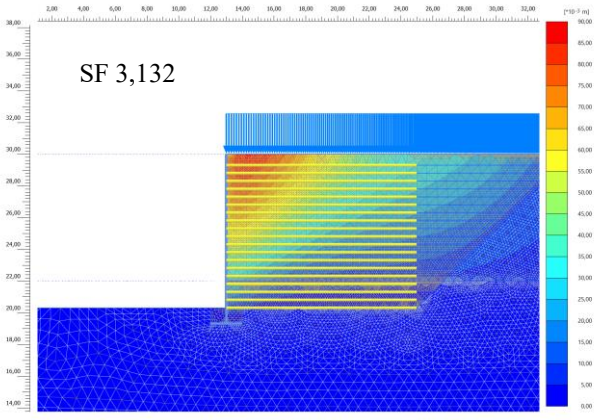
Gambar 5.35 Pemodelan MSE *Wall* Ketinggian 9 m

Setelah itu dilanjutkan dengan penyusunan tahapan konstruksi untuk mempresentasikan proses pelaksanaan MSE *Wall* secara bertahap seperti pada Gambar 5.36 halaman selanjutnya.

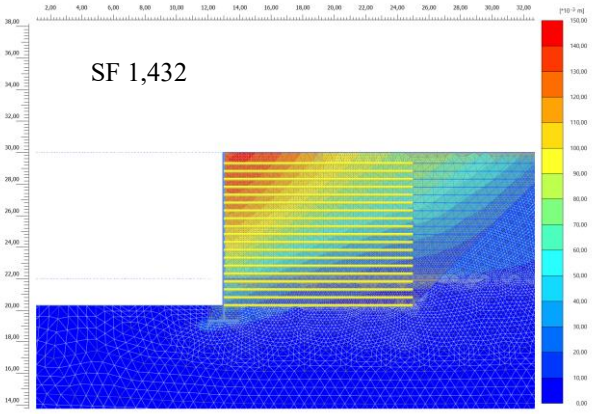


Gambar 5.36 Tahapan Konstruksi MSE *Wall* Ketinggian 9 m

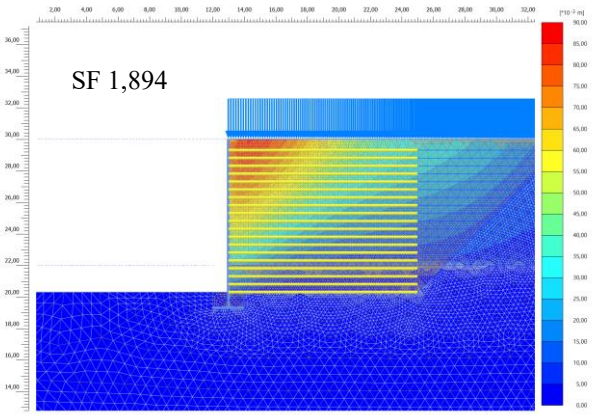
Setelah seluruh tahapan konstruksi selesai, model selanjutnya digunakan untuk memperoleh nilai SF baik pada kondisi pembebanan statik maupun pada kondisi pembebanan gempa untuk jangka pendek (TSA) dan jangka panjang (ESA). Penyusunan tahapan konstruksi ini diperlukan agar pengaruh proses pembangunan terhadap perilaku tanah dan sistem perkuatan dapat diperhitungkan dalam analisis. Untuk hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 5.37 sampai Gambar 5.40 berikut.



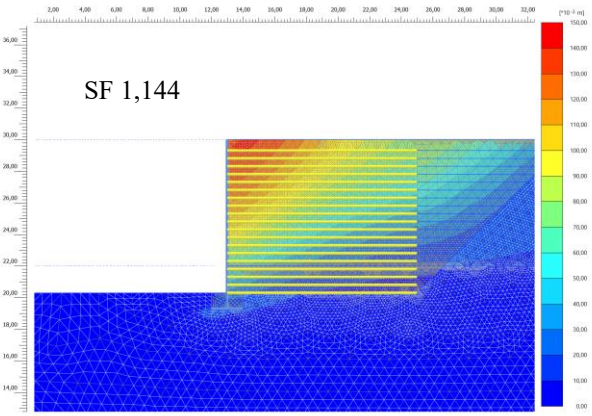
Gambar 5.37 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Statik (TSA)



Gambar 5.38 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Gempa (TSA)

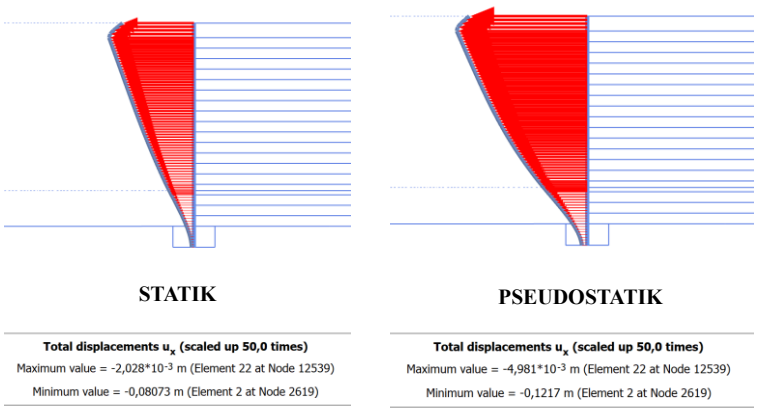


Gambar 5.39 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Statik (ESA)

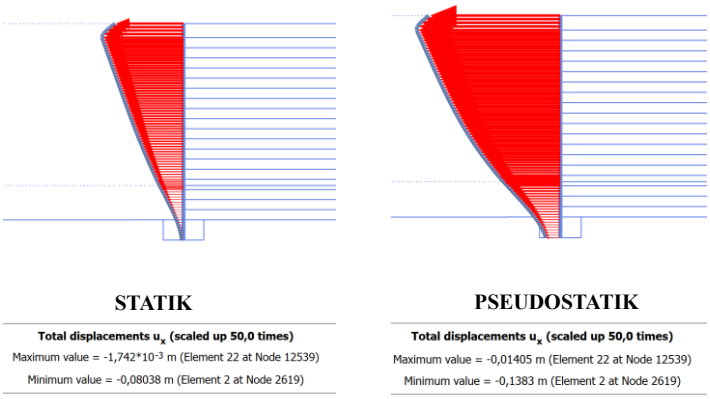


Gambar 5.40 Hasil Pemodelan dan Analisis Lereng Ketinggian 9 m dengan MSE *Wall* pada Kondisi Beban Gempa (ESA)

Berdasarkan hasil analisis yang ditampilakan pada Gambar 5.37 Sampai Gambar 5.40 Diperoleh nilai *safety factor* pada saat kondisi beban statik jangka pendek (TSA) sebesar 3,132, untuk kondisi beban gempa jangka pendek (TSA) sebesar 1,432, dan pada saat kondisi beban statik jangka panjang (ESA) nilai *safety factor* yang diperoleh sebesar 1,894, dan untuk beban gempa jagka panjang (ESA) sebesar 1,144. Untuk deformasi yang terjadi pada facing perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.41 dan Gambar 5.42 berikut.



Gambar 5.41 Deformasi Horizontal Lereng 9 m pada Kondisi TSA



Gambar 5.42 Deformasi Horizontal Lereng 9 m pada Kondisi ESA

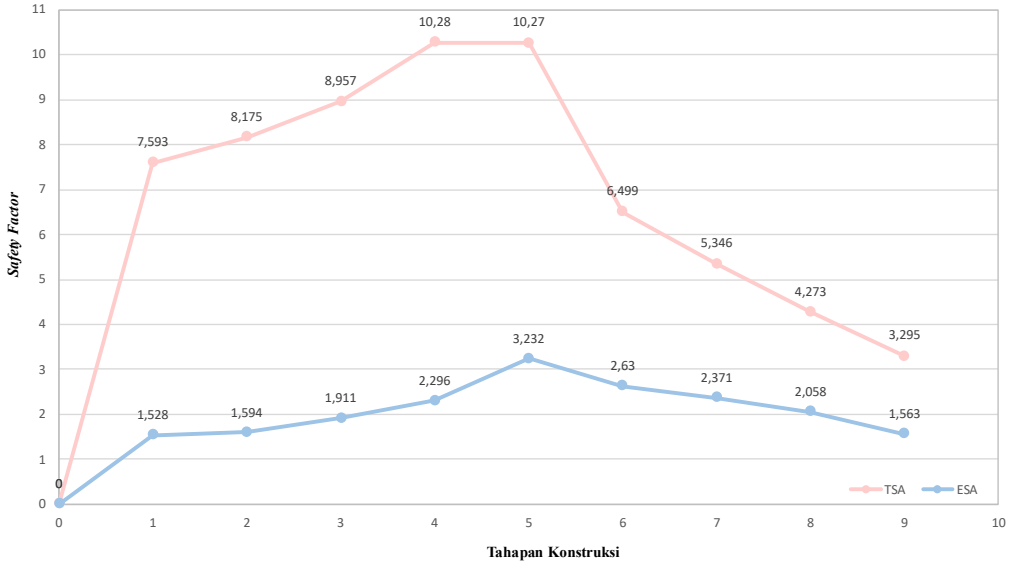
Berdasarkan hasil analisis Gambar 5.41 dan Gambar 5.42, deformasi maksimum pada *facing* MSE *Wall* sebesar 8,073 cm pada kondisi statik dan 12,17 cm pada kondisi Pseudostatikuntuk jangka pendek (TSA). Pada jangka panjang (ESA), deformasi maksimum untuk kondisi statik didapat sebesar 8,038 cm dan untuk

kondisi Pseudostatiksebesar 13,83 cm. Nilai deformasi pada seluruh kondisi tersebut masih berada dalam batas aman yang tercantum pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pemodelan MSE *Wall*

