

ANALISIS STABILITAS DAN PERKUATAN LERENG MENGUNAKAN SOFTWARE PLAXIS 2D

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan

Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh :

Muhammad Haris Luqman

NIM : 30201604454

Helmi Prima Nugraha

NIM : 30201604418

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

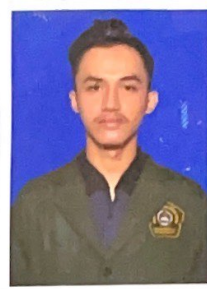
2023

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS STABILITAS DAN PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN SOFTWARE PLAXSIS 2D



Muhammad Haris Luqman
NIM : 30201604454



Helmi Prima Nugraha
NIM : 30201604418

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Juli 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Abdul Rochim.,ST.,MT**
NIDN: 0608067601
2. **Eko Muliawan Satrio.,ST.,MT**
NIDN: 0610118101
3. **Lisa Fitriyana.,ST.,Meng**
NIDN: 0631128901

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 01/A.2/SAT/XII/2022

Pada hari ini tanggal / / berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Abdul Rochim.,ST.,MT
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Eko Muliawan Satrio.,ST.,MT
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Muhammad Haris Luqman
NIM : 30201604454

Helmi Prima Nugra
NIM : 30201604418

Judul : Analisis Stabilitas dan Perkuatan Lereng Menggunakan Menggunakan Software Plaxis 2D

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	7 / III / 2022	ACC
2	Seminar Proposal	30 / II / 2023	
3	Pengumpulan data	/ /	
4	Analisis data	/ /	
5	Penyusunan laporan	/ /	ACC
6	Selesai laporan	12 / 7 / 2023	

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama

Dr. Abdul Rochim, ST., MT.

Dosen Pembimbing Pendamping

Eko Muliawan Satrio, ST., MT.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Muhammad Haris Luqman

NIM : NIM : 30201604454

NAMA : Helmi Prima Nugraha

NIM : NIM : 30201604418

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
ANALISIS STABILITAS DAN PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN
SOFTWARE PLAXSIS 2D
benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka kami
bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana
mestinya.

Semarang, 21 / 08 / 2023
Yang membuat pernyataan

Muhammad Haris Luqman
NIM: 30201604454

Helmi Prima Nugraha
NIM: 30201604418



PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Muhammad Haris Luqman

NIM : NIM : 30201604454

NAMA : Helmi Prima Nugraha

NIM : NIM : 30201604418

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli kami sendiri. Kami tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka kami bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini kami buat.

Yang membuat pernyataan

Semarang, 2 / 08 / 2023

Yang membuat pernyataan

Muhammad Haris Luqman

NIM: 30201604454

Helmi Prima Nugraha

NIM: 30201604418

ANALISIS STABILITAS DAN PERKUATAN LERENG MENGUNAKAN SOFTWARE PLAXIS 2D

ORIGINALITY REPORT

23%

SIMILARITY INDEX

20%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

12%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Sultan Agung Islamic University	6%
	Student Paper	
2	vdocuments.mx	3%
	Internet Source	
3	repository.unissula.ac.id	1%
	Internet Source	
4	am-lin.blogspot.com	1%
	Internet Source	
5	pdfcoffee.com	1%
	Internet Source	
6	jurnal.untan.ac.id	1%
	Internet Source	
7	Submitted to Universitas Islam Indonesia	1%
	Student Paper	
8	repository.ub.ac.id	1%
	Internet Source	
9	docshare.tips	1%
	Internet Source	

27/07/2023

Dr. Abdul Rochim



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax (024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM :

Hari / Tanggal :

Judul TA :

NO

1 MOTTO : Belum rata kanan penulisannya. ✓

ABSTRAK : Direvisi paragraf I & II ✓

2 Banyak tulisan yang salah ketik, tanpa titik akhir. ✓

3 Kata pengantar spasi terlalu lebar antara angka
1-5 dgn kalimat awal.

4 Daftar Isi tidak ditulis tebal semua.

Revisi OK

Ag

24
07 2023

DOSEN PENGUJI



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (B. Sat) Fax: (024) 6582455
email: informasi@unissula.ac.id web: www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khalifa Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM :

Hari / Tanggal :

Judul TA :

NO

1 - Perbaiki tata cara penulisan secara lebih :

2 Bagan alir sederhana dan standard kate penyusunan
bagian alir.

3

4

5

Ace pendadaran !
25/23.
7

DOSEN PENGUJI

Eko M. SATRIO



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax (024) 6582455
email: informasi@unissula.ac.id web: www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM :

Hari / Tanggal :

Judul TA :

NO	
1	1. Rapihan periksa
2	2. Ubalah model plaxismu khair syh domba dari bu lisa + fane Agem
3	Acc. Huda
4	
5	

DOSEN PENGUJI

[Signature]



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**LEMBAR ASISTENSI
LAPORAN TUGAS AKHIR**

Nama Mahasiswa : Muhammad Haris Luqman (30201604454)
: Helmi Prima Nugraha (30201604418)
Judul : Analisis Stabilitas dan Perkuatan Lereng Menggunakan
Software Plaxis 2D
Dosen Pembimbing I : Dr. Abdul Rochim, ST., MT
Dosen Pembimbing II : Eko Muliawan Satrio, ST., MT

No	Tanggal	Keterangan	Paraf Pembimbing
01.	06 Jan 23	1.) Revisi sesuai koreksi saya di laporan proposal TA. 2.) Buat BAB III	
02.	17 Jan 23	1.) Sibkan diurus disposisi seminar proposal TA. 2.) Dijadwalkan Seminar Proposal Serin, 30 Januari 2023.	
03.	30 Jan 23	1.) Perbaiki penulisan yang salah (tabel, dll) 2.) - Seri jelas Plaxis } BAB III - Sejarah plaxis } 3.) Minta data tanah asli.	
04.	14 Mart 23	1.) Perbaiki penulisan 2.) Susunan flowchart dirubah sesuai koreksi saya.	



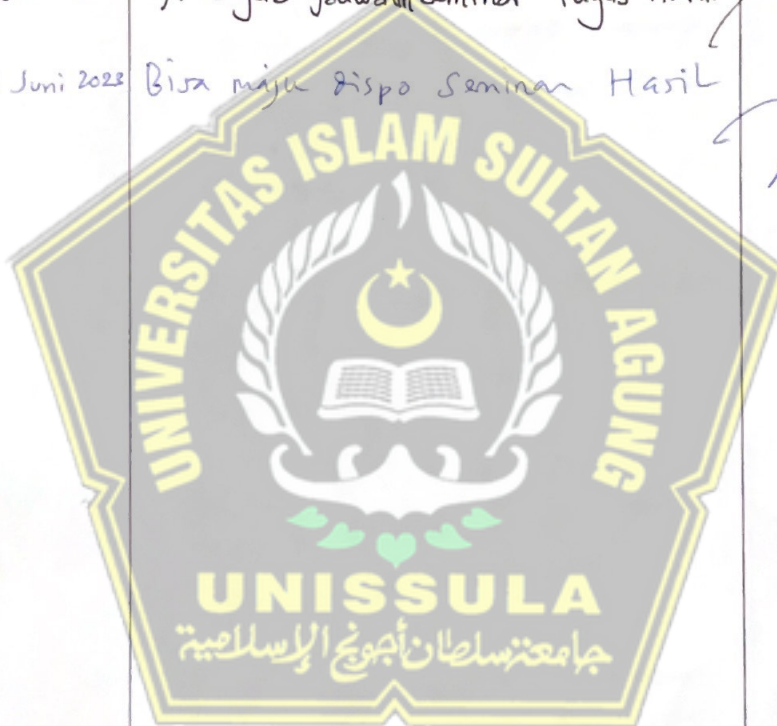
YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL

No	Tanggal	Keterangan	Paraf Pembimbing
05	4 April 23	3). Dipastikan Semua memang ada datanya 1). Perbaiki penulisan 2). Perbaiki rumusan masalah - 3). Untuk mutai dan selesai pada - flowchart memakai bentuk elips bukan kotak. 4). Kerjakan bab IV dan V	
06.	5 Mei 23	1). Pada bagian awal Bab IV sampaikan dahulu stratifikasi/pelapisan tanah yang dipakai + Parameter tanahnya. 2). Buat pemodelan tanahnya - kondisi kering - Kondisi basah (memasukkan air hujan dengan variasi durasi dan intensitas hujan ada 2 variasi) - memakai $c = 0$ (pengaruh - Suction)	
07	19 Mei 23	1). Perbaiki perhitungan dinding penahan tanah. 2). Cek kembali SF tanah kering lebih - besar daripada tanah basah & Suction	



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL

No	Tanggal	Keterangan	Paraf Pembimbing
08.	24 Mei 23	1). Tambahkan kolom nilai sendiri (qc) 2). Koreksi sesuai ~~ga~~ saya di bab IV	
09.	1 Juni 23	1). Bawa dan jelaskan pengerjaan pada aplikasi Plaxis.	
10.	5 Juni 23	1). Segera jadwalkan Seminar Tugas Akhir	
11	08 Juni 2023	Bisa milih Dispo Seminar Hasil	





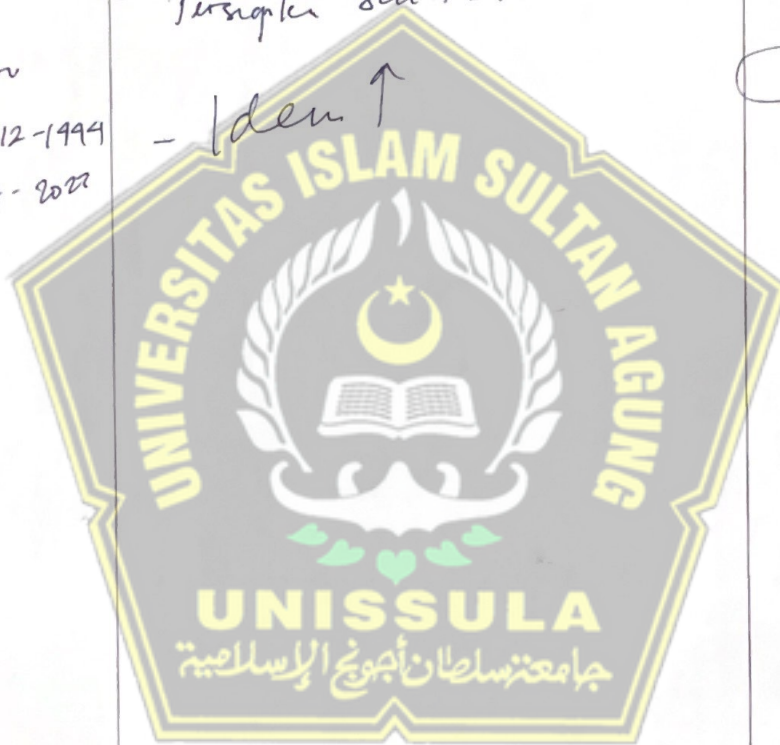
YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL

No	Tanggal	Keterangan	Paraf Pembimbing
1	SENIN 23-11-1444 12-06-23	- Perbaiki Tata Cara Penulisan. - Lihat & Baca Bab I, Bab II, Bab III, Bab IV, Bab V - Setiap Bab harus mampu menjelaskan secara rinci Laporan TA	
2	JUM'AT 27-11-1444 16-6-2023	- Perbaiki Laporan / tata cara Tulis. - Lanjutkan.	
3	SENIN 01-12-1444 19-6-2023	- Bab I & Bab II oke. - Bab III & Bab IV perbaiki sesuai urutan kegiatannya	
4	Kamis 4-12-1444 22-6-2023	- Bab IV buat analisa tanpa DPT dan masukkan DPT. - Buat komparasi hasil dari kedua problem diatas stg hasil pembahasan - Bab IV - Kesimpulan & Saran	
5	Rabu 17-12-1444 5-7-2023	- Perbaiki penulisan Bab IV & V judul gbr. - Penulisan di Bab IV diperjelas - Kesimpulan mengaitkan tujuan	



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL

No	Tanggal	Keterangan	Paraf Pembimbing
	SELASA 23-12-1444 11-7-2023	- Rapsika - Lapra. - Persiapkan PPT - y/ dikorsul fisika. - Persiapkan Sm Hrs.	
	Rabu 24-12-1444 12-7-2023	- Iden ↑	



ANALISIS STABILITAS DAN PERKUATAN LERENG MENGUNAKAN SOFTWARE PLAXIS 2D

ORIGINALITY REPORT

23%

SIMILARITY INDEX

20%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

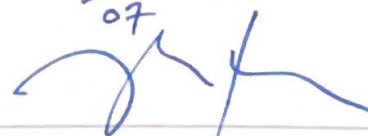
12%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Sultan Agung Islamic University Student Paper	6%
2	vdocuments.mx Internet Source	3%
3	repository.unissula.ac.id Internet Source	1%
4	am-lin.blogspot.com Internet Source	1%
5	pdfcoffee.com Internet Source	1%
6	jurnal.untan.ac.id Internet Source	1%
7	Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper	1%
8	repository.ub.ac.id Internet Source	1%
9	docshare.tips Internet Source	1%

27/07/2023



Dr. Abdul Rachim 1%

ANALISIS STABILITAS DAN PERKUATAN LERENG MENGUNAKAN SOFTWARE PLAXIS 2D

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan

Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh :

Muhammad Haris Luqman

Helmi Prima Nugraha

NIM : 30201604454

NIM : 30201604418

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

2023

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS STABILITAS DAN PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN SOFTWARE PLAXSIS 2D

FOTO LAKI-
LAKI
BERWARNA
LATAR BIRU
ukuran 3 x 4

mengenakan
Jas Almamater

Muhammad Haris Luqman
NIM : 30201604454

FOTO
PEREMPUAN
BERWARNA
LATAR
MERAH
ukuran 3 x 4
mengenakan
Jas Almamater

Helmi Prima Nugraha
NIM : 30201604418

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Juli 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Abdul Rochim.,ST.,MT**
NIDN:

2. **Eko Muliawan Satrio.,ST.,MT**
NIDN:

3. **Lisa Fitriyana.,ST.,Meng**
NIDN:

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No:

Pada hari ini tanggal / / berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Abdul Rochim.,ST.,MT
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Eko Muliawan Satrio.,ST.,MT
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Muhammad Haris Luqman
NIM : 30201604454

Helmi Prima Nugra
NIM : 30201604418

Judul : Analisis Stabilitas dan Perkuatan Lereng Menggunakan Menggunakan Software Plaxis 2D

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	/ /	ACC
2	Seminar Proposal	/ /	
3	Pengumpulan data	/ /	
4	Analisis data	/ /	
5	Penyusunan laporan	/ /	ACC
6	Selesai laporan	/ /	

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping

Dr. Abdul Rochim, ST., MT.

Eko Muliawan Satrio, ST., MT.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Muhammad Haris Luqman

NIM : NIM : 30201604454

NAMA : Helmi Prima Nugraha

NIM : NIM : 30201604418

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

ANALISIS STABILITAS DAN PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN SOFTWARE PLAXSIS 2D

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka kami bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yang membuat pernyataan

Semarang, __/____/____

Yang membuat pernyataan

Materai Rp.10.000

Muhammad Haris Luqman

NIM: 30201604454

Helmi Prima Nugraha

NIM: 30201604418



PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Muhammad Haris Luqman

NIM : NIM : 30201604454

NAMA : Helmi Prima Nugraha

NIM : NIM : 30201604418

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli kami sendiri. Kami tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka kami bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini kami buat.

Yang membuat pernyataan

Semarang, __/__/__

Yang membuat pernyataan

Materai Rp.10.000

Muhammad Haris Luqman

NIM: 30201604454

Helmi Prima Nugraha

NIM: 30201604418

MOTTO

- Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik. (Q.S Ali Imran : 110)
- Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal. (Q.S Ali Imran : 190)
- Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya (Q.S Al-Baqarah : 286)
- Berusahalah selalu untuk unggul dalam kebajikan dan kebenaran (Nabi Muhammad SAW)
- Lakukan apa yang seharusnya menjadi tanggung jawabmu sekarang, entah itu hasil atau tidak tapi hal tersebut akan membuat hati menjadi lebih lega.
- Sabar adalah jamuan menyehatkan untuk hidup kita.
- Tidak usah terlalu mengejar apa yang bukan menjadi hak mu, walaupun toh itu di takdirkan untukmu dengan tanpa keraguan ia akan datang kepadamu tanpa arah yang tidak diduga–duga.
- Jangan bersedih sesungguhnya Tuhan selalu bersamamu.
- Ketika Tuhan berkehendak apa yang kelihatan sudah didepan mata menjadi hakmu, kunfayakun lepas, niscaya akan lepas. جامعة القاهرة
- Migunani tumrapping liyan (Farid Stevy Asta).
- Kebajikan yang ringan adalah menunjukkan muka yang berseri – seri dan mengucapkan kata – kata lemah lembut (Umar Bin Khattab)
- Cara paling hebat guna menumbangkan lawan yaitu mengalahkannya dengan sifat kesopanan (Umar Bin Khattab)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, rasa syukur kepada Allah SWT untuk semua Rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk:

1. Orang tua tersayang Bapak Mukito dan Ibu Rosetinah, atas semua cinta, kasih sayang, pengertian, kesabaran, dan do'a.
2. Keluarga yang penuh cinta dengan semua support yang sudah diberikan kepada penulis.
3. Teman - teman Teknik sipil B atas dukungan, bantuan dan support.
4. Teman - teman Angkatan 16 yang sudah menemani dan memberikan semangat.
5. Teman - teman Team Panik.
6. Teman - teman Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dari seluruh mahasiswa Teknik UNISSULA.



Muhammad Haris Luqman
NIM: 30201604454

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, rasa syukur kepada Allah SWT untuk semua rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk:

1. Orang tua tersayang Bapak Muid dan Ibu Noer Emma Rozillah, atas semua cinta, kasih sayang, pengertian, kesabaran, dan do'a.
2. Keluarga yang penuh cinta dengan semua support yang sudah diberikan kepada penulis.
3. Teman - teman Teknik sipil B atas dukungan, bantuan dan support.
4. Teman - teman Angkatan 16 yang sudah menemani dan memberikan semangat.
5. Teman - teman Team Panik.
6. Teman - teman Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dari seluruh mahasiswa Teknik UNISSULA.