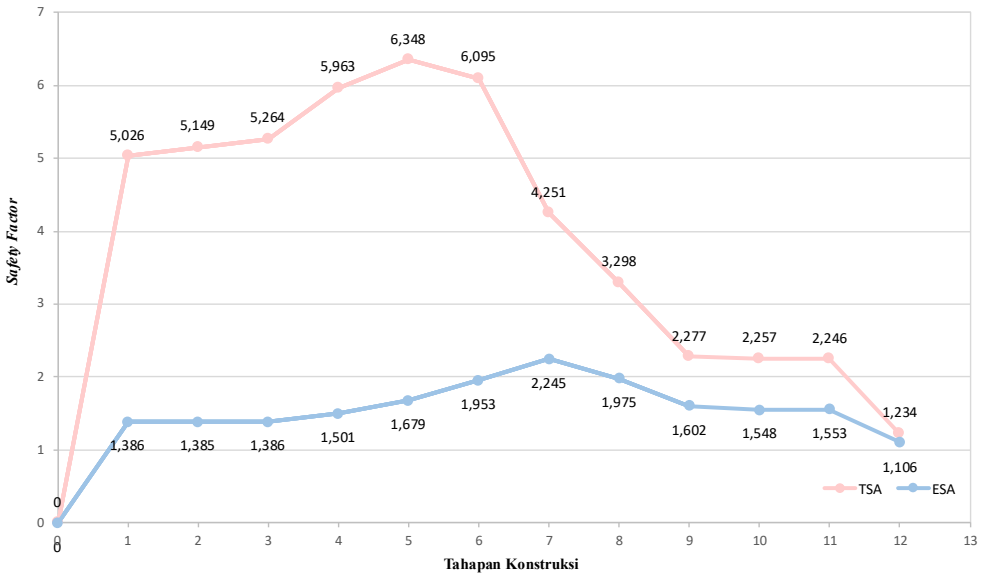
Parameter		***Safety Factor***				**Nilai *Safety Factor* Izin Deformasi**		**Maksimum Deformasi**			
H (m)	Kuat Tarik	Jangka Pendek (TSA)		Jangka Panjang (ESA)				Jangka Pendek (TSA)		Jangka Panjang (ESA)	
		Statik	Gempa	Statik	Gempa	Statik (cm)	Gempa (cm)	Statik (cm)	Gempa (cm)	Statik (cm)	Gempa (cm)
2	LP 105	4,273	3,295	2,058	1,563	2,8	4,2	0,796	1,333	0,739	1,480
5	LP 105	2,246	1,234	1,553	1,106	5	7,5	3,104	5,426	3,124	6,227
9	LP 205	3,132	1,432	1,894	1,144	9,7	14,55	8,073	12,17	8,038	13,83
SF Izin		1.5	1.1	1.35	1.1	(1% H)	(1,5% H)	Aman	Aman	Aman	Aman

Dalam pemodelan MSE *Wall*, setiap tahapan konstruksi menghasilkan nilai *safety factor* yang berbeda karena kondisi geometri, pembebanan, dan interaksi yang terjadi pada saat tahapan konstruksi. Hasil perbandingan nilai *safety factor* pada setiap tahapan konstruksi disajikan pada Gambar 5.43 sampai Gambar 5.45 berikut.



Gambar 5.43 Grafik Nilai *Safety Factor* Perkuatan MSE *Wall* pada Setiap Tahapan Konstruksi Ketinggian 2 m

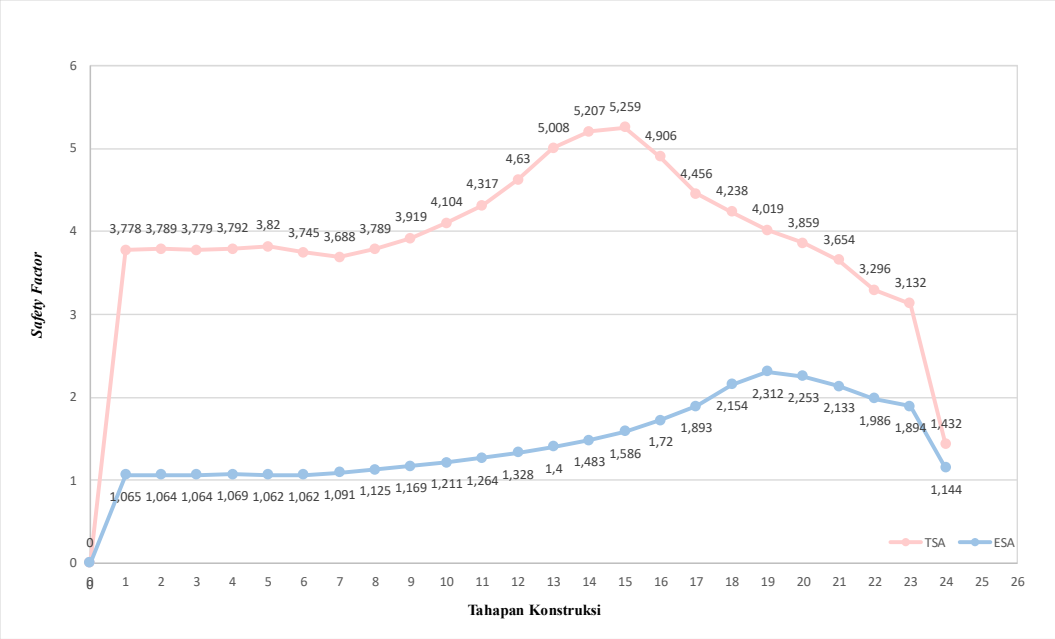
Berdasarkan Gambar 5.43, nilai safety factor (SF) mengalami perubahan pada setiap tahapan konstruksi. Pada tahap 1 berupa penggalian, diperoleh SF TSA sebesar 7,593 dan ESA sebesar 1,528, sedangkan setelah pemasangan base pad pada tahap 2, nilai SF meningkat menjadi 8,175 untuk TSA dan 1,594 untuk ESA. Selanjutnya, pada tahap 3–7 dilakukan penimbunan secara bertahap, yang menyebabkan nilai SF terus meningkat hingga mencapai nilai tertinggi pada tahap 5, yaitu 10,280 untuk TSA dan 3,232 untuk ESA, kemudian menurun pada tahap 6 dan 7. Pada tahap 8, setelah diberikan beban statik, nilai SF menjadi 4,273 untuk TSA dan 2,058 untuk ESA. Selanjutnya, pada tahap 9 saat diberikan beban pseudostatik, nilai SF kembali menurun menjadi 3,295 untuk TSA dan 1,563 untuk ESA. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan pseudostatik merupakan kondisi yang lebih kritis terhadap kestabilan dibandingkan kondisi statik.



Gambar 5.44 Grafik Nilai *Safety Factor* Perkuatan MSE *Wall* pada Setiap Tahapan Konstruksi Ketinggian 5 m

Berdasarkan Gambar 5.44 nilai *safety factor* (SF) mengalami perubahan pada setiap tahapan konstruksi. Pada tahap 1 berupa penggalian, diperoleh SF TSA sebesar 5,026 dan ESA sebesar 1,386, sedangkan setelah pemasangan *base pad*

pada tahap 2, nilainya relatif tetap, yaitu 5,149 dan 1,385. Selanjutnya, pada tahap 3–10 dilakukan penimbunan secara bertahap per *layer* yang menyebabkan nilai SF mengalami kenaikan dan penurunan, dengan nilai tertinggi TSA sebesar 6,348 pada tahap 5 dan ESA sebesar 2,245 pada tahap 7. Pada tahap 11, setelah penimbunan selesai dan diberikan beban statik, nilai SF menjadi 2,246 untuk TSA dan 1,553 untuk ESA. Kemudian, pada tahap 12 saat diberikan beban gempa, nilai SF menurun menjadi 1,234 untuk TSA dan 1,106 untuk ESA, sehingga kondisi pembebanan gempa menjadi kondisi yang paling kritis terhadap kestabilan lereng.



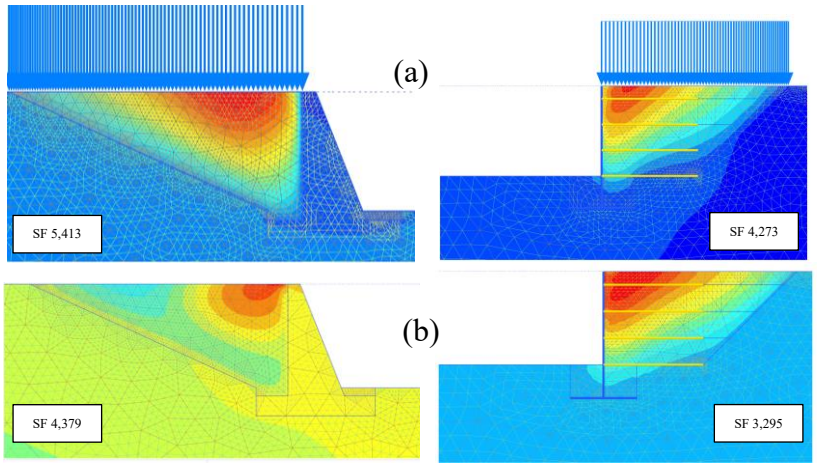
Gambar 5.45 Grafik Nilai *Safety Factor* Perkuatan MSE *Wall* pada Setiap Tahapan Konstruksi Ketinggian 5 m

Berdasarkan Gambar 5.45 , nilai safety factor (SF) mengalami perubahan pada setiap tahapan konstruksi. Pada tahap 1 berupa penggalian, diperoleh SF TSA sebesar 3,778 dan ESA sebesar 1,065, sedangkan setelah pemasangan base pad pada tahap 2, nilai SF relatif tetap, yaitu 3,789 untuk TSA dan 1,064 untuk ESA. Selanjutnya, pada tahap 3–22 dilakukan penimbunan secara bertahap, sehingga nilai SF mengalami perubahan seiring bertambahnya timbunan. SF TSA meningkat hingga mencapai nilai tertinggi 5,259 pada tahap 15, sedangkan SF ESA mencapai

nilai tertinggi 2,312 pada tahap 19. Setelah itu, nilai SF kembali menurun hingga tahap 22. Pada tahap 23, setelah diberikan beban statik, nilai SF menjadi 3,132 untuk TSA dan 1,894 untuk ESA. Selanjutnya, pada tahap 24 saat diberikan beban pseudostatik, nilai SF mengalami penurunan menjadi 1,432 untuk TSA dan 1,144 untuk ESA. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan pseudostatik menjadi kondisi yang paling kritis terhadap kestabilan lereng dibandingkan kondisi statik.