Helmi Prima Nugraha
NIM: 30201604418

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS STABILITAS DAN PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN SOFTWARE PLAXIS 2D” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT, Ph.D, sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Abdul Rochim ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Eko Muliawan, ST, MT selaku dosen Pembimbing II yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang,

2023

Muhammad Haris Luqman
NIM: 30201604454

Helmi Prima Nugraha
NIM: 30201604418

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
ABSTRAK.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	16
1.1.Latar Belakang.....	16
1.2.Rumusan Masalah.....	18
1.3.Batasan Masalah.....	18
1.4.Tujuan penelitian.....	18
1.5.Manfaat Penelitian	19
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	20
2.1.Tanah	20
2.1.1.Jenis Tanah Berdasarkan Proses Pembentukannya.....	20
2.1.2.1.Klasifikasi Berdasarkan Tekstur	22
2.1.2.2.Klasifikasi Berdasarkan Pemakaian.....	24
2.2.Lereng	26
2.3.Stabilitas Lereng	27

2.4.Tanah Longsor	29
2.5.Analisis Stabilitas Lereng	32
2.6.Dinding Penahan Tanah	33
2.7.Plaxis 2D	36
2.8.Penelitian Terdahulu	38
BAB III METODE PENELITIAN	42
3.1.Tinjauan Umum	42
3.2.Metode Pengumpulan Data.....	42
3.2.1.Data Primer	42
3.2.2.Data Sekunder	42
3.3.Analisis Data.....	42
3.4.Parameter Tanah	42
3.5.Pengoprasian <i>Plaxis</i>	44
3.6.Alur Penelitian	52
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	53
4.1.Stratifikasi Tanah.....	53
4.2.Parameter Tanah	53
4.3.Plaxis 8.2 Calculation Tanpa DPT.....	54
4.4.Plaxis 8.2 output.....	55
4.4.1.Perkuatan Hanya Dengan DPT	55
4.4.2.Tahap Initial Phase.....	59
4.4.3.Tahap <i>Safety Factor</i> Sebelum dilakukan perkuatan.....	62
4.4.4.Tahap <i>Safety Factor</i> Setelah Dilakukan Perkuatan	64
4.5.Perhitungan Dinding Penahan Tanah.....	66
4.5.1.Data Dinding Penahan Tanah	66
4.5.2.Perhitungan Manual Dinding Penahan Tanah.....	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	77
5.1.Kesimpulan	77

5.2.Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN.....	76



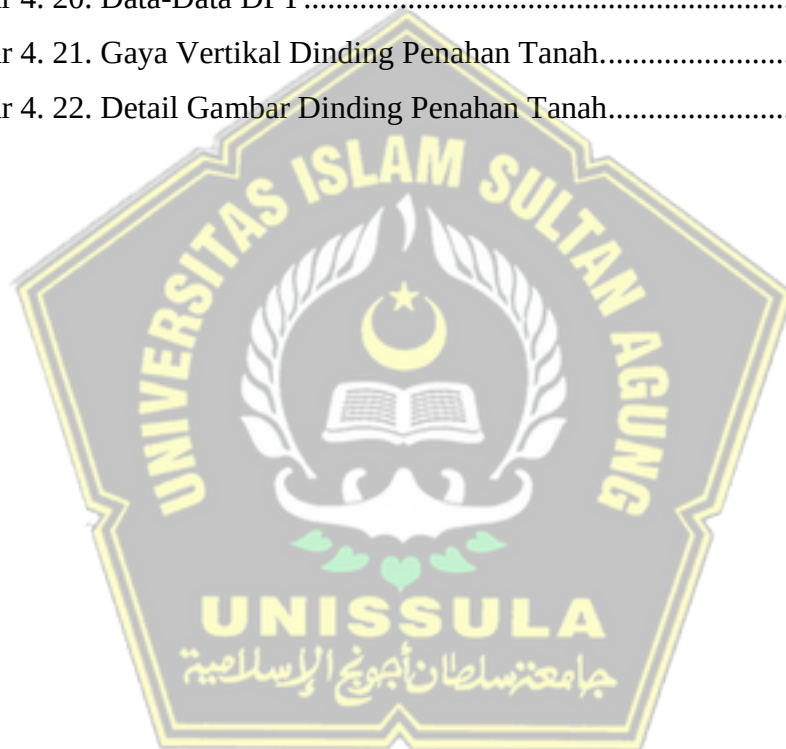
DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS	25
Tabel 2. 2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO	26
Tabel 2. 3 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng	32
Tabel 2. 4 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor	33
Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu	38
Tabel 4. 1. Hasil Sondir 1.....	53
Tabel 4. 2. Material Properties (Kondisi Kering)	54
Tabel 4. 3. Material Properties (Kondisi Basah).....	54
Tabel 4. 4 Input Koordinat Pada Model 1 Plaxis 8.2.	57
Tabel 4. 5 Hasil Analisis Dari Setiap Model.....	66
Tabel 4. 6. Gaya Vertikal Dinding Penahan Tanah.	69
Tabel 4. 7. Tekanan Lateral Dinding Penahan Tanah.....	70
Tabel 4. 8. Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Penggulingan	71
Tabel 4. 9. Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Penggeseran.....	72
Tabel 4. 10 Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Daya Dukung Tanah....	72
Tabel 4. 11. Penulangan Dinding Penahan Tanah.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA).....	23
Gambar 2. 2 Longsor Translasi.....	29
Gambar 2. 3 Longsor Rotasi	30
Gambar 2. 4 Longsor Translasi Blok Batu.....	30
Gambar 2. 5 Longsor Runtuhan Batu	31
Gambar 2. 6 Longsor Rayapan Tanah	31
Gambar 2. 7 Longsor Aliran Bahan Rombakan.....	31
Gambar 2. 8 Tekanan leteral yang bekerja pada dinding penahan	34
Gambar 3. 1 Kotak Dialog Create/Open Project.....	44
Gambar 3. 2 Tab Project dari Jendela General Setting.....	45
Gambar 3. 3 Tab Dimension dari Jendela Grid.....	46
Gambar 3. 4 Lembar Tab General dari Jendela	47
Gambar 3. 5 Lembar Tab Parameters dari Jendela Material Sets.....	48
Gambar 3. 6 Jaringan Elemen Hingga (Meshing).....	48
Gambar 3. 7 Tegangan Awal Pada Geometri.....	49
Gambar 3. 8 Jendela Calculations dengan Lembar Tab General	50
Gambar 3. 9 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau	50
Gambar 3. 10 Bagan Alur Penelitian	52
Gambar 4. 1. Tahap – Tahap Perhitungan Kalkulasi Tanpa DPT.....	54
Gambar 4. 2 Tahap – Tahap Perhitungan Kalkulasi dengan DPT	55
Gambar 4. 3. Data Lokasi Gombel, Semarang, Jawa Tengah.....	56
Gambar 4. 4. Prosessing Data Elevation.....	56
Gambar 4. 5. Profil Memanjang.....	57
Gambar 4. 6. Pemodelan Model Kering (Tanpa DPT) Fase 0	59
Gambar 4. 7 Pemodelan Muka Air Model Kering (Tanpa DPT) Fase 0	59
Gambar 4. 8 Pemodelan Model Basah (Tanpa DPT) Fase 0	60
Gambar 4. 9 Pemodelan Muka Air Model Basah (Tanpa DPT) Fase 0.....	60
Gambar 4. 10. Pemodelan Muka Air Fase 0 Model 1(dengan DPT).	61
Gambar 4. 11. Pemodelan Fase 0 Model 1(dengan DPT).....	61

Gambar 4. 12. Displacement dan Deformed Mesh Fase 3 Model 1 (Tanpa DPT).	62
Gambar 4. 13. Total Displacement tanpa DPT (Model Kering).	63
Gambar 4. 14. Total Displacement tanpa DPT (Model Basah).	63
Gambar 4. 15. Total Displacement tanpa DPT (Model Suction).	63
Gambar 4. 16. Displacement dan Deformed Mesh Fase 3 Model 1.	64
Gambar 4. 17. Total Displacement dengan DPT Model Kering.	64
Gambar 4. 18. Total Displacement dengan DPT Model Basah.	65
Gambar 4. 19. Total Displacement dengan DPT Model Suction.	65
Gambar 4. 20. Data-Data DPT	67
Gambar 4. 21. Gaya Vertikal Dinding Penahan Tanah.	68
Gambar 4. 22. Detail Gambar Dinding Penahan Tanah.	76



ANALISIS STABILITAS DAN PERKUATAN LERENG MENGUNAKAN SOFTWARE PLAXIS 2D

ABSTRAK

Lereng adalah suatu bidang di permukaan tanah yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah. Kegagalan lereng sering terjadi pada jenis tanah lunak/lempung yang diakibatkan oleh curah hujan yang tinggi di suatu daerah lereng, dan di daerah lereng tersebut memiliki kemiringan yang curam. Tujuan studi ini untuk mengetahui stabilitas kondisi eksisting jalan Bukit Regency Gombel Golf Kota Semarang, mengetahui stabilitas lereng dengan kekuatan tanah, serta mengetahui stabilitas sebelum dan sesudah adanya perkuatan tanah menggunakan program Plaxis 2D

Plaxis merupakan program komputer berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara khusus melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik dengan membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang

Hasil angka program plaxis menggunakan kemiringan 1:1 dengan dua pemodelan yaitu pemodelan pertama dengan kondisi kering tanpa DPT didapatkan $FK = 1.3$ dan kondisi basah didapatkan $FK = 1.26$ dan untuk dengan DPT FK minimum sebesar 4.2 Kesimpulan dari hasil yang didapat, menunjukkan bahwa nilai angka keamanan mencapai nilai yang ditetapkan $FK > 1,5$, maka diperlukan perkuatan yaitu dinding penahan tanah (DPT).

Kata Kunci : Stabilitas, Lereng, Dinding Penahan Tanah, Plaxis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang luas dan memiliki beragam variasi topografi permukaan tanah disetiap daerahnya, mulai dari yang landai hingga yang sangat curam, dari yang berpantai hingga berbukit-bukit. Jaringan jalan tidak hanya dibangun di permukaan tanah yang memiliki topografi landai dan datar saja, namun juga pada wilayah yang memiliki topografi yang curam atau berbukit-bukit, dan tak sedikit terdapat pula di atas lereng maupun di samping tebing. Hal ini membuat kemungkinan longsor pada lereng atau tebing yang berada di jaringan jalan. Longsoran terjadi pada lokasi dengan keadaan geologi, morfologi, hidrologi dan iklim yang kurang menguntungkan. Longsoran secara alami terjadi antara lain karena menurunnya kemantapan suatu lereng, akibat degradasi tanah/batuan bersamaan waktu atau akibat fluktuasi muka air tanah. (Frengky et al., 2021)

Tanah dengan kemiringan landai dan curam yang terletak di atas batuan padat dapat menyebabkan tanah longsor pada musim hujan dengan curah hujan yang tinggi. Proses terbentuknya tanah longsor adalah ketika air merembes ke dalam tanah sehingga menambah berat tanah. Saat air merembes ke dalam tanah, air mengental dan bertindak sebagai permukaan yang licin hingga tanah menjadi licin dan tanah lapuk di atasnya akan bergerak naik lereng dan keluar dari lereng (Mina et al., 2022). Pada permukaan tanah miring, tanah cenderung bergerak ke arah bawah. Longsor pada lereng terjadi apabila gaya gravitasi terjadi lebih besar terhadap geseran pada bidang longsornya (Hardiyatmo, 2010). Kontur dan strukur tanah yang labil mengakibatkan mudahnya tanah bergeser.

Terdapat banyak pilihan metode untuk mencegah terjadinya longsoran pada lereng, salah satunya menggunakan dinding penahan tanah. Dinding penahan tanah adalah struktur yang menstabilkan kondisi tanah tertentu (Supit, 2019). Dinding penahan tanah merupakan suatu konstruksi yang bertugas menahan pergerakan tanah dan mencegah keruntuhan pada tanah di tanah miring atau lereng yang tidak memiliki penahan beban pada lereng tersebut (Gde Suwarsa

Putra et al., 2010). Nilai sudut geser tanah dalam dan kohesi, sangat berpengaruh terhadap tekanan tanah lateral dibelakang dinding penahan tanah (Endayanti & Marpaung, 2019). Analisis stabilitas lereng memiliki posisi yang sangat penting dalam perencanaan pekerjaan sipil. Ketidakstabilan lereng sangat berbahaya bagi lingkungan, sehingga perlu dilakukan analisis kestabilan lereng. Kestabilan lereng diketahui dengan menghitung faktor keamanan.

Untuk mengetahui faktor keamanan lereng di wilayah penelitian perlu dilakukan analisis kestabilan lereng yang dapat dimodelkan sesuai dengan kondisi tapak aslinya, sehingga kondisi akses yang muncul pada hasil analisis dapat mempermudah dalam memodelkan penanganannya, salah satunya adalah dengan menggunakan software Plaxis 2D. Saat menggunakan program Plaxis untuk analisis, langkah-langkah harus diambil yaitu menentukan model geometris, model material, parameter model dan melakukan perhitungan (Setyanto et al., 2016). Luaran dari program Plaxis seperti nilai angka keamanan dan deformasi dapat digunakan sebagai acuan untuk penanganan perkuatan terhadap kestabilan lereng (Hidayat, 2018).

Secara topografis Kota Semarang terdiri dari daerah perbukitan, dataran rendah dan daerah pantai, dengan demikian topografi Kota Semarang menunjukkan adanya berbagai kemiringan dan tonjolan. Daerah pantai 65,22% wilayahnya adalah dataran dengan kemiringan 25% dan 37,78 % merupakan daerah perbukitan dengan kemiringan 15-40%. Kondisi lereng tanah Kota Semarang dibagi menjadi 4 jenis kelerengan yaitu lereng I (0-2%) meliputi Kecamatan Genuk, Pedurungan, Gayamsari, Semarang Timur, Semarang Utara dan Tugu, serta sebagian wilayah Kecamatan Tembalang, Banyumanik dan Mijen. Lereng II (2-5%) meliputi Kecamatan Semarang Barat, Semarang Selatan, Candisari, Gajahmungkur, Gunungpati dan Ngaliyan, lereng III (15-40%) meliputi wilayah di sekitar Kaligarang dan Kali Kreo (Kecamatan Gunungpati), sebagian wilayah kecamatan Mijen (daerah Wonoplumbon) dan sebagian wilayah Kecamatan Banyumanik, serta Kecamatan Candisari. Sedangkan lereng IV (>50%) meliputi sebagian wilayah Kecamatan Banyumanik (sebelah tenggara), dan sebagian wilayah Kecamatan Gunungpati, terutama disekitar Kali Garang dan Kali Kripik.

Salah satu daerah di Kota Semarang yang berpotensi terjadinya longsor adalah daerah tebing Bukit Gombel dengan kemiringan 45 derajat dan diperlukan pencegahan agar tebing tersebut tidak longsor. Untuk mengetahui kestabilan lereng pada pembangunan jalan Bukit Regency Gombel Golf Kota Semarang menggunakan software Plaxis 2D sehingga dapat diketahui nilai angka keamanan dan deformasi dapat digunakan sebagai acuan untuk penanganan perkuatan terhadap kestabilan lereng.

1.2.Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, perlu dilakukan analisis kestabilan lereng untuk mengetahui:

1. Bagaimana kondisi eksisting stabilitas jalan Bukit Regency Gombel Golf Kota Semarang?
2. Bagaimana analisis stabilitas lereng sebelum menggunakan perkuatan tanah menggunakan program Plaxis 2D?
3. Bagaimana analisis stabilitas lereng dengan menggunakan program Plaxis 2D?

1.3. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini diperlukan agar lebih terarah dan tercapainya tujuan penelitian. Berikut merupakan batasan penelitian sebagai berikut:

1. Studi analisis dilakukan pada wilayah jalan Bukit Regency Gombel Semarang.
2. Metode analisis dan permodelan perkuatan tanah menggunakan program Plaxis 2D.
3. Perkuatan tanah yang digunakan adalah jenis dinding penahan tanah.
4. Penelitian yang dilakukan hanya meneliti angka aman lereng setelah diperkuat menggunakan dinding penahan tanah serta menggunakan program Plaxis 2D.

1.4. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang diperoleh dari rumusan masalah yang diteliti adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui stabilitas kondisi eksisting jalan Bukit Regency Gombel Golf Kota Semarang.
2. Mengetahui stabilitas lereng dengan perkuatan tanah.
3. Mengetahui stabilitas sebelum dan sesudah adanya perkuatan tanah menggunakan program Plaxis 2D.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Sebagai sumber referensi mengenai perkuatan stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan program Plaxis 2D
2. Mengembangkan pengetahuan mengenai metode perkuatan tanah yang dilakukan pada tanah lereng.
3. Menambah pengetahuan tentang cara mengoperasikan program Plaxis dalam melakukan analisis perkuatan tanah pada lereng.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan endapan yang relatif lepas (loose), yang terletak di atas batuan dasar (bedrock). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida- oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (residual soil) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (transported soil) (Hardiyatmo, 2002)

2.1.1 Jenis Tanah Berdasarkan Proses Pembentukannya

Kerak bumi pada umumnya dibagi dalam dua kategori, yaitu: batuan dan tanah. Kata "Tanah" umumnya digunakan oleh para ahli geologi untuk mendeskripsikan suatu gumpalan atau komposisi butiran-butiran, mineral- mineral dan materi organik yang relatif lemah ikatan antar butirannya yang terdapat dari permukaan bumi hingga ke lapisan batuan padat. Ikatan antar butiran yang lemah tersebut umumnya dapat dipisahkan hanya dengan sedikit gangguan mekanis, misalnya dengan mengaduknya dalam air (Pratikso, 2017). Berdasarkan asal-usulnya, batuan terbagi menjadi tiga tipe dasar diantaranya adalah: Batuan Beku (Igneous Rock), Batuan Sedimen (Sedimentary Rock), dan Batuan Metamorf

(Metamorphic Rocks). Dibawah ini akan ditunjukkan diagram siklus kejadian beberapa tipe batuan dari proses kejadiannya.

1. Batuan Beku (Igneous Rock)

Batuan beku merupakan batuan yang telah terbentuk dari membekunya magma cair yang terdesak menuju permukaan (bagian yang dalam sekali dari mantel bumi). Setelah tersembul kepermukaan melalui rekahan-rekahan pada kulit bumi atau melalui gunung berapi, beberapa bagian dari magma cair mendingin dipermukaan bumi dan membatu. Tidak jarang magma berhenti bergerak sebelum sampai kepermukaan bumi dan mendingin di dalam kulit bumi serta membentuk batuan beku dalam (Pratikso, 2017).

2. Batuan Sedimen (*Sedimentary Rock*)

Deposit-deposit yang berasal dari tanah kerikil, pasir, lanau dan lempung hasil dari pelapukan dapat menjadi lebih padat dikarenakan adanya tekanan pada lapisan tanah di atasnya dan proses sementasi yang terjadi antar butiran oleh unsur-unsur sementasi seperti halnya oksida besi, kalsit, dolomite dan juga quartz. Seluruh unsur tersebut akan mengisi ruang-ruang diantara butiran yang kemudian membentuk batuan sedimen. Batuan yang terbentuk dengan cara ini disebut batuan sedimen detrital. Contohnya yaitu: Conglomerate, sandstone, breccia, mudstone serta shale (Pratikso, 2017).

3. Batuan Metamorf (*Metamorphic Rocks*)

Peristiwa metamorf merupakan proses perubahan komposisi dan tekstur dari batuan akibat dari panas dan juga tekanan tanpa pernah menjadi cair. Pada peristiwa metamorf, mineral-mineral akan baru terbentuk; dan butir-butir mineralnya terkena geseran yang kemudian membentuk tekstur batu metamorf yang berlapis-lapis. Contohnya yaitu; **granit**, **diorite** dan **gabbro** berubah menjadi gneiss pada peristiwa metamorf tingkat tinggi. **Shales** dan **mudstone** berubah menjadi **slate** dan **phyllites** pada peristiwa metamorf yang tingkat rendah (Pratikso, 2017).

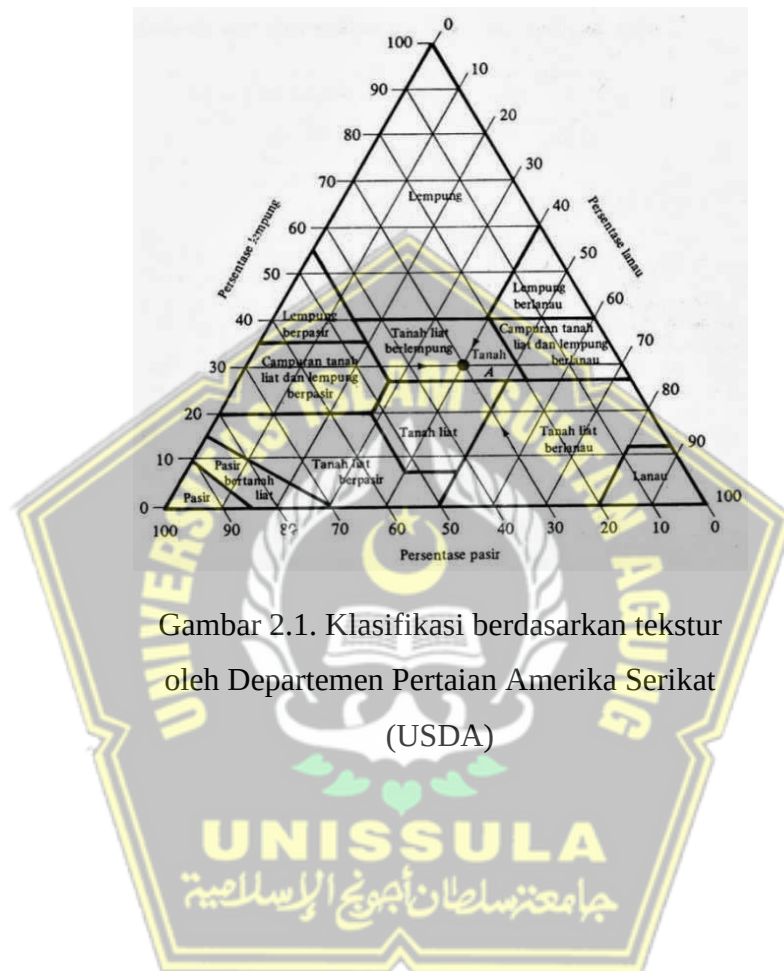
2.1.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat tanah yang sangat bervariasi (Das, B.M, 1995).