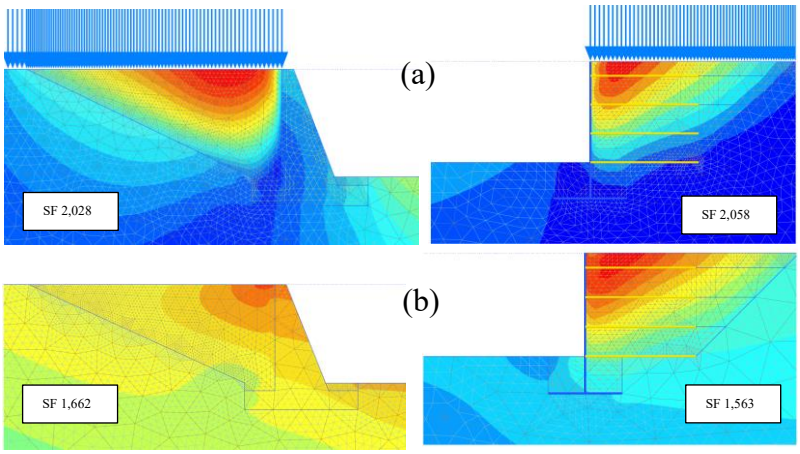
5.5 Evaluasi Hasil dan Perbandingan Perkuatan Lereng

Berdasarkan hasil analisis masing-masing sistem perkuatan, selanjutnya dilakukan evaluasi perbandingan berdasarkan nilai *safety factor* (SF) pada setiap variasi ketinggian lereng. Hasil evaluasi dan perbandingan tersebut disajikan pada Gambar 5.46 sampai dengan Gambar 5.51 berikut.



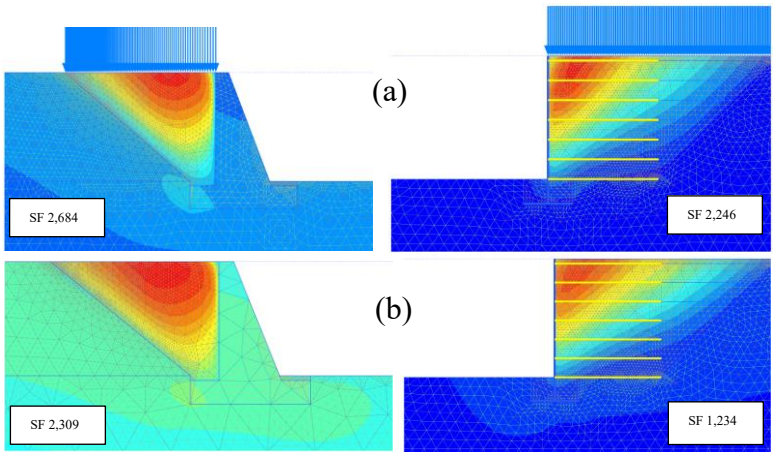
Gambar 5.46 Perbandingan Stabilitas DPT Konvensional dan MSE *Wall* Ketinggian 2 m pada Kondisi TSA

Pada Gambar 5.46 kondisi statik (a), nilai *safety factor* (SF) DPT konvensional dan MSE *Wall* masing-masing sebesar 5,413 dan 4,273. Sementara itu, pada kondisi pembebanan gempa (b), nilai SF masing-masing sebesar 4,379 dan 3,295. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua sistem perkuatan memiliki tingkat stabilitas yang memadai.



Gambar 5.47 Perbandingan Stabilitas DPT Konvensional dan MSE *Wall* Ketinggian 2 m pada Kondisi ESA

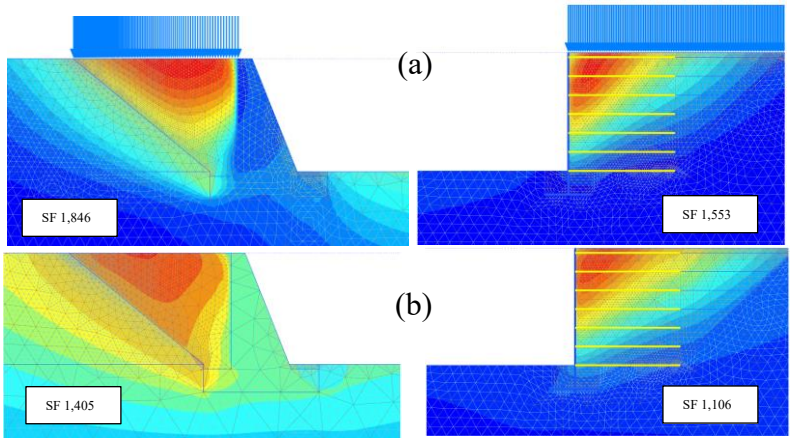
Pada Gambar 5.47 kondisi statik (a), nilai *safety factor* (SF) DPT konvensional dan MSE *Wall* masing-masing sebesar 2,028 dan 2,058. Sementara itu, pada kondisi pembebanan gempa (b), nilai SF masing-masing sebesar 1,662 dan 1,563. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua sistem perkuatan memiliki tingkat stabilitas yang memadai.



Gambar 5.48 Perbandingan Stabilitas DPT Konvensional dan MSE *Wall* Ketinggian 5 m pada Kondisi TSA

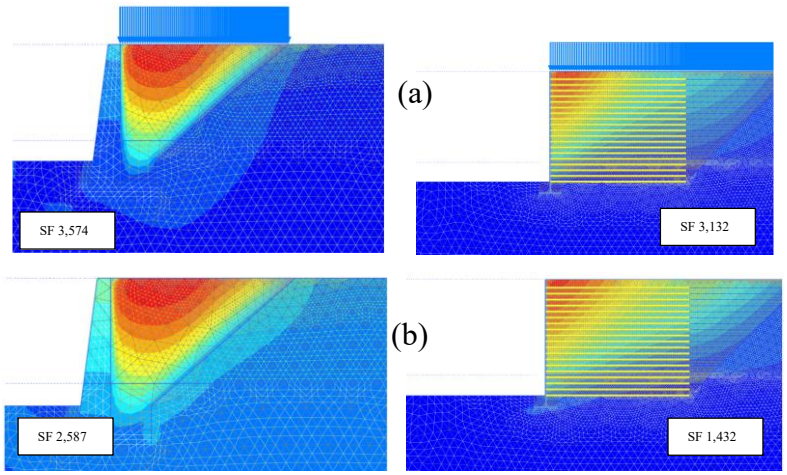
Pada Gambar 5.48 kondisi statik (a), nilai *safety factor* (SF) DPT konvensional dan MSE *Wall* masing-masing sebesar 2,684 dan 2,246. Sementara itu, pada kondisi

pembebanan gempa (b), nilai SF masing-masing sebesar 2,309 dan 1,234. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua sistem perkuatan memiliki tingkat stabilitas yang memadai.



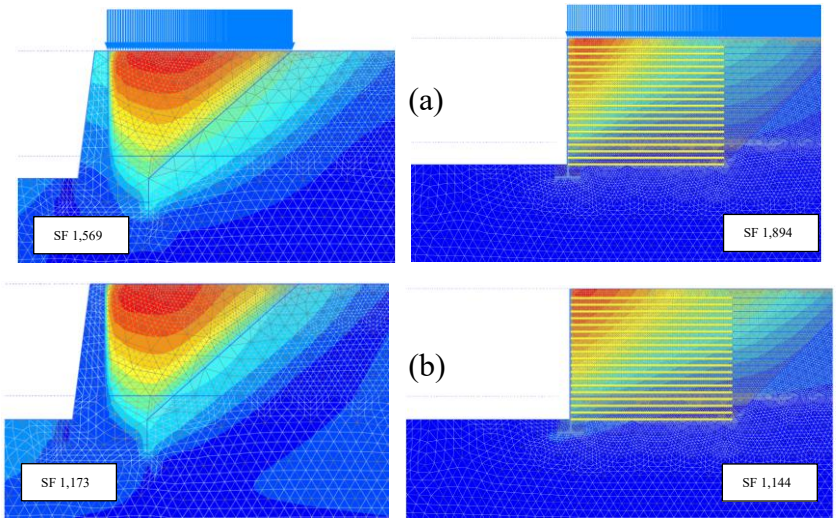
Gambar 5.49 Perbandingan Stabilitas DPT Konvensional dan MSE *Wall* Ketinggian 5 m pada Kondisi ESA

Pada Gambar 5.49 kondisi statik (a), nilai *safety factor* (SF) DPT konvensional dan MSE *Wall* masing-masing sebesar 1,846 dan 1,553. Sementara itu, pada kondisi pembebanan gempa (b), nilai SF masing-masing sebesar 1,405 dan 1,106. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua sistem perkuatan memiliki tingkat stabilitas yang memadai.



Gambar 5.50 Perbandingan Stabilitas DPT Konvensional dan MSE *Wall* Ketinggian 9 m pada Kondisi TSA

Pada Gambar 5.50 kondisi statik (a), nilai *safety factor* (SF) DPT konvensional dan MSE *Wall* masing-masing sebesar 3,574 dan 3,132. Sementara itu, pada kondisi pembebanan gempa (b), nilai SF masing-masing sebesar 2,857 dan 1,432. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua sistem perkuatan memiliki tingkat stabilitas yang memadai.



Gambar 5.51 Perbandingan Stabilitas DPT Konvensional dan MSE *Wall* Ketinggian 9 m pada Kondisi ESA

Pada Gambar 5.51 kondisi statik (a), nilai *safety factor* (SF) DPT konvensional dan MSE *Wall* masing-masing sebesar 1,569 dan 1,894. Sementara itu, pada kondisi pembebanan gempa (b), nilai SF masing-masing sebesar 1,173 dan 1,144 Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua sistem perkuatan memiliki tingkat stabilitas yang memadai. Untuk mempermudah, nilai *safety factor* (SF) yang diperoleh dari masing-masing perkuatan disajikan dalam bentuk rekapitulasi pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.12 pada halaman selanjutnya.