2.1.2.1 Klasifikasi Berdasarkan Tekstur

Dalam arti umum, yang dimaksud dengan tekstur tanah adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Tabel 3.1 membagi tanah dalam beberapa kelompok: kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt), dan lempung (clay), atas dasar ukuran butir-butirnya. Pada umumnya, tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (sandy clay), lempung berlanau (silty clay), dan seterusnya. Beberapa sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi guna memenuhi kebutuhan mereka sendiri; beberapa dari sistem-sistem tersebut masih tetap dipakai sampai saat ini. Gambar 3.1 menunjukkan sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah seperti yang diterangkan oleh sistem USDA dalam tabel , yaitu:

- pasir: butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm
- lanau: butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm
- Lempung: butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm



Gambar 2.1. Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

Pemakaian bagan dalam Gambar 1 ini dapat diterangkan secara jelas dengan menggunakan sebuah contoh. Apabila distribusi ukuran butir tanah A adalah: 30% pasir, 40% lanau, dan 30% butiran dengan ukuran lempung ($< 0,002 \text{ mm}$), klasifikasi tekstur tanah yang bersangkutan dapat ditentukan dengan cara seperti yang ditunjukkan dengan anak panah dalam Gambar 1 Jenis tanah A termasuk dalam daerah lempung tanah liat. Perhatikan bahwa bagan ini hanya didasarkan pada bagian tanah yang lolos lewat ayakan *No.10. Oleh karena itu, apabila tanahnya mengandung butiran berdiameter lebih besar dari 2 mm dalam persentase tertentu, maka perlu diadakan koreksi. Sebagai contoh, apabila tanah B mempunyai pembagian ukuran butir: 20% kerikil, 10% pasir, 30% lanau, dan 40% lempung, komposisi tekstural yang dimodifikasi adalah:

$$\text{Pasir} : \frac{10 \times 10}{(100-20)} = 12,5\%$$

$$\text{Lanau} : \frac{30 \times 100}{(100-20)} = 37,5$$

$$\text{Lempung} : \frac{40 \times 100}{(100-20)} = 50,0\%$$

Berdasarkan pada persentase butiran yang telah dimodifikasi tersebut, sistem klasifikasi USDA menunjukkan bahwa tanah B adalah termasuk tanah lempung. Tetapi, karena persentase kerikil yang dikandung oleh tanah B cukup besar, maka tanah tersebut dapat dinamakan sebagai lempung berkerikil (gravelly clay) (Das, B.M, 1995)

2.1.2.2 Klasifikasi Berdasarkan Pemakaian

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur adalah relatif sederhana karena ia hanya didasarkan pada distribusi ukuran butiran tanah saja. Dalam kenyataannya, jumlah dan jenis dari mineral lempung yang dikandung oleh tanah sangat mempengaruhi sifat fisis tanah yang bersangkutan. Oleh karena itu, kiranya perlu untuk memperhitungkan sifat plastisitas tanah, yang disebabkan adanya kandungan mineral lempung, agar dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah. Karena sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah, dan secara keseluruhan tidak menunjukkan sifat-sifat tanah yang penting, maka sistem tersebut dianggap tidak memadai untuk sebagian besar dari keperluan teknik. Pada saat sekarang ada lagi dua buah sistem klasifikasi tanah

yang selalu dipakai oleh para ahli teknik sipil. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas Atterberg. Sistem-sistem tersebut adalah: Sistem Klasifikasi AASHTO dan Sistem Klasifikasi Unified. Sistem klasifikasi AASHTO pada umumnya dipakai oleh departemen jalan raya di semua negara bagian di Amerika Serikat. Sedangkan sistem klasifikasi Unified pada umumnya lebih disukai oleh para ahli geoteknik untuk keperluan-keperluan teknik yang lain

A. Sistem Klasifikasi Tanah Unifed Soil Classification System (USCS)

Sistem USCS melakukan klasifikasi tanah kedalam tanah berbutir kasar yang kurang dari 50% lolos saringan nomor 200 sedangkan tanah berbutir halus yang lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Pengelompokkan tanah dalam sistem klasifikasi USCS dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Prosedur Klasifikasi	Symbol	Nama Jenis	Identifikasi Lab
Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 200 / ϕ 0.075 mm)	Kerikil (lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 4 / ϕ 4.75 mm)	Kerikil Murni (Tanpa - sedikit butir halus)	GW
		Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa / tak ada butir halus	GP
		Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butir halus	GM
		Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir - lanau bergradasi buruk	GC
	Pasir (lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 4 / ϕ 4.75 mm)	Pasir Bersih (Tanpa / sedikit butir halus)	SW
		Pasir bergradasi baik, Pasir dengan sedikit pasir tanpa butir halus	SP
		Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butir halus	SM
		Pasir berlempung, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk	SC

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

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

Sistem klasifikasi tanah AASHTO berdasarkan kriteria ukuran butiran dan plastisitas sehingga dalam pengklasifikasikan tanah melakukan pengujian analisis saringan tanah. Sistem ini mengelompokkan tanah menjadi 7 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk dalam subkelompok. Tanah yang masuk kelompok A-1 sampai A-3 di klasifikasikan sebagai tanah granuler dan A-4 sampai A-7 merupakan tanah lempung sampai lanau. Secara detailnya system klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut

Tabel 2. 2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

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

*©American Association of State Highway and Transportation Officials, 1978. Used by permission.

†Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30 (see Fig. 3.5).

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

2.2. Lereng

Lereng merupakan suatu permukaan tanah yang mempunyai kemiringan dan juga membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal serta tidak terlindungi. Lereng juga dapat terjadi secara alami maupun sengaja dibuat oleh manusia dengan tujuan tertentu (Bowles, 1984) di dalam (Fauzi & Hamdhan, 2019).

Dalam bidang teknik sipil terdapat 2 jenis lereng yang perlu diperhatikan:

- 1) Lereng alam (Natural Slopes)

Lereng alam adalah lereng terbentuk karena adanya proses alam. Material yang membentuk lereng mempunyai kecenderungan tergelincir dibawa beratnya sendiri dan gaya-gaya luar ditahan oleh kuat geser tanah dan juga material tersebut. Gangguan terhadap kestabilan apabila terjadi tahanan geser tanah tidak bisa mengimbangi gaya-gaya yang menyebabkan gelincir pada bidang longsor.

Pada lereng alam aspek kritis yang perlu dipelajari yaitu kondisi geologi dan topografi, kemiringan lereng, jenis lapisan tanah, kuat geser, aliran air bawah tanah serta kecepatan pelapukan.

2) Lereng Buatan (Man Made Slopes)

Lereng buatan dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

a. Lereng buatan asli/lereng galian

Lereng ini dibuat dari tanah asli dengan memotong kemiringan tertentu. Untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk irigasi.

b. Lereng buatan tanah yang dipadatkan atau lereng timbunan

Tanah dipadatkan untuk tanggul-tanggul jalan raya, bendungan, badan jalan kereta api. Sifat teknis tanah timbunan dipengaruhi oleh cara penimbunan dan derajat kepadatan tanah.

Lereng timbunan dibedakan menjadi beberapa kondisi, yaitu:

1. Timbunan tanah tak berkoheksi diatas lapisan tanah kokoh.
2. Timbunan tanah kohesi diatas lapisan tanah kokoh.
3. Timbunan yang dilaksanakan di atas tanah lembek.

2.3. Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang tidak horisontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsohnya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering digunakan dalam perancangan-perancangan bangunan seperti: jalan kereta api, jalan raya, bandara, bendungan urugan tanah, saluran, dan lain-lainnya. Umumnya, analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah (Hardiyatmo, 2003).

Analisis stabilitas lereng tidak mudah, karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungan. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lainnya Terzaghi (1950) membagi penyebab longsor lereng terdiri dari akibat pengaruh dalam (internal effect) dan pengaruh luar (external effect). Pengaruh luar, yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah. Contohnya, akibat perbuatan manusia mempertajam kemiringan tebing atau memperdalam galian tanah dan erosi sungai. Pengaruh dalam, yaitu longsor yang terjadi dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi Contoh yang umum untuk kondisi ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan air pori di dalam lereng (Hardiyatmo, 2003).

Kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut:

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

2.4. Tanah Longsor

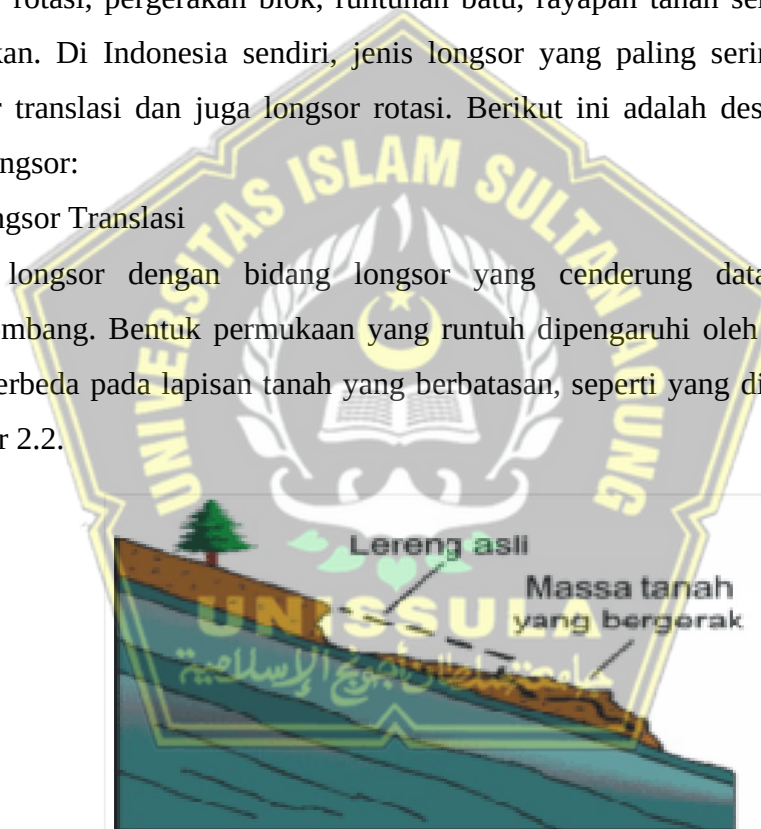
Tanah longsor merupakan suatu perpindahan material pembentuk lereng yang berupa batuan, bahan rombakan, tanah ataupun material campuran tersebut bergerak ke arah bawah atau keluar dari lereng (Suhendra & Mukhsin, 2017).

Gerakan tanah yang menjadi penyebab terjadinya longsor memiliki arah tegak, mendatar atau miring terhadap kedudukan semula, bisa juga diakibatkan oleh pengaruh air, gravitasi maupun beban dari luar.

Menurut Highway Research Board 1958 dan 1978 dalam (Suhendra & Mukhsin, 2017), terdapat 6 jenis tanah longsor, diantaranya yaitu longsor translasi, longsor rotasi, pergerakan blok, runtuh batu, rayapan tanah serta aliran bahan rombakan. Di Indonesia sendiri, jenis longsor yang paling sering terjadi yaitu longsor translasi dan juga longsor rotasi. Berikut ini adalah deskripsi beberapa jenis longsor:

1) Longsor Translasi

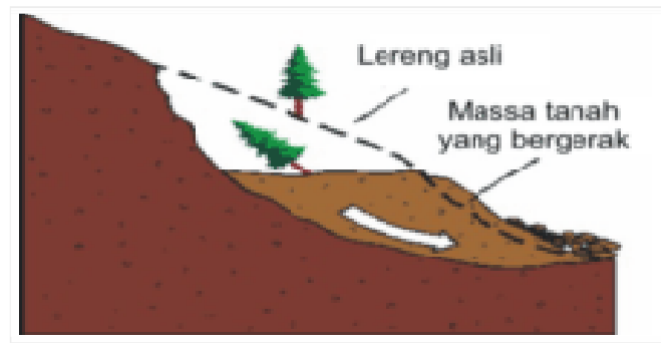
Tanah longsor dengan bidang longsor yang cenderung datar atau sedikit bergelombang. Bentuk permukaan yang runtuh dipengaruhi oleh kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Longsor Translasi
Sumber: (Rusydy, 2016)

2) Longsor Rotasi

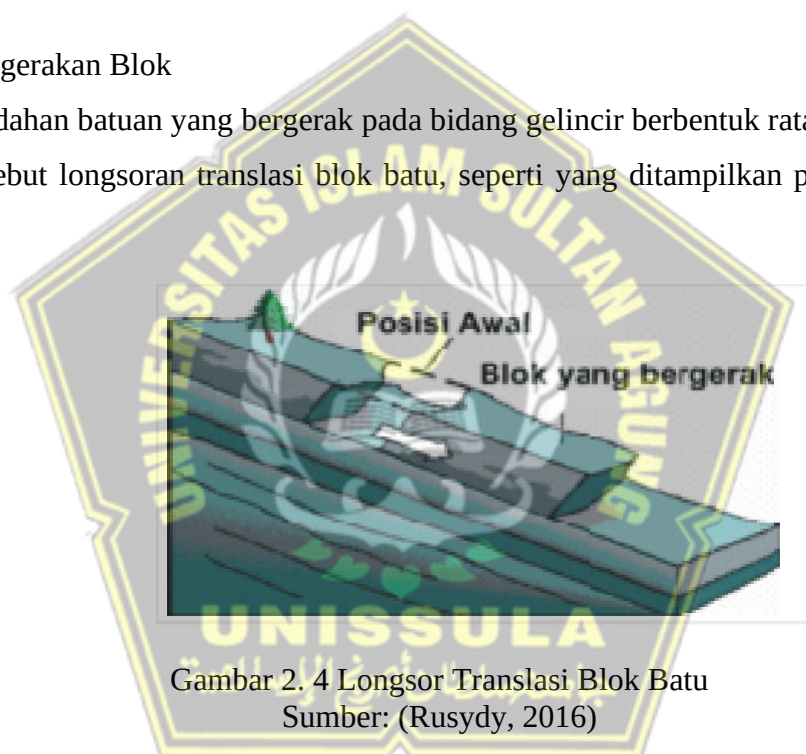
Tanah longsor dengan bentuk seperti busur derajat, *log spiral* dan bentuk lengkung yang tidak beraturan. Umumnya longsoran itu terjadi pada tanah yang sudah homogen, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Longsor Rotasi
Sumber: (Rusydy, 2016)

3) Pergerakan Blok

Perpindahan batuan yang bergerak pada bidang gelincir berbentuk rata. Longsoran ini disebut longsor translasi blok batu, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Longsor Translasi Blok Batu
Sumber: (Rusydy, 2016)

4) Runtuhan Batu

Terjadi ketika sejumlah besar batuan ataupun material lain bergerak kebawah dengan cara jatuh bebas. Seperti yang ditampilka pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Longsor Runtuhan Batu
Sumber: (Rusydy, 2016)

5) Rayapan Tanah

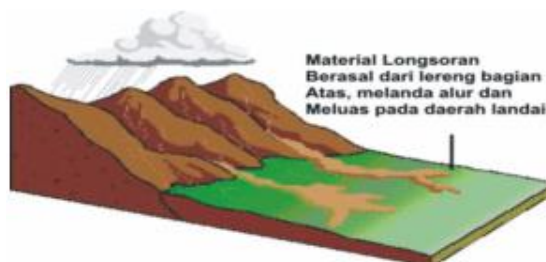
Jenis tanah longsor yang bergerak lambat. Jenis tanahnya berupa butiran kasar dan halus. Jenis dari tanah longsor ini hamper tidak dapat diduga. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Longsor Rayapan Tanah
Sumber: (Rusydy, 2016)

6) Aliran Bahan Rombakan

Hal ini dapat terjadi dikarenakan massa tanah yang bergerak karena dorongan dari air. Kecepatan aliran tergantung pada kemiringan lereng, volume serta tekanan air, dan jenis materialnya. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Longsor Aliran Bahan Rombakan
Sumber: (Rusydy, 2016)

2.5. Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng bertujuan untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial (Hardiyatmo, 2010). Analisis stabilitas lereng bisa diartikan sebagai upaya yang dilakukan untuk mengecek angka aman dari lereng alam atau lereng buatan. Dalam melakukan analisis ini banyak faktor yang mempengaruhi dari hasil hitungan, misalnya kondisi tanah yang dapat berubah-ubah tergantung iklim, aliran rembesan air dalam tanah dan sebagainya.

Faktor keamanan dapat di definisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan. Persamaan Faktor keamanan dapat dilihat pada persamaan berikut ini.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

SF: Faktor aman

τ : Tegangan geser yang dapat dilakukan tanah (kN/m^2)

τ_d : Tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m^2)

Menurut Bowles (1989) hubungan dari beberapa variasi nilai faktor keamanan terhadap kemungkinan longsor lereng maupun pada perancangan lereng.

Faktor keamanan suatu lereng dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng.

Tabel 2. 3 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng

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

Sumber: (Sosrodarsono, 2003)

Tabel 2. 4 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor

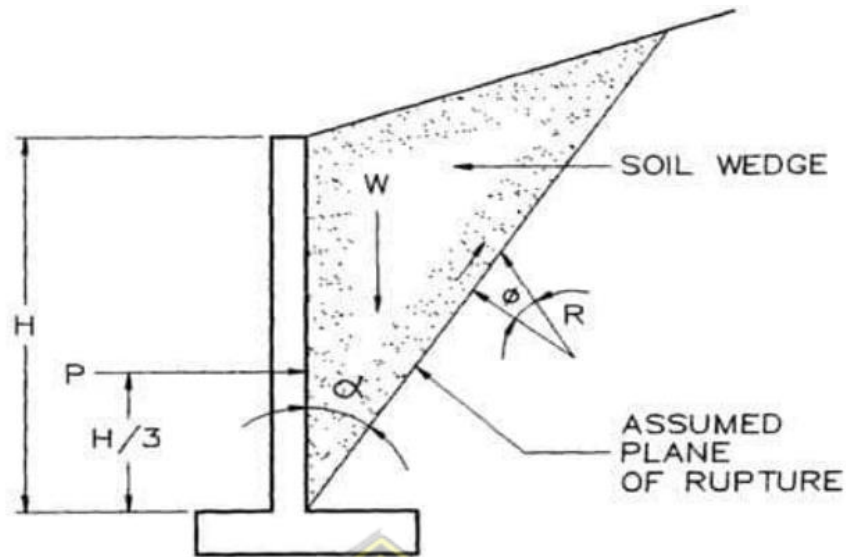
Nilai faktor Kemanan	Kemungkinan Longsor
$F < 1,07$	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
$1,07 < F < 1,25$	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
$F > 1,25$	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Sumber: (Bowles, 1989)

Menurut Taylor (1948) ada beberapa metode yang sering digunakan untuk melakukan analisis stabilitas lereng, seperti metode analisis stabilitas lereng tanah kohesif dan analisis stabilitas lereng lempung dengan menggunakan diagram. Pada kasus tanah yang tidak homogen dan memiliki aliran rembesan air tanah yang tidak menentu penggunaan metode yang lebih cocok adalah metode irisan (Method of slice). Metode irisan memiliki beberapa metode yang diantaranya metode Fellinius (1927), Simplified Bishop Method (1955), Diagram Bishop dan Morgenstern (1960), Diagram Morgenstern (1963) dan Diagram Spenser (1967).