Tabel 5.12 Perbandingan Nilai *Safety Factor* Dinding Penahan Tanah Konvensional dan MSE *Wall* Kondisi Jangka Pendek

Ketinggian Lereng	**DPT Konvensional**		**MSE *Wall***	
	Statik	***Pseudostatik***	**Statik**	***Pseudostatik***
2 m	5,413	4,379	4,273	3,295
5 m	2,684	2,309	2,246	1,234
9 m	3,574	2,857	3,132	1,432
SF Izin	1,5	1,1	1,35	1,1
Keterangan	Aman	Aman	Aman	Aman

Tabel 5.13 Perbandingan Nilai *Safety Factor* Dinding Penahan Tanah Konvensional dan MSE *Wall* Kondisi Jangka Panjang

Ketinggian Lereng	**DPT Konvensional**		**MSE *Wall***	
	Statik	***Pseudostatik***	**Statik**	***Pseudostatik***
2 m	2,028	1,662	2,058	1,563
5 m	1,846	1,405	1,553	1,106
9 m	1,569	1,173	1,894	1,144
SF Izin	1,5	1,1	1,35	1,1
Keterangan	Aman	Aman	Aman	Aman

Berdasarkan Tabel 5.12 dan Tabel 5.13, seluruh nilai *safety factor* (SF) pada DPT konvensional dan MSE *Wall*, baik pada kondisi statik maupun *Pseudostatik*, telah memenuhi nilai SF izin. Sehingga seluruh kondisi pemodelan dinyatakan aman. Selanjutnya, dilakukan rekapitulasi perhitungan volume dari masing-masing tipe perkuatan berdasarkan dimensi yang digunakan dalam pemodelan. Hasil rekapitulasi volume perkuatan disajikan pada Tabel 5.14 halaman berikut.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Volume Perkuatan Lereng

Ketinggian	**Perkuatan**	**Volume Galian (m^3)**	**Volume Timbunan (m^3)**	**Volume DPT / Facing (m^3)**	**Geotekstil (m^2)**
2 m	*Gravity Wall*	9,81	9,81	3,92	-
	MSE *Wall*	14,32	14,32	0,87	8
5 m	*Gravity Wall*	20,17	20,17	13	-
	MSE *Wall*	37	37	1,2	31,5
9 m	*Cantilever*	90,1	90,1	30,32	-
	MSE *Wall*	228	228	2,54	228

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari rumusan masalah yang telah dibahas dan dianalisis dalam Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah konvensional, diperoleh nilai safety factor (SF) pada variasi ketinggian lereng 2 m, 5 m, dan 9 m. Pada kondisi TSA, nilai SF statik berturut-turut sebesar 5,413, 2,684, dan 3,574, sedangkan pada kondisi pseudostatik sebesar 4,379, 2,309, dan 2,857. Pada kondisi ESA, nilai SF statik masing-masing sebesar 2,028, 1,846, dan 1,569, sedangkan pada kondisi pseudostatik sebesar 1,662, 1,405, dan 1,173. Nilai SF pada kondisi pseudostatik lebih rendah dibandingkan kondisi statik, sedangkan nilai SF TSA lebih tinggi dibandingkan ESA. Seluruh nilai tersebut masih memenuhi SF izin sebesar 1,5 untuk kondisi statik dan 1,1 untuk kondisi pseudostatik pada jangka pendek (TSA), 1,35 untuk statik dan 1,1 untuk pseudostatik pada kondisi jangka panjang (ESA), sehingga lereng pada ketinggian 2 m, 5 m, dan 9 m dinyatakan stabil pada kondisi TSA maupun ESA.
2. Berdasarkan hasil analisis pada lereng dengan perkuatan *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) *Wall*, diperoleh nilai *safety factor* (SF) untuk variasi ketinggian lereng 2 m, 5 m, dan 9 m pada kondisi TSA dan ESA. Pada kondisi TSA, nilai SF statik berturut-turut sebesar 4,273, 2,246, dan 3,132, sedangkan pada kondisi pseudostatik sebesar 3,295, 1,234, dan 1,432. Pada kondisi ESA, nilai SF statik masing-masing sebesar 2,058, 1,553, dan 1,894, sedangkan pada kondisi pseudostatik sebesar 1,563, 1,106, dan 1,144. Nilai SF pada kondisi pseudostatik lebih rendah dibandingkan kondisi statik, baik pada TSA maupun ESA, akibat adanya pengaruh beban gempa. Seluruh nilai SF tersebut masih memenuhi SF izin, yaitu 1,5 untuk kondisi statik dan 1,1 untuk kondisi pseudostatik pada kondisi jangka pendek (TSA), 1,35 untuk statik dan 1,1

untuk pseudostatik pada kondisi jangka panjang (ESA). Sehingga perkuatan MSE Wall pada seluruh variasi ketinggian lereng dinyatakan memenuhi kriteria stabilitas pada kondisi TSA maupun ESA.

3. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa MSE *Wall* merupakan alternatif perkuatan yang layak dan kompetitif terhadap dinding penahan tanah konvensional. Pada jangka panjang (ESA) MSE *Wall* pada ketinggian 5 m memiliki nilai *safety factor* (SF) statik sebesar 1,560 dan SF Pseudostatiksebesar 1,111, sedangkan pada ketinggian 9 m diperoleh SF statik sebesar 1,868 dan SF Pseudostatiksebesar 1,129. Nilai tersebut menunjukkan bahwa MSE *Wall* tetap mampu mempertahankan kestabilan meskipun menghadapi kondisi pembebanan yang lebih kritis. Khusus pada ketinggian 9 m, MSE *Wall* bahkan menghasilkan SF statik jangka panjang (ESA) yang lebih tinggi dibandingkan DPT konvensional, yaitu 1,868 untuk MSE *Wall* dan 1,569 untuk DPT konvesional.
4. MSE Wall menunjukkan pengurangan volume elemen facing dibandingkan dengan DPT konvensional sebesar 77,8% pada ketinggian 2 m, 90,8% pada ketinggian 5 m, dan 91,6% pada ketinggian 9 m. Pengurangan volume facing semakin besar seiring bertambahnya ketinggian lereng, dengan persentase terbesar pada ketinggian 9 m. Selain itu, MSE Wall menggunakan geotekstil sebesar 12 m², 31,5 m², dan 228 m² berturut-turut pada ketinggian 2 m, 5 m, dan 9 m. Dengan demikian, MSE Wall menunjukkan pengurangan volume elemen facing yang signifikan dan tetap memenuhi kriteria stabilitas, sehingga layak digunakan sebagai alternatif evaluasi perkuatan pada kondisi eksisting.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh peneliti sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan analisis stabilitas internal dan eksternal MSE *Wall*, seperti kuat tarik dan *pull-out* geosintetik, sehingga keamanan sistem perkuatan dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh.

2. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan analisis stabilitas internal dan eksternal DPT kovensional seperti stabilitas guling, geser, dan lainnya sehingga keamanan sistem perkuatan dapat diperhitungkan secara lebih menyeluruh.
3. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan analisis biaya dan waktu pelaksanaan untuk membandingkan efisiensi MSE *Wall* dengan dinding penahan tanah konvensional, sehingga pemilihan alternatif perkuatan tidak hanya berdasarkan aspek stabilitas tetapi juga aspek ekonomi.
4. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan beberapa jenis *facing* dari aspek kebutuhan material, kemudahan pelaksanaan, dan biaya konstruksi untuk menentukan model *facing* yang paling efektif dan ekonomis pada variasi ketinggian lereng yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Aisah, E., Nasrullah, A., Sipil, T., Teknologi, I., Alam, P., Siagim, J. M., Mbacang, S., Dempo, K., & Kota, T. (2025). Analisis Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi. *Jurnal Ilmiah Teknosains*, *11*(1).

Andriyani, B. C., Imananto, E. I., & Yudianto, E. A. (2019). *Studi Perencanaan Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever pada Lereng Jalan Kemuning Lor Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember* (Vol. 2).

Ansori, E., & Gofar, N. (2025). *Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Tipe Mechanically Stabilized Earth (MSE) Pada Jalan Layang Bantaian Sumatera Selatan*. *8*(3), 659–670.

Apriyani, N. K. D., Ikhya, & Hamdhan, I. N. (2016). *Analisis Konsolidasi Dengan Prefabricated Vertical Drain Untuk Beberapa Soil Model Menggunakan Metode Elemen Hingga*.

Aziza, C., & Suhendra, A. (2022). *Analisis Deformasi Lateral MSE Wall Dengan Perkuatan Geogrid Terhadap Variasi Jenis Material Timbunan*. *5*, 153–168.

Batara, M., & Gofar Nurly. (2024). *Pengaruh Penggantian dan Lapisan Geotekstil Terhadap Deformasi dan Stabilitas Lereng Timbunan di Atas Tanah Lunak*. *7*, 915–924.

Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design* (5 ed.). Irwin/McGraw-Hill.

Braja M, D. K. S. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering, SI edition (Braja M. Das, Khaled Sobhan)*.

BSN. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. www.bsn.go.id

Das, B. M. (2010). *Principles Of Geotechnical Engineering* (7 ed.).

Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles Of Geotechnical Engineering* (9 ed.). www.cengagebrain.com.

Deva, N. A., Nurtjahjaningtyas, I., & Wicaksono, L. A. (2025). Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan MSE Wall pada Kawasan Piket Lumajang. *Jurnal Arsip*

Rekayasa Sipil dan Perencanaan, *8*(3). https://doi.org/10.24815/jarsp.v8i3.44590

FHWA. (2009a). *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes-Volume II*.

FHWA. (2009b). *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes-Volume II*.

Ganda, I. (2012). *Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Geogrid (Studi Kasus Jalan Medan-Berastagi, Desa Sugo)*.

Gazali, A., Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, U., & Adhyaksa No, J. (2020). *Analisis Perilaku Deformasi Lateral Pada Dinding Penahan Tanah Proyek Rdmp Balikpapan Menggunakan Metode Elemen Hingga Behavior Analysis Of Lateral Deformation On Land Wall Of Rdmp Balikpapan Project Using Finite Element Methods*.

Google. (2026). *Google Earth*.

Hafidz, M., Oktaviani, R., Winarno, A., Trides, T., & Juvensius, A. (2025). Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsor dengan Dinding Penahan di Palaran, Samarinda. *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumian, Ilmu Perkapalan*, *3*(2), 177–186. https://doi.org/10.61132/globe.v3i2.824

Hardiyatmo, H. C. (2002). *mekanika-tanah-I(hardiyatmo)* (3 ed.). Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. (2003). *Mekanika Tanah II* (3 ed.).

Hardiyatmo, H. C. (2024). *Rekayasa Gempa Untuk Analisis Struktur dan Geoteknik* (2 ed.). Gadjah Mada University Press.