2.6. Dinding Penahan Tanah

Konstruksi dinding penahan tanah adalah menahan tanah agar tidak mengalami kelongsoran. Oleh sebab itu, tekanan lateral pada tanah menjadi hal yang sangat diperhatikan pada saat desain konstruksi dinding penahan. Teori tentang irisan pada tanah geser biasanya digunakan untuk perhitungan besarnya tekanan lateral pada tanah. Teori irisan menunjukkan bahwa irisan tanah segitiga akan meluncur ke bawah jika dinding penahan dihilangkan secara tiba-tiba dan dinding harus menopang tanah irisan (Khuzairah, 2019)



Gambar 2. 7 Tekanan lateral yang bekerja pada dinding penahan

Teori Coulumb dan Rankine adalah dua teori yang paling sering digunakan untuk perhitungan tekanan lateral pada tanah.

A. Teori Coulumb (1776)

Teori Coulumb berasumsi bahwa:

- Friksi dan adhesi antara tanah dan dinding dapat diperhitungkan
- Tekanan lateral tidak terbatas hanya untuk dinding vertical
- Kelongsoran (pada urugan) terjadi sepanjang kelongsoran yang diasumsikan
- berbentuk planar

$$K_a = \frac{\sin^2(a + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi + \beta)} \right]} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$K_{a \text{ horizontal}} = \cos \delta K_a \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

- K_a : koefisien tekanan tanah aktif
 ϕ : Sudut geser dalam
 β : Sudut tanah timbunan
 δ : Sudut geser antara tanah dan dinding
 α : Sudut kemiringan permukaan tanah atas terhadap horizontal

Dalam kasus tanah timbunan datar, mempertimbangkan gesekan pada antar muka tanah dengan dinding adalah 0 (nol), dan tanah-dinding samping vertical, persamaan coulomb yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \dots \dots \dots (2.4)$$

B. Teori Rankine (1857)

Teori Rankine berasumsi bahwa:

- Tidak ada adhesi atau friksi antara dinding dengan tanah (friksi sangat kecil sehingga diabaikan).
- Tekanan lateral terbatas hanya untuk dinding vertikal 90°.
- Kelongsoran (pada urugan) terjadi sebagai akibat dari pergeseran tanah yang ditentukan oleh sudut geser.
- Tekanan lateral bervariasi linier terhadap kedalaman dan resultan tekanan yang berada pada sepertiga tinggi dinding, diukur dari dasar dinding
- Resultan gaya bersifat paralel terhadap permukaan urugan.

$$K_a \cos \beta = \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$K_a \cos \beta = \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

K_a : Koefisien tekanan tanah aktif

ϕ : Sudut geser dalam

β : Sudut tanah timbunan

Pada tanah urugan yang datar, persamaan Rankine yang digunakan adalah:

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \dots \dots \dots (2.7)$$

Sumber: (Khuzaifah, 2019)

2.7. Plaxis 2D

Program Plaxis dirancang berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang dapat digunakan secara khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan (plane-strain) maupun secara axisymmetric. Program ini menerapkan model antarmuka grafis yang cukup mudah untuk digunakan, pengguna dapat membuat model geometri dan jaringan elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukkan perhitungan, keluaran, dan kurva. Model yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu model Mohr-Coulomb. Model ini merupakan model elastis – plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu E dan μ untuk memodelkan elastisitas tanah, ϕ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah, dan ψ sebagai sudut dilatasi.

Kondisi di lapangan yang disimulasikan ke dalam program Plaxis ini bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program, dengan harapan pelaksanaan di lapangan dapat sedikit mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan.

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

1. *Input data*

Pada tahapan input data yang dilakukan ialah pemodelan berupa data geometri lereng, dinding penahan tanah dan sheet pile yang akan dianalisis, material tanah, pembebanan, meshing, dan initial condition.

2. *Calculation*

Ketika telah dilakukan pemodelan pada tahap input, tahap berikutnya adalah tahap calculation. Terdapat beberapa type calculation yang disediakan, yaitu type plastic, consolidation, ϕ/c reduction, dan dynamic analysis.

3. *Output*

Setelah selesai menganalisis, hasil dari analisis pada tahap calculation sebelumnya dapat dilihat pada tahap output. Hasil analisis pada tahap output dapat ditampilkan dalam bentuk angka, gambar, dan kurva. Output yang dihasilkan dan akan ditinjau dalam penelitian ini seperti berikut ini.

- a. *total displacement*
- b. *potensi kelongsoran*
- c. *safety factor*
- d. *total stresses.*
- e. *Curve*



2.8. Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu

No	Penelitian dan Tahun	Judul Penelitian	Metodologi penelitian	Hasil Penelitian
1	(Setyanto et al., 2016)	Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsor Menggunakan Metode Elemen Hingga Plaxis V.8.2 (Studi Kasus: Ruas Jalan Liwa – Simpang Gunung Kemala STA.263+650)	Menggunakan program Plaxis V 8.2	Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter tanah sangat berpengaruh terhadap stabilitas lereng. Kondisi lereng dengan kondisi jenuh sebagian memiliki stabilitas paling kecil dibandingkan dengan kondisi lainnya. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada kondisi sebelum penanganan didapat nilai deformasi = 885×10^{-3} m; active pore pressures = -168,89 m; tegangan efektif tanah = -535,76 kN/m ² ; faktor aman = 0,2847. Pada kondisi setelah penanganan didapat nilai deformasi = 818×10^{-3} m; active pore pressures = -132,36 m; tegangan efektif tanah = -209,77 kN/m ² ; faktor aman = 1,3548
2	(Hidayat, 2018)	Analisis Stabilitas Lereng Pada Longsor Desa Caok,	Menggunakan program Plaxis	Dari hasil pemodelan Geo-Slope didapatkan angka keamanan 1,162. Pemodelan dengan program Plaxis

		Purworejo, Jawa Tengah	dan Geo-Slope	0,9522 dengan potensi perpindahan maksimal 205m. Kedua hasil angka keamanan mengindikasikan bahwa lokasi penelitian rawan terjadi longsor.
3	(Endayanti & Marpaung, 2019)	Analisis Perkuatan Lereng Dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah di Skyland Jayapura Selatan	Menggunakan perkuatan dinding penahan tanah	Hasil perhitungan perencanaan perkuatan lereng Skyland Jayapura Selatan dengan menggunakan dinding penahan tanah model gravity wall terhadap gaya guling, geser, dan daya dukung menghasilkan nilai $SF > 1,5$ yang dapat dipresentasikan sebagai berikut: SF (overturing)= 6,829; SF (sliding)= 4,270; SF (bearing capacity)= 4,550. Nilai SF yang didapat menunjukkan bahwa dinding penahan tanah aman terhadap gaya guling, geser, dan daya dukung
4	(Supit, 2019)	Analisis perhitungan Kestabilan Dinding Penahan Tanah Studi Kasus Proyek Interchange Manado	metode dinding penahan tanah (retaining wall) tipe Kantilever	Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa dinding kantilever yang terpasang tersebut, dengan dimensi $H=7,0$ meter, $B=4,9$ meter, aman karena nilai stabilitasnya sesuai dengan yang disyaratkan, yaitu sebesar F_s guling=6,912, F_s Geser=5,356, F_s daya dukung = 25,302 dengan nilai e lebih kecil dari $B/6$ yaitu: $0,011 < 0,82$.

5	(Frengky et al., 2021)	Analisis Kestabilan Lereng Akibat Fluktuasi Muka Air Tanah pada Ruas Jalan Simpang Pintas –Sayan Kabupaten Melawi	Metode analisa program komputerisasi dengan program PLAXIS 8.6.	Dari hasil analisa metode program komputerisasi, potongan lereng yang dikaji masih dalam kondisi aman. Semakin rendah muaka air tanah, semakin besar angka Faktor Keamanan lereng. Perkuatan lereng yang dipilih yaitu menggunakan dinding penahan tanah berupa bronjong adalah pilihan yang tepat, sebab berdasarkan hasil analisa perhitungan, material bronjong memenuhi nilai faktor keamanan, baik faktor keamanan eksternal maupun internal yang berupa faktor keamanan terhadap guling (overturning stability) dan faktor keamanan terhadap geser (sliding stability).
6	(Mina et al., 2022)	Analisis Stabilitas Lereng dengan Alternatif Perkuatan Menggunakan Software Plaxis 2D dan Slope/w (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Kampus Baru UNTIRTA Sindangsari)	Metode Bishop dan software Plaxis 2D dan Slope/w.	Hasil perhitungan analisis pada kondisi lereng asli menggunakan Slope/w didapatkan $SF=1,117$, menggunakan Plaxis 2D kondisi short term didapatkan $SF= 1,111$ sedangkan kondisi long term didapatkan $SF= 1,101$ dan menggunakan perhitungan manual Metode Bishop didapatkan $SF= 1,107$. Hasil analisis pada kondisi lereng perkuatan bored pile menggunakan Plaxis 2D kondisi short term didapatkan $SF= 1,310$ sedangkan

				kondisi long term didapatkan SF= 1,319, dan menggunakan perhitungan manual Metode Bishop didapatkan SF= 1,317. Kemudian hasil analisis pada kondisi lereng perkuatan sheet pile menggunakan Plaxis 2D kondisi short term didapatkan SF= 1,392 sedangkan kondisi long term didapatkan SF= 1,404 dan menggunakan perhitungan manual Metode Bishop didapatkan SF= 1,406.
--	--	--	--	--



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tinjauan Umum

Lokasi Penelitian dilakukan pada jalan Bukit Regency Gombel Golf Kota Semarang. Penelitian ini menganalisis stabilitas lereng dengan menggunakan aplikasi Plaxis pada kondisi tanah asli dan menggunakan perkuatan tanah jenis dinding penahan tanah. Perkuatan tanah tersebut dihitung angka aman berdasarkan dari analisis yang dilakukan. Dari hasil analisis yang dilakukan, diharapkan dapat ditentukan kondisi mana yang menghasilkan *safety factor* yang baik, sehingga dalam perancangan perkuatan lereng dapat dijadikan acuan untuk kondisi yang direkomendasikan.

3.2. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data ini dibagi menjadi 2 yaitu:

3.2.1 Data Primer

Data primer diperoleh dari observasi lapangan secara langsung untuk mendapatkan data-data seperti:

- 1) Mendokumentasi kelongsoran lereng
- 2) Mengamati pekerjaan perkuatan dengan dinding penahan tanah

3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder penelitian ini menggunakan data seperti:

- 1) Topografi dan layout lereng
- 2) Data tanah uji lapangan yang dilakukan yaitu pengujian SPT dan data uji laboratorium seperti berat volume tanah, kohesi serta sebagainya.

3.3. Analisis Data

Metode analisis data merupakan metode yang digunakan untuk menyederhanakan dan mempermudah dalam memahami data yang diperoleh. Data yang diperoleh sebagai berikut.

3.4. Parameter Tanah

Parameter tanah merupakan data input yang sangat diperlukan dalam menganalisis stabilitas lereng, yang mana data parameter tanah didapatkan dari data sekunder

pada Laporan Soil Investigation jalan Bukit Regency Gombel Golf Kota Semarang.

Tabel 3. 1. Data Parameter Tanah

Parameter Sifat Fisik Tanah	Mucuna Bracteata	nephrolepi
pH Tanah	4,32	4,25
Kandungan N total (%)	0,18	0,12
Kandungan P tersedia (PPM)	7	4,33
Kandungan K tersedia	32,33	7,67
Kandungan Mg Tersedia	0,71	0,1
Kandungan Ca Tersedia	0,57	1,56
Kapasitas Tukar Kation	7,61	5,52
Kandungan C-Organik	2,72	1,79
C/N	15,13	14,92

Sumber: Data Tanah

Tabel 3. 2. Dinding Penahan Tanah

No	Nama Parameter Tanah	Lambang	Pengujian
1	Koefesien Pemampatan	Av	Pengujian konsolidasi 1 dimensi
2	Koefesien Perubahan Volume	Mv	Pengujian Konsolidasi 1 dimensi
3	Compression Index	Co	Pengujian konsolidasi 1 dimensi
4	Koefesien Konsolidasi Arah Vertikal	pc'	Pengujian konsolidasi 1 dimensi
5	California Bearing Ratio	CBR (%)	Plate bearing test
6	Porositas	cv	Uji Permeabilitas Tanah
7	Viskositas	u	Uji permeabilitas Tanah

Sumber: Analisa Penulis

Perkuatan lereng yang digunakan yaitu dinding penahan tanah pada pembangunan jalan Bukit Regency Gombel Golf Kota Semarang.

Tabel 3. 3 Pemodelan Lereng

No	Model	Jenis
1	1	tanah eksisting kondisi kering
2	2	tanah eksisting kondisi jenuh air (dimasukkan air hujan dengan durasi dan intensitas hujan bervariasi)
3	3	terjadi suction yaitu nilai kohesi c dianggap = 0

Sumber: Analisa Penulis

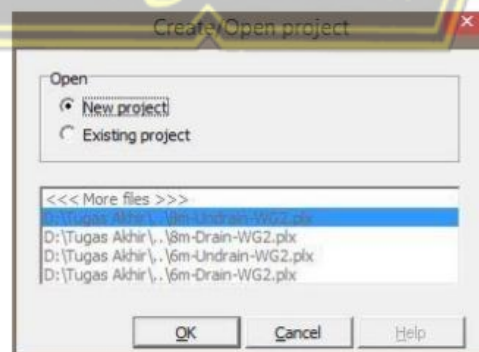
3.5. Pengoprasian *Plaxis*

Analisis yang dilakukan pada penelitian menggunakan program *Plaxis* dengan tiga tahapan, sebagai berikut.

3.5.1 *Plaxis Input*

1. Buka Program *Plaxis*

Operasikan aplikasi *Plaxis* dengan klik-ganda pada icon program *Plaxis* input. Kemudian akan muncul kotak dengan pilihan create/open project, lalu pilih new project dan klik OK untuk membuat pekerjaan baru seperti pada Gambar 3.1 berikut ini.

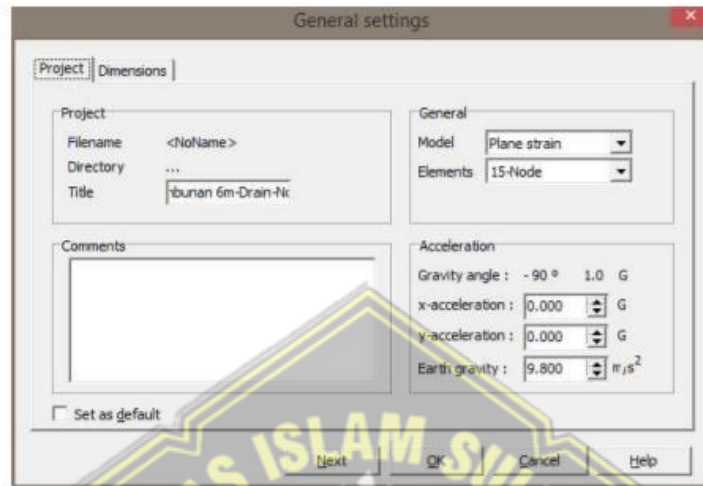


Gambar 3. 1 Kotak Dialog *Create/Open Project*

2. General Setting

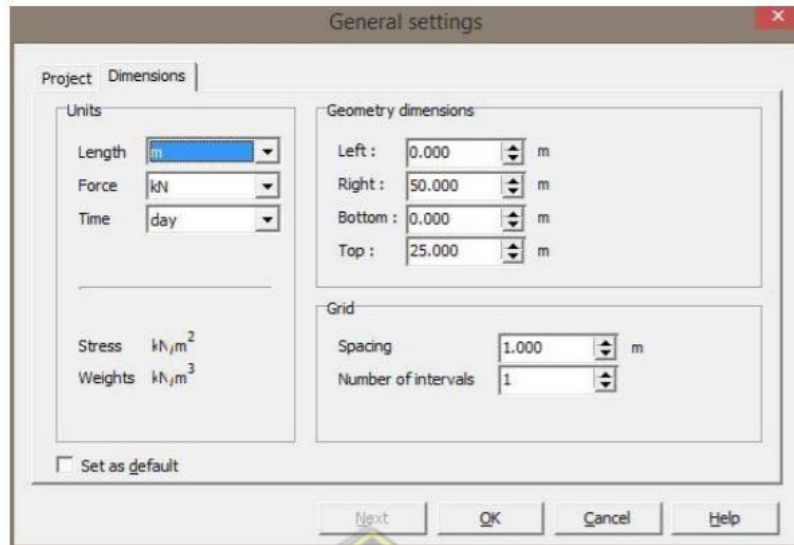
Pada pengaturan global (general setting) terdapat dua tab dialog, yaitu tab project dan dimensions. Pilihan lembar tab project, masukkan nama proyek yang akan

dimodelkan pada kotak dialog title. Kemudian pilih analisis model plane strain (regangan bidang) pada kotak general dan pilih jenis elemen dasar 15-Node untuk analisis dengan menghasilkan tegangan dan beban runtuh yang akurat. General setting dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3. 2 Tab Project dari Jendela *General Setting*

Dalam pilihan tab geometry dimensions, gunakan satuan pra-pilih dalam kotak unit (Length = m, Force = kN, Time = day). Dalam kotak geometry dimensions, ukuran dari bidang gambar harus diinput, saat menginput koordinat teratas dan terbawah dari geometri yang akan dibuat. Plaxis akan menambahkan sebuah margin kecil sehingga geometri akan berada pada bidang gambar. Kemudian masukkan 0,0; 50,0; 0,0; 25,0 masing-masing pada kotak isian left, right, bottom, dan top dalam kotak dialog. Kotak Grid berisikan nilai-nilai untuk mengatu spasi grid. Grid ini akan membentuk matriks titik-titik yang digunakan untuk memasukkan penggambaran tepat pada grid yang telah ada saat pembuatan model. Jarak antara titik ditentukan oleh nilai spasi. Kemudian untuk specing masukkan nilai 1,0 dan 1 untuk number of intervals. Grid dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini



Gambar 3. 3 Tab Dimension dari Jendela Grid

3. Pemodelan Geometri

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

-  Pilih opsi *Geometry line* (telah diaktifkan)
Posisikan kursor pada pusat koordinat. Letakkan kursor pada koordinat 0,0;0,0 ini sebagai titik awal dalam penggambaran *geometry* setelah itu gambar geometri sesuai koordinat yang sudah ditentukan.

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

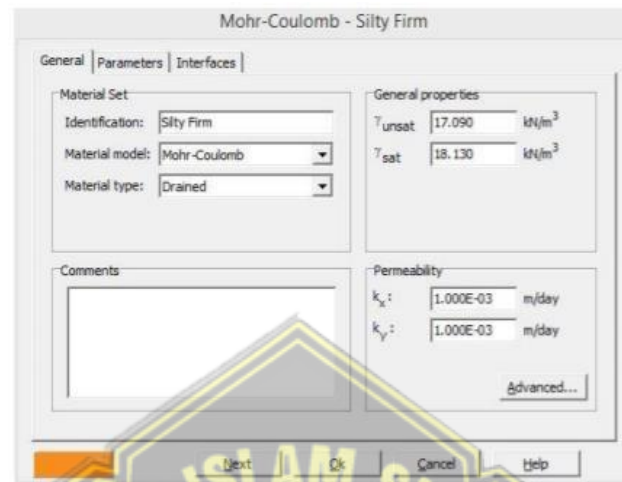
-  Klik tombol *Distributed load-load system A* pada *toolbar*.

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

4. Input Parameter Material

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

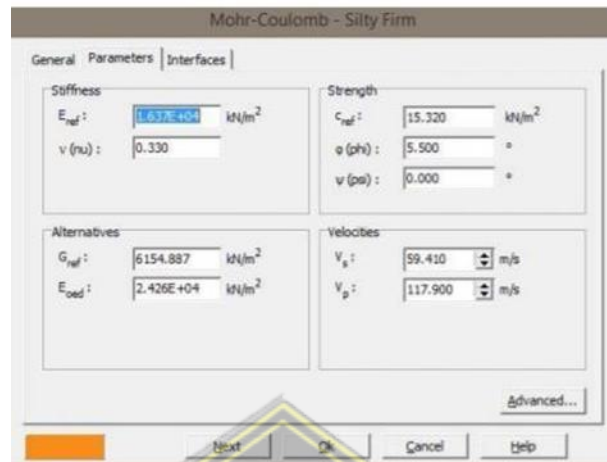
- a. Klik pilihan (new) di sisi bawah dari jendela material sets. Sebuah kotak dialog akan muncul dengan tiga buah lembar-tab, yaitu general, parameters, interface (Lihat gambar 3.4 dan Gambar 3.5)



Gambar 3. 4 Lembar Tab General dari Jendela

- b. Dalam kotak dialog material sets dalam lembar-tabs general, tuliskan “Silty Firm” dalam kotak identification.
- c. Kemudian pilih Mohr-coulomb pada combo box material model dan drained pada combo box material type.
- d. Masukkan nilai yang akan diinput pada general properties dan pada kotak permeability sesuai dengan sifat material yang digunakan.
- e. Klik pada tab menu parameters ada empat lembar-tab dan masukkan nilai sesuai sifat material yang digunakan. Karena model geometri tidak menggunakan interface, maka lembar-tab ketiga dapat dilewati lalu klik OK untuk menyimpan material.
- f. Klik dan seret (drag) kumpulan data dari jendela material sets ke kluster tanah pada bidang gambar dan lepas di atasnya. Maka material sudah masuk dalam bidang gambar apabila bidang gambar berubah warna.

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

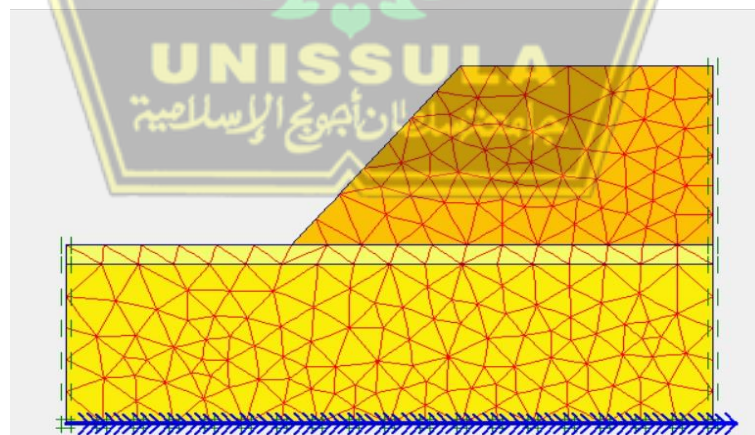


Gambar 3. 5 Lembar *Tab Parameters* dari Jendela *Material Sets*

5. Mesh Generation



Klik pilihan *Generate Mesh* pada *toolbar* atau pilih susunan dari menu *mesh*. Setelah penyusunan jaringan elemen maka setelah itu sebuah jendela baru akan terbuka dimana ditunjukkan jaringan elemen hingga yang terbentuk seperti Gambar 3.6 Kemudian klik tombol <perbarui> untuk kembali ke modus masukkan geometri.

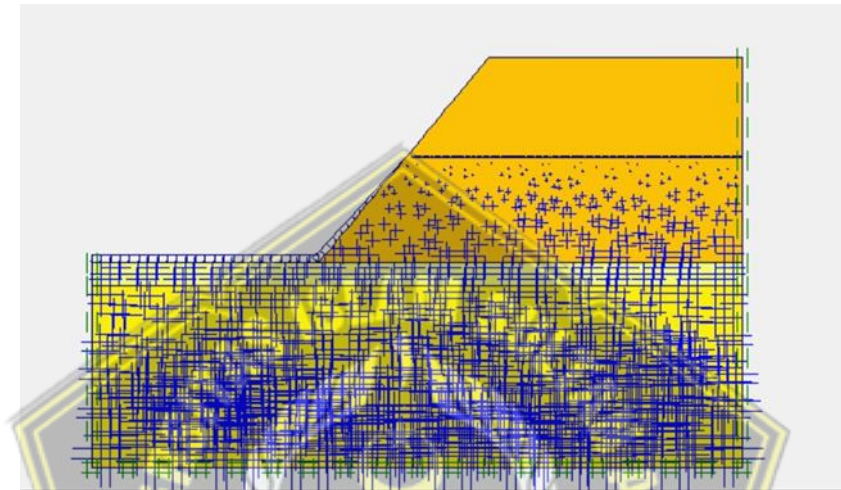


Gambar 3. 6 Jaringan Elemen Hingga (Meshing)

6. Intial Condition

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

- b. Karena proyek ini tidak mengikuti sertakan tekanan air, maka lanjutkan modus konfigurasi geometri awal dengan mengklik tombol sebelah kanan dari “switch”. Garis freatik secara otomatis akan terletak pada dasar geometri.
- c.  Klik pilihan *General initial stresses* pada toolbar. Kotak dialog *Koprocedure* akan muncul pilih OK seperti pada Gambar 16 berikut.

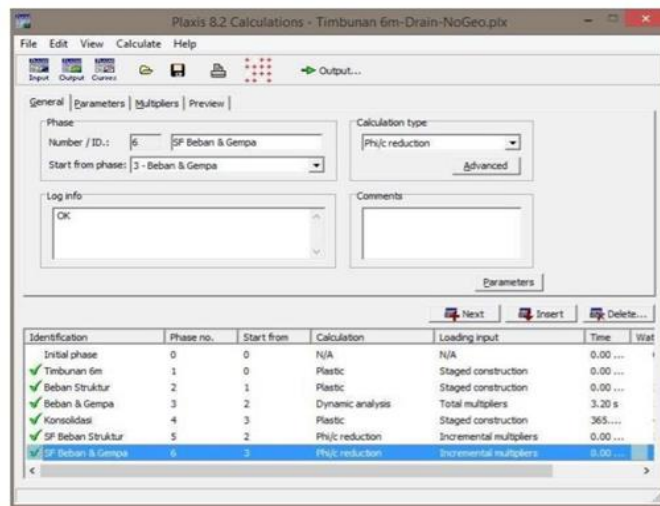


Gambar 3. 7 Tegangan Awal Pada Geometri

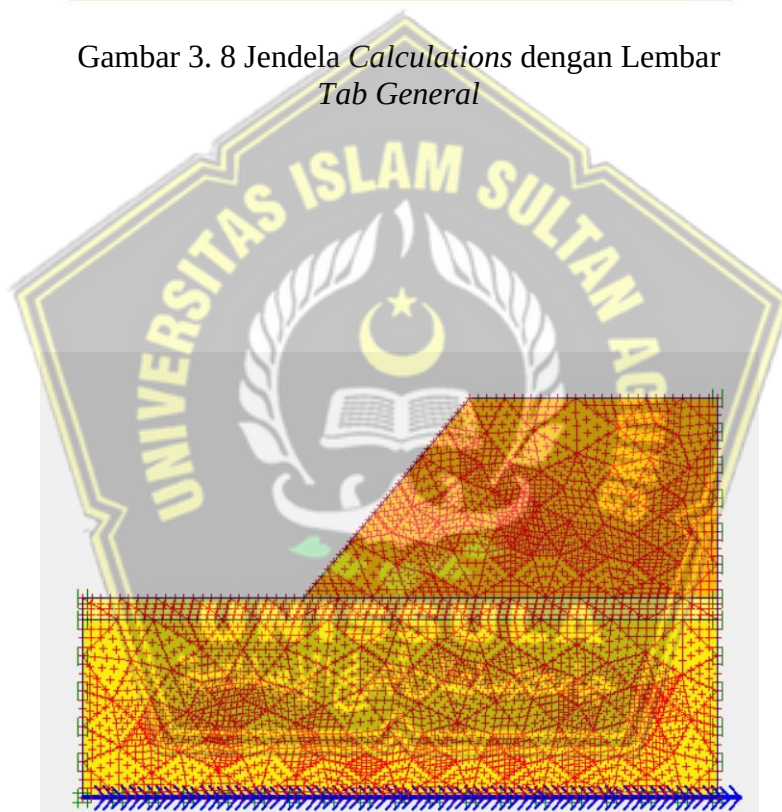
- d.  Calculate kemudian klik *Calculate*

3.5.2 *Plaxis Calculation*

Pada bagian *calculation* (Gambar 3.8) terdapat empat lembar tab yaitu *generate*, *parameters*, *multipliers* dan *preview*. Dalam lembar tab *general*, pada *calculation type* dipilih *plastic analysis* yang digunakan untuk mengetahui besar *displacement* dari kondisi yang ditinjau, dipilih *phi/c reduction* untuk mengetahui pengaruh dari akibat gempa sedangkan pada lembar tab *parameters* dipilih *staged contruction* untuk *loading input*.



Gambar 3. 8 Jendela *Calculations* dengan Lembar *Tab General*



Langkah berikutnya yaitu menentukan titik yang akan ditinjau untuk menggambarkan dalam tampilan kurva yaitu dengan mengklik tombol *select point for curve* seperti Gambar 3.9 berikut.

Gambar 3. 9 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau

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

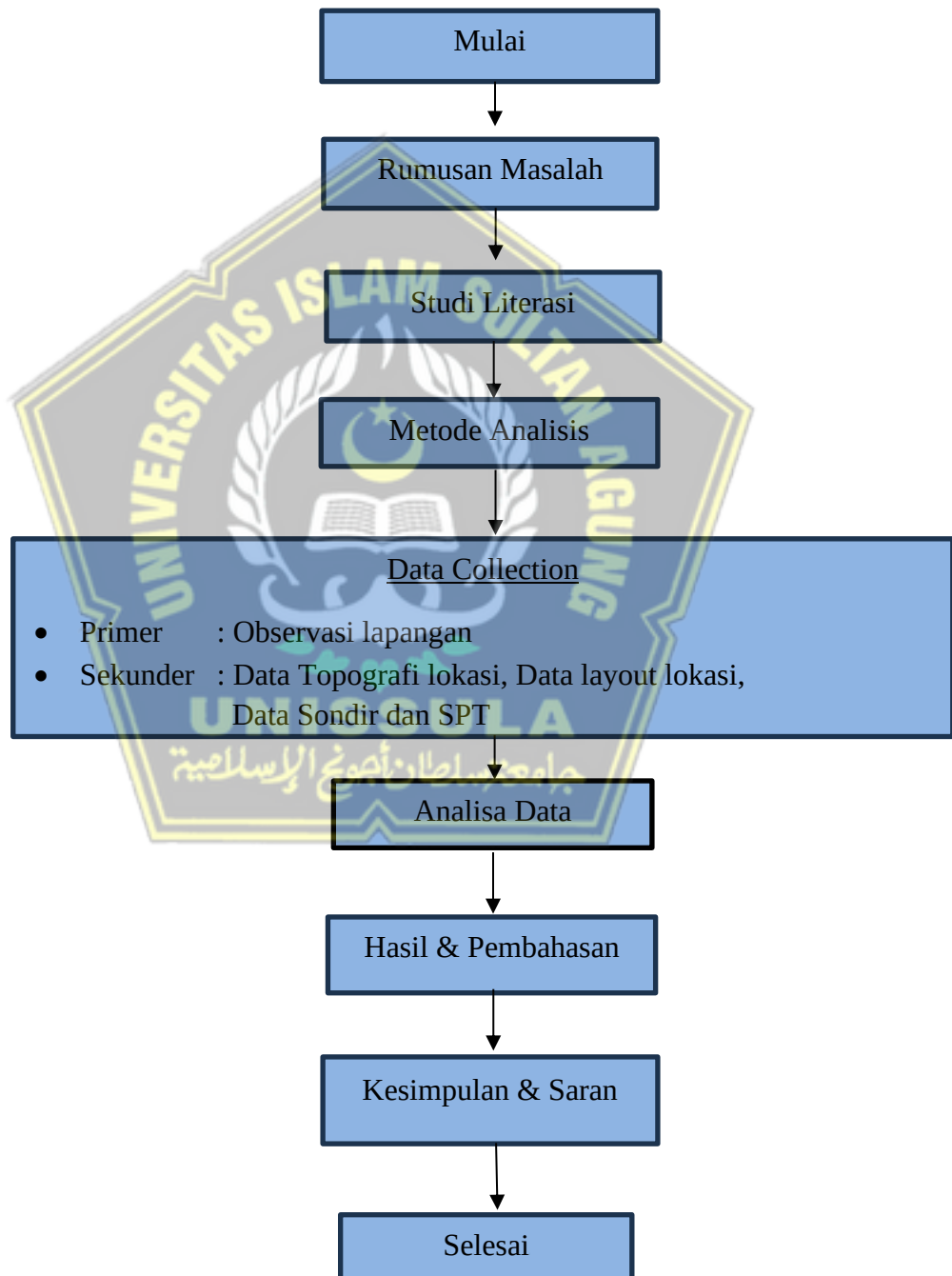


3.5.3 *Plaxis Output*

Setelah tahap analisis perhitungan selesai, selanjutnya klik tombol  Output...

3.6. Alur Penelitian

Pada bagan alir akan membantu menjelaskan tahapan atau langkah langkah dalam penelitian seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.10 berikut ini.



Gambar 3. 10 Bagan Alur Penelitian

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Stratifikasi Tanah

Stratifikasi tanah adalah penggambaran jenis lapisan tanah berdasarkan hasil pengujian tanah dari test bore log dan sondir. Hasil stratifikasi tanah pada kasus longosran ini didapatkan dengan penyelidikan boring. Tujuan dari penyelidikan boring adalah untuk memperoleh data jenis tanah sehingga bisa menentukan sifat-sifat fisiknya (lihat Tabel 4.1). Pada penyelidikan bor ini alat yang dipergunakan adalah bor tangan (Hand bore) tipe Iwan Auger dengan diameter 6 inci. Jumlah titik bor yang dilaksanakan hanya ada 1 titik bor yaitu titik bor B.I, Dimana pengambilan sampel pada kedalaman interval 20 meter.

Tabel 4. 1. Hasil Sondir 1

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Muka Air Tanah
0 – 8	Lempung Lanau Kecoklatan	Sampai dengan kedalaman – 3,0 meter dari permukaan tanah belum ditemukan muka air tanah
8 - 15	Lempung Lanau Keabuan	
15 – 20	Batu Lempung Keabuan	

Sumber : Data Tanah Gombel Golf Kota Semarang

4.2. Parameter Tanah

Parameter tanah digunakan untuk mendeskripsikan sifat-sifat tanah dan perilaku karakteristik tanah. Setelah mendapatkan stratifikasi dari penampang melintang bidang longosran yang mewakili daerah kajian maka kita harus mendapatkan data-data yang menjelaskan properties dari tiap-tiap strata dalam stratifikasi tersebut, baik itu soil properties kohesi (c), sudut geser (ϕ), berat isi (γ) tanah, *water content* (w), *void ratio* (e), Maupun *engineering properties (consolidation test)*.

Properties	Nama	Lempung Lanau Kecoklatan	Lempung Lanau Keabuan	Batu Lempung Keabuan	Unit
Kedalaman		0-5	5-10	10-15	m
Material Model	Model	Mohr-Columb	Mohr-Columb	Mohr-Columb	-
Type of material behaviour	Type	Undrained	Undrained	Undrained	-
Soil unit weight above phreatic level	y dry	13.69	13.16	13.42	kN/m3
Soil unit below phreatic level	y sat	18.06	17.38	17.75	kN/m3
Permeability in horizontal direction	Kz	0.81	0.8	0.79	m/day
Permeability in vertical direction	Ky	0.81	0.8	0.79	m/day
Young's modulus (constant)	E ref	400	2400	8000	kN/m2
Poisson's ratio	v	0.3	0.3	0.3	-
Cohession (constant)	c ref	10.9	7.2	47.1	kN/m2
Friction Angle	Ø	29.35	37.70	31.34	°
Dilantancy angle	¥	0	0	0	°

Tabel 4. 2. *Material Properties* (Kondisi Kering)

Sumber : Data Tanah Gombel Golf Kota Semarang

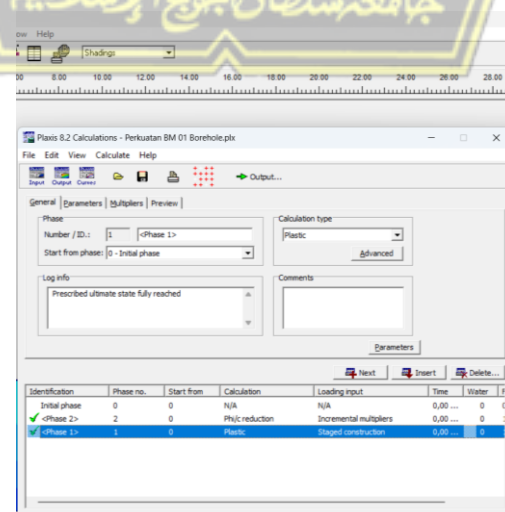
Tabel 4. 3. *Material Properties* (Kondisi Basah)

Properties	Nama	Lempung Lanau Kecoklatan	Lempung Lanau Keabuan	Batu Lempung Keabuan	Unit
Kedalaman		0-5	5-10	10-15	m
Material Model	Model	Mohr-Columb	Mohr-Columb	Mohr-Columb	-
Type of material behaviour	Type	Undrained	Undrained	Undrained	-
Soil unit weight above phreatic level	y dry	13.69	13.16	13.42	kN/m3
Soil unit below phreatic level	y sat	18.06	17.38	17.75	kN/m3
Permeability in horizontal direction	Kz	0.81	0.8	0.79	m/day
Permeability in vertical direction	Ky	0.81	0.8	0.79	m/day
Young's modulus (constant)	E ref	400	2400	8000	kN/m2
Poisson's ratio	v	0.3	0.3	0.3	-
Cohession (constant)	c ref	10.9	7.2	47.1	kN/m2
Friction Angle	Ø	29.35	37.70	31.34	°
Dilantancy angle	¥	0	0	0	°
Rainfall Infiltration	Ý	1	1	1	m/day

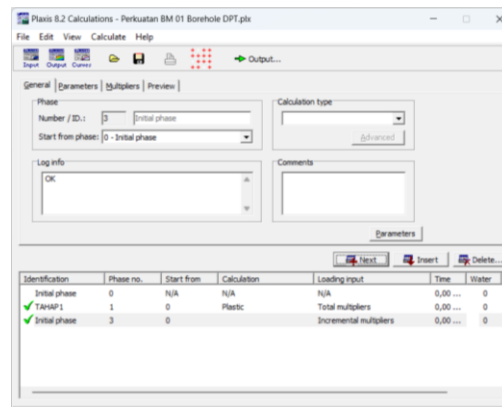
Sumber : Data Tanah Gombel Golf Kota Semarang

4.3. Plaxis 8.2 Calculation Tanpa DPT

Tahap – tahap perhitungan kalkulasi dapat dilihat pada gambar 4.1 di bawah ini :



Gambar 4. 1. Tahap – Tahap Perhitungan Kalkulasi Tanpa DPT



Gambar 4. 2 Tahap – Tahap Perhitungan Kalkulasi dengan DPT

Tahap-tahap perhitungan (*calculation*) dibagi menjadi beberapa tahap/ *phase* yaitu :

1. *Intial Phase*

Default dari program, dimulai sebelum dilakukan pengerukan. (fase 0).