Hidayat, W. (2021). *Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Tipe Mechanically Stabilized Earth (MSE) Wall Terhadap Curah Hujan*. *4*.

Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *Rock Slope Engineering*.

Ichsani, D. M., Syah, A., & Zakaria, A. (2022). *Analisis Stabilitas Lereng dan Penanggulangannya Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus : CitraLand Bandar Lampung-C10)*. *10*(2), 307–320.

Kuningsih, T. W., Putri, A. P., & Meiprastyo, X. (2018). Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Dengan Metode Numerik. *Jurnal kajian Teknik Sipil*, *3*(1).

Laksono, P. A., & Prihatiningsih, D. A. (2025). *Studi Pengaruh Perkuatan Tanah Menggunakan Geogrid Terhadap Stabilitas Lereng*. *8*(1), 291–298.

Legrans, R. R. I. (2016). *Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Kestabilan Dinding MSE Dengan Perkuatan Geotekstil Di Daerah Reklamasi Malalayang*. *14*.

Lenita, H., & Leo, D. E. (2025). *Tahapan Pekerjaan Stabilitas Lereng Dengan Retaining Wall Pada Proyek X*. *8*(1), 201–212.

Marasabessy, M. I. (2025). Civil and Environmental Science Journal (CIVENSE) Numerical Analysis of Stability in Basement Excavations: The Influence of Undrained and Drained Conditions on Soft Soils in Surabaya. *Civil and Environmental Science Journal*, *8*(1). https://doi.org/10.21776/ub.civense.2024.008.01.5

Nofrizal, Refi, A., & Farhan, M. (2024). *Analisa Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Geoslope*. *6*(2). http://jurnal.ensiklopediaku.org

Noronha, E. M. D. C., Arifianto, A. K., & Hanggara, I. (2019). *Analisis Penentuan Faktor Keamanan Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Fellinius Dan Bishop (Studi Kasus : Jl. Mulyorejo, Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang)* (Vol. 3, Nomor 1). https://publikasi.unitri.ac.id/index.php/teknik

Oktarizki, A., & Romadhon, E. S. (2023). *Analisis Stabilita Lereng Pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Batanghari*.

Panuntun, S. A. T., & Nugroho, U. (2026). Analisis Stabilitas MSE Wall dengan Stone Column di Tol Yogyakarta – Bawen. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, *5*(1), 6251–6258. https://doi.org/10.31004/riggs.v5i1.6918

PDC. (2023). *Review Slope Stability Galian Timbunan UIN Malang Kampus 3*.

Pitaloka, S. R., & Hamdhan, I. N. (2024). Perbandingan Pemodelan Penurunan Tanah Lunak Menggunakan Plaxis 2D antara Hardening Soil Model dan Soft Soil Model. Dalam *FTSP Series*.

Plaxis 2D. (2011). *Reference Manual*.

Pujianto, H., Muslih, Y., & Surjandari, N. S. (2017). *Analisis Pengaruh Beban Gempa Terhadap Stabilitas Lereng di Desa Sendangmulyo, Tirtomoyo, Wonogiri*.

Rajagukguk, O. C. P., & Monintja, T. A. E. S. (2014). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland sta.1000m). *Jurnal Sipil Statik*, *2*(3), 139–147.

Ramdhani, M., Surjandari, N. S., & Purwana, Y. M. (2016). *Analisis Stabilitas Lereng Akibat Beban Gempa Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Software Geoslope di Desa Tambakmerang, Girimarto, Wonogiri*.

Ratag, C. M. C. F., Mandagi, A. T., & Legrans, R. R. I. (2018). Analisis Dinding Mechanically Stabilized Earth (MSE) (Studi Kasus : Ruas Jalan Tol Manado Bitung Sta 6+475). *Jurnal Sipil Statik*, *6*(8), 527–540.

Rekzyanti, R., Balamba, S., & Manaroinsong, L. (2016). *Analisa Kestabilan Lereng Akibat Gempa (Studi Kasus: IAIN Manado)*. *14*(66).

Richter, D. D., & Markewitz, D. (1995). *How Deep Is Soil*.

Sampouw, B. G., Mandagi, A. T., & Ticoh, J. H. (2019). Analisis Kestabilan Lereng Sebagai Perkuatan Desain Dinding MSE Pada Ruas Jalan Tol 2 Manado-Bitung STA 9+745 Menggunakan Software Slide V.6.005. *Jurnal Sipil Statik*, *7*(12), 1649–1660.

Shobari, A. F., Mufti, I. J., Khoirullah, N., Zakaria, Z., Sophian, R. I., & Mulyo, A. (2019). *Hubungan Nilai Koefisien Gempa Horizontal (Kh) dengan Nilai Safety (FS) Daerah Cilengkrang, Jawa Barat*.

Tiasundari, N., Prakoso, W. A., & Harninto, D. S. (2025). *Earth Wall dengan Tanah Mrginal dengan Pengujian Skala Penuh*. *32*(3). https://doi.org/10.5614/jts.2025.32.3.8

Weil, R. R. ., & Brady, N. C. . (2017). *The Nature and Properties Of Soils*. Pearson.

Zakaria, Z. (2011). *Analisis Kestabilan Lereng*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Permohonan Data



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Nomor : 009/Sek. Prodi PSTS/20/TA/I/2026
Hal : **Izin Penelitian dan Permohonan Data Tugas Akhir**

Yth: **Ibu Astri Wulandari,**
Pimpinan PT. Pola Data Consultant (PDC)
Jl. Ponpes Sunan Ampel, Banjeng, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Untuk memenuhi salah satu syarat guna menyelesaikan studi pada Prodi Teknik Sipil Program Sarjana, setiap mahasiswa wajib melaksanakan penelitian Tugas Akhir yang berkaitan dengan ketekniksipilan. Dalam proses tersebut diperlukan data-data pendukung baik dari instansi Pemerintah BUMN maupun Perusahaan Swasta/Proyek.

Berdasarkan hal tersebut, kami mohon bantuan Bapak/Ibu untuk dapat memberikan izin penelitian dan permohonan data yang akan digunakan untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Prodi Teknik Sipil Program Sarjana Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

Nama	:	**Ika Nur Fatma Sholiha Lubis**
NIM	:	**21511210**
CP Mahasiswa	:	**085943522949**
Judul Tugas Akhir	:	**Alternatif Perkuatan Lereng Dengan Metode *Mechanically Stabillized Earth* (MSE) Wall Pada Kawasan X**

Adapun data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:
1. Data Properties Tanah
2. Data SPT, NSPT, dan Sondir
3. Data Lereng Eksisting
4. Data Pembebanan diatasnya

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullah Wabarakatuh.

Yogyakarta, 9 Januari 2026
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

Dinia Anggraheni, S.T., M. Eng6

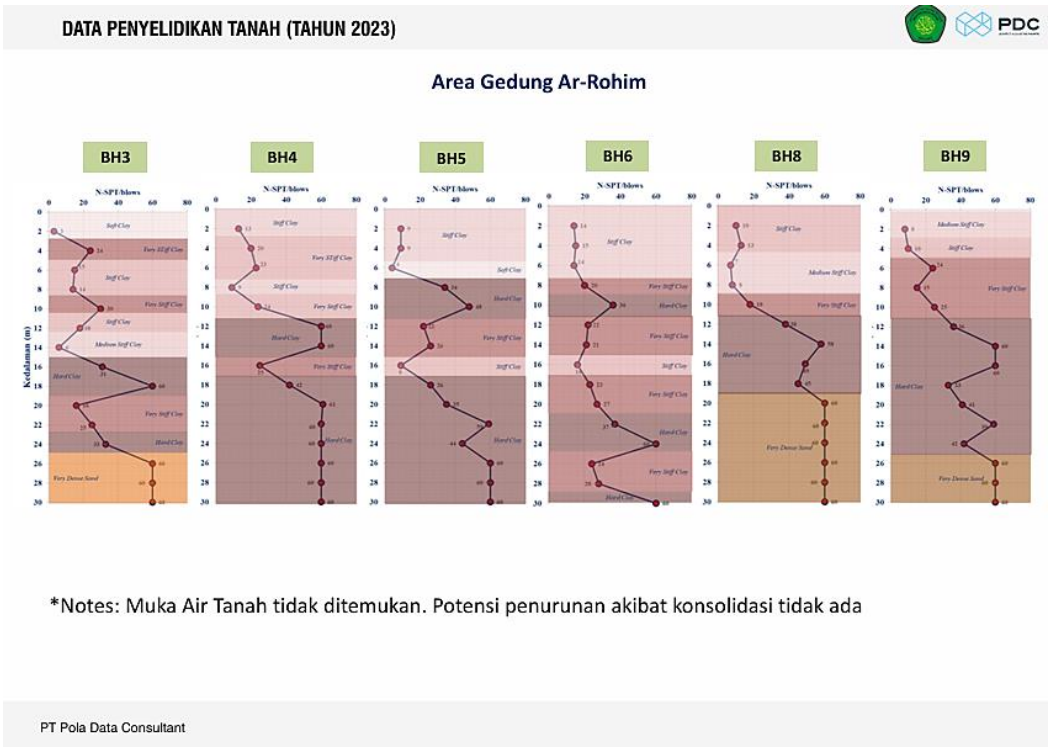
Muhammad Irfan Marasabessy, S.T., M.T.