2. *Gravity loading*

Tahap awal sesuai design awal dari model perencanaan karena beban yang bekerja.(Fase 1)

3. *SF (Safety Factor)*

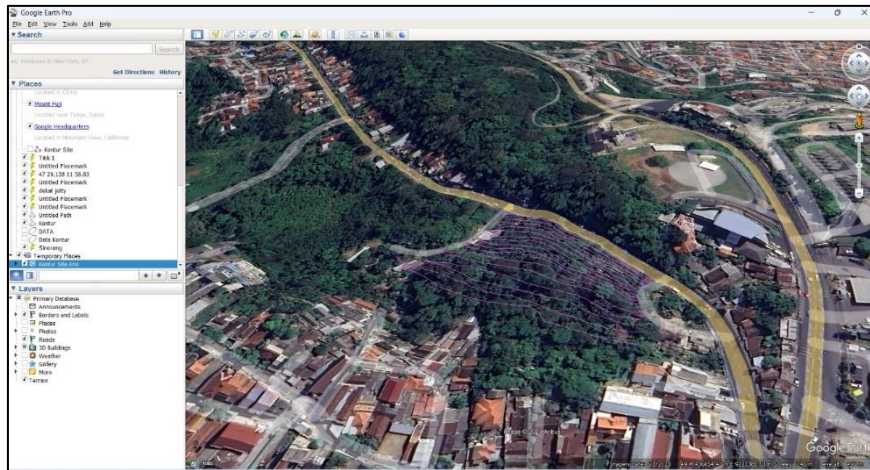
Tahap ketiga dari proses analisa stabilitas lereng yaitu mencari angka keamanan lereng sebelum dilakukan perkuatan.(Fase 2)

4.4. Plaxis 8.2 output

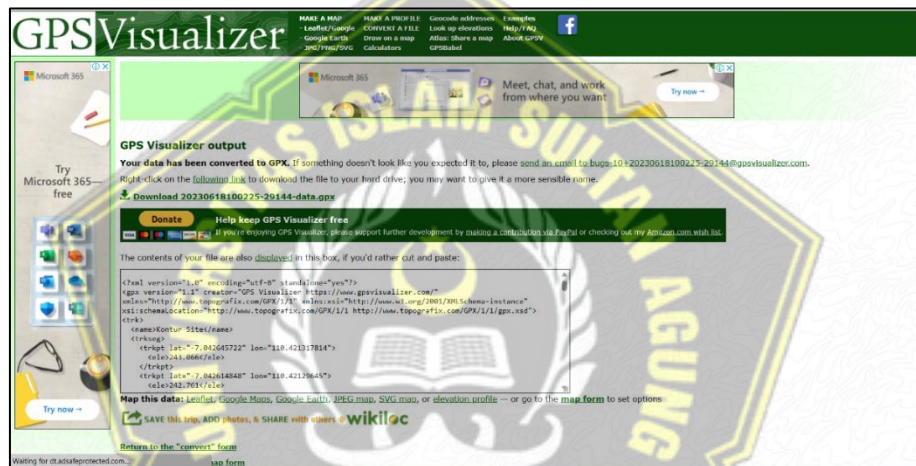
4.4.1 Perkuatan Hanya Dengan DPT

Dalam melakukan input *plaxis 8.2* didapatkan input koordinat (Tabel 4.1) sebagai berikut :

Data peta yang diproses dari google earth ke gps visualizer untuk mendapatkan point coordinate. Dari file kml diproses dengan menggunakan GPS Visualizer.



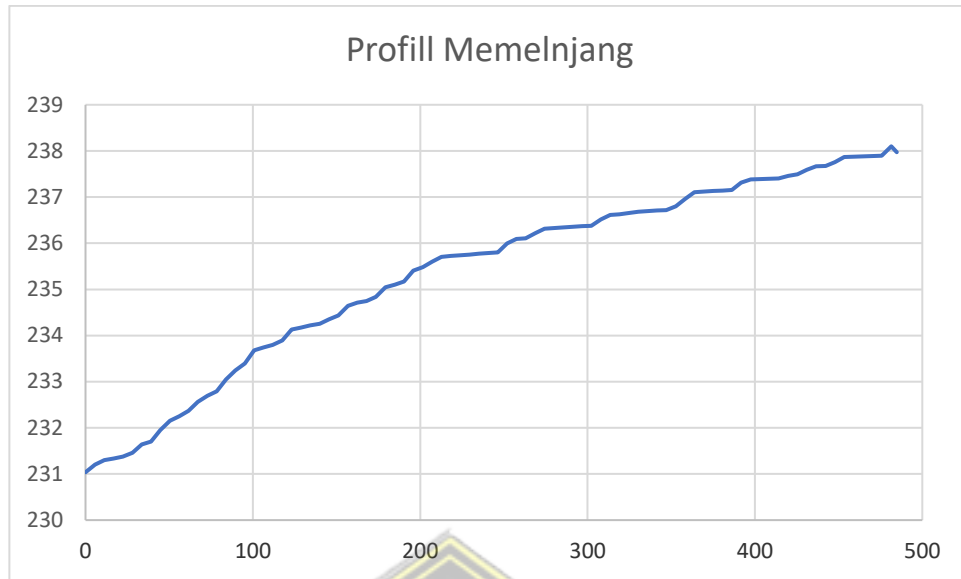
Gambar 4. 3. Data Lokasi Gembel, Semarang, Jawa Tengah



Sumber: Google Earth

Gambar 4. 4. Processing Data Elevation

Sumber: GPS Visualizer



Gambar 4. 5. Profil Memanjang

Tabel 4. 4 Input Koordinat Pada Model 1 Plaxis 8.2.

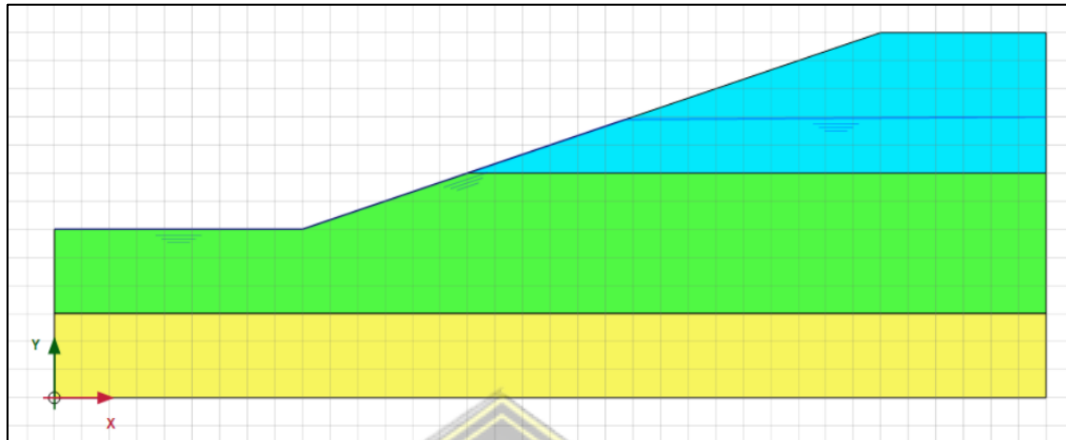
Point	X [m]	Y [m]	Point	X [m]	Y [m]
0	0	6	22	2,386364	0
1	0	5,25	23	2,386364	0,75
2	0	4,5	24	1,590909	1,5
3	0	3,75	25	0,795455	2,25
4	2,357143	6	26	0,795455	1,5
5	1,571429	6	27	0,795455	0,75
6	0,785714	6	28	1,590909	0,75
7	0,785714	5,25	29	0	3
8	0,785714	4,5	30	3,172078	1,5
9	1,571429	5,25	31	3,162338	3
10	2,366883	3,75	32	3,152597	4,5
11	1,581169	3	33	4,743554	2,999835
12	2,376623	2,25	34	3,948076	3,749918
13	0,785714	3,75	35	3,957816	2,249918
14	1,571429	4,5	36	3,181818	0
15	2,357143	5,25	37	3,967556	0,749918
16	0	2,25	38	4,753295	1,499835
17	0	1,5	39	5,539033	2,249753
18	0	0,75	40	3,977273	0
19	0	0	41	4,772727	0
20	0,795455	0	42	5,568182	0
21	1,590909	0	43	4,763011	0,749918

Sumber: Analisa Penulis

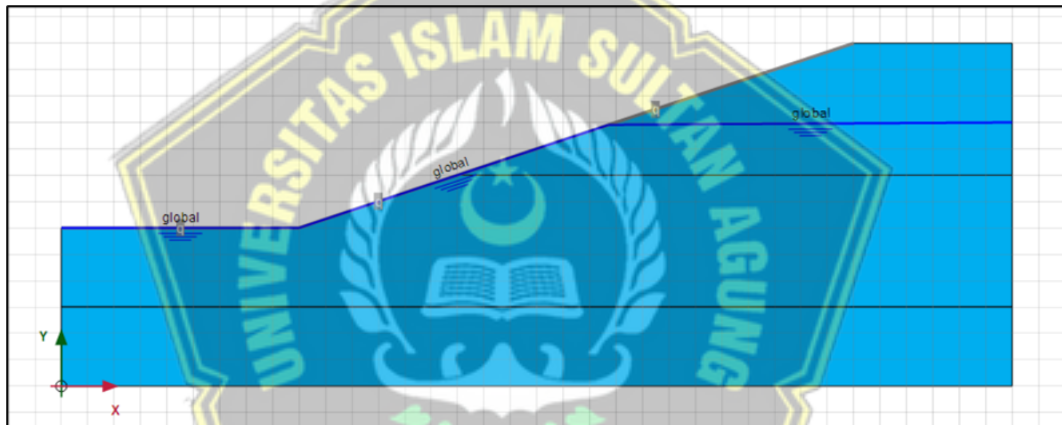


4.4.2. Tahap Initial Phase

Tahapan awal tanpa DPT (Gambar 4.3) dan dengan DPT (4.4) sebagai berikut :

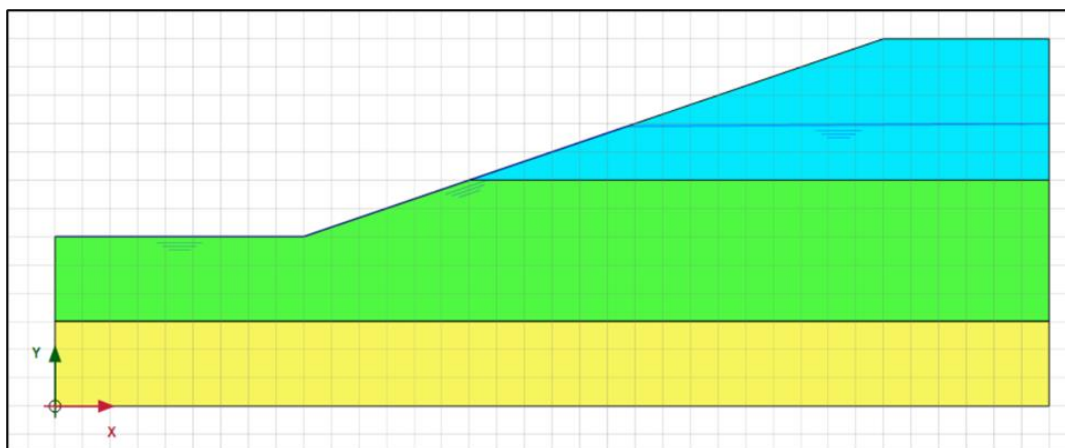


Gambar 4. 6. Pemodelan Model Kering (Tanpa DPT) Fase 0

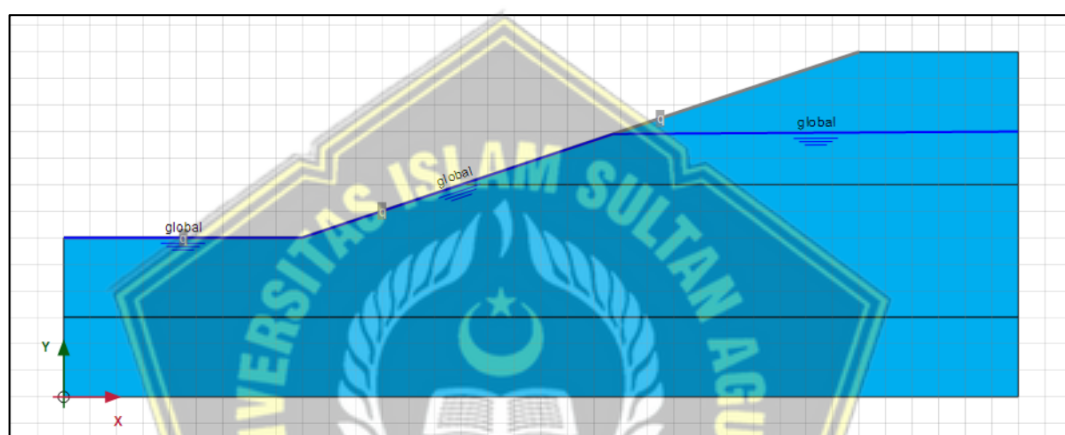


Gambar 4. 7 Pemodelan Muka Air Model Kering (Tanpa DPT) Fase 0

Sumber: Analisa Penulis

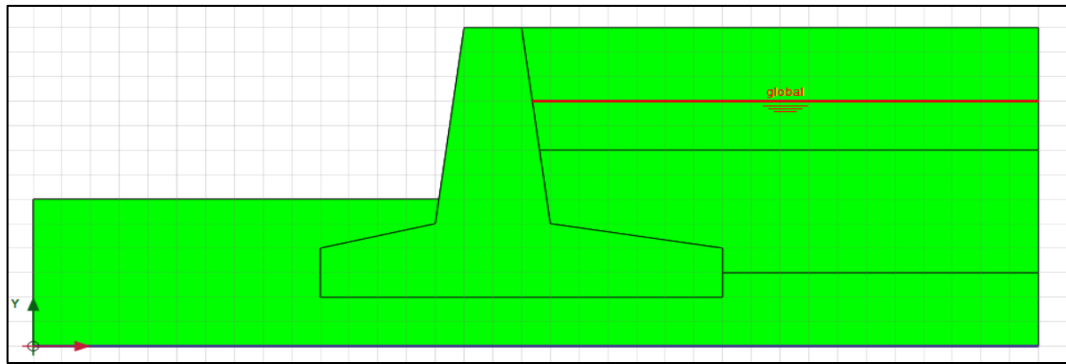


Gambar 4. 8 Pemodelan Model Basah (Tanpa DPT) Fase 0

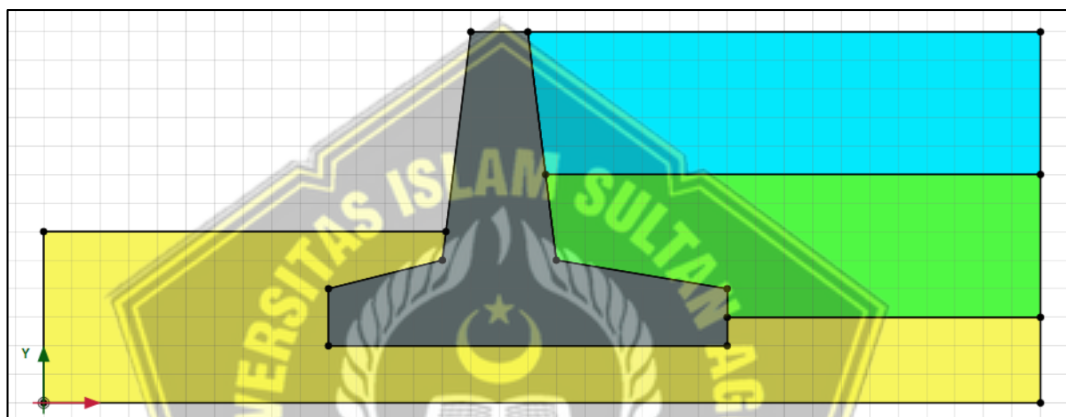


Gambar 4. 9 Pemodelan Muka Air Model Basah (Tanpa DPT) Fase 0

Sumber: Analisa Penulis



Gambar 4. 10. Pemodelan Muka Air Fase 0 Model 1(dengan DPT).

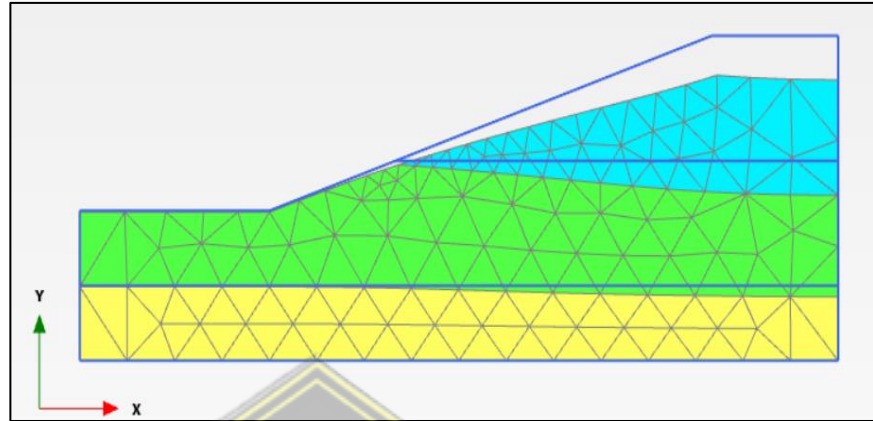


Gambar 4. 11. Pemodelan Fase 0 Model 1(dengan DPT).

Sumber: Analisa Penulis

4.4.3. Tahap *Safety Factor* Sebelum dilakukan perkuatan

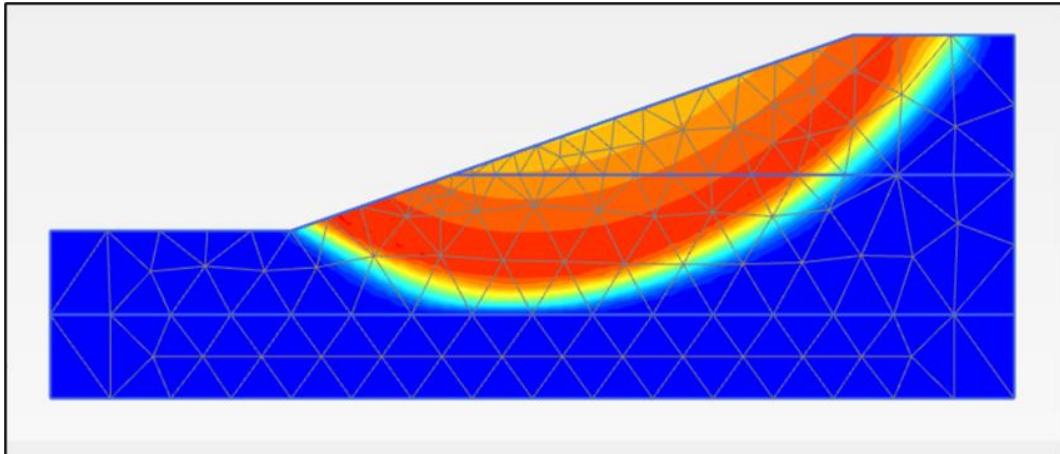
Pada tahap ini (Gambar 4.5) menunjukan hasil angka keamanan sebelum dilakukan perkuatan.



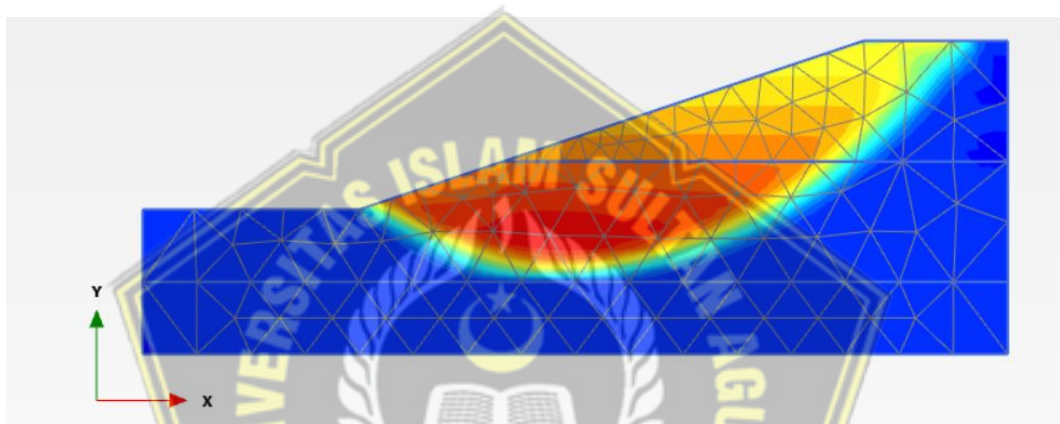
Gambar 4. 12. *Displacement dan Deformed Mesh* Fase 3 Model 1 (Tanpa DPT).