L-1.1 Surat Permohonan Data

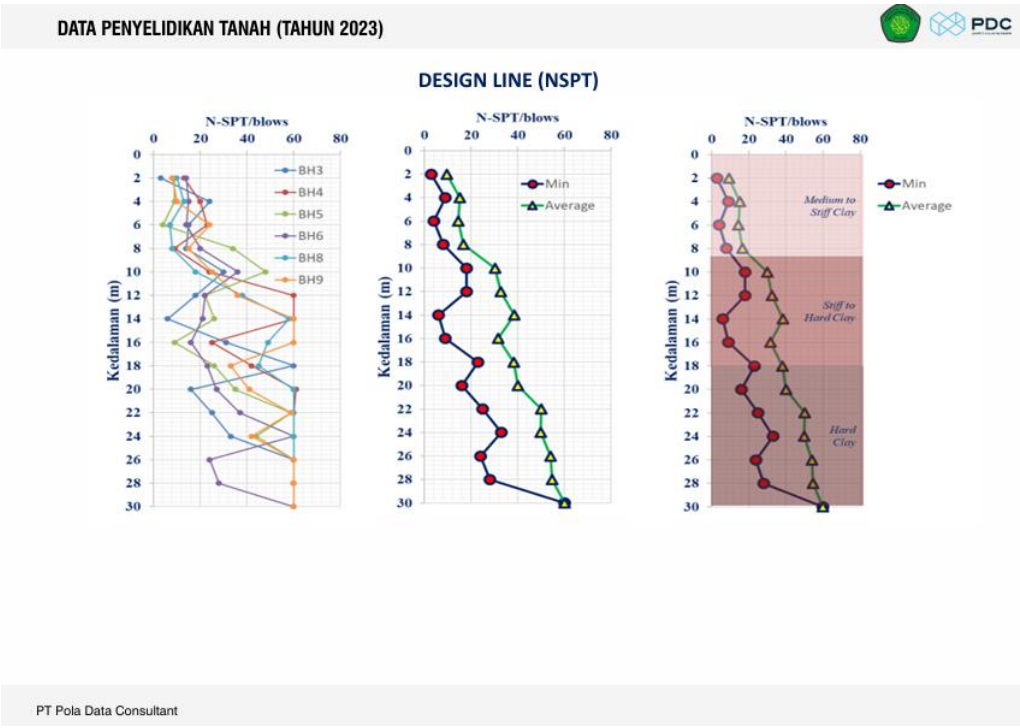
Lampiran 2 Data Penyelidikan Tanah



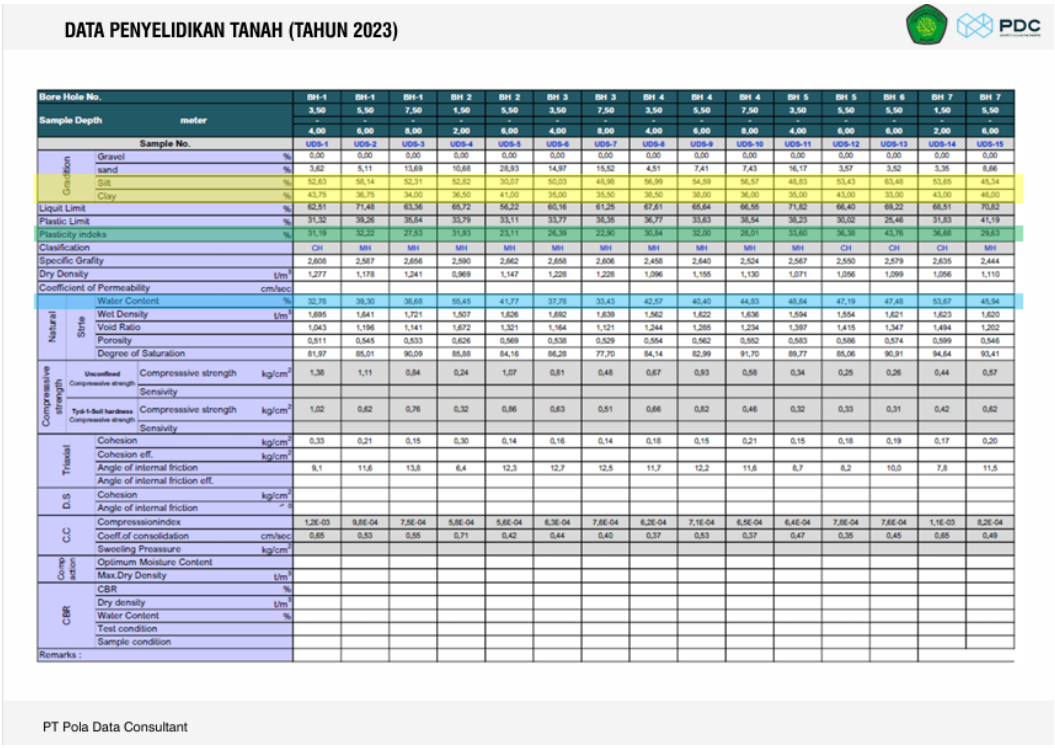
L-2.1 Lokasi Penyelidikan Tanah



L-2.2 Hasil Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)



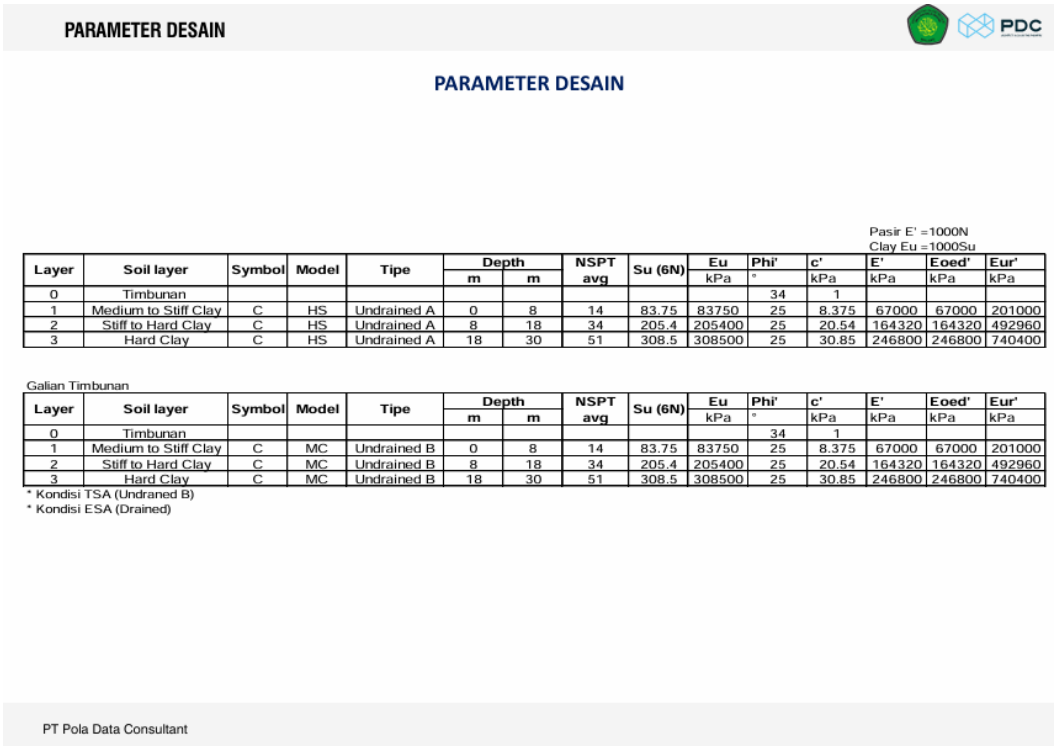
L-2.3 *Design Line* N-SPT



Bore Hole No.			BH-1	BH-1	BH-1	BH 2	BH 2	BH 3	BH 3	BH 4	BH 4	BH 4	BH 5	BH 5	BH 6	BH 7	BH 7
Sample Depth		meter	3,50 - 4,00	5,50 - 6,00	7,50 - 8,00	1,50 - 2,00	5,50 - 6,00	3,50 - 4,00	7,50 - 8,00	3,50 - 4,00	5,50 - 6,00	7,50 - 8,00	3,50 - 4,00	5,50 - 6,00	5,50 - 6,00	1,50 - 2,00	5,50 - 6,00
Sample No.			UDS-1	UDS-2	UDS-3	UDS-4	UDS-5	UDS-6	UDS-7	UDS-8	UDS-9	UDS-10	UDS-11	UDS-12	UDS-13	UDS-14	UDS-15
Gradation	Gravel	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sand	%	3,62	5,11	13,69	10,68	28,93	14,97	15,52	4,51	7,41	7,43	16,17	3,57	3,52	3,35	8,66
	Silt	%	52,63	58,14	52,31	52,52	30,07	50,03	48,96	56,99	54,59	56,57	48,83	53,43	63,48	53,65	48,34
	Clay	%	43,75	36,75	34,00	36,50	41,00	35,00	35,50	38,50	38,00	36,00	35,00	43,00	33,00	43,00	44,00
Liquit Limit		%	62,51	71,48	63,36	65,72	56,22	60,16	61,25	67,61	65,64	66,55	71,82	66,40	69,22	68,51	70,82
Plastic Limit		%	31,32	39,26	35,84	33,79	33,11	33,77	36,35	36,77	33,63	38,54	38,23	30,02	26,46	31,83	41,19
Plasticity indeks		%	31,19	32,22	27,53	31,93	23,11	26,39	22,90	30,84	32,00	28,01	33,60	36,38	43,76	36,68	29,63
Clasification			CH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	CH	CH	CH	MH
Specific Grafity			2,608	2,587	2,656	2,590	2,662	2,658	2,606	2,458	2,640	2,524	2,567	2,550	2,579	2,635	2,444
Dry Density		t/m³	1,277	1,178	1,241	0,969	1,147	1,228	1,228	1,096	1,155	1,130	1,071	1,056	1,099	1,056	1,110
Coefficient of Permeability		cm/sec															
Natural State	Water Content	%	32,78	39,30	38,68	55,45	41,77	37,78	33,43	42,57	40,40	44,83	48,84	47,19	47,48	53,67	45,94
	Wet Density	t/m³	1,695	1,641	1,721	1,507	1,626	1,692	1,639	1,562	1,622	1,636	1,594	1,554	1,621	1,623	1,620
	Void Ratio		1,043	1,196	1,141	1,672	1,321	1,164	1,121	1,244	1,285	1,234	1,397	1,415	1,347	1,494	1,202
	Porosity		0,511	0,545	0,533	0,626	0,569	0,538	0,529	0,554	0,562	0,552	0,583	0,586	0,574	0,599	0,546
	Degree of Saturation		81,97	85,01	90,09	85,88	84,16	86,28	77,70	84,14	82,99	91,70	89,77	85,06	90,91	94,64	93,41
Compressive strength	Unconfined Compressive strength — Compresssive strength	kg/cm²	1,38	1,11	0,84	0,24	1,07	0,81	0,48	0,67	0,93	0,58	0,34	0,25	0,26	0,44	0,57
	Unconfined Compressive strength — Sensivity																
	Tyd-1-Soil hardness Compressive strength — Compresssive strength	kg/cm²	1,02	0,62	0,76	0,32	0,86	0,63	0,51	0,66	0,82	0,46	0,32	0,33	0,31	0,42	0,62
	Tyd-1-Soil hardness Compressive strength — Sensivity																
Triaxial	Cohesion	kg/cm²	0,33	0,21	0,15	0,30	0,14	0,16	0,14	0,18	0,15	0,21	0,15	0,18	0,19	0,17	0,20
	Cohesion eff.	kg/cm²															
	Angle of internal friction		9,1	11,6	13,8	6,4	12,3	12,7	12,5	11,7	12,2	11,6	8,7	8,2	10,0	7,8	11,5
	Angle of internal friction eff.																
D.S	Cohesion	kg/cm²															
	Angle of internal friction	~															
C.C	Compresssionindex		1,2E-03	9,8E-04	7,5E-04	5,8E-04	5,6E-04	6,3E-04	7,6E-04	6,2E-04	7,1E-04	6,5E-04	6,4E-04	7,8E-04	7,6E-04	1,1E-03	8,2E-04
	Coeff.of consolidation	cm/sec	0,65	0,53	0,55	0,71	0,42	0,44	0,40	0,37	0,53	0,37	0,47	0,35	0,45	0,65	0,49
	Swooling Preassure	kg/cm²															
Compaction	Optimum Moisture Content																
	Max.Dry Density	t/m³															
CBR	CBR	%															
	Dry density	t/m³															
	Water Content	%															
	Test condition																
	Sample condition																
Remarks :																	