Sumber: Analisa Penulis

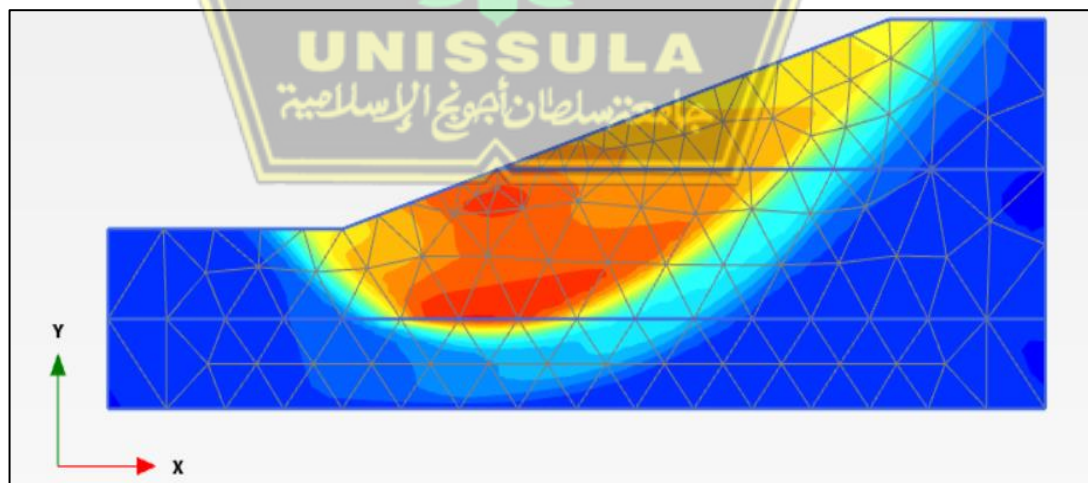
Dari hasil analisis sebelum dilakukan perkuatan didapatkan angka keamanan (*Safety Factor*) sebesar 1.0 . Hal ini lereng dinyatakan tidak aman berdasarkan (SNI-8460 2017) yaitu nilai minimum sebesar 1.5 sehingga diperlukan perkuatan.



Gambar 4. 13. *Total Displacement* tanpa DPT (Model Kering).



Gambar 4. 14. *Total Displacement* tanpa DPT (Model Basah).

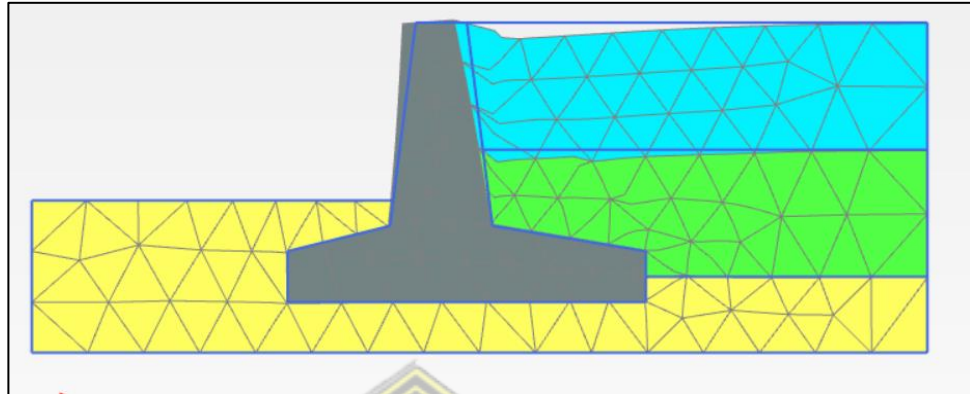


Gambar 4. 15. *Total Displacement* tanpa DPT (Model Suction).

Sumber: Analisa Penulis

4.4.4. Tahap Safety Factor Setelah Dilakukan Perkuatan

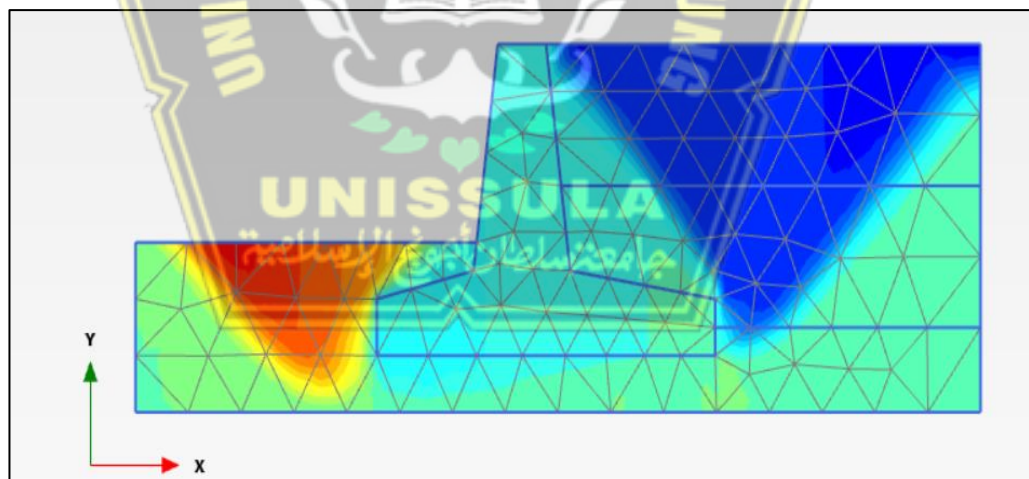
Pada tahap ini (Gambar 4.7) menunjukan hasil angka keamanan setelah dilakukan



perkuatan.

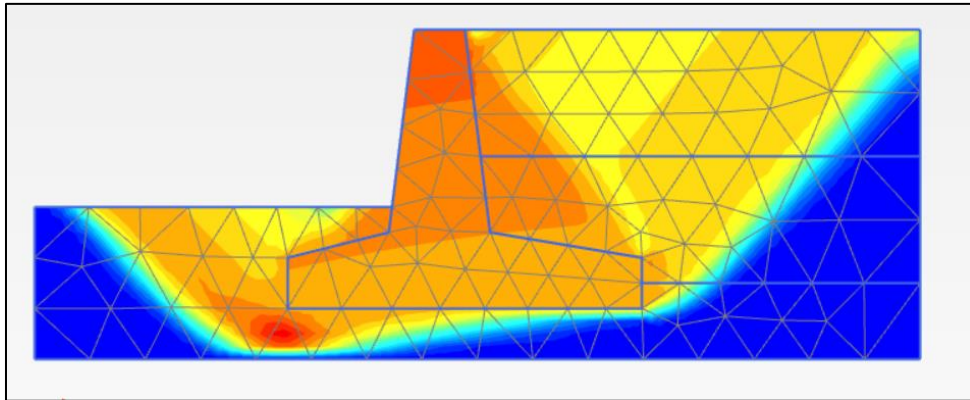
Gambar 4. 16. *Displacement dan Deformed Mesh* Fase 3 Model 1.

Dari hasil analisis setelah dilakukan perkuatan didapatkan angka keamanan (*Safety Factor*) sebesar 1.99. Hal ini lereng dinyatakan aman berdasarkan (SNI-8460 2017) yaitu nilai minimum sebesar 1.5

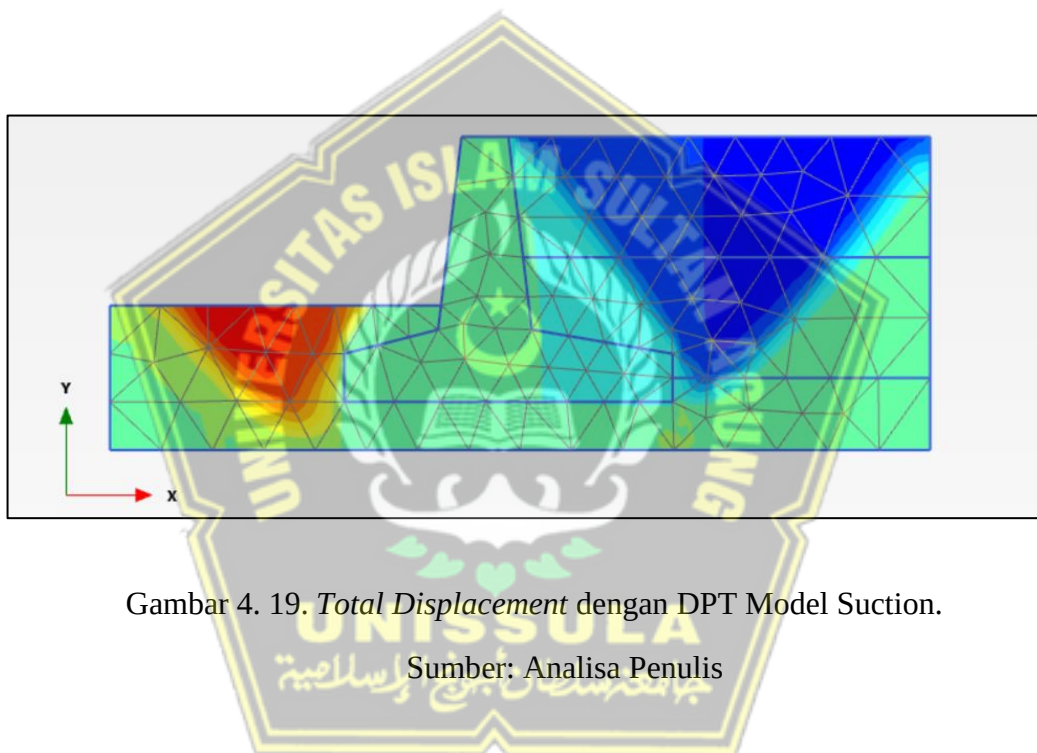


Gambar 4. 17. *Total Displacement* dengan DPT Model Kering.

Sumber: Analisa Penulis



Gambar 4. 18. *Total Displacement* dengan DPT Model Basah.



Gambar 4. 19. *Total Displacement* dengan DPT Model Suction.

Sumber: Analisa Penulis

Tabel 4. 5 Hasil Analisis Dari Setiap Model.

NO	Jenis Perkuatan		Nilai SF	Persyaratan SNI 8460-2017	Keterangan
1	Tanpa DPT (Kering)	Safety Factor 1	1.31	FK < 1.5	NOT OK
2	Tanpa DPT (Basah)	Safety Factor 1	1.26	FK < 1.5	NOT OK
3	Tanpa DPT (Suction)	Safety Factor 1	1.27	FK < 1.5	NOT OK
4	DPT (Kering)	Safety Factor 1	7.99	FK > 1.5	OK
5	DPT (Basah)	Safety Factor 1	6.5	FK > 1.5	OK
6	DPT (Suction)	Safety Factor 1	4.2	FK > 1.5	OK

Sumber : Analisa Penulis

Pada proyek stabilitas lereng ini sebelum dan setelah mendapatkan perkuatan tanah sangat jelas bahwa jika proyek ini harus menggunakan perkuatan tanah yaitu dinding penahan tanah karena dari sisi safety factor yang dimiliki lereng tanpa perkuatan yaitu 1.0 . Hal tersebut tidak memenuhi syarat SNI 8469-2017 bahwa safety factor harus diatas 1,5. Dengan menggunakan perkuatan maka nilai safety factornya naik dan memenuhi standar SNI 8460-2017 sehingga dikatakan aman.

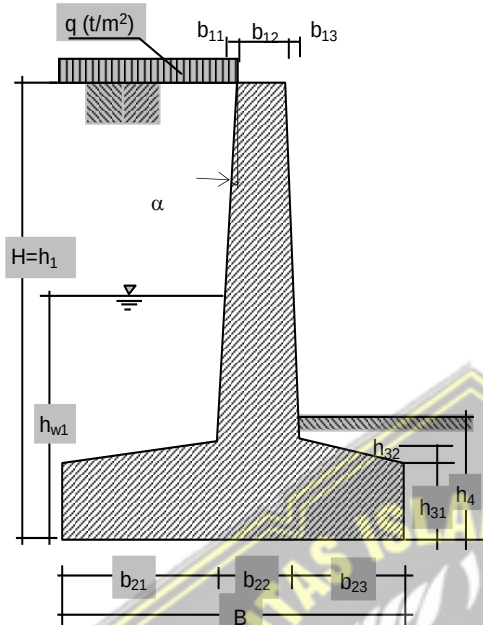
4.5. Perhitungan Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah yang digunakan dalam perkuatan dilembar guna menahan gaya lateral yang bekerja pada lereng dan struktur diatasnya

4.5.1 Data Dinding Penahan Tanah

Data dapat dilihat dibawah berikut ini sedangkan perhitungan didetailkan pada bagian stabilitas.

Dinding Penahan Tanah



Section of Retaining wall

Top wall level	=	6,00 m	d _{back}	=	7 cm
River bed level	=	2,00 m	d _{front}	=	7 cm
Ground water level	=	3,00 m	Footing		
River water level	=	0,00 m	d _{upper}	=	7 cm
Foundation level	=	0,00 m	d _{lower}	=	7 cm

Dimension

H	=	6,00 m	B	=	7,50 m
b ₁₁	=	1,00 m	b ₁₂	=	0,50 m
b ₂₁	=	5,00 m	b ₂₂	=	1,50 m
h ₁	=	6,00 m	h ₃₁	=	1,00 m
h ₄	=	2,00 m	h _{w1}	=	3,00 m

Backfill soil

γ_{soil}	=	18,00 t/m ³
γ_{sat}	=	8,00 t/m ³
ϕ	=	30,0 °
c	=	0,00 t/m ²

Foundation soil

γ_s'	=	17,00 t/m ³
ϕ_B	=	30,0 °
c _B	=	0,00 t/m ²

Friction coefficient

μ	=	0,50
-------	---	------

Uplift coefficient

U μ	=	1,00
---------	---	------

Cover of bar

Wall

d _{back}	=	7 cm
d _{front}	=	7 cm

Footing

d _{upper}	=	7 cm
d _{lower}	=	7 cm

q	=	0,50 t/r
γ_c	=	2,40 t/r

α	=	0,00 °
α	=	12,53 °
β	=	0,00 °

(unit length)

L	=	1,00 m
---	---	--------

b ₁₃	=	0,00 m
b ₂₃	=	1,00 m

h ₃₂	=	0,50 m
h _{w2}	=	0,00 m

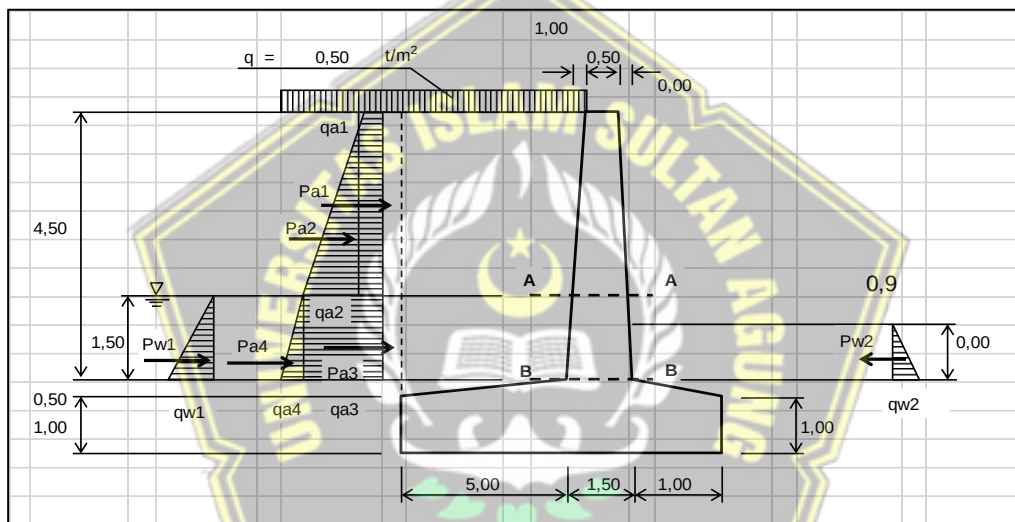
Gambar 4. 20. Data-Data DPT

4.5.2 Perhitungan Manual Dinding Penahan Tanah

Analisis stabilitas dinding penahan tanah dilakukan dengan menghitung angka aman terhadap gaya penggeseran, penggulingan dan tekanan yang terjadi pada dasar pondasi tidak melebihi kapasitas daya dukung ijin tanah.

1. Gaya Vertikal

Perhitungan gaya vertikal meliputi gaya yang bekerja akibat berat dinding penahan tanah dan tanah yang berada di belakang dinding penahan tanah. Perhitungan gaya vertikal dilakukan dengan mengalikan volume tanah dan dinding penahan tanah dengan berat volume tanah dan berat volume beton pada dinding penahan tanah.



Gambar 4. 21. Gaya Vertikal Dinding Penahan Tanah.

Tabel 4. 6. Gaya Vertikal Dinding Penahan Tanah.

No.	Description					W	X	W x X
1	1,00	x	5,00	x	2,40	12,000	5,000	60,00
2	1,50	x	1,50	x	2,40	5,400	1,750	9,45
3	1,00	x	1,00	x	2,40	2,400	0,500	1,20
4	0,50	x	0,50	x	5,00	3,000	4,167	12,50
5	0,50	x	0,50	x	1,00	0,600	0,333	0,20
6	0,50	x	4,50	x	1,00	5,400	2,167	11,70
7	4,50	x	0,50	x	2,40	5,400	1,250	6,75
8	0,50	x	4,50	x	0,00	0,000	1,000	0,00
9	0,50	x	4,50	x	1,00	40,500	2,167	87,75
10	5,00	x	3,00	x	18,00	270,000	5,000	1.350,00
11	5,00	x	1,50	x	8,00	60,000	5,000	300,00
12	0,50	x	5,00	x	0,50	10,000	5,833	58,33
q	0,50	x	6,00			3,000	4,500	13,50
T o t a l (1 to q)						417,700		1.911,38
Pu1	3,00	x	7,50	x	0,50	-11,250	5,000	-56,25
Pu2	0,00	x	7,50	x	0,50	0,000	2,500	0,00
Total (1 to Pu2)						406,450		1.855,13

Sumber : Analisa Penulis

2. Tekanan Lateral Tanah

Perhitungan tekanan tanah lateral yang terjadi pada dinding penahan tanah meliputi perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif. Untuk menghitung tekanan tanah lateral aktif dan pasif diperlukan perhitungan nilai koefisien tekanan tanah aktif dan pasif dari setiap lapisan tanah pada struktur dinding penahan tanah. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan tekanan lateral tanah

Koefisien Tekanan Lateral Aktif

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \times \cos(\alpha + \delta) \times \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin \phi}{\cos(\alpha + \delta) \times \cos \alpha}} \right]^2}$$

$$\begin{array}{llll} \alpha & = & 0,000^\circ & f & = & 0,000^\circ \\ \cos^2(f - \alpha) & = & 0,750 & \sin(f + d) & = & 0,500 \\ \cos^2 \alpha & = & 1,000 & \sin d & = & 0,500 \\ \cos(\alpha + d) & = & 1,000 & \cos a & = & 1,000 \end{array}$$

$$K_a = 0,333$$

Koefisien Tekanan Lateral Pasif

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \times \cos(\alpha - \delta) \times \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin \phi}{\cos(\alpha - \delta) \times \cos \alpha}} \right]^2}$$

$\alpha = 0,000^\circ$ $\phi = 0,000^\circ$
 $\cos^2(f - \alpha) = 0,750$ $\sin(f - \alpha) = 0,500$
 $\cos^2 \alpha = 1,000$ $\sin d = 0,500$
 $\cos(a - d) = 1,000$ $\cos a = 1,000$

$$K_p = 3,000$$

$$q_{a1} = K_a \times q = 0,167 \text{ ton/m}$$

$$q_{a2} = K_a \times (h_1 - h_{w1}) \times g_{\text{soil}} = 18,000 \text{ ton/m}$$

$$q_{a3} = q_{a1} + q_{a2} = 18,167 \text{ ton/m}$$

$$q_{a4} = K_a \times h_{w1} \times (g_{\text{sat}} - g_w) = 7,000 \text{ ton/m}$$

$$q_{w1} = h_{w1} \times g_w = 3,000 \text{ ton/m}$$

$$q_{w2} = h_{w2} \times g_w = 0,000 \text{ ton/m}$$

$$q_{p1} = K_p \times h_4 \times (g_{\text{sat}} - g_w) = 42,000 \text{ ton/m}$$

No.	Description					H	Y		H x Y
Pa1	0,167	x	3,00			0,500	4,500		2,25
Pa2	18,000	x	3,00	x	0,50	27,000	4,000		108,00
Pa3	18,167	x	3,00			54,500	1,500		81,75
Pa4	7,000	x	3,00	x	0,50	10,500	1,000		10,50
Pw1	3,000	x	3,00	x	0,50	4,500	1,000		4,50
Pw2	0,000	x	0,00	x	0,50	0,000	0,000		0,00
Pp1	-42,000	x	2,00	x	0,50	-42,000	0,667		-28,01
Total						55,000			178,99

Tabel 4. 7. Tekanan Lateral Dinding Penahan Tanah.