L-2.4 Hasil Uji Laboratorium Tanah

Lampiran 3 Parameter Desain



PARAMETER DESAIN

PDC

PARAMETER DESAIN

Pasir E' =1000N
Clay Eu =1000Su

Layer	Soil layer	Symbol	Model	Tipe	Depth		NSPT avg	Su (6N)	Eu	Phi'	c'	E'	Eoed'	Eur'
					m	m			kPa	°	kPa	kPa	kPa	kPa
0	Timbunan									34	1			
1	Medium to Stiff Clay	C	HS	Undrained A	0	8	14	83.75	83750	25	8.375	67000	67000	201000
2	Stiff to Hard Clay	C	HS	Undrained A	8	18	34	205.4	205400	25	20.54	164320	164320	492960
3	Hard Clay	C	HS	Undrained A	18	30	51	308.5	308500	25	30.85	246800	246800	740400

Galian Timbunan

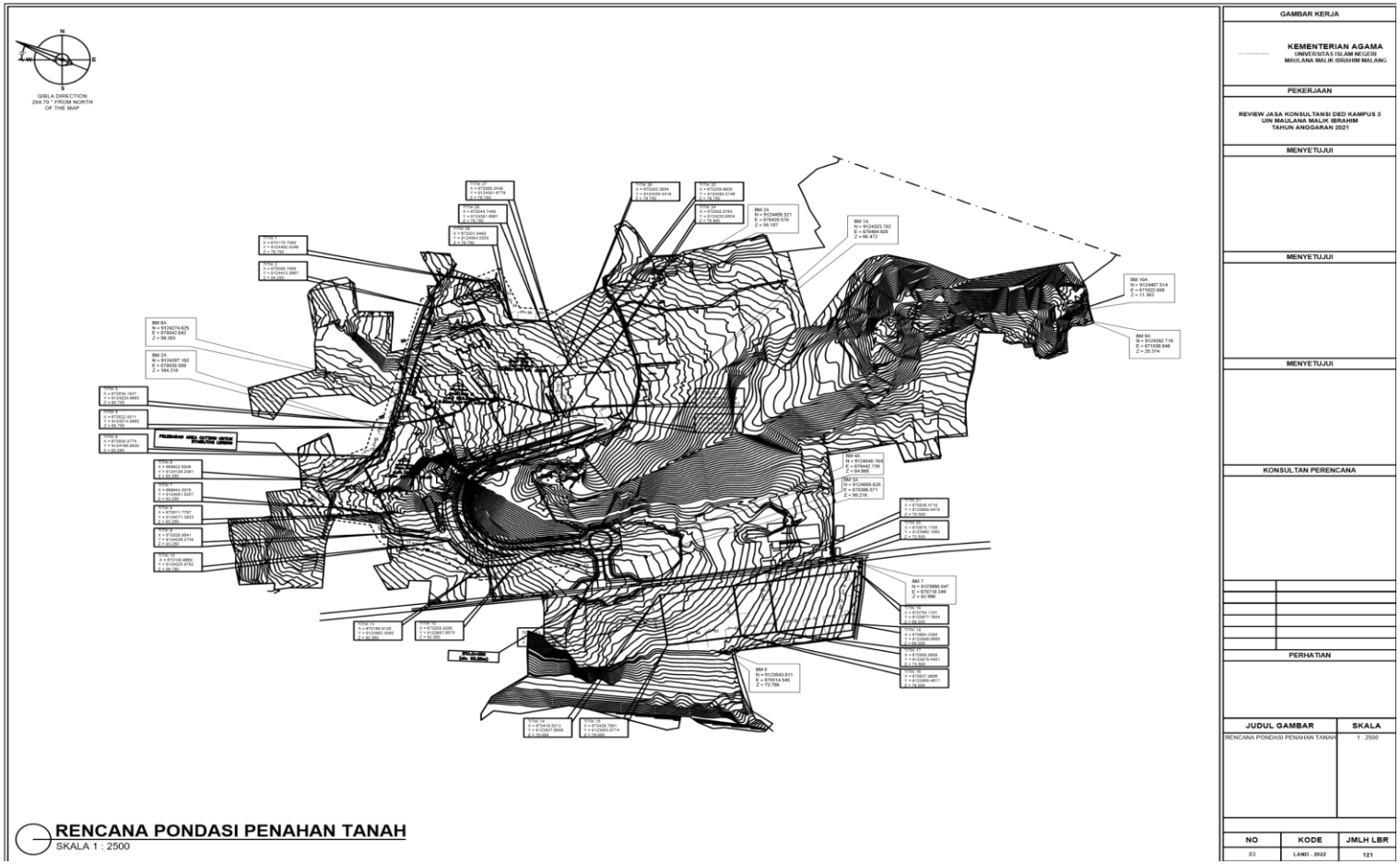
Layer	Soil layer	Symbol	Model	Tipe	Depth		NSPT avg	Su (6N)	Eu	Phi'	c'	E'	Eoed'	Eur'
					m	m			kPa	°	kPa	kPa	kPa	kPa
0	Timbunan									34	1			
1	Medium to Stiff Clay	C	MC	Undrained B	0	8	14	83.75	83750	25	8.375	67000	67000	201000
2	Stiff to Hard Clay	C	MC	Undrained B	8	18	34	205.4	205400	25	20.54	164320	164320	492960
3	Hard Clay	C	MC	Undrained B	18	30	51	308.5	308500	25	30.85	246800	246800	740400

* Kondisi TSA (Undraned B)
* Kondisi ESA (Drained)