Sumber: Analisa Penulis

3. Stabilitas Tanah

a. Stabilitas terhadap penggulingan

Stabilitas terhadap penggulingan pada dinding penahan tanah dihitung dengan perbandingan momen yang menggulingkan atau akibat dari tekanan tanah lateral pada tanah urug yang berotasi pada ujung kaki depan pelat pondasi dengan momen yang menahan atau akibat dari momen berat sendiri dinding penahan tanah dan momen akibat berat tanah diatasnya.

Tabel 4. 8. Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Penggulingan

a) -1 Without Uplift									
B =	7,50	m							
X =	$\frac{\Sigma W \times X - \Sigma H \times Y}{\Sigma W}$		=	$\frac{1.911,38}{417,700}$		=	4,147	m	
e =	$\frac{B}{2} - X$		=	$\frac{7,50}{2} - 4,147$		=	-0,397	m	< B/6 = 1,250 m OK !
a) -2 With Uplift									
B =	7,50	m							
X =	$\frac{\Sigma W \times X - \Sigma H \times Y}{\Sigma W}$		=	$\frac{1.855,13}{406,450}$		=	4,124	m	
e =	$\frac{B}{2} - X$		=	$\frac{7,50}{2} - 4,124$		=	-0,374	m	< B/6 = 1,250 m OK !

b. Stabilitas terhadap penggeseran

Perhitungan stabilitas terhadap penggeseran dinding penahan tanah, dilakukan dengan menganggap bahwa perhitungan tahanan geser yang diberikan pada dinding penahan tanah sepanjang 6 m berdasar pada tanah keras.

Tabel 4. 9. Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Penggeseran

a)-1 Without Uplift									
Sliding force :	ΣH	=	55,000						
Resistance :	$HR = \mu \times \Sigma W$		417,700	=	208,850	ton			
	(friction coefficient : $\mu =$	0,50							
	HR	208,850							
$F_s = \frac{HR}{\Sigma H}$		$= \frac{208,850}{55,000}$	=	3,797	OK !				
b)-2 With Uplift									
Sliding force :	ΣH	=	55,000						
Resistance :	$HR = \mu \times \Sigma W$		406,450	=	203,225	ton			
	(friction coefficient : $\mu =$	0,5							
	HR	203,225							
$F_s = \frac{HR}{\Sigma H}$		$= \frac{203,225}{55,000}$	=	3,695	OK !				

c. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

d. Kapasitas dukung ultimit dihitung dengan menggunakan persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975) sebagai berikut.

Tabel 4. 10 Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Daya Dukung Tanah

$q_{1,2} = \frac{\Sigma W}{B}$	$\times (1 \pm \frac{6 \times e}{B})$								
$q_1 = \frac{417,700}{7,50}$	$\times (1 + \frac{6 \times -0,397}{7,50})$	<	q_a	=	685,667	t/m ²	OK !		
$q_2 = \frac{417,700}{7,50}$	$\times (1 - \frac{6 \times -0,397}{7,50})$	<	q_a	=	685,667	t/m ²	OK !		

4. Perhitungan Penulangan Dinding Penahan Tanah.

Perhitungan penulangan dinding penahan tanah di bawah dan summary berbentuk tabel berikut.

a. Desain Tulangan Lentur.

Untuk menghemat biaya, tulangan lentur dihitung dua kali dengan membagi tinggi dinding menjadi dua, yaitu $\frac{1}{2}H$ bagian bawah, dan $\frac{1}{2}H$ bagian atas. Karena momen terbesar hanya terjadi pada bagian bawah dinding, yaitu pertemuan antara dinding dengan telapak. Tulangan yang digunakan yaitu baja ulir dengan diameter 19 mm dan $f_y = 400$ MPa, mutu beton yang digunakan $f_c' = 25$ MPa.

Tulangan yang diperlukan (A_s)

- $M_u = 2809,307$ kgcm
- $R_n = M_u / \phi b d = 28097 / 0,9 \cdot 1 \cdot 0,7 = 1,125$ kN/m
- $\rho = (0,85 \cdot f_c' / f_y) \cdot (1 - \sqrt{1 - (2R_n / 0,85 f_c')})$
 $= (0,85 \cdot 25 / 400) \cdot (1 - \sqrt{1 - (2 \cdot 1,125 / 0,85 \cdot 25)})$
 $= 0,00280$
- $A_{s-perlu} = \rho b d = 0,00280 \cdot 1000 \cdot 70 = 1526$ mm²
- $A_{s-min} = 0,0015 \cdot b \cdot B_b = 0,0015 \cdot 1000 \cdot 100 = 1500$ mm²
- Digunakan D25-200 ($A_s = 2835,287$ mm²) → dua sisi

b. Desain Tulangan Susut.

Tulangan horizontal pada dasar dinding sesuai SNI 2847-2013 Pasal 14.3.3 adalah:

$$A_{s-min} = 0,0020 \cdot b \cdot B_b = 0,0020 \cdot (1000) \cdot (1000) = 2000 \text{ mm}^2$$

Sesuai SNI 2847-2013 Pasal 14.3.4, maka luas tulangan dibagi merata jadi dua sisi.

$$A_s = 0,5 A_{s-min} = 0,5 \cdot 2000 = 1000 \text{ mm}^2$$

Digunakan P10-75 ($A_s = 1047,198$ mm²)

c. Desain Tulangan Heel

$$M_u = 7561,875 \text{ kgcm}$$

- Kebutuhan tulangan,
- $R_n = M_u / \phi b d = 7561,875 / 0,9 \cdot 1 \cdot 0,9155 = 1,148$ kN/m
- $\rho = (0,85 \cdot f_c' / f_y) \cdot (1 - \sqrt{1 - (2R_n / 0,85 f_c')})$

$$= (0,85.25/400).(1 - \sqrt{1-(2.1,148/0,85.25)})$$

$$= 0,00295$$

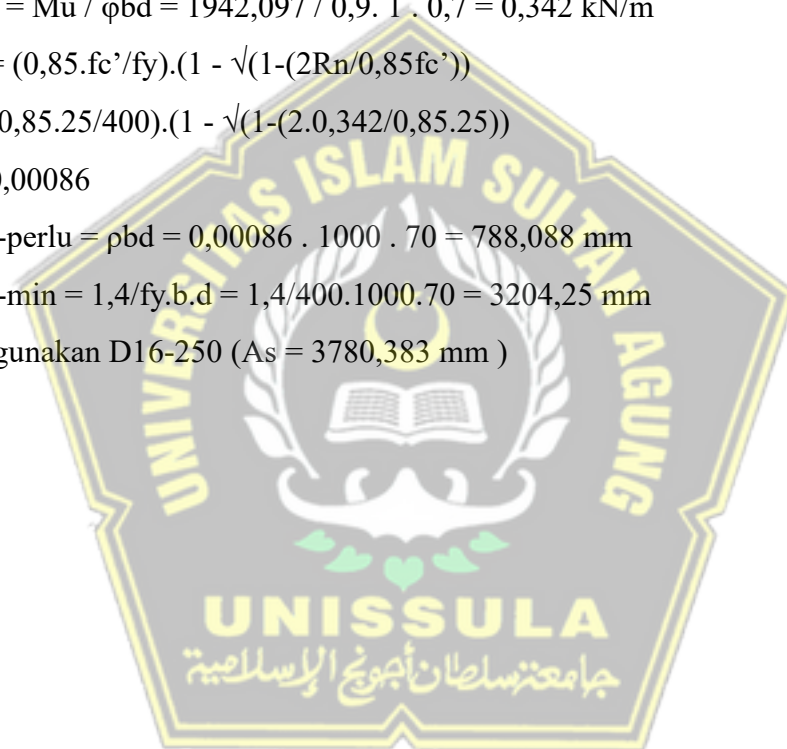
- $A_s\text{-perlu} = \rho_{bd} = 0,00295 \cdot 1000 \cdot 70 = 2703,001 \text{ mm}$
- $A_s\text{-min} = 1,4/f_y.b.d = 1,4/400.1000.70 = 3204,25 \text{ mm}$
- Digunakan D16-250 ($A_s = 3204,25 \text{ mm}$)

d. Desain Tulangan Toe

$$M_u = 1942,097 \text{ kgcm}$$

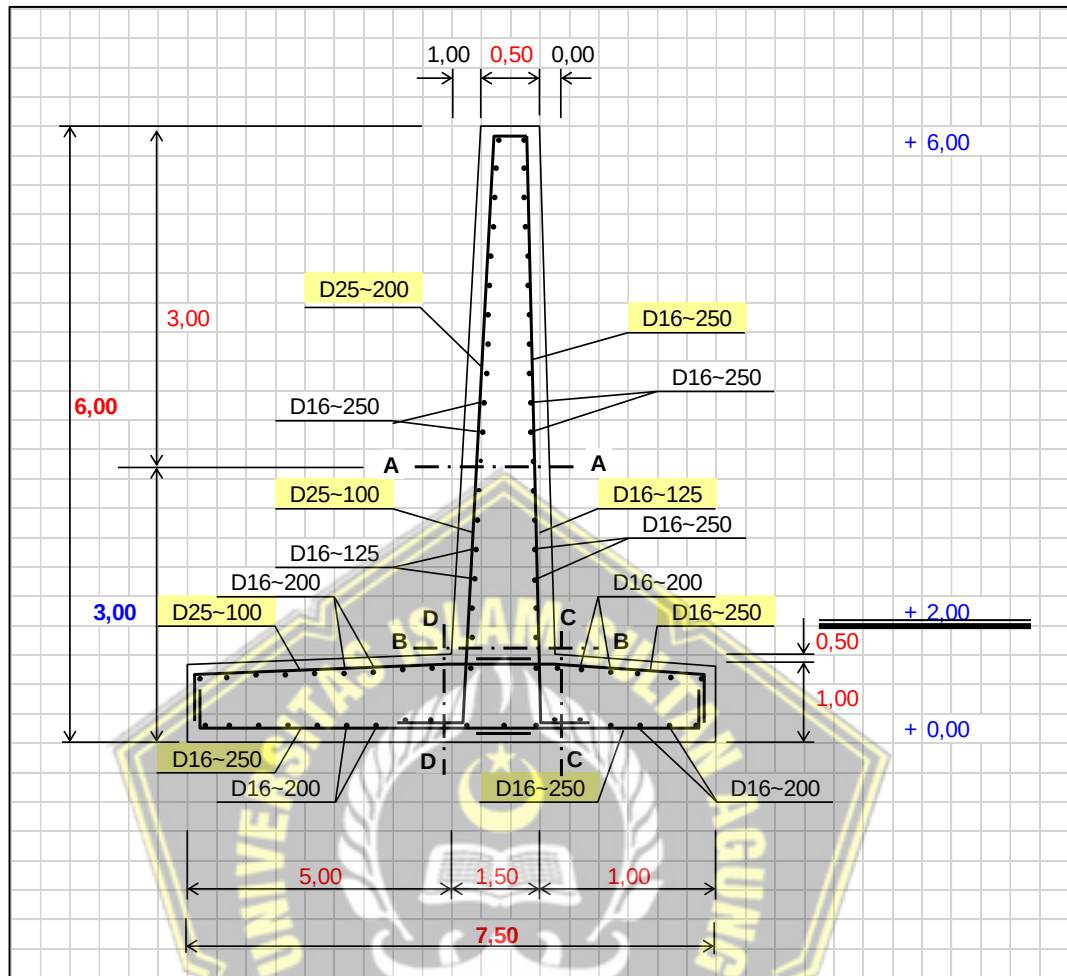
Kebutuhan tulangan,

- $R_n = M_u / \phi_{bd} = 1942,097 / 0,9 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,342 \text{ kN/m}$
- $P = (0,85.f_c'/f_y).(1 - \sqrt{1-(2R_n/0,85f_c')})$
- $= (0,85.25/400).(1 - \sqrt{1-(2.0,342/0,85.25)})$
- $= 0,00086$
- $A_s\text{-perlu} = \rho_{bd} = 0,00086 \cdot 1000 \cdot 70 = 788,088 \text{ mm}$
- $A_s\text{-min} = 1,4/f_y.b.d = 1,4/400.1000.70 = 3204,25 \text{ mm}$
- Digunakan D16-250 ($A_s = 3780,383 \text{ mm}$)



Name of Structure		:	Dinding Penahan Tanah							
Location		:	Golf Candisari, Semarang							
			Wall (upper)		Wall (lower)		Footing (toe)		Footing (heel)	
			Section A-A		Section B-B		Section C-C		Section D-D	
			back	front	back	front	lower	upper	upper	lower
Bending moment	M	kgfcm	2.809.307		9.243.444		1.942.097		7.561.875	
Shearing force (joint)	S	kgf	27.840		59.209		39.285		52.746	
Axial force	N	kgf	0		0		0		0	
Height of member	h	cm	116,7		150,0		150,0		150,0	
Covering depth	d'	cm	7,0		7,0		7,0		7,0	
Effective height	d	cm	109,7		143,0		143,0		143,0	
Effective width	b	cm	100,0		100,0		100,0		100,0	
Young's modulus ratio	n	-	24		24		24		24	
Required R-bar	Asreq	cm2	15,26		39,29		7,73		32,14	
R-bar arrangement			25~200	16~250	25~100	16~125	16~250	16~250	25~100	16~250
Reinforcement	As	cm2	24,54	8,04	49,09	16,08	8,04	8,04	49,09	8,04
Perimeter of R-bar	U	cm	39,27	ok	78,54	ok	20,11	ok	78,54	ok
Dist. from neutral axis	x	cm	30,53		47,45		21,64		47,45	
Compressive stress	σ_c	kgf/cm2	18,5		30,6		13,2		25,1	
Allowable stress	σ_{ca}	kgf/cm2	60,0		60,0		60,0		60,0	
			ok		ok		ok		ok	
Tensile stress	σ_s	kgf/cm2	1.150		1.481		1.778		1.211	
Allowable stress	σ_{sa}	kgf/cm2	1.850		1.850		1.850		1.850	
			ok		ok		ok		ok	
Shearing stress at joint	τ	kgf/cm2	2,54		4,14		2,75		3,69	
Allowable stress	τ_a	kgf/cm2	5,50		5,50		5,50		5,50	
			ok		ok		ok		ok	
Resisting Moment	Mr	kgfcm	4.350.128		13.748.467		1.565.235		13.738.413	
Mr for compression	Mrc	kgfcm	4.678.571		14.771.164		4.568.003		14.733.743	
x for Mrc		cm	24		44		17		44	
σ_s for Mrc		kgf/cm2	2.935		2.693		6.427		2.690	
Mr for tensile	Mrs	kgfcm	4.350.128		13.748.467		1.565.235		13.738.413	
x for Mrs		cm	29		55		19		55	
σ_c for Mrs		kgf/cm2	52		59		20		59	
Distribution bar (>As/6 and >Asmin)			4,09	1,34	8,18	2,68	1,34	1,34	8,18	1,34
			16~250	16~250	16~125	16~250	16~200	16~200	16~200	16~200
Reinforcement	As	cm2	8,04	8,04	16,08	8,04	10,05	10,05	10,05	10,05
			ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Minimum requirement of distribution bar				As min =	4,50	cm2				

Tabel 4. 11. Penulangan Dinding Penahan Tanah



Gambar 4. 22. Detail Gambar Dinding Penahan Tanah

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Nilai angka safety factor pada lereng yang sebelum dilakukan perkuatan lereng dengan dinding penahan tanah yaitu 1,3 (Kondisi Kering) dan 1.26 (Kondisi Basah) serta 1.27 (pengaruh suction). Nilai tersebut tidak memenuhi syarat SNI 8467-2017 dengan nilai safety factor harus melebihi 1,5. Jika *Safety Factor* kurang dari 1,5, maka akan terjadi longsoran.
- Nilai angka safety factor pada lereng yang setelah dilakukan perkuatan lereng dengan dinding penahan tanah yaitu 1,99. Nilai tersebut sudah memenuhi syarat SNI 8467-2017 dengan nilai safety factor harus melebihi 1,5.
- Dinding penahan tanah yang digunakan tipe kantilever dengan ukuran tinggi 6 meter dan lebar 10 m.
- Proyek stabilitas lereng direkomendasikan menggunakan dinding penahan tanah selain dari sisi safety factornya yang memadai, untuk nilai segi ekonomis dan efisiensi terhadap waktu, maka pilihan perkuatan lereng dengan dinding penahan tanah sangat direkomendasikan.

5.2. Saran

Setelah apa yang kami lakukan, dapat kami sampaikan bahwa:

- Selain dinding penahan tanah, bisa juga ditambahkan geotekstil terlebih dahulu untuk memperkuat struktur perkuatan lerengnya.
- Metode pelaksanaan konstruksi dinding penahan tanah harus diperhatikan terutama dalam pemasangan pipa drainase di dinding penahan tanahnya, karena apabila tidak diperhatikan maka beban lateral yang diterima oleh dinding penahan tanah akan semakin berat dan akan bisa memperbesar momen gulingnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Endayanti, M., & Marpaung, K. (2019). Analisis Perkuatan Lereng Dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Di Skyland Jayapura Selatan. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Vol. 8 No. 1, 22–35.
- Fauzi, I. M., & Hamdhan, I. N. (2019). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Woven Akibat Pengaruh Termal Menggunakan Metode Elemen Hingga. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 5(2), 61–72. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v5i2.61>
- Frengky, Rustamaji, R. M., & Priadi, E. (2021). *Analisis Kestabilan Lereng Akibat Fluktuasi Muka Air Tanah Pada Ruas Jalan Simpang Pintas-Sayan Kabupaten Melawi*. Universitas Tanjungpura.
- Gde Suwarsa Putra, T., Ardana, M. D. W., & Aryati, M. (2010). Analisis Stabilitas Lereng Pada Badan Jalan Dan Perencanaan Perkuatan Dinding Penahan Tanah. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Vol. 14, 34–62.
- Hardiyatmo, H.C. (2002). *Mekanika Tanah 1*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2003). *Mekanika Tanah 2*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Mekanika Tanah 1*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hidayat, R. (2018). Analisis Stabilitas Lereng Pada Longsor Desa Caok, Purworejo, Jawa Tengah. *Jurnal Sumber Daya Air*, Vol. 14 No. 1, 63–74.
- Khuzaifah, E. (2019). STUDI TENTANG DINDING PENAHAN (RETAINING WALL). *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 9(1), 7–18
- Mina, E., Fathonah, W., Kusuma, R. I., & Ramadhani, A. F. (2022). Analisis Stabilitas Lereng dengan Alternatif Perkuatan Menggunakan Software Plaxis 2D dan Slope/w (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Kampus Baru UNTIRTA Sindangsari). In *Jurnal Teknik Sipil* (Vol. 11, Issue 2).

Pratikso. (2017). *MEKANIKA TANAH I*. UNISSULA PRESS.

Setyanto, Zakaria, A., & Permana, G. W. (2016). Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsoran Menggunakan Metode Elemen Hingga Plaxis V.8.2 (Studi Kasus : Ruas Jalan Liwa-Simpang Gunung Kemala STA.263+650). *Jurnal Rekayasa*, Vol. 20 No. 2, 119–138.

Suhendra, M., & Mukhsin. (2017). Pengaruh Gaya Cabut Akar Pada Jenis Vegetasi Terhadap Stabilitas Lereng. Prosiding Simposium II, September, 978–979.

Supit, D. D. (2019). Analisis Perhitungan Kestabilan Dinding Penahan Tanah Studi Kasus Proyek Interchange Manado. In *Jurnal Ilmiah Realtech* (Vol. 15). Universitas Katolik De La Salle Manado.