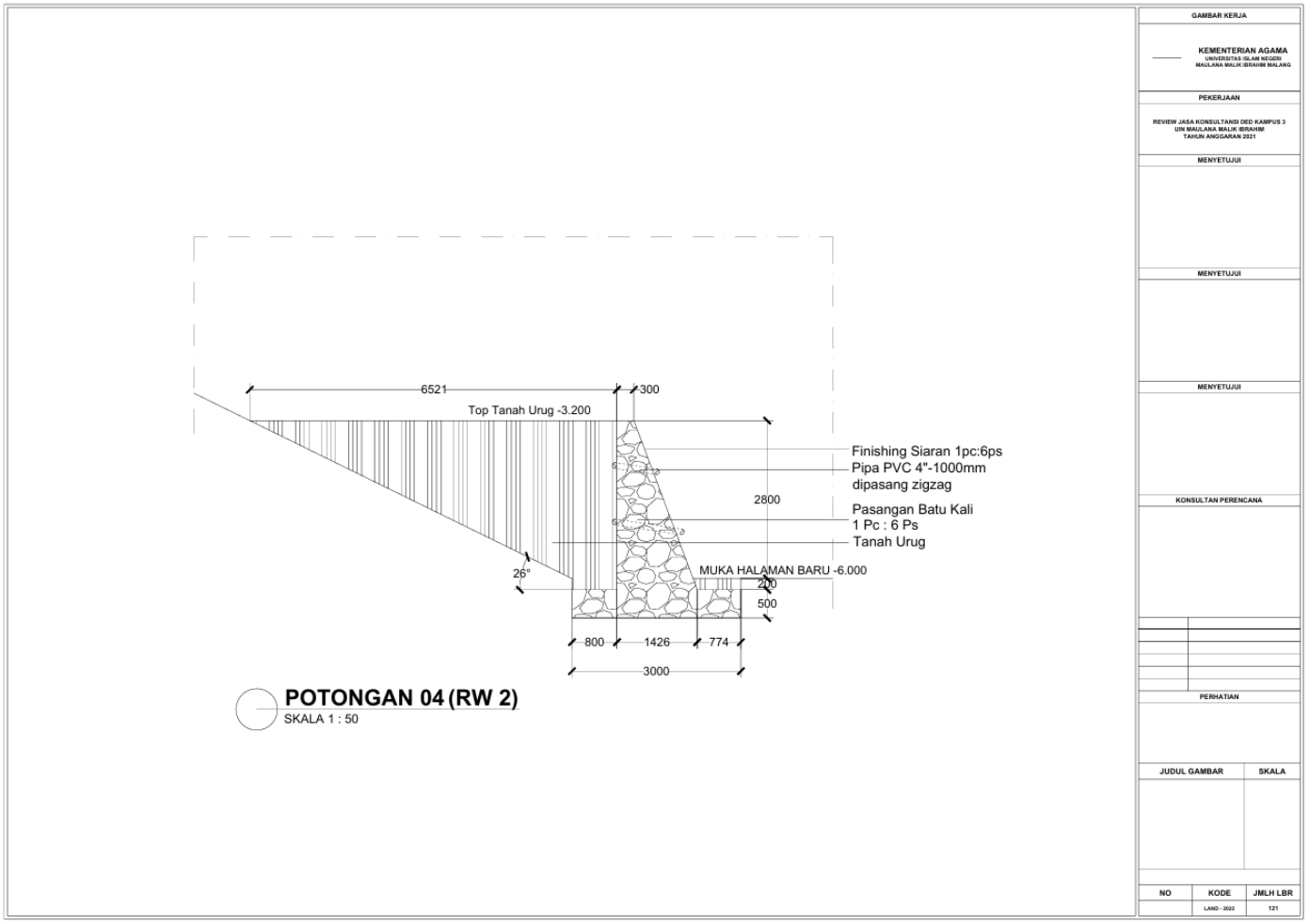
PT Pola Data Consultant

L-3.1 Parameter Tanah Input PLAXIS 2D

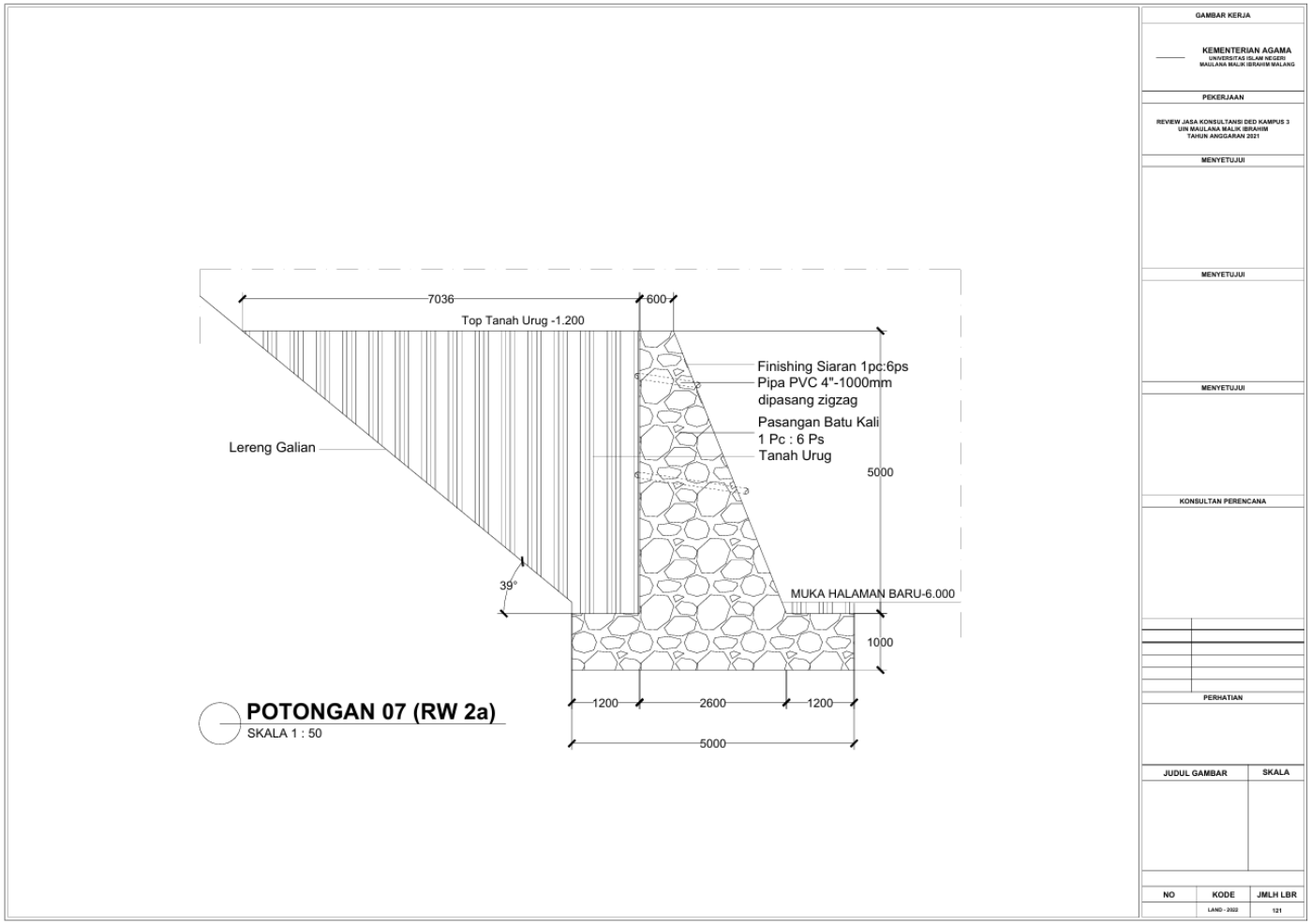
Lampiran 4 *Shop Drawing*



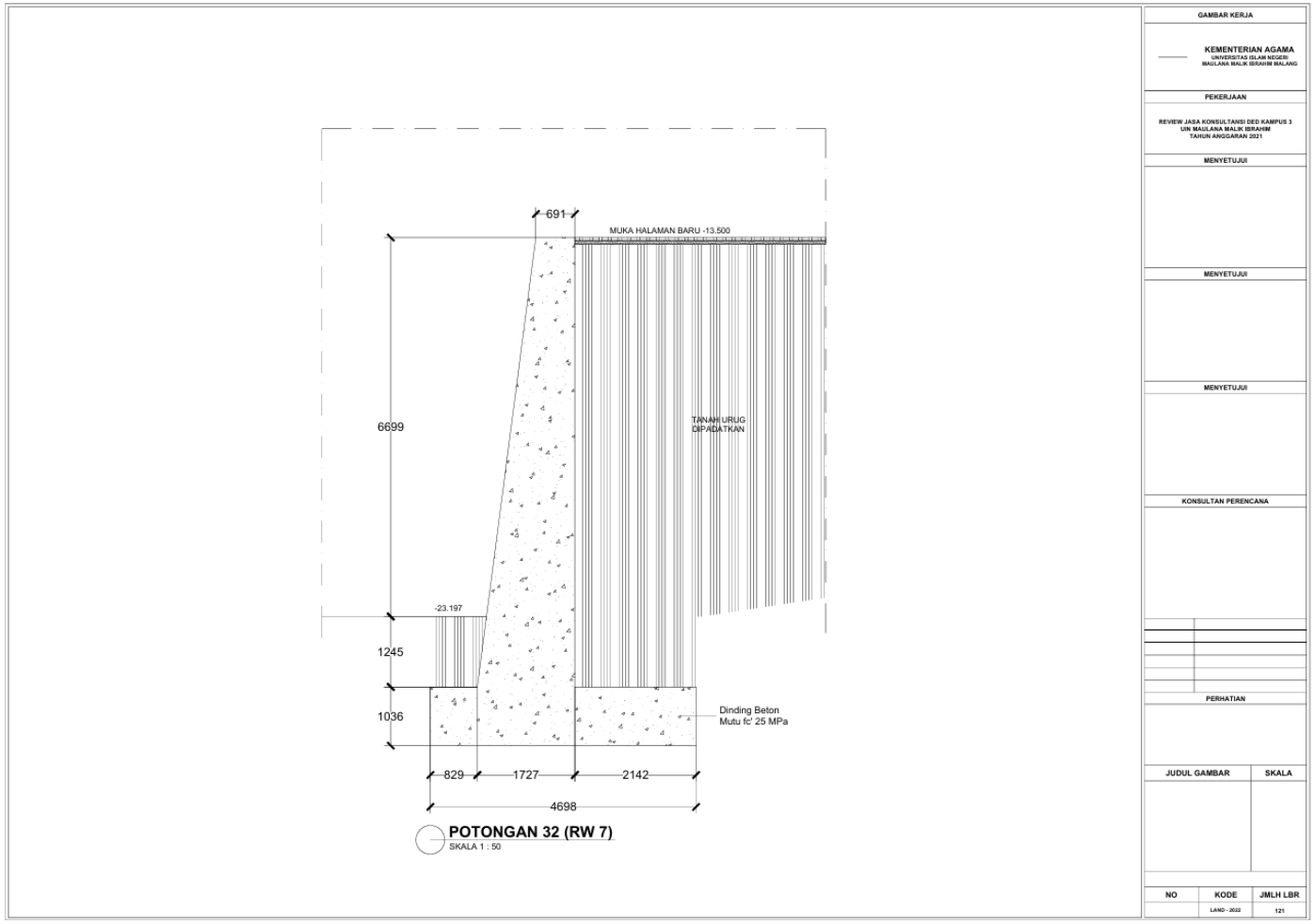
L-4.1 Denah Rencana Pondasi Penahan Tanah



L-4.2 Potongan Melintang Lereng 2 m



L-4.3 Potongan Melintang Lereng 5 m



L-4.4 Potongan Melintang Lereng 9 m

Lampiran 5 *Time Schedule*

No	Uraian Kegiatan	Jam Kerja (Jam)	Bulan ke-1				Bulan ke-2				Bulan ke-3				Bulan ke-4				Bulan ke-5				Bulan ke-6			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Persiapan																									
	a. Perumusan latar belakang dan masalah penelitian	4	2	2																						
	b. Studi litelatur stabilitas dan perkuatan lereng	4		2	2																					
2	Pengumpulan Data																									
	a. Pengumpulan data pembebanan	4				4																				
	b. Pengumpulan data sekunder pengujian tanah	8					4	4																		
3.	Penyusunan Proposal Tugas Akhir																									
	a. Penyusunan Bab I Pendahuluan	10							5	5																
	b. Penyusunan Bab II Tinjauan Pustaka	12									6	6														
	c. Penyusunan Bab III Landasan Teori	14											7	7												
	d. Penyusunan Bab IV Metode Penelitian	12													6	6										
4.	Analisis Data																									
	a. Analisis stabilitas lereng eksisting tanpa perkuatan	10														5	5									
	b. Analisis perkuatan Dinding Penahan Tanah (DPT) eksisting	12															5	7								
	c. Evaluasi perkuatan dengan dinding *Mechanically Stabilized Earth Wal*	12																	7	5						
5	Penyelesaian dan Sidang																									
	a. Penyusunan Bab V Hasil Analisis	12																		6	6					
	b. Penyusunan Bab VI Kesimpulan dan Saran	8																			2	2	4			
	c. Penyusunan laporan akhir	6																				3	3			
	d. Persiapan presentasi dan sidang	8																						4	2	2
Jumlah Total		136																								
Rencana Mingguan (Jam)			2	4	2	4	4	4	5	5	6	6	7	7	6	11	10	7	7	11	8	5	7	4	2	2
Jam Kerja Kumulatif (Jam)			2	6	8	12	16	20	25	30	36	42	49	56	62	73	83	90	97	108	116	121	128	132	134	136

L-5.1 *Time Schedule*